

РЕЗАНИЕ МЕТАЛЛОВ



КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Главной задачей процесса резания металлов является получение изделий высокого качества при минимальных затратах времени и средств на их обработку. Основными условиями, влияющими на ведение рационального процесса резания при обработке данной детали, являются: 1) качество материала обрабатываемой детали с точки зрения способности подвергаться обработке (т. е. обрабатываемости); 2) способ резания металла; 3) тип, конструкция и качество режущего инструмента; 4) тип и модель металлорежущего станка; 5) режим резания металла; 6) квалификация станочника; 7) организация и оснащённость рабочего места.

Русские мастера-ремесленники ещё в XII в. при изготовлении оружия применяли сверление и обтачивание на станках с ручным приводом и переменным вращательным движением. В XIV—XVI вв. приводы переменного движения были заменены более совершенными—непрерывными с использованием водяных колёс вместо мускульной силы человека. В 1645 г. в Москве на р. Яузе стрелец Иван Осипов построил предприятие—«ствольную мельницу», водяные колёса которой приводили в движение сверлильные и токарные станки оригинальных конструкций. В 1712 г. мастер М. В. Сидоров построил первый Тульский оружейный завод, на котором обработка деталей оружия велась на таких станках, конструкции которых далеко опередили конструкции станков, описанных в 1783 г. во французской энциклопедии Дидро.

Методы обработки ружейных стволов на агрегатных станках, которые создал и применил в России Яков Батищев в самом начале XVIII в., в США начали применять только спустя 200 лет.

Коренное усовершенствование процесса обработки металлов было произведено русским новатором-инженером А. К. Нартовым (1680—1756 гг.). А. К. Нартов создал первый в мире токарный станок с самоходным суппортом, приводимым в движение вначале с помощью зубчатого колеса и рейки (1712 г.), а затем от ходового винта (1729 г.).

Гениальный русский учёный М. В. Ломоносов разработал и применил оригинальный процесс обработки сферических поверхностей. Большой вклад в дело развития металлообработки внесли И. И. Ползунов, И. И. Кулибин, академик В. М. Севергин и др.

Основоположником теории (кинематического расчёта) металлорежущих станков является русский академик А. В. Гадолин (1829—1892 гг.). В 1876 г. А. В. Гадолин создал теорию построения ряда чисел оборотов шпинделей станков и доказал, что расположение этого ряда по закону геометрической прогрессии даёт станку наилучшую эксплуатационную характеристику.

Научные основы процесса резания металлов заложил русский учёный проф. И. А. Тиме, который в своих работах (опубликованных начиная с 1870 г.):

1) установил, что процесс резания представляет собой последовательное скалывание частиц срезаемого слоя, а направление скалывания мало зависит от угла резания и обрабатываемого металла;

2) выявил зависимость усилия резания от размеров среза, угла резания и сопротивления обрабатываемого материала скалыванию;

3) дал классификацию стружки и показал условия, при которых возникает тот или другой тип стружки, а также открыл ряд других физических явлений процесса резания.

И. А. Тиме не только заложил основы учения о резании металла, но и, выступая против лженаучных теорий, отстаивал и закрепили за русской наукой приоритет в этой области.

Научные исследования И. А. Тиме продолжил проф. К. А. Звoryкин. Он впервые в 1893 г. исследовал силы, действующие в процессе резания, установил аналитическую зависимость максимального усилия резания от различных факторов, указал путь теоретического определения плоскости скалывания и, наконец, своими тщательно поставленными опытами установил зависимость усилия резания P_z от ширины b и толщины a среза. К. А. Звoryкин впервые разработал и применил динамометр для определения усилий резания.

Исследование тепловых явлений процесса резания также впервые начал русский исследователь Я. Г. Усачёв. Он первый в 1914—1915 гг. применил металлографический метод исследования процесса резания, определил температуру резания, сконструировав термопары для определения температуры реза, объяснил образование нароста на режущем и ряд других физических явлений процесса резания.

Наиболее высокого уровня развития наука о резании металлов достигла в нашей стране:

после Великой Октябрьской социалистической революции.

Коммунистическая партия и Советское правительство проявляют неустанную заботу о развитии машиностроения и металлообработки.

Уже к концу первой пятилетки было освоено 40 новых типо-размеров металлорежущих станков, к концу второй пятилетки — 270, а в одном лишь 1941 г. было освоено свыше 500 типо-размеров станков.

В послевоенный период советское станкостроение получило новое развитие. За период с 1946 по 1950 г. было освоено более 1250 новых типов металлорежущих станков, 26 автоматических станочных линий и автоматический завод по изготовлению автомобильных поршней.

Большой вклад в дело развития науки о резании металлов, режущем инструменте и конструировании станков сделали советские учёные А. Н. Челосткин, И. М. Беспрозваный, В. Д. Кузнецов, В. А. Дикунин и многие другие.

Советские учёные, инженеры и новаторы развили далее науку о резании, внесли много нового и ценного в теорию и практику резания металлов: наивыгоднейшие режимы резания [25, 26], влияние толщины и ширины среза на силу резания [39, 40], деформирование поверхностных слоёв при резании металлов [19], физические явления при резании и геометрия режущего инструмента [1, 3, 20, 21 и др.], тепловые явления при резании металлов [8, 38], кинематика резания [6], качество обработанной поверхности [11, 15, 17].

Десятки лучших институтов и заводских лабораторий под руководством комиссии по резанию металлов приняли участие в разработке новых нормативов на основе новаторского опыта и научно-исследовательских данных.

В 1936 — 1938 гг. советскими инженерами впервые были разработаны скоростные методы резания металлов, которые благодаря содружеству учёных и новаторов производства — скоростников [4, 5, 9, 18, 22, 27, 32 и др.] всё шире развиваются и внедряются на металлообрабатывающих предприятиях промышленности и железнодорожного транспорта, способствуя поднятию производительности труда и повышению качества обработанных изделий.

В директивах XIX съезда партии по пятому пятилетнему плану развития СССР на 1951—1955 годы предусмотрено новое мощное увеличение производства продукции машиностроения и металлообработки за пятилетие примерно в 2 раза. Производство крупных металлорежущих станков увеличится в 2,6 раза, производство станков повышенной точности — в 2 раза.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Явления, возникающие при резании металлов

В процессе резания в основном происходит:

1) упругая и пластическая деформация в срезаемом слое металла, отходящем в виде стружки;

2) упругая и пластическая деформация металла за линией среза в обработанной детали;

3) трение срезаемого слоя металла (стружки) о переднюю грань резца;

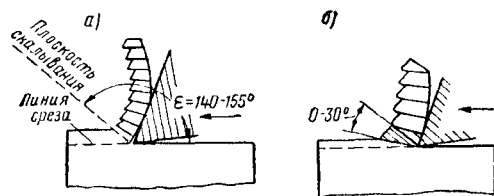
4) трение задних граней резца об обрабатываемую деталь.

Эти явления вызывают изменение свойств металла в поверхностном и срезаемом слоях, теплообразование (нагрев изделия и инструмента), износ инструмента и т. п.

Исследования И. А. Тиме показали, что отделение элементов стружки происходит под определённым углом к линии среза (фиг. 1, а). Этот угол ϵ , составляющий $140—155^\circ$ с направлением перемещения резца, называется углом скалывания.

Кроме плоскостей скалывания, как показал Я. Г. Усачёв, имеются ещё плоскости сдвига части элементов стружки (фиг. 1, б) под углом (сдвига) к плоскости скалывания от 0 до 30° в зависимости от вязкости металла. Чем больше вязкость металла, тем больше этот угол и наоборот. У чугуна он равен 0° .

Степень деформации срезаемого слоя металла характеризуется усадкой стружки, т. е. изменением её размеров по длине, ширине



Фиг. 1. Схема образования: а—плоскости скалывания; б—плоскостей сдвига

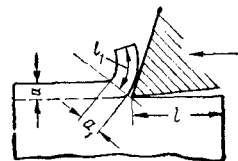
и толщине. Из фиг. 2, видно что длина пути, пройденного резцом l , больше длины стружки l_1 , измеренной по её стороне, соприкасавшейся с резцом, а толщина стружки a_1 больше толщины срезаемого слоя металла a .

Данные советских исследователей показывают, что величина усадки зависит от качества обрабатываемого металла, режима резания, геометрии режущей части резца и т. д. При этом усадка уменьшается с уменьшением вязкости металла, увеличением скорости резания и уменьшением угла резания δ .

Согласно классификации И. А. Тиме существует три вида стружки: сливная, скалывания и надлома (фиг. 3).

Тот или другой вид получается в зависимости от следующих основных факторов: 1) режима резания, 2) геометрических параметров режущего инструмента, 3) качества обрабатываемого металла. Стружка скалывания образуется при большей деформации по сравнению со сливной стружкой,

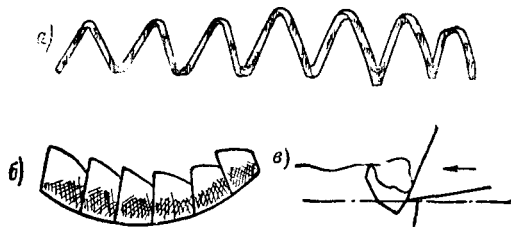
При резании в поверхностном слое обработанной детали возникают наклёп (повышение твёрдости), внутренние остаточные напряже-



Фиг. 2. Схема усадки стружки

ния и изменения структуры. Это влияет на прочность поверхностного слоя, а следовательно, и на прочность детали в целом, на её износоустойчивость и выносливость при знакопеременных нагрузках в эксплуатации.

Например, по исследованию МЭМИИТ после чистовой обработки осей подвижного состава твёрдосплавными резцами при скоро-



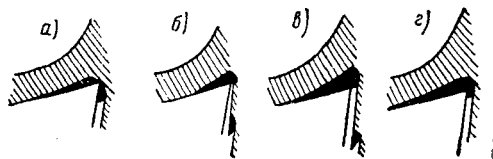
Фиг. 3. Виды стружек: а—сливная; б—скалывание; в—надлома

стях резания до 140 м/мин твердость H_D поверхностного слоя увеличивается приблизительно от 150÷160 до 175÷185 [12].

Глубина наклепанного слоя при этом $h \approx 300 \div 600$ микрон. При шлифовании тех же осей глубина наклепа значительно ниже: $h \approx 50 \div 60$ микрон, H_D доходит до 160 ÷ 165.

Величина и знак внутренних остаточных напряжений, возникающих в поверхностном слое при резании металла, зависят от метода и режима обработки. В целях борьбы с усталостными явлениями (например в поверхностном слое подступичных частей осей подвижного состава) следует иметь остаточные напряжения со знаком минус, т. е. сжимающие. Одним из методов получения сжимающих напряжений является накатка роликами.

В процессе резания при определенных условиях на передней грани резца образуется так называемый нарост (фиг. 4) — скопление



Фиг. 4. Стадии образования нароста на резце

уплотнённых частиц металла. Этот нарост защищает режущую кромку от разрушения и, увеличивая передний угол резца, облегчает стружкообразование. Однако при наличии нароста ухудшается чистота обработанной поверхности.

На появление нароста влияют качество обрабатываемого металла, скорость резания, геометрия режущего инструмента и условия работы. При обработке хрупких металлов при любых режимах резания, а также при обработке любых металлов с прерывистым резанием (фрезерование, строгание) нарост отсутствует. В зависимости от образования нароста при точении среднеуглеродистой стали имеется четыре зоны скорости резания: а) весьма низкие до 5 м/мин — нароста не образуется; б) низкие

(5÷40 м/мин) — нарост возникает и быстро растёт, достигая максимальной величины при скорости резания около 40 м/мин; в) средние (50÷80 м/мин) — нарост с увеличением скорости резания начинает уменьшаться; г) высокие (80÷100 м/мин и выше) — нарост исчезает.

Аналогично этому в зависимости от скорости резания изменяется и высота неровностей обработанной поверхности, т. е. при отсутствии нароста в зоне весьма низких, а также в зоне высоких скоростей неровности имеют минимальную величину, а при наибольшей величине нароста (в зоне низких скоростей) — максимальную. Таким образом, внедрение высоких скоростей резания в производство не только повышает производительность, но и даёт высокую чистоту обработанных поверхностей, что позволяет увеличить срок службы деталей подвижного состава и других машин и механизмов железнодорожного транспорта.

Всё это создаёт возможность повышения безопасности движения поездов.

Чистота обработанной поверхности в основном зависит от скорости резания, подачи, радиуса закругления резца при вершине, вспомогательного угла резца в плане, качества обрабатываемого материала, степени затупления резца, характера охлаждающе-смазывающей жидкости, жёсткости станка и крепления детали.

Практически мало влияют на чистоту обработанной поверхности глубина резания и передний угол резца (в той зоне резания, где на резце образуется нарост).

Впервые определение высоты неровностей для случая фрезерования было проведено в 1873 г. в России проф. В. Л. Чебышевым, который показал, что высота неровностей зависит от подачи, радиуса фрезы, скорости резания и угла контакта фрезы с изделием.

В настоящее время для определения чистоты обработанной поверхности в СССР существует ГОСТ 2789-51 (взамен ГОСТ 2789-45), по которому за критерий оценки приняты: 1) среднеквадратическое отклонение микронеровностей $H_{ск}$ и 2) средняя высота микронеровностей $H_{ср}$.

Среднеквадратическое отклонение микронеровностей определяется так:

$$H_{ск} = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L h^2 dl}$$

или приблизительно как квадратный корень из среднего квадрата расстояний точек профиля поверхности до средней линии профиля, т. е. до линии, делящей профиль таким образом, что площади по обеим сторонам этой линии до контура профиля равны между собой (фиг. 5):

$$F_1 + F_2 + \dots + F_n = S_1 + S_2 + \dots + S_n,$$

$$H_{ск} \approx \sqrt{\frac{1}{k} (h_1^2 + h_2^2 + h_3^2 + \dots + h_k^2)},$$

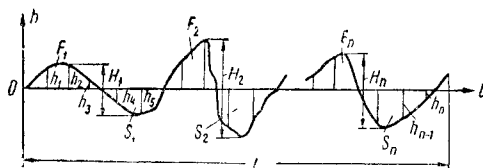
где h_1, h_2 и т. д. — ординаты точек профиля; k — число ординат.

Средняя высота микронеровностей определяется как среднее арифметическое высот микронеровностей H от гребня до дна впадины (фиг. 5). При определении $H_{ср}$ отдельные,

явно выпадающие из ряда значения H не учитываются:

$$H_{cp} = \frac{1}{n} (H_1 + H_2 + \dots + H_n),$$

где n — число замеренных H .



Фиг. 5. Профиль сечения обработанной поверхности

В табл. 1 представлены значения $H_{ск}$ и H_{cp} для всех классов чистоты по ГОСТ 2789-51.

Оценка каждого класса чистоты по $H_{ск}$ или H_{cp} зависит от того, какой из этих критериев оценки может быть определен с помощью имеющихся приборов.

Большое влияние на процесс резания металла оказывает теплообразование, на которое затрачивается почти вся работа резания.

Возникающая теплота может создавать такие температуры, при которых инструмент теряет свою режущую способность. Общее количество теплоты $Q_{общ}$ состоит из частей, уходящих: в стружку Q_1 , в режущий инструмент Q_2 , в обрабатываемую деталь Q_3 и в окружающую среду и стачок Q_4 :

$$Q_{общ} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4.$$

В свою очередь

$$Q_2 = q_1 + q_2,$$

где q_1 — теплота, отводимая через тело инструмента;

q_2 — теплота, аккумулирующаяся в режущей части инструмента и постепенно повышающая его температуру.

$Q_1 > Q_2 > Q_3 > Q_4$; для точения с низкими скоростями $Q_1 \approx 80\%$ от $Q_{общ}$; при работе другими режущими инструментами составляющие части теплоты имеют другие значения; например, при сверлении в сверло уходит теплоты больше, чем в стружку, а при фрезеровании и протягивании зубья этих инструментов нагреваются весьма мало, так как они периодически выходят из зоны резания.

С увеличением скорости резания часть теплоты, уходящая в стружку, возрастает, доли других составляющих уменьшаются.

Температура процесса резания при прочих равных условиях зависит от скорости резания, глубины резания и подачи:

$$T^\circ = f(v, t, s) = C v^x t^y s^z,$$

причём

$$1 > x > z > y.$$

В результате проведённых исследований [8,26] выяснено, что:

1) с увеличением скорости резания температура у режущей части резца увеличивается, но медленнее, чем сама скорость;

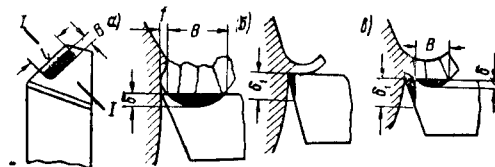
2) температура у режущей части резца выше при обработке стали, чем при обработке чугуна;

3) с увеличением подачи температура у режущей части резца увеличивается, но медленнее, чем сама подача;

4) с увеличением глубины резания температура у режущей части резца весьма мало увеличивается (значительно меньше, чем это имеет место при увеличении скорости резания и подачи).

Кроме того, указанная температура понижается с уменьшением углов в плане и с увеличением переднего угла резца.

Износ резца, происходящий в процессе резания, в основном зависит от качества обрабатываемого материала, материала и геометрии режущей части резца, режима и условий резания (скорость резания, толщина и ши-



Фиг. 6. Виды износа резцов: а — передней грани; б — задней грани; в — одновременно передней и задней граней

рина среза, охлаждение и т. п.). При этом различают следующие виды износа резца (фиг. 6): а — передней грани, б — задней грани и в — передней и задней граней одновременно.

Таблица 1

Характеристики классов чистоты обработанных поверхностей

№ класса чистоты	Обозначение по ГОСТ	$H_{ск}$ в мк	H_{cp} в мк	№ класса чистоты	Обозначение по ГОСТ	$H_{ск}$ в мк	H_{cp} в мк
1-й	▽ 1	—	Свыше 125 до 200	8-й	▽ 8	Свыше 0,4 до 0,8	Свыше 1,6 до 3,2
2-й	▽ 2	—	» 63 » 125	9-й	▽ 9	» 0,2 » 0,4	» 0,4 » 1,6
3-й	▽ 3	—	» 40 » 63	10-й	▽ 10	» 0,1 » 0,2	» 0,5 » 0,8
4-й	▽ 4	—	» 20 » 40	11-й	▽ 11	» 0,05 » 0,1	» 0,25 » 0,5
5-й	▽ 5	Свыше 3,2 до 6,3	» 10 » 20	12-й	▽ 12	» 0,025 до 0,05	» 0,12 » 0,25
6-й	▽ 6	» 1,6 » 3,2	» 6,3 » 10	13-й	▽ 13	—	» 0,06 » 0,12
7-й	▽ 7	» 0,8 » 1,6	» 3,2 » 6,3	14-й	▽ 14	—	До 0,06

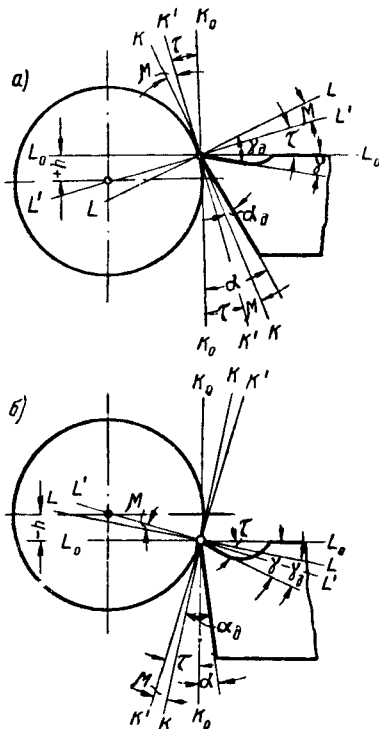
Примечание. Значения H_{cp} для 5—12 классов — приближенные.

Геометрия режущей части инструмента

Геометрия режущей части инструмента характеризуется следующими основными параметрами: формой передней грани, передним углом, формой режущей кромки, задними углами, углами в плане, радиусом при вершине (сопряжения задних граней) и углом наклона главной режущей кромки. Определение и конкретные значения указанных параметров для различных условий обработки металлов приведены в разделе «Металлорежущий инструмент».

Изменение углов (α и γ) в процессе резания

В процессе обточки резцами положение плоскости резания (плоскость, проходящая через главную режущую кромку касательно к поверхности резания) изменяется вследствие движения резца относительно изделия по винтовой линии, а также в случае расположения точек режущей кромки не в плоскости, проходящей через ось изделия параллельно основной плоскости (практически, в случае установки резца не по центру). От обеих этих причин главный задний и передний углы изменяются соответственно на углы μ и τ , как показано на фиг. 8.



Фиг. 8. Изменение заднего и переднего углов в процессе резания при установке резца выше и ниже оси изделия

При расположении режущей кромки выше оси (фиг. 8, а) действительный задний угол изменяется так: $\alpha_0 = \alpha - \tau - \mu$, а действительный передний угол так: $\gamma_0 = \gamma + \tau + \mu$.

При расположении точек режущей кромки ниже оси (фиг. 8, б)

$$\alpha_0 = \alpha + \tau - \mu, \text{ а } \gamma_0 = \gamma - \tau + \mu.$$

При расточке влияние установки резца будет обратным по сравнению с обточкой.

В приведённых формулах: τ —угол наклона плоскости резания при опускании или подъёме режущей кромки относительно осевой линии; μ —угол наклона плоскости резания (и соответственно плоскости, перпендикулярной к плоскости резания) вследствие наличия винтовой линии в относительном движении точек режущей кромки резца.

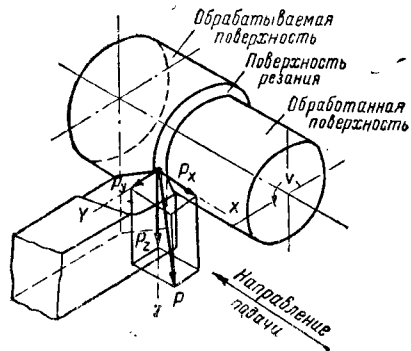
Практически стараются установить резцы так, чтобы середина действующей части режущей кромки находилась на линии центров, и тем самым избегают значительного изменения углов α и γ от угла τ , незначительное же их изменение от угла μ серьёзного влияния на работу не оказывает.

Усилия резания

При резании металлов определяют усилия, действующие в вертикальном (P_z), радиальном (P_y) и осевом (P_x) направлениях, а общее усилие является равнодействующей этих усилий (фиг. 9):

$$P = \sqrt{P_z^2 + P_x^2 + P_y^2},$$

где P_x —осевое усилие резания, или усилие подачи—воспринимается в станке механизмом подачи; P_y —радиальное усилие резания—стремится оттолкнуть резец от обрабатываемого



Фиг. 9. Схема усилий, действующих на резец при продольном точении

изделия и воспринимается резцедержателем и суппортом; реакция этого усилия вызывает прогиб обрабатываемой детали; P_z —вертикальное (тангенциальное) усилие резания—создаёт крутящий момент, который должен быть преодолен крутящим моментом, передаваемым на шпиндель станка от электродвигателя. По усилию P_z рассчитывается мощность, потребляемая на резание.

Между указанными составляющими (при точении незатупившимся резцом с прямолинейной режущей кромкой) имеет место следующее приближённое соотношение:

$$P_z : P_x : P_y = 1 : 0,25 : 0,40.$$

По мере затупления резца все усилия растут и указанные соотношения меняются.

На усилие резания P_z влияют следующие основные факторы: 1) толщина и ширина среза (подача и глубина резания); 2) скорость резания; 3) геометрия режущей части резца; 4) качество обрабатываемого материала; 5) охлаждающе-смазывающая жидкость и др.

Толщина среза a и ширина среза b (или подача s и глубина резания t) влияют на усилие резания в разной степени, причём глубина резания влияет на усилие резания P_z в большей степени, чем подача. Из указанного следует, что с точки зрения получения минимального усилия резания выгодно работать с большими подачами и меньшими глубинами резания.

При невысоких скоростях резания влияние скорости резания на усилие резания P_z мало и его не учитывают. При повышенных скоростях (при прочих равных условиях) наблюдается снижение усилий резания.

Влияние геометрии режущей части резца на усилие резания весьма значительно. С увеличением переднего угла γ деформация и усадка стружки уменьшаются, а следовательно, усилие резания снижается.

С уменьшением главного угла в плане φ происходит увеличение ширины среза b , уменьшение толщины среза a и изменение усадки стружки.

Усилие резания аналогично усадке имеет минимальное значение при главном угле в плане $\varphi = 45^\circ \div 60^\circ$, и при отклонениях от этой величины P_z увеличивается.

Увеличение радиуса r при вершине резца вызывает увеличение усилия резания.

Качество обрабатываемого металла, т. е. химический состав, структура и механические свойства, оказывает влияние на усилия резания, причём последние будут тем выше, чем

больше величины $\sigma_{нч}$ и $\frac{\sigma_{нч}}{\sigma_s}$ (при обработке стали) или H_B (при обработке чугуна).

Охлаждающие жидкости типа обычных эмульсий практически не влияют на усилия резания. Применение смазывающих жидкостей в виде различных сортов масел снижает усилия резания соответственно смазывающей способности масла.

Советские учёные—академик П. А. Ребиндер [29] и член-корр. Академии наук СССР Б. В. Дерягин—исследовали и обосновали активное действие смазывающих жидкостей в процессе резания и показали их влияние на снижение усилий резания.

Формула для определения усилия резания и значения показателей степени и коэффициентов влияния различных факторов на усилие резания P_z даны ниже.

Для определения усилий резания применяются следующие приборы:

а) гидравлические динамометры, которые основаны на передаче усилий резания через гидравлическую систему на регистрирующие устройства типа манометров;

б) электроконденсаторные с осциллографом, основанные на изменении ёмкости конденсатора, расстояние между пластинами которого изменяется под действием усилий резания;

в) электроиндукционные, основанные на принципе изменения силы индуктируемого тока в результате изменения воздушной прослойки между сердечниками обмоток первичного и индуктируемого токов под действием усилий резания;

г) пьезоэлектрические, основанные на возбуждении электрического тока благодаря давлению резца на кристаллы из определённых материалов.

Помимо указанных приборов, иногда пользуются методом приближённого определения усилия резания P_z (путём замера расхода мощности, потребляемой станком, с помощью ваттметра или амперметра и вольтметра) по формуле

$$N = \frac{P_z v}{75 \cdot 60 \cdot 1,36} \text{ кВт},$$

откуда

$$P_z = \frac{75 \cdot 60 \cdot 1,36 N}{v} \text{ кг},$$

где v — скорость резания в м/мин.

Скорость резания

Скорость резания, допускаемая инструментом, является одним из главнейших факторов процесса резания металлов. От скорости резания зависят деформация и механические свойства поверхностного слоя обрабатываемого металла, стойкость инструмента и износ его режущей части, чистота обработанной поверхности, основное технологическое время обработки изделия и др.

Выражение скорости резания $v = \frac{\pi D n}{1000} \text{ м/мин}$

позволяет подсчитать существующую её величину при точении, сверлении, фрезеровании, шлифовании и других процессах с главным вращательным движением. Здесь D — диаметр в мм изделия при точении или инструмента при обработке вращающимся инструментом (фреза, сверло, шлифовальный круг), а n — число оборотов шпинделя станка в минуту.

При заданной скорости резания v и диаметре D находят потребное число оборотов в минуту на данном станке:

$$n = \frac{1000 v}{\pi D} \text{ об/мин.}$$

В основном на скорость резания, допускаемую резцом, влияют следующие факторы: 1) стойкость резца, т. е. время его работы от переточки до переточки (в мин.); 2) глубина резания и подача; 3) геометрия режущей части резца; 4) качество материала, из которого сделан резец; 5) качество обрабатываемого металла; 6) охлаждение и др.

В настоящее время имеются нормативы, по которым можно установить влияние всех факторов на скорость резания при конкретных условиях работы (см. ниже).

При определённых постоянных условиях резания при определённой скорости v_1 получается определённая стойкость T_1 , при скорости v_2 — стойкость T_2 и т. д., причём

$$\frac{v_1}{v_2} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^m,$$

где m — показатель относительной стойкости

$$m < 1; v_1 T_1^m = v_2 T_2^m = \dots = C,$$

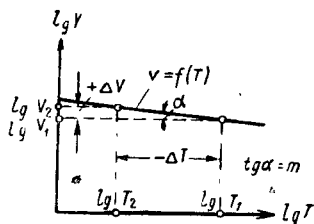
т. е. произведение скорости резания на соответствующую ей стойкость в определённой степени является постоянной величиной.

Отсюда

$$v = \frac{C}{T^m},$$

где C — постоянная величина, зависящая от указанных выше факторов.

Графическая зависимость скорости резания от стойкости показана на фиг. 10. При построении графика на координатах откладываются логарифмы соответствующих величин v и T .



Фиг. 10. Графическая зависимость скорости резания от стойкости резца в логарифмических координатах

Из формулы и графика видно, что чем меньше величина m , тем более пологой будет линия $v = f(T)$ и, следовательно, тем больше будет уменьшение стойкости при определённом увеличении скорости резания, т. е. тем более чувствителен будет резец к изменению скорости. Это происходит вследствие различного изменения величины износа резца при разных скоростях.

При малых скоростях резания, когда изменения величины износа и стойкости с повышением скорости невелики, показатель степени m стремится к единице (работа фасонными резцами, резьбонарезание плашками и т. п.). При высоких скоростях резания, когда износ, а следовательно, и стойкость с увеличением скорости резания изменяются сильно (износ растёт, стойкость падает), величина показателя m будет малой.

При работе резцами из быстрорежущей стали $m \approx 0,125$ (при обработке стали) и $m \approx 0,10$ (при обработке чугуна).

При работе резцами с пластинами из твёрдых сплавов $m \approx 0,2$ (при обработке стали с $\sigma_{нч} \leq 110 \text{ кг/мм}^2$ и чугуна).

Практически стойкость режущего инструмента выбирают в зависимости от конкретных условий резания (см. ниже). При этом должна быть обеспечена высокая производительность и экономичность обработки.

Глубина резания и подача влияют на скорость резания в разной степени. С увеличением глубины резания допускаемая резцом (при определённой стойкости) скорость резания снижается значительно меньше, чем с увеличением подачи, т. е. при условии постоянного сечения снимаемого слоя наибольшая допускаемая резцом скорость может быть получена при большей глубине резания и меньшей подаче. Такое явление объясняется улуч-

шенными условиями теплоотвода от режущей кромки резца при относительно больших глубинах резания.

Из всех геометрических параметров режущей части инструмента наибольшее влияние на скорость резания оказывают углы в плане, форма режущей кромки и передний угол.

С изменением главного угла в плане φ изменяются ширина и толщина срезаемого слоя металла. Так, при уменьшении главного угла в плане (при постоянных значениях t и s) ширина среза увеличивается, поэтому улучшается теплоотвод, а следовательно, увеличивается стойкость и создаётся возможность увеличить скорость резания.

С уменьшением вспомогательного угла в плане φ_1 увеличивается угол при вершине резца в плане ε , благодаря чему также улучшается отвод тепла. Таким образом, этот угол следует выбирать минимальным.

С увеличением радиуса при вершине r стойкость резца повышается и скорость резания может быть увеличена (в случае отсутствия вибраций).

С уменьшением переднего угла увеличивается деформация снимаемого слоя и благодаря этому усиливается теплообразование, а последнее отрицательно влияет на стойкость. Вместе с этим уменьшение переднего угла при постоянном заднем угле α увеличивает угол заострения β ; тем самым улучшается теплоотвод и упрочняется режущая часть резца.

Заточка передней грани резца с образованием фаски вдоль режущей кромки с углом $\gamma_{ф}$, меньшим, чем передний угол γ , даёт возможность (за счёт увеличения угла заострения) несколько улучшить теплоотвод и увеличить прочность режущей части резца. В последнее время двойной передний угол находит всё большее распространение у резцов из твёрдых сплавов при скоростном резании сталей.

За основу характеристики качества металла с точки зрения его обрабатываемости принимают его структуру, химический состав, механические свойства и др.

Влияние материала резца на скорость резания учитывается коэффициентами, которые даются в нормативах.

Применение обильного охлаждения в процессе резания порядка 20 л в минуту повышает стойкость резцов и позволяет на 20 ÷ 25% увеличить допустимые скорости резания при обдирке стали. При точении чугуна резцами из быстрорежущей стали охлаждение повышает стойкость примерно на 15%.

ТОЧЕНИЕ И СТРОГАНИЕ

Элементы резания при точении, строгании и долблении показаны на фиг. 11.

Глубиной резания t при точении, строгании и долблении называют расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями (фиг. 9), измеряемое перпендикулярно последней. При продольной обточке $t = \frac{D-d}{2} \text{ мм}$

(фиг. 11). Подачей s при точении называются перемещение резца в мм за один оборот изделия, а при строгании — перемещение изделия (или резца) в мм за один двойной ход резца (или соответственно изделия).

Толщина среза

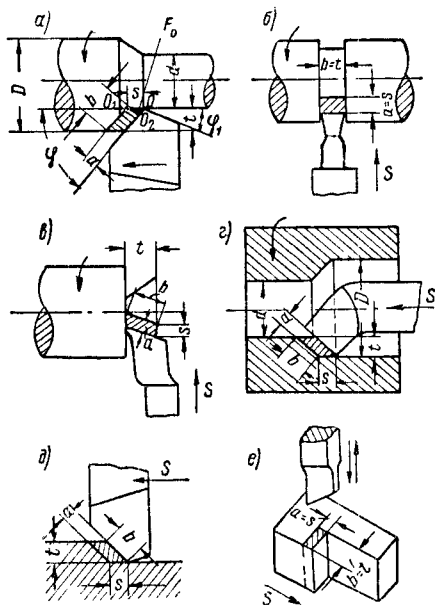
$$a = s \sin \varphi.$$

Ширина среза

$$b = \frac{t}{\sin \varphi}.$$

Номинальная площадь сечения среза

$$f = ab = s \sin \varphi \frac{t}{\sin \varphi} = st \text{ мм}^2.$$



Фиг. 11. Элементы резания при обработке резцами: а—наружное обтачивание; б—отрезание или прорезание канавки; в—подрезание торца; г—расточивание; д—строгание; е—долбление

Основное технологическое время T_o зависит от технологических факторов: скорости резания v (числа оборотов или числа двойных ходов в минуту n), подачи s и числа проходов k .

Число оборотов (или число двойных ходов) ограничивается стойкостью инструмента и кинематикой станка, а подача и число проходов—прочностью и жёсткостью системы деталь—инструмент—станок (при обдирке) или заданной чистотой обработанной поверхности (при чистовой обработке). Число проходов зависит также от величины припуска на обработку.

При точении $T_o = \frac{L}{ns}$ мин.,

где L — длина прохода резца в мм.

При строгании вместо L будет B (ширина строгания).

Величины подачи следует выбирать по табл. 4—9.

Таблица 4

Подачи при грубом точении незакалённых сталей, стального и чугуниного литья

Диаметр детали в мм до	Глубина резания в мм			
	< 5	5—8	8—12	12—30
	Подача s в мм/об			
18	До 0,25	—	—	—
30	0,2—0,5	—	—	—
50	0,4—0,8	0,3—0,6	—	—
80	0,6—1,2	0,5—1,0	—	—
120	1,0—1,6	0,7—1,3	0,5—1,0	—
180	1,4—2,0	1,1—1,8	0,8—1,5	—
260	1,8—2,6	1,5—2,0	1,1—2,0	1,0—1,5
360	2,0—3,0	1,8—2,8	1,5—2,5	1,3—2,0
Свыше 360	—	2,5—3,0	2,0—3,0	1,5—2,5

Таблица 5

Подачи при грубом точении закалённых сталей резцами с пластинами из твёрдых сплавов

Предел прочности $\sigma_{пч}$ в кг/мм ² до	Твёрдость по Роквеллу R_C до	Подача s в мм/об
160	49	0,1—0,3
180	54	0,07—0,2
200	58	0,05—0,15

Таблица 6

Подачи при грубом растачивании на токарных станках

Глубина резания t в мм	Диаметр круглого сечения резца в мм						
	10	12	16	20	25	30	40
	Вылет резца в мм						
	50	60	80	100	125	150	200
Подача резца в мм/об							
Сталь и стальное литьё							
2	<0,08	<0,10	0,08—0,2	0,15—0,40	0,25—0,70	0,50—1,0	—
3	—	<0,08	<0,12	0,10—0,25	0,15—0,40	0,20—0,50	0,25—0,60
5	—	—	<0,08	<0,10	0,03—0,20	0,12—0,30	0,13—0,40
Чугун							
2	0,08—0,12	0,12—0,20	0,25—0,40	0,50—0,80	0,90—1,50	—	—
3	<0,08	0,08—0,12	0,15—0,25	0,30—0,50	0,50—0,80	0,90—1,20	—
5	—	<0,08	0,08—0,12	0,15—0,25	0,25—0,50	0,50—0,70	0,60—1,0

Таблица 7

Подачи при полустойковой обработке стали

Классы чистоты по ГОСТ 2789-51	Радиус при вершине резца	Скорость резания в м/мин						
		30	40	50	60	70	80	90
		Подача s в мм/об						
▽▽ 4	12,5—6,3	0,5	0,40—0,31	0,42—0,34	0,46—0,35	0,48—0,38	0,52—0,42	0,54—0,46
		1,0	0,53—0,44	0,57—0,46	0,60—0,49	0,63—0,53	0,65—0,57	0,65—0,57
		2,0	0,69—0,57	0,69—0,62	0,69—0,65	0,69—0,65	0,69—0,66	0,69—0,67
▽ 5	6,3—3,2	0,5	0,21—0,17	0,22—0,18	0,23—0,20	0,25—0,20	0,26—0,22	0,29—0,23
		1,0	0,27—0,22	0,30—0,23	0,32—0,25	0,34—0,28	0,37—0,29	0,40—0,31
		2,0	0,38—0,30	0,40—0,32	0,43—0,35	0,46—0,37	0,52—0,40	0,52—0,44
▽ 6	3,2—1,6	0,5	—	—	0,11	0,12	0,14	0,15—0,11
		1,0	0,14	0,15—0,11	0,16—0,12	0,17—0,14	0,19—0,15	0,21—0,16
		2,0	0,18—0,16	0,19—0,16	0,22—0,17	0,23—0,18	0,25—0,19	0,28—0,21

Продолжение табл. 7

Примечания. 1. Значения подач рассчитаны на обработку стали с пределом прочности $\sigma_{пл} = 70 \div 90$ кг/мм². При обработке стали с другими значениями $\sigma_{пл}$ табличные значения подач умножать на поправочный коэффициент K_{SM} :

$\sigma_{пл}$ в кг/мм ²	До 50	До 70	До 90	До 110
K_{SM}	0,7	0,75	1,0	1,25

2. Приведённые подачи действительны для случаев, когда фактически применяемый вспомогательный угол в плане φ_1 больше некоторого его значения « φ_1 расчётное», приведённого в табл. 8.

Классы чистоты по ГОСТ 2789-51	Радиус при вершине резца	Скорость резания в м/мин			
		100	110	120	130
		Подача s в мм/об			
▽▽ 4	12,5—6,3	0,55—0,49	0,55—0,49	0,55—0,49	0,55—0,49
		0,65—0,57	0,65—0,57	0,65—0,57	0,65—0,57
		0,69—0,67	0,69—0,67	0,69—0,67	0,69—0,67
▽ 5	6,3—3,2	0,34—0,29	0,36—0,32	0,39—0,34	0,41—0,37
		0,46—0,38	0,46—0,40	0,46—0,41	0,46—0,42
		0,54—0,48	0,54—0,48	0,54—0,48	0,54—0,48
▽ 6	3,2—1,6	0,18—0,11	0,20—0,16	0,22—0,18	0,25—0,20
		0,21—0,19	0,25—0,21	0,30—0,24	0,34—0,25
		0,32—0,25	0,35—0,28	0,38—0,32	0,39—0,35

Таблица 8

Значения « φ_1 расчётное»

Радиус r при вершине резца в мм	Подача s в мм						
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
	Значение « φ_1 расчётное»						
0,5	6	12	18	24	30	—	—
1,0	3	6	9	12	15	17	20
2,0	—	2	4	6	7	8	10

Большие значения подач допустимы при работе незатупленным резцом, меньшие — для затупленных резцов с износом задней грани до 1,5—2,0 мм. Если фактически применяемый угол φ_1 меньше найденного значения « φ_1 расчётное» (табл. 8), то определённая ранее подача s должна быть увеличена умножением на поправочный коэффициент из табл. 9.

В табл. 14 приведены нормативные данные МСС по стойкости резцов.

Скорость резания, допускаемая резцом, подсчитывается по упрощённым формулам:

а) для точения, строгания, растачивания и нарезания резьбы на проход

$$v = \frac{C_v}{t_v^{x_v} s_v^{y_v}} \text{ м/мин};$$

б) для прорезки, отрезки и фасонного точения

$$v = \frac{C_v}{s_v^{y_v}} \text{ м/мин}.$$

Величины C_v , x_v и y_v выбирают по табл. 10 при работе резцами из быстрорежущей стали и по табл. 19 при резцах из твёрдого сплава.

Результат, полученный по вышеприведённым формулам, необходимо умножить на соответствующие поправочные коэффициенты для изменённых условий резания: K_{vM} ; K_{vZ} ; K_{vH} ; K_{vD} ; $K_{v\phi}$; $K_{v\varphi}$; $K_{v\varphi_1}$; K_{vT} ; $K_{v\delta}$.

Величины поправочных коэффициентов по данным МСС при работе резцами из быстрорежущей стали приведены в табл. 11—13 и 15—18, а при работе резцами из твёрдых сплавов — в табл. 20—24 [30, 31].

В производственных условиях величины t , s и v для заданных условий обработки часто берут непосредственно из таблиц соответствующих нормативов по режимам резания [30, 31].

При определении режима резания по формулам для облегчения вычислений следует пользоваться табл. 133 на стр. 378 (числа в дробных степенях) [37].

Таблица 9

Значения коэффициента K_{φ}

Радиус r при вершине реза	Фактически применяе- мый угол φ_1	Подача s в мм/об								
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
		Поправочные коэффициенты $K_{s\varphi}$								
0,5	5	1,0	1,17	1,45	1,76	2,02	2,5	2,8	3,4	—
	10	1,0	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,74	2,1	—
	15	1,0	1,0	1,0	1,07	1,14	1,23	1,33	1,6	—
	20	1,0	1,0	1,0	1,0	1,04	1,08	1,15	1,33	—
	25	1,0	1,0	1,0	1,0	1,02	1,05	1,07	1,2	—
	30	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,01	1,03	—	—
1,0	5	1,0	1,0	1,02	1,15	1,31	1,48	1,62	1,76	1,9
	10	1,0	1,0	1,0	1,0	1,04	1,11	1,17	1,21	1,27
	15	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,03	1,08	1,10
	≥ 20	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,02
2,0	5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,06	1,07	1,11	1,17	1,22
	≥ 10	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,01

Таблица 10

Величины C_v , x_v и y_v для определения скорости резания резцами из быстрорежущей стали

Характеристика обрабатываемого металла	Вид обработки	Характер обработки (<i>s</i> в мм/об)	Условия работы					
			с охлаждением			без охлаждения		
			Коэффициенты и показатели степенн					
			<i>C_v</i>	<i>x_v</i>	<i>y_v</i>	<i>C_v</i>	<i>x_v</i>	<i>y_v</i>
Сталь углеро- дистая $\sigma = 75 \text{ кг/мм}^2$ <i>пч</i>	Наружное точение и рас- тачивание Прорезка и отрезка Фасонное точение	$s < 0,25$	49,9	0,25	0,33	30,4	0,25	0,50
		$s > 0,25$	31,6	0,25	0,66	24,3	0,25	0,66
		—	6,77	—	0,66	—	—	—
		—	5,40	—	0,50	—	—	—
$H_B = 215$	Нарезание резьбы на проход	<div>предвари- тельное то же окончатель- ное</div> $s < 2$ $s > 2$ —	8,8	0,10	0,30	—	—	—
			20,5	0,60	0,25	—	—	—
			22,5	0,45	0,30	—	—	—
			—	—	—	—	—	—
Чугун ковкий $H_B = 150$	Наружное точение и рас- тачивание Прорезка и отрезка	$s < 0,25$	65,0	0,20	0,25	—	—	—
		$s > 0,25$	46,0	0,20	0,50	—	—	—
		—	13,4	—	0,50	—	—	—
		—	—	—	—	—	—	—
Чугун серый $H_B = 190$	Наружное точение и рас- тачивание Прорезка и отрезка	Получистовая	—	—	—	24,7	0,15	0,30
		Грубая	—	—	—	23,6	0,15	0,40
		—	—	—	—	9,73	—	0,40
		—	—	—	—	—	—	—
Бронза сред- ней твёрдости БрАЖ 9-4	Наружное точение и рас- тачивание	$s < 0,2$	—	—	—	93,0	0,12	0,25
		$s > 0,2$	—	—	—	63,0	0,12	0,50

Таблица 11

Поправочные коэффициенты на скорость резания, учитывающие обрабатываемый материал

Обрабатываемый материал			H_B	$\tau_{пч}$ в кг/мм ²	K_{v_m}
№	Группа	Марки			
1 2 3 4 5	Сталь углеродистая конструкционная ($C \leq 0,6\%$)	10; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55; 60; Ст. 0; Ст. 1; Ст. 2; Ст. 3; Ст. 4; Ст. 5; Ст. 6	107—138	40—50	2,20
			138—169	50—60	1,69
			169—200	60—70	1,29
			200—230	70—80	1,00
			230—262	80—90	0,81
6 7 8 9 10	Сталь углеродистая инструментальная и конструкционная трудно обрабатываемая ($C \geq 0,6\%$)	Ст. 7; 65; 70; У7; У8; У8Г; У9; У10; У10Г; У12; У13	169—200	60—70	1,03
			200—230	70—80	0,80
			230—262	80—90	0,65
			262—288	90—100	0,53
			288—317	100—110	0,44
11 12 13 14 15 16	Сталь инструментальная быстрорежущая	P18 P9	174—203	60—70	0,71
			203—230	70—80	0,60
			230—260	80—90	0,51
			260—288	90—100	0,44
			288—317	100—110	0,39
			317—345	110—120	0,30
17 18 19 20 21 22 23 24	Сталь марганцовистая	15Г; 20Г; 30Г; 40Г; 50Г; 60Г; 65Г; 70Г; 30Г ₂ ; 35Г ₂ ; 40Г ₂ ; 45Г ₂ ; 50Г ₂	160—200	40—50	1,68
			200—233	50—60	1,25
			233—260	60—70	0,96
			260—275	70—80	0,80
			275—286	80—90	0,64
			286—292	90—100	0,56
			292—317	100—110	0,48
			317—345	110—120	0,40
25 26 27 28 29 30 31	Сталь хромистая	15Х; 20Х; 30Х; 35Х; 38ХА; 40Х; 45Х; 50Х	116—146	40—50	2,08
			146—174	50—60	1,44
			174—203	60—70	1,10
			203—230	70—80	0,85
			230—260	80—90	0,69
			260—288	90—100	0,56
			288—317	100—110	0,47
32 33 34 35 36 37 38 39	Сталь хромоникелевая	20ХН; 40ХН; 45ХН; 50ХН; 12ХН2; 12ХН2А; 12ХН3; 12ХН3А; 20ХН3А; 30ХН3; 37ХН3А; 12ХН4; 12ХН4А; 20ХН4; 20ХН4А	116—146	40—50	2,00
			146—174	50—60	1,48
			174—203	60—70	1,14
			203—230	70—80	0,95
			230—260	80—90	0,70
			260—288	90—100	0,66
			288—317	100—110	0,57
			317—345	110—120	0,47
40 41 42 43 44 45 46	Чугун серый	СЧ00; СЧ12-28; СЧ15-32; СЧ18-36; СЧ21-40; СЧ24-44; СЧ28-48; СЧ32-52	120—140	—	—
			140—160	—	1,51
			160—180	—	1,21
			180—200	—	1,00
			200—220	—	0,85
			220—240	—	0,72
			240—260	—	0,63
47 48 49 50 51	Чугун ковкий	КЧ30-6; КЧ33-8; КЧ35-10; КЧ32-12; КЧ30-3; КЧ35-4; КЧ40-3	100—120	—	1,76
			120—140	—	1,28
			140—160	—	1,00
			160—180	—	0,80
			180—200	—	0,66
52	Бронзы и латуни	Высокой твердости	БрАЖН 11-6-6; БрАЖН 10-4-4; БрАЖМц 9-3-1,5	150—200	—
53		Средней твердости	БрА10; БрАЖ 9-4; БрАМц 9-2; ЛМц НЖ 52-2-2-1; ЛМцЖ 52-4-1; ЛМцЖ 70-6-3-1; БрО10; БрОЦ 10-2; БрОЦ 8-4; ЛА 67-2,5; ЛК 80-3; БрОФ 10-1	100—140	—

Продолжение табл. 11

Обрабатываемый материал			H _В	$\sigma_{пл}$ в кг/мм ²	K _{сж}
№	Группа	Марки			
54	Медные сплавы	БрКЦ 4-4; БрКЦ 3-9; БрКЗ; БрКМц 3-1; БрА7; БрА5; БрОФ 6-0,1; БрОФ 6-0,4; БрОЦ 4-3; БрО4; БрКН 1-3	60—90	—	2,0
55		БрКС 3-4; БрКС 3-6; БрКЦС 3-15-6; БрОЦС 6-6-3; ЛОС 65-1-2; БрОЦС 4-4-2,5; БрОЦС 4-4-4	60—80	—	4,0
56		БрОСН 10-2-3; БрОС 10-10; БрОС 8-12; БрАЖС 8-2-2; БрАЖС 7-1,5-1,5; ЛКС 80-3-3; ЛМцС 58-2-2; ЛМцС 58-2-2-2	70—90	—	1,7
57		БрОЦС 4-4-17; БрОС 7-17; БрМцС 8-20; БрОС 5-25; БрС 30	35—65	—	12,0
58	Медь	МЗ; М4	80—70	—	8,0
59	Алюминий, литейные алюми- ниевые сплавы и силумин ¹	—	—	7—30	6,0—4,0
60	Дюралюмин ¹	—	—	20—50	6,0—4,0

¹ Для этих групп материалов поправочный коэффициент берётся в отношении скорости резания, полученной для углеродистой конструкционной стали С < 0,6% ($\sigma_{пл} = 70 \div 80$ кг/мм²).

Таблица 12

Поправочные коэффициенты на скорость резания в зависимости от состояния поверхности, термической обработки и характера заготовок (для резцов из быстрорежущей стали и твёрдых сплавов)

Состояние стали					Характер заготовки и состояние поверхности									
прокат		термообработанные			Обработка без корки или по травлёной корке			Обработка по корке¹						
		нормализация	отжиг	улучшение	сталь		чугун и медные сплавы	Твёрдость по Бринеллю H _В	сталь			чугун и медные сплавы		
прокат, поковка	отливка				отливка	прокат горячекатанный			поковка	отливка	отливка	отливка		
Значения коэффициента K _{v3}					Значения коэффициента K _{v3}					Значения коэффициента K _{v3}				
1,1	1,0	0,95	0,9	0,8	1,0	0,9	1,0	<160	0,9	0,75	0,75	0,70	0,90	
								160—200	0,9	0,80	0,80	0,75	0,90	
								200	0,9	0,85	0,85	0,80	0,95	

¹ При обработке по корке, загрязнённой песочными и тому подобными литейными включениями, K_{v2} = 0,5÷0,6 для стального литья и чугуна и K_{v2} = 0,7÷0,8 для литья из медных сплавов.

Таблица 13

Поправочные коэффициенты на скорость резания в зависимости от марки инструментальной стали

Марка стали резца	P18, P9	9ХС	У10А, У12А
Значение коэффициента K _{vн}	1,0	0,6	0,5

Таблица 14

Средние стойкости резцов из быстрорежущей стали и твёрдых сплавов¹

Материал режущей части	Сечение державки					
	10×10	12×20	15×15	20×30	25×40	30×45
Твёрдые сплавы	60	75	90	120	150	180
Быстрорежущая сталь	—	60	—	90	120	150

¹ Для фасонных резцов из быстрорежущей стали стойкость принимают 120 мин.

Таблица 15
 Поправочные коэффициенты на скорость резания резцами из быстрорежущей стали с различным сечением державок

Обрабатываемый металл	Сечение державки резца в мм									
	6×6	10×10 Ø10 Ø12	12×12 10×16	16×16 12×20 Ø16	20×20 16×25 Ø20 Ø25	20×30 25×25 Ø30	30×30 25×40 Ø40	30×45 40×40	40×60	60×90
Значения коэффициента K_{v_0}										
Сталь и стальное литьё . .	0,80	0,87	0,90	0,93	0,97	<u>1,0</u>	1,04	1,08	1,12	1,19
Чугуны и медные сплавы .	0,89	0,93	0,95	0,97	0,98	<u>1,0</u>	1,02	1,04	1,06	1,09

Таблица 16
 Поправочные коэффициенты на скорость резания резцами из быстрорежущей стали с разными геометрическими параметрами
 Форма передней грани резца

Плоская	Радиусная	Плоская или радиусная с фаской
Значения коэффициента $K_{r_{ф}}$		
<u>1,0</u>	1,05	1,15

Главный угол в плане φ

Характеристика обрабатываемого металла	Подача s в мм/об	Значения φ°			
		30	45	60	90
		Значения коэффициента $K_{\varphi\varphi}$			
Сталь, стальное литьё, алюминиевые и магниевые сплавы .	$\geq 0,25$	1,16	<u>1,0</u>	0,84	0,66
Чугун	$\geq 0,25$	1,20	<u>1,0</u>	0,88	0,73
Медные сплавы	—	—	1,13	<u>1,0</u>	0,83

Вспомогательный угол в плане φ_1

Характеристика обрабатываемого металла	Значения φ_1°				
	до 10	15	20	30	45
	Значения коэффициента K_{φ_1}				
Для всех металлов	<u>1,0</u>	0,97	0,94	0,91	0,87

Радиус при вершине резца r

Характеристика обрабатываемого металла	Характер обработки	Значения r в мм			
		1	2	3	5
		Значения коэффициента K_{vr}			
Сталь, стальное литьё, алюминиевые и магниевые сплавы	Грубая	0,94	<u>1,0</u>	1,03	—
	Получистовая	0,86	<u>1,0</u>	1,09	1,21
Чугун	Грубая	0,90	<u>1,0</u>	1,06	—
	Получистовая	0,94	<u>1,0</u>	1,03	1,07

Таблица 17

Поправочные коэффициенты на скорость резания резцами из быстрорежущей стали в зависимости от периода стойкости

Характеристика обрабатываемого металла	Типы резцов	Условия работы	Показатели относительной стойкости m	Период стойкости T мин.						
				30	60	90	120	150	210	360
				Значения коэффициента K_{vT}						
Сталь, стальное литье, ковкий чугун	Проходные, подрезные и расточные Прорезные и отрезные Фасонные Резьбовые	С охлаждением	0,125	1,00	<u>1,0</u>	0,95	0,92	0,90	0,85	0,80
			0,250	1,19	<u>1,0</u>	0,90	0,83	0,79	0,71	0,64
			0,30	—	—	1,09	<u>1,0</u>	0,93	0,81	0,72
			0,08—0,13	—	—	1,04	<u>1,0</u>	0,98	0,83	0,89
Чугун серый	Проходные, подрезные и расточные Прорезные и отрезные	Без охлаждения	0,10	1,07	<u>1,0</u>	0,96	0,93	0,91	0,87	0,84
			0,15	1,11	<u>1,0</u>	0,94	0,90	0,87	0,81	0,76
Медные сплавы	Все типы, кроме фасонных	Без охлаждения	0,23	1,16	<u>1,0</u>	0,91	0,84	0,80	0,73	0,66
Алюминиевые и магниевые сплавы			0,30	1,23	<u>1,0</u>	0,88	0,81	0,75	0,66	0,58

Таблица 18

Поправочные коэффициенты на скорость резания резцами из быстрорежущей стали в зависимости от величины износа задней грани

Характеристика обрабатываемого металла	Типы резцов	Величина износа задней грани в мм								
		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	
		Значения коэффициента $K_{\nu\delta}$								
Сталь, стальное литье, ковкий чугун	Проходные, подрезные и расточные	0,93	0,95	0,97	<u>1,0</u>	—	—	—	—	
	Прорезные и отрезные	0,85	<u>1,0</u>	—	—	—	—	—	—	
Серый чугун	Проходные	—	—	—	0,93	0,94	0,95	0,97	<u>1,0</u>	
	Подрезные и расточ- ные	0,94	0,96	0,97	<u>1,0</u>	—	—	—	—	
	Прорезные и отрезные	0,85	0,90	0,95	<u>1,0</u>	—	—	—	—	

Таблица 19

Величины C_v , x_v и y_v для определения скорости резания резцами из твёрдого сплава при скоростных методах резания чугуна и стали

Характеристика обрабатываемого металла	Вид и характер обработки		C_v	x_v	y_v
Сталь конструкционная углеродистая и легированная незакалённая $\sigma_{лч} = 75 \text{ кг/мм}^2$	Наружное продольное точение без охлаждения (твёрдый сплав Т15К6)	$s < 0,3 \text{ мм/об}$	170	0,18	0,20
		$s > 0,3 \text{ »}$	141,5	0,18	0,35
Чугун серый $H_B = 190$	Наружное продольное точение без охлаждения (твёрдый сплав ВК8)	$s < 0,4 \text{ мм/об}$	77,4	0,13	0,20
		$s > 0,4 \text{ »}$	68,5	0,20	0,40

Таблица 20

Поправочные коэффициенты на скорость резания резцами из твёрдых сплавов в зависимости от периода стойкости T

Характеристика обрабатываемого металла	Стойкость резца T мин.										
	20	30	45	60	75	90	120	150	180	240	360
	Значения коэффициента K_{vT}										
Г Незакалённая сталь, чугун	1,33	1,24	1,15	1,08	1,04	$\frac{1,0}{1,0}$	0,94	0,91	0,87	0,82	0,76
Закалённая сталь	1,15	1,11	1,03	1,04	1,02	$\frac{1,0}{1,0}$	0,97	0,95	0,93	0,92	0,88

Таблица 21

Поправочные коэффициенты на скорость резания в зависимости от марки твёрдого сплава (приближённо)

Марки твёрдых сплавов	Обработка стали			Обработка чугуна		
	T30K4	T15K6	T5K10	BK8	BK6	BK3
Значения коэффициента $K_{vм}$. .	1,4	$\frac{1,0}{1,0}$	0,65	$\frac{1,0}{1,0}$	1,2	1,4

Таблица 22

Поправочные коэффициенты на скорость резания резцами из твёрдых сплавов в зависимости от формы передней грани

Наименование формы передней грани	Значения коэффициента $K_{vф}$
Плоская или радиусная с фаской с положительным значением главного переднего угла γ	$\frac{1,00}{1,00}$
Плоская двойная или одинарная с отрицательным передним углом γ	1,05

Таблица 23

Поправочные коэффициенты на скорость резания резцами из твёрдых сплавов в зависимости от главных углов в плане φ

Характеристика обрабатываемого металла	Значения главного угла φ°						
	10	20	30	45	60	70	90
	Значения коэффициента $K_{v\varphi}$						
Сталь незакалённая и закалённая . .	1,55	1,30	1,13	$\frac{1,0}{1,0}$	0,92	0,86	0,81

Таблица 24

Поправочные коэффициенты на скорость резания резцами из твёрдых сплавов в зависимости от принятой величины износа задней грани

Величина износа в мм	Значение коэффициента $K_{v\delta}$
0,8—1,0	$\frac{1,0}{1,33}$
1,5—2,0	$\frac{1,0}{1,33}$

Поправочные коэффициенты $K_{vм}$ для определения скоростей резания при обработке твёрдосплавными резцами металлов с различными механическими свойствами необходимо определять по формулам:

для стали

$$K_{vм} = \left(\frac{\sigma_{пч}}{\sigma_{пч}'} \right)^{n_v};$$

для чугуна

$$K_{vм} = \left(\frac{H_B}{H_B'} \right)^{n_v};$$

где $\sigma_{пч}$ — принятый в табл. 10 предел прочности, равный 75 кг/мм^2 ;

$\sigma_{пч}'$ — предел прочности данной обрабатываемой стали в кг/мм^2 ;

H_B — принятая в табл. 10 твёрдость по Бринеллю, равная 190;

H_B' — твёрдость по Бринеллю данного обрабатываемого серого чугуна;

n_v — показатель степени.

Для конструкционных углеродистых и легированных незакалённых сталей $n_v = 1,50$; для закалённой стали $n_v = 2,00$; для серого чугуна $n_v = 1,45$.

Поправочные коэффициенты $K_{v\delta}$, $K_{v\varphi_1}$ и $K_{v\varphi}$ при работе резцами из твёрдых сплавов не вводятся.

Усилие резания определяется по следующей упрощённой формуле:

$$P_z = C_p t^{x_p} s^{y_p}.$$

Результат, полученный по указанной формуле, необходимо умножить на соответствующие поправочные коэффициенты для изменённых условий резания:

$$K_{pм}; K_{pз}; K_{p\gamma}; K_{p\varphi}; K_{pк}; K_{pг}; K_{pф}; K_{p\delta}.$$

Значения этих поправочных коэффициентов, а также величины C_p , x_p и y_p по данным МСС приведены в табл. 25—32 [30, 31].

Крутящий момент при точении

$$M_{кр} = \frac{P_z D}{2000} \text{ кгм},$$

где P_z — усилие резания в кг;

D — диаметр обрабатываемой поверхности изделия в мм.

Эффективная мощность резания

$$N_{\text{э}} = \frac{P_{\text{zv}}}{75 \cdot 60 \cdot 1,36} \text{ квт.}$$

Потребная мощность электродвигателя станка

$$N_{\text{потр}} = \frac{N_{\text{э}}}{\eta},$$

где η — к. п. д. станка.

Таблица 25

Величины C_p , x_p и u_p для определения усилия резания при работе резцами из быстрорежущей стали

Характеристика обрабатываемого металла	Вид обработки	C_p	x_p	u_p
Сталь углеродистая, $\sigma_{\text{пл}} = 75 \text{ кг/мм}^2$, $H_B = 215$	Наружное точение и растачивание	200	1,0	0,75
	Фасонное точение	212	1,0	0,75
	Прорезка и отрезка	247	1,0	1,0
Чугун ковкий $H_B = 150$	Наружное точение и растачивание	100	1,0	0,75
	Прорезка и отрезка	138,7	1,0	1,0
Чугун серый $H_B = 190$	Наружное точение и растачивание	114	1,0	0,75
	Прорезка и отрезка	158	1,0	1,0
Бронза средней твердости БрАЖ 9-4	Наружное точение и растачивание	55	1,0	0,66

Таблица 26

Поправочные коэффициенты на усилие резания при точении резцами из твердых сплавов незакаленной стали в зависимости от формы передней грани резца

Форма передней грани	Значения коэффициента $K_{p\phi}$
Плоская или радиусная с фаской при положительном переднем угле	1,0
Плоская двойная или одинарная с отрицательным передним углом	1,2

Таблица 27

Величины C_p , x_p и u_p для определения усилия резания при скоростном точении стали и чугуна резцами из твердых сплавов

Характеристика обрабатываемого металла	Вид обработки	C_p	x_p	u_p
Углеродистые и легированные стали, горячекатаные, конструктивные, $\sigma_{\text{пл}} = 75 \text{ кг/мм}^2$, $H_B = 215$	Наружное продольное точение и растачивание . .	191	1,0	0,75
Чугун серый	Наружное продольное точение и растачивание . .	92	1,0	0,75
Примечание. Поправочные коэффициенты для определения усилия резания при скоростном резании стали и серого чугуна можно брать по соответствующим данным табл. 26, 28 и, кроме того, из табл. 30 — 32.				

Таблица 28

Поправочные коэффициенты на усилие резания при обработке разных групп металлов

Металлы	Значения коэффициента $K_{pз}$
Холоднотянутые стали	0,80
Горячекатаные отожженные, нормализованные, термообработанные (закалка с высоким отпускком) стали, а также алюминиевые и магниевые сплавы	1,0
Алюминий и силумин	0,20
Дюралюмин $\sigma_{\text{пл}} = 25 \div 35 \text{ кг/мм}^2$	0,30—0,55
Электрон $\sigma_{\text{пл}} = 16 \text{ кг/мм}^2$. . .	0,15

Таблица 29

Поправочные коэффициенты на усилие резания при различном износе задней грани резца из быстрорежущей стали

Характеристика обрабатываемого металла	Величина износа задней грани резца в мм			
	4,0	2,0	1,0	0,5
	Значения коэффициента $K_{p\delta}$			
Сталь, стальное литье и ковкий чугун	—	1,0	0,95	0,93
Серый чугун	1,0	0,83	0,82	—

Таблица 30

Поправочные коэффициенты на усилие резания при точении незакаленной стали резцами из твердых сплавов с разным износом задней грани

Величина износа задней грани резца в мм	Значения коэффициента $K_{p\delta}$
0,8—1,0	1,0
1,5—2,0	1,05

Таблица 31

Поправочные коэффициенты на усилие резания при обработке металлов с различными механическими свойствами
Сталь и стальное литьё

Предел прочности $\sigma_{пл}$ в кг/мм ²	30—40	40—50	50—60	60—70	70—80	80—90	90—100	100—110	110—120
Значения коэффициента K_{p_m}	0,69	0,76	0,82	0,89	<u>1,0</u>	1,10	1,18	1,28	1,36

Ковкий чугун

Твёрдость по Бринеллю H_B . .	100—120	120—140	140—160	160—180	180—200
Значения коэффициента K_{p_m} . .	0,84	0,92	<u>1,0</u>	1,07	1,14

Серый чугун

Твёрдость по Бринеллю H_B	140—160	160—180	180—200	200—220	220—240	240—260	260—280
Значения коэффициента K_{p_m}	0,88	0,94	<u>1,0</u>	1,06	1,12	1,17	1,22

Медные сплавы (бронзы и латуни)

Гетерогенные		Свинцовистые при основной гетерогенной структуре	Гомогенные	С содержанием свинца ниже 10% при основной гомогенной структуре	Медь	С содержанием свинца выше 15%
твёрдые	средней твёрдости					
Значения коэффициента K_{p_m}						
0,75	<u>1,0</u>	0,62	1,8—2,2	0,65—0,70	1,7—2,1	0,25—0,45

Таблица 32

Поправочные коэффициенты на усилие резания при различных геометрических параметрах режущей части резца

Влияние переднего угла γ

Характеристика обрабатываемого металла	Передний угол γ°						
	8	12	20	25	30		
	Значения коэф-циента K_{p_γ}						
Сталь и стальное литье при $\sigma_{пл}$ в кг/мм ²	{	<50	—	—	1,06	1,0	0,94
		50—80	—	1,10	1,0	0,94	—
		80—100	1,06	1,0	0,91	—	—
		100—120	1,0	0,94	—	—	—
Чугун и медные сплавы при H_B .	{	150	—	1,10	1,0	—	—
		150—200	1,06	1,0	0,91	—	—
		200—260	1,0	0,94	—	—	—





Влияние главного угла в плане φ

Характеристика обрабатываемого металла	Главный угол в плане φ°						
	10	20	30	45	60	75	90
	Значения коэффициента K_{p_φ}						
Сталь, стальное литьё, алюминиевые и магниевые сплавы	1,32	1,16	1,08	1,0	0,98	1,03	1,08
Чугун	—	—	1,05	1,0	0,96	0,94	0,92
Медные сплавы . .	—	—	—	1,04	<u>1,0</u>	0,98	0,96

Влияние радиуса при вершине резца r

Характеристика обрабатываемого металла	Радиус при вершине r мм				
	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0
	Значения коэффициентов K_{p_r}				
Сталь и стальное литьё	0,87	0,93	<u>1,0</u>	1,04	1,10
Чугун	0,91	0,95	<u>1,0</u>	1,03	1,07

Влияние формы режущей кромки фасонных резцов при обработке стали оценивают для следующих примеров

Форма режущей кромки				
Значения коэффициента K_{p_k}	0,85	0,90	<u>1,0</u>	1,05

СВЕДЕНИЯ О ТОЧЕНИИ РЕЗЦАМИ С ПЛАСТИНАМИ ИЗ МИНЕРАЛОКЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

В 1932 г. в СССР на фарфоровом заводе им. Ломоносова впервые начали применять для обработки металлов резанием минералокерамические материалы.

Эти материалы имеют по сравнению с металлокерамическими твёрдыми сплавами ряд преимуществ, а именно: полное отсутствие в них вольфрама, титана и кобальта, имеющих важное значение для промышленности, значительно меньшая стоимость (в десятки раз), возможность в ряде случаев допускать большие скорости резания.

Следует, однако, отметить меньшую прочность минералокерамических материалов по сравнению с металлокерамическими твёрдыми сплавами.

Средние значения некоторых физико-механических свойств минералокерамических материалов:

Теплоёмкость	$C \approx 0,2 \text{ кал/г} \cdot \text{град}$
Теплопроводность	$\lambda \approx 0,009 \text{ кал/см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}$
Удельный вес	$\gamma \approx 3,75 \text{ г/см}^3$
Коэффициент линейного расширения	$\alpha (20-800^\circ) \approx 9 \cdot 10^{-6}$
Твёрдость	$R_A \approx 88 \div 90$
Предел прочности на изгиб	$\sigma_{изг} \approx 30 \text{ кг/мм}^2$
Предел прочности на сжатие	$\sigma_{сж} \approx 180 \text{ кг/мм}^2$

Создание новых минералокерамических инструментальных материалов и усовершенствование технологии их изготовления осуществлялось ВНИИАШ и МХТИ им. Менделеева совместно с ЦНИИТМаш, а исследования их режущих свойств и установление режимов резания — лабораториями резания металлов ЦНИИТМаш и ВНИИ.

Практикой работы ряда крупных заводов показана целесообразность применения резцов с пластинами из минералокерамических материалов при полустойковой обработке чугунов, сталей, а также при обработке цветных металлов.

Лучшими марками минералокерамических материалов в настоящее время являются ЦМ-332 и ТВ-48.

На Институт машиноведения Академии наук СССР возложена координация всех работ по исследованию инструментов с пластинами из минералокерамических материалов.

Резцы с пластинами из минералокерамических материалов изнашиваются в основном по задней грани, на передней же грани наблюдаются только следы от соприкосновения со стружкой.

Величина конечного износа колеблется в пределах от 0,5 до 1,0 мм (в зависимости от толщины среза) и характеризуется сколом режущей кромки.

В табл. 33 приведены примерные допустимые величины износа задней грани резцов, оснащённых пластинами из минералокерамических материалов, при обработке стали [14].

Таблица 33

Допустимые величины износа задней грани резцов с пластинами из минералокерамических материалов

Передний угол в градусах	Передний угол фаски в градусах	Ширина фаски	Допустимый износ в мм
-10 +10	— -5 ÷ -10	1s	0,8 ± 0,9 До 0,6

В табл. 34 приведены ориентировочные, величины подач при обработке стали и чугуна, а в табл. 35—при обработке различных конструкционных сталей [14].

Таблица 34

Подачи при точении стали и чугуна резцами с пластинами из минералокерамических материалов

Обрабатываемый материал	Предел прочности $\sigma_{пч}$ в кг/мм ²	Твёрдость H_B в кг/мм ²	Главный угол в плане в градусах			
			30	45	60	90
			Подача в мм/об			
Сталь . .	65	—	0,6	0,45	0,35	0,3
Чугун . .	—	190	0,8	0,55	0,45	0,4

Таблица 35

Подачи при точении конструкционных сталей резцами с пластинами из минералокерамических материалов ($\varphi = 45^\circ$)

Предел прочности $\sigma_{пч}$ в кг/мм ²	65	80	120	160
Подача s в мм/об	0,45	0,35	0,25	0,15

Подачи, приведённые в табл. 34 и 35, установлены с учётом работы резца в условиях жёсткости системы и при величинах износа согласно табл. 33.

По данным ВНИИ [7], в табл. 36 приведены коэффициенты относительной стойкости минералокерамических материалов по сравнению с твёрдым сплавом при обработке стали 45 ($v = 200 \text{ м/мин}$; $t = 3 \text{ мм}$; $s = 0,3 \text{ мм/об}$) резцами с главным углом в плане $\varphi = 45^\circ$.

Таблица 36

Коэффициенты относительной стойкости резцов с пластинами из минералокерамических материалов и твёрдых сплавов

Материал режущей части резца	Толщина пластин в мм	Количество опытов	Средняя стойкость в минутах	Коэффициент относительной стойкости
T15K6	4,5	3	23,5	1,0
ЦМ-332	4,0—4,6	5	64,4	2,7
ТВ-48	5,5	5	50,0	2,1

По данным ЦНИИТМаш и ВНИИ, увеличение стойкости резцов с минералокерамическими пластинами по сравнению с твёрдым сплавом ВК8 при обработке чугуна твёрдостью $H_B=180-200$ кг/мм² доходит до 3 раз. Скорости резания, допускаемые минералокерамическим материалом ЦМ-332 при наружном продольном точении конструктивных сталей и чугуна ($H_B=220$) [14, 16], приведены в табл. 37 и 38, а поправочные коэффициенты на скорость резания (по тем же данным) — в табл. 39 и 40.

Таблица 37

Скорости резания при наружном продольном точении конструктивных сталей $\tau_{дч}=65$ кг/мм² резцами с пластинами из минералокерамического материала марки ЦМ-332

Глубина резания в мм	Подача в мм/об							
	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70
	Скорость резания в м/мин							
0,5	467	420	386	360	—	—	—	—
1,0	410	367	340	316	—	—	—	—
1,5	380	341	314	293	264	—	—	—
2,0	360	322	303	277	250	230	—	—
2,5	345	309	286	267	240	221	206	—
3,0	334	295	275	257	231	213	199	188

Таблица 38

Скорости резания при наружном продольном точении чугуна ($H_B=220$ кг/мм²) резцами с пластинами из минералокерамического материала марки ЦМ-332

Глубина резания в мм	Подача в мм/об							
	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70
	Скорость резания в м/мин							
0,5	363	342	327	317	—	—	—	—
1,0	317	299	286	275	—	—	—	—
1,5	285	269	257	248	234	—	—	—
2,0	275	259	248	240	226	216	—	—
2,5	265	248	238	230	217	207	200	—
3,0	255	240	230	221	209	200	193	187

Таблица 39

Поправочные коэффициенты на скорость резания при наружном продольном точении резцами с пластинами из минералокерамического материала марки ЦМ-332 в зависимости от периода стойкости

Обрабатываемый материал	Стойкость резца T мин.									
	20	30	45	60	75	90	12	180	240	360
	Значение коэффициента K_T									
Незакалённая сталь	1,52	1,36	1,22	1,11	1,05	1,0	0,92	0,8	0,78	0,69
Чугун	1,89	1,60	1,34	1,18	1,10	1,0	0,91	0,76	0,66	0,58

Для определения скоростей резания при наружном продольном точении можно также пользоваться формулами, полученными ЦНИИТМаш [16]:

для обработки стали

$$v_{90} = \frac{203}{s^{0,37} t^{0,19}} \text{ м/мин};$$

для обработки чугуна

$$v_{90} = \frac{217}{s^{0,2} t^{0,2}} \text{ м/мин}.$$

После определения скоростей резания по приведённым формулам следует ввести поправочные коэффициенты на скорость резания по табл. 39 и 40.

Таблица 40

Поправочные коэффициенты на скорость резания при наружном продольном точении резцами с пластинами из минералокерамического материала марки ЦМ-332 в зависимости от главного угла в плане

Обрабатываемый материал	Главный угол в плане в градусах			
	30	45	60	90
	Значение коэффициента K_{φ}			
Назакалённая сталь	1,0	1,0	0,65	—
Чугун	0,95	1,0	0,86	0,51

Примечание. Величина износа задней грани при обработке стали соответствует 0,5—1,0 мм, а при обработке чугуна 0,6—0,9 мм.

Теплопроводность минералокерамических материалов — во много раз более низкая, чем теплопроводность металлокерамического твёрдого сплава и быстрорежущей стали. Это является причиной возникновения внутренних напряжений и трещин в пластинах из минералокерамического материала при быстром их нагреве и охлаждении.

Учитывая особенности минералокерамического материала, при работе резцами, оснащёнными минералокерамическими пластинами, рекомендуется соблюдать следующие условия их эксплуатации [7, 14]:

1) избегать работы при наличии вибраций системы станок — деталь — инструмент;

2) обрабатывать детали без радиального врезания;

3) продольную обточку производить после предварительной подрезки торца;

4) производить по мере износа резца периодическую доводку его, не снимая со станка, сначала оселком (из зелёного карбида кремния зернистостью 100—120 и твёрдостью S_M), а затем чугунным бруском с пастой (из карбида бора или зелёного карбида кремния зернистостью 220—260);

5) обработку можно производить без применения охлаждающе-смазывающей жидкости; если по имеющимся технологическим условиям охлаждение необходимо, то должна быть обеспечена обильная подача охлаждающе-смазывающей жидкости на пластину ещё до врезания режущей кромки в обрабатываемый материал;

6) во избежание возникновения сильных ударов по пластине по возможности не обрабатывать прерывистых поверхностей;

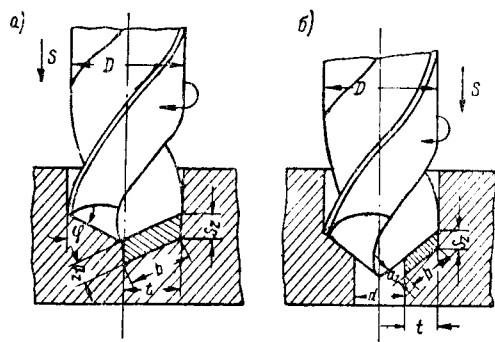
7) в случае обработки деталей сложной формы следует распределять работу между резцами, оснащёнными пластинами из минералокерамических и из металло-керамических твёрдых сплавов (учитывая особенности и свойства указанных материалов).

СВЕРЛЕНИЕ, РАССВЕРЛИВАНИЕ, ЗЕНКЕРОВАНИЕ, РАЗВЁРТЫВАНИЕ

Сверление и рассверливание

Элементы резания при сверлении и рассверливании показаны на фиг. 12.

Подачей при сверлении s мм/об называется величина перемещения сверла вдоль своей оси за один оборот сверла.



Фиг. 12. Элементы резания: а — при сверлении в сплошном материале; б — при рассверливании

На каждую из двух главных режущих кромок сверла приходится половина величины подачи:

$$s_z = \frac{s}{2}.$$

За глубину резания t мм при сверлении в сплошном материале принимают половину диаметра сверла, т. е.

$$t = \frac{D}{2}.$$

Толщина среза на одну режущую кромку:

$$a_z = s_z \sin \varphi = \frac{s}{2} \sin \varphi,$$

где φ — половина угла при вершине сверла.

Ширина среза b мм равна длине главной режущей кромки, находящейся в соприкосновении с обрабатываемым материалом.

При сверлении в сплошном материале (фиг. 12, а)

$$b = \frac{D}{2 \sin \varphi}.$$

При рассверливании, т. е. при сверлении материала с уже имеющимся отверстием диаметром d (фиг. 12, б), элементы резания определяются по следующим формулам:

$$t = \frac{D-d}{2} \text{ мм}; \quad b = \frac{D-d}{2 \sin \varphi} \text{ мм}.$$

Скорость резания при сверлении

$$v = \frac{\pi D n}{1000},$$

где n — число оборотов сверла (или изделия при сверлении на токарном станке) в минуту.

Основное технологическое время

$$T_o = \frac{L}{ns},$$

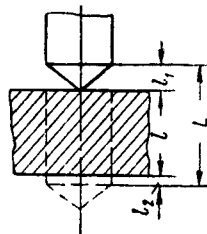
где L — длина прохода сверла в мм;

$$L = l + l_1 + l_2 \text{ (фиг. 13),}$$

где l — глубина сверления в мм;

l_1 — величина врезания сверла в мм;

l_2 — перебег сверла, равный $1 \div 3$ мм.



Фиг. 13. Величины врезания и перебега сверла

При сверлении в сплошном материале сверлом с одинарной заточкой

$$l_1 \approx 0,3 D;$$

при сверлении в сплошном материале сверлом с двойной заточкой

$$l_1 \approx 0,4 D;$$

при рассверливании

$$l_1 \approx 0,3 (D - d).$$

Характер износа режущей части спиральных свёрл и его допустимые величины показаны в табл. 41 [30, 31].

Таблица 41

Характер и допустимые величины износа режущей части спиральных свёрл

Обрабатываемый материал и условия работы	Материал режущей части	Характер износа	Допустимая величина износа δ в мм
Сталь (с охлаждением)	Быстрорежущая сталь Твёрдый сплав ВК8	Износ задней грани	Задняя грань 1,0 ÷ 1,2 Задняя грань 0,4 ÷ 1,3
Чугун (без охлаждения)	Быстрорежущая сталь Твёрдый сплав ВК8	Износ уголка Износ задней грани Износ передней грани Износ лангетки	Уголки 0,5 ÷ 1,2 Задняя грань 0,4 ÷ 1,3

Допустимая подача при сверлении

$$s = C_s D^{0.6} \text{ мм/об.}$$

где C_s — коэффициент, характеризующий механические свойства и технологические факторы обрабатываемого материала.

Величины коэффициента C_s (при сверлении с $L \leq 3D$) и поправочные коэффициенты на подачу при $L > 3D$ приведены в табл. 42 и 43 [23].

Таблица 42

Величины коэффициента C_s для определения подачи при сверлении

Обрабатываемый материал		Группа подач		
группа	твёрдость H_B	I	II	III
		Значения коэффициента C_s		
Сталь	<160	0,085	0,063	0,042
	160—240	0,063	0,047	0,031
	240—300	0,046	0,033	0,023
	>300	0,038	0,028	0,019
Чугун	<170	0,130	0,097	0,065
	>170	0,078	0,058	0,039
Цветные металлы	Мягкие	0,170	0,130	0,085
	Твёрдые	1,130	0,097	0,005

Таблица 43

Поправочные коэффициенты на подачу в случае сверления, зенкерования и развёртывания глубоких отверстий

Длина L	Поправочные коэффициенты
$(3 \div 5) D$	0,90
$(5 \div 7) D$	0,80
$(7 \div 10) D$	0,75

Группа I подач принимается для случаев глухого сверления: без допуска; по 5-му классу точности; под последующее рассверливание; под последующую обработку двумя или тремя инструментами (зенкером или резцом и развёртками или расточной пластиной); под нарезание резьбы метчиками при условии обработки отверстия после сверла зенкером, резцом или расточной пластиной.

Группа II подач принимается для случаев сверления глухого и на проход; в деталях не-

достаточной жёсткости (тонкостенные детали, детали коробчатой формы, тонкие выступающие части деталей и т. п.); под последующее нарезание резьбы метчиками; под последующую обработку отверстия одним зенкером с нормальной глубиной резания или двумя развёртками.

Группа III подач принимается для сверления глухого и на проход точных отверстий при последующей обработке одним зенкером с малой глубиной резания или одной развёрткой.

Подачи при рассверливании следует принимать в 1,5—2,0 раза больше, чем при сверлении в сплошном материале, так как глубина резания при рассверливании сверлом того же диаметра меньше, чем при сверлении.

Скорость резания, допускаемая по стойкости свёрл, определяется по формуле

$$v = \frac{C_v D^{z_v}}{T m s^{y_v}} \text{ м/мин.}$$

Скорость резания при рассверливании

$$v = \frac{C_v D^{z_v}}{T m t^{x_v} s^{y_v}} \text{ м/мин.}$$

В приведённых формулах T — период стойкости сверла в минутах, т. е. время его работы до затупления (от переточки до переточки).

Средние стойкости свёрл T приведены в табл. 44 [30].

Величины C_v , m , z_v , y_v и x_v приведены в табл. 45 [30].

Скорости резания, подсчитанные по вышеприведённым формулам для определённых условий обработки, надо умножать на поправочные коэффициенты, приведённые в табл. 46, 47, 48, 49 [10, 30].

В табл. 44 поправочные коэффициенты приведены для тех же групп материалов, которые даны в табл. 11.

В табл. 50 приводятся рекомендуемые режимы резания при сверлении отверстий в закалённых сталях свёрлами диаметром $10 \div 30$ мм с напаянными пластинами твёрдого сплава марки Т15К6 [31].

В процессе резания сверло работает на продольный изгиб и сжатие от осевого усилия $P = 2P_x$ и на кручение от момента M , создаваемого силой P_z (фиг. 14).

Таблица 44

Средние величины стойкости свёрл

Обрабатываемый материал	Материал ,режущей части	Диаметр сверла в мм												
		2-5	6-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-69	70-79
		Стойкость сверла в минутах												
Сталь	Быстрорежущая сталь	6-12	10-18	12-24	18-30	25-36	30-42	35-55	60-80	75-95	90-120	120-150	140-180	200-270
Чугун	Твёрдый сплав марки ВК8	1	1	22-30	30-36	36-45	60-70	70-80	1	1	1	1	1	1

Таблица 45

Величины C_v , m , z_v , y_v и x_v для определения скорости резания при сверлении и рассверливании свёрлами из быстрорежущих сталей

Обрабатываемый материал	Предел прочности $\sigma_{\text{дч}}$ в кг/мм ²	НБ	Вид обработки	Подача s в мм/об	C_v	m	z_v	y_v	x_v
Сталь углеродистая конструкционная	75	215	Сверление	$\leq 0,2$ $> 0,2$	5,0 7,0	0,2 0,2	0,4 0,4	0,7 0,5	—
			Рассверливание	—	11,6	0,2	0,4	0,5	0,2
Чугун серый	—	190	Сверление	$\leq 0,3$ $> 0,3$	10,5 12,2	0,125 0,125	0,25 0,25	0,55 0,4	—
			Рассверливание	—	16,7	0,125	0,25	0,4	0,1
Чугун ковкий	—	150	Сверление	$\leq 0,3$ $> 0,3$	15,6 18,1	0,125 0,125	0,25 0,25	0,55 0,4	—
			Рассверливание	—	24,8	0,125	0,25	0,4	0,1
Бронза БрАЖ 9-4	—	100—140	Сверление	$\leq 0,3$ $> 0,3$	23,4 27,2	0,125 0,125	0,25 0,25	0,55 0,4	—
			Рассверливание	—	37,2	0,125	0,25	0,4	0,1

Таблица 46

Поправочные коэффициенты на скорость резания, учитывающие марки стали инструмента

Материал инструмента	Марки стали			
	P18, P9	9ХС	У10А, У12А	твёрдый сплав ВК8
Поправочный коэффициент	1,00	0,65	$\leq 0,5$	2,2
Область применения	Сталь и чугун $H_B > 230$	Сталь и чугун $H_B = 200 \div 230$	Сталь и чугун $H_B = 150 \div 180$	Чугун любой твёрдости

Таблица 47

Поправочные коэффициенты на скорость резания, учитывающие длину обрабатываемого отверстия

Длина отверстия до	$\leq 3D$	4D	5D	6D	8D	10D
Поправочный коэффициент . .	1,00	0,85	0,75	0,7	0,6	0,5

Таблица 48

Поправочные коэффициенты на скорость резания, учитывающие состояние обрабатываемой стали

Состояние стали	Холодно-тянутая	Горячекатаная	Нормализованная	Отожжённая	Улучшенная
Поправочный коэффициент	1,1	1,0	0,95	0,9	0,8

Таблица 49

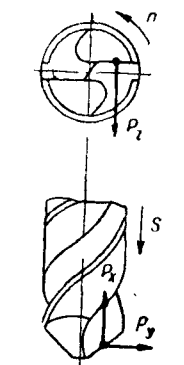
Поправочные коэффициенты на скорость резания, учитывающие обрабатываемый материал

№ материала (по табл. 11)	Поправочный коэффициент	№ материала (по табл. 11)	Поправочный коэффициент	№ материала (по табл. 11)	Поправочный коэффициент
1	1,03	21	0,63	41	1,35
2	1,32	22	0,57	42	1,15
3	1,14	23	0,54	43	1,00
4	1,00	24	0,47	44	0,85
5	0,90	25	1,34	45	0,77
6	0,91	26	1,12	46	0,69
7	0,80	27	0,97	47	1,50
8	0,72	28	0,85	48	1,20
9	0,65	29	0,76	49	1,00
10	0,61	30	0,69	50	0,85
11	0,63	31	0,65	51	0,73
12	0,60	32	1,42	52	0,67
13	0,54	33	1,19	53	1,00
14	0,49	34	1,03	54	2,00
15	0,46	35	0,90	55	4,0
16	0,40	36	0,81	56	1,67
17	1,01	37	0,73	57	12,0
18	0,92	38	0,69	58	8,0
19	0,80	39	0,60	59	4,0—6,0
20	0,70	40	1,63	60	4,0—6,0

Таблица 50

Режимы резания при сверлении закалённой стали свёрлами с пластинами из твёрдого сплава T15K6 с охлаждением

H_{RC}	Подача s в мм/об	Скорость резания v в м/мин
До 40	0,04—0,05	60
40	0,03	55—60
55	0,025	55
64	0,02	50



Фиг. 14. Усилия, действующие при сверлении

Осевое усилие и крутящий момент, возникающие при сверлении, определяют соответственно по следующим формулам:

$$P = C_p D s^{0,8} \text{ кг};$$

$$M = C_m D^{1,9} s^{0,8} \text{ кгм.м.}$$

Осевое усилие и крутящий момент при рассверливании можно определять по следующим формулам [37]:

при обработке сталей, цветных металлов и лёгких сплавов

$$P = C'_p s^{0,7} t^{1,3} \sigma_{пч}^{0,75} \text{ кг};$$

$$M = C'_m D s^{0,8} t^{0,9} \sigma_{пч}^{0,7} \text{ кгм.м.};$$

при обработке чугунов и бронзы

$$P = C'_p s^{0,4} t^{1,2} H_B^{0,6} \text{ кг};$$

$$M = C'_m D s^{0,8} t^{0,75} H_B^{0,6} \text{ кгм.м.}$$

C_p ; C'_p ; C_m ; C'_m — по табл. 51 [30, 37].

Таблица 51

Величины C_p , C'_p , C_m и C'_m для определения осевых усилий и крутящих моментов при сверлении и рассверливании

Обрабатываемый материал	Предел прочности $\sigma_{пч}$ в кг/мм ²	Твёрдость по Бринеллю H_B	C_p	C'_p	C_m	C'_m
Сталь углеродистая конструкционная	75	215	84,7	1,35	33,8	3,8
Чугун серый	—	190	60,5	0,92	23,3	3,16
» ковкий	—	150	52,5	0,92	20,3	3,16
Бронза БрАЖ 9-4	—	100—140	31,5	—	12,2	—

В табл. 52 [30] приведены поправочные коэффициенты на осевые усилия и крутящие моменты при сверлении для групп материалов, соответствующих приведённым в табл. 11, в зависимости от их механических свойств.

Эффективная мощность при сверлении и рассверливании

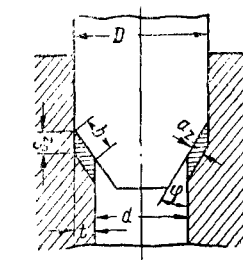
$$N_s = \frac{Mn}{716 \cdot 200 \cdot 1,36} \text{ кат},$$

где M — крутящий момент в кгм.м.

Зенкерование и развёртывание

Зенкерование применяется для получистовой обработки отверстий, полученных при литье, ковке или штамповке, а также для увеличения диаметра ранее просверленного отверстия. Развёртывание применяется для придания правильной формы, точных размеров и высокой чистоты поверхности отверстиям в пределах заданного допуска.

На фиг. 15 показаны элементы резания при зенкеровании и развёртывании.



Фиг. 15. Элементы резания при зенкеровании и развёртывании

Глубина резания

$$t = \frac{D - d}{2} \text{ мм.}$$

Ширина среза

$$b = \frac{D - d}{2 \sin \varphi} \text{ мм.}$$

Подача на один зуб

$$s_z = \frac{s}{z}.$$

Толщина среза для каждого зуба

$$a_z = s_z \sin \varphi \text{ мм.}$$

Скорость резания

$$v = \frac{\pi D n}{1000} \text{ м/мин.}$$

Основное технологическое время при работе зенкером или развёрткой определяется так же, как и для сверла (см. стр. 342).

Величины врезания l_1 определяются по табл. 53 [37].

Характер и допустимые величины износа режущей части зенкеров и развёрток приведены в табл. 54 [30, 31].

Подача при зенкеровании на проход

$$s = C_s D^{0,6} \text{ мм/об.}$$

Подача при развёртывании на проход

$$s = C_s D^{0,7} \text{ мм/об.}$$

В табл. 55 приведены величины коэффициента C_s при зенкеровании и развёртывании [23].

Технологическими факторами, определяющими группу подач при зенкеровании, являются следующие.

По группе I подач зенкеруются отверстия: литые или прокованные без допуска; литые

Поправочные коэффициенты на осевые усилия и крутящие моменты

Таблица 52

Сталь	Предел прочности $\sigma_{пл}$ в кг/мм ²	30—40	40—50 (колёсные центры)	50—60 (оси)	60—70	70—80	80—90 (бандажи)	90—100	100—110	110—120
	Поправочный коэффициент	0,57	0,67	0,79	0,89	1,0	1,1	1,18	1,28	1,36
Чугун серый	<i>H B</i>	120—140	140—160	160—180	180—200	200—220	220—240	240—260	260—280	
	Поправочный коэффициент	0,8	0,87	0,94	1,0	1,06	1,13	1,18	1,21	
Чугун ковкий	<i>H B</i>	100—120		120—140		140—160		160—180		180—200
	Поправочный коэффициент	0,83		0,92		1,0		1,08		1,15
Бронзы, латуни и медь	Группа	Гетерогенные		Гомогенные сплавы	Сплавы с содержанием свинца ниже 10% при основной гомогенной структуре	Свинцовистые сплавы при основной гетерогенной структуре	Сплавы с содержанием свинца выше 15%	Медь		
		высокой твёрдости	средней твёрдости							
Бронзы, латуни и медь	Поправочный коэффициент	0,75	1,0	1,8—2,2	0,65—0,7	0,62	0,25—0,45	1,7—2,1		

Величины врезания при зенкеровании и развёртывании

Таблица 53

Диаметр инструмента <i>D</i> в мм	3—4,5	5—6	7—8	9—10	11—16	17—21	22—32	35—50	52—75	78—100
Величина врезания при зенкеровании	—	—	—	—	—	3	5	5	6	6
Величина врезания $\left\{ \begin{array}{l} \varphi = 15^\circ \\ \varphi = 5^\circ \end{array} \right.$ при развёртывании	$\left\{ \begin{array}{l} 4 \\ 4 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 4 \\ 5 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 5 \\ 6 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 5 \\ 7 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 5 \\ 8 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 6 \\ 9 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 7 \\ 11 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 8 \\ 12 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 9 \\ 15 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 10 \\ 17 \end{array} \right.$

Характер и допустимые величины износа режущей части зенкеров и развёрток

Таблица 54

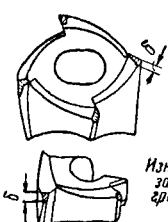

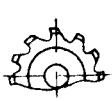
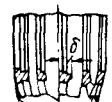
Наименование режущего инструмента	Обрабатываемый материал и условия работы	Характер износа	Допустимая величина износа δ в мм
Зенкеры из быстрорежущей стали	Сталь с охлаждением		Задняя грань 0,2÷1,5
	Чугун без охлаждения		Уголки 0,8÷1,5
Зенкеры из твёрдых сплавов	Сталь незакалённая и чугун		Задняя грань 1,0÷1,6
	Сталь закалённая		Задняя грань 0,7
Развёртки из быстрорежущей стали	Сталь с охлаждением и чугун без охлаждения		Задняя грань 0,6÷0,8
Развёртки из твёрдых сплавов	Сталь незакалённая и чугун		Задняя грань 0,4÷0,7
	Сталь закалённая		Задняя грань 0,3÷0,35

Таблица 55

Величины коэффициента C_s для определения подачи при зенкеровании и развёртывании

Вид обработки	Обрабатываемый материал		Группа подач, определяемая технологическими факторами		
	группа	твёрдость по Бринеллю	I	II	III
Зенкерование Развёртывание	Сталь	До 160	0,190 0,200	0,140 0,150	0,095 0,100
Зенкерование Развёртывание		160—240	0,140 0,160	0,105 0,120	0,070 0,080
Зенкерование Развёртывание		240—300	0,105 0,120	0,079 0,090	0,052 0,060
Зенкерование Развёртывание		Свыше 300	0,085 0,120	0,063 0,090	0,042 0,060
Зенкерование Развёртывание	Чугун	До 170	0,250 0,330	0,190 0,250	0,125 0,160
Зенкерование Развёртывание		Свыше 170	0,150 0,200	0,113 0,150	0,075 0,100
Зенкерование Развёртывание	Цветные металлы	Мягкие	0,330 0,200	0,250 0,150	0,170 0,100
Зенкерование Развёртывание		Твёрдые	0,250 0,330	0,190 0,250	0,125 0,160

или прокованные при условии обработки после чернового зенкера двумя или тремя инструментами (чистовым зенкером или резцом и развёртками или расточной пластиной); предварительно обработанные сверлом или резцом с последующим применением двух

развёрток; литые или прокованные под последующее нарезание резьбы метчиками или резцом при условии обработки отверстия после чернового зенкера чистовым зенкером или расточной пластиной.

По группе II подач зенкеруются отверстия: литые или прокованные под последующее нарезание резьбы; литые и прокованные, обрабатываемые по 5-му классу точности; литые или прокованные для последующей обработки двумя развёртками; предварительно обработанные (сверлом или зенкером) с последующим применением одной развёртки.

По группе III подач зенкеруются литые или прокованные отверстия для последующей обработки их одним зенкером с малой глубиной резания или одной развёрткой.

Технологическими факторами, определяющими группу подач при развёртывании, являются следующие.

По группе I подач развёртываются отверстия после сверла или зенкера под последующее чистовое развёртывание.

По группе II подач производится чистовое развёртывание отверстий: по 2-му классу точности после чистового резца или чистовой расточной пластины; по 2-му классу точности после чернового развёртывания.

По группе III подач производится: чистовое развёртывание под полирование или хонингование; развёртывание отверстия одной развёрткой по 3-му классу точности.

При обработке глухих отверстий, особенно при одновременной обработке дна отверстия, подачи берутся в пределах $0,1 \div 0,5$ мм/об.

Скорость резания, допускаемая зенкером или развёрткой:

$$v = \frac{C_v D^{z_v}}{T^m t^{x_v} s^{y_v}} \text{ м/мин,}$$

где C_v , m , z_v , x_v , y_v —по табл. 56 [30]

Таблица 56

Величины C_v , m , z_v , x_v и y_v для определения скорости резания при зенкеровании и развёртывании инструментами из быстрорежущей стали

Обрабатываемый материал	Предел прочности $\sigma_{пл}$ в кг/мм ²	Твёрдость по Бринеллю H_B	Вид обработки	C_v	m	z_v	x_v	y_v
Сталь углеродистая конструкционная	75	215	Зенкерование	16,3 ¹	0,3	0,3	0,2	0,5
			Развёртывание	10,5	0,4	0,3	0,2	0,65
Чугун серый	—	190	Зенкерование	18,8 ²	0,125	0,2	0,1	0,4
			Развёртывание	15,6	0,3	0,2	0,1	0,5
Чугун ковкий	—	150	Зенкерование	27,9 ³	0,125	0,2	0,1	0,4
			Развёртывание	23,2	0,3	0,2	0,1	0,5
Бронза БрАЖ 9-4	—	100—140	Зенкерование	41,8 ⁴	0,125	0,2	0,1	0,4
			Развёртывание	34,8	0,3	0,2	0,1	0,5

¹ Для насадных зенкеров $C_v = 14,6$.

² Для насадных зенкеров $C_v = 16,9$.

³ Для насадных зенкеров $C_v = 25$.

⁴ Для насадных зенкеров $C_v = 37,5$.

Таблица 57

Средние стойкости зенкеров и развёрток из инструментальных сталей

Обрабатываемый материал	Наименование инструмента	Диаметр инструмента в мм										
		15—19	20—24	25—29	30—34	35—39	40—44	45—49	50—54	55—59	60—69	70—79
		Стойкость инструмента в мин.										
Сталь	Зенкеры цельные .	12	18	24	24	30	—	—	—	—	—	—
	Зенкеры насадные .	—	—	36	42	50	55	60	70	90	110	130
	Развёртки цельные и насадные	24	30	42	48	60	72	72	72	84	84	84
Чугун	Зенкеры цельные .	30	30	42	43	54	—	—	—	—	—	—
	Зенкеры насадные .	—	—	60	70	85	130	150	170	180	200	250
	Развёртки цельные и насадные	48	54	72	84	84	120	120	150	150	150	150

Средние стойкости зенкеров и развёрток из инструментальных сталей приведены в табл. 57 [30].

В табл. 58 [37] приведены средние стойкости зенкеров с пластинами из твёрдого сплава марки ВК8 при обработке чугуна.

Таблица 58

Средние стойкости зенкеров с пластинами из твёрдого сплава марки ВК8

Наименование зенкеров	Диаметр зенкера в мм			
	20—24	25—29	30—34	35—39
	Стойкость зенкера в мин.			
Цельные	120	120	120	120
Насадные	—	120	150	180

Поправочные коэффициенты на скорость резания при зенкеровании и развёртывании в зависимости от различных факторов приведены в табл. 46—49.

Осевое усилие и крутящий момент при зенкеровании и развёртывании могут быть определены соответственно по следующим формулам:

$$P = C_p D^{2p} t^{x_p} s^{y_p} \text{ кг};$$

$$M = C_m D^{2m} t^{x_m} s^{y_m} \text{ кгмм};$$

$C_p, C_m, z_p, x_p, y_p, z_m, x_m, y_m$ —по табл. 59 [30].

Эффективная мощность при зенкеровании и развёртывании

$$N_{\text{э}} = \frac{Mn}{716 \cdot 200 \cdot 1,36} \text{ кВт},$$

где M — крутящий момент в кгмм.

ФРЕЗЕРОВАНИЕ

Фрезерование фрезами из быстрорежущей стали

На фиг. 16 показаны элементы резания при фрезеровании.

Подачей при фрезеровании называется поступательное перемещение обрабатываемого изделия относительно фрезы.

При фрезеровании различают:

- а) подачу в минуту (минутную подачу) — s_m мм/мин;
- б) подачу на один оборот фрезы — s_o мм/об;
- в) подачу на один зуб фрезы — s_z мм/зуб.

Таблица 59

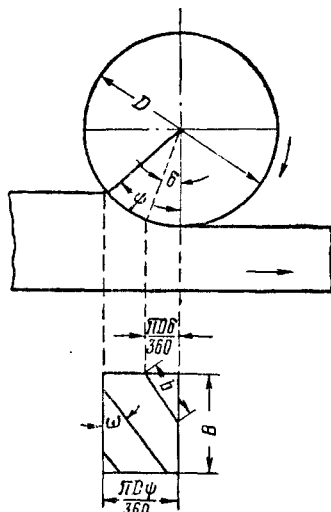
Величины $C_p, z_p, x_p, y_p, C_m, z_m, x_m$ и y_m для определения осевого усилия и крутящего момента при зенкеровании и развёртывании

Обрабатываемый материал	Вид обработки	C_p	z_p	x_p	y_p	C_m	z_m	x_m	y_m
Сталь всех сортов	Зенкерование	3,5	0,5	0,95	0,7	105	1,0	0,74	0,75
	Развёртывание	8,0	0,7	1,0	0,72	88	1,15	0,64	0,85
Чугун	Зенкерование	2,0	0,65	1,0	0,55	72	1,0	0,74	0,70
	Развёртывание	10,0	0,61	0,88	0,4	23	1,42	0,74	0,79

Скорость резания при фрезеровании

$$v = \frac{\pi D n}{1000} \text{ м/мин,}$$

где D — наибольший диаметр фрезы в мм.



Фиг. 19. Соотношение между шириной фрезерования B и шириной среза b при работе цилиндрической фрезой с винтовыми зубьями

Основное технологическое время

$$T_0 = \frac{l + l_1 + l_2}{s_z z n} \text{ мин.},$$

где l — длина фрезеруемой поверхности детали в мм;

l_1 — величина врезания в мм;

l_2 — перебега фрезы в мм;

s_z — подача на один зуб фрезы в мм/об;

z — число проходов.

Для цилиндрической фрезы (фиг. 20, а)

$$l_1 = \sqrt{t(D - t)} \text{ мм.}$$

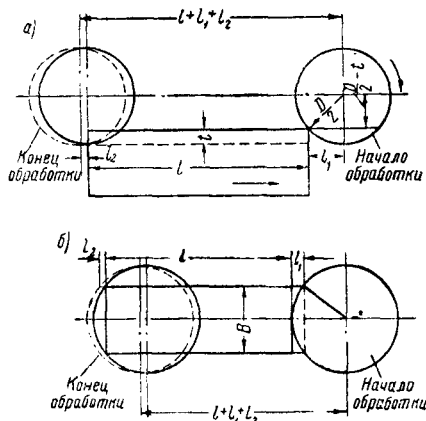
Для торцевой фрезы (фиг. 20, б)

$$l_1 = 0,5 (D - \sqrt{D^2 - B^2}) \text{ мм.}$$

Величина перебега фрезы принимается в зависимости от её диаметра

$$l_2 = (0,03 - 0,05) D \text{ мм.}$$

Рекомендуемые величины подачи на один зуб фрезы (s_z) при фрезеровании различных металлов в зависимости от глубины резания, типа и размера фрезы приведены в табл. 62 [23].



Фиг. 20. Определение величины врезания при фрезеровании: а — цилиндрической и б — торцевой фрезой

Поправочные коэффициенты на подачу в зависимости от обрабатываемого материала и условий обработки приведены в табл. 60 и 61 [10, 23].

Характер и допустимые величины износа режущей части фрез разных типов, изготовленных из быстрорежущей стали, показаны в табл. 63 [23, 30].

Таблица 60

Поправочные коэффициенты на подачу, учитывающие обрабатываемый материал

Обрабатываемый материал	Сталь, латунь	Чугун, бронза	Лёгкие сплавы
Поправочный коэффициент	1,0	1,25—1,5	1,5—2,0

Таблица 61

Поправочные коэффициенты на подачу, учитывающие условия обработки

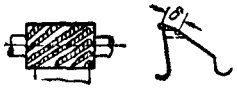
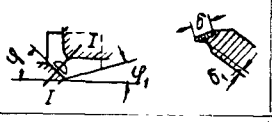
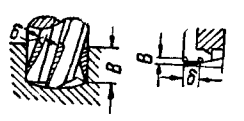



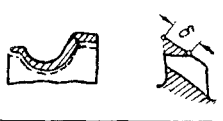
Условия работы	Черновая обработка перед последующим чистовым проходом	Обработка устойчивых деталей на продольнофрезерных станках	Обработка устойчивых деталей на станках типа 615, 6Г83 и более жёстких	Обработка на станках типа 6Г82, 6Г81. Обработка деталей неустойчивых и в нежёстких приспособлениях на всех станках
Поправочный коэффициент	1,5—2,0	1,25—1,5	1,0	0,5—0,75

Таблица 62

Подача при фрезеровании черных и цветных металлов

Типы и характеристика фрез		Глубина резания t в мм									
		0,5-1,0	1-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-15	15-30	Свыше 30	
		Подача s_z в мм/зуб									
Цилиндрические	С мелкими зубьями . . .	0,08-0,05	0,08-0,05	0,05-0,03 0,15-0,1	0,03-0,015 0,1-0,07	0,07-0,04	0,04-0,02	—	—	—	
	С крупными зубьями . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Торцевые	С мелкими зубьями . . .	0,1-0,12	0,1-0,12	0,05-0,1	0,03-0,05	—	—	—	—	—	
	С крупными зубьями и вставными ножами . . .	—	—	0,1-0,15	0,07-0,1	0,04-0,07	—	—	—	—	
Концевые диаметром D в мм	4-6	0,01-0,02	0,01-0,02	0,008-0,01	0,005-0,008	0,003-0,006	—	—	—	—	
	6-8	0,02-0,025	0,015-0,02	0,01-0,015	0,006-0,01	0,003-0,006	—	—	—	—	
	8-10	0,02-0,03	0,015-0,025	0,01-0,02	0,008-0,015	0,006-0,008	0,003-0,006	—	—	—	
	10-15	0,02-0,04	0,02-0,04	0,015-0,03	0,01-0,02	0,008-0,01	0,005-0,008	0,003-0,005	—	—	
	15-20	0,04-0,06	0,04-0,06	0,02-0,04	0,02-0,04	0,015-0,03	0,01-0,02	0,01-0,02	0,007-0,01	—	
	20-30	0,07-0,1	0,07-0,1	0,07-0,08	0,05-0,08	0,04-0,05	0,03-0,05	0,01-0,03	0,008-0,01	—	
	30-40	0,07-0,1	0,07-0,1	0,07-0,1	0,05-0,08	0,05-0,08	0,03-0,05	0,02-0,03	0,01-0,02	0,01-0,02	
	С прямыми зубьями С разнонаправленными зубьями	—	0,05-0,08	0,04-0,05	0,02-0,04	0,02-0,04	0,015-0,02	0,015-0,03	0,01-0,02	—	
Дисковые трёхсторон- ные	Цельные	—	—	—	0,04-0,06	0,02-0,04	0,02-0,04	0,015-0,03	0,01-0,02	—	
	Со вставными ножами	—	—	—	0,07-0,1	0,04-0,07	0,04-0,07	0,03-0,04	0,03-0,04	0,02-0,03	
Прорезные шириной B в мм	До 2	—	0,005-0,01	0,005-0,01	0,003-0,005	—	—	—	—	—	
	Свыше 2	—	0,015-0,02	0,015-0,02	0,005-0,01	—	—	—	—	—	
Отрезные шириной B в мм	Свыше 2	—	—	—	0,02-0,03	0,01-0,02	0,007-0,01	0,004-0,007	0,004-0,007	0,004-0,007	
	Свыше 2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Фасонные диаметром D в мм	Незатыло- ванные	0,04-0,06 0,07-0,1	0,04-0,06 0,07-0,01	0,03-0,04 0,07-0,1	0,02-0,03 0,05-0,08	0,01-0,02 0,04-0,06	0,01-0,02 0,04-0,06	0,01-0,02 0,02-0,04	0,009-0,01 0,01-0,02	—	
	Затыло- ванные	0,05-0,08 0,07-0,1	0,05-0,08 0,07-0,1	0,05-0,08 0,07-0,1	0,04-0,06 0,05-0,08	0,03-0,04 0,05-0,08	0,015-0,03 0,03-0,05	0,01-0,02 0,02-0,03	0,007-0,01 0,01-0,02	—	

Характер и допустимые величины износа режущей части фрез из быстрорежущей стали

Типы фрез	Обрабатываемый материал	Характер обработки	Характер износа	Допустимая величина износа δ мм
Цилиндрические	Сталь	Грубая Получистовая		0,4—0,6 0,15—0,25
	Чугун	Грубая Получистовая		0,5—0,8 0,2—0,3
Торцевые	Сталь и чугун	Грубая Получистовая	<i>Сеч. I-I</i> 	1,5—2,0 0,3—0,5
Концевые $D < 15$ мм $D > 15$ » $D < 15$ мм $D > 15$ »	Сталь и чугун	Грубая Получистовая		0,15—0,2* 0,3—0,5 0,10—0,15** 0,20—0,25
Дисковые трёхсторонние	Сталь и чугун	Грубая Получистовая		0,4—0,6 0,15—0,25
Прорезные и отрезные	Сталь и чугун	—		0,15—0,2
Фасонные незатылованные	Сталь	Грубая Получистовая		0,6—0,7 0,2—0,3
Фасонные затылованные	Сталь	Грубая Получистовая		0,3—0,4 0,2

* При $B < 1$ мм $\delta = 0,1 \div 0,15$ мм.** При $B < 1$ мм $\delta = 0,1$ мм.

Скорость резания, допускаемая фрезой:

$$v = \frac{C_v D^{q_v}}{T^m i^{x_v} s_z^{y_v} B^{r_v} z^{u_v}} \text{ м/мин,}$$

где s_z — подача на один зуб фрезы в мм/зуб;
 B — ширина фрезерования в мм.Средние стойкости фрез T приведены в табл. 64 [30].Величины C_v , m , q_v , x_v , y_v , r_v и u_v для определения скорости резания при фрезеровании материалов без корки приведены в табл. 65 [30].

В табл. 66—69 [30] приводятся поправочные коэффициенты на скорость резания.

Таблица 64

Средние стойкости фрез

Типы фрез	Обрабатываемый материал	Диаметр фрезы в мм															
		Стойкость фрезы в мин.															
		До 8	12	16	20	30	40	45	50	60	75	90	110	130	150	175	200
Цилиндрические с мелкими зубьями	Сталь и ковкий чугун . . . Серый чугун	—	—	—	—	—	60 90	—	90 120	120 180	180 240	240 300	—	—	—	—	—
Цилиндрические со вставными ножами и сборные составные	Сталь и ковкий чугун . . . Серый чугун	—	—	—	—	—	—	—	—	90 150	120 180	150 210	180 240	210 270	240 300	270 360	420
Торцевые цельные	Сталь и ковкий чугун . . . Серый чугун	—	—	—	—	—	120 180	—	150 210	150 240	210 300	240 360	300 450	—	—	—	—
Торцевые со вставными ножами	Сталь и ковкий чугун . . . Серый чугун	—	—	—	—	—	—	—	—	—	90 120	120 180	150 210	180 240	210 270	240 300	270 360
Концевые с цилиндрическим хвостовиком	Сталь и ковкий чугун . . . Серый чугун	13 24	21 30	30 45	30 45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Концевые с коническим хвостовиком	Сталь и ковкий чугун . . . Серый чугун	—	—	45 60	45 60	60 90	90 120	—	120 150	—	—	—	—	—	—	—	—
Дисковые цельные	Сталь и ковкий чугун . . . Серый чугун	—	—	—	—	—	—	—	—	150 210	180 240	210 270	240 300	—	—	—	—
Дисковые со вставными ножами	Сталь и ковкий чугун . . . Серый чугун	—	—	—	—	—	—	—	—	—	90 120	120 180	150 210	180 240	210 270	240 300	270 360
Прорезные	Сталь и ковкий чугун . . . Серый чугун	—	—	—	—	—	45 60	—	—	60 90	75 100	—	—	—	—	—	—
Отрезные	Сталь и ковкий чугун . . . Серый чугун	—	—	—	—	—	—	—	—	75 90	75 90	—	90 120	—	150 210	—	210 300
Фасонные двухугловые	Сталь	—	—	—	—	—	—	60	—	90	120	180	—	—	—	—	—

Таблица 66
Поправочные коэффициенты на скорость резания, учитывающие обрабатываемый материал

№ материала (по табл. 11)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Поправочный коэффициент	1,08	1,32	1,14	1,00	0,90	0,91	0,80	0,72	0,52	0,42	0,69	0,60	0,53	0,37	0,31	0,25	1,34	1,09	0,92	0,80
№ материала (по табл. 11)	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Поправочный коэффициент	0,70	0,50	0,41	0,34	1,78	1,32	1,06	0,85	0,71	0,53	0,43	1,57	1,33	1,08	0,90	0,79	0,56	0,46	0,38	1,40
№ материала (по табл. 11)	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Поправочный коэффициент	1,23	1,10	1,00	0,90	0,83	0,76	1,30	1,12	1,00	0,90	0,83	0,7	1,0	2,0	4,0	1,7	12,0	8,0	4,0—6,0	4,0—6,0

Таблица 67
Поправочные коэффициенты на скорость резания, учитывающие характер заготовки и состояние её поверхности

Характер поверхности заготовки	Отсутствие корки или травлёная корка			Наличие корки				
Наименование обрабатываемого материала	сталь		чугун, бронза, латунь	сталь			чугун	бронза и латунь
Метод получения заготовки	прокат, поковка	отливка	отливка	прокат горячекатанный	поковка	отливка	отливка	отливка
Поправочный коэффициент при H_B	<160 160—200 >200		1,0 0,9 1,0	0,9 0,9 0,9	0,8 0,85 0,9	0,75 0,80 0,85	0,7 0,75 0,8	0,9 0,9 0,95

Примечание. При обработке по корке, загрязнённой литейными (песочными и т. п.) включениями, поправочный коэффициент при обработке стального и чугунного литья следует принимать равным 0,5—0,6, а при обработке бронзового и латунного литья 0,7—0,8.

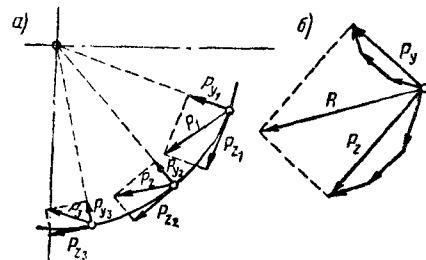
Таблица 68
Поправочные коэффициенты на скорость резания, учитывающие материал фрезы

Материал фрезы	Быстрорежущие инструментальные стали		Инструментальные стали	
	P18	P9	9ХС	У10А, У12А
Поправочный коэффициент	1,0	1,0	0,6	<0,5

Таблица 69
Поправочные коэффициенты на скорость резания, учитывающие угол в плане торцевых фрез (при работе с глубиной снимаемого слоя, не превышающей высоту угловой кромки)

Обрабатываемый материал	Угол в плане φ					
	90°	60°	45°	30°	15°	10°
Сталь	0,89	1,00	1,05	1,18	1,34	1,5
Чугун	0,85	1,00	1,14	1,38	1,85	2,25

Усилия резания при фрезеровании действуют на каждый зуб фрезы, находящейся в соприкосновении с обрабатываемым материалом. На фиг. 21, а показано разложение этих



Фиг. 21. Усилия резания при работе цилиндрической фрезой с прямыми зубьями: а — усилия, действующие на отдельные зубья; б — усилия, действующие на фрезу в целом

усилий при работе цилиндрической фрезы с прямыми зубьями, а на фиг. 22, а — с винтовыми зубьями.

При работе фрезы с прямыми зубьями составляющими являются радиальные уси-

лия P_{y_1} , P_{y_2} и т. д. и тангенциальные усилия P_{z_1} , P_{z_2} и т. д.

При работе фрезы с винтовыми зубьями к ним добавляются осевые усилия P_{o_1} , P_{o_2} и т. д.

На фиг. 21, б и 22, б соответственно показаны равнодействующие этих сил: P_y , P_z и P_o . Усилие P_y называется радиальным уси-

лием (оно стремится оттолкнуть фрезу от обрабатываемого изделия). Усилие P_z называется окружным, или тангенциальным, усилием. Оно создаёт крутящий момент, который необходимо преодолеть шпинделю станка. Усилие P_o называется осевым усилием. Необходимо, чтобы усилие P_o было направлено в сторону шпинделя станка. Равнодействующая сил P_y и P_z вызывает изгиб оправки.

Эта равнодействующая (фиг. 21, б):

$$R = \sqrt{P_y^2 + P_z^2}.$$

Усилие P_z для простоты обозначается просто P и определяется по формуле

$$P = C_p t^{x_p} B^{r_p} z s_z^{y_p} D^{q_p} \text{ кг.}$$

Эффективная мощность при фрезеровании

$$N = C_N 10^{-5} t^{x_N} n B^{r_N} z s_z^{y_N} D^{q_N} \text{ кВт.}$$

Величины C_p и C_N приведены в табл. 70, а величины x_p ; r_p ; y_p ; q_p ; x_N ; r_N ; y_N ; q_N — в табл. 71 [30].

Таблица 70

Величины C_p и C_N для определения окружного усилия и эффективной мощности при фрезеровании

Типы фрез	Сталь		Чугун ковкий		Бронза		Чугун серый	
	C_p	C_N	C_p	C_N	C_p	C_N	C_p	C_N
Цилиндрические и концевые	68,2	3,5	30	1,54	22,5	1,55	30	1,54
Торцевые	82,4	4,22	50	2,57	37,5	1,93	50	2,57
Дисковые, прорезные и отрезные	68,3	3,5	30	1,54	22,5	1,55	30	1,54
Угловые	38,9	2,0	—	—	—	—	—	—
Фасонные полукруглые, выпуклые и вогнутые	47,0	2,42	—	—	—	—	—	—

Примечание. Данные приведены с учётом нормального затупления фрез.

Таблица 71

Величины x_p ; r_p ; y_p ; q_p ; x_N ; r_N ; y_N ; q_N для определения окружного усилия и эффективной мощности при фрезеровании

Обрабатываемый материал	Типы фрез	Показатели степени в формуле							
		для окружного усилия				для эффективной мощности			
		x_p	r_p	y_p	q_p	x_N	r_N	y_N	q_N
Сталь, чугун ковкий, бронза	Цилиндрические и концевые	0,86	1,00	0,72	-0,86	0,86	1,00	0,72	0,14
	Торцевые	0,95	1,10	0,80	-1,10	0,95	1,10	0,80	-0,10
	Дисковые, прорезные и отрезные	0,86	1,00	0,72	-0,86	0,86	1,00	0,72	0,14
	Угловые	0,86	1,00	0,72	-0,86	0,86	1,00	0,72	0,14
	Фасонные полукруглые, выпуклые и вогнутые	0,86	1,00	0,72	-0,86	0,86	1,00	0,72	0,14
Чугун серый	Цилиндрические и концевые	0,83	1,00	0,65	-0,89	0,83	1,00	0,65	0,17
	Торцевые	0,90	1,14	0,72	-1,14	0,90	1,14	0,72	-0,14
	Дисковые, прорезные и отрезные	0,83	1,00	0,63	-0,83	0,83	1,00	0,63	0,17

Примечание. Данные приведены с учётом нормального затупления фрез.

Фрезерование фрезами, оснащёнными твёрдыми сплавами [10, 31]

Признаком затупления фрез, оснащённых твёрдыми сплавами, является износ задней грани, допустимые величины которого для торцевых и дисковых фрез приведены в табл. 72.

Таблица 72

Допустимые величины износа задней грани фрез, оснащённых твёрдыми сплавами

Типы фрез	Незакалённые стали с пределом прочности $\sigma_{нч}$ в кг/мм ²			Закалённые стали	Серый чугун
	60—80	80—100	100—110		
Торцевые	0,8—1,0	1,0—1,5	1,5—2,5	1,0	2,0
Дисковые		1,5		—	—

Величины подачи s_z при черновом фрезеровании торцевыми фрезами с пластинами из твёрдых сплавов и поправочные коэффициенты к ним приведены в табл. 73 и 74.

Следует иметь в виду, что уменьшение угла φ вызывает увеличение длины рабочей

части режущей кромки и, как следствие, увеличение диаметра фрезы. Поэтому работа фрезами с малыми углами в плане рекомендуется при глубине резания не свыше 3—4 мм.

Подачи s_z при фрезеровании дисковыми фрезами с пластинами из твёрдых сплавов при обработке пазов приведены в табл. 75.

Чистота поверхности при фрезеровании определяется величиной подачи на один оборот фрезы s_o .

В табл. 76 приведены величины подач на один оборот фрезы (s_o мм/об) для фрезерования торцевыми фрезами в зависимости от требуемой чистоты обработанной поверхности и характера обрабатываемой стали.

Приведённые в табл. 76 значения подач обеспечивают соответствующую чистоту поверхности при следующих условиях: торцевое брение фрезы до 0,02 мм, вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 5^\circ$, износ задней грани $\delta = 0,8 \div 1,4$ мм. При $\varphi_1 = 2^\circ$ подачи могут быть взяты в 2 раза больше. В начальный период работы фрезы (до износа задней грани $\delta = 0,2 \div 0,3$ мм) чистота обработанной поверхности снижается примерно на один класс.

Средние стойкости фрез с пластинами из твёрдых сплавов приведены в табл. 77.

Таблица 73

Подачи s_z при фрезеровании торцевыми фрезами с пластинами из твёрдых сплавов

Марка твёрдого сплава	С т а л ь					Чугун серый
	незакалённая				закалённая	
	Предел прочности $\sigma_{нч}$ в кг/мм ²					
	до 60	60—80	80—100	100—110	>110	
T15K6	0,18—0,2	0,12—0,18	0,10—0,13	0,07—0,1	0,03—0,09	—
T5K10	0,22—0,24	0,16—0,22	0,12—0,16	0,08—0,12	—	—
BK6	—	—	—	—	—	0,2—0,6
BK8						

Таблица 74

Поправочные коэффициенты на подачу, учитывающие главный угол в плане

Главный угол в плане	60°	45°	30°	15°
Поправочный коэффициент	1,00	1,25	1,75	3,35

Таблица 75

Подачи s_z при фрезеровании дисковыми фрезами с пластинами из твёрдых сплавов

Марка твёрдого сплава	Сталь конструкционная углеродистая и легированная	Чугун серый
T15K6	0,05—0,15	—
BK8	—	0,1—0,2

Таблица 76

Подачи s_o при фрезеровании торцевыми фрезами с пластинами из твёрдых сплавов в зависимости от требуемой чистоты обработанной поверхности

Класс чистоты по ГОСТ 2789-51		Сталь незакалённая			Сталь закалённая
		Предел прочности $\sigma_{нч}$ в кг/мм ²			
		70	90	110	
обозначение	$H_{СК}$ в МК	Подача s_o в мм/об			
▽▽ 5	6,3—3,2	0,5—0,35	0,6—0,4	0,75—0,5	0,9—0,6
▽▽ 6	3,2—1,6	0,35—0,2	0,4—0,25	0,5—0,3	0,6—0,35
▽▽ 7	1,6—0,8	0,2—0,15	0,25—0,15	0,3—0,2	0,35—0,22
▽▽ 8	0,8—0,4	0,15	0,15	0,20—0,15	0,22—0,15

Таблица 77

Средние стойкости фрез, оснащённых твёрдыми сплавами

Типы фрез	Диаметр фрезы										
	75	90	110	130—150	175—200	200	225	250	300	350	400
Торцевые	150	240	300	360	—	480	—	600	720	900	960
Дисковые	—	180	180	240	300	—	360	—	—	—	—

Таблица 78

Значения величин C_v , x_v , y_v , q_v , r_v

Обрабатываемый материал	Предел прочности $\sigma_{лч}$ в кг/мм ²	НБ	Марка твёрдого сплава	Пределы подачи s_z в мм/зуб	C_v	x_v	y_v	q_v	r_v
Сталь углеродистая конструкционная и легированная незакалённая . .	75	215	T15K6	$\begin{cases} 0,04 \div 0,08 \\ 0,08 \div 0,2 \end{cases}$	228,5 107	0,1 0,1	0,1 0,4	0,2 0,2	0,2 0,2
Чугун серый	—	190	BK8	Все применяемые подачи	52,9	0,15	0,4	0,2	0,2

Таблица 79

Значения величин C_N , x_N , y_N , q_N , r_N

Обрабатываемый материал	Предел прочности $\sigma_{лч}$ в кг/мм ²	НБ	Марка твёрдого сплава фрезы	Пределы подачи s_z в мм/зуб	Пределы глубины резания t в мм	C_N	x_N	y_N	q_N	r_N
Сталь углеродистая конструкционная и легированная . .	75	215	T15K6	$\begin{cases} < 0,12 \\ > 0,12 \end{cases}$	$\begin{cases} < 3 \\ : 3 \end{cases}$	0,035 0,01	1,0 1,0	1,42 0,79	1,00 1,00	1,2 1,2
Чугун серый . .	—	190	BK8	Все применяемые подачи и глубины резания		$2,57 \times 10^{-5}$	0,9	0,72	-0,14	1,14

Скорости резания, допускаемые торцевыми фрезами с пластинами из твёрдых сплавов при обработке сталей и чугунов, определяются по формуле

$$v_{300} = \frac{C_v D^{q_v}}{t^{x_v} s_z^{y_v} B^{r_v}} \text{ м/мин}$$

(при принятом периоде стойкости $T=300$ мин.).

Эффективная мощность при фрезеровании торцевыми фрезами подсчитывается по следующим формулам:

для фрезерования сталей

$$N_s = C_N t^{x_N} s_z^{y_N} v^{0,9} z^{0,93} B^{r_N} D^{q_N} \text{ кВт};$$

для фрезерования чугунов

$$N_s = C_N t^{x_N} s_z^{y_N} n z B^{r_N} D^{q_N} \text{ кВт}.$$

В приведённых формулах:

s_z — подача на один зуб фрезы в мм/зуб;

v — фактическая скорость резания в м/мин.

Величины C_v , x_v , y_v , q_v , r_v приведены в табл. 78, а величины C_N , x_N , y_N , q_N , r_N — в табл. 79.

В табл. 80—84 приведены поправочные коэффициенты на скорость резания и эффективную мощность при фрезеровании стали торцевыми фрезами, оснащёнными твёрдыми сплавами.

Таблица 80

Поправочные коэффициенты на скорость резания и эффективную мощность при фрезеровании стали торцевыми фрезами, оснащёнными твёрдыми сплавами, учитывающие обрабатываемый материал

Предел прочности для стали $\sigma_{лч}$ в кг/мм ²	До 60	60—80	80—100	100—120	120—140
Поправочный коэффициент на скорость резания и эффективную мощность	1,2	1,0	0,7	0,52	0,4

При обработке чугуна фрезами, оснащёнными твёрдым сплавом марки BK6, скорости

Таблица 81

Поправочные коэффициенты на скорость резания и эффективную мощность при фрезеровании стали и чугуна торцевыми фрезами, оснащёнными твёрдыми сплавами, учитывающие ширину фрезерования

Отношение фактической ширины фрезерования к нормативной B_f/B_H		0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50
Поправочный коэффициент	На скорость резания . .	1,33	1,15	1,07	1,0	0,96	0,92
	На эффективную мощность . . .	0,33	0,57	0,8	1,0	1,21	1,4

Таблица 82

Поправочные коэффициенты на скорость резания и эффективную мощность при фрезеровании стали торцевыми фрезами, оснащёнными твёрдыми сплавами, учитывающие стойкость фрезы

Стойкость фрезы в мин.	120	180	240	300	450	600	1000
Поправочный коэффициент на скорость резания и эффективную мощность . . .	1,26	1,14	1,06	1,0	0,9	0,84	0,74

Таблица 83

Поправочные коэффициенты на эффективную мощность при фрезеровании стали торцевыми фрезами, оснащёнными твёрдыми сплавами, учитывающие передний угол фрезы

Передний угол фрезы	-10°	0°	10°
Поправочный коэффициент на эффективную мощность	1,0	0,9	0,8

Таблица 84

Поправочные коэффициенты на скорость резания и эффективную мощность при фрезеровании чугуна торцевыми фрезами, оснащёнными твёрдыми сплавами, учитывающие обрабатываемый материал

Твёрдость чугуна по Бринеллю H_B	140—160	160—180	180—200	200—220	220—240	240—260
Поправочный коэффициент на скорость резания и эффективную мощность	1,51	1,21	1,00	0,85	0,72	0,63

резания и эффективные мощности, рассчитанные для сплава ВК8, следует умножать на коэффициент 1,1.

Скорости резания, допускаемые дисковыми фрезами, оснащёнными пластинами из твёрдого сплава марки Т15К6 при обработке углеродистой конструкционной стали ($\sigma_{пл} = 60 \div 80 \text{ кг/мм}^2$), и поправочные коэффициенты к ним приведены в табл. 85 и 86.

При фрезеровании чугуна ($H_B = 160 \div 180$) дисковыми фрезами, оснащёнными пластинами твёрдого сплава марки ВК8, применяют $s_z = 0,1 \div 0,2 \text{ мм/зуб}$ и $v = 90 \div 120 \text{ м/мин}$.

Таблица 85

Скорости резания при фрезеровании углеродистой конструкционной стали ($\sigma_{пл} = 60 \div 80 \text{ кг/мм}^2$) дисковыми фрезами, оснащёнными пластинами Т15К6

Ширина па- за B в мм	Диаметр фрезы D в мм	Число зубьев фрезы z	Глубина паза t в мм					
			6		8		10	
			Подача s_z в мм/зуб					
			0,05	0,08	0,05	0,03	0,05	0,08
12—20	110	6	287	230	248	200	—	—
	130		302	242	266	210	—	—
	150		315	254	274	220	—	—
	175	8	333	267	283	231	253	206
	200		345	277	300	240	267	215
	225		10	360	288	310	250	273
	—	—		—	—	—	—	—
	—	—		—	—	—	—	—
	—	8	—	—	—	—	—	—
	—		—	—	—	—	—	—
	—		—	—	—	—	—	—

Таблица 86

Поправочные коэффициенты на скорость резания при фрезеровании стали дисковыми фрезами, оснащёнными пластинами твёрдого сплава, учитывающие стойкость фрезы

Стойкость фрезы T в мин.	120	180	240	360	450
Поправочный коэффициент .	1,3	1,13	1,00	0,86	0,71

ЗУБОФРЕЗЕРОВАНИЕ [30]

Зубофрезерование производится двумя методами — копированием и обкаткой.

Зубофрезерование копированием производится дисковыми модульными или пальцевыми модульными фрезами. Зубофрезерование обкаткой производится червячными модульными фрезами.

Характер и допустимые величины износа режущей части дисковых и червячных модульных фрез приведены в табл. 87.

Величины подачи при фрезеровании дисковыми модульными фрезами и поправочные коэффициенты к ним приведены в табл. 88 и 89.

Скорости резания, допускаемые дисковыми модульными фрезами при обработке различных материалов, и поправочные коэффициенты на скорость резания приведены в табл. 90 и 91.

В табл. 93 приведены величины подачи при фрезеровании червячными модульными фрезами. Поправочные коэффициенты на подачу те же, что и для дисковых модульных фрез (табл. 88).

Скорость резания, допускаемая червячными модульными фрезами, определяется по формуле

$$v = \frac{C \cdot M x_v}{T^m s_o y_v} \text{ м/мин,}$$

где M — модуль зубчатого колеса в мм;
 s_o — подача на один оборот заготовки в мм/об (табл. 93);

T — период стойкости в мин.

Средние стойкости червячных модульных фрез приведены в табл. 92, а величины C_v , m , x_v , y_v — в табл. 94 и 95.

Таблица 87

Характер и допустимые величины износа режущей части дисковых и червячных модульных фрез


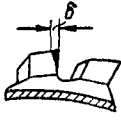
Наименование режущего инструмента	Обрабатываемый материал и условия работы		Характер износа	Допустимая величина износа δ в мм
Фрезы дисковые модульные	Сталь и чугун	Черновая обработка		0,8—1,0
		Чистовая обработка		0,2—0,4
Фрезы червячные модульные	Сталь	Черновая обработка		1,0—1,5
		Чистовая обработка		0,2—0,4
	Чугун	Черновая обработка		0,6—0,8
		Чистовая обработка		0,2—0,4

Таблица 88

Подачи s мм/мин при зубофрезеровании дисковыми модульными фрезами

Модуль M в мм	Обрабатываемый материал							
	сталь марки				чугун			
	45	40X	2X, 12XH3	серый	45	40X	20X, 12XH3	серый
	Станки							
	горизонтально-фрезерные с делительной головкой				зубофрезерные с автоматическим циклом деления			
2,0	190	130	76	284	—	—	—	—
2,5	170	116	68	253	240	195	105	310
3,0	155	106	62	230	220	180	100	290
3,5	143	98	57	214	200	160	90	270
4,0	134	92	54	200	185	140	85	250
4,5	126	86	51	190	150	120	75	235
5,0	120	82	48	180	120	100	65	220
6	100	75	44	165	100	85	60	205
7	90	70	41	150	90	75	55	190
8	90	65	38	140	90	75	55	180

Таблица 89

Поправочные коэффициенты на подачу при зубофрезеровании, учитывающие угол наклона зубьев обрабатываемого зубчатого колеса

Угол наклона зубьев	15°	20°	25°	30°	40°	45°	50°	60°
Поправочный коэффициент . .	0,96	0,94	0,9	0,86	0,77	0,70	0,64	0,50

Таблица 90

Скорости резания при зубофрезеровании дисковыми модульными фрезами

Характер обработки	Обрабатываемый материал				
	сталь марки			чугун	бронза средней твердости и латунь
	45	40X	20X, 12XH3	серый	
Черновая . .	32	30	22	25	40
Чистовая . .	40	37	27	32	50

Таблица 91

Поправочные коэффициенты на скорость резания при зубофрезеровании дисковыми модульными фрезами, учитывающие материал фрезы

Материал фрезы (марки стали)	P18, P9	X12M	9XBГ, XBГ	9XC	У12А, У10А
Поправочный коэффициент	1,0	0,77	0,6	0,6	0,55

Таблица 92

Средние стойкости червячных модульных фрез

Модуль M в мм	Принятое в расчёт число передвижек фрезы	Средний период стойкости T в мин. при обработке	
		черновой	чистовой
До 3	2	240	120
4	2	360	150
5	1	480	240
6	1	600	300
8	1	720	360
10	1	960	480

Поправочные коэффициенты на скорость резания при зубофрезеровании червячными модульными фрезами приведены в табл. 90.

Таблица 93

Подачи s_0 в мм/об при зубофрезеровании червячными модульными фрезами

Обрабатываемый материал	Характер обработки	Модуль M в мм	Число зубьев, нарезаемых на зубчатом колесе			
			25	40	70	120
Стали 45 и 40X	Чистовое нарезание	1,5—2,0 2,5 и выше	0,4—0,6 0,6—0,9	0,5—0,8 0,8—1,0	0,6—0,9 1,0—1,2	0,6—0,9 1,0—1,2
	Черновое нарезание	2,5—3	3,0—4,0	3,0—4,0	3,0—4,0	3,0—4,0
		3,5	3,0—4,0	3,0—4,0	3,0—4,0	3,0—4,0
		4	3,0—4,0	3,0—4,0	3,0—4,0	3,0—4,0
		4,5	2,7—3,5	2,9—3,5	3,0—3,5	3,0—3,5
		5	2,2—3,0	2,3—3,2	2,5—3,5	2,5—3,5
		6	1,5—2,5	1,7—2,7	1,8—3,2	1,9—3,5
		7	1,1—2,2	1,2—2,4	1,3—2,5	1,4—2,5
Стали 20X и 12XНЗ	Чистовое нарезание	1,5—2,0 2,5 и выше	0,3—0,5 0,6—0,9	0,5—0,8 0,8—1,0	0,6—0,9 0,8—1,2	0,6—0,9 0,8—1,2
	Черновое нарезание	3	3,0—4,0	3,0—4,0	3,0—4,0	3,0—4,0
		3,5	3,0—4,0	3,0—4,0	3,0—4,0	3,0—4,0
		4	2,5—3,5	2,6—3,5	2,8—3,5	2,8—3,5
		4,5	2,2—3,0	2,3—3,0	2,5—3,0	2,5—3,0
		5	1,8—2,6	1,8—2,8	2,0—3,2	2,1—3,2
		6	1,2—2,2	1,3—2	1,4—2,6	1,5—2,8
		7	0,8—1,8	0,9—1,9	1,0—2,0	1,0—2,0
Чугун серый	Чистовое нарезание	1,5—2,5 3,0 и выше	0,6—1,0 0,8—1,2	1,0—1,2 1,2—1,4	1,0—1,2 1,4—1,8	1,0—1,2 1,4—2,0
	Черновое нарезание	3,5	3,5—4,5	3,5—4,5	3,5—4,5	3,5—4,5
		4	3,5—4,5	3,5—4,5	3,5—4,5	3,5—4,5
		4,5	3,2—4,0	3,2—4,0	3,2—4,0	3,2—4,0
		5	2,9—4,0	3,0—4,0	3,2—4,0	3,2—4,0
		6	2,0—3,6	2,1—3,8	2,3—4,0	2,3—4,0
		7	1,5—2,8	1,6—3,0	1,7—3,2	1,7—3,2
		8	1,0—2,0	1,1—2,0	1,2—2,2	1,3—2,4

Таблица 94

Величины C_v для определения скорости резания при зубофрезеровании червячными модульными фрезами

Характер обработки	Обрабатываемый материал	Модуль M в мм	Число заходов фрезы		
			1	2	3
Нарезание за один проход	Чистовое	Сталь 45	1,0—2,0	700	—
		Чугун	1,0—2,5	152	—
	Черновое	Сталь 45	2,5—7,0	285	200
		Чугун	3,0—8,0	193	139
Нарезание за два прохода	Первый черновой	Сталь 45	7—16	285	200
		Чугун	8—16	193	139
	Второй черновой	Сталь 45	7—16	400	280
		Чугун	8—16	278	195

Таблица 95

Величины m , x_v и y_v для определения скорости резания при зубофрезеровании червячными модульными фрезами

Характер обработки	Модуль M в мм	Сталь 45			Чугун серый $H_B=190$		
		m	x_v	y_v	m	x_v	y_v
Чистовая, проход без предварительной черновой . .	1,0—2,5	0,5	0,5	0,85	0,3	0,4	0,4
Черновая . .	2—16	0,25	—0,25	0,5	0,2	—0,15	0,3

Таблица 96

Поправочные коэффициенты на скорость резания при зубофрезеровании червячными модульными фрезами, учитывающие марку обрабатываемой стали

Марка стали	45	40X	20X и 12XНЗ
Поправочный коэффициент	1,0	0,9	0,7

Эффективная мощность при зубофрезеровании червячными модульными фрезами

$$N_{\text{эф}} = \frac{C_{Nv} s_0^y N^x M^x N^N K}{60 \cdot 102 A_1} \text{ кВт},$$

где C_N — коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала;
 s_o — подача на один оборот заготовки в мм/об;
 M — модуль зубчатого колеса в мм;
 K — число заходов фрезы;
 K_1 — число проходов.

Величины C_N , x_N и y_N приведены в табл. 97.

Таблица 97

Величины C_N , x_N , y_N для определения эффективной мощности при зубофрезеровании червячными модульными фрезами

Обрабатываемый материал											
с т а л ь									ч у г у н		
45			40X			20X и 12XH3					
C_N	x_N	y_N	C_N	x_N	y_N	C_N	x_N	y_N	C_N	x_N	y_N
30	1,0	0,75	24	1,0	0,75	30	1,0	0,75	11,3	1,25	0,80

РЕЗЬБОНАРЕЗАНИЕ

Нарезание резьбы может производиться резцами и гребёнками (призматическими и круглыми), вращающимися головками с резцами («вихревое» нарезание), метчиками, круглыми плашками, резьбонарезными самооткрывающимися головками (с круглыми гребёнками или тангенциальными плашками) и резьбовыми фрезами. В зависимости от конструкции детали резьба нарезается в упор или свободно — на проход.

Характер и допустимые величины износа режущей части основных резьбонарезных инструментов показаны в табл. 98 [30].

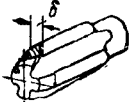
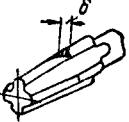
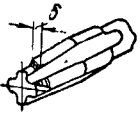
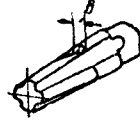
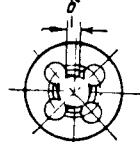
Нарезание резьбы резцами

В табл. 99—101 [30] приведены числа проходов при нарезании наружных и внутренних крепёжных (метрических и дюймовых) и трапецидальных резьб.

Скорости резания при нарезании резцами из стали Р9 в упор и на проход различных резьб (при принятом периоде стойкости $T = 120$ мин.) приведены соответственно в табл. 102 и 103 [30].

Таблица 98

Характер и допустимые величины износа режущей части резьбонарезных инструментов

Наименование режущего инструмента	Обрабатываемый материал и условия работы	Характер износа	Допустимая величина износа δ в мм
Резьбовые резцы и гребёнки	Черновое нарезание	—	2,0
	Чистовое нарезание		0,3
Метчики машинные	Сталь		0,125d*
	Чугун		0,07d
Метчики гаечные	Нарезание просверленных заготовок		0,05d
Метчики гаечные автоматные	Нарезание горячештампованных гаек		0,125d
	Нарезание холоднштампованных и горячештампованных травлёных гаек		0,05d
Плашки круглые	Сталь		0,1d ^{0,5}

* d — номинальный диаметр нарезаемой резьбы в мм.

Поправочные коэффициенты на скорость резания [30] при нарезании резцами резб в упор (по табл. 102), учитывающие условия работы, приведены в табл. 104. В табл. 105 приведены поправочные коэффициенты на ско-

рость резания при нарезании резцами резб в упор и на проход (по табл. 102 и 103), учитывающие материал резца.

Таблица 99

Числа проходов при нарезании наружных трапецидальных резб

Шаг резьбы <i>s</i> в мм	Углеродистая сталь		Легированная сталь, стальное литье		Чугун, бронза	
	Число проходов					
	черно- вых	чисто- вых	черно- вых	чисто- вых	черно- вых	чисто- вых
3	7	4	8	5	6	4
4	7	4	8	5	6	4
5	8	5	10	6	7	4
6	8	5	10	6	7	4
8	10	6	12	7	9	5
10	12	7	14	8	10	5
12	13	8	16	10	11	6
16	15	8	18	10	13	7
20	17	10	20	12	15	8

Таблица 100
Числа проходов при нарезании внутренних трапецидальных резб

Шаг резьбы s в мм	Углеродистая сталь		Легированная сталь, сталь- ное литьё		Чугун, бронза	
	Число проходов					
	черно- вых	чисто- вых	черно- вых	чисто- вых	черно- вых	чисто- вых
3	8	5	10	6	7	5
4	8	5	10	6	7	5
5	10	6	12	7	8	5
6	10	6	12	7	8	5
8	12	7	14	9	10	6
10	14	8	16	10	12	6
12	16	10	18	12	14	7
16	18	10	21	12	16	8
20	20	12	24	13	18	10

Примечание Числа прохода в таблице рассчитаны для нарезания однозаходной резбы. При нарезании двух- и многозаходных резб указанные числа проходов увеличиваются на 1—2 прохода для каждого захода.

Таблица 101

Числа проходов при нарезании наружных и внутренних крепёжных резб (метрических и дюймовых)

Тип резьбы	Шаг резьбы s в мм и число ниток на 1 дюйм	Углероди- стая сталь		Легиро- ванные стали и стальное литье		Чугун, бронза, латунь		Углероди- стая сталь		Легиро- ванные стали и стальное литье		Чугун, бронза, латунь	
		Число проходов											
		черновых	чистовых	черновых	чистовых	черновых	чистовых	черновых	чистовых	черновых	чистовых	черновых	чистовых
		Нарезание наружной резьбы						Нарезание внутренней резьбы					
Метрическая	1,25–1,5 мм	4	2	5	3	4	2	5	3	6	4	5	3
	1,75 мм	5	3	6	4	5	3	6	3	7	4	6	3
	2,0–3,0 мм	6	3	7	4	6	3	7	4	9	5	7	3
	3,5–4,5 »	7	4	9	5	6	3	9	4	11	6	7	3
	5,0–5,5 »	8	4	10	5	6	4	10	5	12	7	8	4
	6,0 »	9	4	12	5	6	4	12	5	15	7	8	5
Дюймовая	12–14 ниток	4	3	5	4	3	3	5	4	6	5	4	4
	10–11 »	5	3	6	4	4	3	6	4	7	5	5	4
	7–9 »	5	4	7	5	4	3	6	5	7	6	5	4
	6 »	6	4	7	5	4	3	8	5	10	6	5	4
	4–5 »	7	4	8	5	5	3	9	5	12	6	6	4
	3,5 нитки	8	4	10	5	6	4	10	5	12	6	8	5
	3,0 »	9	4	12	6	6	4	12	5	14	7	8	5

Примечания. 1. Числа проходов в таблице указаны для нарезания резбы по 3-му классу точности.

2. Для точных резб, кроме указанного в таблице числа проходов, необходимо применять 1—3 зачистных прохода при скорости резания 4 м/мин.

3. При нарезании резбы на ответственных деталях, испытывающих переменные динамические нагрузки, числа проходов могут быть увеличены в зависимости от технологических условий изготовления резбы.

4. При черновом нарезании крепёжной резбы для резб с шагом более 2 мм следует нарезание резбы производить с врезанием резца путем перемещения верхней части суппорта, установленной под углом.

Таблица 102

Скорости резания при нарезании резьбы резцами из стали Р9 на стали 45 в упор (при принятом периоде стойкости $T=120$ мин.)

Резьба метрическая по ОСТ 32	Диаметр резьбы d в мм Шаг резьбы s в мм Скорость резания v в м/мин	18—22 2,5 7,6—9,2	24—27 3,0 7,5—8,5	30—33 3,5 10,8—11,8	36—39 4,0 11,4—13	42—45 4,5 14,7—16	48—52 5,0 15—16,5	56—60 5,5 15,7—17	64—63 6,0 17—18			
Резьба метрическая по ОСТ 271	Диаметр резьбы d в мм Шаг резьбы s в мм Скорость резания v в м/мин	14—22 1,5 5,8—9,2	24—33 2,0 10—14	36—52 3,0 11,4—16,5	56—80 4,0 17,6—25	85—100 4,0 22—26						
Резьба дюймовая по ОСТ 1260	Диаметр резьбы d в дюймах . . Число ниток на 1 дюйм Скорость резания v в м/мин	$3/4$ 10 7,7	$7/8$ 9 8,0	1 8 7,5	$1 1/4$ 7 9,7	$1 1/2$ 6 11,2	$1 3/4$ 5 13,6	2 4,5 14,1	$2 1/2$ 4 15,3	3 3,5 16,3	$3 1/2$ 3,25 17,8	4 3 19
Резьба трубная по ОСТ 266	Диаметр резьбы d в дюймах . . Число ниток на 1 дюйм Скорость резания v в м/мин	$1/2$ — $7/8$ 14 9,5—13,8	1—2 $3/4$ 11 15—38			3—4 11 29—37						
Резьба трапецидальная по ОСТ 2410	Диаметр резьбы d в мм Шаг резьбы s в мм Ширина канавки f в мм Скорость резания v в м/мин	22—28 5 6 4,2—5,3	30—42 6 8 7—8,8	44—60 8 10 9,4—13	62—82 10 12 8,7—12	85—100 12 16 14—19	11,7—15,4 15,5—20,5	15,5—18,3 20—23,5				

Таблица 103

Скорости резания v в м/мин при нарезании резьбы резцами из стали Р9 резьб на стали 45 на проход (с охлаждением сульфокрезолом и при принятом периоде стойкости $T=120$ мин.)

Наружная резьба												
Крепёжная метрическая по ОСТ 32, 271 и 272	Шаг нарезаемой резьбы s в мм	До 2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0			
	Скорость резания при проходах:											
	черновых	36	31	30	27	25	24	22	22			
	чистовых	64	56	50	48	44	42	41	38			
	зачистных	4	4	4	4	4	4	4	4			
Крепёжная дюймовая по ОСТ 1260 и 266	Число ниток на 1 дюйм нарезаемой резьбы	11	10	9	8	7	6	5	4,5	4	3,5	3
	Скорость резания при проходах:											
	черновых	40	38	35	31	28	27	25	23	21	20	19
	чистовых	65	58	57	55	49	47	42	39	37	34	31
	зачистных	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Трапециодальная	Шаг нарезаемой резьбы s в мм	До 5	6	8	10	12	16	20	24			
	Скорость резания при проходах:											
	черновых	37	32	25	21	18	15	14	13			
	чистовых	64	64	64	64	64	52	52	52			
	зачистных	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
Внутренняя резьба												
Крепёжная метрическая по ОСТ 32, 271 и 272	Шаг нарезаемой резьбы s в мм	До 2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0			
	Скорость резания при проходах:											
	черновых	29	25	24	22	20	19	17	17			
	чистовых	51	45	40	38	35	33	32	30			
	зачистных	4	4	4	4	4	4	4	4			

Продолжение табл. 103

Крепёжная дюймовая по ОСТ 1260 и 266	Число ниток на 1 дюйм нарезаемой резьбы	11	10	9	8	7	6	5	4,5	4	3,5	3
	Скорость резания при проходах:											
	черновых	32	30	28	25	27	21	20	18	17	16	15
Графито- дальная	чистовых	52	46	45	44	39	37	34	31	29	27	25
	зачистных	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	Шаг нарезаемой резьбы s в мм	До 5	6	8	10	12	16	20	24			
	Скорость резания при про- ходах:											
	черновых	30	26	20	17	14	12	11	10			
	чистовых	51	51	51	51	51	41	41	41			
	зачистных	4	4	4	4	4	4	4	4			

Таблица 104

Поправочные коэффициенты на скорость резания при
нарезании резцами резьб в упор, учитывающие
условия работы

Вид обработки	Нарезание наружной резьбы	Нарезание внутренней резьбы	Нарезание резьбы с ручным от- водом реза	Нарезание резьбы с ав- томатическим отводом реза	
				шаг резьбы	
Поправочный коэффициент	1,0	0,8	1,0	< 3 мм	3 мм
				1,5	2,0

Таблица 105

Поправочные коэффициенты на скорость резания
при нарезании резьб в упор и на проход, учитыва-
ющие материал реза

Марки стали режущей части резца	P18, P9	X12M, 9XVG, XVG	M12A, U10A
Поправочный коэффициент	1,0	0,7	0,5

Скорости резания при нарезании наружной
резьбы на токарно-винторезных станках ре-
зцами, оснащёнными твёрдыми сплавами, при-
ведены в табл. 106 и 107 [10].

Таблица 106

Скорости резания v в м/мин при нарезании
наружной резьбы в упор резцами, оснащёнными
твёрдыми сплавами

Диаметр резьбы в мм	64	80	100	120	150	175—300
Скорость резания в м/мин	40	50	63	75	94	100

При нарезании внутренней резьбы резцами,
оснащёнными твёрдыми сплавами, скорость
резания определяется путём умножения ско-
рости резания, взятой по табл. 106 или 107,
на коэффициент 0,8.

**Скоростное нарезание резьбы вращающимися
резцовыми головками («вихревое» нарезание)**

«Вихревое» нарезание резьбы произво-
дится на токарных станках специальными
вращающимися головками с несколькими
резцами, оснащёнными твёрдым сплавом. Этот
метод характеризуется применением преры-

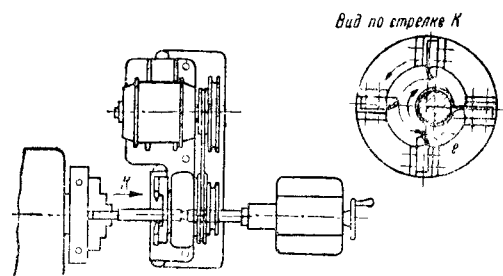
Таблица 107

Скорости резания v в м/мин при нарезании
наружной резьбы на проход резцами, оснащёнными
твёрдыми сплавами

Обрабатываемый материал		Диаметр резьбы в мм		
		30—45	45—80	80—300
Стали кон- струк- ционные углеро- дистые	$\sigma_{пч} \leq 75 \text{ кг/мм}^2$	57—80	85—100	100—110
	$\sigma_{пч} \leq 75 \text{ кг/мм}^2$	57—80	80—90	80—100
Стали конструкционные легированные		57—70	70—80	70—80

вистого процесса резания, что достигается
смещением оси вращения резца относительно
оси вращения детали (фиг. 23).

Деталь закрепляется в патроне или в цент-
рах и вращается с небольшим числом оборо-

Фиг. 23. Схема «вихревого» нарезания наружной
резьбы

тов 3—30 об/мин. Резец закрепляется в резце-
держателе, жестко связанном с корпусом
вращающейся резцовой головки.

Резцовая головка надевается на шпиндель
быстроходного приспособления, который по-
лучает вращение от отдельного электродви-
гателя, установленного на плите, смонтиро-
ванной на поперечном суппорте токарно-вин-
торезного станка. Число оборотов головки
1 000—3 000 в минуту.

Режимы резания при «вихревом» нареза-
нии резьбы приведены в табл. 108 [10].

Т а б л и ц а 108
Режимы резания при «вихревом» нарезании
резьбы

Характер резьбы	Обрабатываемый материал	Шаг резьбы s в мм	Скорость реза- ния v в м/мин	Крутовая подача детали для одно- резовых голов- ки в мм
Наружная	Сталь $H_B \leq 200$ $\sigma_{пч} < 70 \text{ кг/мм}^2$	≤ 4	270—310	0,9—1,1
		> 4	230—270	0,7—0,9
	Сталь $H_B > 200$ $\sigma_{пч} > 70 \text{ кг/мм}^2$	≤ 4	200—230	0,7—0,8
		> 4	180—200	0,6—0,7
Внутрен- няя	Сталь	≤ 4 > 4	190 175	0,6—0,7

Величина подачи на 1 оборот детали

$$s_o = \frac{\pi D n_{\partial}}{n_p z} \text{ мм/об},$$

где D — наружный диаметр резьбы в мм;
 n_{∂} — число оборотов детали в мин.;
 n_p — число оборотов реза (головки) в мин.;
 z — число резцов в головке.

Из приведённой формулы можно опреде-
лить число оборотов детали:

$$n_{\partial} = \frac{s_o n_p z}{\pi D} \text{ об/мин.}$$

и число оборотов головки

$$n_p = \frac{1000 v}{D_p} \text{ об/мин.},$$

где D_p — диаметр траектории резцов, который
определяется по следующим форму-
лам:

для наружных резьб

$$D_p = (1,4 \div 1,5) D_n \text{ мм},$$

где D_n — наружный диаметр резьбы в мм;

для внутренних резьб

$$D_p = (0,50 \div 0,55) D_a \text{ мм},$$

где D_a — внутренний диаметр резьбы в мм.

Основное технологическое время

$$T_o = \frac{l_{\partial}}{s n_{\partial}} \text{ мин.},$$

где l_{∂} — длина нарезаемой резьбы в мм;

s — шаг нарезаемой резьбы в мм;

n_{∂} — число оборотов детали в мин.

Нарезание резьбы метчиками и плашками [30]

Скорости резания, допускаемые метчиками
и плашками, подсчитываются по формуле

$$v = \frac{C_v D^{z_v}}{T^m s^{y_v}} \text{ м/мин},$$

где D — наружный диаметр резьбы в мм;
 s — подача резьбонарезного инструмента
в мм/об (численно равна шагу
резьбы).

Средние стойкости метчиков и плашек и
величины C_v , m , z_v и y_v приведены соот-
ветственно в табл. 109 и 110.

Т а б л и ц а 109
Средние стойкости метчиков и плашек в мин.

Обрабатываемый материал	Тип резьбонарезного инстру- мента		
	метчики машинные	метчики гаечные	плашки круглые
Сталь	90	150	90
Чугун	60	150	90

Крутящий момент и эффективная мощ-
ность при нарезании резьбы метчиками и
плашками определяются соответственно по
формулам:

$$M = C_m D^{z_m} s^{1,5} \text{ кгс м};$$

$$N_{\partial} = \frac{C_N D^{z_N} s^{y_N}}{T^m} \text{ кВт}.$$

Величины C_m , z_m , C_N , z_N , y_N и m приведе-
ны в табл. 111.

Поправочные коэффициенты на скорость
резания и эффективную мощность для изме-
нённых условий приведены в табл. 112 и 113.

ПРОТЯГИВАНИЕ [23, 30]

В массовом и серийном производстве точ-
ная обработка сквозных отверстий и наруж-
ных поверхностей разных профилей часто
производится методом протягивания.

Протягивание не только является более
производительным методом, чем зенкерование,
развёртывание, фрезерование, долбление, но
и даёт хорошее качество обработанных по-
верхностей и высокую точность обработки.

Сущность процесса внутреннего протяги-
вания состоит в том, что режущий инстру-
мент—протяжка—протягивается через пред-
варительно подготовленное отверстие, в ре-
зультате чего последнему придаются требуе-
мая форма и соответствующие размеры.

В зависимости от профиля получаемого
отверстия протяжки подразделяются на ци-
линдрические, квадратные, прямоугольные,
шпоночные, шлицевые и специальные (для
других профилей).

Элементы резания при протягивании мож-
но видеть на примере работы шпоночной про-
тяжки (фиг. 24).

Таблица 110

Величины C_v , m , z_v и y_v для определения скорости резания при нарезании резьбы метчиками и плашками

Тип резбонарезного инструмента	Марка инструментальной стали	Охлаждающая жидкость	Обрабатываемый материал	C_v	m	z_v	y_v
Метчики машинные со шлифованным профилем	P9	Керосин	Чугун серый $H_B = 190$	6,2	0,6	1,2	0,9
Метчики гаечные со шлифованным профилем	P9	Сульфидфрезол	Сталь углеродистая конструкционная $\sigma_{нч} = 75 \text{ кг/мм}^2$	53,0	0,9	1,2	0,5
Метчики гаечные автоматные со шлифованным профилем	P9	Сульфидфрезол		41,0	0,9	1,2	0,5
Плашки круглые	У12А и 9ХС	Эмульсия		27,0	0,5	1,2	1,2

Таблица 111

Величины C_M , z_M , C_N , z_N , y_N и m для определения крутящих моментов и эффективной мощности при нарезании резьбы метчиками и плашками [19]

Тип резбонарезного инструмента	Обрабатываемый материал	C_M	z_M	C_N	z_N	y_N	m
Метчики машинные со шлифованным профилем	Чугун серый $H_B = 190$	1,57	1,4	0,05	1,6	0,6	0,6
Метчики гаечные со шлифованным профилем	Сталь углеродистая конструкционная $\sigma_{нч} = 75 \text{ кг/мм}^2$	0,41	1,7	0,097	1,9	1,0	0,9
Метчики гаечные автоматные со шлифованным профилем		0,25	2,0	0,045	2,2	1,0	0,9
Плашки круглые		4,5	1,1	0,06	1,3	0,3	0,5

Таблица 112

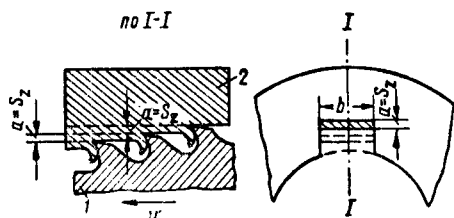
Поправочные коэффициенты на скорость резания и эффективную мощность, учитывающие обрабатываемый материал

Обрабатываемый материал		Прелел прочности $\sigma_{нч}$ в кг/мм^2	Твёрдость по Бринеллю H_B	Поправочный коэффициент на скорость резания		Поправочный коэффициент на эффективную мощность	
				метчики	плашки	метчики	плашки
Сталь конструкционная	Углеродистая	40—50	107—138	0,7	0,6	0,6	0,4
		50—60	133—169	1,0	0,7	1,3	0,6
		60—70	169—200	1,0	1,0	1,0	0,9
		70—80	200—230	1,0	1,0	1,0	1,0
		—	—	—	—	—	—
	Легированная	—	<200	0,9	0,9	0,9	1,1
		—	200—230	0,8	0,8	0,8	0,9
Чугун серый		—	<180	1,43	—	1,1	—
		—	180—200	1,0	—	1,0	—
		—	200—230	0,7	—	0,8	—
Чугун ковкий		—	—	2,4	—	2,0	—
Бронза, латунь		—	—	2,9	—	—	—

Таблица 113

Поправочные коэффициенты на скорость резания, учитывающие шаг и тип резьбы

Тип резьбо- нарезного инструмента	Обрабаты- ваемый материал	Тип резьбы по ГОСТ	Диаметр резьбы в мм или дюймах								
			6 1/4"	8 5/16"	10 3/8"	12 1/2"	16 5/8"	20 3/4"	24 1"	30 1 1/4"	36 1 1/2"
			Поправочные коэффициенты на скорость резания								
Метчики и плашки	—	32	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Метчики	Сталь	271	1,15	1,13	1,22	1,18	1,15	1,30	1,22	1,33	1,15
		272	—	—	—	—	—	—	1,42	1,52	1,41
		1 260	0,95	0,94	0,94	0,88	0,94	0,95	1,05	1,05	1,05
	Чугун	271	1,30	1,21	1,43	1,35	1,30	1,60	1,43	1,65	1,30
		272	—	—	—	—	—	—	1,89	2,1	1,83
		1 260	0,86	0,88	0,89	0,89	0,87	0,92	1,00	1,02	1,02
Плашки	Сталь	271	1,42	1,30	1,63	1,48	1,40	1,70	1,63	1,56	1,40
		272	—	—	—	—	—	—	1,67	1,56	1,50
		1 260	0,80	0,87	0,88	0,83	0,86	0,90	0,98	1,01	1,01

Фиг. 24. Схема резания шпоночной протяжкой:
1—протяжка; 2—изделие

Толщина среза (a мм)—это разница в высоте двух соседних режущих зубьев протяжки (или «подъём» на один зуб).

Подача на один зуб (s_z мм) численно равна толщине среза.

Ширина среза—это длина соприкосновения зуба протяжки с обрабатываемым изделием.

Основное технологическое время при протягивании

$$T_o = \frac{hl\tau K}{1000 v s_z l} \text{ мин.},$$

где h — припуск на сторону, снимаемый протяжкой за полный её проход, в мм;

l — длина протягиваемой поверхности в мм;

τ — коэффициент, учитывающий длину калибрующей части протяжки (обычно $\tau = 1,17 \div 1,25$; у протяжек без калибрующей части $\tau = 1$);

K — коэффициент, учитывающий обратный ход протяжки (обычно $K = 1,14 \div 1,5$);

v — скорость резания (скорость движения протяжки при рабочем ходе) в м/мин;

s_z — подача (подъём на один зуб режущих зубьев протяжки) в мм.

i — число зубьев протяжки, находящихся одновременно в работе ($i = \frac{l}{t}$, где t — шаг зубьев протяжки).

Характер и допустимые величины износа режущей части протяжек приведены в табл. 114.

Таблица 114

Характер и допустимые величины износа режущей части протяжек при обработке стали и чугуна

Тип протяжек	Характер износа	Допустимая величина износа σ в мм
Цилиндрические	По задней грани зуба и уголкам стружколомающих канавок а)	0,2—0,3
Шлицевые и шпоночные	По задней грани и уголкам зуба . . . б)	0,3—0,4

Величины подач s_z при протягивании приведены в табл. 115.

Скорость резания при протягивании

$$v = \frac{C_v}{T^{m_s} s_z} \text{ м/мин.},$$

Подачи (s_z) при протягивании

Таблица 115

Обрабатываемый материал	Механические свойства		Тип протяжек		
	твёрдость H_B	предел проч- ности $\sigma_{пл}$ в кг/мм ²	цилиндриче- ские	шлицевые	шпоночные
Сталь углеродистая конструк- ционная	До 200	До 70	0,02—0,03	0,04—0,06	0,04—0,07
	200—230	70—80	0,02—0,05	0,04—0,08	0,07—0,12
	Свыше 230	Свыше 80	0,02—0,03	0,03—0,05	0,04—0,07
Сталь легированная конструк- ционная	До 200	До 70	0,02—0,03	0,03—0,05	0,03—0,06
	200—230	70—80	0,02—0,04	0,04—0,06	0,06—0,10
	Свыше 230	Свыше 80	0,02—0,03	0,03—0,05	0,04—0,07
Чугун серый	200	—	0,04—0,08	0,06—0,10	0,08—0,15
	200	—	0,03—0,06	0,04—0,08	0,07—0,12

где C_v — коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала и типа протяжки;
 T — период стойкости протяжки в мин.;
 s_z — подача в мм;
 m — показатель относительной стойкости;
 y_v — показатель степени.

Поправочные коэффициенты на скорость резания и величины C_v , m и y_v приведены в табл. 116 и 117.

Средние стойкости протяжек приведены в табл. 118.

Таблица 116

Поправочные коэффициенты на скорость резания, учитывающие марку инструментальной стали, из которой изготовлена протяжка

Марка инструментальной стали	P18, P9	XBG*
Поправочный коэффициент	1,0	0,6

* Применяется при отсутствии быстрорежущей стали для протяжек несложного профиля.

Таблица 117

Величины C_v , m и y_v для определения скорости резания при протягивании

Обрабатываемый материал	Механические свойства		Применяемое охлаждение	Тип протяжек														
	твёрдость <i>H_B</i>	предел прочности $\sigma_{пл}$ в кг/мм ²		шпоночные														
				цилиндрические			шлицевые											
				<i>C_v</i>	<i>m</i>	<i>y_v</i>	<i>C_v</i>	<i>m</i>	<i>y_v</i>	<i>s_z ≤ 0,07 мм</i>		<i>s_z > 0,07 мм</i>						
Сталь углеродистая конструкционная	До 200	До 70	Сульфоре- зол	16,8	0,62	0,62	15,5	0,6	0,75	9,8	0,87	1,4	7,7	0,87	1,4			
	200—230	70—80		15,5	0,62	0,62	14,0	0,6	0,75	8,8	0,87	1,4	7,0	0,87	1,4			
	Свыше 230	Свыше 80		11,2	0,62	0,62	10,0	0,6	0,75	6,3	0,87	1,4	5,0	0,87	1,4			
Сталь легированная конструкционная	До 200	До 70	Без охлаждения	15,5	0,62	0,62	14,0	0,6	0,75	8,8	0,87	1,4	7,0	0,87	1,4			
	200—230	70—80		11,2	0,62	0,62	10,2	0,6	0,6	6,3	0,87	1,4	5,0	0,87	1,4			
	Свыше 230	Свыше 80		9,8	0,77	0,8	7,7	0,5	0,6	4,8	0,87	1,4	3,8	0,87	1,4			
Чугун серый	До 200	—	Без охлаждения	14,0	0,5	0,6	17,5	0,5	0,6	6,2	0,6	0,95	6,2	0,6	0,95			
	Свыше 200	—		11,5	0,5	0,6	14,7	0,5	0,6	5,1	0,6	0,95	5,1	0,6	0,95			

Таблица 118

Средние стойкости протяжек T (мин.)

Обрабатываемый материал	Цилиндрические протяжки					Шлицевые протяжки				Шпоночные протяжки		
	Диаметр D в мм									ширина шпоночного паза B в мм		
	10	20	30	40	50	28	32—52	60—70	78—82	5	10	20
Сталь	90	120	180	270	360	270	420	600	900	90	120	200
Чугун	150	180	270	420	600	420	600	900	1 300	120	180	300

Величины C_p и U_p для определения усилия резания при протягивании

Таблица 119

Обрабатываемый материал	Твёрдость H_B	Предел прочности $\sigma_{пл}$ в кг/мм ²	Применяемое охлаждение	Тип протяжек					
				цилиндрические		шлицевые		шпоночные	
				C_p	U_p	C_p	U_p	C_p	U_p
Сталь углеродистая конструкционная	До 200 200—230 Свыше 230	До 70 70—80 Свыше 80	Сульфид-фрезол	700	0,85	212	0,85	177	0,85
				762	0,85	230	0,85	202	0,85
				842	0,85	284	0,85	250	0,85
Сталь легированная конструкционная	До 200 200—230 Свыше 230	До 70 70—80 Свыше 80	Сульфид-фрезол	762	0,85	230	0,85	202	0,85
				842	0,85	284	0,85	250	0,85
				1000	0,85	315	0,85	282	0,85
Чугун серый	До 200 Свыше 200	—	Без охлаждения	300	0,73	152	0,73	115	0,73
				354	0,73	215	0,73	137	0,73

Усилие резания при протягивании:
для цилиндрических протяжек

$$P = C_p s_z^p D z \text{ кг};$$

для шлицевых протяжек

$$P = C_p s_z^p b n z \text{ кг};$$

для шпоночных протяжек

$$P = C_p s_z^p b z \text{ кг}.$$

В приведённых формулах:

C_p — коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала и типа протяжки;

s_z — подача в мм;

D — диаметр протяжки в мм;

z — число одновременно работающих зубьев протяжки;

b — ширина шлица или шпоночного паза в мм;

n — число шлицев.

В табл. 119 приведены величины C_p и U_p .

В табл. 120, 121 и 122 приведены поправочные коэффициенты на усилие резания, учитывающие геометрию режущей части протяжки, износ и состояние её режущих кромок, а также вид охлаждения (при протягивании стали).

Таблица 120

Поправочные коэффициенты на усилие резания, учитывающие геометрию режущей части протяжки

Передний угол			Задний угол			
10—12°	6—8°	0—2°	2—3°	<1°	2—3°	<1°
			обрабатываемый материал			
			сталь		чугун	
Поправочный коэффициент						
<u>1,0</u>	1,13	1,35	<u>1,0</u>	1,2	<u>1,0</u>	1,12

Эффективная мощность при протягивании определяется по формуле

$$N_s = \frac{Pv}{60 \cdot 102} \text{ квт},$$

где P — усилие резания в кг;

v — скорость резания в м/мин.

Таблица 121

Поправочные коэффициенты на усилие резания, учитывающие износ и состояние режущих кромок протяжки

Состояние режущих кромок	Острые	Затупленные	
Величина износа δ в мм	—	0,3	До 1,0
Поправочный коэффициент	1,0	1,15	1,75

Таблица 122

Поправочные коэффициенты на усилие резания, учитывающие вид охлаждения (при протягивании стали)

Вид охлаждения	С охлаждением		Без охлаждения
	сульфо-фрезолом	10%-ной эмульсией	
Поправочный коэффициент .	1,0	1,13	1,34

ШЛИФОВАНИЕ И ДОВОДКА

Шлифование кругами и сегментами

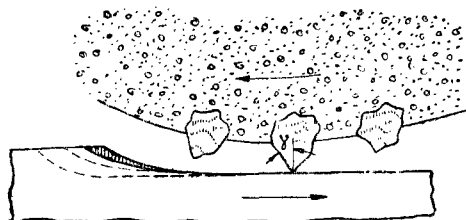
Шлифовальный круг, состоящий из абразивных зёрен и связующего вещества (связки), подобен фрезе с громадным числом зубьев. Однако в отличие от зубьев фрезы режущие зёрна шлифовального круга расположены произвольно и имеют в общем случае отрицательный передний угол (фиг. 25), вследствие чего каждое зерно соскабливает с обрабатываемой поверхности небольшую стружку при относительно высоких температурах и давлениях. Высокие скорости, с которыми производится шлифование, также способствуют повышению температуры в поверхностном слое.

Так как зёрна шлифовального круга весьма незначительно выступают из связки, то слой материала, снимаемый с изделия (t мм), имеет очень малую толщину, и сечение среза при шлифовании очень мало.

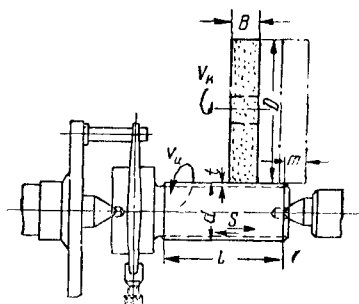
Существуют следующие основные способы шлифования:

1) круглое наружное шлифование с поперечной подачей на каждый одинарный или двойной ход стола станка (фиг. 26) или врезанием, т. е. без продольного перемещения детали (фиг. 27);

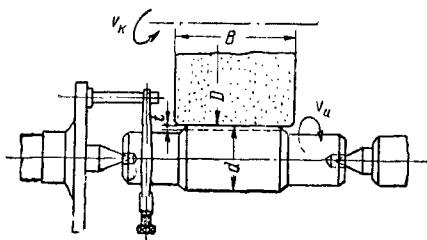
2) круглое внутреннее шлифование при вращении изделия и шлифовального круга (фиг. 28) или при неподвижном изделии и планетарном вращении шлифовального круга (фиг. 29);



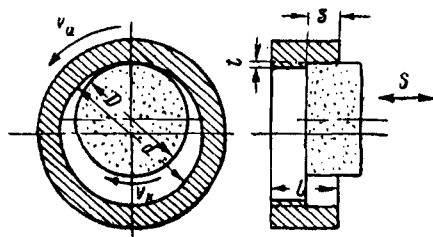
Фиг. 25. Схема работы зёрен шлифовального круга



Фиг. 26. Круглое наружное шлифование с поперечной подачей на одинарный или двойной ход стола

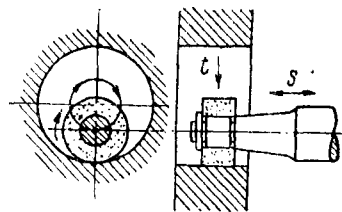


Фиг. 27. Круглое наружное шлифование врезанием



Фиг. 28. Круглое внутреннее шлифование при вращении изделия и шлифовального круга

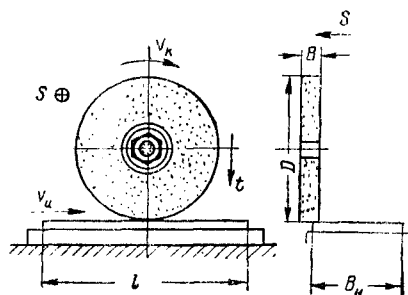
3) плоское шлифование периферией (фиг. 30) или торцом (фиг. 31) шлифовального круга (шлифовальных сегментов);



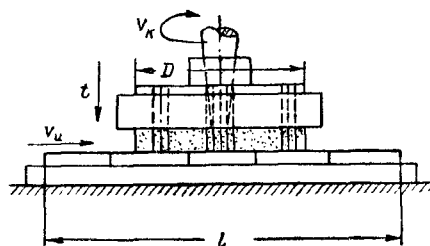
Фиг. 29. Круглое внутреннее шлифование при неподвижном изделии и планетарном вращении шлифовального круга

4) круглое бесцентровое шлифование на проход или врезанием (фиг. 32).

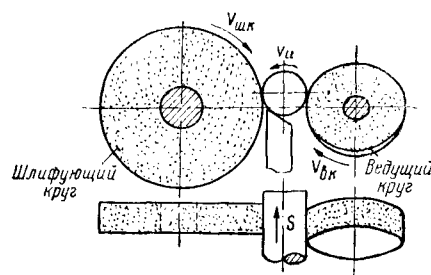
В принципиальных схемах различных способов шлифования, показанных на фиг. 26—32, даны следующие обозначения:



Фиг. 30. Плоское шлифование периферией шлифовального круга на станке с прямоугольным столом



Фиг. 31. Плоское шлифование торцом шлифовального круга на станке с прямоугольным столом



Фиг. 32. Круглое бесцентровое шлифование

v_k — окружная скорость вращения шлифовального круга в м/сек ;
 v_u — окружная скорость вращения или скорость прямолинейного движения изделия в м/мин ;
 t — поперечная подача (или глубина шлифования) в мм ;
 s — продольная подача, задаваемая в долях ширины шлифовального круга, в мм на 1 оборот детали;
 d — диаметр шлифуемой поверхности изделия в мм ;
 D — диаметр шлифовального круга в мм ;
 $v_{\text{ок}}$ — скорость (окружная) ведущего круга (при бесцентровом круглом шлифовании);
 $v_{\text{шк}}$ — скорость (окружная) шлифующего круга (при бесцентровом круглом шлифовании);
 B — ширина шлифовального круга в мм ;
 l — длина шлифуемой поверхности изделия в мм ;

Основное технологическое время при шлифовании определяется по следующим формулам.

1. При круглом наружном шлифовании цилиндрических поверхностей:

а) При поперечной подаче на каждый одинарный ход стола

$$T_o = \frac{L}{n_u s} i K = \frac{\pi d L h}{1000 v_u s t} K \text{ мин.},$$

где n_u — число оборотов изделия в мин.;
 L — длина продольного хода стола (или шлифовального круга) в мм ;
 i — число проходов;

K — коэффициент, учитывающий точность шлифования и износ круга.

При шлифовании с выходом круга в обе стороны

$$L = l - (1 - 2m) B,$$

где m — выход круга за пределы шлифуемой поверхности в долях ширины круга ($0,3 \div 0,5$);

с выходом круга в одну сторону

$$L = l - (1 - m) B;$$

без выхода круга

$$L = l - B.$$

Число проходов $i = \frac{h}{t}$, где h — припуск на обработку (на сторону) в мм .

Для предварительного шлифования $K = 1,2 \div 1,4$, для окончательного шлифования $K = 1,3 \div 1,7$.

б) При поперечной подаче на каждый двойной ход стола

$$T_o = \frac{2L}{n_u s} i K = \frac{2\pi d L h}{1000 v_u s t} K \text{ мин.}$$

в) При шлифовании врезанием

$$T_o = \frac{h}{n_u t} K \text{ мин.}$$

Для предварительного и окончательного шлифования $K = 1,2 \div 1,3$.

2. При круглом внутреннем шлифовании.

$$T_o = \frac{2Lh}{n_u s t} K \text{ мин.}$$

Для предварительного шлифования $K = 1,2 \div 1,5$.

Для окончательного шлифования $K = 1,3 \div 1,8$.

3. При плоском шлифовании:

а) Периферией круга на станках с прямоугольным столом при поперечной подаче на каждый одинарный ход стола

$$T_o = \frac{H}{n_c s z} i K = 1 \frac{H L h}{1000 v_u s t z} K \text{ мин.},$$

где H — величина поперечного хода круга в мм ; $H = B_u + B + 5 \text{ мм}$;

B_u — полная ширина изделия в мм ;
 n_c — число одинарных ходов стола в мин.;
 v_u — скорость движения изделия (стола) в м/мин ;
 z — число одновременно шлифуемых изделий.

$$L = l + (10 \div 20) \text{ мм.}$$

Для предварительного шлифования $K = 1,15 \div 1,35$.

Для окончательного шлифования $K = 1,25 \div 1,50$.

б) Периферией круга на станках с прямоугольным столом при поперечной подаче на каждый двойной ход стола

$$T_o = \frac{2H}{n_c s z} i K = 1 \frac{2H L h}{1000 v_u s t z} K \text{ мин.}$$

в) Торцом круга на станках с прямоугольным столом

$$T_o = \frac{Lh}{1000 v_u t z} K \text{ мин.},$$

$$L = l + D + (10 \div 15) \text{ мм.}$$

Для предварительного шлифования $K = 1,2 \div 2,0$.

Для окончательного шлифования $K = 1,2 \div 1,5$.

г) Торцом круга на станках с круглым столом

$$T_o = \frac{h}{n_{cm} t z} K \text{ мин.}$$

Для предварительного шлифования $K = 1,2 \div 2,0$.

Для окончательного шлифования $K = 1,2 \div 1,5$.

4. При круглом бесцентровом шлифовании:
а) При шлифовании на проход

$$T_o = \frac{lz + B}{s_m z} i' K,$$

где z — число изделий в партии, шлифуемых непрерывным потоком,

s_m — минутная (продольная) подача в мм/мин;

$$s_m = \pi D_{\text{вк}} n_{\text{вк}} \sin \alpha \text{ мм/мин},$$

где $D_{\text{вк}}$ — диаметр ведущего круга в мм;

$n_{\text{вк}}$ — число оборотов ведущего круга в мин.;

α — угол поворота ведущего круга в градусах;

τ_i — коэффициент, учитывающий проскальзывание изделия относительно ведущего круга:

$$\tau_i = 0,90 \div 0,95;$$

i' — число проходов, осуществляемых без изменения режима резания.

Для предварительного и окончательного шлифования $K = 1,05 \div 1,20$.

Подача на один оборот шлифуемого изделия

$$s_o = \pi d \operatorname{tg} \alpha \text{ мм/об.}$$

б) При шлифовании врезанием

$$T_o = \frac{d}{n_{\text{вк}} D_{\text{вк}} \tau_i} \left(\frac{h}{s_1} + n_1 \right) \text{ мин.},$$

где s_1 — радиальная подача на один оборот изделия в мм/об;

n_1 — число оборотов изделия в минуту до прекращения искрения (при шлифовании, происходящем без подачи);

$$n_1 \approx 12 \text{ оборотов.}$$

Число оборотов шлифуемого изделия в минуту

$$n_u = \frac{v_{\text{вк}} \cdot 1000}{\pi d} \eta \text{ об/мин.}$$

Режимы шлифования

Стойкость шлифовального круга — это промежуток времени его работы между правками.

Стойкость шлифовальных кругов принимается в пределах 3 — 15 мин. (в зависимости от типа круга).

В отличие от других видов резания металлов при увеличении окружной скорости вращения шлифовального круга его стойкость повышается, так как при этом толщина стружки, снимаемой каждым режущим зерном, уменьшается, а следовательно, уменьшается и нагрузка на зерно. Однако увеличение окружной скорости круга лимитируется условиями техники безопасности.

Наибольшие допустимые окружные скорости вращения шлифовальных кругов приведены в табл. 123 [23].

Глубина шлифования t мм, продольная подача в долях ширины круга s и скорость вращения или прямолинейного перемещения изделия v_u выбираются по табл. 124—127 [36].

Таблица 123

Наибольшие допустимые окружные скорости вращения шлифовальных кругов (по ГОСТ 3881-47)

Наименование шлифовальных кругов	Обозначение формы	Подача шлифовального круга или обрабатываемой детали	Окружные скорости шлифовального круга v_k в м/сек на связках		
			керамической	бакелитовой	вулканитовой
Плоские, прямого профиля	ПП	Ручная	30	40	35
То же	ПП	Механическая или автоматическая	35	40	35
То же скоростные для обдирочно-шлифовальных операций	ПП	Ручная	—	50	—
Плоские, 40°, конического профиля	2П	Механическая или автоматическая	35	35	35
Плоские, 45°, конического профиля	3П				
Плоские, с малым углом, конического профиля (не более 30°)	4П	Автоматическая	30	35	—
Плоские с выточкой	ПВ	Механическая или автоматическая	35	35	35
Плоские с выточками в виде ласточкина хвоста	ПВЛ	Ручная	30	40	—
Круги-диски	Д	Ручная или механическая	—	50	50
Круги-кольца и круги-кольца с выточкой	1К и 2К	Механическая	25	30	—
Круги-чашки цилиндрические	ЧЦ	Ручная	25	30	—
Круги-чашки конические	ЧК				
Круги-чашки цилиндрические	ЧЦ	Механическая	30	35	—
Круги-чашки конические	ЧК				
Круги-тарелки	1Т, 2Т	Ручная	25	30	—
Круги-тарелки	3Т	Механическая или автоматическая	30	—	—
Для шлифования зубьев зубчатых колёс	Ш	Ручная или механическая	25	30	—
Для доводки развёрток	Р	Ручная	25	—	—
Сегментные	—	Механическая или автоматическая	30	30	—

Режимы резания при круглом наружном шлифовании

Таблица 124

Характер шлифования		Скорость изделия v_u в м/мин	Глубина шлифования t	Продольная подача s в долях ширины круга
Предварительное с продольной подачей стола (длинные поверхности)	С подачей на каждый ход стола	12—25	0,01—0,025 мм	0,3—0,7
	С подачей на двойной ход стола	20—30	0,015—0,05 »	0,3—0,7
Чистовое с продольной подачей стола (длинные поверхности)		15—55	0,005—0,015 мм	0,2—0,4
Врезанием	Предварительное	30—50	0,025—0,075 мм/об	—
	Чистовое	20—40	0,001—0,005 »	—

Режимы резания при круглом внутреннем шлифовании

Таблица 125

Типы станков	Характер шлифования	Скорость изделия v_u в м/мин	Глубина шлифования t в мм	Продольная подача s в долях ширины круга
Простые	Предварительное	20—40	0,005—0,02	0,40—0,70
	Чистовое		0,0025—0,01	0,25—0,40
Полуавтоматические	Предварительное	50—150	0,0025—0,005	0,40—0,75
	Чистовое		0,0015—0,0025	0,25—0,40

Режимы резания при плоском шлифовании периферией круга

Таблица 126

Типы станков	Характер шлифования	Скорость изделия v_u в м/мин	Глубина шлифования t в мм	Продольная подача s в долях ширины круга
Инструментальные	Предварительное	3—8*	0,05—0,15	1—2 мм/дв. х
	Чистовое	3—8*	0,01—0,015	1—1,5 мм/дв. х
Серийного производства	Предварительное	8—30	0,015—0,04	0,4—0,7
	Чистовое	15—20	0,005—0,015	0,2—0,3
С круглым столом	Предварительное	20—60	0,005—0,015	0,3—0,6
	Чистовое	40—60	0,005—0,10	0,2—0,25

* Меньшие величины выбираются для изделий толщиной до 3 мм.

Режимы резания при плоском шлифовании торцом круга

Таблица 127

Типы станков	Характер шлифования	Скорость изделия v_u в м/мин	Глубина шлифования t в мм
С плоским столом	Предварительное Чистовое	4—12 2—3	0,015—0,04 0,005—0,01
Простые с круглым столом	Предварительное Чистовое	10—40	0,015—0,030 0,005
Полуавтоматические с круглым столом	Предварительное Чистовое	2—3	0,10—0,15 0,005

Эффективную мощность при шлифовании определяют по следующим формулам:

а) при шлифовании периферией шлифовального круга

$$N_э = C_N v_u^{r_N} t^{x_N} s^{y_N} d^{q_N} \text{ кВт};$$

б) при шлифовании торцом шлифовального круга

$$N_э = C_N v_u^{r_N} t^{x_N} B^{z_N} \text{ кВт}.$$

Величины C_N , r_N , x_N , y_N , q_N и z_N приведены в табл. 128 [23].

Таблица 128

Величины C_N , r_N , x_N , y_N , q_N и z_N для определения эффективной мощности при шлифовании

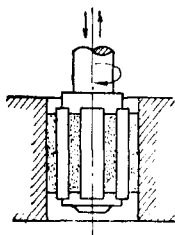
Характер шлифования	Обрабатываемый материал	Характеристика шлифовального круга				C_N	r_N	x_N	y_N	q_N	z_N
		абразивный материал	связка	зернистость	твёрдость						
Круглое наружное с поперечной подачей на двойной ход стола	Незакалённая и закалённая сталь	Электрокорунд	Керамическая	36	СМ ₂	1,3	0,75	0,85	0,7	—	—
				46	СМ ₁	1,2					
				46	СМ ₂	1,4					
Круглое наружное с поперечной подачей на каждый ход стола	То же	То же	То же	36	СМ ₂	2,2	0,5	0,5	0,5	—	—
				46	СМ ₁	2,1					
				46	С ₁	2,7					
				46	С ₁	2,7					
Круглое врезанием	»	»	»	36	С ₁	0,14	0,8	0,8	—	0,2	1,0
Бесцентровое на проход	Незакалённая сталь	»	»	46	С ₁	0,10	0,85	0,6	0,7	0,5	—
				46	СТ ₁	0,10					
				60	СМ ₂	0,075					
				60	СТ ₁	0,10					
Бесцентровое врезанием	Закалённая сталь	»	»	46	СМ ₁	0,26	0,6	0,6	0,5	0,5	—
				46	С ₁	0,29					
				60	СМ ₁	0,32					
				60	С ₁	0,35					
Круглое внутреннее	Незакалённая сталь	»	»	36	СМ ₁	0,20	0,5	0,4	0,4	0,3	—
				46	С ₁	0,27					
	Закалённая сталь	Корракс	»	36	СМ ₁	0,36	0,35	0,4	0,4	0,3	—
				46	СМ ₁	0,36					
Плоское периферией круга на станках с прямоугольным столом	Незакалённая сталь	Электрокорунд	»	36	СТ ₁	0,68	1,0	0,8	0,8	—	—
				36	С ₁	0,59					
				36	СМ ₂	0,52					
				36	СМ ₂	0,52					
Плоское периферией круга на станках с круглым столом	То же	То же	»	46	СМ ₂	0,53	0,53	0,8	0,65	0,7	—
				36	С ₁	0,53					
	Закалённая сталь	То же	»	46	СМ ₁	0,71	0,7	0,5	0,5	—	—
				36	М ₂	0,69					

Продолжение табл. 128

Характер шлифования	Обрабатываемый материал	Характеристика шлифовального круга				C_N	r_N	x_N	y_N	q_N	z_N
		абразивный материал	связка	зернистость	твёрдость						
Плоское торцом круга на станках с прямоугольным столом	Незакалённая сталь	Электрокорунд	Бакелитовая	16 16 16	M_2 C_1 CT_1	0,17 0,39 0,59	0,7	0,5	—	—	0,6
Плоское торцом круга на станках с круглым столом	Незакалённая сталь	То же	Керамическая	36 (кольцевой) 36 (сегментный) 24 (кольцевой)	CM_2 M_2 M_1	2,01 1,31 1,81	0,5	0,5	—	—	0,6
	Закалённая сталь	»	То же	36 (кольцевой) 36 (сегментный) 24 (кольцевой) 24 (сегментный)	CM_2 M_2 M_1 M_2	4,8 3,4 5,6 4,01	0,3	0,25	—	—	0,3
	Чугун	Карбид кремния		36 (сегментный) 36 (кольцевой) 24 (кольцевой)	CM_2 CM_1 CM_2	2,60 4,03 3,92	0,4	0,4	—	—	0,45

Отделочные операции

Доводка брусками (хонингование). Доводка брусками является одним из видов отделочного шлифования наружных и внутренних поверхностей. Эта операция выполняется специальной головкой с укрепленными на ней несколькими регулирующими абразивными брусками. В процессе работы головка совершает одновременно вращательное и возвратно - поступательное движения (фиг. 33). Припуск на обработку: для стали $0,01 \div 0,12$ мм, для чугуна $0,018 \div 0,25$ мм.



Фиг. 33. Схема работы головки с доводочными брусками

Чем больше диаметр обрабатываемого отверстия, тем больше берётся припуск.

Зернистость и твёрдость брусков выбираются по табл. 129, а режимы резания при доводке брусками — по табл. 130 [23].

Доводка брусками производится при обильном охлаждении (50 л/мин и более под давлением до 5 ат), назначение которого — уменьшить нагревание изделия и непрерывно смывать с обрабатываемой поверхности стружку и частицы выкрошившегося абразива. Составы применяемых при доводке брусками охлаждающих жидкостей приведены в табл. 131 [23].

Характеристика брусков для доводки

Характер обработки	Зернистость	Твёрдость
В одну операцию	230—270 325—400	$M_2 - C_1$ $M_1 - C_1$
Предварительная	100—170 200—270	$M_2 - C_1$ $M_2 - C_1$
Окончательная	325—400 500—600	$M_1 - CM_2$

Таблица 130

Режимы резания при доводке брусками

Обрабатываемый материал	Скорость в м/мин		Радиальная подача брусков за 1 двойной ход в мм
	вращательного движения (окружная)	возвратно-поступательного движения	
Сталь закалённая . . .	20—35	5—10	0,05—0,15
» незакалённая . . .	45—60	10—15	0,1—0,2
Чугун и бронза	60—75	15—20	0,06—0,2

Доводка брусками может обеспечить 1-й и 2-й классы точности и 8-й — 12-й классы чистоты по ГОСТ 2789-51.

Таблица 131
Составы охлаждающих жидкостей, применяемых при доводке брусками

Обрабатываемый материал	Состав охлаждающей жидкости
Чугун . . .	а) Керосин; б) смесь керосина (80—90%) с машинным маслом (20—10%)
Сталь . . .	а) 3 части керосина и 1 часть (по объёму) ЦЛС-3*; б) керосин с парафином; в) 5%-ная эмульсия
Бронза . . .	Вода или всухую

* Состав ЦЛС-3: 1,5 л осернённого (до 22% в готовом растворе) хлопкового масла, 10 л авиамасла СО и 6—8 мг нитробензола.

Притирка. Притирка является одним из видов отделочных операций, при котором небольшой припуск удаляется при помощи абразивного порошка и жёсткого притира, имеющего форму обрабатываемой поверхности.

Притирку производят также деталию по детали. Поверхность притира, более мягкого, чем обрабатываемый материал, насыщается (шаржируется) абразивным порошком. Притиры делают из красной меди, свинца, мягкого серого чугуна. Притирка может быть ручной (на неподвижной плите, на вращающемся диске или в патроне токарного станка) или механической (на специальных станках).

Припуск на притирку (на диаметр) составляет $0,005 \div 0,012$ мм для предварительной и до $0,005$ мм — для окончательной отделки изделий с круглым сечением. Для плоских изделий припуск лежит в пределах $0,004 \div 0,008$ мм на сторону.

В качестве притирочных средств применяются корундовые и наждачные тонко измельченные порошки (зернистостью $80 \div 120$ для предварительной и $140 \div 230$ для окончательной притирки), а также окись хрома, крокус и в особенности пасты ГОИ, состоящие из окиси хрома, стеариновой и олеиновой кислот. В качестве связующего вещества применяют керосин, бензин, растительные масла и т. п.

Скорость резания при притирке на станках вручную $10 \div 30$ м/мин и при механической притирке на станках — до 100 м/мин.

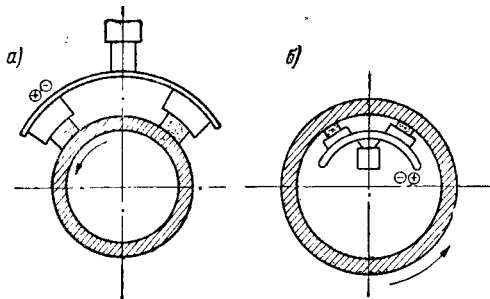
Притирка может обеспечить точность по 1-му классу и чистоту поверхности до 10—14-го класса по ГОСТ 2789-51.

Притирка широко применяется также и для доводки режущей части резцов.

Отделка колеблющимися брусками (суперфиниш). Отделка колеблющимися брусками является чисто отделочным процессом, при котором с обрабатываемой поверхности удаляются микронеровности без изменения формы самой поверхности. Эта операция производится с помощью мелкозернистых брусков при относительно малых их скоростях и давлениях.

Схемы отделки колеблющимися брусками наружной и внутренней поверхностей показаны на фиг. 34.

В процессе отделки абразивным брусками и обрабатываемому изделию сообщаются движения в разных направлениях и с разными скоростями, — чаще всего возвратно-поступательное (колебательное) движение брусков и вращательное движение обрабатываемого



Фиг. 34. Схемы процесса отделки поверхностей колеблющимися брусками: а — наружной поверхности; б — внутренней поверхности

изделия. Съем металла при отделке колеблющимися брусками составляет $0,005 \div 0,015$ мм на диаметр. Бруски изготавливаются из электрокорунда или карбида кремния на керамической или бакелитовой связке. Зернистость брусков — от 320 до 600. Для обработки закаленной стали применяют бруски твердостью $M_1 \div M_3$ и для обработки мягких материалов $M_3 \div SM_2$.

Режимы резания при отделке колеблющимися брусками приведены в табл. 132 [23].

Таблица 132
Режимы резания при отделке колеблющимися брусками

Обрабатываемый материал	Величина хода брусков в мм	Число двойных ходов брусков в мин.	Средняя скорость движения брусков $v_{ср}$ в м/мин	Скорость вращения изделия в м/мин
Закаленная сталь . . .	3—5	450—600	3,5	15—35
Другие материалы	2,5—6,5	350—1 200	2—6	3—40

Давление брусков на изделие устанавливается в пределах $0,5 \div 3$ кг/см² (чем тверже обрабатываемый материал, тем давление должно быть больше).

Для создания масляной пленки и смывания с обрабатываемой поверхности частиц металла и абразива при доводке колеблющимися брусками применяется смазывающая жидкость — керосин с добавкой веретённого масла № 2 (10%), либо веретённого масла № 3 (5—25%), либо турбинного масла Л (10%). Отделка колеблющимися брусками может обеспечить 11—14-й классы чистоты по ГОСТ 2789-51.

Таблица 133

Числа, возведённые в дробную степень

Числа	Показатели степеней																
	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,2
0,001	0,252	0,178	0,126	0,089	0,063	0,045	0,032	0,022	0,016	0,011	0,0079	0,0056	0,0040	0,0028	0,002	0,0014	0,0002
0,002	0,288	0,212	0,155	0,114	0,084	0,061	0,045	0,033	0,024	0,018	0,013	0,0094	0,007	0,0051	0,0037	0,0027	0,0006
0,0025	0,302	0,224	0,166	0,123	0,091	0,068	0,050	0,037	0,028	0,020	0,015	0,0112	0,0083	0,0061	0,0045	0,0034	0,0008
0,003	0,312	0,234	0,175	0,131	0,098	0,073	0,055	0,041	0,031	0,023	0,017	0,013	0,0096	0,0072	0,0055	0,004	0,0009
0,005	0,346	0,266	0,204	0,157	0,120	0,092	0,071	0,054	0,042	0,032	0,025	0,019	0,0144	0,011	0,0085	0,0065	0,0017
0,01	0,398	0,316	0,250	0,200	0,159	0,126	0,100	0,079	0,063	0,050	0,040	0,032	0,0252	0,020	0,016	0,012	0,0040
0,015	0,432	0,350	0,284	0,230	0,186	0,151	0,123	0,099	0,081	0,065	0,053	0,043	0,035	0,028	0,023	0,019	0,0065
0,02	0,458	0,376	0,310	0,254	0,210	0,172	0,141	0,116	0,096	0,079	0,065	0,053	0,044	0,036	0,030	0,024	0,0091
0,025	0,478	0,398	0,330	0,274	0,228	0,199	0,158	0,131	0,109	0,091	0,076	0,063	0,052	0,043	0,036	0,030	0,0120
0,03	0,495	0,416	0,350	0,294	0,246	0,206	0,173	0,145	0,122	0,102	0,086	0,073	0,061	0,051	0,043	0,036	0,0149
0,04	0,525	0,447	0,380	0,324	0,276	0,234	0,200	0,170	0,145	0,123	0,105	0,089	0,077	0,065	0,055	0,047	0,0210
0,05	0,550	0,473	0,408	0,350	0,302	0,260	0,224	0,193	0,166	0,143	0,123	0,106	0,091	0,078	0,067	0,058	0,0275
0,06	0,570	0,495	0,430	0,374	0,324	0,282	0,245	0,213	0,185	0,161	0,140	0,121	0,105	0,092	0,079	0,069	0,0342
0,07	0,586	0,514	0,450	0,394	0,345	0,302	0,265	0,232	0,203	0,178	0,155	0,136	0,119	0,104	0,091	0,080	0,0411
0,08	0,605	0,532	0,468	0,412	0,364	0,320	0,283	0,249	0,220	0,194	0,171	0,150	0,133	0,117	0,103	0,091	0,0483
0,10	0,631	0,562	0,502	0,445	0,398	0,354	0,316	0,282	0,251	0,224	0,200	0,178	0,158	0,141	0,126	0,112	0,0631
0,12	0,654	0,589	0,529	0,476	0,428	0,385	0,346	0,312	0,280	0,252	0,227	0,204	0,183	0,165	0,148	0,133	0,0785
0,15	0,684	0,622	0,565	0,515	0,468	0,426	0,387	0,352	0,320	0,291	0,267	0,241	0,218	0,199	0,186	0,165	0,103
0,20	0,725	0,669	0,625	0,568	0,525	0,485	0,447	0,413	0,381	0,351	0,324	0,299	0,276	0,255	0,235	0,216	0,145
0,30	0,786	0,740	0,695	0,655	0,618	0,582	0,548	0,516	0,486	0,458	0,431	0,406	0,382	0,359	0,338	0,318	0,236
0,40	0,833	0,795	0,760	0,725	0,693	0,660	0,633	0,604	0,576	0,551	0,527	0,503	0,480	0,459	0,438	0,419	0,333
0,50	0,871	0,840	0,810	0,785	0,758	0,730	0,707	0,683	0,660	0,637	0,616	0,595	0,572	0,555	0,536	0,518	0,435
0,75	0,944	0,930	0,915	0,904	0,891	0,880	0,866	0,854	0,842	0,830	0,818	0,806	0,794	0,783	0,772	0,779	0,778
1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	—
2	1,15	1,19	1,23	1,27	1,32	1,37	1,41	1,46	1,52	1,57	1,62	1,68	1,74	1,80	1,87	1,93	—
3	1,25	1,32	1,39	1,47	1,55	1,64	1,73	1,83	1,93	2,04	2,16	2,28	2,41	2,54	2,69	2,84	—
4	1,32	1,41	1,52	1,62	1,74	1,87	2,0	2,14	2,30	2,46	2,64	2,83	3,03	3,24	3,48	3,74	—
5	1,38	1,50	1,62	1,76	1,90	2,06	2,24	2,42	2,64	2,85	3,09	3,34	3,62	3,93	4,26	4,62	—
6	1,43	1,57	1,71	1,87	2,05	2,24	2,46	2,68	2,94	3,20	3,51	3,83	4,19	4,59	5,02	5,48	—
7	1,48	1,63	1,79	1,98	2,18	2,40	2,65	2,92	3,21	3,54	3,91	4,30	4,74	5,23	5,76	6,35	—
8	1,52	1,68	1,87	2,08	2,30	2,56	2,83	3,14	3,48	3,86	4,29	4,76	5,28	5,86	6,50	7,20	—
9	1,55	1,73	1,93	2,16	2,41	2,69	3,0	3,35	3,74	4,17	4,66	5,20	5,80	6,47	7,22	8,05	—
10	1,59	1,78	2,0	2,24	2,51	2,82	3,16	3,55	3,98	4,47	5,01	5,62	6,31	7,08	7,94	8,90	—
11	1,62	1,82	2,06	2,31	2,61	2,94	3,32	3,74	4,22	4,75	5,36	6,04	6,81	7,68	8,62	9,75	—
12	1,64	1,86	2,10	2,39	2,70	3,06	3,46	3,92	4,45	5,03	5,69	6,45	7,30	8,26	9,36	10,6	—
13	1,67	1,90	2,16	2,45	2,79	3,17	3,61	4,10	4,65	5,30	6,02	6,85	7,78	8,85	10,06	11,4	—
14	1,70	1,93	2,20	2,52	2,87	3,28	3,74	4,27	4,88	5,56	6,34	7,24	8,26	9,42	10,75	12,30	—
15	1,72	1,97	2,26	2,58	2,95	3,38	3,87	4,44	5,08	5,81	6,66	7,62	8,73	9,99	11,44	13,10	—
16	1,74	2,0	2,30	2,64	3,03	3,48	4,0	4,59	5,28	6,06	6,96	8,0	9,19	10,56	12,1	13,90	—
17	1,76	2,03	2,34	2,70	3,11	3,58	4,12	4,75	5,47	6,31	7,27	8,37	9,65	11,11	12,8	14,8	—
18	1,78	2,06	2,38	2,75	3,18	3,67	4,24	4,90	5,67	6,55	7,56	8,74	10,10	11,67	13,5	15,6	—
19	1,80	2,09	2,42	2,80	3,25	3,76	4,36	5,05	5,85	6,78	7,86	9,10	10,55	12,21	14,2	16,4	—
20	1,82	2,12	2,46	2,85	3,30	3,86	4,47	5,19	6,03	7,01	8,15	9,46	11,0	12,76	14,8	17,2	—
22	1,86	2,17	2,53	2,95	3,44	4,02	4,69	5,47	6,39	7,46	8,70	10,16	11,86	13,84	16,15	18,85	—
24	1,89	2,21	2,59	3,04	3,57	4,18	4,90	5,74	6,73	7,89	9,25	10,84	12,71	14,90	17,46	20,47	—
26	1,92	2,26	2,66	3,13	3,68	4,33	5,10	6,0	7,06	8,31	9,78	11,51	13,55	15,95	18,77	22,09	—
28	1,95	2,30	2,72	3,21	3,79	4,48	5,29	6,25	7,38	8,72	10,30	12,17	14,38	16,99	20,07	23,71	—
30	1,97	2,34	2,78	3,29	3,90	4,62	5,48	6,49	7,70	9,12	10,81	12,82	15,20	18,00	21,41	25,20	—
35	2,04	2,44	2,90	3,47	4,15	4,95	5,92	7,07	8,45	10,08	12,05	14,39	17,21	20,53	24,62	29,40	—
40	2,10	2,52	3,02	3,64	4,38	5,25	6,35	7,61	9,15	11,0	13,23	15,39	19,13	23,0	27,60	33,20	—
45	2,14	2,59	3,14	3,79	4,58	5,55	6,71	8,11	9,8	11,87	14,36	17,38	21,02	25,42	30,80	37,20	—
50	2,18	2,66	3,24	3,93	4,78	5,82	7,05	8,60	10,5	12,72	15,46	18,81	22,87	27,8	33,81	41,20	—
55	2,22	2,72	3,32	4,07	4,97	6,07	7,42	9,06	11,10	13,83	16,53	20,2	24,68	30,15	36,84	45,01	—
60	2,26	2,78	3,42	4,19	5,16	6,30	7,75	9,51	11,7	14,32	17,6	21,56	26,46	32,47	39,8	48,89	—
65	2,30	2,84	3,50	4,31	5,31	6,54	8,06	9,93	12,24	15,08	18,58	22,89	28,21	34,75	42,82	52,76	—
70	2,34	2,89	3,58	4,42	5,45	6,75	8,37	10,35	12,80	15,82	19,6	24,20	29,93	37,01	45,8	56,61	—
75	2,38	2,94	3,66	4,53	5,62	6,98	8,66	10,75	13,30	16,55	20,54	25,49	31,62	39,25	48,7	60,44	—
80	2,40	2,98	3,72	4,64	5,75	7,20	8,94	11,14	13,92	17,26	21,49	26,75	33,4	41,46	51,5	64,26	—
85	2,44	3,04	3,80	4,74	5,91	7,38	9,22	11,51	14,33	17,96	22,41	27,99	34,96	43,65	54,51	68,07	—
90	2,46	3,08	3,86	4,83	6,05	7,60	9,49	11,88	14,91	18,63	23,33	29,22	36,6	45,83	57,50	71,87	—
95	2,48	3,12	3,92	4,92	6,18	7,76	9,75	12,24	15,37	19,30	24,23	30,43	38,2	47,98	60,25	75,65	—
100	2,52	3,16	3,95	5,01	6,31	7,96	10,0	12,59	15,90	19,93	25,1						

ОСНОВЫ МЕТОДИКИ РАСЧЁТА РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Основные определения

Технологическим процессом (при обработке металлов резанием) называют совокупность непосредственных действий, направленных на изменение формы и свойств материала от момента поступления заготовки до получения детали машины.

Каждый технологический процесс делится на части—операции.

Операцией называют законченную часть технологического процесса обработки детали, выполняемую на одном рабочем месте (например на одном станке).

Переходом называют часть операции, выполненную без изменения поверхности обработки, инструмента и режима резания.

Прогоном называют часть перехода, связанную со снятием одного слоя металла с данной заготовки.

Исходные данные для расчёта режима резания при обработке деталей подвижного состава

Для расчёта рационального режима обработки необходимо иметь:

- а) рабочий чертёж (или образец детали), имеющий соответствующие номинальные размеры с допусками и отклонениями, а также с указанием класса чистоты каждой обработанной поверхности;
- б) программу производства данных деталей (на год, месяц и т. п.);
- в) технические условия на обрабатываемую деталь;
- г) сведения об имеющемся на данном предприятии оборудовании и о возможности приобретения необходимого оборудования;
- д) сведения об имеющихся на данном предприятии инструментах (режущих, мерительных, крепёжных и др.) и приспособлениях, о возможности приобретения их или изготовления вновь, а также и о системе восстановления инструмента.

Иногда, кроме указанного минимума исходных данных, необходимо знать специальные условия, обуславливающие обработку данных деталей подвижного состава, например, срок обработки данной детали и срок выхода из ремонта локомотива или вагона и т. п.

Предварительная подготовка заготовок для обработки резанием

Заготовками в машиностроении называют материалы, как правило, сходные по форме с деталью, которую в дальнейшем получают обработкой резанием.

Форма и способ получения заготовок в основном зависят от конструкции детали, поэтому при конструировании деталей, кроме эксплуатационных требований, следует учитывать и технологичность, т. е. возможность изготовления её наиболее производительными способами

Технологичность достигается в основном стандартизацией и унификацией изделий, узлов и деталей, правильным выбором материалов и заготовок, уменьшением припусков на обработку, упрощениями механической обработки, улучшающими технологию, и другими мероприятиями, обеспечивающими высокое качество обработанных поверхностей и повышение производительности труда.

Припуск на обработку. Припуском на обработку называют толщину слоя металла, который необходимо удалить с заготовки в процессе обработки с целью получения необходимых форм, размеров и качества обработанных поверхностей готовой детали.

Общий припуск на обработку иногда разделяют на части, снимаемые при соответствующих операциях, и тогда эти части называют межоперационными припусками на обработку.

Величина припуска на обработку в основном зависит от материала и способа получения заготовки, размеров заготовки, сложности формы детали, требуемой точности обработки, требуемой чистоты обработанных поверхностей и сложности методов обработки.

Разметка. В мелкосерийном и индивидуальном производстве заготовки подвергают разметке, которая ведётся для проверки размеров и соответствия формы заготовки форме детали по чертежу, а также для нанесения на заготовке границ обработки с правильным распределением припусков на обработку.

В массовом, крупносерийном и серийном производстве разметку не применяют, а обработку ведут в соответствующих приспособлениях.

Выбор баз. Базой называют такую поверхность (детали или её заготовки), которая служит для установки детали на станок и ориентирует её относительно режущего инструмента.

Базы бывают основные и вспомогательные; последние выбирают в процессе работы временно для выполнения определённых функций, а затем такие базовые поверхности срезаются.

Основные базовые поверхности остаются на детали в эксплуатации и ориентируют деталь при работе относительно других деталей.

Эти базовые поверхности следует выбирать по условиям более точной установки и обработки детали на станке, ориентировки по ней режущего инструмента и с учётом возможности отказа от вспомогательных баз.

Базирующие поверхности выбирают так, чтобы обеспечить наименьшую деформацию детали от усилий резания и зажима, возможно большую простоту установки и закрепления детали на станке.

Выбор порядка обработки

В начале составления технологического процесса и расчёта режимов резания при обработке данной детали локомотива, вагона и т. п. рекомендуется установить порядок процесса обработки, обычно называемый «технологическим маршрутом». При индивидуальном и мелкосерийном производстве

часто разработку технологических процессов ограничивают составлением технологических маршрутов на обработку детали с установлением основных данных обработки (типов и номеров станков, штучного времени на операцию и т. п.).

Для крупносерийного и массового производства технологические процессы разрабатывают весьма подробно с установлением всех элементов процесса.

Схема установления порядка обработки может быть принята следующая:

1) изучение чертежа и технических условий обработки;

2) выбор черновых (вспомогательных), а затем и чистовых баз (чистовыми базами могут быть основные базы);

3) составление принципиального порядка обработки (первые операции получают из установления черновых баз, а последние — из установления чистовых баз).

После составления порядка операций уточняют требуемые для каждой операции станки, инструмент, приспособления; вследствие этого возможна корректировка составленного порядка операций. Затем производят расчёт режимов резания и нормирование времени с установлением квалификации рабочих и, наконец, составляют технологическую карту обработки, в которую заносят рассчитанные и определённые данные.

Расчёт и выбор режима резания

Основными условиями выбора режима резания при обработке деталей подвижного состава и других машин являются следующие: 1) высокая производительность, 2) низкая себестоимость обработки, 3) высокое качество обработанных поверхностей детали и 4) высокая точность обработки.

Производительность при обработке детали на металлорежущих станках зависит от скорости резания, подачи и глубины резания, а также от степени оснащённости и уровня организации рабочего места, цеха, предприятия. Наибольшая производительность имеет место при обоснованно целесообразном сочетании указанных трёх элементов режима резания и конкретных организационных и технико-экономических условиях производства. В конечном итоге минимальное штучное время $T_{шт}$ получается при минимальных: основном технологическом времени T_o , вспомогательном времени $T_{всп}$ и времени на обслуживание рабочего места $T_{орм}$. Последние два слагаемых ($T_{всп}$ и $T_{орм}$) зависят от оснащённости, механизации и организации рабочего места, а первое (T_o) — от режимов резания.

Схема определения рационального режима резания металла при обработке детали может быть принята следующая:

1. Определение глубины резания из условий припуска, причём надо стремиться к тому, чтобы припуск на предварительную обработку снимался за один проход.

2. Определение максимальной технологически допустимой подачи. При предварительной обработке — по нормативам или аналитически по формуле

$$s_{\max} = \sqrt[3]{\frac{P_{z \max}}{C_p t^{x_p}}} \text{ мм/об,}$$

где $P_{z \max}$ — усилие резания, допустимое прочностью данного станка (берётся из паспорта).

Иногда максимально допустимую подачу проверяют из условий прочности и жёсткости детали и инструмента, пользуясь соответствующими формулами сопротивления материалов.

При чистовой обточке максимально допустимая подача определяется исходя из условия получения требуемого класса чистоты. Для ориентировки имеется следующая зависимость [23]:

$$s = \frac{C_n H_{cp}^{y_n} r^{u_n}}{t^{x_n} \varphi^{z_n} \varphi_1^{z_1}} \text{ мм/об,}$$

где C_n — коэффициент;

H_{cp} — средняя высота микронеровности поверхности в мк;

r — радиус при вершине резца в мм;

t — глубина резания в мм;

φ и φ_1 — главный и вспомогательный углы резца в плане в градусах.

Значения H_{cp} выбираются из таблиц ГОСТ 2789-51 по заданному классу чистоты.

Значения коэффициента C_n и степеней y_n , u_n , x_n , z_n выбирают из таблицы:

Обрабатываемый материал	s в мм/об	C_n	x_n	y_n	z_n	u_n
Сталь и стальное литьё	$\leq 1,75$	0,008	0,30	1,40	0,35	0,70
	$> 1,75$	0,170	0,12	0,60	0,15	0,30
Чугун	$\leq 1,60$	0,045	0,25	1,25	0,50	0,75
	$> 1,60$	0,290	0,12	0,60	0,25	0,35

Примечание. Величины C_n соответствуют затуплению резца $\delta = 2$ мм; при $\delta = 0,5$ мм значения C_n увеличиваются на 25—35 %.

Практически берётся значение подачи, ближайшее к рассчитанному (из имеющихся на станке — по паспорту).

3. Определение скорости резания. Фактическую скорость резания необходимо выбирать такой, которая соответствует допускаемой стойкости резца и имеющейся возможности по числам оборотов (или двойным ходам) на станке.

Расчёт допускаемой резцом скорости резания ведут по упрощённой формуле

$$v_p = \frac{C_v}{t^{x_v} s^{y_v}} K_v \text{ м/мин,}$$

причём значения коэффициентов C_v , K_v и степеней x_v и y_v выбирают для данных условий по табл. 10 — 24 ($K_v = K_{vм} \times K_{vз} \times K_{vг} \dots$).

Затем необходимо приравнять найденную допускаемую резцом скорость резания v_p к скорости резания на выбранном для данной операции станке

$$v_{cm} = \frac{\pi D n}{1000} \text{ м/мин},$$

где D — диаметр обрабатываемого изделия в мм;

n — число оборотов в минуту.

Таким образом, получим:

$$v_p = v_{cm} = \frac{\pi D n}{1000},$$

а отсюда найдём число оборотов

$$n = \frac{v_p 1000}{\pi D} \text{ об/мин.},$$

или, подставляя вместо скорости резания v_p её значение, получим:

$$n = \frac{1000 C_v K_v}{\pi D t^{x_v} s^{y_v}} \text{ об/мин.}$$

Практически выбирают значение, ближайшее к подсчитанному из имеющихся на данном станке.

Полученной таким образом ступени числа оборотов соответствует определённый крутящий момент на шпинделе станка $M_{cm} = f(n)$; на основании этого проверяют возможность резания при данном режиме по моменту станка, т. е. должно быть:

$$M_{cm} \geq P_z \frac{D}{2},$$

где

$$P_z = C_p t^{x_p} s^{y_p}.$$

В случае несоответствия M_{cm} необходимому моменту резания $P_z \frac{D}{2}$ выбирают другую ступень, где момент станка равен или больше момента резания. Для того чтобы число оборотов (производительность) в подобных случаях не снижалось, часто приходится производить модернизацию станка.

Наивыгоднейшей ступенью работы (при данном значении t) будет такая, при которой произведение n на s будет максимальным.

Мощность, потребную на резание, определяют по формуле

$$N_s = \frac{P_z v_{\phi}}{75 \cdot 60 \cdot 1,36} \text{ кВт},$$

где P_z и v_{ϕ} — фактические усилие и скорость резания.

Потребная мощность электродвигателя

$$N_{потр} = \frac{N_s}{\eta_{cm}},$$

где η_{cm} — к. п. д.; подсчитывается по фактическому состоянию данного станка (обычно от 0,7 до 0,85).

Пример 1. Расчёт режимов резания при обточке подступичной части вагонной оси под запрессовку

Заготовкой в данном случае является поковка из осевой стали марки Ст. 5, пов. в нормализованном состоянии. По ГОСТ 4008-48 эта заготовка должна иметь следующие меха-

нические свойства: предел прочности $\sigma_{лч} = 50 \div 62 \text{ кг/мм}^2$, относительное удлинение образца (при $l = 5d$) 23 — 20%, среднее значение ударной вязкости (для 4 образцов) — от 6 до 3,5 кгм/см^2 .

Размер заготовок осей предусматривается ГОСТ 4007-48. Для грубо обработанных заготовок припуск на сторону по подступичной части для всех типов осей равен 2 мм, а длина обточки для осей I и II типов равна 300 мм. Грубо обработанные заготовки осей на торцах должны иметь центровые отверстия, изготовленные в соответствии со стандартом на них.

К окончательно обработанной поверхности предъявляются следующие требования:

не допускаются овальность более 0,05 мм, конусность более 0,1⁵ мм, причём больший диаметр допускаемой конусной подступичной части должен быть обращён к середине оси; чистота обработанной поверхности должна быть в пределах 4 — 6 классов.

Обработку подступичной части оси необходимо разбить на два вида — получистовую и чистовую.

Станки для этих видов обработки оси применяют разные, как специализированные осеточкарные различных моделей, так и универсально-токарные, например модели 1Д63 завода «Красный пролетарий». Рассмотрим процесс обработки указанной поверхности оси на станке модели 1Д63 как процесс, в некоторой степени типичный и для других подобных деталей.

Основная характеристика станка 1Д63:

- 1) высота центров над станиной — 300 мм;
- 2) расстояние между центрами 1500 или 3000 мм;
- 3) количество чисел оборотов шпинделя в минуту 18: 10, 12, 15, 19, 24, 30, 38, 48, 60, 75, 95, 120, 150, 190, 240, 300, 380, 480;
- 4) количество подач в мм/об — 35: продольные — от 0,15 до 2,65, поперечные — от 0,05 до 0,9;
- 5) мощность главного электродвигателя в кВт — 7,8.

Резцы — из твёрдого сплава Т15К6 соответствующей геометрической формы (см. раздел «Металлорежущий инструмент»).

Получистовую и чистовую операции в условиях заводов железнодорожного транспорта осуществляют обычно на разных станках, а в некоторых колёсных мастерских и депо — на одном станке (последний способ рекомендовать не следует).

Общий припуск 2 мм следует распределить следующим образом.

На получистовую обточку следует принять 1,8 мм, а на чистовую — оставить 0,2 мм.

Получистовую обточку надо вести за один проход (глубина резания будет равна припуску на обработку).

Обточенная поверхность после получистовой обточки может иметь чистоту по четвертому классу (▽4), для обеспечения чего выбираем (из табл. 7) подачу, равную 0,5 мм/об (исходя из условия, что выбранный резец имеет радиус при вершине 0,5 мм и что скорость резания будет выше 100 м/мин, подача может быть взята в пределах 0,49 — 0,55 мм/об).

$$v_p = \frac{C_v K_v}{t^{x_v} s^{y_v}},$$

где C_v — коэффициент, зависящий в основном от обрабатываемого металла и материала режущей части резца;

x_v и y_v — показатели степени соответственно при глубине резания и подаче

По табл. 12 и 19—24 находим коэффициенты и показатели степени:

$$C_v = 141,5; \quad x_v = 0,18; \quad y_v = 0,35.$$

$$K_v = K_{v_m} K_{v_z} K_{v_u} K_{v_T} K_{v_\phi} K_{v_\delta} K_{v_\kappa},$$

где K_{v_m} — поправочный коэффициент, зависящий от механических свойств обрабатываемого материала;

K_{v_z} — поправочный коэффициент, зависящий от способа получения заготовки;

K_{v_u} — поправочный коэффициент, зависящий от марки материала инструмента;

K_{v_T} — поправочный коэффициент, зависящий от главного угла резца в плане φ ;

K_{v_ϕ} — поправочный коэффициент, зависящий от формы передней грани резца;

K_{v_δ} — поправочный коэффициент, зависящий от износа задней грани резца;

K_{v_T} — поправочный коэффициент, зависящий от периода стойкости резца.

$$K_{v_u} = \left(\frac{\sigma_{нч}}{\sigma_{пч}} \right)^{n_v} \left(\frac{75}{62} \right)^{1,5} = 1,36;$$

$$K_{v_m} = 1; \quad K_{v_T} = 1; \quad K_{v_\phi} = 1; \quad K_{v_\kappa} = 1;$$

$$K_{v_\delta} = 1; \quad K_{v_\phi} = 1.$$

Подставляя найденные значения коэффициентов и степеней и пользуясь табл. 133, получим

$$v_p = \frac{141,5 \cdot 1,36}{1,8^{0,18} \cdot 0,5^{0,35}} = 218 \text{ м/мин};$$

$$v_p = v_{cm} = \frac{\pi D n}{1000}.$$

Преобразовывая это выражение относительно n , получаем требуемое число оборотов.

Для оси типа II диаметр подступичной части будет равен 165 мм. С учётом припуска на обработку (2 мм) диаметр заготовки в подступичной части будет равен 169 мм.

Тогда

$$n = \frac{1000 v_p}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 218}{3,14 \cdot 169} = 411 \text{ об/мин}.$$

На принятом станке 1Д63 имеются близкие n : 380 об/мин. и 480 об/мин. Можно принять для данного случая $n = 380$ об/мин. Вследствие этого фактическая скорость резания

$$v_\phi = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 169 \cdot 380}{1000} = 202 \text{ м/мин}.$$

Эффективная мощность

$$N_z = \frac{P_z v_\phi}{75 \cdot 60 \cdot 1,36} \text{ кВт},$$

где $v_\phi = 202 \text{ м/мин}$;

$$P_z = C_p t^{x_p} s^{y_p} K_p,$$

где C_p — коэффициент, зависящий в основном от обрабатываемого металла;

x_p и y_p — показатели степени соответственно при глубине резания и подаче.

По табл. 25—32 находим коэффициенты и показатели степени:

$$C_p = 191; \quad x_p = 1; \quad y_p = 0,75 \text{ (см. табл. 22)}.$$

$$K_p = K_{p_m} K_{p_z} K_{p_\gamma} K_{p_\varphi} K_{p_\delta} K_{p_r} K_{p_\kappa},$$

где K_{p_m} — поправочный коэффициент, зависящий от механических свойств обрабатываемого материала;

K_{p_z} — поправочный коэффициент, зависящий от способа получения заготовки;

K_{p_γ} — поправочный коэффициент, зависящий от переднего угла резца γ ;

K_{p_φ} — поправочный коэффициент, зависящий от главного угла резца в плане φ ;

K_{p_κ} — поправочный коэффициент, зависящий от формы режущей кромки;

K_{p_r} — поправочный коэффициент, зависящий от радиуса при вершине резца;

K_{p_ϕ} — поправочный коэффициент, зависящий от формы передней грани резца;

K_{p_δ} — поправочный коэффициент, зависящий от износа задней грани резца.

$$K_{p_m} = 0,89; \quad K_{p_\gamma} = 1; \quad K_{p_\phi} = 1; \quad K_{p_\delta} = 1;$$

$$K_{p_z} = 1; \quad K_{p_\varphi} = 1; \quad K_{p_r} = 1; \quad K_{p_\kappa} = 1.$$

Подставляя найденные значения в формулу усилия резания и пользуясь табл. 133, получим:

$$P_z = 191 \cdot 1,8 \cdot 0,5^{0,75} \cdot 0,89 = 184 \text{ кг};$$

$$N_z = \frac{184 \cdot 202}{75 \cdot 60 \cdot 1,36} = 6,1 \text{ кВт}.$$

Потребная мощность главного электродвигателя станка

$$N_{\text{потр}} = \frac{N_z}{\eta_{ст}} = \frac{6,1}{0,85} = 7,6 \text{ кВт}.$$

Коэффициент использования мощности станка

$$K_{ст} = \frac{N_{\text{потр}}}{N_{э.д.}} = \frac{7,6}{7,8} = 0,974.$$

Проверка полученного режима по крутящему моменту даёт следующие результаты. Потребный крутящий момент на шпинделе

$$M_{кр} = \frac{P_z D}{2000} = \frac{184 \cdot 169}{2000} = 15,5 \text{ кгм}.$$

Крутящий момент на данной ступени станка

$$M_{ст} = \frac{N_{э.д.}}{n} \eta_{ст} 716,2 = \frac{6,63}{380} 716,2 = 12,5 \text{ кгм.}$$

Как видно, крутящий момент на станке оказывается меньше крутящего момента, потребного на резание при указанных выше условиях. Вследствие этого принимаем предыдущую ступень, где $n = 300$ об/мин.

Крутящий момент на этой ступени $M_{ст} = \frac{6,63}{300} 716,2 = 15,9 \text{ кгм}$, как видно, несколько превышает необходимый на резание.

В результате этого фактическая скорость резания $v_{ф} = \frac{314 \cdot 169 \cdot 300}{1000} = 159 \text{ м/мин}$;

мощность, потребная на резание, будет $N_z = \frac{184 \cdot 159}{102 \cdot 60} = 4,7 \text{ квт}$. Потребная мощность главного электродвигателя станка в этом случае $N_{потр} = \frac{4,7}{0,85} = 5,53 \text{ квт}$.

Коэффициент использования мощности станка теперь получится более низким: $K_{ст} = \frac{5,53}{7,8} = 0,71$. Для проверки возможности наиболее рационального использования станка можно получить ещё вариант режима резания путём снижения потребного крутящего момента резания за счёт уменьшения подачи до $0,4 \text{ об/мм}$. В результате этого получим $P_z = 191 \cdot 1,8 \cdot 0,4^{0,75} \cdot 0,89 = 155 \text{ кг}$; $M_{кр} = \frac{155 \cdot 169}{2000} = 13 \text{ кгм}$. Если принять этот вариант, то получим следующие результаты.

Эффективная мощность будет $N_z = \frac{155 \cdot 202}{102 \cdot 60} = 5,17 \text{ квт}$, а потребляемая станком $N_{потр} = \frac{5,17}{0,85} = 6,1 \text{ квт}$; коэффициент использования

станка $K_{ст} = \frac{6,1}{7,8} = 0,78$, т. е. несколько больше, чем в предыдущем варианте.

Подсчёт основного технологического времени ведётся по формуле

$$T_o = \frac{L}{n \cdot s} \cdot \kappa; \quad L = l + l_1;$$

$$l = 300 \text{ мм}; \quad l_1 = 2 \text{ мм}; \quad \kappa = 1.$$

Подставляя полученные значения n и s , получим для обоих вариантов:

$$T_{o1} = \frac{302}{300 \cdot 0,5} = 2,01 \text{ мин.};$$

$$T_{o2} = \frac{302}{380 \cdot 0,4} = 2,00 \text{ мин.}$$

Из этого сравнения видно, что оба эти варианта практически одинаковы, но так как последний всё-таки даёт некоторую перегрузку по крутящему моменту ($0,5 \text{ кгм}$), необходимо принять тот, при котором $n = 300$ об/мин. и $s = 0,5 \text{ мм/об}$.

Пример 2. Расчёт режимов резания при расточке бандажа сцепной колёсной пары паровоза серии Л

Расчёт режимов резания производим для расточки бандажа на карусельном станке модели 1553.

Станок имеет 3 суппорта, из них 2 вертикальных и один боковой.

Мощность главного электродвигателя 37 квт и число оборотов его 1470 в минуту.

Числа оборотов планшайбы в минуту: 2,2; 2,8; 3,5; 4,5; 5,5; 7; 8,8; 11,2; 14; 17,7; 22,2; 28; 35; 45; 56; 71.

Подачи суппортов (горизонтальные и вертикальные): 0,1; 0,14; 0,20; 0,28; 0,40; 0,55; 0,80; 1,12; 1,57; 2,25; 3,15 и 4,5 мм/об.

Черновая расточка внутренней поверхности бандажа

Черновую расточку внутренней поверхности бандажа производим скоростным методом с использованием больших подач резцом конструкции В. А. Колесова (см. раздел «Металлорежущий инструмент»), так называемым «силовым методом резания металлов».

Определение общего припуска на обработку. Исходя из технологии прокатки заготовок бандажей общий припуск на обработку даётся в размере $h_{общ} = 7 \text{ мм}$.

Распределение припуска на обработку. Исходя из заданной чистоты внутренней поверхности бандажа ($\nabla \nabla 5$) требуется чистовой проход. Поэтому

$$h_{общ} = h_{черн} + h_{чист},$$

где $h_{черн}$ — припуск на черновую обработку в мм;

$h_{чист}$ — припуск на чистовую обработку в мм.

Оставляем на чистовую обработку $h_{чист} = 1 \text{ мм}$, что соответствует рекомендуемому данным. Тогда $h_{черн} = h_{общ} - h_{чист} = 7 - 1 = 6 \text{ мм}$.

Выбор глубины резания. Учитывая значительную величину подачи, предусматриваемую современным методом скоростного резания металлов резцом указанной конструкции, черновую обработку введём в два прохода, т. е. $K_{черн} = 2$, где $K_{черн}$ — число черновых проходов.

Тогда глубина резания

$$t_{черн} = \frac{h_{черн}}{K_{черн}} = \frac{6}{2} = 3 \text{ мм.}$$

Выбор подачи. В соответствии с практикой силового метода резания металлов принимаем подачу из имеющихся в паспорте станка $s = 3,15 \text{ мм/об}$.

Так как при черновой расточке бандажа на карусельном станке наличные числа оборотов его планшайбы дают возможность установить скорость резания, допускаемую по резцу, определим вначале P_z и $M_{кр}$.

Определение усилий резания:

$$P_z = C_p t^{x_p} s^{y_p} K_p;$$

$$K_p = K_{p_m} K_{p_3} K_{p_1} K_{p_2} K_{p_k} K_{p_r} K_{p_{\phi}} K_{p_0} \text{ кг.}$$

Находим значения коэффициентов и показателей степени (по табл. 22 — 28):

$$C_p = 191; x_p = 1,0; y_p = 0,75;$$

$$K_{p_m} = 1,0; K_{p_z} = 1,0; K_{p_T} = 1,06; K_{p_\varphi} = 1,0;$$

$$K_{p_k} = 0,85; K_{p_r} = 0,93$$

(так как принятый резец не имеет закругления при вершине, берём K_{p_r} для имеющейся у этого резца переходной режущей кромки $b = 1 \text{ мм}$); $K_{p_\phi} = 1,0$; $K_{p_\delta} = 1,0$ (для нормального износа $\delta = 0,8 \div 1,0 \text{ мм}$).

$$\text{Общий поправочный коэффициент } K_p = 1 \cdot 1 \cdot 1,06 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 0,93 \cdot 1 \cdot 1 = 0,84.$$

Тогда

$$P_z^* = 191 \cdot 3,15 \cdot 3^{0,75} \cdot 0,84 \approx 1100 \text{ кг.}$$

По данным В. А. Колесова и сделанной лабораторной проверке при резании стали, фактическое усилие резания будет ниже теоретического. Поэтому, считая фактическое усилие резания равным 80% от теоретического, окончательно будем иметь

$$P_z = 1100 \cdot 0,8 = 880 \text{ кг.}$$

Определение потребного крутящего момента:

$$M_{кр} = \frac{P_z D}{2000} \text{ кгм,}$$

где D — диаметр после черновой расточки внутренней поверхности в мм;

$$M = \frac{880 \cdot 1348}{2000} = 593 \text{ кгм.}$$

Производим подсчёт крутящих моментов для всех чисел оборотов планшайбы.

Крутящий момент на планшайбе

$$M_{планш} = 716,2 \frac{N_{планш}}{n} \text{ кгм,}$$

где $N_{планш}$ — мощность на планшайбе в л. с.;
 n — число оборотов планшайбы в минуту;

$$N_{планш} = N_{э.д.} \eta_{ст.}$$

Принимая $\eta_{ст} \approx 0,75$, получим:

$$N_{планш} = 37 \cdot 1,36 \cdot 0,75 \approx 38 \text{ л. с.};$$

$$M_{планш} = 716,2 \frac{N_{планш}}{n} = 716,2 \frac{38}{n} = \frac{27200}{n} \text{ кгм.}$$

Отсюда для имеющихся на станке чисел оборотов планшайбы в минуту (см. выше) будем иметь следующие крутящие моменты:

n в об/мин.	2,2	2,8	3,5	4,5	5,5	7,0	8,8	11,2
$M_{планш}$ в кгм	12500	9750	7750	6000	4950	3900	3100	2450

Продолжение

n в об/мин.	14,0	17,7	22,2	28,0	35,0	45,0	56,0	71,0
$M_{планш}$ в кгм	1950	1550	1225	975	775	600	485	380

* При работе с подачами большими, чем глубина резания, следует в формулах для P_z и v менять местами t и s .

Принимаем по станку крутящий момент на планшайбе ближайший больший к подсчитанному выше ($M = 593 \text{ кгм}$):

$$M_{планш} = 600 \text{ кг.}$$

Этому крутящему моменту соответствует число оборотов планшайбы:

$$n = 45 \text{ об/мин.}$$

Определение фактической скорости резания:

$$v_\phi = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 1348 \cdot 45}{1000} = 190 \text{ м/мин.}$$

Определение допускаемой скорости резания

$$v_p = v = \frac{C_v K_v}{t^{x_v} s^{y_v}};$$

$$K_v = K_{v_m} K_{v_z} K_{v_u} K_{v_T} K_{v_\phi} K_{v_\varphi} K_{v_\delta}$$

Находим значения коэффициентов и показателей степени по табл. 12 и 19—24:

$$C_v = 141,5; x_v = 0,18; y_v = 0,35;$$

$$K_{v_m} = 1,0; K_{v_z} = 1,0;$$

$K_{v_u} = 1,0$ (так как резец Колесова оснащён пластиной из твёрдого сплава Т15К6);

$$K_{v_\varphi} = 1,0; K_{v_\phi} = 1,0; K_{v_\delta} = 1,0; K_{v_T} = 1,0.$$

Общий поправочный коэффициент

$$K_v = 1,0.$$

Тогда

$$v = \frac{C_v}{t^{x_v} s^{y_v}} K_v = \frac{141,5}{3,15^{0,18} \cdot 3^{0,35}} 1 = \frac{141,5}{1,23 \cdot 1,5} = 76,6 \text{ м/мин.}$$

Потребное число оборотов

$$n = \frac{1000 v}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 76,6}{3,14 \cdot 1348} = 18 \text{ об/мин.}$$

Принимаем по паспорту станка

$$n = 17,7 \text{ об/мин.}$$

Тогда

$$v_\phi = \frac{3,14 \cdot 1348 \cdot 17,7}{1000} = 75 \text{ м/мин.}$$

Определение коэффициента использования мощности станка:

$$K_{ст} = \frac{N_\varepsilon}{N_{планш}}$$

где N_ε — эффективная мощность (мощность потребная на резание);
 $N_{планш}$ — мощность на планшайбе;

$$N_\varepsilon = \frac{P_z v_\phi}{75 \cdot 60} = \frac{880 \cdot 75}{75 \cdot 60} = 14,6 \text{ л. с.};$$

$$N_{планш} = 38 \text{ л. с.};$$

$$K_{ст} = \frac{14,6}{38} 100\% = 38,2 \text{ (необходимо данный переход совместить с другим переходом).}$$

Определение фактической стойкости резца:

$$\frac{v_\phi}{v_{90}} = \left(\frac{90}{T_\phi} \right)^m$$

где T_{ϕ} — фактическая стойкость резца в мин.;
 m — показатель относительной стойкости, равный примерно 0,15;

$$\frac{75}{76,6} = \frac{90^{0,15}}{T_{\phi}^{0,15}};$$

$$T_{\phi}^{0,15} = \frac{76,6}{75} 90^{0,15}; T_{\phi} \approx 104 \text{ мин.}$$

Определение основного технологического времени:

$$T_o = \frac{L}{ns} \kappa,$$

где L — длина обработки (с учётом величины врезания) в мм;

κ — число проходов;

$$T_o = \frac{115}{17,7 \cdot 3,15} 2 = 4,1 \text{ мин.}$$

Сравнение режимов резания. Для сравнения режима резания при черновой расточке внутренней поверхности бандажа резцом конструкции Колесова с режимом резания, рассчитанным для обычно принятых резцов, приведём следующие расчёты для последнего случая:

$$h_{\text{общ}} = 7 \text{ мм}; h_{\text{черн}} = 6 \text{ мм}; t_{\text{черн}} = 6 \text{ мм.}$$

В соответствии с рекомендуемыми режимами резания при черновой расточке и практикой расточки бандажей на карусельных станках принимаем $s = 0,75 \div 1,0 \text{ мм/об.}$

По паспорту $s = 0,8 \text{ мм/об.}$

$$P_z = C_p t^{x_p} s^{y_p} K_p = 191 \cdot 6^1 \cdot 0,8^{0,75} \times \\ \times 0,84 = 191 \cdot 6 \cdot 0,85 \cdot 0,84 \approx 820 \text{ кг};$$

$$M_{kp} = \frac{P_z D}{2000} = \frac{820 \cdot 1348}{2000} \approx 550 \text{ кгм.}$$

Принимаем по станку $M_{\text{плани}} = 600 \text{ кгм.}$ Этому крутящему моменту соответствует $n = 45 \text{ об/мин.}$

$$v_{\phi} = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 1348 \cdot 45}{1000} = 190 \text{ м/мин.};$$

$$v_{90} = \frac{C_v}{t^{x_v} s^{y_v}} K_v = \frac{141,5}{6^{0,18} \cdot 0,8^{0,35}} 1 = \\ = \frac{141,5}{1,4 \cdot 0,91} 1 \approx 110 \text{ м/мин.}$$

Потребное число оборотов

$$n = \frac{1000 v}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 110}{3,14 \cdot 1348} = 26 \text{ об/мин.}$$

По паспорту станка принимаем

$$n = 22,2 \text{ об/мин.}$$

Тогда

$$v_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 1348 \cdot 22,2}{1000} \approx 94 \text{ м/мин.}$$

Основное технологическое время в этом случае будет

$$T_o = \frac{L}{ns} \kappa = \frac{115}{22,2 \cdot 0,8} 1 = 6,5 \text{ мин.}$$

Таким образом, повышение производительности при принятии нами силовом методе резания металлов (см. выше) составит

$$\frac{6,5}{4,1} 100\% = 160\%.$$

Чистовая расточка внутренней поверхности бандажа

Чистовая расточка внутренней поверхности бандажа производится резцом, оснащённым пластиной из твёрдого сплава марки Т15К6. Конструкция резца и геометрия его режущей части предложены кафедрой «Обработка металлов резанием» МЭИИТ [13].

Выбор глубины резания:

$$t_{\text{чист}} = h_{\text{чист}} = 1 \text{ мм.}$$

Выбор подачи. Расчёт величины подачи производим исходя из требуемой чистоты внутренней поверхности бандажа после чистовой расточки

$$s = \frac{C_H H_{cp}^{y_H} r^{u_H}}{t^{x_H} \varphi^{z_H} \varphi_1^{z_H}} \text{ мм/об.}$$

Для 5-го класса чистоты, который должен быть получен после чистовой расточки внутренней поверхности бандажа по ГОСТ 2789-51, имеем

$$H_{ck} = 3,2 \div 6,3 \text{ мк},$$

где H_{ck} — среднеквадратичное отклонение микронеровностей поверхности в мк.

Принимаем $H_{ck} = 6,3 \text{ мк}$, учитывая, что чистовая расточка производится при высокой скорости резания (см. ниже), способствующей получению чистой обработанной поверхности.

Для определения H_{cp} воспользуемся соответствующими данными из ГОСТ 2789-51 (см. табл. 1).

Класс	5-й	6-й	7-й	8-й
H_{cp} в мк	10÷20	6,3÷10	3,2÷6,3	1,6÷3,2

Продолжение

Класс	9-й	10-й	11-й	12-й
H_{cp} в мк	0,8÷1,6	0,5÷0,8	0,25÷0,5	0,12÷0,25

Принимаем $H_{cp} = 20 \text{ мк}$;

$$r = 1 \text{ мм}; \varphi = 60^\circ \text{ и } \varphi_1 = 15^\circ;$$

$$t = t_{\text{чист}} = 1 \text{ мм};$$

$$C_H = 0,008; x_H = 0,3; y_H = 1,4;$$

$$z_H = 0,35; u_H = 0,7.$$

Величина C_H взята для случая износа резца $\delta = 2 \text{ мм}$; при нормальном износе ($\delta = 0,5 \text{ мм}$) величину C_H можно увеличивать на 25—35%.

Имеем $s = 0,068 \cdot 1,35 \approx 0,1$ мм/об. Однако практика внедрения в производство скоростного резания металлов показывает, что при высоких скоростях резания (100 м/мин и более) требуемая чистота поверхности обеспечивается при чистой расточке с подачами порядка $0,5 \div 0,8$ мм/об [13].

Поэтому принимаем по паспорту станка $s = 0,55$ мм/об.

Определение допускаемой скорости резания:

$$v_{90} = \frac{C_v}{t^{x_v} s^{y_v}} K_v.$$

Для работы резцами с пластинами из твердого сплава марки Т15К6 при $s \leq 0,3$ мм/об:

$$C_v = 170; x_v = 0,18; y_v = 0,20;$$

с учётом, что при $\varphi = 60^\circ$ $K_\varphi = 0,92$, будем иметь

$$v_{90} = \frac{170}{10,18 \cdot 0,55^{0,2}} 0,92 = \frac{170}{1 \cdot 0,88} 0,92 = 178 \text{ м/мин.}$$

Определение фактической скорости резания:
Потребное число оборотов

$$n = \frac{1000v}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 178}{3,14 \cdot 1350} = 42 \text{ об/мин.}$$

По паспорту станка принимаем $n = 45$ об/мин (Этому числу оборотов соответствует крутящий момент на планшайбе $M_{\text{планш}} = 600$ кгм.)

Тогда фактическая скорость резания будет

$$v_\phi = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 1350 \cdot 45}{1000} = 190 \text{ м/мин.}$$

Определение усилия резания:

$$P_z = C_p t^{x_p} s^{y_p} K_p \text{ кг.}$$

Суммарный поправочный коэффициент K_p подсчитывается так же, как и при черновой расточке, но некоторые входящие в него поправочные коэффициенты будут несколько отличаться от найденных выше.

Так, K_{p_γ} вместо 1,06 (для $\gamma = 8^\circ$) будет 0,91 (для $\gamma = 20^\circ$), K_{p_φ} вместо 1,0 (для $\varphi = 45^\circ$) будет 0,98 (для $\varphi = 60^\circ$).

Таким образом:

$$K_p = 0,84 \frac{1,06 \cdot 1,0}{0,91 \cdot 0,98} = 1,0.$$

Тогда

$$P_z = 191 \cdot 1^1 \cdot 0,55^{0,75} \cdot 1,0 = 191 \cdot 0,63 = 120 \text{ кг.}$$

Определение потребного крутящего момента:

$$M_{кр} = \frac{P_z D}{75 \cdot 60} = \frac{120 \cdot 1350}{75 \cdot 60} = 36 \text{ кгм,}$$

что вполне обеспечивается крутящим моментом на планшайбе станка при $n = 45$ об/мин. ($M_{\text{планш}} = 600$ кгм — см. выше).

Определение коэффициента использования мощности станка:

$$K_{см} = \frac{N_\phi}{N_{\text{планш}}}; N_\phi = \frac{P_z v_\phi}{75 \cdot 60} = \frac{120 \cdot 190}{75 \cdot 60} = 5,0 \text{ л. с.};$$

$$K_{см} = \frac{5,0}{38} 100\% \approx 13,3\%.$$

Определение фактической стойкости резца:

$$T_\phi^{0,15} = \frac{v_{90}}{v_\phi} 90^{0,15} = \frac{178}{190} 90^{0,15} = 1,84;$$

$$T_\phi \approx 58 \text{ мин.}$$

Определение основного технологического времени:

$$T_o = \frac{L}{ns} K = \frac{115}{45 \cdot 0,55} 1 = 4,6 \text{ мин.}$$

Расчёт режимов резания на остальных переходах обработки бандажа

Расточка по упорному бурту и обточка внутренней торцевой грани производятся при том же режиме резания, что и черновая расточка внутренней поверхности бандажа (так как на этих переходах также применяется силовой метод резания металлов).

Прорезка выточки под укрепляющее кольцо, а также подрезка упорного бурта производятся при режимах, рекомендованных МЭМИИТ [13].

Сводим режим резания и другие данные в таблицу.

№ перехода	Наименование перехода	Максимальный диаметр обрабатываемой детали	Расчётная длина обработки	Режим резания			n в об/мин.	K	P_z в кг	$M_{кр}$ в кгм	N_ϕ в л. с.	$K_{см}$ в %	T_o
				t в мм	s в мм/об	v_ϕ в м/мин							
1	Расточка по упорному бурту	1330	25	3	3,15	74	17,7	2	880	585	14,5	38	0,9
3	Обточка внутренней торцевой грани	1550	100	2	3,15	86	17,7	1	585	455	11,2	29	1,8
5	Прорезка выточки под укрепляющее кольцо	1370	13	8÷11	0,26 и ручн.	76	17,7	2	920	630	15,5	41	5,3
6	Подрезка упорного бурта на «ласточкин хвост»	1350	25	10	0,4	75	17,7	1	860	580	14,4	38	3,5

Подсчёт крутящих моментов:

$$M_{кр1} = \frac{880 \cdot 1330}{2000} = 585 \text{ кгм};$$

$$M_{кр2} = \frac{585 \cdot 1550}{2000} = 455 \text{ кгм};$$

$$M_{кр3} = \frac{920 \cdot 1370}{2000} = 630 \text{ кгм};$$

$$M_{кр4} = \frac{860 \cdot 1350}{2000} = 580 \text{ кгм}.$$

Подсчёт эффективной мощности:

$$N_{э1} = \frac{880 \cdot 74}{75 \cdot 60} = 14,5 \text{ л. с.};$$

$$N_{э2} = \frac{585 \cdot 86}{75 \cdot 60} = 11,2 \text{ л. с.};$$

$$N_{э3} = \frac{920 \cdot 76}{75 \cdot 60} = 15,5 \text{ л. с.};$$

$$N_{э4} = \frac{860 \cdot 75}{75 \cdot 60} = 14,4 \text{ л. с.}$$

Подсчёт коэффициента использования мощности станка:

$$K_{см1} = \frac{14,5}{38} 100\% = 38\%;$$

$$K_{см2} = \frac{11,2}{38} 100\% = 29\%;$$

$$K_{см3} = \frac{15,5}{38} 100\% = 41\%;$$

$$K_{см4} = \frac{14,4}{38} 100\% = 38\%.$$

Подсчёт основного технологического времени:

$$T_{о1} = \frac{25}{17,7 \cdot 3,15} \cdot 2 = 0,9 \text{ мин.};$$

$$T_{о2} = \frac{100}{17,7 \cdot 3,15} \cdot 1 = 1,8 \text{ мин.};$$

$$T_{о3} = \frac{13}{17,7 \cdot 0,28} \cdot 2 = 5,3 \text{ мин.};$$

$$T_{о4} = \frac{25}{17,7 \cdot 0,4} \cdot 1 = 3,5 \text{ мин.}$$

Из полученных выше коэффициентов использования мощности станка видно, что ряд переходов можно совместить друг с другом для повышения производительности труда.

Совмещаем переходы 1, 2 (черновая расточка внутренней поверхности) и 3. Тогда $\Sigma K_{см}$ на этих переходах будет

$$\Sigma K_{см} = 38\% + 38,5\% + 29\% = 105,5\%,$$

что допускают наши советские электродвигатели.

Совмещаем переходы 5 и 6. Тогда $\Sigma K_{см}$ на этих переходах будет

$$\Sigma K_{см} = 41\% + 38\% = 79\%.$$

Переход 4 (чистовая расточка внутренней поверхности) выполняется отдельно

$$(K_{см} = 13,3\%).$$

Определение основного технологического времени на обработку бандажа:

Для несовмещённых переходов:

$$\begin{aligned} \Sigma T_o &= T_{o1} + T_{o2} + T_{o3} + T_{o4} + \\ &+ T_{o5} + T_{o6} = 0,9 + 4,1 + 1,8 \text{ мин.} + \\ &+ 4,0 + \underbrace{5,3 + 3,5}_{\substack{\text{переходы совмещаются} \\ \text{переходы совме-} \\ \text{щаются}}} = 19,6 \text{ мин.} \end{aligned}$$

С учётом совмещения переходов

$$\Sigma T_o = 4,1 + 4,0 + 5,3 = 13,4 \text{ мин.}$$

Для определения полного времени обработки бандажа ($T_{шт}$) необходимо к основному технологическому времени (T_o) добавить подготовительно-заключительное время ($T_{п.з}$), вспомогательное время (T_s) и время на обслуживание рабочего места ($T_{о.р.м}$).

Пример 3. Расчёт режимов резания при обработке 3-го сцепного дышла паровоза серии ФД

Фрезерование штанги дышла цилиндрической фрезой (1-й вариант). Для работы выбираем фрезу с режущей частью из быстрорежущей стали марки Р18 с числом зубьев 12, диаметром $D = 150 \text{ мм}$.

Ширина фрезерования $B = 140 \text{ мм}$.

Принимаем глубину резания равной половине припуска на обработку $t = \frac{h}{2} = 4 \text{ мм}$.

По табл. 62 в зависимости от типа и размера фрезы, а также глубины резания находим подачу на один зуб фрезы:

$$s_z = 0,15 \text{ мм/зуб.}$$

По табл. 64 находим стойкость фрезы

$$T = 240 \text{ мин.}$$

Скорость резания, допускаемая фрезой:

$$v = \frac{C_v D^{q_v}}{T^m t^{x_v} s_z^{y_v} B^{r_v} z^{u_v}} K_v \text{ м/мин.},$$

где K_v —общий поправочный коэффициент на скорость резания, равный произведению отдельных поправочных коэффициентов, взятых из табл. 66—69.

По табл. 65 в зависимости от типа фрезы, величины подачи на зуб и обрабатываемого материала находим коэффициент C_v и все показатели степени:

$$C_v = 35,4; q_v = 0,45; m = 0,33;$$

$$x_v = 0,3; y_v = 0,4; r_v = 0,1; u_v = 0,1.$$

$$v = \frac{35,4 \cdot 150^{0,45}}{240^{0,33} \cdot 4^{0,33} \cdot 0,15^{0,4} \cdot 140^{0,1} \cdot 12^{0,1}} K_v.$$

Используя для подсчёта табл. 133, имеем

$$v = \frac{35,4 \cdot 9,55}{6 \cdot 1,55 \cdot 0,468 \cdot 1,8 \cdot 1,3} K_v = 33,4 K_v \text{ м/мин.}$$

Вносим поправочные коэффициенты на скорость резания по табл. 66—69:

$$K_v = K_{v_m} K_{v_z} K_{v_u} K_{v_\varphi},$$

где K_{v_m} — поправочный коэффициент, учитывающий обрабатываемый материал;

K_{v_z} — поправочный коэффициент, учитывающий характер заготовки и состояние её поверхности;

K_{v_u} — поправочный коэффициент, учитывающий материал фрезы;

K_{v_φ} — поправочный коэффициент, учитывающий угол в плане зуба фрезы (вводится только для торцевых фрез).

По табл. 66 находим $K_{v_m} = 1,32$ (так как дышла изготавливаются из стали марки Ст. 5 повышенного качества, имеющей $\sigma_{нч} = 50 \div 62 \text{ кг/мм}^2$).

По табл. 67 и 68 находим $K_{v_z} = 1,0$ и $K_{v_u} = 1,0$

Тогда $K_v = 1,32 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,32$. Окончательно $v = 33,4 \cdot 1,32 = 44 \text{ м/мин}$.

Потребное число оборотов шпинделя

$$n = \frac{1000v}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 44}{3,14 \cdot 150} = 93,5 \text{ об/мин.}$$

Для обработки дышла используем продольно-фрезерный станок модели А662В.

Характеристика этого станка следующая. Мощность главного электродвигателя 6 кВт.

Пределы продольных подач 37,5 — 475 мм/мин.

Количество продольных подач 12.

Пределы чисел оборотов шпинделя в минуту 30—375.

Количество чисел оборотов шпинделя в минуту 12.

Для того чтобы выбрать ближайшее к потребному число оборотов по станку, надо определить промежуточные числа оборотов шпинделя в минуту и найти знаменатель геометрической прогрессии ряда, образуемого различными числами оборотов шпинделя в минуту:

$$\varphi = \sqrt[z-1]{\frac{n_{\max}}{n_{\min}}} \quad (\text{см. раздел «Металлорежущие станки»);}$$

$$\varphi = \sqrt[11]{\frac{375}{30}} = \sqrt[11]{12,5} \approx 1,26.$$

Получаем таблицу чисел оборотов шпинделя в минуту.

n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	n_6	n_7	n_8	n_9	n_{10}	n_{11}	n_{12}
30	37,8	47,5	60	75,5	95	120	150	190	240	300	375

Работу ведём при $n = 95$ об/мин.

Тогда минутная подача

$$s_m = s_z z n = 0,15 \cdot 12 \cdot 95 = 170 \text{ мм/мин.}$$

Для того чтобы выбрать ближайшую к потребной подачу по станку, необходимо определить значения промежуточных подач на станке:

$$\varphi' = \sqrt[z-1]{\frac{s_{\max}}{s_{\min}}} = \sqrt[11]{\frac{475}{37,5}} = \sqrt[11]{12,5} \approx 1,26.$$

Получаем таблицу значений минутных продольных подач станка:

s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	s_9	s_{10}	s_{11}	s_{12}
37,5	47,5	60	75,5	95	120	150	190	240	300	375	475

Работу ведём при $s_m = 150 \text{ мм/мин}$.

Тогда фактическая подача на зуб

$$s_z = \frac{s_m}{n z} = \frac{150}{95 \cdot 12} = 0,132 \text{ мм/зуб.}$$

Определяем мощность, потребную для фрезерования (эффективную мощность):

$$N_g = C_N 10^{-5} t^x n^y B^z N_z^q D^q \text{ кВт.}$$

По табл. 70 и 71 в зависимости от типа фрезы и обрабатываемого материала находим

$$C_N = 3,5; x_N = 0,86; r_N = 1,0; y_N = 0,72; q_N = 0,14.$$

Тогда

$$N_g = 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot 4^{0,86} \cdot 95 \cdot 140^{1,0} \cdot 12 \times \times 0,132^{0,72} \cdot 150^{0,14} \approx 5 \text{ кВт.}$$

Считая к. п. д. станка $\eta_{ст} = 0,75$, имеем потребную мощность главного электродвигателя

$$N_{потр} = \frac{N_g}{\eta_{ст}} = \frac{5}{0,75} = 5,9 \text{ кВт.}$$

Коэффициент использования мощности станка

$$K_{ст} = \frac{N_{потр}}{N_{г.д}} 100\% = \frac{5,9}{6,0} 100\% = 98,5\%.$$

Как видно, станок работает с хорошим коэффициентом использования мощности.

Основное технологическое время

$$T_o = (l + l_1 + l_2) K \text{ мин.};$$

$$l \approx 900 \text{ мм}; l_1 = \sqrt{t(D-t)} = \sqrt{4(150-4)} = \sqrt{584} \approx 24 \text{ мм};$$

$$l_2 = 0,04 D = 0,04 \cdot 150 = 6 \text{ мм};$$

$$T_o = \frac{900 + 24 + 6}{150} 2 = \frac{930}{150} 2 \approx 12,5 \text{ мин.}$$

Скоростное фрезерование штапги дышла торцевой фрезой (2-й вариант). Для работы выбираем фрезу с режущей частью из твёрдого сплава марки Т15К6.

Диаметр фрезы $D = 1,3B$ [23], где B — ширина фрезерования;

$$D = 1,3 \cdot 140 = 182 \text{ мм.}$$

Принимаем $D = 200 \text{ мм}$.

Для фрез диаметром $150 \div 250 \text{ мм}$ число зубьев $z = 6 \div 8$. Принимаем $z = 8$.

Снимаем весь припуск за один проход, т. е. $t = h = 8$ мм.

По табл. 73 в зависимости от материала режущей части фрезы и обрабатываемого материала находим подачу на один зуб фрезы

$$s_z = 0,12 \div 0,18 \text{ мм/зуб.}$$

Принимаем $s_z = 0,15$ мм/зуб.

Принимаем главный угол в плане у вставных зубьев (ножей, резцов) $\varphi = 60^\circ$.

Тогда поправочный коэффициент на подачу $K_s = 1,0$ (табл. 74).

Скорость резания, допускаемая фрезой:

$$v = \frac{C_v D^{q_v}}{t^{x_v} s_z^{y_v} B^{r_v}} K_v \text{ м/мин.}$$

где K_v — общий поправочный коэффициент на скорость резания, равный произведению отдельных поправочных коэффициентов, взятых из табл. 67—69.

По табл. 78 находим величины C_v , q_v ,

x_v , y_v и r_v ;

$C_v = 107$; $q_v = 0,2$; $x_v = 0,1$; $y_v = 0,4$; $r_v = 0,2$;

$$v = \frac{107 \cdot 200^{0,2}}{8^{0,1} \cdot 0,15^{0,4} \cdot 140^{0,2}} K_v.$$

Используя для подсчёта табл. 133, имеем

$$v = \frac{107 \cdot 2,88}{1,24 \cdot 0,468 \cdot 2,68} K \approx 195 K_v \text{ м/мин.}$$

Вносим поправочные коэффициенты на скорость резания из табл. 80—83:

$$K_v = K_{v_M} K_{v_B} K_{v_T} K_{v_\gamma}.$$

где K_{v_M} — поправочный коэффициент, учитывающий обрабатываемый материал;

K_{v_B} — поправочный коэффициент, учитывающий ширину фрезерования;

K_{v_T} — поправочный коэффициент, учитывающий стойкость фрезы;

K_{v_γ} — поправочный коэффициент, учитывающий передний угол фрезы.

По табл. 80 $K_{v_M} = 1,2$.

По табл. 81 $K_{v_B} = 1,0$ (так как скорость резания определяем по фактической ширине фрезерования).

По табл. 82 $K_{v_T} \approx 0,9$ (так как по табл. 77 стойкость фрезы $T = 480$ мин.).

По табл. 83 $K_{v_\gamma} = 1$ (так как принимаем $\gamma = -10^\circ$).

Тогда $K_v = 1,2 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1 = 1,08$.

Окончательно:

$$v = 195 \cdot K_v = 195 \cdot 1,08 \approx 210 \text{ м/мин}$$

Потребное число оборотов шпинделя

$$n = \frac{1000v}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 210}{3,14 \cdot 200} \approx 340 \text{ об/мин.}$$

Для обработки дышла используем скоростной вертикально-фрезерный станок модели 6А54 (см. раздел «Металлорежущие станки»).

Станок имеет 16 различных чисел оборотов шпинделя в минуту (от 40 до 1250) и 16 продольных и поперечных подач в пределах от 60 до 2000 мм/мин.

Мощность главного электродвигателя

$$N_{э.д} = 40 \text{ кВт.}$$

Определяем знаменатели рядов чисел оборотов и подач аналогично тому, как это делалось в предыдущих примерах:

$$\varphi = \sqrt[15]{\frac{1250}{40}} \approx 1,26; \varphi' = \sqrt[15]{\frac{2000}{60}} \approx 1,26.$$

В результате получаем числа оборотов шпинделя в минуту и минутные подачи станка (см. таблицы ниже).

Принимаем по паспорту согласно проведённому расчёту число оборотов шпинделя

$$n = 320 \text{ об/мин.}$$

Фактическая скорость резания

$$v = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 200 \cdot 320}{1000} = 200 \text{ м/мин.}$$

Минутная подача

$$s_M = s_z z n = 0,15 \cdot 8 \cdot 320 = 383 \text{ мм/мин.}$$

Принимаем по паспорту

$$s_M = 380 \text{ мм/мин.}$$

Тогда фактическая подача на зуб

$$s_z = \frac{s_M}{z n} = \frac{380}{320 \cdot 8} = 0,149 \text{ мм/зуб.}$$

Определяем мощность, потребную для фрезерования:

$$N_{э} = C_N t^{x_N} s_z^{y_N} v^{0,9} z^{0,93} B^{r_N} D^{q_N} \text{ кВт.}$$

Находя по табл. 79 значения коэффициента C_N и показателей степени, имеем:

Числа оборотов шпинделя в минуту

n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	n_6	n_7	n_8	n_9	n_{10}	n_{11}	n_{12}	n_{13}	n_{14}	n_{15}	n_{16}
40	50	63	80	100	126	160	200	254	320	400	508	635	800	1010	1250

Минутные подачи станка

s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	s_9	s_{10}	s_{11}	s_{12}	s_{13}	s_{14}	s_{15}	s_{16}
60	75	95	120	150	190	240	300	380	490	620	765	990	1250	1570	2000

$$N_s = 0,01 \cdot 8^1 \cdot 0,149^{0,79} \cdot 200^{0,9} \cdot 8^{0,93} \times \\ \times 140^{1,2} \cdot 200^{-1} = 0,01 \cdot 8 \cdot 0,222 \cdot 117,7 \times \\ \times 7 \cdot 375 \frac{1}{200} = 27,6 \text{ кВт.}$$

Считая к.п.д. станка $\eta_{ст} = 0,75$, имеем требуемую мощность главного электродвигателя

$$N_{потр} = \frac{N_s}{\eta_{ст}} = \frac{27,6}{0,75} \approx 37 \text{ кВт.}$$

Коэффициент использования мощности станка

$$K_{ст} = \frac{N_{потр}}{N_{э.д}} 100\% = \frac{37}{40} 100\% = 92,5\%.$$

Основное технологическое время

$$T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{s_m} \text{ к мин.}$$

Принимая $l = 1800 \text{ мм}$,

$$l_1 = 0,5 (D - \sqrt{D^2 - B^2}) = 0,5 (200 - \\ - \sqrt{200^2 - 140^2}) = 28 \text{ мм}$$

и $l_2 = 6 \text{ мм}$ (см. выше), будем иметь

$$T_o = \frac{900 + 28 + 6}{380} 1 = \frac{934}{380} \approx 2,5 \text{ мин.}$$

Сопоставляя фрезерование штанги дышла цилиндрической фрезой с режущей частью из быстрорежущей стали марки Р18 на станке А662В (1-й вариант) со скоростным фрезерованием той же поверхности торцевой фрезой, имеющей режущую часть из твёрдого сплава марки Т15К6 на станке модели 6А54 (2-й вариант), видим, что второй вариант значительно производительнее первого. Это видно из сопоставления основных технологических времён:

$$\frac{T_{o1}}{T_{o2}} = \frac{12,5}{2,5} = 5.$$

Следовательно, применение скоростного фрезерования даёт сокращение основного технологического времени в 5 раз.

Сверление в дышле отверстия диаметром 60 мм. Сверление отверстия диаметром 60 мм часто производится в 3 операции: сверление отверстия диаметром 15 мм, рассверливание его до диаметра 40 мм и последующее рассверливание отверстия с диаметра 40 до 60 мм (после чего производится дальнейшая обработка).

Сверление отверстия диаметром 15 мм. Производим сверление сверлом с режущей частью из быстрорежущей стали марки Р9.

Подача $s = C_s D^{0,6} K \text{ мм/об}$, где K — поправочный коэффициент на подачу, учитывающий длину сверления.

По табл. 42 имеем $C_s = 0,085$ (для группы подач I — под последующее рассверливание).

Поправочный коэффициент $K = 0,8$ (так как $\frac{L}{D} = \frac{107}{15} \approx 7$).

Тогда $s = 0,085 \cdot 15^{0,6} \cdot 0,8 = 0,085 \cdot 5,08 \cdot 0,8 = 0,435 \cdot 0,8 = 0,348 \text{ мм/об}$.

Сверление производим на радиально-сверлильном станке, имеющем 12 чисел оборотов шпинделя в пределах 30—1300 об/мин. и 12 подач в пределах 0,03—1,0 мм/об.

Мощность главного электродвигателя станка $N_s \cdot \eta = 3,2 \text{ кВт}$.

Определяя знаменатели геометрических прогрессий φ и φ_1 по указанному выше способу, получаем числа оборотов шпинделя в минуту и подачи станка:

n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	n_6	n_7	n_8	n_9	n_{10}	n_{11}	n_{12}
30	42,5	59,5	84	118	167,5	236	333	470	660	931	1300

s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	s_9	s_{10}	s_{11}	s_{12}
0,03	0,041	0,057	0,08	0,11	0,15	0,21	0,29	0,4	0,55	0,76	1,0

Принимаем по паспорту станка подачу $s = 0,29 \text{ мм/об}$.

$$\text{Скорость резания } v = \frac{C_v D^{2v}}{T^{m_s} s^x} K_v \text{ м/мин.}$$

где K_v — общий поправочный коэффициент на скорость резания.

Средняя стойкость сверла из быстрорежущей стали по табл. 44: $T = 12 \div 24 \text{ мин}$.

Принимаем $T = 18 \text{ мин}$.

Коэффициент C_v и показатели степени находим по табл. 45.

Тогда

$$v = \frac{7 \cdot 15^{0,4}}{18^{0,2} \cdot 0,29^{0,5}} K_v = \frac{7 \cdot 2,95}{1,78 \cdot 0,548} K_v = 21,2 K_v;$$

$$K_v = K_{v_u} K_{v_L} K_{v_s} K_{v_m},$$

где K_{v_u} — поправочный коэффициент, учитывающий марку стали сверла;

K_{v_L} — поправочный коэффициент, учитывающий длину просверливаемого отверстия;

K_{v_s} — поправочный коэффициент, учитывающий состояние заготовки;

K_{v_m} — поправочный коэффициент, учитывающий обрабатываемый материал.

По табл. 46 находим $K_{v_u} = 1,0$ (для свёрл из быстрорежущих сталей марок Р18 и Р9). По табл. 47 — 49 имеем:

$$K_{v_L} = 0,7 \left(\text{так как } \frac{L}{D} = \frac{107}{15} \approx 7 \right);$$

$K_{v_s} = 0,95$ (так как поковки дышел перед механической обработкой проходят нормализацию);

$K_{v_m} = 1,32$ (для стали марки Ст. 5, пов.).

Тогда $K_v = 1 \cdot 0,7 \cdot 0,95 \cdot 1,32 = 0,88$.

Окончательно $v = 21,2 K_v = 21,2 \cdot 0,88 = 18,6 \text{ м/мин}$.

Потребное число оборотов шпинделя

$$n = \frac{1000v}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 18,6}{3,14 \cdot 15} = 395 \text{ об/мин.}$$

По паспорту станка принимаем число оборотов шпинделя $n=333$ об/мин.

Тогда фактическая скорость резания

$$v_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 15 \cdot 333}{1000} = 15,7 \text{ м/мин.}$$

Основное технологическое время

$$T_o = \frac{L}{ns}; \quad L = l + l_1 + l_2.$$

Толщина дышла в месте сверления $l \approx 107$ мм; считая, что сверление производится сверлом с двойной заточкой, величина врезания сверла $l_1 = 0,4D = 0,4 \cdot 15 = 6$ мм; перебег сверла $l_2 = 2$ мм.

Тогда

$$T_o = \frac{107 + 6 + 2}{333 \cdot 0,4} = 0,86 \text{ мин.} = 52 \text{ сек.}$$

Потребный крутящий момент при сверлении

$$M = C_M D^{1,9} s^{0,8} K_M \text{ кгм,}$$

где K_M — поправочный коэффициент, учитывающий обрабатываемый материал.

Из табл. 51 имеем $C_M = 33,8$, а из табл. 52 $K_M = 0,89$.

Тогда $M = 33,8 \cdot 15^{1,9} \cdot 0,4^{0,8} \cdot 0,89 \approx 2850$ кгм.

Имеющийся крутящий момент на шпинделе станка (при $n=333$ об/мин.):

$$M_{ст} = 716 \cdot 200 \frac{N_{шп}}{n} \text{ кгм,}$$

где $N_{шп}$ — мощность на шпинделе станка;

$$N_{шп} = N_{э.д} \eta_{ст},$$

где $N_{э.д}$ — мощность главного электро-двигателя;

$\eta_{ст}$ — к.п.д. станка.

Принимая $\eta_{ст} = 0,8$, будем иметь

$$N_{шп} = 3,2 \cdot 0,8 = 2,56 \text{ квт} = 3,5 \text{ л.с.}$$

Тогда

$$M_{ст} = 716 \cdot 200 \frac{3,5}{333} \approx 7500 \text{ кгм,}$$

т. е. $M_{ст} > M$.

Коэффициент использования мощности станка может быть определен по соотношению M и $M_{ст}$

$$K_{ст} = \frac{M}{M_{ст}} 100\% = \frac{2850}{7500} 100\% = 37,5\%.$$

Как видно, мощность станка при работе сверлом диаметром 15 мм используется неполностью.

Поэтому для данной операции станок может быть принят лишь в том случае, когда иметь два станка невозможно, а на выбранном станке необходимо производить также и другую работу, дающую возможность более полно использовать мощность станка. Такой работой в нашем примере является рассверливание полученного отверстия с диаметра 15 мм до диаметра 40 мм.

Рассверливание отверстия диаметром 15 мм до диаметра 40 мм. Материал режущей части сверла тот же, т. е. быстрорежущая сталь марки Р9.

Подача

$$s = C_s D^{0,6} K_{1,5} = 0,085 \cdot 40^{0,6} \cdot 0,8 \times 1,5 \approx 0,93 \text{ мм/об.}$$

По паспорту станка принимаем подачу $s = 0,76$ мм/об.

Скорость резания

$$v = \frac{C_v D^{2,5} K_v}{T^m t^{x_v} s^{y_v}} \text{ м/мин,}$$

где K_v — общий поправочный коэффициент на скорость резания.

По табл. 44 находим $T = 60 \div 80$ мин.

Принимаем $T = 70$ мин., $K = 0,88$ (см. выше).

Глубина резания

$$t = \frac{D - d}{2} = \frac{40 - 15}{2} = 12,5 \text{ мм.}$$

Коэффициент C_v и показатели степени находим по табл. 45.

Тогда

$$v = \frac{11,6 \cdot 40^{0,4} \cdot 0,88}{70^{0,2} \cdot 12,5^{0,2} \cdot 0,76^{0,5}} =$$

$$= \frac{11,6 \cdot 4,38 \cdot 0,88}{2,34 \cdot 1,65 \cdot 0,87} \approx 13,5 \text{ м/мин.}$$

Потребное число оборотов шпинделя

$$n = \frac{1000v}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 13,5}{3,14 \cdot 40} \approx 108 \text{ об/мин.}$$

Из паспортных данных станка принимаем число оборотов шпинделя $n = 118$ об/мин. (при этом получаем некоторое снижение стойкости сверла относительно расчетной).

Тогда фактическая скорость резания

$$v_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 40 \cdot 118}{1000} = 14,8 \text{ м/мин.}$$

Основное технологическое время

$$T_o = \frac{L}{ns}; \quad L = l + l_1 + l_2;$$

$$l = 107; \quad l_1 \approx 0,3(D - d) = 0,3(40 - 15) = 7,5 \text{ мм;}$$

$$l_2 = 3 \text{ мм.}$$

Тогда

$$T_o = \frac{107 + 7,5 + 3}{118 \cdot 0,76} \approx 1,3 \text{ мин.} = 78 \text{ сек.}$$

Потребный крутящий момент при рассверливании

$$M = C'_M D s^{0,8} t^{0,9} \sigma_{пч}^{0,7} K_M \text{ кгм,}$$

где K_M — поправочный коэффициент, учитывающий обрабатываемый материал.

Из табл. 51 имеем $C'_M = 3,8$.

Из табл. 52 — $K_M = 0,89$.

* Так как подачу при рассверливании следует принимать в 1,5–2,0 раза больше, чем при сверлении в сплошном материале (см. выше).

$$\text{Тогда } M = 3,8 \cdot 40 \cdot 0,76 \cdot 0,8 \cdot 12,5^{0,9} \cdot 60^{0,7} \times \\ \times 0,89 = 3,8 \cdot 40 \cdot 0,8 \cdot 9,6 \cdot 17,6 \cdot 0,89 \approx \\ \approx 18350 \text{ кгмм.}$$

Имеющийся крутящий момент на шпинделе станка (при $n=118$ об/мин.):

$$M_{ст} = 716200 \frac{N_{мш}}{n} = 716200 \frac{3,5}{118} \approx \\ \approx 21200 \text{ кгмм, т. е. } M_{ст} > M$$

Коэффициент использования станка по моменту

$$K_{см} = \frac{M}{M_{ст}} 100\% = \frac{18350}{21200} 100\% \approx 87\%.$$

Расчёт режима резания при рассверливании отверстия с диаметра 40 до диаметра 60 мм производится аналогично рассмотренному примеру расчёта режима резания при рассверливании отверстия с диаметра 15 до диаметра 40 мм.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Аваков А. А. Некоторые вопросы стойкости реза. Сборник трудов ТБИИЖТ № 24. Трансжелдориздат, М., 1951.
2. Белецкий Д. Г. Технология чистовой обработки. Машгиз, М., 1949.
3. Беспровзанный И. М. Основы теории резания металлов. Машгиз, М., 1948.
4. Борткевич Г. С. Поиски нового. Сборник «На высоких скоростях». Профиздат, М., 1949.
5. Быков П. Б. Путь к счастью. Профиздат, М., 1951.
6. Грановский Г. И. Режущий инструмент и процесс резания. Справочник машиностроителя, т. II. Машгиз, М., 1952.
7. Грудов П. П., Цыганова М. П. Керамические резцы. Трудрезвиздат, М., 1952.
8. Даниелян А. М. Резание металлов и инструмент. Машгиз, М., 1950.
9. Диков Ю. Наш комплексный метод скоростной обработки металлов. Изд. «Правда», 1951.
10. Долматовский Г. А. Справочник технолога. Машгиз, М., 1950.
11. Дьяченко П. Е. и Якобсон М. О. Качество поверхности при обработке металлов резанием. Машгиз, М., 1951.
12. Зобнин Н. П. Качество обработанных поверхностей и прочность прессовых соединений осей. Сборник трудов МЭМИИТ № 58. Трансжелдориздат, М., 1949.
13. Зобнин Н. П., Юдин Д. Л., Халко В. У. Скоростные методы обработки элементов колёсных пар. Сборник трудов МЭМИИТ № 61. Трансжелдориздат, М., 1952.
14. Инструкция и нормативные материалы по изготовлению и применению керамических резцов при обработке металлов резанием. Машгиз, 1952.
15. Исаев А. И. Процесс образования поверхностного слоя при обработке металлов резанием. Машгиз, М., 1950.
16. Исаев А. И., Зорев Н. Н., Кучма Л. К. Резание металлов керамическим инструментом. Машгиз, М., 1952.
17. Каширин А. И. Технология машиностроения. Машгиз, М., 1949.
18. Колесов В. А. Новые пути. Профиздат, М., 1953.
19. Кривоухов В. А. Деформирование поверхностных слоёв металла в процессе резания. Машгиз, М.—Свердловск, 1945.
20. Кузнецов В. Д. Физика твёрдого тела, т. III. Томск, Изд. «Красное знамя», 1944.
21. Ларин М. Н. Основы фрезерования. Машгиз, М., 1947.
22. Марков А. П. Опыт скоростного резания металлов. «Московский рабочий», М., 1950.
23. Машиностроение. Энциклопедический справочник, т. 7. Машгиз, М., 1948.
24. Опыт внедрения новых режимов резания. Работа бригады отдела науки МГК ВКП(б) на заводе «Можерез» под рук. Н. П. Зобнина. Трансжелдориздат, М., 1936.
25. Панкин А. В. Основные вопросы наивыгоднейшего резания металлов. Машгиз, М., 1948.
26. Панкин А. В. Основные предпосылки для теории и практического определения стойкости режущих инструментов. Сборник трудов ТБИИЖТ № 24. Трансжелдориздат, М., 1951.
27. Писарев Н. Г. Скоростные методы обработки металлов резанием. Опыт работы токаря С. В. Подорожника, М.—Л., 1949.
28. Прогрессивная технология машиностроения. Под ред. А. П. Соколовского, ч. 1—2, Машгиз, М.—Л., 1951—1952.
29. Ребиндер И. А. Влияние активных смазочно-охлаждающих жидкостей на качество поверхности при обработке металлов резанием и давлением. Изд. АН СССР, М.—Л., 1946.
30. Режимы резания металлов инструментами из быстрорежущей стали. Машгиз, М., 1950.
31. Режимы скоростного резания металлов, вып. I и II. Машгиз, М., 1950—1951.
32. Семинский В. К. Скоростное резание металлов, Машгиз, М., 1951.
33. Скоростные методы обработки металлов. Под ред. В. Г. Любченко. Машгиз, М., 1949.
34. Скоростные методы обработки металлов. Под ред. А. П. Соколовского. Машгиз, М.—Л., 1948.
35. Скоростное резание металлов (стеинограмма публичной лекции Ларина М. Н.). Изд. «Правда», М., 1950.
36. Справочник нормировщика, вып. IX. Машгиз, М., 1949.
37. Толчёнов Т. В. Техническое нормирование станочных и слесарно-сборочных работ. Машгиз, М., 1950.
38. Усачёв Я. Г. Явления, происходящие при резании металлов. Известия Петроградского Политехнического Института, том XXIII, 1915.
39. Челюсткин А. Н. Теория резания металлов. Госмашметиздат, 1932.
40. Челюсткин А. Н. Влияние размеров стружки на усилие резания металлов. Изд. В. Т. А. РККА, Л., 1925.
41. Зворыкин К. А. Работа и усилия, необходимые для отделения металлических стружек. М., 1893.
42. Тиме И. А. Сопротивление металлов и дерева резанию, 1870.
43. Тиме И. А. Мемуар о строгании металлов, 1877.
44. Тиме И. А. Основы машиностроения, 1883.

МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ



МАТЕРИАЛЫ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Для изготовления режущей части инструментов применяют:

- 1) твёрдые сплавы (ГОСТ 3882-53);
- 2) инструментальные стали: а) углеродистые (ГОСТ В1435-42); б) легированные (ГОСТ 5950-51); в) быстрорежущие (ГОСТ 5952-51).

Твёрдые сплавы в настоящее время являются основными режущими материалами, так как обеспечивают наиболее высокую производительность.

Для обработки сталей применяют титановольфрамовые сплавы.

Для обработки чугунов, цветных металлов и неметаллических материалов применяют вольфрамовые сплавы.

Выбор марки твёрдого сплава производят согласно табл. 1.

В случаях выкрошивания титановых сплавов при обработке сталей вследствие тяжёлых условий работы возможно применение вольфрамовых сплавов.

Сортамент на пластинки твёрдых сплавов приведён в ГОСТ 2209-49. Технические условия — в ГОСТ 4872-52. Сравнительные данные режущей способности твёрдых сплавов приведены в разделе «Резание металлов».

Инструментальные стали применяют:

- а) при невозможности полного использования режущих свойств твёрдых сплавов в связи с малой мощностью и быстроходностью станка, несбалансированностью детали и др.;
- б) для сложных и фасонных инструментов;
- в) для инструментов, работающих на низких скоростях резания (например при ручных работах).

Быстрорежущие стали марки Р18 рекомендуется применять для обработки материалов повышенной прочности (сталей $\sigma_{лч} > 85 \text{ кг/мм}^2$, чугунов $H_B > 220 \text{ кг/мм}^2$).

Легированные стали, незначительно деформирующиеся при термической обработке, можно рекомендовать для фасонных инструментов сложной конфигурации, работающих на низких скоростях резания, а также при нешлифованном профиле.

Таблица 1

Выбор марки твёрдого сплава для изготовления режущих инструментов

Вид инструмента	Обрабатываемый материал			
	сталь машино- поделочная, легированная и стальное литьё	чугун серый, отбелённый и ковкий	бронза и цветные металлы	неметаллические материалы: пластмасса, фибра, стекло, фарфор и др.
Резцы токарные для точения:				
обдирочного с ударной нагрузкой . .	T5K10, T5K7	BK8, BK6	BK6, BK8	BK6
обдирочного с переменной нагрузкой	T5K10, T5K7, T14K8, T15K6,	BK6, BK8	BK6	BK6, BK3
обдирочного	T5K10, T5K7, T14K8, T15K6,	BK6	BK6	BK6, BK3
полуобдирочного	T15K6	BK6, BK3	BK3	BK6, BK3
чистового	T15K6, T30K4	BK3, BK2	BK3, BK2	BK6, BK3, BK2
тонкого	T30K4, T60K6	BK2	BK2	BK3, BK2
Резцы строгальные:				
обдирочные	T5K10,	BK8	BK8	—
чистовые	T5K10, T5K7	BK6	BK8	—
Фрезы:				
обдирочные	T15K6, T14K8,	BK6, BK8	BK6	BK6, BK3
чистовые	T5K7, T5K10	BK6	BK6	BK6, BK3
резьбовые	T15K6	BK6, BK3,	BK6, BK3,	BK6, BK3
Развёртки	T15K6, T30K4	BK2	BK2	
Резцы резьбовые к вращающимся го- ловкам	T15K6	BK6	BK6	BK6
Свёрла	T5K10, BK8	BK6, BK8	BK6	BK6, BK3
Зенкеры	T15K6, T14K8, T5K10	BK6, BK8,	BK6	BK6
Развёртки	T15K6, T30K4	BK2, BK3, BK6	BK2, BK3, BK6	BK2, BK3

Углеродистые стали можно применять для инструментов, работающих на низких скоростях резания, в частности для мелких и ручных инструментов.

Рекомендуемое назначение наиболее употребительных марок инструментальных сталей приведено в табл. 2.

Сортамент на инструментальные стали горячекатаные и кованные предусматривает прутки круглого и квадратного сечения (ГОСТ 1133-41) и полосовую сталь прямоугольного сечения (ГОСТ 4405-48).

Сортамент быстрорежущей стали приведён в ГОСТ 5650-51.

Для нерабочих частей инструментов рекомендуются стали марок: 45 (ГОСТ 1050-52), МСт. 6 (ГОСТ 330-50), 40Х, 40ХФА (ГОСТ 4543-48) и ШХ15 (ГОСТ 801-47).

В последнее время получил применение новый режущий минерало-керамический материал — термостойкий корунд.

Твёрдость термостойкого корунда 89—91 H_{RA} , предел прочности на изгиб до 30 $кг/мм^2$, красностойкость около 1200°C.

Таблица 2







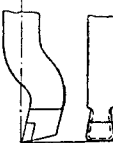



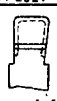
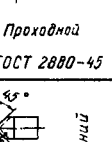
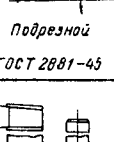
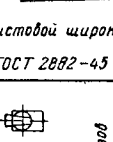




Рекомендуемые марки инструментальных сталей

Наименование инструмента	Обрабатываемые материалы			
	Стали H_B до 230 $кг/мм^2$, или до 85 $кг/мм^2$	Чугуны H_B до 220 $кг/мм^2$	Стали H_B выше 230 $кг/мм^2$, или выше 85 $кг/мм^2$	Чугуны H_B выше 220 $кг/мм^2$
Резцы токарные, строгальные и долбежные	P9; Y10A; Y12A	P9; Y10A; Y12A	P9	P9
Резцы фасонные	P9	P9	P18; P9	P18; P9
Протяжки	P18; P9; XBG	P18; P9; XBG	P18; P9	P18; P9
Свёрла	P9; 9XC; Y10A; Y12A	P9; 9XC; Y10A; Y12A	P18; P9	P18; P9
Зенкеры	P9; 9XC	P9; 9XC	P9	P9
Зенковки	9XC; Y10A; Y12A	9XC; Y10A; Y12A	P9; 9XC	P9; 9XC
Развёртки	P9; 9XC; Y10A; Y12A	P9; 9XC; Y10A; Y12A	P9	P9
Фрезы с острозаточенными зубьями (в том числе угловые)	P9; 9XC	P9; 9XC	P9	P9
Фрезы с заточенными зубьями, резьбовые фрезы	P9	P9	P18; P9	P18; P9
Резцы и гребёнки резьбовые	P9; 9XC; Y12A	P9; 9XC; Y12A	P18; P9	P18; P9
Метчики	P9; 9XC; Y12A	P9; 9XC; Y12A	P9	P9
Плашки круглые	9XC; Y10A; P9	9XC; Y10A; P9	P9	P9
Плашки к резьбонарезным головкам	P9	P9	P18	P18
Плашки резьбонакатные	X12M; 5XNM	X12M; 5XNM	X12M; 5XNM	X12M; 5XNM
Фрезы червячные $m < 8$; шевры	P18	P18	P18	P18
Фрезы червячные $m > 8$	P9	P9	P18; P9	P18; P9
Долбяки, зуборезные гребёнки, зубострогальные резцы	P9	P9	P18	P18

Примечание. Быстрорежущие стали марок P18 и P9 могут быть заменены соответственно сталями марок P18M и P9M.

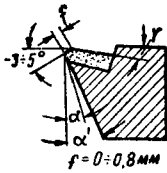
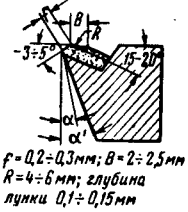
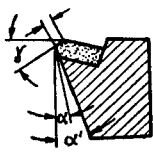
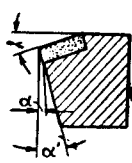
Таблица 3

Основные типы резцов

Токарные	 Прямой ГОСТ 2380-44	 Проходной ГОСТ 2381-44	 Подрезной ГОСТ 2822-45	 Подрезной ГОСТ 2821-45	Строгальные	 Проходной ГОСТ 2880-45	 Подрезной ГОСТ 2881-45	 Чистовой широкий ГОСТ 2882-45
	 Расточной ГОСТ 2384-44	 Каналочный	 Чистовой	 Чистовой ГОСТ 2383-44		 Проходной 2-сторонний ГОСТ 2885-45	 Прерывной ГОСТ 2886-45	 Для шапачных пазов ГОСТ 2883-45
	 Фасочный	 Отрезной ГОСТ 2382-44	 Прорезной	 Чашечный				

Выбор формы передней грани у резцов, оснащённых твёрдым сплавом

Таблица 4

Форма передней грани		Область применения	Способ отвода стружки
С отрицательной фаской	Плоская (II)	 <p>Обработка серого и ковкого чугуна. Обработка стали с пределом прочности $\sigma_{пл} < 80 \text{ кг/мм}^2$. Обработка стали с пределом прочности $\sigma_{пл} > 80 \text{ кг/мм}^2$ при недостаточной жёсткости и виброустойчивости детали</p>	При обработке стали для отвода стружки требуется применение стружколомателя
	Радиусная (I)	 <p>Получистовая обработка стали ($t = 1 \div 5 \text{ мм}$, $s > 0,3 \text{ мм/об}$) с пределом прочности до 80 кг/мм^2. Радиусная форма образуется электроискровым способом. Образование радиусной формы при помощи абразивных кругов не допускается</p>	Применение дополнительных способов отвода стружки не требуется
Плоская отрицательная (III)	Двойная	 <p>Обработка стали с пределом прочности $\sigma_{пл} > 80 \text{ кг/мм}^2$ с образованием лунки или проточки на передней грани при достаточной жёсткости и виброустойчивости детали. Обработка стали с ударами, а также с неравномерным припуском по корке</p>	Для отвода стружки требуется применение стружколомателей или специальных значений φ и λ для дробления стружки
	Одинарная	 <p>Обработка стали с $\sigma_{пл} > 80 \text{ кг/мм}^2$ без образования лунки на передней грани, при достаточной жёсткости и виброустойчивости детали; заточка резца только по задней грани</p>	Для отвода стальной стружки требуется применение стружколомателей или придание специальных значений φ и λ для дробления стружки

Выбор формы передней грани у быстрорежущих резцов

Таблица 5

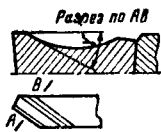
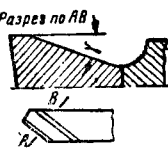
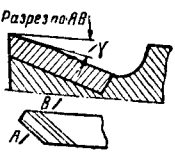

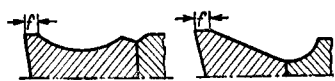
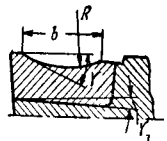
Форма передней грани		Область применения
I	Радиусная с фаской	 <p>Резцы всех типов (за исключением фасонных со сложным профилем режущей кромки) для обработки стали, особенно в случаях необходимости обеспечить стружкозавивание</p>
II	Плоская с фаской	 <p>Резцы всех типов для обработки стали при подачах $s > 0,2 \text{ мм/об}$</p>
III	Плоская	 <p>Резцы всех типов для обработки чугуна. Фасонные резцы со сложным профилем режущей кромки. Резцы для обработки стали при подачах $s \leq 0,2 \text{ мм/об}$, а также в других случаях необходимости в плоской форме передней грани без фаски</p>

Таблица 6

Выбор конструктивных элементов передней грани быстрорежущих резцов

 <p>Угол γ_2 положительный</p>	$\gamma_2 = 0^\circ$ — для токарных резцов; $\gamma_2 = 5^\circ$ — для строгальных и долбежных резцов
	$f = (0,8 \div 1,0) s$ — для работы с подачами $s > 0,2$ мм на один оборот или двойной ход; для резцов, предназначенных для работы с подачами $s < 0,2$ мм, режущие кромки надлежит притупить оселком, не допуская образования при этом фаски шириной более 0,2 мм
	$R = (10 \div 15) s$ — для токарных проходных и расточных резцов; $R = (30 \div 40) s$ — для строгальных и долбежных резцов; $R = (50 \div 60) s$ — для прорезных и отрезных резцов, но не менее $R = 3$ мм; $b = 2R \sin(\gamma - \gamma_2)$

Благодаря высокой твёрдости и красностойкости термостойких можно использовать на более высоких скоростях резания по сравнению с твёрдым сплавом, но вследствие повышенной хрупкости и малой прочности на изгиб термостойких рекомендуется применять лишь на чистовых и получистовых операциях без ударной нагрузки и при жёсткой системе станок — деталь — инструмент.

Опыт применения термостойких резцов на предприятиях железнодорожного транспорта показал, что ими можно выполнять большое количество операций по обработке деталей подвижного состава и особенно операций с большим машинным временем обработки.

РЕЗЦЫ

Основные понятия и определения, относящиеся к резцам, приведены в ГОСТ 6897—6898. Элементы и обозначения геометрических параметров резца представлены на фиг. 1. В зависимости от вида оборудования резцы разделяют на токарные, строгальные и долбежные, по направлению подачи относительно обрабатываемого изделия — на правые и левые.

Основные типы резцов, различающиеся по виду и характеру обработки, представлены в табл. 3.

Выбор геометрических параметров режущей части

Формы заточки передней грани резцов, оснащённых твёрдым сплавом, приведены в табл. 4, а резцов из быстрорежущих сталей — в табл. 5. Выбор конструктивных элементов передней грани быстрорежущих резцов приведён в табл. 6.

Табл. 4, 5 и 6 взяты из действующих нормативов. На основании научных и производственных работ МВМИ, ВНИИ, Станкинпрома, ЗИС, МВТУ и др. возможна большая детализация элементов передней грани (табл. 7).

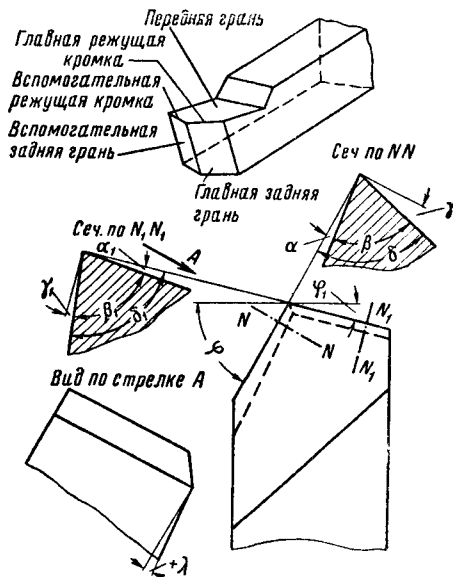
Плоская форма наиболее проста и удобна в изготовлении и при переточках.

Эта форма рациональна для обработки хрупких материалов. Её также следует при-

менять при обработке высокопрочных материалов, прерывистой или ударной работе, для отделочных работ с тонкими стружками и фасонных резцов со сложным профилем.

Плоская с фаской форма позволяет увеличить передний угол при сохранении необходимой прочности режущей части.

Уменьшение при этом деформации стружки позволяет при обработке вязких материалов



Фиг. 1. Элементы головки и геометрические параметры резца: α — задний угол; γ — передний угол; δ — угол резания; β — угол заострения; α_1 — вспомогательный задний угол; γ_1 — вспомогательный передний угол; δ_1 — вспомогательный угол резания; β_1 — вспомогательный угол заострения; φ — главный угол в плане; φ_1 — вспомогательный угол в плане; λ — угол наклона главной режущей кромки

повысить скорость резания при понижении усилий резания.

Радиусная форма позволяет аналогично повысить скорость резания, понизить усилия резания, а также облегчает отвод стружки, имеющей в этом случае небольшой радиус витка.

Рекомендуемые величины передних и задних углов приведены в табл. 8 для резцов, оснащённых твёрдым сплавом, и в табл. 9 для быстрорежущих.

При обработке сталей всухую быстрорежущими резцами следует задние углы уменьшить на 2—3°. Задние вспомогательные углы у проходных и подрезных резцов $\alpha_1 = \alpha$. У отрезных и прорезных $\alpha_1 = 1-2^\circ$. Главный угол в плане φ следует выбирать по возмож-

ности меньше, так как при этом повышается стойкость резца и улучшается чистота обработанной поверхности. Однако вследствие того, что с уменьшением угла φ возрастает радиальное усилие, вызывающее прогиб изделия и вибрации, меньшие углы в плане следует брать при большей жёсткости системы станок—изделие—резец. Значения угла φ в зависимости от условий работы приведены в табл. 10.

Таблица 7

Выбор формы передней грани

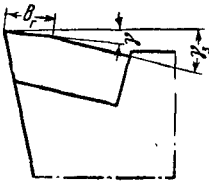
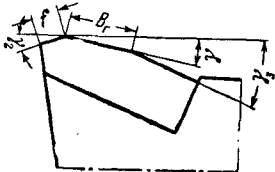
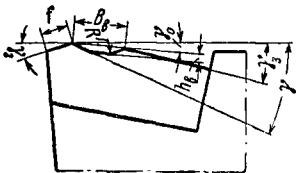
Форма	Параметры передней грани	Применение	Выбор параметров передней грани
Плоская (II)		<ol style="list-style-type: none"> 1. Фасонные резцы со сложным профилем. 2. Резцы всех типов при обработке хрупких материалов, а также вязких при $s < 0,25$ мм/об. 3. Твёрдосплавные резцы с отрицательными передними углами при обработке стали $\sigma_{пл} > 80$ кг/мм² и достаточной жёсткости и виброустойчивости детали. 4. Резцы для прерывистой и ударной работы 	$B_r = (0,2 \div 0,25)H$ — для обработки вязких материалов. $B_r = (0,1 \div 0,15)H$ — для обработки хрупких материалов. H — высота державки резца
Плоская с фаской (II)		Токарные проходные и подрезные резцы при обработке вязких материалов с $s > 0,25$ мм/об. Работа в условиях, не требующих стружкозавивания, или со стружкоотводными устройствами	<ol style="list-style-type: none"> 1. $f = (0,8 \div 1) s$ мм. 2. $\gamma_2 = 0 \div -5^\circ$. 3. B_r — как для резцов с плоской формой передней грани
Радиусная (I)		Резцы всех типов (кроме фасонных со сложным профилем) для обработки вязких материалов при $s > 0,25$ мм/об	<ol style="list-style-type: none"> 1. $f = (0,8 \div 1) s$ мм. 2. $\gamma_2 = 0 \div -5^\circ$. 3. $\gamma_0 = 5^\circ$. 4. $B_g = (10-4s) s$ мм при $s = 0,25 \div 1,5$ мм/об. 5. $R = \frac{B_g}{2 \sin(\gamma - \gamma_0)}$ мм. 6. $h_g = R [1 - \cos(\gamma - \gamma_0)]$ мм

Таблица 8

Выбор передних и задних углов у твёрдосплавных резцов

Группа	Обрабатываемый металл		α°		γ°	
			Величина подачи s		Форма передней грани	
			$s > 0,3$	$s < 0,3$	I и II	III
1	Стали конструкционные углеродистые и легированные	$\sigma_{пл} < 110$ кг/мм ²	8	12	15	—5
2		$\sigma_{пл} > 110$ кг/мм ²	—	12	—	—10
3	Чугун серый	$H_B < 220$	6	10	12	—
4		$H_B > 220$	6	10	8	—
5	Чугун ковкий	$H_B = 140 \div 150$. .	8	12	15	—

Примечание. $\alpha' = \alpha + 5^\circ$.

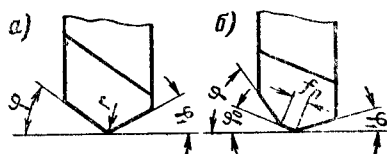
Таблица 9

Выбор передних и задних углов у быстрорежущих резцов

Группа	Обрабатываемый металл	α°		γ°	
				Форма передней грани	
		$s > 0,2$	$s < 0,2$	I и II	III
1	Алюминиевые и магниевые лёгкие сплавы. Красная медь	10	15	30	25
2	Стали углеродистые и легированные (с содержанием углерода $C < 0,2\%$), $H_B < 140$ и $\sigma_{пл} < 50 \text{ кг/мм}^2$; латунь вязкая	8	12	30	25
3	Стали и стальное литьё углеродистые, легированные и инструментальные (сырые и термообработанные), $H_B = 140 \div 230$ и $\sigma_{пл} = 50 \div 80 \text{ кг/мм}^2$; серый чугун и ковкий чугун, $H_B < 160$	8	12	25	18
4	Стали и стальное литьё углеродистые, легированные и инструментальные (сырые и термообработанные), $H_B = 230 \div 340$ и $\sigma_{пл} = 80 \div 120 \text{ кг/мм}^2$; серый чугун и ковкий чугун, $H_B = 160 \div 220$; бронза и латунь хрупкие	8	12	25	12
5	Чугун, $H_B > 220$	8	12	—	5

Примечание. При обработке прерывистых поверхностей и литья с коркой, а также при работе строгальными и долбежными резцами вместо передних углов $25 \div 30^\circ$ и $18 \div 25^\circ$ назначать соответственно 20 и 12° .

Вспомогательный угол в плане φ_1 также желательно по возможности уменьшать. При работе без врезания $\varphi_1 = 5 \div 10^\circ$. Для отрезных, прорезных и пазовых резцов $\varphi_1 = 1 \div 2^\circ$. При работе с врезанием у отогнутых резцов и твёрдосплавных резцов кубиков $\varphi_1 = 30 \div 45^\circ$. Для отделочных твёрдосплавных резцов $\varphi_1 = 0 \div 5^\circ$. Переходная режущая кромка обычно принимается радиусной (фиг. 2, а). Для твёрдосплавных резцов $r = 0,5 \div 2 \text{ мм}$ в зависимости



Фиг. 2. Форма переходной режущей кромки: r — радиус при вершине резца; f_n — длина переходной режущей кромки; φ_0 — угол в плане переходной режущей кромки

от размера резца. Для быстрорежущих резцов $r = 1 \div 3 \text{ мм}$ при обдирке и $1,5 \div 5 \text{ мм}$ при отделке. Для твёрдосплавных резцов можно применять прямолинейную переходную режущую кромку (фиг. 2, б), при которой легче достигается постоянство задних углов при заточке.

Длина $f_n = 1,0 \div 2,0 \text{ мм}$, угол $\varphi_0 = \frac{\varphi}{2}$.

Угол наклона главной режущей кромки следует принимать $\lambda = 0 \div 5^\circ$. Для работы быстрорежущими резцами в нежёстких условиях $\lambda = -15 \div -20^\circ$.

Для дробления стружки твёрдосплавными резцами, имеющими $\gamma = -5 \div -10^\circ$ и $\varphi = 60 \div 70^\circ$, берут $\lambda = 10 \div 12^\circ$. При неравномерном припуске, ударной и прерывистой работе

Таблица 10
Выбор главного угла в плане φ

Условия работы	φ°
Обработка чистовая твёрдосплавными резцами в жёстких условиях	10 ÷ 20
Обработка резцами с $\gamma > 25^\circ$ в жёстких условиях	30
Обработка в жёстких условиях при отношении длины изделия к диаметру менее 6	45
Обработка в нежёстких условиях при отношении длины изделия к диаметру в пределах 6 ÷ 12. Многоинструментальные работы	60 ÷ 75
Обработка длинных тонких валов; многоинструментальные работы; для отрезных и прорезных резцов; при одновременном проходе и подрезке торца, при работе в упор (отсутствии выхода)	90

$\lambda = 10 \div 30^\circ$. У отрезных и прорезных резцов $\lambda = 0^\circ$. Допуски угловых параметров можно принимать согласно табл. 11

Таблица 11
Допуски угловых параметров резцов

Величина угла	До 3°	$3 \div 10^\circ$	$10 \div 30^\circ$	Свыше 30°
Допуск	$\pm 1^\circ$	$\pm 1^\circ$	$\pm 2^\circ$	$\pm 3^\circ$

Выбор элементов конструкции

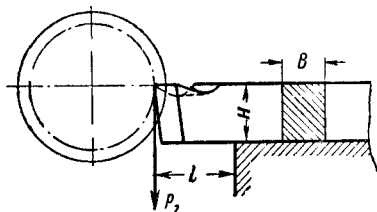
Размеры сечения державки рассчитывают в зависимости от вертикального усилия резания P_z и вылета резца l (фиг. 3) по формулам:

$BH^2 = \frac{6 P_z l}{\sigma_u}$ (державки прямоугольного сечения);

$B^3 = \frac{6 P_z l}{\sigma_u}$ (державки квадратного сечения) и

$d^3 = \frac{10 P_z l}{\sigma_u}$ (державки круглого сечения),

где σ_u — допускаемое напряжение на изгиб материала державки.



Фиг. 3. Схема к расчёту державки

Полученные размеры сечения державки уточняют в соответствии со стандартами и условиями работы. В случае ударных нагрузок размеры поперечного сечения державок следует увеличить в 1,25—1,5 раза. Длина реза берётся соответственно резцедержателю станка или крепёжному приспособлению.

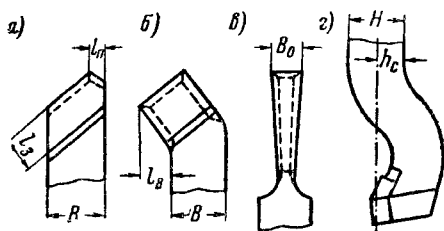
Смещение вершины проходного прямого реза (фиг. 4, а) берётся в долях ширины державки в зависимости от угла в плане:

$l_n = (0,2 \div 0,3) B$ при $\varphi = 30^\circ$;

$l_n = (0,3 \div 0,4) B$ при $\varphi = 45^\circ$;

$l_n = (0,4 \div 0,5) B$ при $\varphi = 60^\circ$;

$l_n = (0,6 \div 0,7) B$ при $\varphi = 75^\circ$.



Фиг. 4. Конструктивные элементы резцов

Длина заточенной части $l_z \approx 0,7 B$. Отогнутость головки в плане берётся (фиг. 4, б): $l_n = (0,5 \div 0,6) B$ у проходных резцов, $l_n = (0,25 \div 0,4) B$ у подрезных, $l_n = (0,3 \div 0,4) B$ у подрезных торцевых и $l_n = (0,4 \div 0,5) d$ у расточных.

Ширина режущей части у отрезных резцов (фиг. 4, в):

$$B_0 \approx \frac{2}{3} \sqrt{D},$$

где D — диаметр изделия.

Отогнутость строгальных резцов (фиг. 4, г) берётся $h_c \geq \frac{H}{2}$.

Для чернового и получистового строгания в случае, если возможна работа с малым вылетом, следует применять прямые резцы.

Технические условия на токарные и строгальные резцы с напаянными пластинками твёрдого сплава указаны в ГОСТ 5688-51.

Пластинки выбираются по ГОСТ 2209-49, ГОСТ 4872-52 (твёрдосплавные) и ГОСТ 2379-44 (быстрорежущие). Задние углы державки для облегчения заточки следует принимать $\alpha' = \alpha + 5^\circ$.

Угол установки пластинки $\gamma_z = \gamma + (10 \div 20)^\circ$. Твёрдость режущей части стальных термически обработанных резцов должна лежать в пределах $HR_C = 60-64$.

Стружкоотводные устройства

При обработке вязких металлов с высокими скоростями резания возникает необходимость в дополнительных мерах для удобного и безопасного дробления и отвода стружки. Это осуществляется специальным подбором геометрических параметров, образованием порожков, наваркой стружколомателей, установкой накладных стружколомателей.

Дробление стружки имеет место у резцов с углами заточки $\gamma = -5 \div -10^\circ$, $\lambda = 10 \div 12^\circ$ и $\varphi = 60 \div 70^\circ$. Применение передней грани радиусной формы также обеспечивает благоприятный отвод стружки, имеющей при этом небольшой радиус витка. К данным методам следует прибегать, когда указанные геометрии обеспечивают также высокую производительность.

Стружкодробящие порожки (фиг. 5) имеют размеры: $h_n = 0,4 \div 0,6$ мм, $r_n = (0,6 \div 0,8) h_n$; $\tau_n = 5 \div 10^\circ$; $\varepsilon_n = 90 \div 110^\circ$. Ширина порожка выбирается в зависимости от скорости резания и подачи по табл. 12.

Таблица 12

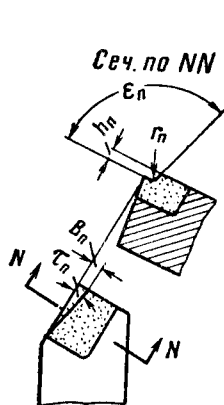
Выбор ширины порожка

Подача s в мм/об	Скорость резания в м/мин						
	40	50	60	70	80	90	100
	Ширина порожка B_n в мм						
0,14	3,5	3,0	2,75	2,25	2,0	1,5	1,2
0,21	3,75	3,5	3,0	2,5	2,25	1,75	1,5
0,28	4,0	3,75	3,3	3,0	2,5	2,0	1,75
0,35	4,5	4,0	3,75	3,25	2,75	2,5	2,0
0,42	4,75	4,5	4,0	3,75	3,25	2,75	2,5
0,5	5,0	4,75	4,25	4,0	3,5	3,25	2,75
0,6—0,8	6,0	5,75	5,25	5,0	4,5	4,25	3,75

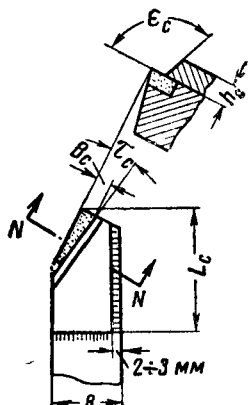
Наварной стружколоматель (фиг. 6) представляет собой пластинку из инструментальной стали, термически обработанной для получения твёрдости HR_C не менее 55. Также возможно применение сырых сталей, наплавленных сормайтотом.

Размеры наварных стружколомателей: $h_c = 5 \div 8$ мм (в зависимости от размеров реза); $\tau_c = 5^\circ$; $\varepsilon_c = 105^\circ$ (при $s < 0,5$ мм/об) и $\varepsilon_c = 115^\circ$ (при $s \geq 0,5$ мм/об).

Величина B_c зависит от формы передней грани и размеров среза. При размерах среза $t = 1 \div 6$ мм и $s = 0,2 \div 0,6$ мм величина $B_c = 3 \div 7$ мм (при $\gamma = 12 \div 15^\circ$) и $B_c = 4 \div 7$ мм (при $\gamma = -5^\circ$). Большие значения B_c следует выбирать при больших сечениях среза.



Фиг. 5. Резец со стружколомателем-порожком: B_n — ширина порожка; h_n — высота порожка; ε_n — угол порожка; γ_n — угол порожка в плане; r_n — радиус порожка



Фиг. 6. Резец с наварным стружколомателем: B_c — ширина передней грани; h_c — высота стружколомателя; ε_c — угол стружколомателя; γ_c — угол стружколомателя в плане; L_c — длина стружколомателя

Вследствие того что ширина порожка B_n и ширина передней грани B_c зависят от режимов резания, стружкодробящие порожки и наварные стружколоматели рациональны лишь при операционной работе.

Накладные стружколоматели в отличие от наварных можно регулировать и устанавливать в соответствии с условиями обработки. Их применяют в индивидуальном и мелко-серийном производстве.

Конструкции накладных стружколомателей весьма разнообразны.

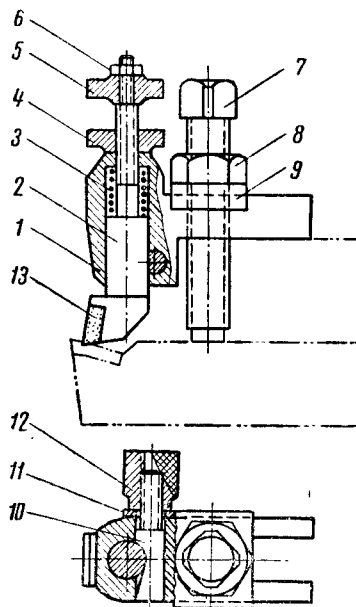
На фиг. 7 приведён стружколоматель завода «Борец», укрепляемый в резцедержателе токарного станка винтом 7, одновременно закрепляющим резец. Под давлением пружины 3 пластинка твёрдого сплава, припаянная к держателю 2, прижимается к передней грани резца. Держатель устанавливают в требуемое положение и закрепляют стопором 10.

На фиг. 8 приведён накладной стружколоматель ВНИИ, корпус 1 которого крепится к резцедержателю станка при помощи винтов 8. Положение сменного держателя 4 относительно вершины резца регулируется выдвижением горизонтальной оси 2. Для устранения возможного перемещения горизонтальной оси при работе на ней снята лыска под углом 2° , осуществляющая заклинивание с винтом 7. Держатель 4 стружколомателя крепится винтом 6. Вследствие того что при установке возможны как вертикальное перемещение, так и поворот держателя 4, уступ стружколомателя самоустанавливается по передней грани, обеспечивая плотное приле-

гание при различных передних углах γ и углах наклона главной режущей кромки λ . На фиг. 9 и 9а приведены конструкции держателей для резцов с углом в плане $\varphi = 45^\circ$ и $\varphi = 90^\circ$.

При скорости резания $v > 60$ м/мин и значительной глубине резания надёжное стружкодробление позволяет получить накладной стружколоматель конструкции инж. А. Ф. Антонова (фиг. 10). Стружка, сходя с передней грани, упирается в дуговой экран. Концы стружки скользят по дуге экрана, и стружка, прогнувшись, ломается слабо искривлёнными кусками длиной 10–60 мм.

С увеличением глубины резания, подачи и скорости резания надёжность дробления стружки возрастает.

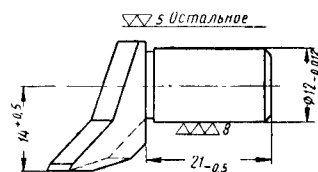


Фиг. 7. Накладной стружколоматель завода «Борец»: 1 — корпус; 2 — держатель; 3 — пружина; 4 — гайка; 5 — гайка; 6 — гайка; 7 — винт; 8 — гайка; 9 — шайба; 10 — стопор; 11 — шайба; 12 — гайка; 13 — стружкоотводная пластинка

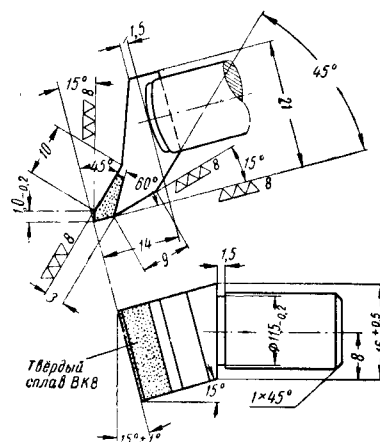
Положительным свойством данного стружколомателя является уменьшение усилий и мощности, потребных на ломание стружки, вследствие того, что стружка изгибается на шероховатую сторону. Установочные параметры a , b и v стружколомателя приведены в табл. 13

Таблица 13
Установочные параметры стружколомателя конструкции А. Ф. Антонова

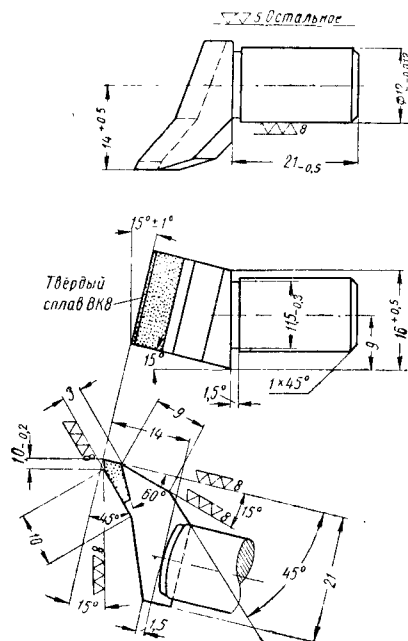
Режим резания			Установочные параметры в мм		
s в мм/об	v в м/мин	t в мм	a	b	v
$\geq 0,3$	$65 \div 150$	$5 \div 15$	$2 \div 5$	$4 \div 8$	$10 \div 15$
$< 0,3$	$80 \div 300$	$5 \div 15$	$5 \div 10$	$8 \div 10$	$20 \div 30$



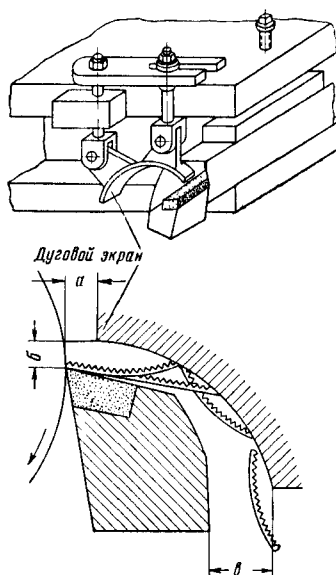
Фиг. 8. Накладной стружколоматель ВНИИ:
1—корпус; 2—горизонтальная ось; 3—вертикальная
ось; 4—держатель; 5—шпоика; 6—винт; 7—винт;
8—крепёжный винт; 9, 10—гайки



**Фиг. 9а. Держатель к стружколома-
телю ВНИИ для резцов с углом
в плане $\varphi=90^\circ$**



Фиг. 9. Держатель к стружколомателю ВНИИ для резцов с углом в плане $\varphi=45^\circ$

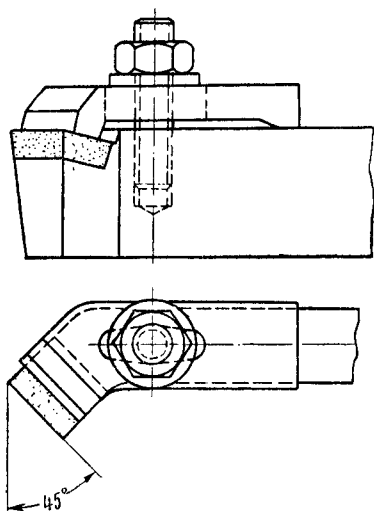


Фиг. 10. Стружколоматель конструкции инж. А. Ф. Антонова

Механическое крепление пластинок твёрдого сплава

Механическое крепление пластинок по сравнению с припайкой снижает расход твёрдого сплава и повышает виброустойчивость резца в связи с отсутствием напряжений в плоскости спая.

На фиг. 11 приведена конструкция крепления пластинки у отогнутого резца, применяемая рядом заводов. Державка имеет просверленное и нарезанное отверстие под шпильку.

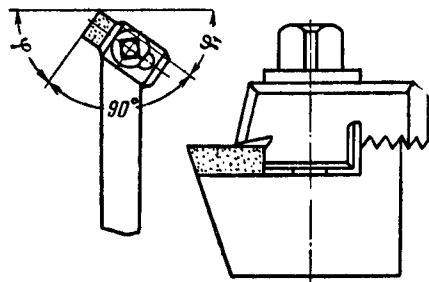


Фиг. 11. Резец с механическим креплением пластинки твёрдого сплава

Пластинка должна быть тщательно пригнана к поверхности гнезда. В данном случае роль стружколомателя выполняет прижимная планка, имеющая для регулирования продольную прорезь.

В некоторых случаях пластинку затачивают по всем четырём граням и при затуплении грани пластинку поворачивают в державке.

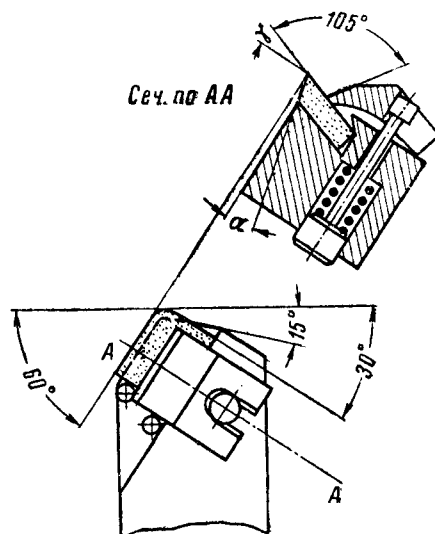
На фиг. 12 приведена конструкция резца завода «Фрезер». Прижимная планка имеет уступ для упора пластинки и переставляется по рифлям. Рифлёную поверхность выполняют параллельно опорной плоскости пластинки.



Фиг. 12. Резец с механическим креплением пластинки твёрдого сплава завода «Фрезер»

Необходимо, чтобы просвет между пластинкой и прижимной планкой был направлен от режущей кромки.

Хорошие результаты показала конструкция проходных резцов с креплением пластинок усилиями резания (фиг. 13). Для перестановки и переточки пластинка может быть



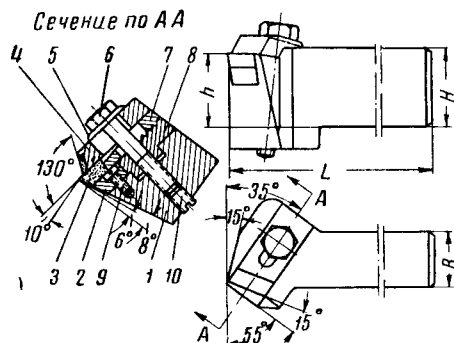
Фиг. 13. Резец с креплением пластинки твёрдого сплава усилиями резания

легко вынута из гнезда. При подводе и отводе резца пластинка удерживается в гнезде воздействием пружины, а во время работы усилием резания, прижимающими пластинку к нижней и задней плоскостям гнезда.

Для использования сточенных пластинок применяют набор державок с различными глубинами гнезд.

Особенно рекомендуется механическое крепление минерало-керамических пластин; крепление припайкой хотя и осуществимо, но даёт большой брак из-за растрескивания их в процессе припайки.

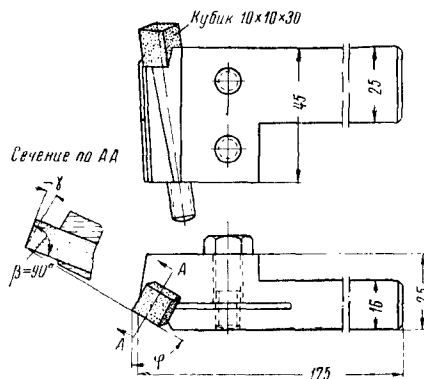
На фиг. 14 приведена конструкция крепления пластинки, разработанная ЦНИИТМаш. Данная конструкция обладает хорошей жёсткостью и предназначена для тяжёлых работ.



Фиг. 14. Резец с механическим креплением пластинки твёрдого сплава конструкции ЦНИИТМаш: 1 — корпус; 2 — опорная планка; 3 — пластинка; 4 — стружколоматель; 5 — шайба; 6 — болт; 7 — упор; 8 — опорная подкладка; 9 — винт; 10 — стопорный винт

Хорошие условия работы достигаются тем, что вся конструкция крепления пластинки и стружколомателя 4 располагается в пазу корпуса 1. Регулирование производится перестановкой упора 7 по рифлям. Для прилегания стружколомателя 4 к пластинке 3 упор 7 выполняется наклонным. Наличие опорной подкладки 8, снабжённой рифлением, обусловлено технологическими соображениями, так как изготовление рифлений непосредственно в пазах державки было бы затруднительным.

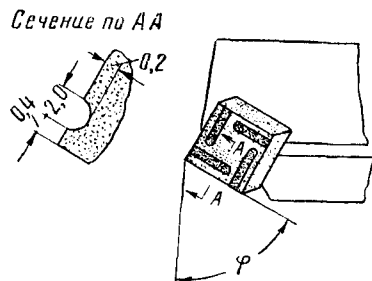
На фиг. 15 представлен твёрдосплавный резец-кубик квадратного сечения. Кубики



Фиг. 15. Твёрдосплавный резец-кубик

выполняются обычно целиком из твёрдого сплава. После затупления кубик поворачивается на 90°, и работа выполняется новой режущей кромкой; после четырёхкратного использования кубик переворачивается и ещё раз используется четырёхкратно. Кубики должны быть тщательно пригнаны к гнездам державок. Переточка ведётся по передним граням. Когда длина кубика станет менее 12 мм, рекомендуется его припаять к стальному хвостовику с целью использования до полного износа.

Резцы-кубики позволяют в ряде случаев уменьшать расход твёрдого сплава по сравнению с резцами, имеющими припаянные пластинки, примерно в 1,5—3 раза.

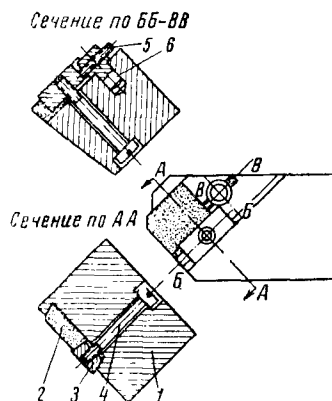


Фиг. 16. Твёрдосплавный резец-кубик с положительными передними углами

К недостаткам твёрдосплавных резцов-кубиков следует отнести наличие отрицательных передних углов в связи с тем, что передняя грань перпендикулярна оси кубика. В тех

случаях, когда рационально работать с положительными передними углами, возможна специальная подточка канавок на передней грани (фиг. 16).

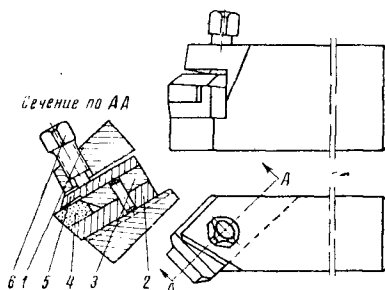
На фиг. 17 представлена конструкция резца с механическим креплением минерало-керамической пластинки, разработанная Станкоинструментальным институтом имени И. В. Сталина. Пластика 2 затачивается



Фиг. 17. Резец с механическим креплением минерало-керамической пластинки: 1—державка; 2—пластинка минерало-керамическая; 3—клин; 4—винт зажимной; 5—винт упорный; 6—штифт

с боковых сторон под углом 20° и устанавливается в паз державки 1. Прижим пластинки к опорным поверхностям паза выполняется винтом 4 и клином 3.

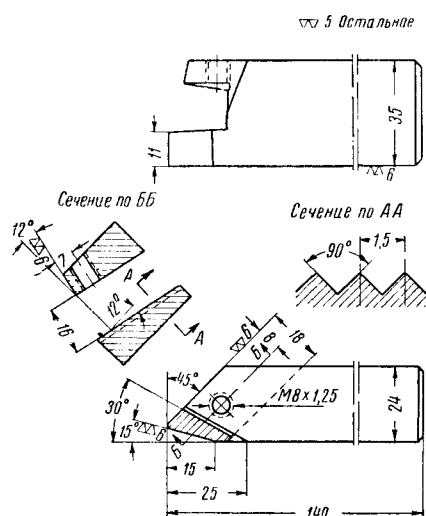
Хорошие результаты показал резец с механическим креплением минерало-керамических пластинок конструкции С. Т. Полякова (фиг. 18). Державка 1 (фиг. 19) имеет паз



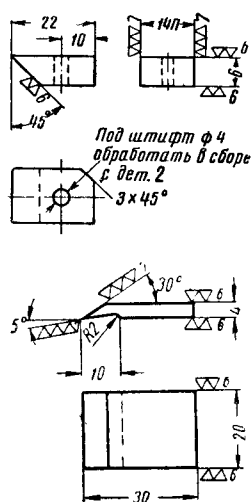
Фиг. 18. Резец с механическим креплением минерало-керамической пластинки конструкции С. Т. Полякова (завод им. Орджоникидзе): 1—державка; 2—подкладка; 3—упор; 4—минерало-керамическая пластинка; 5—стружколоматель; 6—винт

с рифлями на опорной плоскости. Подкладка 2 (фиг. 20) имеет мерный паз для установки пластинки размерами 14×12×6 мм, которая прижимается к упору 3 (фиг. 21) усилием резания.

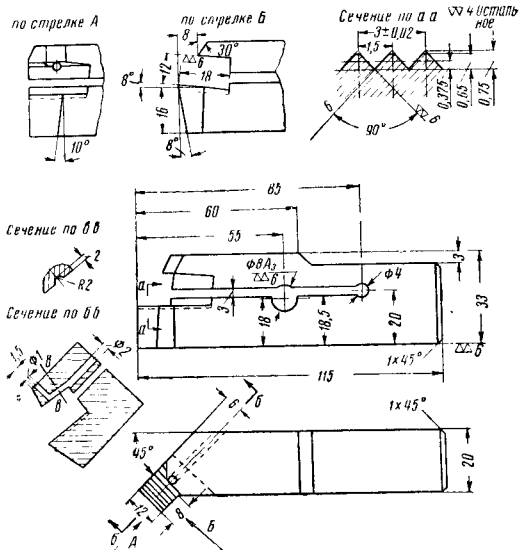
Зажим осуществляется винтом 6 через стружколоматель 5 (фиг. 22) независимо от крепления державки на станке.



Фиг. 19. Державка резца конструкции С. Т. Полякова (деталь 1)

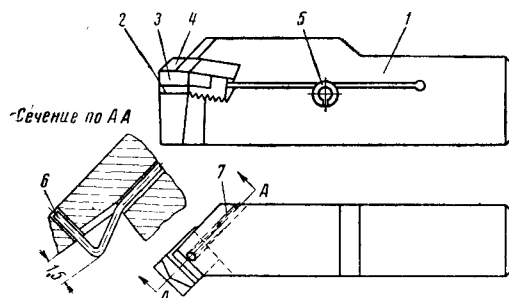


Фиг. 21. Упор резца конструкции С. Т. Полякова (деталь 3)

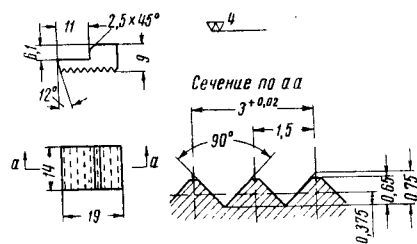


Фиг. 22. Стружколоматель к резцу конструкции С. Т. Полякова (деталь 5)

Фиг. 24. Державка резца завода шлифовальных станков (деталь 1)



Фиг. 23. Резец с механическим креплением минерало-керамической пластинки завода шлифовальных станков

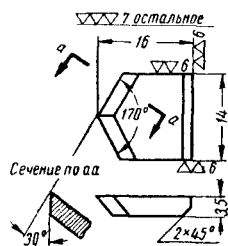


Фиг. 25. Подкладка резца завода шлифовальных станков (деталь 2)

Фиг. 20. Подкладка резца конструкции С. Т. Полякова (деталь 2)

Для широкого внедрения рекомендованы также минерало-керамические резцы завода шлифовальных станков (фиг. 23, 24 и 25).

Державка 1 (фиг. 24) имеет также рифли



Фиг. 26. Стружколоматель резца завода шлифовальных станков (деталь 4)

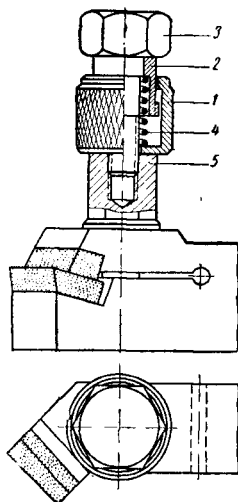
на опорной поверхности и прорезь для зажатия пластинки 3. Пластика 3 размерами 14 × 12 × 6 мм (форма 0225) устанавливается вместе с подкладкой 2 (фиг. 25) на необходимый вылет.

Зажим пластинки 3 и стружколомателя 4 (фиг. 26) выполняется болтом, крепящим одновременно резец на станке.

Резцы с виброгасителями

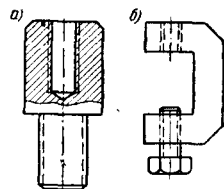
Вибрации вредно сказываются на стойкости резца, вызывают поломку пластинок твёрдого сплава, ухудшают качество обработанной поверхности.

Для уменьшения интенсивности вибраций применяются виброгасители ударного действия, рассеивающие энергию колебаний за счёт соударений державки или оправки резца с виброгасителем. На фиг. 27 представлен проходной резец с виброгасителем конструкции Д. И. Рыжкова.



Фиг. 27. Резец с виброгасителем конструкции Д. И. Рыжкова; 1 — корпус; 2 — втулка; 3 — болт; 4 — пружина; 5 — переходный штуцер

Виброгаситель устанавливается на головке резца путём ввёртывания в резьбу переходного штуцера 5 или струбины или



Фиг. 28. Принадлежность виброгасителя: а — переходный штуцер; б — струбина

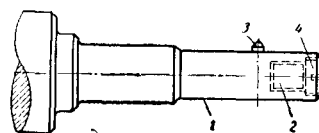
же в резьбу, нарезанную непосредственно в державке резца.

Болт виброгасителя 3 должен ввёртываться свободно от руки. Настройка виброгасителя производится путём соответствующего натяга пружины.

На фиг. 28 показаны применяемые для установки виброгасителя переходный штуцер

(фиг. 28, а) и струбина (фиг. 28, б), устанавливаемая на резце.

На фиг. 29 приведена оправка 1 расточного резца 3, снабжённая виброгасителем 2.



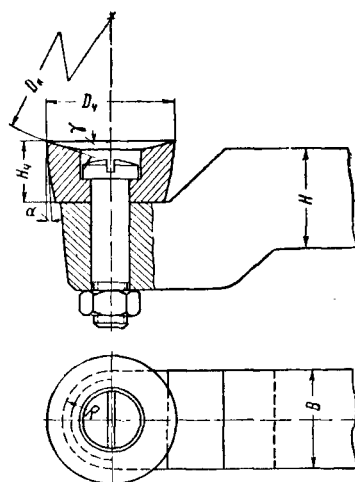
Фиг. 29. Оправка расточного резца с виброгасителем: 1 — оправка; 2 — виброгаситель; 3 — резец; 4 — пробка

Виброгаситель представляет собой цилиндрический стержень, помещённый в полость оправки с зазорами по диаметру и торцам. Пробка 4 предотвращает выпадение виброгасителя из оправки. Гашение вибраций достигается ударами виброгасителя о стенку оправки.

Резцы специального назначения

Для выполнения тяжёлых обдирочных работ при достаточной жёсткости детали часто применяют галтельные и чашечные резцы, позволяющие за счёт большого радиуса режущей кромки повысить стойкость их. Твёрдосплавные галтельные резцы армируются пластинками формы № 16 по ГОСТ 2209-49. Диаметр чашечного резца (фиг. 30):

$$D_4 = B + 2 H_4 \operatorname{tg} \alpha + (2 \div 6) \text{ мм.}$$



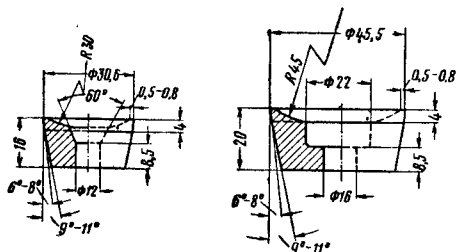
Фиг. 30. Чашечный резец

На предприятиях железнодорожного транспорта чашечные резцы преимущественно применяют для обработки бандажей колёсных пар на колёсно-токарных станках. Диаметр бандажных чашечных резцов зависит от профиля обрабатываемого бандажа и кинематики копирного устройства колёсно-токарного станка. Наиболее распространены бандажные резцы диаметром 30,6 и 45,5 мм (фиг. 31).

Для получения заданного переднего угла чашечного резца диаметр заточного круга берётся по условию $D_k = \frac{D_c}{\sin \gamma}$. При $\gamma \leq 0^\circ$

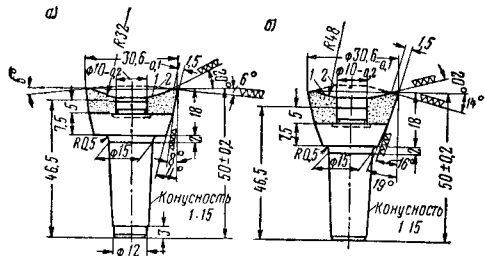
заточка передней грани выполняется плоской шлифовкой, а заданный угол γ получается путём установки в наклонной державке.

Крепление чашечных резцов выполняется при помощи цилиндрических и конических



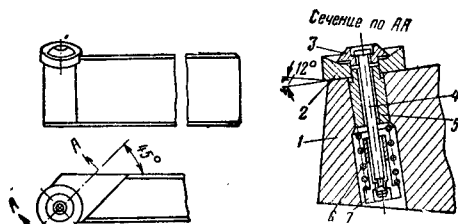
Фиг. 31. Режущая часть чашечных резцов для обработки бандажей

штифтов, а при малых размерах чашка снабжается коническим хвостовиком. Для армирования чашечных резцов твёрдыми сплавами применяются пластинки формы 12 по ГОСТ 2209-49. Твёрдосплавные резцы конструкции МЭМИИТ приведены на фиг. 32. Цифрой 1 обозначена форма передней грани с отрицательной фаской и положительным передним углом. Цифрой 2 обозначена передняя грань с отрицательным передним углом.



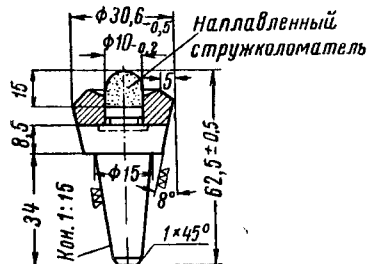
Фиг. 32. Твёрдосплавные чашечные резцы конструкции МЭМИИТ для обработки бандажей: а—для обработки гребня; б—для обработки поверхности катания

На фиг. 32а приведён чашечный резец конструкции ВНИИ с механическим креплением пластинки твёрдого сплава силами резания.



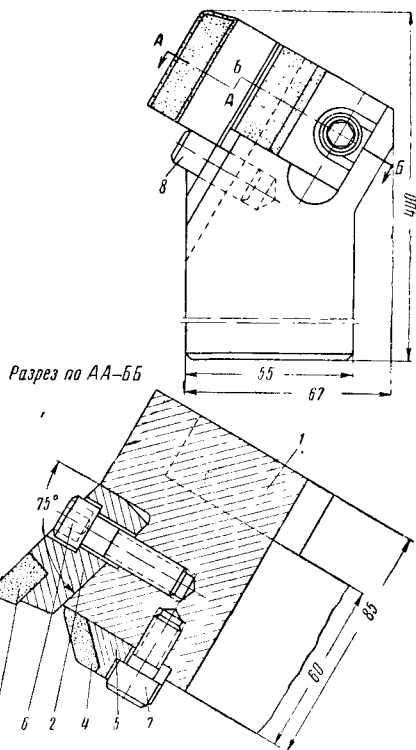
Фиг. 32а. Чашечный резец конструкции ВНИИ с механическим креплением пластинки твёрдого сплава силами резания: 1—державка; 2—режущая пластинка твёрдого сплава; 3—стружколоматель; 4—стержень; 5—втулка; 6—пружина; 7—втулка разжимная

На фиг. 33 представлен бандажный резец со стружколомателем в виде наплавленного сорматом колпачка и с отрицательным передним углом.



Фиг. 33. Чашечный резец с наплавленным стружколомателем

На фиг. 34 представлен сборный резец конструкции А. В. Акимова (ВНИИ), служащий для работы на тяжёлых токарных и карусельных станках.



Фиг. 34. Резец сборный со стружколомателем для тяжёлых работ: 1—корпус; 2—нож; 3—пластинка резца; 4—стружкоотводная пластинка; 5—держатель; 6—винт; 7—винт; 8—упорная шпилька

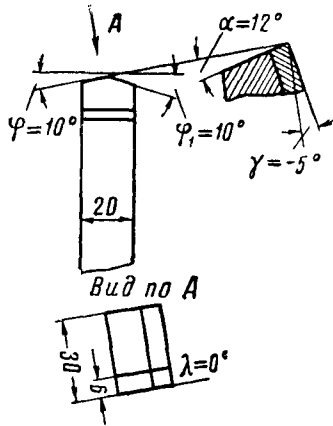
Опорные плоскости уступа корпуса 1 и ножа 2 расположены под углом 75° , что обеспечивает хороший прижим под действием сил резания.

Шпилька 8, запрессованная в отверстие корпуса, препятствует перемещению ножа вдоль паза.

Принятое крепление является жёстким и виброустойчивым. Положение стружкоот-

водной пластинки 4 регулируется перемещением вдоль паза держателя 5.

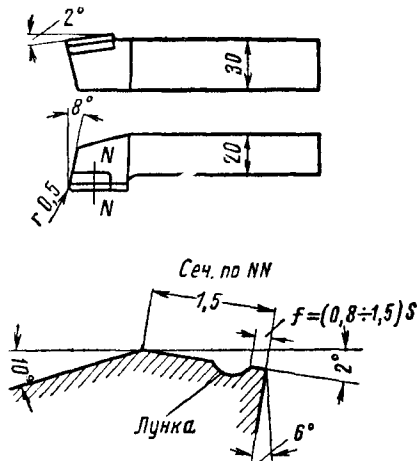
При отделке сталей (в частности закалённых) высокую производительность обеспечивает резец КБЕК (фиг. 35), разработанный проф. В. А. Кривоуховым и др.



Фиг. 35. Резец КБЕК

Данный резец характеризуется малым главным углом в плане ($\varphi = 10^\circ$) и отсутствием переходной режущей кромки ($r = 0$).

Резцы конструкции Г. С. Борткевича (фиг. 36) позволяют достичь высоких скоростей резания ($400 \div 700$ м/мин) при чистовой

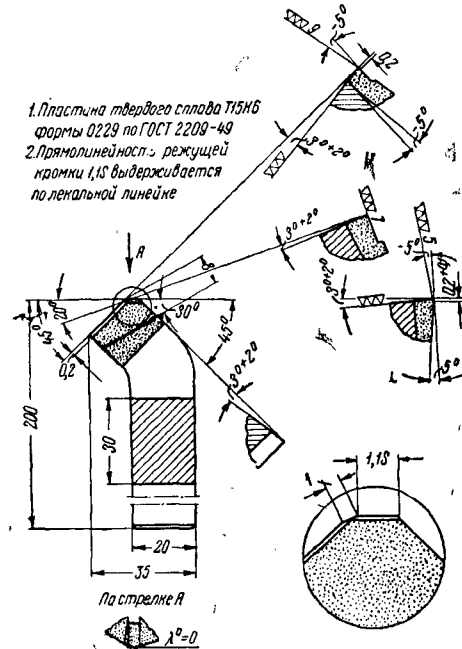


Фиг. 36. Резец конструкции Г. С. Борткевича

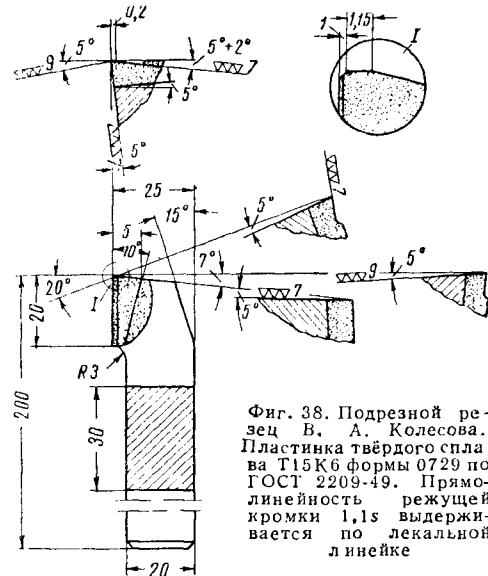
и получистовой обработке стали и коротких циклах резания.

На фиг. 37 представлен резец В. А. Колесова, оснащённый твёрдым сплавом Т15К6. Данные резцы позволяют значительно повысить производительность при получистовой и чистовой обработке за счёт применения больших подач ($s = 1.5 \div 3$ мм). Наличие вспомогательной режущей кромки с углом в плане $\varphi_1 = 0^\circ$ позволяет при значительных подзачах достигнуть чистоты поверхности $\nabla \nabla 5 \div \nabla \nabla 6$.

На фиг. 38 представлен подрезной резец В. А. Колесова, имеющий также вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 0^\circ$. Длину вспомогательной режущей кромки возможно в отдельных случаях увеличить до 2,5 s.



Фиг. 37. Резец В. А. Колесова



Фиг. 38. Подрезной резец В. А. Колесова. Пластина твёрдого сплава Т15К6 формы 0729 по ГОСТ 2209-49. Прямолинейность режущей кромки 1,1s выдерживается по лекальной линейке

В последнее время широко применяются отрезные резцы, оснащённые твёрдым сплавом (фиг. 39).

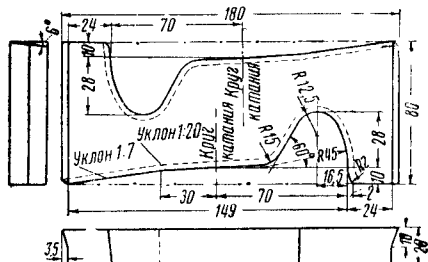
Наряду со сплавом марки Т15К6 рекомендуются также Т14К8 и Т5К10.

При установке в державке (фиг. 40) углы заточки следующие: $\gamma = 10^\circ$ и $\alpha = 12^\circ$. Рекомендуется заточка (фиг. 41) с переходными режущими кромками длиной 0,4 мм под

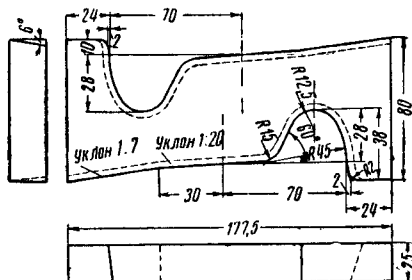
на распространённых колёсно-токарных станках в паровозном хозяйстве.

Для безгребневых бандажей применяются такие же резцы, но с контуром режущей грани, соответствующим контуру безгребневого бандажа.

Типовые резцы, применяемые в дорожных мастерских для обработки вагонных колёсных пар, изображены на фиг. 45а и 46.



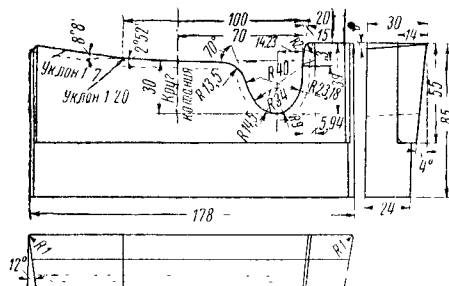
Фиг. 45а. Резец для обработки бандажей вагонных колёсных пар



Фиг. 46. Резец для обработки бандажей вагонных колёсных пар

Двусторонние профильные резцы, представленные на фиг. 43, несколько экономичнее используют материал резца по сравнению с односторонними монолитными, изображёнными на фиг. 44. Однако по мере износа и переточки крепление двусторонних резцов становится ненадёжным.

Для экономии быстрорежущей стали и надёжности крепления резца в последнее время на паровозоремонтных заводах широко применяют односторонние резцы с корпусом из углеродистой инструментальной стали,



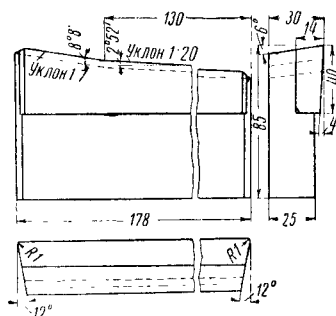
Фиг. 47. Унифицированный резец для обработки бандажей паровозных гребневых колёсных пар. Тип I (левый)

к которому приваривают пластинку из быстрорежущей стали.

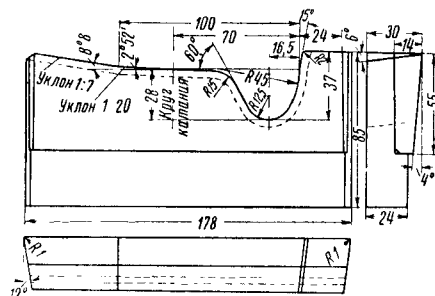
Приварка пластинок осуществляется методами, применяемыми для обычных резцов.

Унифицированные бандажные резцы с приваренными пластинками из быстрорежущей стали приведены на фиг. 47—53.

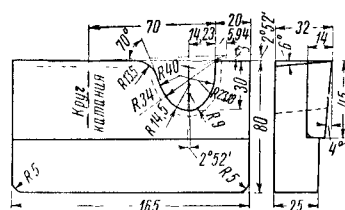
Помимо чистовых профильных резцов, применяют профильные резцы для предварительной обдирки гребня бандажа (фиг. 54 и 55).



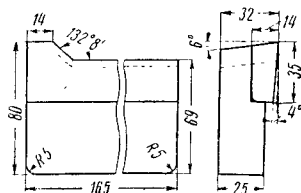
Фиг. 48. Унифицированный резец для обработки бандажей паровозных безгребневых колёсных пар. Тип I (левый)



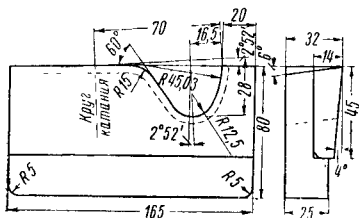
Фиг. 49. Унифицированный резец для обработки бандажей вагоно-тендерных колёсных пар. Тип I (левый)



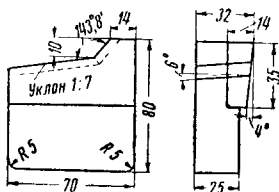
Фиг. 50. Унифицированный резец для обработки бандажей паровозных гребневых колёсных пар. Тип II (левый)



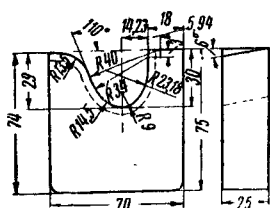
Фиг. 51. Унифицированный резец для обработки бандажей паровозных безгребневых колёсных пар. Тип II (правый)



Фиг. 52. Унифицированный резец для обработки бандажей вагоно-тендерных колёсных пар. Тип II (левый)



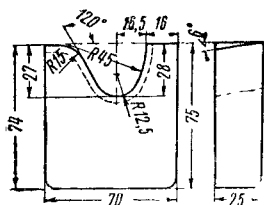
Фиг. 53. Унифицированный резец для обработки бандажей колёсных пар по уклону 1:7 (правый)



Фиг. 54. Резец для предварительной обдирки гребня бандажей паровозных колёсных пар (левый)

При обработке старых бандажей с большим припуском по гребню во избежание расклинивания и поломки предварительного резца следует профиль его симметрично расширить на 1,5—2,5 мм.

Шаблоны для заточки профильных резцов по контуру режущей грани должны соответ-



Фиг. 55. Резец для предварительной обдирки бандажей вагонных и тендерных колёсных пар (левый)

ствовать профилю обрабатываемого бандажа, утвержденному Министерством путей сообщения.

В целях дальнейшей экономии быстрорежущей стали разрабатывается новая конструкция унифицированных резцов с приваренной штампованной пластиной из узкой полосы быстрорежущей стали сечением 20×8 мм.

Конструктивные элементы фасонных резцов

Допустимая ширина резца B_p (фиг. 56) ограничивается главным образом жесткостью детали и проверяется по табл. 14.

Диаметр оправки $d_{оп}$ (у круглых резцов) ориентировочно можно принять

$$d_{оп} = 6 \sqrt[3]{B^2 s},$$

где B — ширина обработки;
 s — подача в мм/об.

Далее величина $d_{оп}$ уточняется в соответствии с условиями работы и ГОСТ 4020-48 (диаметры оправок и отверстий в инструментах).

Наружный диаметр резца

$$d_H = D_H - D_{вн} + 2 d_{оп},$$

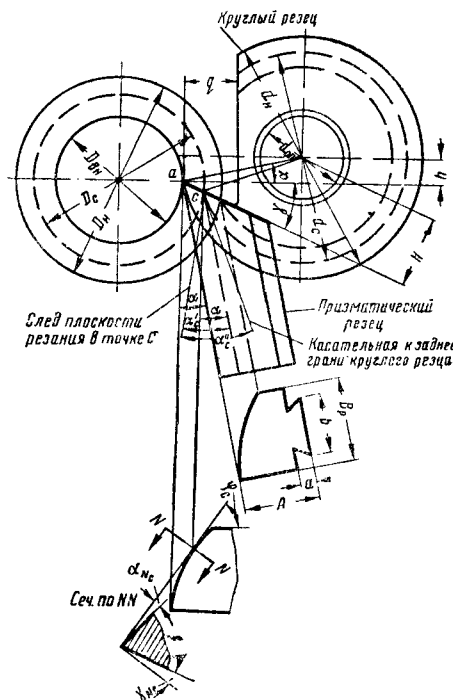
где D_H — наружный диаметр детали;

$D_{вн}$ — внутренний диаметр детали.

Таблица 14

Допустимая ширина фасонных резцов

Подача s в мм/об	Диаметр детали в мм					
	от 3 до 4,5	свыше 4,5 до 7	свыше 7 до 10	свыше 10 до 15	свыше 15 до 22	свыше 22 до 32
Допустимая ширина резца в мм						
До 0,03	4,5	8,0	13,0	24,0	42,0	75,0
Свыше 0,03 до 0,06	3,5	6,0	10,0	18,0	32,0	55,0
Свыше 0,06 до 0,1	2,5	4,5	7,5	13,0	24,0	42,0



Толщина призматического резца

$$A = \frac{D_n - D_{вн}}{2} + (0,25 \div 0,5) B_o + a.$$

Размеры ласточкина хвоста в зависимости от ширины резца приведены в табл. 15.

Таблица 15

Размеры ласточкина хвоста для крепления призматических резцов

Ширина резца	Размеры ласточкина хвоста в мм	
	a	b
6÷10	1,5	4,5
11÷14	2	6
15÷20	3	9
21÷28	4	12
29÷40	6	18
41÷56	8	24

Применяют и другие методы крепления, при которых ласточкин хвост отсутствует.

Из-за наличия углов α и γ глубины профиля резца в сечении, нормальном к задней грани, обычно уменьшены по сравнению с глубинами профиля изделия: $t_p < t_u$ (фиг. 57).

По ширине профиля резца не искажается. Поэтому ширины резцов равны ширинам детали или же несколько больше их для перекрытия заготовки. В качестве номинальных

Рабочая длина передней грани T_c :
для обточки (фиг. 57, а)

$$T_c = \frac{\frac{D_c}{2} \cos(\gamma - \omega_c) - \frac{D_{вн}}{2}}{\cos \gamma},$$

где

$$\sin \omega_c = \frac{D_{вн}}{D_c} \sin \gamma;$$

для расточки (фиг. 57, б)

$$T_c = \frac{\frac{D_n}{2} - \frac{D_c}{2} \cos(\omega_c - \gamma)}{\cos \gamma},$$

где

$$\sin \omega_c = \frac{D_n}{D_c} \sin \gamma;$$

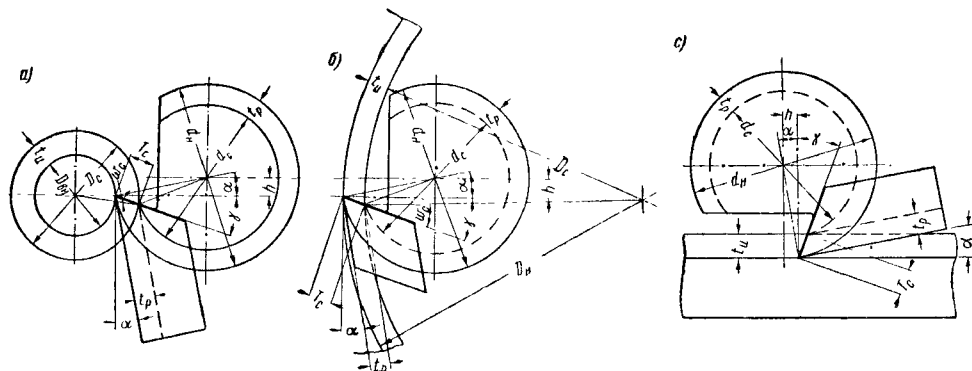
для строгания (фиг. 57, с)

$$T_c = \frac{t_u}{\cos \gamma}.$$

Переточка фасонных резцов выполняется по передней грани; после заточки передняя грань доводится.

Выбор геометрических параметров режущей части фасонных резцов

Для станков универсального назначения задние углы радиальных резцов (фиг. 56) для точки, лежащей на уровне центров, берутся



Фиг. 57. Определение глубин профиля резца

размеров детали, служащих для определения профиля резца, обычно принимают размеры, соответствующие серединам полей допусков.

Глубина профиля:

призматических резцов

$$t_p = T_c \cos(\alpha + \gamma);$$

круглых резцов

$$t_p = \frac{d_n}{2} - \sqrt{\left(\frac{d_n}{2}\right)^2 + T_c^2 - d_n T_c \cos(\alpha + \gamma)}.$$

$\alpha = 10 \div 12^\circ$ у круглых и $\alpha = 12 \div 15^\circ$ у призматических. Передние углы для той же точки a можно выбирать по табл. 9 и 8 и затем уменьшать путем умножения на коэффициент $0,8 \div 0,9$ для призматических резцов и $0,75 \div 0,85$ для круглых. Углы резания в других точках профиля будут отличаться от углов α и γ в зависимости от смещения рассматриваемой точки относительно линии центров и угла в плане.

Для точки c (фиг. 56) в случае призматического резца

$$\gamma'_c = \alpha + \gamma - \arcsin\left(\frac{D_{вн}}{D_c} \sin \gamma\right).$$

Для точки c в случае круглого резца

$$\alpha''_c = \arcsin \left[\frac{d_H}{d_c} \sin(\alpha + \gamma) \right] -$$

$$- \arcsin \left(\frac{D_{\partial H}}{D_c} \sin \gamma \right);$$

$$\operatorname{tg} \gamma_{Nc} = \operatorname{tg} \left[\arcsin \left(\frac{D_{\partial H}}{D_c} \sin \gamma \right) \right] \sin \varphi_c.$$

Задние углы в нормальном сечении

$$\alpha_{Nc} \approx \alpha_c \sin \varphi_c.$$

Желательно, чтобы колебание передних и задних углов вдоль режущих кромок было незначительным и наименьший задний угол $\alpha_{N_{\text{наим}}} \geq 2^\circ$.

Для обеспечения при переточке и установке круглых резцов запроецированных углов необходимо выдержать размеры H и h , определяемые по формулам:

$$H = \frac{d_H}{2} \sin(\alpha + \gamma); \quad h = \frac{d_H}{2} \sin \alpha.$$

Величину допуска на глубину профиля резца δt_p берут в зависимости от допусков на глубину профиля изделия δt_u :

$$\delta t_p = [(0,25 - 0,35) \delta t_u - 0,005] \frac{t_p}{t_u} \text{ мм.}$$

Величина допуска на ширину профиля резца:

$$\delta B_p = (0,5 - 0,7) \delta B_u,$$

где δB_u — допуск на размер ширины профиля детали.

Допуски на углы α и γ :

$$\delta \alpha = -\delta \gamma = -\frac{[(0,25 - 0,35) \delta t_u - 0,005] K}{t_p (4,75 + 0,38 \gamma + 0,00018 \gamma^3)}.$$

Коэффициент $K = 10^3$ (для круглых резцов) и $K = 1,25 \cdot 10^3$ (для призматических резцов). Допуск наружного диаметра круглых резцов рекомендуется принимать по посадке C_8 для деталей 3-го класса точности и по посадке B_7 для деталей меньшей точности.

Допуски технологических параметров h и H :

$$\delta h = + \frac{d_H}{2} \delta \alpha \text{ мм}$$

и

$$\delta H = \pm \frac{d_H}{2} \delta \alpha \text{ мм};$$

значение $\delta \alpha$ выражается в радианах.

Тангенциальные резцы

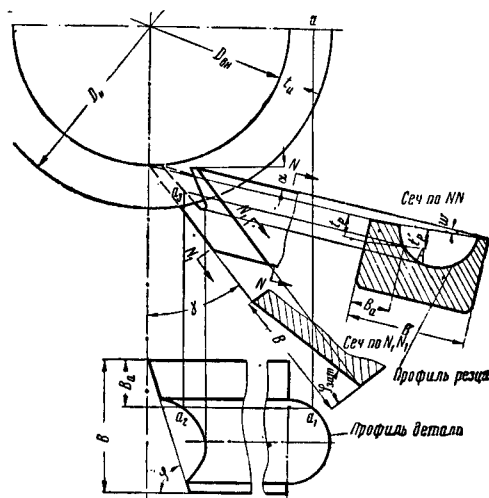
Применяются главным образом при обработке длинных и нежёстких деталей, при повышенных требованиях к точности обработки, а также при работе на маломощном оборудовании. Тангенциальные резцы профилируют деталь последовательно, причём указанная последовательность характеризуется коэффи-

циентом одновременности $K_o = \frac{B_p}{B}$, где B_p — ширина резания, а B — ширина обрабатываемого профиля. Обычно коэффициент одновременности принимается в пределах $K_o = 0,5 \div 0,33$, угол в плане (фиг. 58) определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{2B}{\sqrt{D_H^2 - D_{\partial H}^2}} K_o.$$

□ Длина прохода (без учёта перебегов)

$$L = \frac{\sqrt{D_H^2 - D_{\partial H}^2}}{2} + \frac{B}{\operatorname{tg} \varphi}.$$



Фиг. 58. Призматический тангенциальный резец

Задние углы $\alpha = 3 \div 8^\circ$.

Передний угол берут из условия, чтобы он в начале работы не имел отрицательного значения

$$\gamma \geq \arcsin \frac{D_{\partial H}}{D_H}.$$

При обработке твёрдых материалов угол γ в начале работы может быть -5° . По мере продвижения резца передний угол возрастает, а задний убывает.

Следует проверить получившийся угол заострения β .

Наименьшее допустимое значение $\beta = 45^\circ$ для обработки твёрдых материалов (сталей и чугунов) и $\beta = 35^\circ$ для мягких (цветных металлов).

Конструкция тангенциальных резцов обычно призматическая. Габаритные размеры выбирают аналогично радиальным резцам.

Глубины профиля резца t_p меньше соответствующих глубин профиля изделия t_u и определяются по уравнению

$$t_p = t_u \frac{\cos(\alpha + \gamma)}{\cos \gamma}.$$

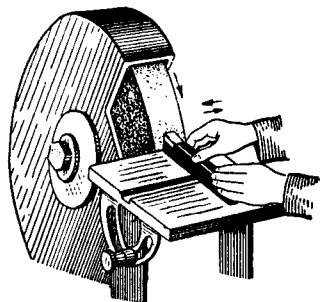
ЗАТОЧКА И ДОВОДКА РЕЗЦОВ¹

Абразивная заточка

Абразивная заточка резцов из быстрорежущей, легированной и углеродистой сталей может производиться на специальных заточных станках-полуавтоматах, на универсально-заточных и на обычных заточных точилах кругами плоского прямого профиля и чашечными с ручной подачей резца.

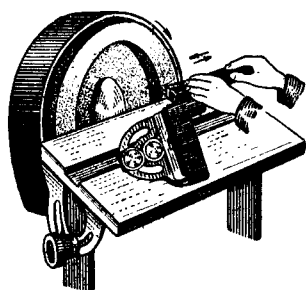
Твёрдосплавные резцы рекомендуется затачивать с ручной подачей, так как при заточке твёрдого сплава на станках с автоматической подачей часто имеют место случаи образования трещин на поверхности пластин, завалы и зазубрины режущих кромок.

Устранение этих явлений может быть достигнуто за счёт снижения режимов заточки и, следовательно, значительного увеличения времени заточки, что неэкономично.



Фиг. 59. Черновая заточка задней грани резца периферией плоского круга на поворотном подручнике

Для получения заданных углов заточки станки оборудуются поворотными подручниками и угольниками (фиг. 59 и 60).



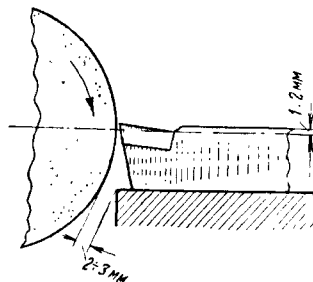
Фиг. 60. Чистовая заточка передней грани резца торцом чашечного круга с установкой резца на заданный угол при помощи подвижного поворотного угольника

Во избежание захватывания кругом затачиваемого резца последний должен быть расположен на подручнике так, чтобы режущая кромка находилась несколько выше (на 1—

¹ Материалы по заточке и доводке резцов и по специальным инструментам, применяемым при ремонте подвижного состава, составлены инж. П. А. Машонным.

2 мм) оси круга, а между подручником и кругом был зазор не более 2—3 мм (фиг. 61).

При заточке вращение абразивного круга должно быть направлено на пластину (фиг. 61), при доводке на чугунном диске—от пластины.



Фиг. 61. Установка резца и подручника относительно шлифовального круга

Обдирку стержня резца и черновую заточку пластины следует производить периферией плоского прямого круга (фиг. 59), чистовую заточку—торцом чашечного круга (фиг. 60).

Для заточки резцов из инструментальных сталей применяют круги корундовые на керамической связке, для заточки твёрдосплавных резцов—круги из карбида кремния зелёного на керамической связке. Чёрный карбид кремния с содержанием карбида не менее 97% также может быть использован для заточки твёрдосплавных резцов.

Для доводки резцов из инструментальных сталей применяют пасты ГОИ, для доводки твёрдосплавных резцов—пасту из карбида бора зернистостью 170—230 на парафиновой связке. Рекомендуемый состав пасты: карбид бора 70% (по весу), парафина 30%.

Для изготовления доводочного диска применяют серый мелкозернистый чугун перлитной структуры твёрдостью 120—140 Н_В.

В процессе эксплуатации резца между переточками рекомендуется для увеличения стойкости резца направлять его абразивными брусками из электрокорунда для резцов из инструментальных сталей и из карборунда зелёного для твёрдосплавных резцов.

Характеристика абразивных материалов и режимы заточки и доводки приведены в табл. 16.

Заточку резцов рекомендуется производить с охлаждением непрерывной струёй жидкости в количестве 12—15 л/мин.

Заточка с охлаждением увеличивает производительность, снижает расход шлифовальных кругов, улучшает качество заточки резца и устраняет вредное влияние абразивной пыли на рабочего-заточника.

Хорошей жидкостью для охлаждения при заточке является 5—10%-ная эмульсия. Можно также применять содовый раствор 5—10%-ной концентрации.

При заточке всухую в целях предупреждения перегрева резца необходимо чаще отводить резец от абразивного круга.

Категорически запрещается охлаждать нагретый резец погружением в воду или поливанием водой вручную.

Таблица 16

Характеристика заточных абразивных материалов и режимы заточки

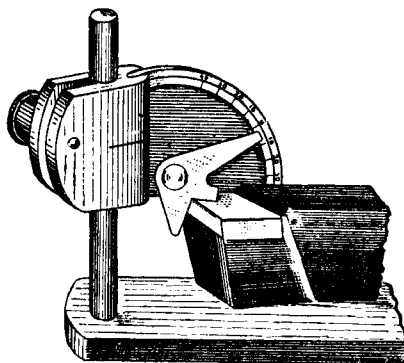
Материал реза	Операции заточки и доводки	Абразивный материал	Связка	Зернистость	Твёрдость	Структура	Скорость круга в м/сек	Автоматическая подача круга на двойной ход в мм
Инструментальные быстрорежущие, легированные и углеродистые стали	Заточка державки Черновая заточка пластины Чистовая заточка пластины Доводка Ручная доводка брусом	Электрокорунд Паста ГОИ Электрокорунд	Керамическая » » — Керамическая	24—36 24—36 46—60 Грубая и средняя 150—200	С — СМ ₁ С — СМ ₁ СМ ₁ — М ₁ — —	5—7 5—7 5—7 — —	25—35 25—35 25—35 1,5—2,5 —	От 0,005 до 0,05
Твёрдые сплавы	Заточка державки Черновая заточка пластины Чистовая заточка пластины Доводка Ручная доводка брусом	Электрокорунд Карборунд зелёный Карбид бора Карборунд зелёный	Керамическая » Парафин Керамическая	24—36 36—46 60—80 170—230 200—250	С — СМ ₁ СМ ₁ — М ₁ М ₁ — М ₂ — —	5—7 6—8 6—8 — —	25—35 12—18 16—25 1,5—2,2 —	От 0,005 до 0,05 В конце заточки без подачи до вывода искры

Примечание. Для твёрдого сплава с малым содержанием кобальта (ВК3, ВК6, Т15К6, Т30К4) следует применять круги более мягкие и с меньшей зернистостью из числа указанных. Большие скорости заточного круга применять при меньшей зернистости круга.

Заточку фасонных резцов производят на универсально-заточных станках с применением установочных приспособлений. При этом для удобства наблюдения за процессом заточки охлаждение обычно не применяется.

Фасонные резцы рекомендуется затачивать с автоматической подачей.

Заточку керамических пластин производят кругами зелёного карборунда на керамической связке зернистостью 60—80, твёрдостью СМ₁—М₁, со скоростью вращения круга 11—14 м/сек, при обильном охлаждении содовым раствором. Для керамических пластин обязательна доводка пастой карбида бора зернистостью 200—320 при скорости вращения чугунного доводочного диска 1,5—2,5 м/сек.



Фиг. 62. Угломер для проверки углов заточки реза

Контроль углов заточки резцов производят листовыми шаблонами или более удобным универсальным прибором (фиг. 62).

Электрозаточка

Приоритет в открытии и разработке электрических методов обработки металлов принадлежит Советскому Союзу.

Известны три основных метода электрозаточки — анодно-механический, электроискровой и электроконтактный — первый, предложенный лауреатом Сталинской премии В. Н. Гусевым, получил в настоящее время преимущественное распространение.

Сущность анодно-механической заточки основана на комбинированном химическом и тепловом воздействии электрического тока на затачиваемую поверхность резца и механическим удалением продуктов разложения материала резца.

Процесс заточки осуществляется в среде электролита, представляющего раствор жидкого стекла в воде плотностью 1,34—1,37 г/см³.

Электродами являются затачиваемый инструмент (+) и заточный диск (—). Схема станка для анодно-механической заточки представлена на фиг. 63.

Электрическая схема состоит из цепи постоянного тока, питаемой от источника напряжением 24—26 в.

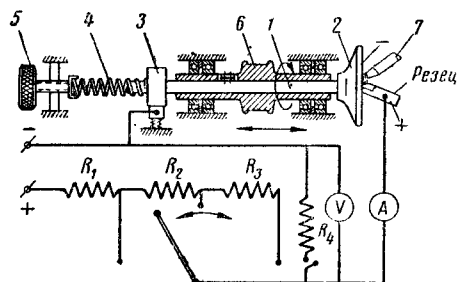
Для регулирования силы тока и напряжения цепи вводятся сопротивления.

Шпиндель 1 электрически изолирован от корпуса станка и имеет на переднем конце

рабочий диск 2, а на противоположном — контактное кольцо 3 для съёма тока.

Шпиндель может иметь продольное перемещение в пределах 8—10 мм.

Для обеспечения необходимого постоянного давления рабочего диска на затачиваемый



Фиг. 63. Схема станка для анодно-механической заточки резцов: 1 — шпиндель; 2 — рабочий диск; 3 — контактное кольцо; 4 — пружина; 5 — винт; 6 — шкив; 7 — сопло

резец на задний конец шпинделя давит пружина 4, усилие которой регулируется винтом 5. Рекомендуемое давление диска 0,15—0,5 кг на 1 см² площади затачиваемого резца.

Шпиндель приводится во вращение от электродвигателя через шкив 6. Скорость вращения рабочего диска 14—15 м/сек.

Электролит подводится непрерывно от насоса через сопло 7 в количестве 15—20 л/мин.

Для контроля электрического режима в цепь введены амперметр и вольтметр.

На предприятиях железнодорожного транспорта имеются анодно-механические станки промышленного изготовления (типы АМЗР, 4352, 4362), а также построенные самостоятельно предприятиями.

Анодно-механическая заточка имеет по сравнению с абразивной следующие преимущества:

1) повышается качество заточки благодаря отсутствию микротрещин, обычно появляющихся на резце при абразивной заточке из-за перегрева затачиваемой поверхности резца;

2) на анодно-механическом станке легко осуществляются все три операции заточки: обдирка, шлифовка и доводка пластины, без перестановки резца со станка.

При абразивной заточке эти операции выполняют на отдельных станках, но вследствие их продолжительности часто ограничиваются лишь одной чистой заточкой, что также снижает качество заточки;

3) при анодно-механической заточке исключается расход ценных и дефицитных материалов — карбида кремния зеленого и карбида бора.

Производительность анодно-механического станка 60—80 резцов в смену при заточке по трём граням.

При заточке резцов рекомендуются режимы, приведённые в табл. 17.

ПРОТЯЖКИ

Протяжками обрабатывают сквозные отверстия, пазы и наружные поверхности.

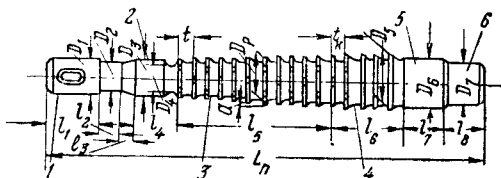
Протяжки разделяют в зависимости от характера обработки на:

1) протяжки для внутреннего протягивания отверстий (круглых, шлицевых прямых и спиральных, многогранных фасонных, глубоких) и пазов (шпоночных, прямоугольных, эвольвентных, фасонных);

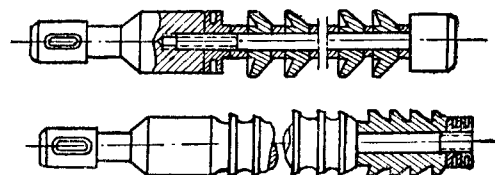
2) протяжки для наружного протягивания.

По конструкции протяжки разделяют на:

1) цельные (фиг. 64) и 2) сборные (фиг. 65). Сборные конструкции применяют для сравнительно крупных протяжек ($D_s \geq 50$) с целью экономии режущих материалов.



Фиг. 64. Основные элементы протяжки: 1 — хвостовая часть; 2 — передняя направляющая часть; 3 — режущая часть; 4 — калибрующая часть; 5 — задняя направляющая часть; 6 — цапфа



Фиг. 65. Сборные протяжки

В случае, если обработку производят протягиванием инструмента, последний называется прошивкой.

Таблица 17

Режимы заточки резцов

Обдирочный			Чистовой			Доводочный		
ток короткого замыкания	рабочий ток	напряжение в в	ток короткого замыкания	рабочий ток	напряжение в в	ток короткого замыкания	рабочий ток	напряжение в в
в а			в а			в а		
110	30—40	19—20	25	10—15	18—19	12	4—6	10—14

Прошивки работают в условиях, вызывающих продольный изгиб, поэтому длина их значительно меньшая. При большой длине отверстия или высоких требованиях к качеству поверхности обработка производится комплектом протяжек.

Рекомендуемые геометрические параметры режущей части протяжек подробно даны в ГОСТ 4494-48.

Форма и размеры хвостовой части протяжек круглых и шлицевых даны в ГОСТ 4043-48 и 4044-48.

СВЁРЛА

Свёрла спиральные

Основные термины, обозначения и определения, относящиеся к свёрлам, приведены в ГОСТ 2894-45. Типы и размеры свёрл универсального назначения должны соответствовать стандартам, указанным в табл. 18.

Градация диаметров и допуски на диаметры спиральных свёрл даны в ГОСТ 885-41.

Рекомендуемые диаметры свёрл в зависимости от назначения указаны в табл. 19.

Таблица 18

Типы свёрл

Наименование	Условия применения	Диаметр в мм	№ стандартов
Спиральные с коническим хвостом	Крепление свёрла в шпинделе с конусным отверстием или в конусных втулках	6÷80	ГОСТ 888-41
Спиральные с усиленным коническим хвостом		12÷65	ГОСТ 889-41
Спиральные с коническим хвостом удлинённые		6÷30	ГОСТ 2092-43
Спиральные с усиленным коническим хвостом укороченные		6÷55	ОСТ 20182-40
Спиральные с четырёхгранным суживающимся хвостом	Крепление свёрла в трещётках	9,5÷40	ОСТ 20231-40
Спиральные с цилиндрическим хвостом, длинные	Крепление свёрла в патронах или специальных приспособлениях	2÷20	ГОСТ 886-41
Спиральные с цилиндрическим хвостом, короткие		0,25÷20	ГОСТ 887-43
Спиральные с цилиндрическим хвостом, левые, для автоматов		1,1÷25	ГОСТ 2090-43
Спиральные с цилиндрическим хвостом, с укороченной рабочей частью		1÷12	ГОСТ 4010-52
Центровочные	Сверление центровых отверстий	0,5÷12	ОСТ 3727
Центровочные комбинированные для центровых отверстий 60° без предохранительного конуса	Сверление и зенкование центровых отверстий	1÷6	ОСТ 3732
Центровочные комбинированные для центровых отверстий 60° с предохранительным конусом		1÷6	ОСТ 3733
Перовые цельные и сборные	Требование повысить жёсткость свёрла (сверление и расквашивание твёрдых поковок и литья)	—	—
Свёрла, оснащённые твёрдым сплавом	Для скоростного резания. Преимущественно для обработки хрупких материалов (чугуны, твёрдые стали)	5÷30	ГОСТ 6647-53
Свёрла для глубокого сверления	Сверление отверстий при отношении длины к диаметру более 10	—	—

Назначение свёрл (по ГОСТ 885-41—приложение)

Номинальный ряд диаметров	Диаметры сверл в мм																			
	сверление на проход					сверление под раз-вёртку или шли-фовку	сверление под резьбу													
	точная сборка		грубая сборка		шпильки		сверление под зенкер	основн. метрич.		1-ю мелкую		2-ю мелкую		3-ю мелкую		4-ю мелкую	двой-мовую		трубную	Бригса
	болты, винты, шпильки	заклёпки	болты, винты, шпильки	заклёпки				I	II	I	II	I	II	I	II		I	II		
0,8	—	—	—	—	1,0	—	—	—	0,75	0,75	0,8	0,8	—	—	—	—	—	—	—	—
1,0	1,3	1,2	—	—	—	—	—	—	0,95	0,95	1,0	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—
1,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,3	—	—	—	—	1,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,4	1,7	—	1,6	—	—	—	—	—	1,1	1,1	1,2	1,2	—	—	—	—	—	—	—	—
1,5	—	—	—	—	—	—	—	1,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,6	—	1,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,7	2,0	—	—	—	—	—	—	—	1,35	1,35	1,5	1,5	—	—	—	—	—	—	—	—
1,8	—	—	—	—	—	—	—	1,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,0	2,4	2,2	—	—	—	—	—	1,9	1,6	1,6	1,75	1,75	—	—	—	—	—	—	—	—
2,2	—	—	—	—	—	—	—	2,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,3	2,8	2,5	—	—	—	—	—	—	1,9	1,9	2,05	2,05	—	—	—	—	—	—	—	—
2,5	—	—	—	—	—	—	—	2,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,6	3,15	2,8	—	—	—	—	—	—	2,15	2,15	2,25	2,25	—	—	—	—	—	—	—	—
2,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,8	—	—	—	—	—	—	—	2,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3,0	3,5	3,3	—	—	—	—	—	2,9	2,5	2,5	2,65	2,65	—	—	—	—	—	—	8,8	8,5
3 1/8"	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3,5	4,0	3,8	—	—	—	—	—	3,4	2,9	2,9	3,15	3,15	—	—	—	—	—	—	—	—
3,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4,0	4,5	4,2	—	—	—	—	—	3,9	3,3	3,3	3,5	3,5	—	—	—	—	—	—	—	—
4,5	5,0	5,0	—	—	—	—	—	—	—	—	4,0	4,0	—	—	—	—	—	—	—	—
4,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5 1/8"	5,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,7	3,7	—	—
5,0	5,5	—	—	—	—	—	—	4,9	4,1	4,2	4,5	4,5	—	—	—	—	—	—	—	—
5,5	6	5,5	—	—	—	—	—	—	—	—	5,0	5,0	—	—	—	—	—	—	—	—
5,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6,0	6,5	6,5	—	—	—	—	—	5,8	4,9	5,0	5,2	5,2	5,5	5,5	—	—	—	—	—	—
7 1/4"	7,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,1	5,1	11,7	11
7,0	7,5	7,5	—	—	—	—	—	6,7	5,9	6,0	6,2	6,2	6,4	6,5	—	—	—	—	—	—
7,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8 1/8"	8,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8,0	8,5	8,5	—	—	—	—	—	7,7	6,6	6,7	6,8	6,9	7,1	7,2	7,4	7,5	6,4	6,5	—	—
9,0	10	—	—	—	—	—	—	8,7	7,6	7,7	7,8	7,9	8,1	8,2	8,4	8,5	—	—	—	—
9,5	—	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10 1/8"	10,3	—	12,5	—	—	—	—	9,7	8,3	8,4	8,8	8,9	9,1	9,2	9,4	9,5	7,8	7,9	15,2	14,3
10,0	10,5	11	—	—	—	—	—	10,7	9,3	9,4	9,8	9,9	10,1	10,2	10,4	10,5	9,2	9,2	—	—
11,0	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11 1/8"	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11,5	—	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	12,5	—	—	—	—	—	—	11,7	10	10,1	10,6	10,6	10,8	10,9	11,2	11,2	11,5	10,4	10,5	17,7
1 1/2"	14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	14,5	—	—	—	—	—	—	13,7	11,7	11,8	12,3	12,4	12,8	12,9	13,2	13,2	13,5	12	12,1	—
1 3/8"	15,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15	—	—	—	—	—	—	—	14,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5 1/8"	16,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16	16,5	16,5	—	—	—	—	—	15,6	13,7	13,8	14,3	14,4	14,8	14,9	15,2	15,2	15,5	13,3	13,5	20,8
16,5	—	17,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17	—	—	—	—	—	—	—	15,3	16,6	16,6	16,3	16,4	16,8	16,9	17,2	17,2	17,5	—	—	—
18	—	—	—	—	—	—	—	16,3	17,6	15,1	15,3	16,3	16,8	16,9	17,2	17,2	17,5	—	—	—
19	—	—	21	—	—	—	—	16,6	18,6	—	—	—	—	—	—	—	—	16,3	16,4	24,3
2 1/4"	21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	23
20	—	—	—	—	—	—	—	17,6	19,6	17,1	17,3	18,3	18,4	18,8	18,9	19,2	19,5	—	—	—
21	—	—	—	—	—	—	—	18,6	20,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22	23	—	—	—	—	—	—	19,6	21,6	19,1	19,3	20,3	20,4	20,8	20,9	21,2	21,5	19,1	19,3	28,1
2 3/8"	24	23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
24	—	—	—	—	—	—	—	20,6	22,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
24	25	—	—	—	—	—	—	21,6	23,6	20,6	20,7	21,7	21,8	22,3	22,3	22,9	23,2	—	—	—
25	—	26	—	—	—	—	—	22,6	24,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1"	27	—	—	—	—	—	—	23,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21,9	22	30,5
26	—	—	—	—	—	—	—	24,6	25,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	29
27	28	—	—	—	—	—	—	25,6	—	23,5	23,7	24,7	24,8	25,3	25,3	26	26,2	—	—	—
28	—	29	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1 1/8"	32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	24,6	24,7	35,2
29	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30	31	—	—	—	—	—	—	26,6	28,6	26	26,1	27,7	27,8	28,3	28,3	29	29,2	—	—	—
31	—	31	—	—	—	—	—	27,6	29,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1 1/4"	33	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	27,8	27,9	39,2
32	—	—	—	—	—	—	—	29	31,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	37,6
33	34	—	—	—	—	—	—	30	32,5	29	29,2	30,7	30,8	31,3	31,3	32	32,2	—	—	—
34	—	—	—	—	—	—	—	31	33,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1 3/8"	37	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Обрабатываемый материал	2φ в градусах
Сталь, чугун, твёрдая бронза	118
Латунь, мягкая бронза	130
Алюминий, дюралюмин, силумин, электрон, баббит	140
Красная медь	125
Эбонит, целлулоид	85—90
Мрамор и другие хрупкие материалы	80

Угол наклона поперечной кромки ψ берётся в пределах 50—55°.

Геометрические параметры режущих частей спиральных свёрл даны в ГОСТ 2322-43.

Главные углы сверла (фиг. 66) передний γ_x и задний α_x являются переменными и зависят от диаметра d_x . С увеличением d_x угол γ_x увеличивается, а α_x уменьшается.

Величины углов γ_x в любой точке режущей кромки могут быть определены по формуле

$$\operatorname{tg} \gamma_x = \frac{C \operatorname{tg} \omega \cos \mu}{\sin \varphi - C \operatorname{tg} \omega \cos \varphi \sin \mu},$$

где

$$C = \frac{d_x}{d}; \quad \mu = \arcsin \frac{d}{d_x}.$$

Если пренебречь незначительным влиянием угла μ , то

$$\operatorname{tg} \gamma_x = C \frac{\operatorname{tg} \omega}{\sin \varphi}.$$

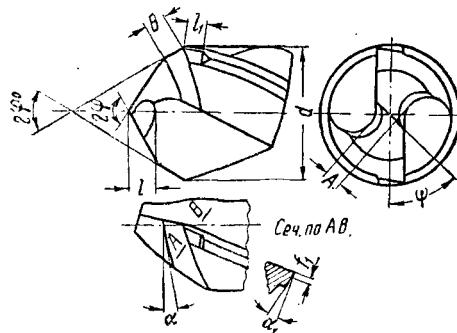
Задние углы зависят и от формы заточки. С целью стабилизации угла заострения вдоль режущей кромки, а также для получения необходимых задних углов при работе рекомендуется принимать задние углы на периферии в соответствии с табл. 21.

Для уменьшения трения сверло снабжается вспомогательным углом в плане, вследствие чего диаметр по направлению к хвостовику уменьшается.

Уменьшение диаметра на 100 мм длины составляет для свёрл диаметром 1 ÷ 6 мм — 0,03 ÷ 0,07 мм, диаметром 6 ÷ 18 мм — 0,04 ÷ 0,08 мм и диаметром 18 ÷ 80 мм — 0,05 ÷ 0,10 мм.

С целью повышения стойкости и производительности спиральных свёрл улучшают форму заточки путём: 1) выполнения двойной заточки, 2) подточки перемычки и 3) подточки ленточки.

Двойная заточка позволяет повысить стойкость сверла и скорость резания, в особенности при обработке чугуна. Угол дополнительной заточки $2\varphi_0$ (фиг. 67) берётся 70 ÷ 75°. Подточка перемычки уменьшает длину поперечной режущей кромки.



Фиг. 67. Элементы заточки и подточек сверла

Подточка ленточки выполняется вблизи вершины сверла для уменьшения трения. Значения элементов заточки и подточек сверла приведены в табл. 21.

Технические условия на спиральные свёрла представлены в ГОСТ 2034-43. Допуски на диаметр берут согласно табл. 22.

Допуски на длину L и l_0 должны быть в пределах удвоенных допусков 9-го класса точ.

Таблица 21

Элементы заточки и подточек сверла

Диаметры свёрл	Заточка		Подточка перемычки		Подточка ленточки		
	длина вторичной кромки	задний угол	длина подточной поперечной кромки	длина подточки	длина подточки	ширина фаски	задний угол
d мм	B мм	α°	A мм	l мм	l_1 мм	f_1 мм	α'_1
От 0,25 до 12 . . .	—	14 ÷ 11	—	—	—	0,2 ÷ 0,4	6 ÷ 8
Свыше 12 » 15 . . .	2,5		1,5	3	1,5		
» 15 » 20 . . .	3,5		2	4	1,5		
» 20 » 25 . . .	4,5	12 ÷ 9	2,5	5	2		
» 25 » 30 . . .	5,5		3	6	2		
» 30 » 40 . . .	7		3,5	7	3		
» 40 » 50 . . .	9	11 ÷ 8	4	9	3		
» 50 » 60 . . .	11		5,5	11	4		
» 60 » 70 . . .	13		6,5	13	4		
» 70 » 80 . . .	15		7,5	15	4		

Примечание. Предельные отклонения размеров B , A , l и l_1 +0,5 мм.

Таблица 22

Допуски на диаметр сверла

Диаметры свёрл в мм	3 ÷ 6	6 ÷ 10	10 ÷ 18	18 ÷ 30	30 ÷ 50	50 ÷ 80
Допуски в мм	−0,03	−0,036	−0,043	−0,052	−0,062	−0,074

ности (ОСТ 1010) с симметричным расположением поля допуска.

Биеение по диаметру не должно превышать:

для свёрл с цилиндрическим хвостом диаметром от 3 до 20 мм — 0,08 мм;

для свёрл с коническим хвостом диаметром до 20 мм — 0,12 мм;

для свёрл с коническим хвостом диаметром свыше 20 до 50 мм — 0,15 мм;

для свёрл с коническим хвостом диаметром свыше 50 мм — 0,18 мм.

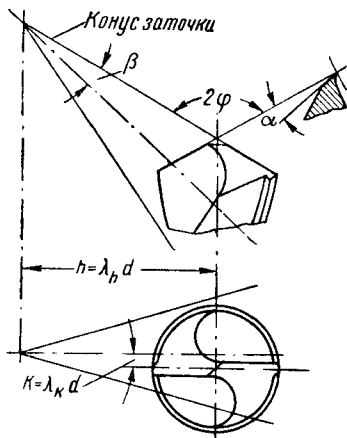
Отклонение угла ω — 2° ; угла $2\varphi \pm 2^\circ$; угла $2\varphi_0 \pm 5^\circ$.

Твёрдость. Твёрдость термически обработанных свёрл по фаскам на длине $\frac{2}{3}$ рабочей части, начиная от вершины, должна лежать в пределах по HRC : а) для свёрл из быстрорежущей и малолегированной быстрорежущей стали $60 \div 64$ при $d = 1 \div 5$ мм и $62 \div 65$ при $d > 5$ мм; б) для свёрл из углеродистой и легированной стали $59 \div 63$ при $d = 0,25 \div 10$ мм и $61 \div 64$ при $d > 10$ мм.

Твёрдость ланки конуса у сварных свёрл после термообработки должна быть в пределах $30 \div 45 HRC$. Корпуса свёрл, армированных пластинками твёрдого сплава, термически обрабатываются до твёрдости $40 \div 45$ по HRC .

Заточка. Сверлозаточные станки и приспособления образуют у сверла заднюю грань в виде конуса (фиг. 68) с углом при вершине 2β .

Величина заднего угла будет зависеть также от установочных параметров λ_k и λ_h .



Фиг. 68. Схема заточки сверла

Зависимость между задним углом и установочными параметрами выражается формулой

$$\sin \alpha_x = \frac{\sin \varphi}{\operatorname{tg} \beta} \cdot \frac{\lambda_k}{2\lambda_h + \frac{d_x}{d}},$$

где λ_k — расстояние от вершины конуса заточки до плоскости, проходящей через ось сверла параллельно режущим кромкам;

λ_h — расстояние от вершины конуса заточки до плоскости, проходящей через ось сверла перпендикулярно проекциям режущих кромок на осевую плоскость.

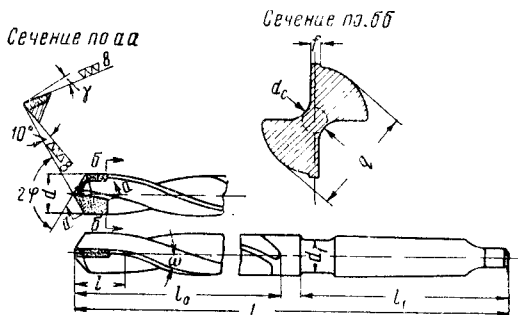
Установочные параметры берут по инструкциям к сверлозаточным станкам. Обычно $\beta = 13^\circ$, $\lambda_k = \frac{1}{15}$ и $\lambda_h = 1,9$.

Рекомендуемые характеристики заточных кругов (ГОСТ 2424-52): Э, $46 \div 60$, CM_1 — CM_2 , К (для крупных свёрл) и Э, $60 \div 80$, M_2 — CM_1 , К (для мелких свёрл), для подточки перемишки круг Э, $60 \div 80$, CM_1 , Б.

Свёрла, армированные пластинками твёрдого сплава

Твёрдосплавные свёрла преимущественно применяют для сверления хрупких материалов — чугуна, бронзы, твёрдых сталей, технические условия по ГОСТ 5756-51. Пластины для армирования свёрл — по ГОСТ 2209-49.

Сверло, армированное твёрдым сплавом, представлено на фиг. 69. Длину рабочей части у твёрдосплавных свёрл берут меньшей, чем у быстрорежущих вследствие того, что первые допускают меньшее количество переточек.



Фиг. 69. Сверло, армированное твёрдым сплавом

Рекомендуется длину винтовых канавок принимать в пределах $l_0 = (4 \div 5,5) d$, причём меньшие значения берут для больших диаметров, что способствует повышению жёсткости и виброустойчивости свёрл в связи с их малыми вылетами из шпинделя.

С целью увеличения жёсткости и виброустойчивости диаметр сердцевины увеличивают по сравнению с быстрорежущими свёрлами до $d_c = 0,27 d$.

По направлению к хвостовику сердцевина должна увеличиваться от 1,4 до 1,8 мм на 100 мм длины.

Пластины применяют из твёрдого сплава ВК8. В качестве материала для корпусов рекомендуется сталь 9ХС и 40Х. Напайку с целью повышения прочности рекомендуется выполнять при помощи многослойной фольги (красная медь + обезуглероженое железо). Основные размеры твёрдосплавных свёрл для обработки чугуна приведены в табл. 23.

Размеры f и q , как у обычных свёрл.

Элементы подточки приведены на фиг. 70.

Твёрдосплавные свёрла (фиг. 69) имеют возле режущей кромки прямые канавки на длине l , что необходимо для обеспечения заточки. Длина прямолинейного участка из условия выхода шлифовального круга берётся $l = (1,1 \div 1,4) d$, причём меньшие значения

Таблица 23

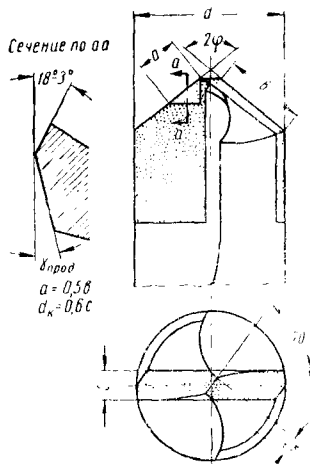
Размеры твёрдосплавных свёрл для обработки чугуна с усиленным хвостовиком

d	L	l_0	l_1	d_1	Конус Морзе
12—12,4 12,5—12,9 13—13,3 13,5—13,8 14—14,4 14,5—14,9 15—18,9	165 170 175 180	63 68 71 76	90,5	11,2 11,7 12,2 12,7 13,2 13,7 14,2	№ 2
19—19,7 20—20,9 21—21,9 22—22,9 23—26,9	220 225 230	95 100 105	113	18 19 20 21 22	№ 3
27—27,9 28—28,8 29—29,6	260 265	112 118	140	25,8 26,8 27,8	№ 4
30	270	122		28,8	

берут для больших диаметров. Далее канавка выполняется винтовой, причём рекомендуется брать угол ω таким же, как и для обычных спиральных свёрл. Можно также применять и прямые канавки.

Для глубоких отверстий при наличии дробления стружки рекомендуется угол ω увеличить до $45^\circ \div 60^\circ$.

Выбор углов 2φ и γ для разных обрабатываемых материалов производят по табл. 24.



Фиг. 70. Свёрло с подточкой поперечной режущей кромки

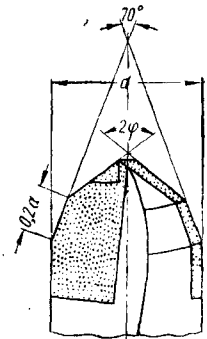
Поперечную режущую кромку следует снабжать подточкой. Уменьшение диаметра сверла на длине пластинки берётся в пределах $0,05 \div 0,08$ мм. Для обработки чугуна рекомендуется двойная заточка под углом 70° шириной $0,2 d$ (фиг. 71).

Таблица 24

Выбор углов 2φ и γ для твёрдосплавных свёрл

Обрабатываемый материал	2φ	γ
	в град,	
Чугун твёрдостью $H_B = 200 \text{ кг/мм}^2$	120	+7
То же $300 \div 400 \text{ кг/мм}^2$	140	0
Стальное литьё, легированная сталь	120	0
Инструментальная и марганцовистая сталь	140	-3
Фосфористая бронза	130	+4

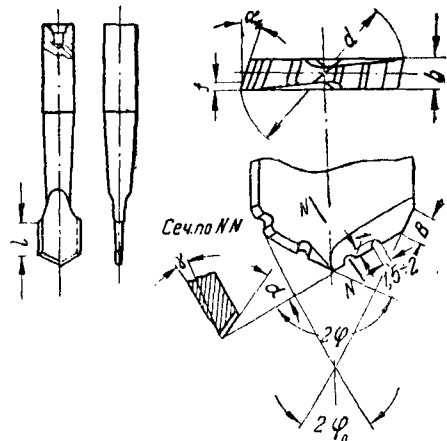
Фиг. 71. Твёрдосплавное сверло с двойной заточкой



Перовые свёрла

Перовые свёрла применяются при обработке твёрдых поковок и литья, где требуется высокая жёсткость, для ступенчатых и фасонных отверстий, а также иногда в индивидуальном и мелкосерийном производстве при отсутствии спиральных свёрл.

Режущая часть перовых свёрл (фиг. 72) выполняется в виде пластинки, утолщающейся к хвосту. Тело цилиндрической формы обес-



Фиг. 72. Перовое сверло

печивает более высокую жёсткость, нежели у спиральных свёрл, ослабленных винтовыми канавками. Толщина пластинки берётся $b = 0,25d$ (при $d = 6 \div 12$), $0,2d$ (при $d = 12 \div 65$) и $0,15d$ (при $d > 65$ мм). Длину рабо-

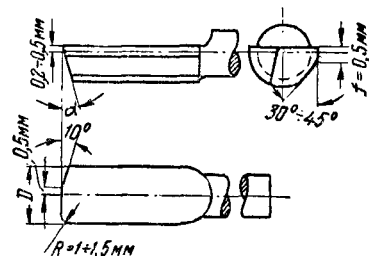
чей части можно принимать для мелких свёрл $l = (1,5 \div 2) d$, а для крупных $l = d$, если её размеры не связаны с отводом стружки. Углы 2φ и $\frac{1}{2}$ берут как для спиральных свёрл.

Размер фаски берут как для спиральных свёрл. Обратный конус $0,05 \div 0,1$ мм на всю длину режущей части. Задний угол $\alpha = 10 \div 15^\circ$. Для облегчения работы следует выполнять выемку на передней грани, при этом получаем $\gamma = 4 \div 5^\circ$. С целью улучшения работы рекомендуется выполнять двойную заточку по задней грани. Элементы двойной заточки (B и $2\varphi_0$) можно брать как и для спиральных свёрл. Задний угол подточки ленточки берут $\alpha_1 = 5 \div 8^\circ$. Для понижения деформации стружки рекомендуется выполнять стружколоматели по задней грани в шахматном порядке.

Свёрла для глубокого сверления

Специальные конструкции свёрл для глубокого сверления обеспечивают высокую точность получаемого отверстия (2—3-й класс точности), прямолинейность оси и цилиндричность отверстия на всей длине.

Широкое распространение получили пушечные свёрла (фиг. 73). Данное сверло является



Фиг. 73. Пушечное сверло

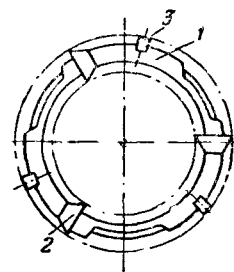
круглым стержнем, срезанным почти на половину диаметра. Во избежание заедания передняя грань выполняется выше центра на $0,2 \div 0,5$ мм в зависимости от диаметра. Режущая кромка направлена под прямым углом к оси сверла, переходит на 0,5 мм через ось и далее отклоняется под углом 10° . Вершину следует закруглять радиусом $R = 1 \div 1,5$ мм. Вдоль рабочей части для уменьшения трения срезается лыска под углом $30 \div 45^\circ$. Задний угол $\alpha = 8 \div 10^\circ$. Обратный конус принимается



Фиг. 74. Сверло спиральное для глубокого сверления

$0,03 \div 0,05$ мм на 100 мм длины. На паровозоремонтных заводах пушечные свёрла применяются иногда для сверления глубоких отверстий в котельных связях паровозов серии Л, а также в инструментальном деле для сверления стволов пневматических молотков. Для глубокого сверления также применяются специальные спиральные свёрла (фиг. 74). Дан-

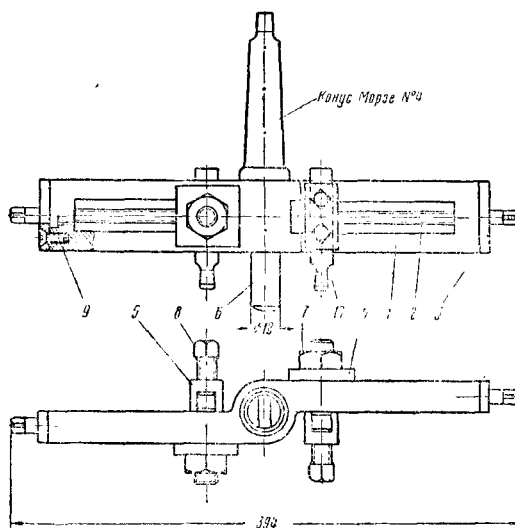
ные свёрла имеют четыре ленточки, образующие каналы для подвода охлаждающей жидкости под большим давлением ($4 - 20$ ат). Омывая задние и передние грани, жидкость уходит по внутреннему каналу в штангу, удаляя при этом стружку. Такие свёрла обязательно должны снабжаться стружколомателями для дробления стружки. В случае больших диаметров (свыше 75 мм) могут применяться головки кольцевого сверления с одним или несколькими резцами (фиг. 75). При таком способе сверления сохраняется материал сердцевины детали.



Фиг. 75. Головка кольцевого сверления: 1—корпус; 2—резцы; 3—направляющие кулачки

На фиг. 76 представлена головка для вырезки отверстий в решётках котлов паровозов под жаровые трубы.

Винтами 2 державки 5 с резцами 10 могут быть установлены для вырезки отверстий разного диаметра.



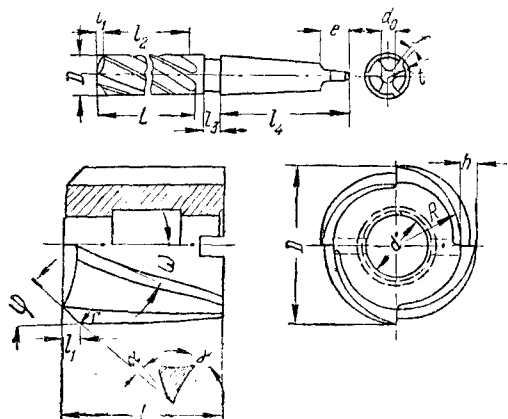
Фиг. 76. Головка для вырезки отверстий под жаровые трубы в решётках котлов паровозов: 1—траверса—1 шт.; 2—винт—2 шт.; 3—планка—2 шт.; 4—шайба—2 шт.; 5—державка—2 шт.; 6—оправка—1 шт.; 7—гайка М18—2 шт.; 8—винт М12×3—2 шт.; 9—винт М6×15—4 шт.; 10—резец—2 шт.

Для лучшего центрирования головки в решётке предварительно сверлится отверстие диаметром 18 мм. В это отверстие входит направляющий конец оправки головки.

ЗЕНКЕРЫ

Цилиндрические зенкеры предназначены для расширения отверстий с получением 4—5-го класса точности, а также для предварительной обработки отверстий под последующее

развёртывание, шлифование и др. При диаметре обрабатываемого отверстия до 25 мм рекомендуется зенкеры выполнять хвостовыми, свыше 25 мм — насадными.



Фиг. 77. Элементы зенкера

Основные размеры зенкеров (фиг. 77) принимают по ОСТ НКТП 3677, ГОСТ В 1676-42

и ГОСТ 2255-51 (табл. 25). Размеры оправок для насадных зенкеров принимают по ОСТ НКТП 3678.

В случае если зенкер предназначается для установки в быстросменном патроне, то хвост оформляется по ГОСТ 3009-45.

Технические условия на зенкеры цельные, насадные и с коническим хвостом даны в ГОСТ В 1677-42.

Передние углы у твердосплавных зенкеров берут $\gamma = 0 \div -5^\circ$ для обработки сталей $\sigma_{нч} < 90 \text{ кг/мм}^2$; $\gamma = -5 \div -10^\circ$ для сталей $\sigma_{нч} > 90 \text{ кг/мм}^2$; $\gamma = 0 \div 5^\circ$ для чугунов и бронзы. Угол наклона спирали для быстрорежущих зенкеров выбирают согласно табл. 26; передний угол γ_x в любой точке режущей кромки определяется так же, как и у сверл.

Углы в плане $\varphi = 30 \div 60^\circ$, причем большее значение принимают при обработке твердых материалов. Для твердосплавных зенкеров при нежестких условиях работы $\varphi = 75^\circ$. Задние углы образуются так же, как у сверл заточкой по конической поверхности на сверлозаточных станках или же на универсально-заточных с помощью специальных приспособлений. Для режущей части задний угол α принимают $8 \div 10^\circ$, для калибрующей $5 \div 6^\circ$.

Таблица 25

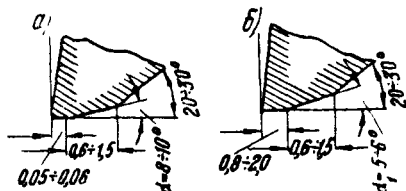
Типы зенкеров

Наименование	Применение	Размер	№ стандартов
Зенкер с коническим хвостом	Для увеличения отверстий в заготовках или после сверления	Диаметр 12÷35	ГОСТ В 1676-42
Зенкер насадной, цельный		Диаметр 25÷80	ОСТ НКТП 3677
Зенкер сборный, регулируемый, насадной		Диаметр 39,75÷100	ГОСТ 2255-51
Зенкер с пластинками из твердого сплава			ГОСТ 2231-46
Зенковка 60° центровочная простая	Для обработки центровых отверстий в изделиях, обрабатываемых в центрах; зацентровки перед сверлением	Диаметр 8; $2\varphi=60^\circ$	ОСТ 3728
Зенковка 60° центровочная для центровых отверстий без предохранительного конуса		Диаметр 2÷22; $2\varphi=60^\circ$	ОСТ 3729
Зенковка 60° центровочная для центровых отверстий с предохранительным конусом		Диаметр 2÷22; $2\varphi=10^\circ$; $2\varphi_1=120^\circ$	ОСТ 3730
Зенковка центровочная с коническим хвостом		Диаметр 22; 32; $2\varphi=60^\circ$	ОСТ 3731
Зенкер конический	Для снятия фасок; обработки углублений под винты с потайной и полупотайной головкой и др.	$2\varphi=75; 90$ и др.	—
Зенкер с направляющей цапфой	Для обработки углублений под головки и шейки винтов	—	—
Зенкер торцевой	Для зачистки торцевых поверхностей	—	—
Зенкер фасонный (комбинированный)	Для обработки фасонных (ступенчатых) отверстий	—	—

Таблица 26
Углы наклона спирали у зенкеров

Обрабатываемый материал	ω°
Алюминиевые и магниевые сплавы, стали углеродистые и легированные $H_B < 140$ и $\sigma_{пц} \leq 50$ кг/мм ² , латунь вязкая	25 ÷ 40
Стали и стальное литьё, углеродистые, легированные и инструментальные $H_B = 140 \div 340$ и $\sigma_{пц} = 50 \div 120$ кг/мм ² ; чугун и ковкий чугун $H_B < 220$	15 ÷ 20
Бронза и латунь хрупкие. Чугун $H_B > 220$	10

Заточку четырёхпёрых зенкеров под углом α (фиг. 78) производят как на режущей, так и на калибрующей частях лишь на небольшом



Фиг. 78. Задние углы у четырёхпёрых зенкеров: а—режущая часть; б—калибрующая часть

участке шириной $0,6 \div 1,5$ мм в зависимости от размера зенкера.

На режущей части оставляется цилиндрическая ленточка шириной $0,05 \div 0,06$ мм, а на калибрующей $0,8 \div 2$ мм.

Профиль спинки у четырёхпёрых насадных зенкеров выполняется в виде окружности радиусом R или по прямой под углом $20 \div 30^\circ$.

Глубина канавки $h = 0,125D$ (при $D = 20 \div 48$); $h = 0,1D$ (при $D > 48$).

Угол $\lambda = 0 \div 5^\circ$ у быстрорежущих зенкеров и $12 \div 15^\circ$ у твёрдосплавных (фиг. 79). Величина обратного конуса $0,04 \div 0,1$ мм на 100 мм длины. Число зубцов у хвостовых зенкеров 3, у насадных 4. Ширина канавки у хвостовых зенкеров равна ширине пса. Диаметр сердцевинки берётся $d_0 = 0,5D$ (при $D = 12 \div 16$ мм) и $d_0 = 0,4D$ (при $D = 17 \div 35$ мм). Переходная режущая кромка у быстрорежущих зенкеров выполняется по окружности $r = 1 \div 2$ мм, а у твёрдосплавных прямолинейной под углом $\varphi_0 = 30^\circ$, длиной $0,8 \div 1,2$ мм.

Зенкеры сборной конструкции применяют в целях экономии режущего материала.

Зенкер на фиг. 80 имеет в корпусе пазы, расположенные под углом 5° в радиальном направлении и под углом 3° в продольном. Ножи и клинья снабжены продольными рифлениями. Размеры рифлей по ГОСТ 2568-44.

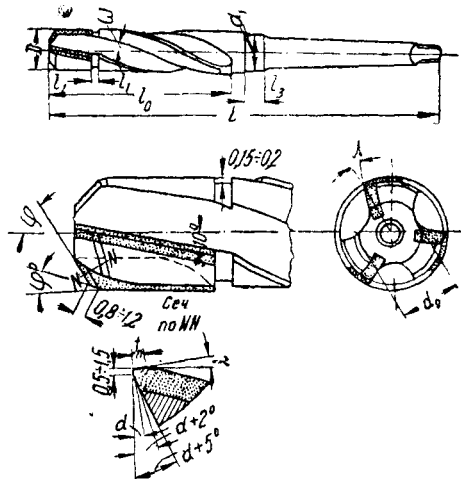
Зенкер приведённой конструкции позволяет двоякое регулирование: а) перестанов-

кой ножей вдоль паза и б) перестановкой в радиальном направлении.

Длина стачивания $M = L - (3K + m)$.

При установке ножей после переточки следует выдерживать размер K , обеспечивающий надёжный отвод стружки.

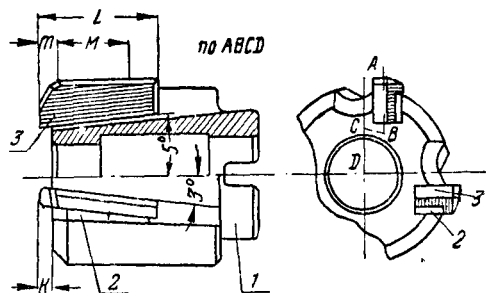
Размеры хвостовых зенкеров с пластинками твёрдого сплава приведены в ГОСТ 3231-46.



Фиг. 79. Зенкер с пластинками твёрдого сплава

Пластины для зенкеров берут по ГОСТ 2209-49. Для увеличения жёсткости твёрдосплавные зенкеры можно изготовлять хвостовыми до $D = 70$ мм. Диаметр сердцевинки $d_0 = 0,5D$.

Пластинку устанавливают под углом 10° , при этом переход к поверхности спиральной



Фиг. 80. Зенкер сборной регулируемый: 1—корпус; 2—подкладка; 3—вставной нож

канавки, имеющей $\omega = 15 \div 20^\circ$, делается плавным для облегчения схода стружки. Длина передней грани берётся $f_n = 2 \div 5$ мм в зависимости от размера зенкера и обрабатываемого материала. Для облегчения выхода стружки рекомендуется на передней грани выполнять стружколомную канавку аналогично резцовым порошкам. Доводка задней грани выполняется на длине $0,5 \div 1,5$ мм.

Основные размеры корпусов для насадных твёрдосплавных зенкеров принимают как для быстрорежущих.

Допуски на диаметры зенкеров берут по табл. 27.

Таблица 27

Допускаемые отклонения диаметра зенкера

Номинальный диаметр в мм	Обработка под развёр- тывание		Окончатель- ная обработка	
	отклонения в микронах			
	верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее
До 18	-150	-200	+ 60	+20
Свыше 18 до 30 . .	-200	-250	+ 70	+20
» 30 » 50	-240	-300	+ 90	+30
» 50	-290	-360	+105	+30

Биеение направляющей ленточки, измеряемое возле заборного конуса, должно быть в пределах (при установке зенкера в шпинделе): при D до 18 мм—0,06 мм; при D свыше 18 до 30 мм—0,08 мм; при D свыше 30 мм—0,1 мм.

Допуск на длину рабочей части устанавливается по 9-му классу точности с симметричным расположением поля допуска.

Заточка задней грани производится на сверлозаточных станках или на универсально-заточных со специальным приспособлением. Приспособление осуществляет заточку по винтовой поверхности, обеспечивая одновременно с вращением зенкера также осевое перемещение. Характеристика заточного круга Φ , 46 ÷ 60, CM_1 — CM_2 , K .

Твёрдость термически обработанных зенкеров по ленточкам или на торце не далее 5 мм от режущих кромок должна быть в пределах по HR_C : у зенкеров из углеродистой или легированной стали 60 ÷ 63; у зенкеров из малолегированной быстрорежущей стали 61 ÷ 65.

Лапка конуса у зенкеров с коническим хвостом должна иметь твёрдость $HR_C = 30 \div 45$.

Корпуса составных зенкеров термически обрабатываются до твёрдости $HR_C = 40 \div 45$.

Зенковки

Зенковки применяют однозубые (фиг. 81, а), двузубые (фиг. 81, б) и многозубые (фиг. 81, в).

Для лучшего использования материала ленточные зенковки выполняют двусторонними. Углы в плане 2φ берут в соответствии с обрабатываемым конусом.

Иногда в качестве зенковок используются короткие сверла, заточенные с соответствующим углом 2φ .

Задние углы у ленточных зенковок однозубых и двузубых образуются путём загибания; у многозубых зенковок задние углы образуются заточкой на универсально-заточных станках. Величины задних углов $\alpha = 8^\circ$. Для предотвращения разбивки отверстия и для повышения чистоты обработки рекомендуется оставлять на режущей части фаску 0,05 ÷ 0,06 мм. Передний угол у зенковок общего назначения обычно принимают 6° . Длина задней грани берётся $f = 0,6 \div 1,2$ мм. Для соблюдения постоянства величины f вдоль зуба необходимо угол дна зуба τ (угол

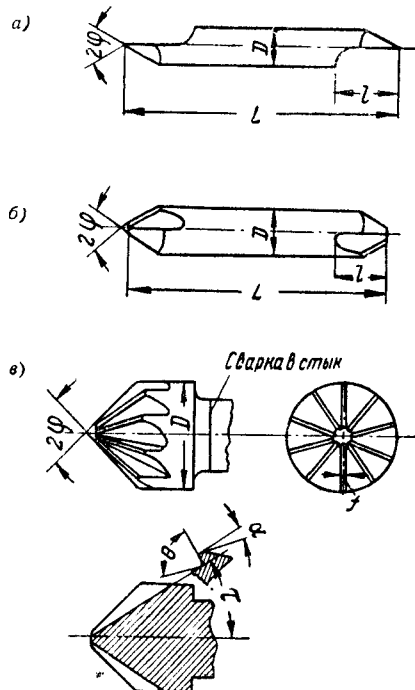
установки делительной головки) выбирать по формуле

$$\tau = \varepsilon_1 - \varepsilon_2,$$

где

$$\operatorname{tg} \varepsilon_1 = \cos \frac{360^\circ}{Z} \operatorname{tg} \varphi;$$

$$\sin \varepsilon_2 = \operatorname{tg} \frac{360^\circ}{Z} \operatorname{ctg} \theta \sin \varphi.$$

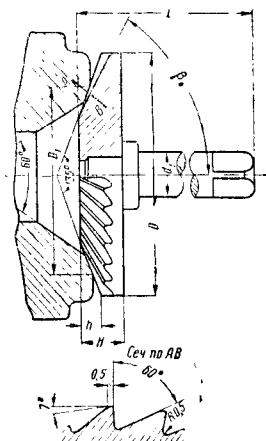


Фиг. 81. Зенковки

При ремонте паровозов широко применяют конические зенковки для отверстий под винты и заклёпки с потайной головкой, а также специальные зенковки для обработки мест присоединения арматуры и труб на прокладном линзовом кольце (фиг. 82 и 83).

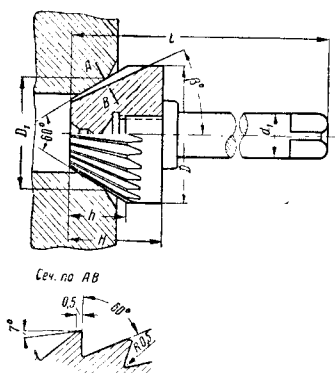
Прочие типы зенкеров

Зенкер с направляющей цапфой (фиг. 84) служит для получения соосных отверстий, например, для углубления под цилиндрические головки или шейки винтов. Цапфа служит для направления зенкера. Такие зенкеры преимущественно изготовляют хвостовыми. Крепление цапфы обычно осуществляется при помощи конуса. У мелких зенкеров цапфа изготавливается за одно целое с корпусом. Угол наклона винтовой канавки зенкера $\omega = 10^\circ \div 15^\circ$. Задние углы $\alpha = 8^\circ \div 10^\circ$ на ширине лапки $l \div 1,5$ мм. Спинка выполняется прямой под углом 30° , впадина—под углом 90° . Спинка по торцу выполняется под углом $20^\circ \div 25^\circ$, а впадина угловой фрезой с углом 30° .



D_1	38—44	52—66	82—97	109	120—145	168—174	202	228—243	278—308
D	50	70	103	130	160	190	220	270	330
L	153	153	165	165	165	180	180	190	190
d_1	20	20	24	24	24	32	32	32	32
Число зубьев . .	16	20	24	26	30	34	40	42	50
β°	54°	56°30'	59°30'	60°	61°	62°	62°	62°30'	63°30'
H	25	25	30	30	30	35	35	40	40
h	6,5	8	10	15	15	20	20	20	20

Фиг. 82. Зенковка с углом 135° для обработки мест присоединения арматуры и труб

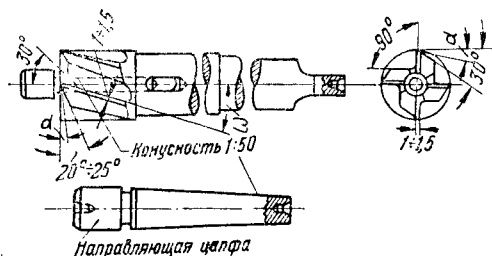


D_1	20—35	35—50	53—64	70—74	88—100	112—122
D	45	60	80	90	110	130
L	173	173	178	188	188	200
Число зубьев . .	14	16	18	20	22	24
β°	20°	21°30'	22°30'	23°30'	24°	25°
H	55	55	50	60	60	70
h	30	33	35	42	42	50
d_1	20	20	20	20	20	24

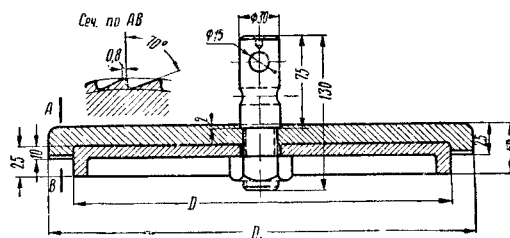
Фиг. 83. Зенковка с углом 60° для обработки мест присоединения арматуры и труб

Зенкеры торцевые служат для зачистки торцевых поверхностей и имеют режущие зубья лишь по торцу. Обычно такие зенкеры изготовляют насадными, причём они могут иметь зубья на обоих торцах. Для облегчения работы на зубьях могут вышлифовывать ся стружколоматели.

Зенкеры фасонные и комбинированные служат для обработки отверстий сложной конфигурации, в частности ступенчатых. Применение подобных зенкеров при совмещении нескольких операций (переходов) позволяет сократить время обработки и использовать простое оборудование.



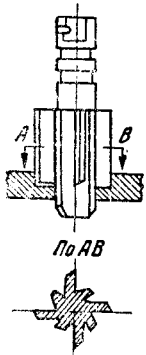
Фиг. 84. Зенкер с направляющей цапфой



Фиг. 85. Зенкер торцевой для зачистки мест постановки накладных люков паровоза серии ФД

При ремонте паровозов торцевые зенкеры (шарошки) применяют для зачистки мест в котлах под приварку связей, труб жаровых и дымогарных, для зачистки мест постановки накладных люков (фиг. 85).

На фиг. 86 приведён двухступенчатый зенкер, имеющий чередующиеся зубья для одновременной обработки по двум диаметрам ступенчатого отверстия.



Фиг. 86. Двухстемчатый зенкер

РАЗВЁРТКИ

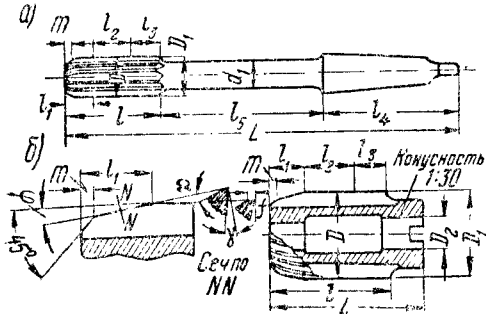
Основные понятия, обозначения и терминология элементов развёртки установлены ОСТ НКТП-2937.

В зависимости от формы получаемого при развёртывании отверстия развёртки разделяют на цилиндрические и конические.

Цилиндрические развёртки

Цилиндрические развёртки по характеру применения разделяют на ручные (ОСТ 2512-39 и ГОСТ 3509-47), машинные (ГОСТ В 1672-42), котельные.

По конструкции развёртки могут быть цельными, насадными (ОСТ НКТП-3676), со вставными зубьями (ГОСТ 883-46, 884-46 и 1523-42), регулируемые, составные.



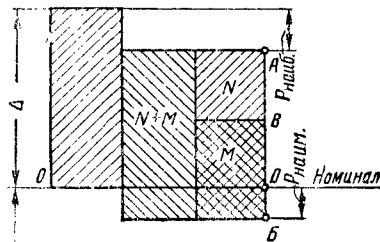
Фиг. 87. Развёртки машинные

На фиг. 87 приведены цельная развёртка *a* и насадная *б*.

Номинальный диаметр рабочей части развёртки *D* берётся в соответствии с обрабатываемым отверстием. Ручные развёртки стандартизованы для диаметра 3÷50 мм, машинные цельные для диаметра 3÷32 мм, насадные для диаметра 25÷80 мм и со вставными ножами для диаметра 25÷100 мм. Допуски располагаются согласно фиг. 88 и определяются (уновой развёртки):

$$\text{верхнее отклонение } OA = \Delta - P_{\text{наиб}};$$

$$\text{нижнее отклонение } OB = \Delta - P_{\text{наиб}} - N.$$



Фиг. 88. Расположение допусков на диаметр развёртки: Δ — допуск отверстия; $P_{\text{наиб}}$ — наибольшая величина разбивки; $P_{\text{наим}}$ — наименьшая величина разбивки; N — допуск на неточность изготовления развёртки; M — допуск на износ развёртки; OA — верхнее отклонение диаметра развёртки; OB — нижнее отклонение диаметра развёртки

Предельный размер диаметра D_u изношенной развёртки может быть меньше номинального на величину наименьшей разбивки отверстия $P_{\text{наим}}$.

Принимают $P_{\text{наим}} = 5$ мк. Значения величин $P_{\text{наиб}}$ и N приведены в табл. 28.

Таблица 28

Элементы допусков на диаметры развёрток

Элементы допусков			Номинальный диаметр развёртки в мм								
			свыше 3 до 6	свыше 6 до 10	свыше 10 до 18	свыше 18 до 30	свыше 30 до 50	свыше 50 до 80	свыше 80 до 120	свыше 120 до 180	свыше 180 до 260
			величина допусков в мк								
Наибольшая <i>P_{наиб}</i>	величина	разбивки	9	11	12	14	16	18	20	23	26
Допуски на неточность изготовления	посадки	A	4	5	5	6	8	10	12	13	15
		G	5	6	7	9	10	11	12	13	15
		H	5	6	7	9	10	11	12	13	15
		A ₃	8	9	11	13	16	19	22	25	28
		A ₄	20	25	30	35	40	45	55	65	75

Углы заточки машинных развёрток приведены в табл. 29. Ширина ленточки на калибрующей части $f = 0,05 \div 0,3$ мм в зависимости от размера развёртки $\alpha_1 = 0^\circ$.

Таблица 29

Углы заточки развёрток

Угол	Условия применения	Градусы
φ	Сквозные отверстия	Для вязких материалов
		Для хрупких материалов
	Для глухих отверстий. Для сквозных отверстий по 3-му классу точности и грубее	
γ	Для вязких материалов	5—7
	Для хрупких материалов	0
α	Для всех материалов	7—15

Примечание. Большие значения задних углов α принимать для развёрток меньших диаметров

У ручных развёрток для облегчения ввода в отверстие берут $\varphi = 0,5 \div 1,5^\circ$. Меньший диаметр режущей части берётся меньше диаметра развёртки на $1,3 \div 1,4$ припуска под развёртывание.

На конце режущей части снимается фаска длиной $m \approx 1,5 \div 4$ мм (для $D = 10 \div 80$ мм) под углом 45° .

Длина калибрующей (цилиндрической) части берётся $l_2 = (0,25 \div 0,3) D$.

Для уменьшения трения на длине l_3 выполняется обратный конус. Уменьшение диаметра составляет $0,04 \div 0,06$ мм у машинных развёрток и до $0,005$ мм у ручных. В случае работы развёрток в качающихся державках следует величину падения диаметра увеличить до $0,06 \div 0,1$ мм.

Число зубьев принимают $Z = 1,5\sqrt{D} + (2 \div 4)$, где D — диаметр развёртки в мм.

Большее число зубьев берут при повышенных требованиях к чистоте поверхности. Для упрощения промера диаметра развёртки обычно берут чётное число зубьев.

В случае обработки отверстий, прерывающихся по длине или имеющих продольные пазы, необходимо применять развёртки с винтовыми зубьями. Угол наклона канавок ω берут: $7 \div 8^\circ$ (для серого чугуна и твёрдой стали), $12 \div 20^\circ$ (для ковкого чугуна и стали) и $35 \div 45^\circ$ (для алюминия и лёгких сплавов).

Для повышения чистоты обработанной поверхности (предупреждения от появления продольных рисок) делают неравномерное распределение зубьев по окружности. Разбивку зубьев рекомендуется выполнять по табл. 30.

Владина выполняется прямолинейной (фиг. 89, а) или же радиусной (фиг. 89, б).

Развёртки сборной конструкции (со вставными зубьями и разжимные) отличаются

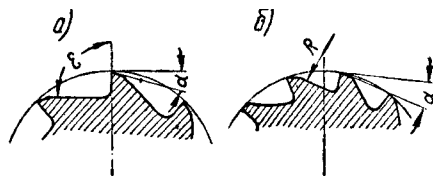
Таблица 30
Выбор шага зубьев

Число зубьев	Угол поворота					
6	58°02'	59°53'	62°05'	—	—	—
8	42°	44°	46°	48°	—	—
10	33°	34°30'	36°	37°30'	39°	—
12	27°30'	28°30'	29°30'	30°30'	31°30'	32°30'

Примечание. Диск делительной головки должен иметь 49 отверстий.

уменьшенным числом зубьев. Можно принимать $Z = 6$ (для $D = 16 \div 42$), $Z = 8$ (для $D = 44 \div 65$); $Z = 10$ (для $D = 65 \div 125$) и $Z = 12$ (для $D = 130 \div 150$). Углы заточки, режущая и калибрующая части принимаются такими же, как у цельных развёрток.

На фиг. 90 представлена развёртка ручная, разжимная (ГОСТ 3509-47), позволяющая восстановить размер D после перето-



Фиг. 89. Профиль канавки: а — прямолинейная канавка; б — радиусная канавка

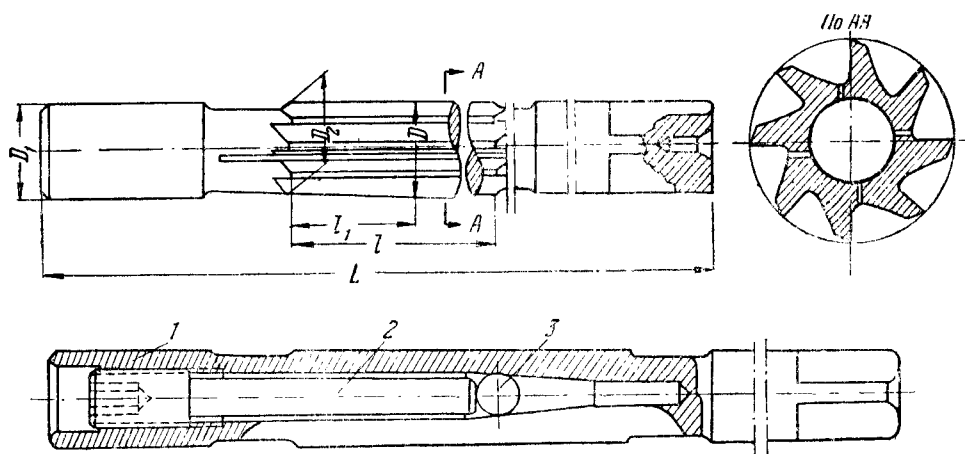
чек. Регулирование производится установочным винтом 2, воздействующим на шарик 3, который, перемещаясь вдоль конической части отверстия корпуса 1, производит разжим последнего. Для обеспечения разжима корпус выполняют разрезным.

При ремонте паровозов для калибровки цилиндрических отверстий в дышлах применяют двухпёрые регулируемые развёртки, так называемые плавающие резцы. Плавающие резцы обеспечивают точность обработки отверстий по 3-му классу точности.

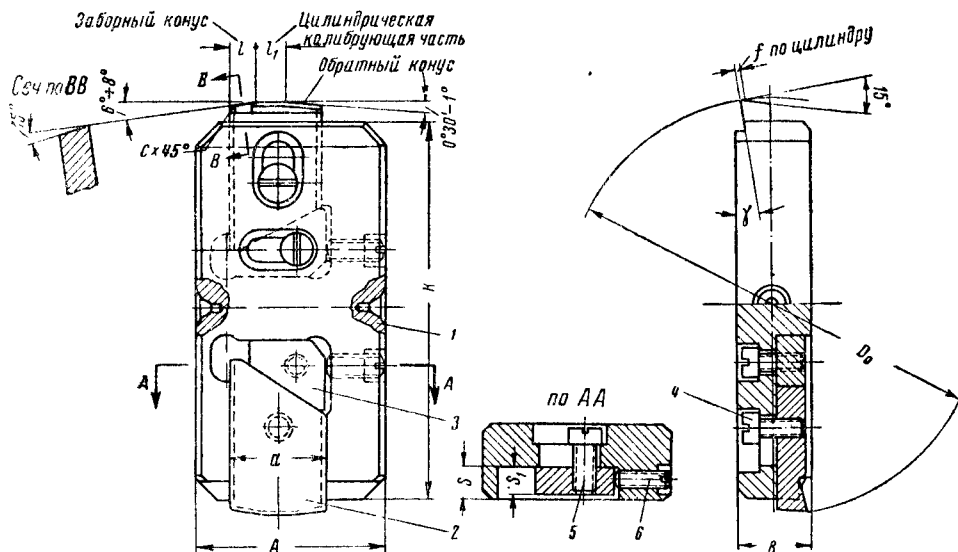
На фиг. 91 представлен плавающий резец для диаметров расточки от 50 до 188 мм и на фиг. 92 — для диаметров расточки от 260 до 314 мм. Для равномерности усилий резания обоих резцов окончательную заточку следует производить в собранном виде на универсально-заточном станке, а углы в плане контролировать шаблонами.

Метод подсчёта допусков на установку плавающих резцов аналогичен методу для цилиндрических развёрток.

Плавающие резцы применяют в специальной оправке (фиг. 93). Резец, находясь в пазу оправки, зажимается в продольном направлении сухарём 2, на который давит конусом винт 3. Зажим регулируется так, чтобы резец имел лёгкое скольжение в поперечном направлении (как бы «плавал»). Благодаря этому резец самоустанавливается в предварительно грубо расточенном отверстии. Вследствие скольжения резца биение оправки и шпинделя станка менее сказывается на разбивке отверстия.

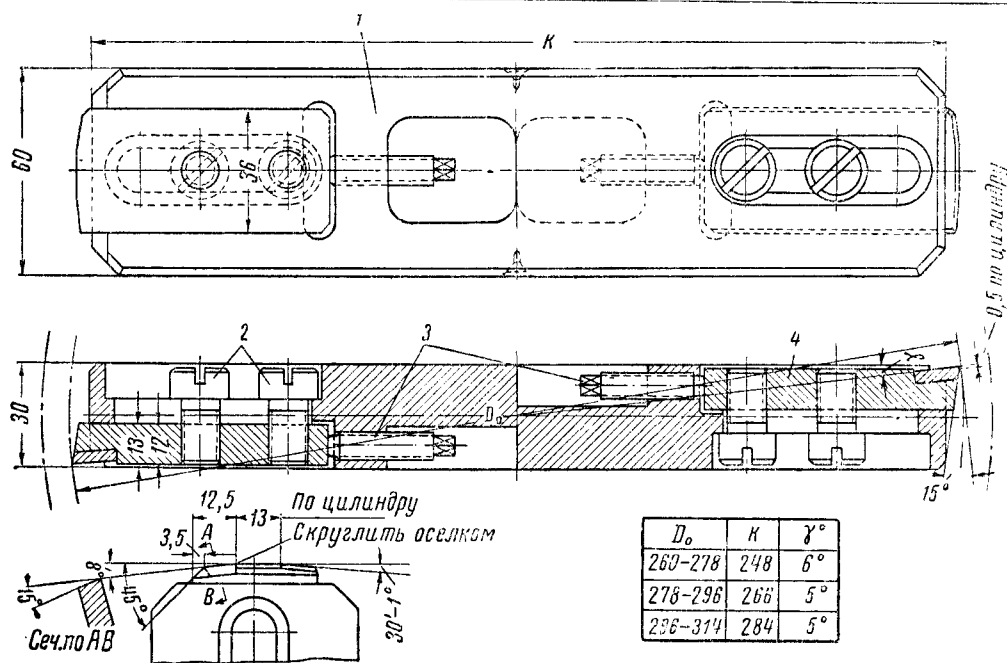


Фиг. 90. Развёртка разжимная ручная

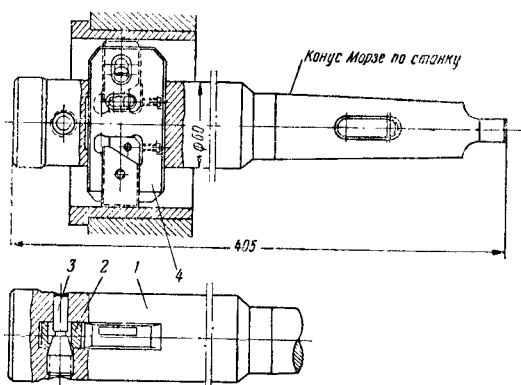


D_0	A	B	a	S	S_1	k	l	l_1	γ°	f	C
50—54	50	16	25	7	6	45	7	7	14	0,2	1,5
55—60						49		13			
60—66							8	7	12	0,25	2
80—86							9	8	10	0,3	
88—95						60	20	28	10		8
100—108	92	8	2,5								
110—118	102	8									
140—148	132	7	3								
148—154	140	7									
168—176	160	6									
180—188	172	10	10	6	0,5						

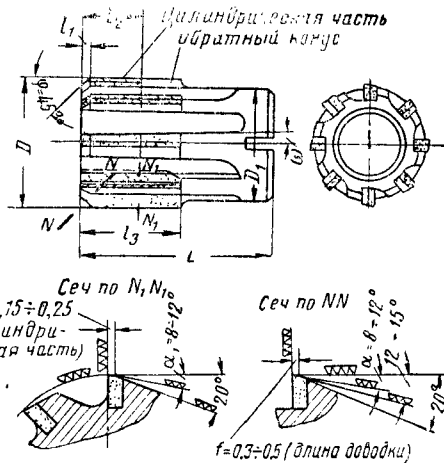
Фиг. 91. Развёртка с плавающими резцами для диаметров расточки от 50 до 188 мм:
 1—обойма—1 шт.; 2—резец—2 шт.; 3—клин—2 шт.; 4—винт крепления резца—2 шт.;
 5—винт крепления клина—2 шт.; 6—винт подачи клина—2 шт.



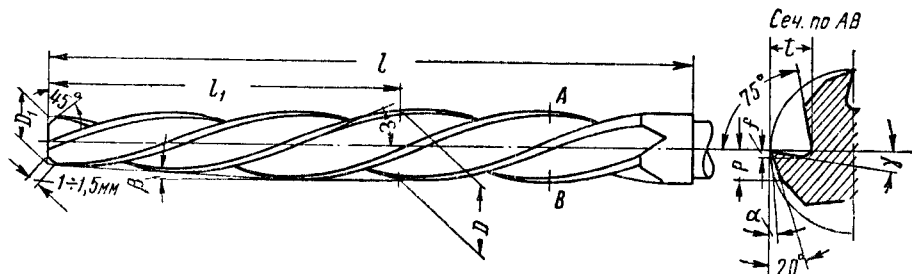
Фиг. 92. Развёртка с плавающими резцами для диаметров расточки от 260 до 314 мм:
1—обойма— 1 шт.; 2—винт для укрепления резца—4 шт.; 3—винт для подачи резца— 2 шт.;
4—резец— 2 шт.



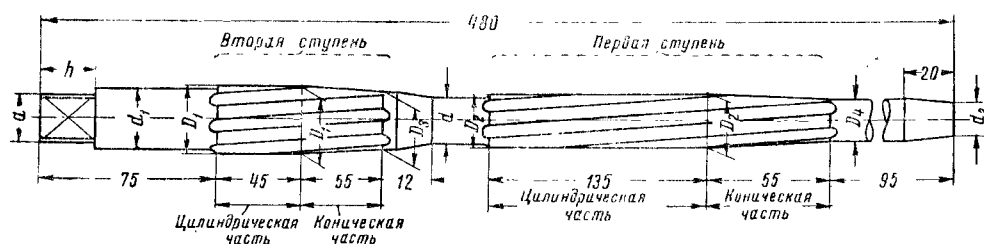
Фиг. 93. Оправка для плавающих резцов: 1—корпус оправки; 2—сухарь; 3—винт; 4—плавающий резец



Фиг. 94. Развёртка, армированная твёрдым сплавом



Фиг. 95. Котельная развёртка



Обозначение раз- мера развертки	23	25	27	29	31	33	35	25	27	29	31	33	35	25	27	29	31	33	35	25	27	
D_1	23,3	25,3	27,3	29,3	31,3	33,3	35,3	25,3	27,3	29,3	31,3	33,3	35,3	25,3	27,3	29,3	31,3	33,3	35,3	27,3	27,3	
D_2	—	—	—	23,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
D_3	—	23	24	26	28	30	32	—	25	25	28	30	32	—	—	—	—	—	32	—	—	—
D_4	—	—	—	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
d_1	21	23	27	27	—	32	32	23	27	27	—	32	32	23	27	27	—	32	32	27	27	
d_2	—	—	—	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
d_3	—	—	—	17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
a	18	18	22	22	22	26	26	18	22	22	22	26	26	18	22	22	22	26	26	22	22	
h	21	21	25	25	25	29	29	21	25	25	25	29	29	21	25	25	25	29	29	25	25	

Развёртки, армированные твёрдым сплавом

Для армирования развёрток твёрдым сплавом служат пластинки по ГОСТ 2209-49, форма 26. Основные размеры корпусов могут быть взяты такими же, как для развёрток из инструментальных сталей.

Во избежание засаливания шлифовального круга при заточке развёртки длину рабочей части берут равной длине пластинок (фиг. 94). Диаметр $D_1 = D - (2 \div 4 \text{ мм})$. Задний угол $\alpha = 8 \div 12^\circ$. На режущей части зуб точится (заостряется) и доводится на длине $f = 0,3 \div 0,5 \text{ мм}$, а далее затачивается под углом $12 \div 15^\circ$.

На калибрующей части оставляется цилиндрическая фаска $f_1 = 0,15 \div 0,25 \text{ мм}$. Задний угол α_1 на калибрующей части берётся таким же, как на режущей. Передние углы зависят от угла наклона канавки ω .

При прямой канавке $\gamma = 0^\circ$. Обычно канавка выполняется прямой или под углом $\omega = 3 \div 5^\circ$. Направление канавки—обратное направлению резания, поэтому передние углы на режущей части отрицательные. Для обработки твёрдых металлов возможно увеличение угла ω до $8 \div 12^\circ$.

Технические условия приведены в ГОСТ 5735-51.

Котельные развёртки

Котельные развёртки применяют для развёртывания отверстий под заклёпки. Для работы котельными развёртками обычно пользуются пневматическими и электрическими сверлильными машинами. С целью облегчения работы, что необходимо при ручной подаче, заборную часть развёртки l_1 (фиг. 95) делают удлиненной с углом $\beta \approx 1,5 \div 3^\circ$.

Для устранения заедания канавки выполняют спиральными с углом $\omega = 25 \div 30^\circ$ и направлением, обратным направлению резания. Диаметр D уменьшают к хвосту на $0,05 \div 0,06 \text{ мм}$ на 100 мм длины.

В связи с тем, что развёртка рассчитана на удаление значительного слоя металла, передний угол берётся $\gamma = 5 \div 10^\circ$ с целью облегчения работы. Задний угол $\alpha = 6 \div 8^\circ$.

$$\text{Длина задней грани } P = \frac{D}{15}.$$

Для устранения биения и лучшего направления оставляется цилиндрическая ленточка $0,2 \div 0,3 \text{ мм}$. Число зубьев принимают обычно $4 \div 6$, глубина зуба $t = 0,25 D$ (при $Z = 4$).

Размеры котельных развёрток (при $Z = 4$) приведены в табл. 31.

Таблица 31

Размеры котельных развёрток в мм

D	l	l_1	D_1	β	Шаг спирали	№ конуса
10	122,5	54	7	$1^\circ 35'$	67	1
16	147,5	72	11	$2^\circ 0'$	108	2
20	173	86	13	$2^\circ 20'$	135	3
24	188	98	16	$2^\circ 20'$	162	3
30	233	116	20	$2^\circ 27'$	202	3
35	248	127	23	$2^\circ 42'$	236	4
40	278	138	27	$2^\circ 42'$	269	4
44	298	150	29	$2^\circ 52'$	296	4

К котельным развёрткам относятся также развёртки для отверстий под распорные и потолочные связи котлов паровозов. По размерам и конструкции они существенно отличаются от нормальных котельных развёрток. На фиг. 96 и 97 представлены ступенчатая и односторонняя развёртки под сварные распорные связи, применяемые при ремонте котлов паровозов. Аналогичные развёртки применяют и для потолочных связей. Для предупреждения значительного искривления в процессе закалки развёрток для потолочных связей ввиду их большой длины (до 1000 мм) их иногда делают составными.

Соотношения длин цилиндрической, конической и направляющей частей развёртки определяются в зависимости от наибольшего и наименьшего расстояния между стенками котла

Конические развёртки

В зависимости от назначения конические развёртки различают:

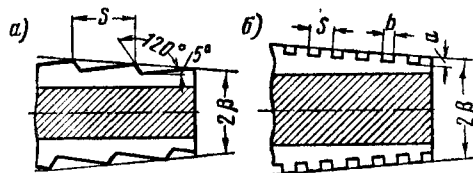
- 1) для конусов Морзе (ОСТ 2513-39);
- 2) для метрических конусов (ОСТ 2514-39);
- 3) штифтовые, конусность $1:50$ (ОСТ 2515-39);
- 4) инструментальные, конусность $1:30$ (ОСТ 2516-39);
- 5) для кранов, конусность $1:7$ или $1:10$;
- 6) для отверстий под конические резьбы (ГОСТ 6226-52) и др.

Диаметр переднего торца развёртки рассчитывают таким образом, чтобы передний конец развёртки выходил из отверстия на величину $(0,15 \div 0,25) D_1$, где D_1 — меньший диаметр отверстия; для больших диаметров следует принимать меньшие значения коэффициента при D_1 . Длина рабочей части складывается из длины развёртываемого отверстия, выхода переднего торца и запаса на переточку развёртки.

Прочие параметры можно выбирать, как и для цилиндрических развёрток.

Конические развёртки выполняют также в форме 3-, 5- и 8-гранной пирамиды, рёбра которой являются режущими кромками. Иногда конические развёртки выполняют винтовыми с одним или двумя зубьями.

При наличии больших припусков развёртывание может выполняться комплектом из двух или трёх развёрток.



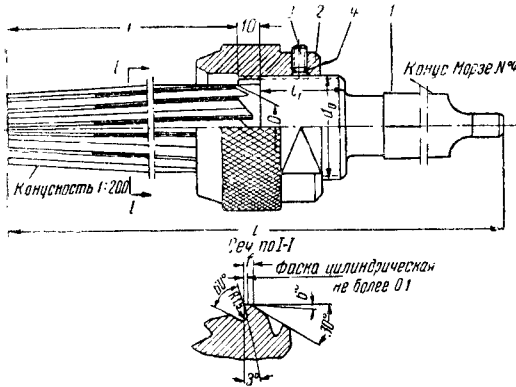
Фиг. 98. Черновые конические развёртки

Для облегчения развёртывания за счёт дробления стружки у предварительных развёрток профиль зуба делают пилообразным (фиг. 98, а) или в виде прямоугольной резьбы (фиг. 98, б). Канавки для дробления стружки располагают по винтовой линии.

Конические развёртки имеют широкое применение при ремонте паровозов.

Развёртка коническая для отверстий под рамные и цилиндрические болты паровоза серии ФД представлена на фиг. 99.

При изготовлении болтов и отверстий градиционных ремонтных размеров по калибрам развёртка снабжается ограничителем (де-



D	l	L	d ₀	l ₁	f	Число зубьев
27,1 27,6 28,1 28,6 29,1 29,6 30,1 30,6 31,1	275	470	Резьба 3 м 39 × × 1,5 левая	40	1,2	10
34,1 34,6 35,1 35,6 36,1 36,6 37,1 37,6 38,1	275	472 622	Резьба 3 м 40 × × 1,5 левая	42	1,5	12
41,1 41,6 42,1 42,6 43,1 43,6 44,1 44,6 45,1	285	485	Резьба 3 м 52 × × 1,5 левая	45	1,8	12

Фиг. 99. Развёртка коническая для отверстий под рамные и цилиндрические болты паровоза серии ФД: 1 — развёртка конусная; 2 — ограничитель; 3 — винт М3 × 12; 4 — медная прокладка

таль 2), который при развёртывании по достижении заданного диаметра отверстия ограничивает дальнейшую подачу развёртки. После каждой переточки развёртки ограничитель устанавливают по калибру на заданный размер отверстия и стопорят винтом (деталь 3).

Аналогичные развёртки применяются при обработке отверстий по градициям ремонтных

размеров в тягах кулисного механизма под конические валики. Конусность развёрток под кулисные валики 1 : 25.

На фиг. 100 и 101 представлены 8-гранные пирамидальные развёртки, применяемые при ремонте паровых и водяных конусов инжекторов.

Развёртка с конусностью 1 : 12 для отверстий в котлах паровозов под шпильки представлена на фиг. 102.

Для обработки конических отверстий в дышлах паровозов под шарнирные валики применяют конические развёртки (фиг. 103) или конические расточные пластины (фиг. 104).

Конические развёртки более долговечны в работе и позволяют обрабатывать отверстия с большим припуском, а также при наличии в отверстии шпоночного паза, но смена развёртки для обработки противоположного отверстия дышла занимает относительно много времени.

Расточная коническая пластина требует более частой переточки и неприменима при наличии шпоночного паза в растачиваемом отверстии.

Пластина удерживается в пазу расточной оправки сухарём, подобно плавающим резцам, и смена её занимает немного времени.

Конические расточные пластины рекомендуются применять при обработке новых дышел из поковки. Обработку заваренных отверстий, а также отверстий со шпоночным пазом лучше производить развёрткой. При заточке конусных развёрток и пластинок конус проверяют специальным калибром.

На фиг. 105 представлена развёртка для отверстий под контрольные пробки котлов паровозов.

Для получения требуемого диаметра отверстия для градиционного размера резьбы развёртывание производят с ограничительным кольцом соответствующего диаметра.

Заточка

Развёртки затачивают на универсально-заточных станках, переднюю грань затачивают тарельчатым кругом (ГОСТ 2424-52),

смещённым (фиг. 106) на величину $h = \frac{D}{2} \sin \gamma$.

При спиральном зубе заточка производится конической поверхностью круга, смещённой (фиг. 107) на величину

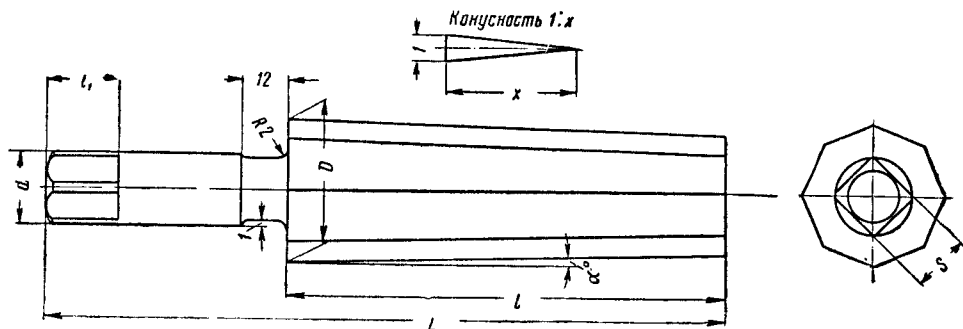
$$X = \frac{D \sin(\gamma + \delta)}{2 \sqrt{\cos^2(\gamma + \delta) + \sin^2(\gamma + \delta) \cos^2 \omega}},$$

где ω — угол наклона зуба развёртки.

Заднюю грань затачивают дисковым (фиг. 108, а) или чашечным (фиг. 108, б) кругом (ГОСТ 2424-52).

При заточке дисковым кругом смещают ось развёртки ниже оси круга на величину $h = \frac{D_{кр}}{2} \sin \alpha$, а при заточке чашечным кругом

выше на величину $H = \frac{D}{2} \sin \alpha$.



Размеры развёрток для инжектора В-170

Назначение развёрток	D	d	S	l	l_1	L	Конусность 1:x	α°
Для входного конуса центрального парового сопла . .	16,23	15	12	106	15	160	1:30	0°52'18"
Для выходного конуса центрального парового сопла . .	14,87	15	12	45	15	80	1:6	4°43'52"
Для входного конуса кольцевого сопла	37,16	20	16	45	19	80	1:3	9°13'3"
Для выходного конуса кольцевого сопла	28,91	15	12	36	15	70	1:6	4°43'54"
Для 3-го конуса конденсационного водяного сопла . .	28,2	15	12	108	15	155	1:10	2°51'19"
Для 4-го конуса конденсационного водяного сопла . .	20,38	15	12	91	15	215	1:12	2°22'54"
Для конуса промежуточного сопла	16,10	15	12	66	15	105	1:12	2°22'54"
Для входного конуса нагнетательного сопла	13,80	12	8	43	12	93	1:10	2°51'19"
Для выходного конуса нагнетательного сопла	19,95	15	12	103	15	143	1:10	2°51'19"

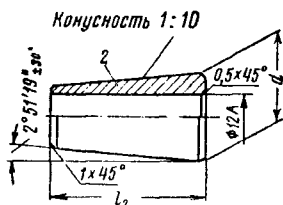
Размеры развёрток для инжектора В-250

Назначение развёрток	D	d	S	l	l_1	L	Конусность 1:x	α°
Для входного конуса центрального парового сопла . .	18,5	15	12	150	15	205	1:30	0°52'18"
Для выходного конуса центрального парового сопла . .	21	15	12	45	15	80	1:6	4°43'52"
Для входного конуса кольцевого сопла	40	20	16	45	19	80	1:3	9°13'3"
Для выходного конуса кольцевого сопла	32	20	16	42	19	77	1:6	4°43'52"
Для 3-го конуса конденсационного водяного сопла . .	32	20	16	135	19	175	1:10	2°51'19"
Для 4-го конуса конденсационного водяного сопла . .	23	15	12	102	15	215	1:12	2°22'54"
Для входного конуса нагнетательного сопла	18,5	15	12	48	15	101	1:6	4°43'52"
Для конуса промежуточного сопла	17,5	15	12	72	15	107	1:12	2°22'54"
Для выходного конуса нагнетательного сопла	23	15	12	125	15	160	1:10	2°51'19"

Размеры развёрток для инжектора Н-400

Назначение развёрток	D	d	S	l	l_1	L	Конусность 1:x	α°
Для входного конуса главного парового сопла	27	15	12	16	15	226	1:26	1°6'6"
Для выходного конуса главного парового сопла	24,30	15	12	48	15	139	1:6	4°45'46"
Для входного конуса сопла разряжения	49,27	20	16	45	19	90	1:4,188	6°48'30"
Для выходного конуса сопла разряжения	43,44	20	16	42	9	90	1:6,25	4°31'26"
Для 1-го конуса верхней части смесительного сопла . .	65	20	16	36	19	70	1:2	14°02'10"
Для 2-го конуса верхней части смесительного сопла . .	53,83	20	16	58	19	100	1:2,944	9°38'54"
Для выходного конуса верхней части смесительного сопла	45,49	20	16	153	19	200	1:17,41	2°45'0"
Для конуса средней части смесительного сопла	32,93	20	16	125	19	160	1:12,028	2°22'50"
Для конуса нижней части смесительного сопла	25,82	15	12	110	15	145	1:15,25	1°52'35"
Для входного конуса нагнетательного сопла	24,85	15	12	88	15	130	1:10	2°51'45"
Для выходного конуса нагнетательного сопла	22,22	15	12	110	15	145	1:9,937	2°32'50"

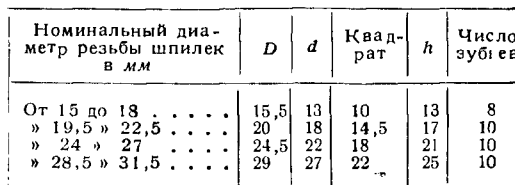
Фиг. 103. Развёртки для проверки конусов инжекторов типов В-170, В-250 и Н-400



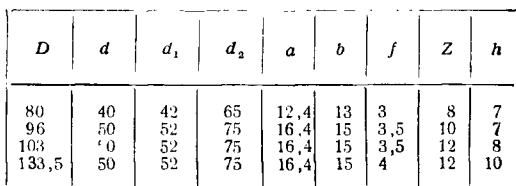
Размеры развёрток с направлением для инжектора В-170

Размеры развёрток с направлением для инжектора В-250

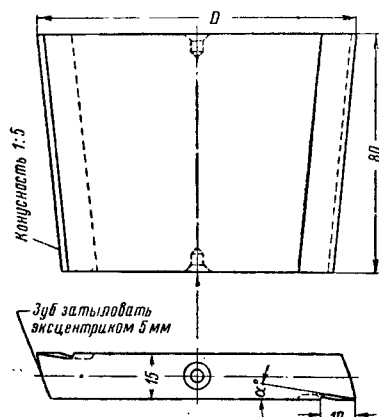
Фиг. 101. Развёртки с направлением для проверки конусов инжекторов типов В-170, В-250:
1—развёртка; 2—втулка направляющая



Фиг. 102. Развёртка для отверстий в котлах под шпильки

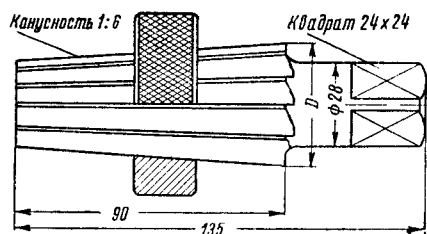


Фиг. 103. Конические развёртки для конических отверстий в дышлах под шарнирные валики паровозов серий ФД, Э, СО. Развёртку праворежущую делать с левой спиралью, леворежущую — с правой спиралью. Угол подъёма спирали 10° .

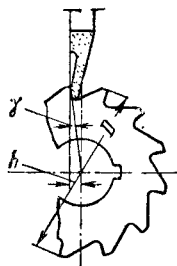


D	α'	D	α'
81,5	11°47'	106	9°30'
97,5	9°53'	136	7°07'

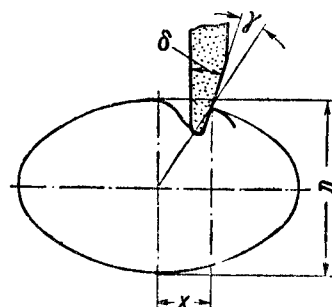
Фиг. 104. Конические расточные пластины для конических отверстий в дышлах под шарнирные валики паровозов серий ФД, Э, СО



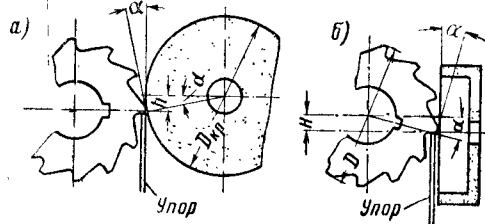
Фиг. 105. Развёртка коническая для отверстий под контрольные пробки котлов паровозов; число зубьев — 12; $D = 35 \div 45$



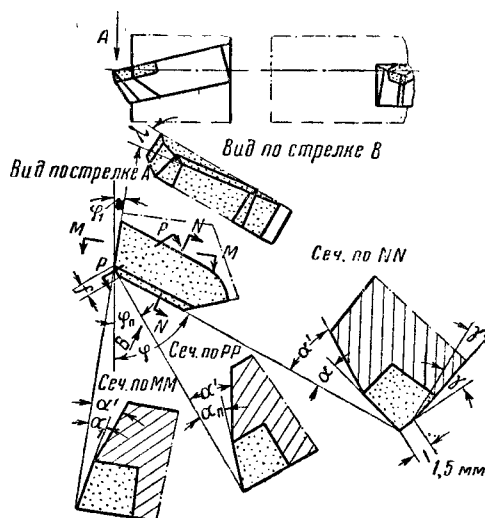
Фиг. 106. Заточка передней грани развёрток



Фиг. 107. Заточка передней грани развёрток с винтовым зубом



Фиг. 108. Заточка задней грани развёрток: а—дисковым кругом; б—чашечным кругом



Фиг. 109. Геометрические параметры режущей части фрезы

Недостатком заточки дисковым кругом является вогнутая форма задней грани.

При заточке заборной части и обратного конуса следует стол станка повернуть на соответствующий угол. Характеристика круга Э, $46 \div 60$, $CM_1—CM_2$, К (для развёрток из инструментальных сталей) и КЗ, $60 \div 80$, $CM_1—CM_2$, К (для твёрдосплавных развёрток). Для доводки передних и задних граней развёрток рекомендуются круги КЗ, 220, C_2 , Б.

Доводку цилиндрической части производят разрезными чугунами притирами с пазами ГОИ 10 мк. Твёрдосплавные развёртки доводят карбидом бора.

Твёрдость

Твёрдость рабочей части развёрток должна быть по H_{RC} :

а) из углеродистой и легированной стали диаметром $3 \div 8$ мм $59 \div 63$, диаметром свыше 8 мм $60 \div 64$;

б) из быстрорежущей и малолегированной быстрорежущей стали $62 \div 65$.

Твёрдость квадратов и лапок хвостовиков у сварных развёрток H_{RC} $30 \div 45$. Корпуса твёрдосплавных развёрток термически обрабатываются до твёрдости H_{RC} $40 \div 45$.

ФРЕЗЫ

В зависимости от назначения фрезы различаются для обработки: а) плоскостей, б) пазов и шлицев, в) фасонных поверхностей и г) для разрезания.

Типы фрез приведены в табл. 32.

Размеры фрез должны соответствовать стандартам, указанным в табл. 32. Размеры отверстий с продольным шпоночным пазом соответствуют ОСТ 1489. У фрез для тяжёлых работ берут торцевой шпоночный паз размерами по ОСТ 2874. Хвостовики концевых фрез выполняют по ГОСТ 2847-45 (размеры) и ГОСТ 2848-45 (допуски).

Технические условия на фрезы приведены в стандартах: ГОСТ 1671-42 (дисковые трёхсторонние и торцевые насадные со вставными ножами), ГОСТ 1695-48 (цилиндрические, торцевые насадные, дисковые трёхсторонние и пазовые), ГОСТ 4049-48 (концевые торцевые), ГОСТ 4050-48 (угловые), ГОСТ 4051-48 (полукруглые вогнутые и выпуклые), ГОСТ 4127-48 (отрезные и прорезные), ГОСТ 4676-49 (концевые обдирочные), ГОСТ 5808-51 (дисковые со вставными твёрдосплавными ножами).

Выбор геометрических параметров режущей части

Геометрические параметры торцевой фрезы приведены на фиг. 109.

Рекомендуемые величины углов заточки приведены в табл. 33.

Рекомендуемые геометрические параметры быстрорежущих фрез различных типов приведены в ГОСТ 2321-43. Задние углы для основных типов фрез приведены в табл. 34.

Передние углы в зависимости от обрабатываемого материала для основных типов фрез приведены в табл. 35.

На задней грани фрез (кроме шлицевых и отрезных) оставляется круглошлифованная ленточка шириной не более 0,1 мм.

При выборе направления спирали зубьев следует учитывать условия отвода стружки и направление осевых сил.

Для фрезерования плоскостей концевыми фрезами на вертикально-фрезерных станках—левое направление зубьев при правом вращении фрезы. Для фрезерования глухих пазов—правое направление зубьев при правом вращении фрезы.

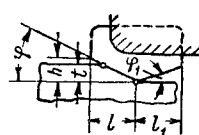
При работе цилиндрическими фрезами на горизонтально-фрезерных станках—левое направление зубьев при правом вращении.

Углы в плане торцевых и дисковых двухсторонних фрез в условиях мелкосерийного и индивидуального производства берутся: $\varphi = 60^\circ$ и $\varphi_n = 30^\circ$. Если производится обработка взаимно перпендикулярных плоскостей, то $\varphi = 90^\circ$ и $\varphi_n = 45^\circ$. При крупносерийной обработке в жёстких условиях рационально применять торцево-конические фрезы, зуб которых характеризуется (фиг. 110) малыми углами в плане $\varphi = 20 \div 30^\circ$; такие фрезы снимают весь припуск наклонными режущими кромками.

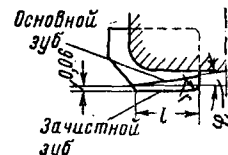
Длина переходной режущей кромки $f = 0,5 \div 2$ мм в зависимости от типо-размера фрезы. При затруднительном изготовлении можно переходные кромки не делать, но это обстоятельство приведёт к понижению производительности.

Вспомогательные углы в плане φ_1 берутся по табл. 36. Большие значения углов φ_1 берутся для фрез больших размеров.

Для получения хорошего качества поверхности при больших подачах применяют



Фиг. 110. Зуб торцево-конической фрезы



Фиг. 111. Зачистной зуб

фрезы с зачистным зубом. Зачистной зуб снимает припуск лишь по торцу, выступая на $0,05 \div 0,06$ мм (фиг. 111). Вспомогательный угол в плане φ_1 зачистного зуба берётся 0° для обработки чугуна и $6 \div 12^\circ$ для обработки стали. Длина $l \geq 30$ мм.

Фрезы, армированные твёрдыми сплавами

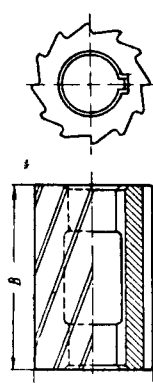
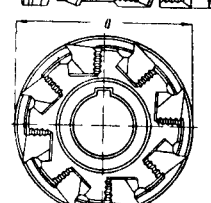
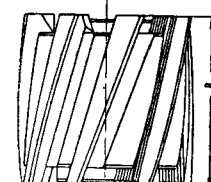
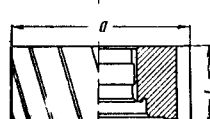
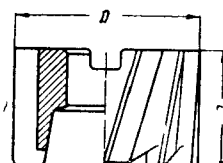
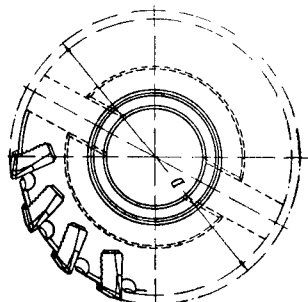
Эти фрезы наиболее широко применяются для скоростного торцевого фрезерования.

Диаметр торцевых фрез для скоростного резания выбирают из условия $D \geq (1,2 \div 1,4)B$, где B —ширина заготовки.

Число зубьев у твёрдосплавных фрез для обработки сталей $z \approx 0,04 D$ (при $D \leq 200$ мм) и $z \approx 0,04 D - 2$ (при $D > 200$ мм); для обработки чугуна $z \approx 0,1 D$ у малых фрез с

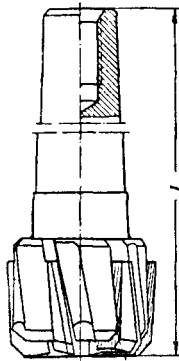
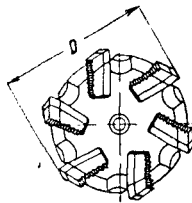
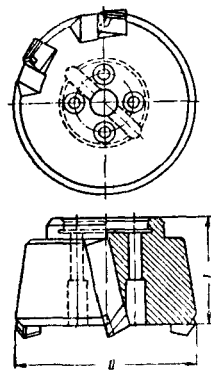
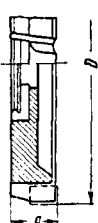
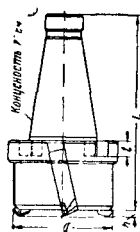
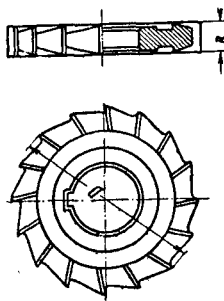
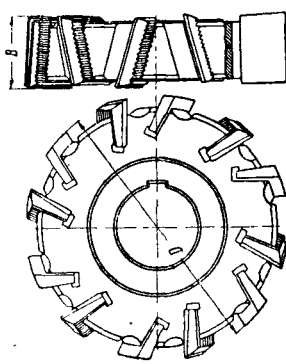
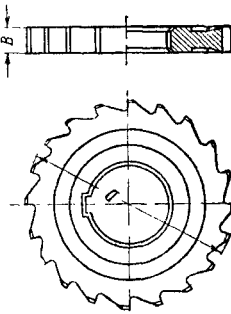

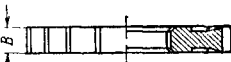
Таблица 32

Типы фрез
Цилиндрические

С мелким зубом ГОСТ 3752-47		Со вставными ножами одинарные ГОСТ 1979-52		Со вставными ножами составные ГОСТ 1979-52																																														
	<table><tr><th>B</th><th>мм</th></tr><tr><td>40</td><td>25 ÷ 60</td></tr><tr><td>50</td><td>30 ÷ 75</td></tr><tr><td>60</td><td>40 ÷ 100</td></tr><tr><td>75</td><td>50 ÷ 125</td></tr><tr><td>90</td><td>60 ÷ 150</td></tr></table>	B	мм	40	25 ÷ 60	50	30 ÷ 75	60	40 ÷ 100	75	50 ÷ 125	90	60 ÷ 150		<table><tr><th>D</th><th>B</th><th>мм</th></tr><tr><td>75</td><td>60 ÷ 75</td></tr><tr><td>90</td><td>60 ÷ 100</td></tr><tr><td>110</td><td>60 ÷ 125</td></tr><tr><td>130</td><td>60 ÷ 150</td></tr><tr><td>150</td><td>60 ÷ 150</td></tr></table>	D	B	мм	75	60 ÷ 75	90	60 ÷ 100	110	60 ÷ 125	130	60 ÷ 150	150	60 ÷ 150		<table><tr><th>D</th><th>B</th><th>мм</th></tr><tr><td>75</td><td>75 ÷ 150</td></tr><tr><td>90</td><td>75 ÷ 187,5</td></tr><tr><td>110</td><td>100 ÷ 250</td></tr><tr><td>130</td><td>100 ÷ 300</td></tr><tr><td>150</td><td>150 ÷ 300</td></tr><tr><td>175</td><td>150 ÷ 300</td></tr><tr><td>200</td><td>200 ÷ 300</td></tr></table>	D	B	мм	75	75 ÷ 150	90	75 ÷ 187,5	110	100 ÷ 250	130	100 ÷ 300	150	150 ÷ 300	175	150 ÷ 300	200	200 ÷ 300			
B	мм																																																	
40	25 ÷ 60																																																	
50	30 ÷ 75																																																	
60	40 ÷ 100																																																	
75	50 ÷ 125																																																	
90	60 ÷ 150																																																	
D	B	мм																																																
75	60 ÷ 75																																																	
90	60 ÷ 100																																																	
110	60 ÷ 125																																																	
130	60 ÷ 150																																																	
150	60 ÷ 150																																																	
D	B	мм																																																
75	75 ÷ 150																																																	
90	75 ÷ 187,5																																																	
110	100 ÷ 250																																																	
130	100 ÷ 300																																																	
150	150 ÷ 300																																																	
175	150 ÷ 300																																																	
200	200 ÷ 300																																																	
Торцевые																																																		
Насадные с мелким зубом ГОСТ 3753-47		Насадные с крупным зубом ГОСТ 3254-47		Насадные диаметром до 225 мм со вставными ножами ГОСТ 1092-52																																														
	<table><tr><th>D</th><th>L</th><th>мм</th></tr><tr><td>40</td><td>20 ÷ 40</td></tr><tr><td>50</td><td>25 ÷ 50</td></tr><tr><td>60</td><td>30 ÷ 60</td></tr><tr><td>75</td><td>35 ÷ 75</td></tr><tr><td>90</td><td>35 ÷ 85</td></tr><tr><td>110</td><td>35 ÷ 95</td></tr></table>	D	L	мм	40	20 ÷ 40	50	25 ÷ 50	60	30 ÷ 60	75	35 ÷ 75	90	35 ÷ 85	110	35 ÷ 95		<table><tr><th>D</th><th>L</th><th>мм</th></tr><tr><td>60</td><td>40</td></tr><tr><td>75</td><td>45</td></tr><tr><td>90</td><td>50</td></tr><tr><td>110</td><td>60</td></tr></table>	D	L	мм	60	40	75	45	90	50	110	60		<table><tr><th>D</th><th>B</th><th>мм</th></tr><tr><td>75</td><td>36</td></tr><tr><td>90</td><td>39</td></tr><tr><td>110</td><td>41</td></tr><tr><td>130</td><td>41</td></tr><tr><td>150</td><td>45</td></tr><tr><td>175</td><td>45</td></tr><tr><td>200</td><td>45</td></tr><tr><td>225</td><td>45</td></tr></table>	D	B	мм	75	36	90	39	110	41	130	41	150	45	175	45	200	45	225	45
D	L	мм																																																
40	20 ÷ 40																																																	
50	25 ÷ 50																																																	
60	30 ÷ 60																																																	
75	35 ÷ 75																																																	
90	35 ÷ 85																																																	
110	35 ÷ 95																																																	
D	L	мм																																																
60	40																																																	
75	45																																																	
90	50																																																	
110	60																																																	
D	B	мм																																																
75	36																																																	
90	39																																																	
110	41																																																	
130	41																																																	
150	45																																																	
175	45																																																	
200	45																																																	
225	45																																																	

Торцевые

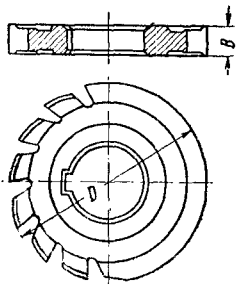
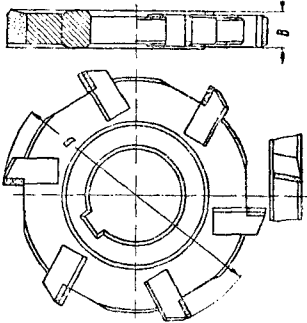
Продолжение табл. 32

С коническим хвостом и вставными ножами ГОСТ 2637-44			Насадные со вставными ножами ГОСТ 3876-47			Оснащенные твёрдым сплавом ГОСТ 3879-47																														
																																				
<table><tr><th>D мм</th><th>L мм</th></tr><tr><td>35</td><td>110</td></tr><tr><td>40</td><td>125</td></tr><tr><td>45</td><td>125</td></tr><tr><td>50</td><td>125</td></tr><tr><td>50</td><td>150</td></tr><tr><td>60</td><td>150</td></tr></table>	D мм	L мм	35	110	40	125	45	125	50	125	50	150	60	150				<table><tr><th>D мм</th><th>L мм</th></tr><tr><td>175</td><td>80</td></tr><tr><td>200</td><td>80</td></tr><tr><td>225</td><td>100</td></tr><tr><td>250</td><td>80</td></tr><tr><td>300</td><td>100</td></tr><tr><td>350</td><td>100</td></tr><tr><td>400</td><td>100</td></tr></table>			D мм	L мм	175	80	200	80	225	100	250	80	300	100	350	100	400	100
D мм	L мм																																			
35	110																																			
40	125																																			
45	125																																			
50	125																																			
50	150																																			
60	150																																			
D мм	L мм																																			
175	80																																			
200	80																																			
225	100																																			
250	80																																			
300	100																																			
350	100																																			
400	100																																			
																																				
			<table><tr><th>D мм</th><th>L мм</th></tr><tr><td>75</td><td>160</td></tr><tr><td>90</td><td>200</td></tr><tr><td>110</td><td>290</td></tr><tr><td>130</td><td>210</td></tr><tr><td>150</td><td>210</td></tr></table>			D мм	L мм	75	160	90	200	110	290	130	210	150	210																			
D мм	L мм																																			
75	160																																			
90	200																																			
110	290																																			
130	210																																			
150	210																																			
Трёхсторонние с мелким зубом ГОСТ 3755-47			Трёхсторонние со вставными ножами ГОСТ 1689-52			Дисковые пазовые ГОСТ 3964-47																														
																																				
<table><tr><th>D мм</th><th>B мм</th></tr><tr><td>60</td><td>6, 8, 10, 12</td></tr><tr><td>75</td><td>8, 10, 12, 14</td></tr><tr><td>90</td><td>10, 12, 14, 16</td></tr><tr><td>110</td><td>12, 14, 16</td></tr></table>	D мм	B мм	60	6, 8, 10, 12	75	8, 10, 12, 14	90	10, 12, 14, 16	110	12, 14, 16				<table><tr><th>D мм</th><th>B мм</th></tr><tr><td>75</td><td>12 ÷ 24</td></tr><tr><td>90</td><td>12 ÷ 24</td></tr><tr><td>110</td><td>12 ÷ 23</td></tr><tr><td>130</td><td>12 ÷ 28</td></tr><tr><td>150</td><td>12 ÷ 34</td></tr><tr><td>175</td><td>12 ÷ 34</td></tr><tr><td>200</td><td>12 ÷ 40</td></tr><tr><td>225</td><td>12 ÷ 40</td></tr><tr><td>250</td><td>16 ÷ 40</td></tr></table>			D мм	B мм	75	12 ÷ 24	90	12 ÷ 24	110	12 ÷ 23	130	12 ÷ 28	150	12 ÷ 34	175	12 ÷ 34	200	12 ÷ 40	225	12 ÷ 40	250	16 ÷ 40
D мм	B мм																																			
60	6, 8, 10, 12																																			
75	8, 10, 12, 14																																			
90	10, 12, 14, 16																																			
110	12, 14, 16																																			
D мм	B мм																																			
75	12 ÷ 24																																			
90	12 ÷ 24																																			
110	12 ÷ 23																																			
130	12 ÷ 28																																			
150	12 ÷ 34																																			
175	12 ÷ 34																																			
200	12 ÷ 40																																			
225	12 ÷ 40																																			
250	16 ÷ 40																																			
						<table><tr><th>D мм</th><th>B мм</th></tr><tr><td>60</td><td>5, 6, 7, 8</td></tr><tr><td>75</td><td>7, 8, 10, 12</td></tr><tr><td>90</td><td>10, 12, 14, 16</td></tr></table>			D мм	B мм	60	5, 6, 7, 8	75	7, 8, 10, 12	90	10, 12, 14, 16																				
D мм	B мм																																			
60	5, 6, 7, 8																																			
75	7, 8, 10, 12																																			
90	10, 12, 14, 16																																			
																																				

Дисковые и пазовые

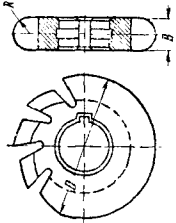
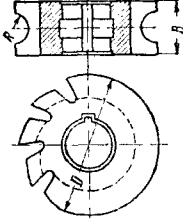
Продолжение табл. 32

Пазовые заталованные ОСТ 20194-40		Трёхсторонние, оснащённые твёрдым сплавом, ГОСТ 5348-50	
<i>D</i> мм	<i>B</i> мм	<i>D</i> мм	<i>B</i> мм
50	4, 5, 6	90	10 ÷ 26
60	5, 6, 7, 8	110	
75	7, 8, 10, 12	130	12 ÷ 26
90	10, 12, 14, 16	150	
		175	
		200	14 ÷ 30
		225	
		250	
		300	18 ÷ 30
		350	

Фасонные

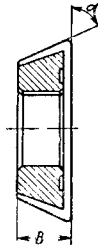
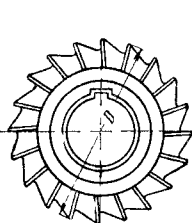
Полукруглые выпуклые ГОСТ 3962-47		Полукруглые вогнутые ГОСТ 3963-47	
<i>D</i> мм	<i>R</i> мм	<i>D</i> мм	<i>R</i> мм
45	1,5; 2	45	1,5; 2
55	2,5; 3	55	2,5; 3
60	4; 5	60	4; 5
65	6; 7	65	6; 7
75	8	75	8
80	9	80	9
85	10	85	10
90	12	90	12

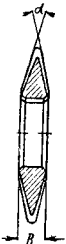
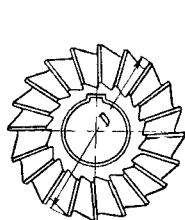



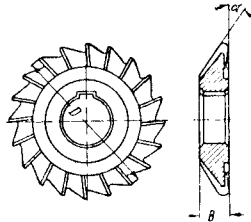
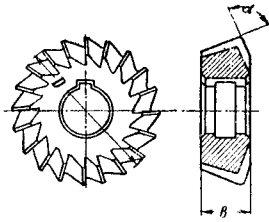
Угловые

Продолжение табл. 32

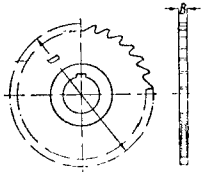
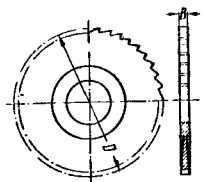
Одноугловые ГОСТ 3960-47			Двухугловые для канавок затылованных фрез с винтовым зубом ГОСТ 3966-47	
D мм	B мм	α°	D мм	α°
35	8 10	60 65÷90	60	18, 22 25, 30
45	13	55÷90	75	18, 22 25, 30
60	16 20	55÷70 75÷90	90	18, 22 25, 30





Для канавок затылованных фрез с прямым зубом ГОСТ 3965-47			Двухугловые несимметричные ГОСТ 3961-47		
D мм	α°		D мм	α°	
60	18, 22 25, 30		35	55, 60, 65, 70	
75	18, 22 25, 30		45	75, 80, 85	
90	18, 22 25, 30		60	90, 100	
			75	50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90	
			90	50, 55, 60, 65, 70, 75, 80	

Отрезные и прорезные

Отрезные (пилы круглые) ГОСТ 2679-44			Прорезные (шлицевые) ГОСТ 2680-44		
D мм	B мм		D мм	B мм	
60	1; 1,5; 2; 2,5		40	0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0	
75	1; 1,5; 2; 2,5; 3		60	0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,5; 2,0	
110	1,5; 2; 2,5; 3; 3,5		75	1,0; 1,2; 1,5; 2,0 2,5; 3,0; 4,0; 5,0	
150	2; 2,5; 3; 3,5; 4				
200	3; 3,5; 4,5				

Продолжение табл. 32

Косцевые

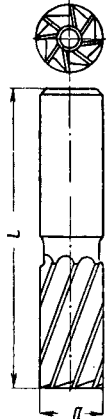
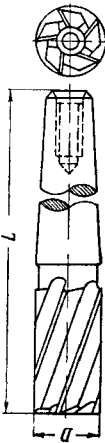
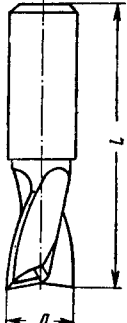
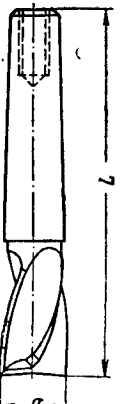
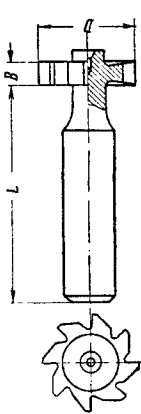
Концевые с цилиндрическим хвостом ГОСТ 3958-47		Концевые обдирочные ГОСТ 4675-49					
<i>D</i> мм	<i>L</i> мм	<i>D</i> мм	<i>L</i> мм	<i>l</i> мм	<i>D</i> мм	<i>L</i> мм	<i>l</i> мм
3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 и 20		25	150 185 215	48 82 112	45	225 270 315	70 115 160
		30	180 210 245	55 85 120	50	225 270 315	70 115 160
		35	185 220 255	60 95 130	60	235 315 355	80 160 200
		40	190 225 265	65 100 140			
Концевые с коническим хвостом ГОСТ 3959-47		Шпоночные					
<i>D</i> мм	<i>L</i> мм						
14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 30, 35, 40, 45, 50							
С цилиндрическим хвостом ОСТ НКТП 3942		С коническим хвостом ОСТ НКТП 3943		Для шпонок сегментных ОСТ НКТП 20135.39			
<i>D</i> мм	<i>L</i> мм						
3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20		<i>D</i> мм	16, 18, 20, 24, 28, 32, 36, 40	<i>B</i> мм		2, 3, 4, 5, 6, 8 и 10	

Таблица 33

Углы заточки твёрдосплавных торцевых фрез

Обрабатываемый материал	Углы заточки ножей в сборе в градусах							
	α	α'	γ	γ'	λ	φ	φ_n	φ_1
Сталь $\sigma_{нч} < 110 \text{ кг/мм}^2$	15	20	$+5 \div -5$	$10-0$	15	60	30	5
» $\sigma_{нч} > 110 \text{ кг/мм}^2$	20	25	-10	-5	15	60	30	5
Чугун серый	12	17	$+5$	$+10$	$0 \div 15$	60	30	5

Примечания. 1. $\gamma = +5^\circ$ при обработке стали применяется при недостаточной мощности и жёсткости станка.
 2. Задние углы вспомогательной и переходной режущих кромок берутся равными главному заднему углу $\alpha_1 = \alpha_n = \alpha$.

Таблица 34

Задние углы быстрорежущих фрез

Наименование фрезы	Характеристика фрезы и её размеры	Задние углы в градусах	
		α	α_1
Цилиндрические и торцевые	С мелкими зубьями	16	8
	С крупными зубьями и со вставными ножами	12	
Шпоночные	$D \leq 16 \text{ мм}$	20	8
	$D > 16 \text{ мм}$	16	
Концевые с цилиндрическим или коническим хвостом	$D = 10 \text{ мм}$	25	8
	$D < 20 \text{ мм}$	20	
	$D > 20 \text{ мм}$	16	
Дисковые двух- и трёхсторонние	С прямыми мелкими зубьями	20	6
	С прямыми крупными или со вставными зубьями	16	
	С наклонными мелкими зубьями	16	
	С наклонными крупными или со вставными зубьями	12	
Дисковые пазовые незатылованные		20	—
Шлицевые (прорезные)		30	—
Отрезные (пилы)		20	—
Угловые		16	8

Таблица 35

Передние углы быстрорежущих фрез в градусах

Группа	Обрабатываемый материал	Цилиндрические концевые, шпоночные, торцевые, дисковые двух- и трёхсторонние	Дисковые односторонние и прорезные (шлицевые) фрезы				Фасонные и угловые фрезы	
			с крупным зубом		с мелким зубом		для грубой обработки	для финишной обработки
			при ширине B мм					
			$B < 3$	$B > 3$	$B < 3$	$B > 3$		
1	Алюминиевые и магниевые сплавы	25÷30	10	25	—	—	20	10
2	Стали углеродистые и легированные $\sigma_{нч} < 60 \text{ кг/мм}^2$, латунь вязкая	20	—	—	5	10	15	10
3	Стальное литьё, стали углеродистые, инструментальные и легированные $\sigma_{нч} = 60 \div 100 \text{ кг/мм}^2$, чугун серый и ковкий $H_B < 150$	15	—	—	5	10	15	5
4	Стальное литьё, стали углеродистые, легированные и инструментальные $\sigma_{нч} > 100 \text{ кг/мм}^2$, чугун серый и ковкий $H_B > 150$, бронза, латунь хрупкая	10	—	—	5	10	10	5

Таблица 36

Вспомогательные углы в плане у фрез

Типы фрез	φ_1
Торцевые, концевые, дисковые и пазовые (при грубых допусках паза) Торцевые чистовые	$1 \div 2^\circ$ 0° на длине $(4 \div 6) S$, далее 2°
Торцевые и концевые без торцевых зубьев (при $\alpha_1 \approx 0^\circ$)	$8 \div 10^\circ$
Дисковые и пазовые для точных и чистовых работ	$30' \div 1^\circ$
Шлицевые	$30' \div 1^\circ 30'$
Пилы (отрезные)	$15' \div 1^\circ$
Шпоночные	$4 \div 6^\circ$

припаянными зубьями и $z = (0,07 \div 0,08) D$ у крупных фрез с механическим креплением ножей. Для удобства замера z берётся чётным.

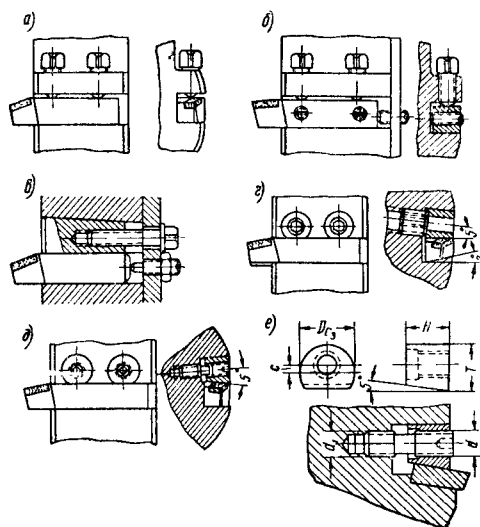
Вылет зубьев не должен превышать ширины их, а в случае механического крепления пластинки твёрдого сплава вылет допускается не более $2 \div 3 \text{ мм}$.

Методы крепления вставных зубьев приведены на фиг. 112. Крепление a наиболее простое, но при этом неудобна регулировка и возможно повреждение поверхности зубьев при многократном зажиме.

Для облегчения регулировки возможно применение конструкции с тремя опорными винтами b .

Крепление клином $в$ позволяет также удобное регулирование и обеспечивает прочное закрепление, но требует точной пригонки угла клиньев. На фиг. 112, $г$ представлено крепление клиновой втулкой и винтом, рекомендуемое ГОСТ 3879-47.

На фиг. 112, $д$ представлено крепление при помощи клиновой втулки и дифференциального винта. Разность шагов на диаметрах d_1 и d рекомендуется $t_1 - t = 0,5 \text{ мм}$. Креп-



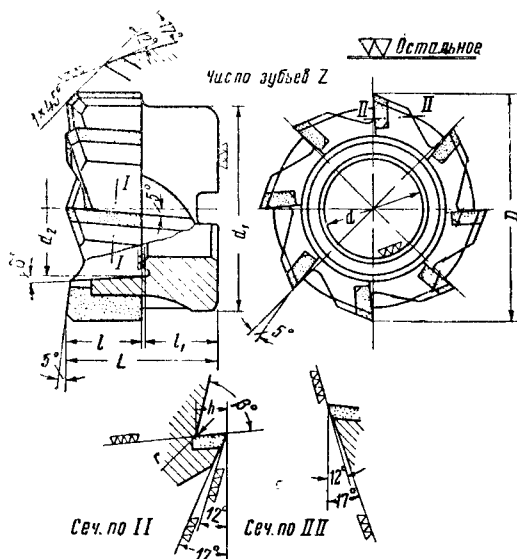
Фиг. 112. Крепление вставных зубьев

ление клиновой втулкой обеспечивает высокую жёсткость и виброустойчивость фрезы.

Конструкция с дифференциальным винтом, кроме того, устраняет возможность заедания втулки и применяется для механического крепления пластинок твёрдого сплава (фиг. 112, $е$). Данный метод применяется также для концевых, дисковых и фасонных фрез. Пластины у фрез малых размеров обычно крепятся путём припайки непосредственно к корпусу.

Крепление вставных зубьев у торцевых фрез на рифлях (ГОСТ 2568-44) следует рекомендовать главным образом для быстрорежущих фрез, так как заточка при этом креплении должна производиться в собранном виде, что может вызвать излишний расход твердого сплава и, кроме того, размеры пазов недостаточны для обеспечения необходимой жесткости при скоростном резании.

На фиг. 113 и 114 приведены нормали ВНИИ на твердосплавные фрезы для обработки чугуна.



D		d	z	L		l	l ₁
номинальный	допуск			номинальный	допуск		
60	B ₃	27	8	40	+0,8	20	20
75	ОСТ	32	8	45	+0,8	24	20
90	1010	32	10	50	+0,8	26	20
110		40	12	60	+0,99	30	25

Продолжение

d ₁	d ₂	δ°	h	β°	r	Размеры пластинок
55	33	0	7	70	2,0	20×10×3,5
65	42	5	8	75	2,5	24×11×3,5
70	42	5	9	70	3,0	26×12×4,0
85	55	10	10	65	3,0	30×12×4,0

Фиг. 113. Твердосплавная фреза для обработки чугуна. Материал корпуса Ст. 40 (ГОСТ 4543-48); закалить до $HRC=35 \div 40$.

Пластинки твердого сплава марки ВК8. Допуск на d и размеры шпоночной канавки по ОСТ НКТП 2874.

Биеение зубьев по диаметру, по торцу и по фаске при контроле в центрах не должно превышать 0,03 мм.

У фрез малых диаметров (фиг. 113) с целью увеличения числа зубьев производится припайка пластинок. У крупных фрез (фиг. 114) вставные ножи 2 крепятся в пазах корпуса 1 попарно при помощи клиньев 4, затягиваемых гайками 7. Наличие сферических шайб 5 и 6 обеспечивает самоустанавливаемость клиньев. На фиг. 115 приведена нормаль на вставные ножи, а на фиг. 116 — на клинья. У новых ножей вспомогательная задняя грань с целью облегчения заточки выполняется под углом $\varphi_1 = 20^\circ$ на длине $b_0 \approx \frac{b}{3}$. По мере переточки b_0 достигает значения b . На фиг. 117

приведены фрезы с механическим креплением ножей для обработки стали.

В последнее время армирование твердым сплавом широко применяется не только для фрез торцевых, но и других типов. На фиг. 118 и 119 приведены дисковые трехсторонние фрезы, оснащенные твердым сплавом. Фрезы (фиг. 118) имеют вставные ножи 2 с припаянными пластинками твердого сплава, закрепляемые в корпусе 1 при помощи клиньев 3. У фрез на фиг. 119 крепятся непосредственно пластинки твердого сплава, что позволяет увеличить число зубьев.

В качестве опоры для пластинок (ножей 2 и 3) используются рифленые клинья 6. На фиг. 120 приведены нормали ВНИИ на концевые фрезы, оснащенные твердым сплавом, а на фиг. 121 — на шпоночные фрезы.

Летучие фрезы

Летучие фрезы применяются для обработки плоскостей. Имеют 1—3 зуба. Эти фрезы позволяют широко применять скоростное резание на маломощном оборудовании в индивидуальном и мелкосерийном производстве; отличаются значительной простотой и дешевизной при изготовлении, наладке и эксплуатации, но в сравнении с многозубыми эти фрезы менее производительны.

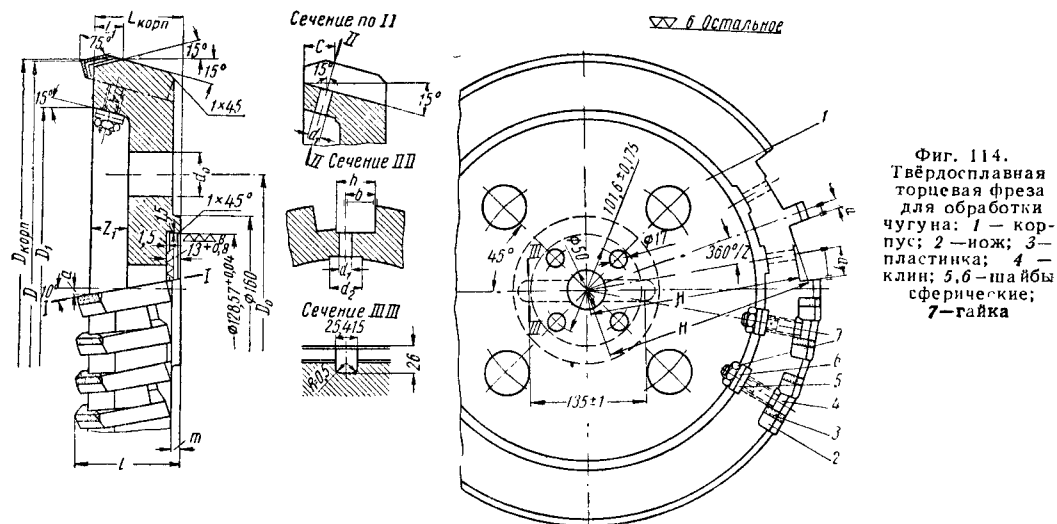
Применение цилиндрических корпусов (фиг. 122, а) с отверстиями для резцов, расположенными на различных радиусах, позволяет повысить универсальность этих фрез. В частности, возможна настройка на одновременную обработку двух и большего числа плоскостей (фиг. 122, в), а также на ступенчатое фрезерование (фиг. 122, е), позволяющее работать со значительными подачами.

При ступенчатом фрезеровании главной режущей кромкой становится торцевая и поэтому припуск, снимаемый каждым зубом, выбирают исходя из рациональной толщины среза a . Количество зубьев $z = \frac{t}{a}$.

Концевые обдирочные фрезы

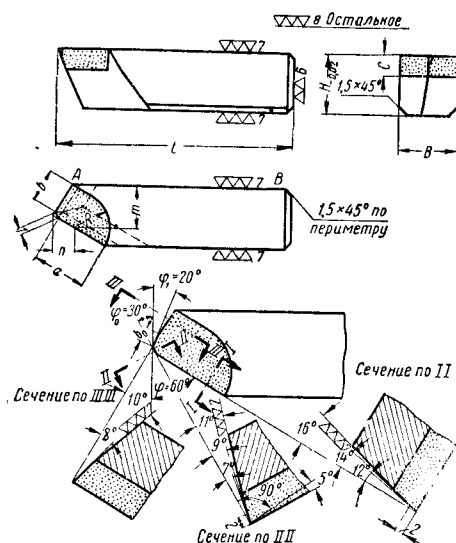
Применяются для обработки плоскостей при значительных припусках на обработку. Размеры берутся по ГОСТ 4675-49, а технические условия по ГОСТ 4676-49.

Режущие кромки снабжают стружкообразительными канавками особого профиля (фиг. 123).



D фрезы	L фрезы	D корпуса		L корпуса	число пазов	D ₁	Z ₁	l ₁	m	D ₀	d ₀	a		a ₁		H		b		c		d ₁	d ₂	h
		номинальный	допуск									номинальный	допуск	номинальный	допуск	номинальный	допуск	номинальный	допуск	номинальный	допуск			
250	85	20	±1,0	72	10	183	30	19	—	—	—	3,6	±0,1	21,6	±0,1	110,76	±0,03	27,7	±0,15	26	±0,15	14	28	40
300	85	24	±1,0	72	12	235	30	19	—	—	—	4,8	±0,1	22,8	±0,1	135,76	±0,03	27,3	±0,15	26	±0,15	14	28	40
400	85	32	±1,0	72	16	333	30	19	—	—	—	7,1	±0,1	25,1	±0,1	185,76	±0,03	27,0	±0,15	26	±0,15	14	28	40
500	115	36	±1,2	100	18	405	40	30	10	26	50	9,2	±0,1	31,2	±0,1	231,64	±0,03	33,4	±0,2	32,7	±0,2	16	32	45
600	115	42	±1,2	100	21	505	40	30	10	31	80	11,5	±0,1	33,5	±0,1	281,64	±0,05	33,2	±0,2	32,7	±0,2	16	32	45

Примечания. 1. Бление по главным и вспомогательным режущим кромкам не должно превышать 0,05 мм.
2. Сопряженные плоскости ножей, клин и пазов корпуса должны плотно прилегать друг к другу. Щуп 0,04 мм не должен проходить.
3. Допускается изготовление корпуса фрезы из литой стали и модифицированного чугуна.
4. Допуск на размер H в пределах одного корпуса 0,03—0,05, в разных корпусах ±0,2 мм.

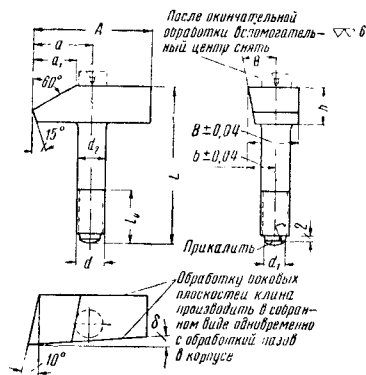


Фиг. 115. Нож к торцевым фрезам

Диаметр фрезы в мм	Основные размеры резца			№ формы и размеры пластин					m	n	Количество штук в комп- лекте
	B	H	L	№ пла- стины	a	b	c	R			
250	20	18	85	1015	20	12	7	12,5	14	6,93	20
300											24
400											32
500	22	22	105	1021	30	16	9,5	15	18	8,66	36
600											42

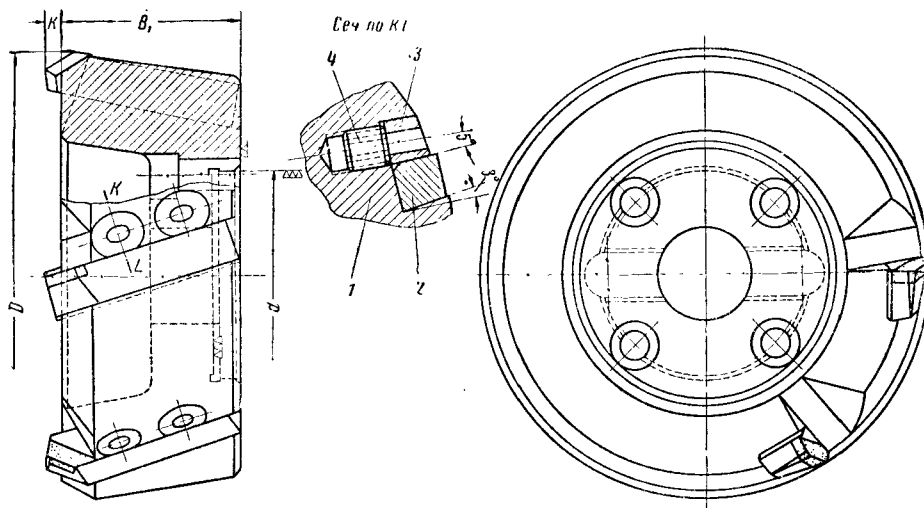
Примечания. 1. При заточке и контроле за базовую плоскость принять плоскость АР.

2. Заточку под углом φ_1 производить в собранном виде.



Диаметр фрезы	A	B	L	d	d ₁	d ₂	n	l ₀	h	a	a ₁	b	θ	b	Количество штук в комплекте
250	52	23,0	56	M12×1,75	8	12	8	18	16	26	19	4°50'	18°	13,3	10
300		22,8	58									4°00'	15°	13,5	12
400		22,3	58									3°00'	11°15'	13,3	16
500	66	23,3	80	M14×2	10	14	10	20	20	32,7	30	2°40'	10°	11,9	18
600		24,3	80									2°18'	6°34'	13,1	21

Фиг. 116. Клины к торцевым фрезам



D мм		d мм		B ₁ мм	Z число ножей	K мм
номинальный	допуск	номинальный	допуск			
130	-1,6	69,83	+0,03	60	5	5
150	-1,6	69,832	+0,03	60	5	5
200	-1,9	88,88	+0,03	60	8	5
250	-1,9	123,57	+0,01	70	8	8
300	-2,2	128,57	+0,01	70	10	8
350	-2,2	128,57	+0,01	70	12	8
400	-2,5	128,57	+0,01	70	14	8

Фиг. 117. Твердосплавная фреза для обработки стали: 1 - корпус; 2 - нож; 3 - клин; 4 - винт с внутренним шестигранником.

Биение относительно диаметра d при прижатии к опорному торцу по режущим кромкам не должно превышать 0,03 мм.

Размеры шпоночного паза и посадочного отверстия к шпинделю по ГОСТ 836-47.

Твёрдый сплав Т15К3

В зависимости от размера фрез элементы канавки берут следующими:

$$r_1 = 1 \div 1,5 \text{ мм}, r_2 = 0,6 \div 1,2 \text{ мм},$$

$$S = 6 \div 10 \text{ мм}, h = 6 \div 12 \text{ мм}$$

$$\text{и } \beta = 30 \div 45^\circ.$$

Профиль каждого последующего зуба (фиг. 123) смещён на величину

$$X = \frac{S}{Z}.$$

Такая конструкция способствует понижению деформации стружки.

Изготовление зубьев рассматриваемых фрез производится на затыловочных станках путём «косого» затылования. Угол поворота суппор-

та τ , обеспечивающий движение затыловочного резца перпендикулярно линии центров станка, выразится:

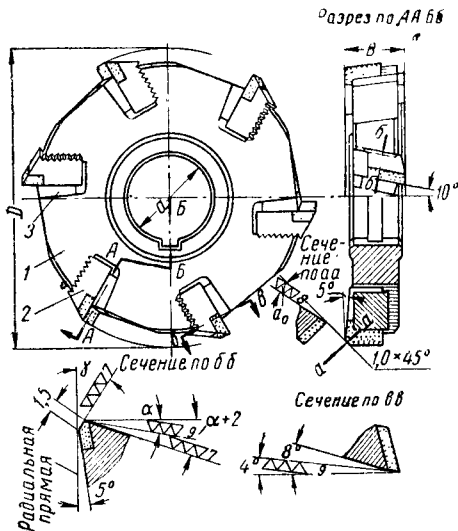
$$\tau = \frac{S}{\pi D \operatorname{tg} \alpha}.$$

При обработке головок дышел паровозов по контуру применяют специальные обдирочные и чистовые концевые фрезы (фиг. 124 и 125).

Эти фрезы отличаются от стандартных большей длиной, а также наличием замка, предотвращающего проворачивание фрезы при больших нагрузках.

Фрезами по фиг. 126 и 127 обрабатывают проушины дышел по всей ширине за один проход

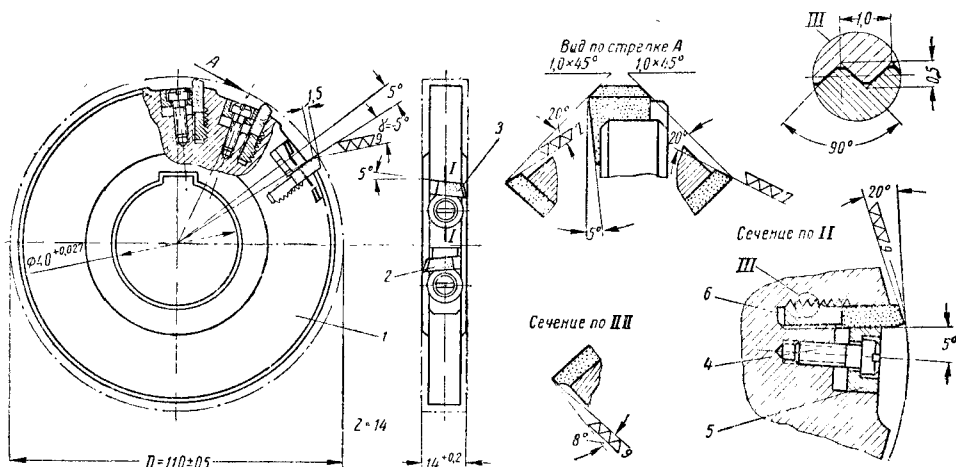
Этими же фрезами выполняют ряд других тяжёлых фрезерных операций



Фиг. 118. Фрезы дисковые трёхсторонние для скоростного фрезерования: 1—корпус; 2—нож; 3—клин

D		B		d		Z
номинальный	допуск	номинальный	допуск	номинальный	допуск	
90	+2 -1	8-26	+0,3 +0,2	32	+0,027	6
110		8-26		32		6
130		10-18		40		8
150		20-26		50		10
175		12-18		50		8
		20-30				10
		12-32				8
		24-30				8
200		12-22		60	+0,03	12
225		24-30		60		10
250		12-30		60		12
		12-30		60		14

Нормальный ряд ширины фрез B в мм: 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 24; 26; 28; 30



Фиг. 119. Фреза дисковая трёхсторонняя с механическим креплением пластинок твёрдого сплава: 1—корпус; 2—нож правый; 3—нож левый; 4—винт; 5—клин; 6—клин рифлёный левый; 7—клин рифлёный правый. Биевание зубьев при контроле в центрах на оправке с буртиком не должно превышать 0,03 мм по диаметру, торцам и фаске. Пластины по ГОСТ 2209-49, форма 0207

Фасонные фрезы

Обычно применяются с зубьями, затылованными по Архимедовой спирали (фиг. 128). Затылование выполняют на затыловочных станках и на токарных со специальными приспособлениями.

Перетачивают такие фрезы лишь по передней грани.

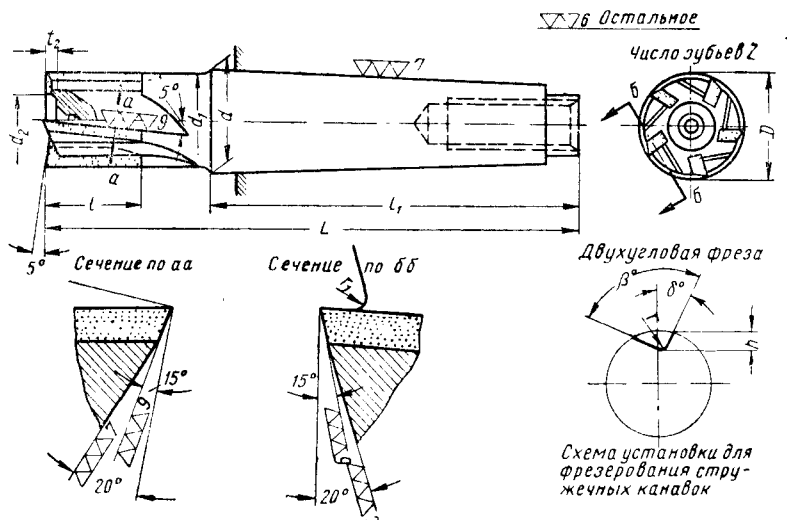
Задний угол на периферии $\alpha = 10 \div 14^\circ$.

Падение затылка $K = \frac{\pi D}{Z} \operatorname{tg} \alpha$ и далее уточняется в соответствии с имеющимся набором кулачков.

Задний угол в произвольной точке профиля

$$\operatorname{tg} \alpha_a = \operatorname{tg} \alpha \cos \varphi \frac{D}{D_a}.$$

Желательно выдержать условие $\operatorname{tg} \alpha_{\text{наим}} \geq 2^\circ$.



D		L		l±0,6	z	d ₁ B ₇	d ₂ A ₁	t ₂ +0,4	β°	α°	h A ₇	r	r ₁	Конус Морзе	l ₁	d	Диаметр центрального отверстия	№ пластинки по ГОСТ 2209-49			
номинальный	допуск	номинальный	допуск																		
12	±0,12	90	±1,10	12	4	11	5,5	1,5	90	15	2,0	0,5	0,5	№ 1	57	12,240	1,0	2101			
14 16		105		15		13 15	7,0 8,0	2,0 2,5	90 85	15 15	2,5 2,5				№ 2	68	17,980	1,5	2105		
18		20		17		9,0	3,0	80	15	2,5	1,0					№ 3	85		24,051	2	2109
20 22 25	±0,14	125	20	5	19 21 23,5	10,0 12 12	4,0 5 5,5	85 90 80	15 20 15	3,0 3,0 3,0		1,0	1,5	№ 4			108		31,542		2,5
28 30		150	26 28		14 15	6,0 6,5	85 80	15 15	3,5 4,0	2,0					1,5		№ 5	136	44,731		
35 40		±0,17	190		25	6	30 30	18 22	7,0 8,0		85 85					15 15		5,0 6,0	2,0	1,5	
45 50	30		41 43	24 28	8,5 9,5		85 85	15 15	7,0 8,0												

Примечания. 1. Материал корпуса — сталь 40X (ГОСТ 4543-48) или сталь 50 (ГОСТ В 1050-41). Калить до $H_{RC} = 38 \div 45$, хвостовик $H_{RC} = 30 \div 40$.

2. Материал пластинок — твердый сплав марки Г15К6 или ВК6.

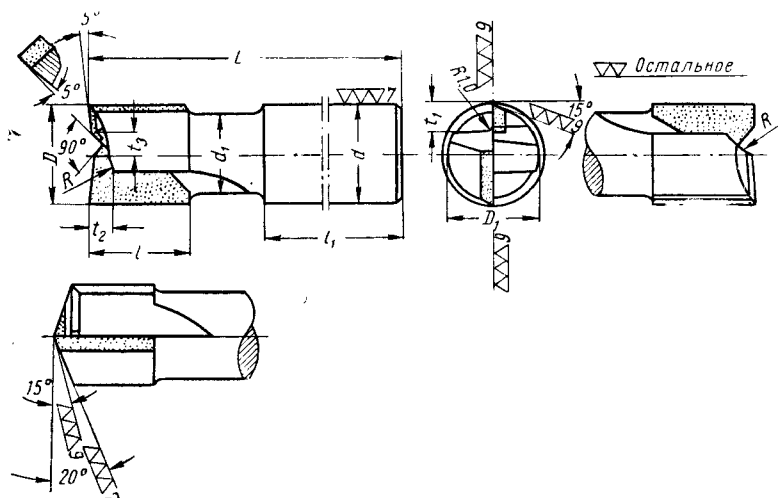
3. Размеры пластинок по ГОСТ 2209-49, форма 21.

4. Размеры центральных отверстий (d_a) по ГОСТ 3725.

5. Биеение зубьев по торцу допускается в пределах 0,03 мм.

6. Биеение зубьев относительно хвостовика не должно превышать 0,02 мм.

Фиг. 120. Фрезы концевые, оснащенные твердым сплавом



D_{B_1}	d_{C_1}	L		$l \pm 0,55$	$l_1 \pm 0,5$	$D_1 \pm 0,1$	d_1 B_1	R	$t_1 \pm 0,3$	$t_2 \pm 0,3$	$t_3 \pm 0,5$	№ пластинок по ГОСТ 2209-49	
		номинальный	допуск										
8	8	45	$\pm 0,8$	12	30	7,3	6,8	5	2,0	2,5	2,0	2101	2103
10	10	50		12	30	9,2	8	5	2,5	3,0	3,0	2101	2103
12	12	60	$\pm 0,95$	15	36	11,2	10	6	3,0	3,5	3,5	2105	2107
14	16	65		20	36	13	12	7,5	3,5	4,0	3,5	2109	2113
16	16	70		20	40	15	14	7,5	4,0	4,5	4,5	2109	2113
18	20	75	$\pm 1,10$	20	40	17	16	9	4,5	5,5	4,0	2111	2115
20	20	85		20	45	19	18	10	5,0	6,0	5,0	2111	2115

Примечания. 1. Материал корпуса — сталь 40X (ГОСТ 4543-48) или У7 (ГОСТ В 1435-42). Калить до $H_{RC} = 40 \div 45$, хвостовик $H_{RC} = 30 \div 40$.

2. Материал пластинок — твердый сплав марки Т15К6 или ВК6.

3. Размеры пластинок по ГОСТ 2209-49, форма 21.

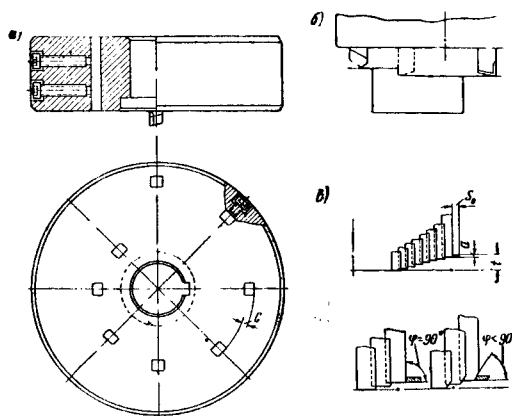
4. Размеры центровых отверстий d_0 по ГОСТ 3725.

5. Биение зубьев относительно хвостовика не должно превышать 0,03 мм.

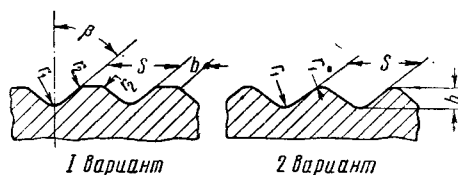
6. Биение зубьев по торцу допускается в пределах 0,03 мм.

7. Эксцентricность и овальность корпуса относительно хвостовика — в пределах допуска на размер.

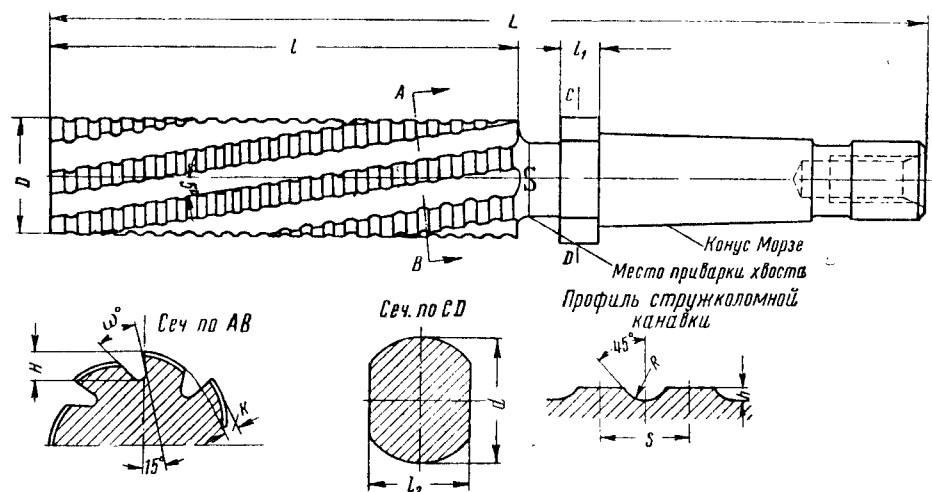
Фиг. 121. Фрезы шпоночные, оснащенные твердым сплавом



Фиг. 122. Летучая фреза с цилиндрическим корпусом

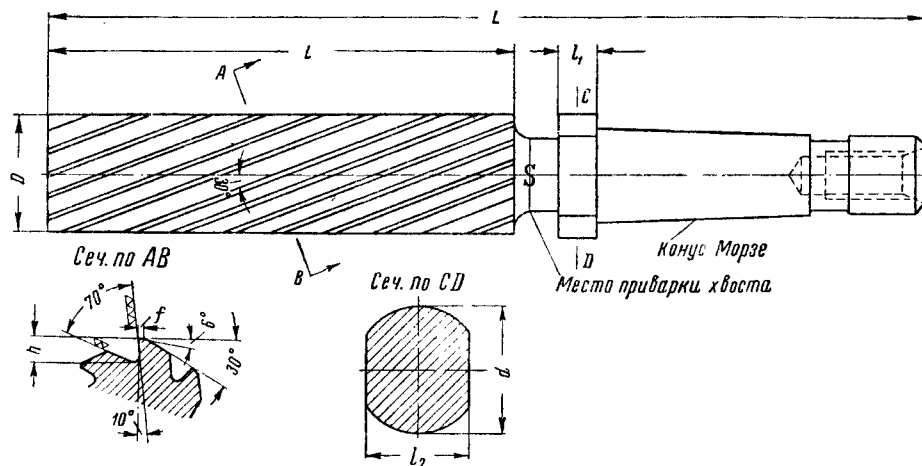


Фиг. 123. Форма стружкообразующих канавок



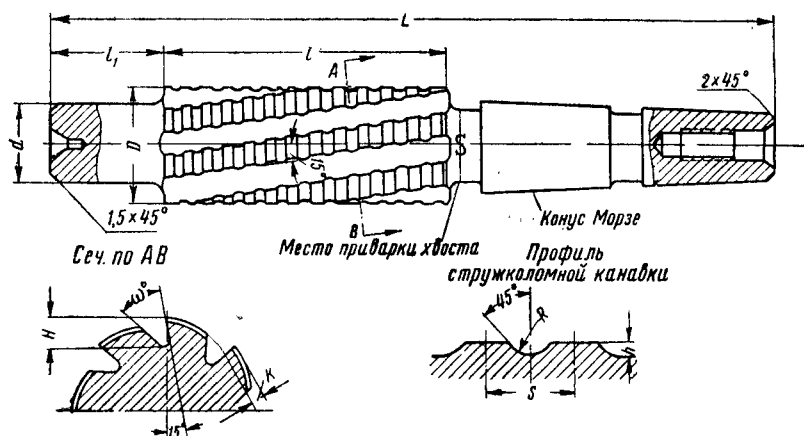
Диаметр фрезы D	L	l	l_1	d	l_2	Конус Морзе	Число зубьев	ω°	k	R	S	H	h
20	250	130	12	30	24	№ 3	4	60	3	1	6	5	1,5
30	275	130	12	37	32	№ 4	5	60	3	1	6	6	1,5
40	275	130	12	37	32	№ 4	6	60	3	1,5	9	7	2
50	340	160	15	53	46	№ 5	7	45	4	1,5	9	8	2
60	340	160	15	53	46	№ 5	8	45	4	1,5	9	9	2

Фиг. 124. Фреза концевая обдирочная для обработки дышел по контуру



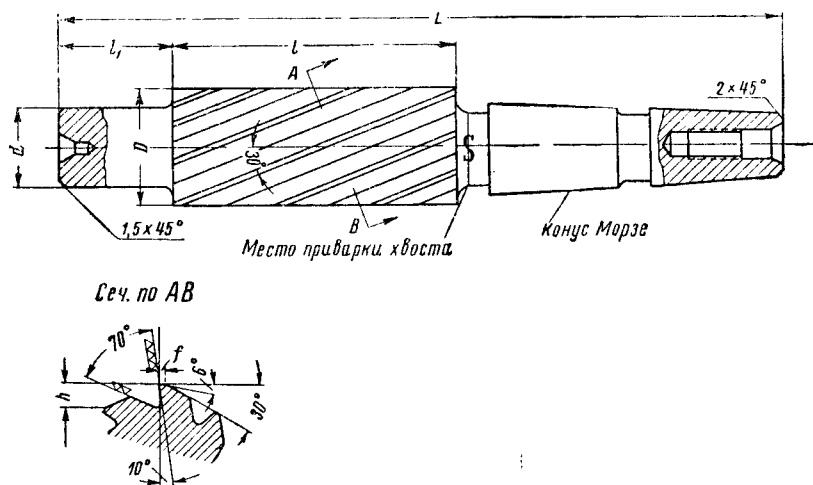
Диаметр фрезы D	L	l	l_1	d	l_2	Конус Морзе	Число зубьев	h	f
20	240	130	—	—	—	№ 3	6	3,5	0,6
30	260	130	—	—	—	№ 4	6	4,5	0,8
40	275	130	12	37	32	№ 4	6	5,5	1
50	340	160	15	53	46	№ 5	8	7,5	1
60	340	160	15	53	46	№ 5	8	8	1,2

Фиг. 125. Фреза концевая чистовая для обработки дышел по контуру



Диаметр фрезы D	L	l	l ₁	d	Конус Морзе	Число зубьев	ω°	k	R	S	H	h
42	360	200	35	27	№ 4	6	60	3	1,5	9	7	3
46	390	230	35	27	№ 4	6	60	4	1,5	9	8	4
52	400	200	45	32	№ 5	7	45	4	1,5	9	8	4

Фиг. 126. Фреза концевая обдирочная с направлением для обработки проушин дышел



Диаметр фрезы D	L	l	l ₁	d	Конус Морзе	Число зубьев	h	f
46	360	200	35	27	№ 4	8	6,5	1
50	390	230	35	27	№ 4	8	7,5	1
58	400	200	45	32	№ 5	8	8	1,2

Фиг. 127. Фреза концевая чистовая с направлением для обработки проушин дышел

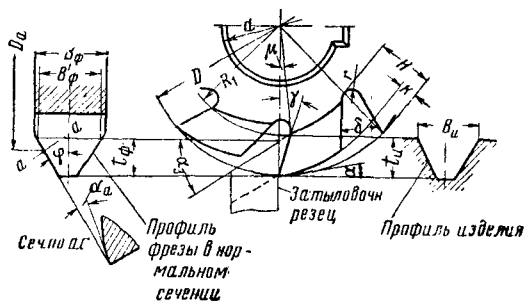
В случае, если задние углы на некоторых участках получаются весьма малыми, увеличение их может быть выполнено путём увеличения периферийного заднего угла α , выполнения косого затылования или подточки.

Высота зуба

$$H \approx K + t_u + r,$$

где t_u — глубина профиля изделия;

r — радиус закругления впадины, берётся 1÷5 мм в зависимости от размеров фрезы в соответствии с ОСТ НКТП 3654.



Фиг. 128. Элементы фасонной фрезы

Диаметр фрезы соответствует: $D = (1,9 \div 1,6) d + 2 H$, где d — диаметр оправки.

Угол впадины $\phi = 18 \div 30^\circ$ (в соответствии с ОСТ НКТП 3654), причём большие значения для больших подач.

В случае, если $\gamma = 0^\circ$, профиль затыловочного резца, установленного в осевом сечении фрезы, совпадает с профилем изделия. Если $\gamma \neq 0^\circ$, то глубины профиля затыловочного резца (или фрезы в нормальном сечении):

$$t_\phi = t_u - \frac{KZ}{360} \gamma,$$

где

$$\gamma = \arcsin \frac{D \sin \gamma}{D - 2t_u} - \gamma.$$

По ширине искажений нет:

$$B'_\phi = B_u.$$

С целью перекрытия профиля изделия принимают $B_\phi = B_u + (1 \div 3) \text{ мм}$.

В связи с тем, что при переточках могут возникнуть искажения профиля, для точных изделий рекомендуется выбирать $\gamma \leq 10^\circ$. Задний угол затыловочного резца

$$\alpha_3 = \arctg \frac{KZ}{\pi [D - 2(t_\phi + K)]} + (3 \div 5^\circ).$$

Заточка фрез

Вставные ножи твёрдосплавных фрез затачивают так же, как резцы. В случаях, когда конструкция сборной фрезы не позволяет точно регулировать ножи, окончательная заточка и доводка выполняются в собранном виде. Заточка цилиндрических фрез выполняется так же, как заточка цилиндрических развёрток.

Фасонные затылованные фрезы затачивают по передней грани тарельчатыми кругами.

Допуски

Допуски на конструктивные элементы фрез приведены в стандартах на технические условия.

Допуски на геометрические параметры принимать как для резцов. При $\gamma_1 \leq 1^\circ 30'$ допуск составляет $+10 \div +15'$. Допуски размеров профиля фасонных фрез берут в соответствии с допусками изделия.

Твёрдость

Твёрдость термически обработанных фрез из углеродистой и легированной стали $H_{RC} = 61 \div 64$; быстрорежущей стали $H_{RC} = 62 \div 65$.

Твёрдость термически обработанных корпусов сборных фрез $H_{RC} = 40 \div 45$.

Твёрдость хвостовиков у сварных фрез $H_{RC} = 30 \div 45$.

РЕЗЬБОНАРЕЗНОЙ ИНСТРУМЕНТ

Метчики

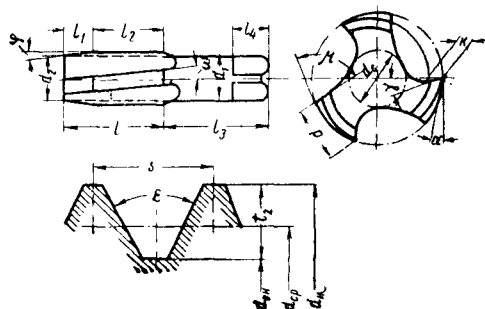
В зависимости от назначения различают следующие основные типы метчиков:

- ручные — для нарезания резьбы вручную;
- машинные — для нарезания резьбы на станках;
- гаечные — для нарезания резьбы гаек;
- плашечные и маточные — для нарезания и калибрования резьбы плашек;
- конические — для нарезания конических резьб.

Типы стандартных метчиков указаны в табл. 37.

Основные понятия, обозначения и терминология элементов метчиков приведены в ОСТ НКТП 2936, технические условия — в ГОСТ 3449-46.

Диаметр заборной части d_2 (фиг. 129) для удобства ввода в отверстие выполняют мень-



Фиг. 129. Конструктивные элементы метчика

ше теоретического внутреннего диаметра резьбы гайки на $0,1 \div 0,15 \text{ мм}$ при $d_n < 18 \text{ мм}$; $0,2 \div 0,25$ при $d_n = 20 \div 39 \text{ мм}$ и $0,3 \div 0,35 \text{ мм}$ при $d_n = 45 \div 52 \text{ мм}$.

Длину режущей части следует принимать по возможности меньшей.

Рекомендуемые длины режущей части в зависимости от типа метчика и условий работы, выраженные в количестве шагов резьбы, приведены в табл. 38.

Таблица 37

Типы метчиков

Наименование			Размер	Источник
Ручные для метрической резьбы по ОСТ НКТП 32 и 94			2 ÷ 52 мм	ГОСТ 1602-43 ОСТ НКТП 20128-39 ГОСТ 1603-43 ОСТ НКТП 4094
Ручные для мелкой метрической резьбы по ОСТ НКТП 271, 272, 4120 и 4121			3 ÷ 52 »	
Ручные для дюймовой резьбы по ОСТ НКТП 1260			1/4 ÷ 2"	
Ручные для трубной резьбы ОСТ НКТП 266			1/8 ÷ 4"	
Машинные для метрической резьбы	Резьба по ОСТ НКТП	94,32 и 271 . 272 4120 и 4121 .	3 ÷ 52 мм 6 ÷ 52 » 8 ÷ 52 »	ГОСТ 3266-46
Машинные для дюймовой резьбы по ОСТ НКТП 1260			1/4 ÷ 2"	ГОСТ 3267-46
Гаечные короткие для метрической резьбы по ОСТ НКТП 32 и 94			2 ÷ 52 мм	ГОСТ В 1604-42
Гаечные короткие для дюймовой резьбы по ОСТ НКТП 1260 . . .			1/4 ÷ 2"	ГОСТ В 1605-42
Гаечные длинные для метрической резьбы по ОСТ НКТП 32 . . .			6 ÷ 52 мм	ГОСТ В 1606-42
Гаечные длинные для мелкой метрической резьбы	Резьба по ОСТ НКТП	271 и 272 . . 4120 и 4121 .	6 ÷ 52 мм 8 ÷ 52 »	ОСТ НКТП 20130-39
Гаечные длинные для дюймовой резьбы по ОСТ НКТП 1260 . . .			1/4 ÷ 2"	ГОСТ В 1607-42
Гаечные станочные для метрической резьбы по ОСТ НКТП 32 . .			6 ÷ 52	ОСТ 2510-40
Гаечные станочные для дюймовой резьбы по ОСТ НКТП 1260 . .			1/4 ÷ 2"	ОСТ 2511-40
Для конических резьб по ГОСТ 6111-52 и 6211-52			1/16 ÷ 2"	ГОСТ 6227-52

Таблица 38

Выбор отношения $\frac{l_1}{S}$

Тип метчика	$\frac{l_1}{S}$
Ручные: черновой средний чистовой	6 ÷ 7
	3 ÷ 3,5
	1,5 ÷ 2
Машинные: для глухих отверстий . . для сквозных отверстий .	2
	5 ÷ 6
Гаечные	11 ÷ 12
Плашечные	40 ÷ 46

Угол в плане φ определяется из условия

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{d_H - d_2}{2l_1}.$$

На калибрующей части l_2 с целью уменьшения трения выполняют обратный конус.

Уменьшение наружного и среднего диаметров на 100 мм длины составляет 0,10 мм (при $S = 0,2 \div 1$ мм), 0,08 мм (при $s = 1,25 \div 2,5$) и 0,05 (при $s = 3 \div 5$ мм).

Число перьев z для ручных, машинных и гаечных метчиков рекомендуется выбирать согласно табл. 39.

Таблица 39

Выбор числа перьев метчиков

Размер резьбы в мм			
8 ÷ 20	22 ÷ 24	27 ÷ 36	39 ÷ 52
Число перьев			
3	3 или 4	4	6

Диаметр сердцевин d_c , обеспечивающий необходимую прочность, и ширина пера ρ , позволяющая выполнить достаточное число

переточек, при незначительной длине трущейся части выбираются по табл. 40.

Таблица 40

Выбор диаметра сердцевины и ширины пера
(в долях диаметра метчика)

Число перьев	3	4	6
Диаметр сердцевины	$0,40 \div 0,45$	$0,45 \div 0,50$	$0,55 \div 0,60$
Ширина пера	$0,32 \div 0,35$	$0,22 \div 0,25$	$0,17 \div 0,20$

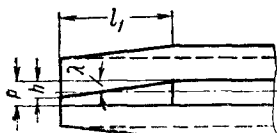
Угол μ берётся $82 \div 85^\circ$. Профиль канавки обычно очерчивается двумя радиусами, что облегчает сход стружки и уменьшает опасность появления трещин при термообработке.

Для улучшения отвода стружки метчики можно изготавливать с винтовыми канавками. Угол $\omega = 8 \div 15^\circ$.

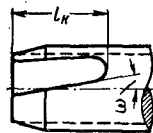
При нарезании глухих отверстий направление канавки совпадает с направлением резания для отвода стружки вдоль метчика.

При нарезании сквозных отверстий направление канавки обратное направлению резания для отвода стружки в направлении подачи метчика; в этом случае возможно также отвести стружку при прямой канавке за счёт подточки передней грани под углом $\lambda = 5 \div 6^\circ$ (фиг. 130). Величина стачивания пера $h = (0,5 \div 0,7) p$.

При сквозном нарезании резьбы в лёгких сплавах, цветных металлах и вязкой стали рационально применять укороченную канавку (фиг. 131), нарезанную на длине $l_k \approx 2l_1$. В этом



Фиг. 130. Подточка передней грани



Фиг. 131. Метчик с укороченной канавкой

случае передний угол в начале режущей части берётся на $5-8^\circ$ больше, чем обычно, а канавка выполняется под углом $\omega = 8 \div 12^\circ$.

Направление канавки обратное направлению резки.

Дно канавки составляет с осью метчика угол $\omega = 8 \div 10^\circ$ для уменьшения глубины по направлению к хвосту.

Выбор геометрических параметров режущей части

Рекомендуемые величины переднего угла в зависимости от обрабатываемого материала приведены в табл. 41.

Передний угол метчиков универсального назначения $\gamma = 5 \div 10^\circ$.

Задний угол α на режущей части образуется путём затылования по наружному диаметру.

Таблица 41
Рекомендуемые передние углы метчиков

Обрабатываемый материал	γ°
Чугун серый, ковкий и бронза . .	$5 \div 8$
Сталь твердая	5
» средней твердости и латунь . .	$8 \div 10$
» мягкая	$12 \div 15$
Алюминий, силумин, электрон . .	30

Обычно затылование выполняется по Архимедовой спирали и величина его определяется по формуле

$$K = \frac{\pi d_n}{Z} \operatorname{tg} \alpha,$$

где Z — число перьев. Рекомендуемые задние углы для ручных метчиков $\alpha = 6 \div 8^\circ$; при обработке глухих отверстий $3 \div 4^\circ$; для машинных и гаечных $8 \div 12^\circ$.

Бóльшие значения углов α следует брать для вязких материалов.

У шлифованных метчиков для уменьшения трения выполняется затылование калибрующей части, начиная с $1/3$ пера. Обычно в этом случае затылование производится по всему профилю на незначительную величину ($0,02 \div 0,08$ мм в зависимости от размера). В случае затылования лишь по наружному диаметру задний угол на калибрующей части берётся $\sim 30^\circ$.

Размеры резьбы

Исполнительные размеры резьбы однокомплектных и чистовых метчиков берут по ОСТ ВКС 7217 (для метрических резьб) и ОСТ ВКС 7218 (для дюймовых резьб). В зависимости от требуемой точности метчики изготавливаются шлифованными по профилю резьбы (С — повышенной и D — обычной точности) и нешлифованными (Е — обычной и Н — пониженной точности).

Метчики типа С позволяют изготовить резьбу 1-го класса, типов D и Е — 2-го класса и типа Н — 3-го класса.

У предварительных метчиков средний и наружный диаметры уменьшают согласно формулам, приведённым в табл. 42 (для метчиков диаметром $12 \div 52$ мм).

При этом уменьшается и внутренний диаметр, наименьший размер которого не ограничен.

Допуски

Допуски резьбы метчиков берут по ОСТ ВКС 7217—7218.

Допуск для конструктивных элементов метчиков берут согласно ГОСТ 3449-46. Отклонения длин соответствуют 9-му классу точности. Допуски на диаметр хвоста ручных и гаечных метчиков соответствуют 7-му классу, станочных — 5-му классу точности.

Биение рабочей части допускается в зависимости от размера: для шлифованных метчиков $0,02 \div 0,03$ мм; для нешлифованных машинных и станочных $0,04 \div 0,05$, гаечных $0,05 \div 0,07$ и ручных — $0,08 \div 0,10$ мм.

Таблица 42

Размеры резьбы предварительных метчиков

Наименование метчиков	Диаметр	Количество метчиков в комплекте	
		3	2
Черновой	Средний . .	$d_{cp1} = d_{cp} - 0,067 \sqrt{S - 2 \Delta}$	$d_{cp1} = d_{cp} - 0,12 S$
	Наружный .	$d_{H1} = d_H - 0,52 S$	$d_{H1} = d_H - 0,4 S$
Средний	Средний . .	$d_{cp2} = d_{cp} - 0,067 \sqrt{S - \Delta}$	—
	Наружный .	$d_{H2} = d_H - 0,16 S$	—

Примечание. Все диаметры, входящие в формулы, — наименьшие.
 $\Delta = 0,07$ для $d_H = 12 \div 15$; $\Delta = 0,084$ для $d_H = 18 \div 27$ и $\Delta = 0,1$ для $d_H = 30 \div 52$.

Твёрдость

Термически обработанные метчики должны иметь твёрдость рабочей части согласно табл. 43.

Таблица 43
Твёрдость рабочей части метчиков

Материал режущей части	Размер метчика		
	до 6 мм	6 ÷ 15 мм	свыше 15 мм
Твёрдость H_{RC}			
Углеродистая и легированная сталь . .	57 ÷ 60	58 ÷ 62	59 ÷ 63
Быстрорежущая и малолегированная быстрорежущая сталь	—	61 ÷ 64	—

Твёрдость квадрата $H_{RC} = 30 \div 40$.

Заточка



Фиг. 132. Заточка передней грани метчика

Заточка по передней грани выполняется на универсально-заточном станке. Круг тарельчатый или дисковый с профилем, соответствующим впадине (фиг. 132), и характеристикой Э, 46 ÷ 80, С1 — СМ2, К.

Для получения необходимого переднего угла круг смещается на величину $h = 0,0088 D \gamma^\circ$ мм.

Конические метчики

Конические метчики применяются преимущественно для нарезания специальных резьб.

При ремонте паровозов имеют применение конические метчики:

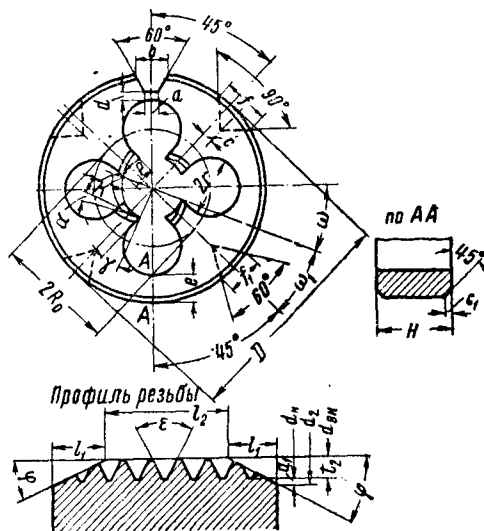
- а) под котельные шпильки, конусность 1:12;
- б) под контрольные пробки, конусность 1:6;

в) под арматуру на резьбе — разных размеров.

Плашки

К основным типам плашек для нарезания или калибрования наружной резьбы относятся плашки: а) круглые, б) трубчатые, в) слесарные и г) для резьбонарезных головок.

Круглые плашки. Основные размеры круглых плашек (фиг. 133) стандартизованы по



Фиг. 133. Конструктивные элементы плашки

ГОСТ 2173-51. Технические условия — по ГОСТ В 1679-42.

В табл. 44 даны габаритные размеры плашек для резьб метрических, дюймовых и трубных.

Передний угол берётся: $\gamma = 10 \div 15^\circ$ для обработки твёрдых материалов, $\gamma = 15 \div 20^\circ$ для материалов средней твёрдости, а также для плашек универсального назначения и $\gamma = 20 \div 25^\circ$ для мягких материалов.

Габаритные размеры круглых плашек (по ГОСТ 2173-51)

Таблица 44

Диаметр резьбы			D (X ₄)	H для резьбы по ОСТ НКТП (B ₄)						
метрической	дюймовой	трубной		94 и 32	271	272	4120	4121 и 4122	1260	266
6	1/4	—	20	7	7	5	—	—	7	—
7	5/16	—	25	9	9	7	—	—	—	—
8	5/16	—	25	9	9	7	7	—	9	—
9	5/16	—	25	9	9	7	7	7	—	—
10	3/8	—	30	11	11	8	8	8	11	—
11	7/16	1/8	30	11	11	8	8	8	11	8
12	1/2	1/4	38	14	14	10	10	10	14	10
14	3/8	—	38	14	14	10	10	10	14	—
16	3/8	3/8	45	18	14	10	10	10	18	14
18	3/8	3/8	45	18	14	10	10	10	—	—
20	3/4	1/2	—	—	—	—	—	—	18	14
22	7/8	3/4	55	22	16	12	12	12	22	16
24	1	3/4	55	22	16	12	12	12	22	16
27	1 1/4	—	65	25	18	14	14	14	25	—
30	1 1/4	7/8	65	25	18	14	14	14	25	18
33	—	1	65	25	18	14	14	14	—	18
36	1 3/4	—	—	—	20	—	—	—	25	—
39	1 1/2	1 1/8	75	30	20	16	16	16	30	20
42	1 5/8	1 1/4	75	30	—	16	16	16	30	20
45	1 3/4	1 3/8	90	36	22	18	18	18	36	22
48	1 7/8	—	90	36	22	18	18	18	36	—
52	2	1 1/2	90	36	22	18	18	18	36	22
56	—	—	105	—	25	25	20	20	—	—
60	—	—	105	—	25	25	20	20	—	—
64	—	—	120	—	30	25	25	20	—	—
68	—	—	120	—	30	25	25	20	—	—
72	—	—	120	—	30	25	25	20	—	—
76	—	—	120	—	30	25	25	20	—	—
80	—	—	135	—	30	25	25	20	—	—
85	—	—	135	—	30	25	25	20	—	—
90	—	—	135	—	30	25	25	25	—	—
95	—	—	150	—	30	25	25	25	—	—
100	—	—	150	—	30	25	25	25	—	—
105	—	—	170	—	30	25	25	25	—	—
110	—	—	170	—	30	25	25	25	—	—
115	—	—	170	—	30	25	25	25	—	—
120	—	—	170	—	30	25	25	25	—	—
125	—	—	200	—	30	25	25	25	—	—
130	—	—	200	—	30	25	25	25	—	—
135	—	—	200	—	30	25	25	25	—	—

Передний угол γ_n в плоскости, перпендикулярной к образующей режущей части, определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \gamma_n = \operatorname{tg} \gamma \cos \varphi.$$

Задний угол берётся $\alpha = 7 \div 9^\circ$. Затылование выполняется по Архимедовой спирали (только на режущей части) и величина его определяется по формуле

$$K = \frac{\pi d_{вн}}{Z} \operatorname{tg} \alpha,$$

где $d_{вн}$ — внутренний диаметр резьбы. Число перьев Z в зависимости от размера резьбы брать по табл. 45.

Режущая часть в целях рационального использования плашки выполняется с двух сторон. Обычно угол $2\varphi = 40 \div 60^\circ$; при на-

резании резьбы в упор $2\varphi = 90^\circ$. Для отвода стружки в направлении подачи плашки рекомендуется подточка передней грани под углом λ . Подточка выполняется зенковкой 20° , устанавливаемой под углом 15° к оси плашки, или же сверлением под углом стружкоотводных отверстий.

Диаметр режущей части $d_2 = d_n + 2a_1$, где $a_1 = (0,15 \div 0,40)$ мм. Длина режущей части $l_1 = (t_2 + a_1) \operatorname{ctg} \varphi$, где t_2 — теоретическая высота резьбы.

Длина калибрующей части $l_2 = 3 \div 6$ витков, причём меньшие значения берутся для более точных резьб.

У плашек мелких размеров, а также для мелких резьб с целью уменьшения длины калибрующей части выполняется с одной стороны выточка диаметром $D_3 = 2R_0 + 2r + (0,5 \div 1,0)$ мм и глубиной $2 \div 5$ мм в зависимости от размера.

Таблица 45

Выбор числа перьев у плашек

Диаметр резьбы в мм	До 6	6 ÷ 16	18 ÷ 27	30 ÷ 33	36 ÷ 48	52 ÷ 64	68 ÷ 72	76 ÷ 80	85	90	95 ÷ 115	120 ÷ 130
Число перьев	3	4	5	6	7	8	10	12	13	12	14	16

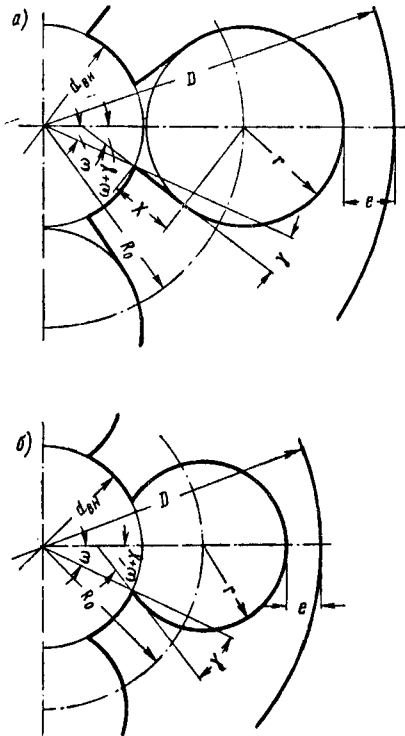
Ширина пера

$$P = d_{\text{вн}} \sin \omega_1,$$

$$\text{где } \omega_1 = \frac{180}{Z} \cdot \frac{m}{1+m}.$$

Величину $m = \frac{\omega_1}{\omega}$ принимают обычно $0,65 \div 0,7$; у плашек для резб мелких размеров с целью лучшего центрирования возможно увеличить m до $0,9 \div 1,0$.

Форма передней грани может быть прямолинейной (фиг. 134, а) или криволинейной (фиг. 134, б). Более употребительна прямоли-



Фиг. 134. Схемы образования формы передней грани плашки

нейная, так как она более удобна при изготовлении и имеет стабильность передних углов.

Длина прямолинейного участка берётся $X = (1,2 \div 1,5) t_2$.

Радиусы стружкоотводных отверстий r и расположения центров их R_0 выражаются:

$$r = \frac{\frac{d_{\text{вн}}}{2} \sin \omega + X \sin (\omega + \gamma)}{\cos (\omega + \gamma)};$$

$$R_0 = \frac{d_{\text{вн}}}{2} \cos \omega + X \cos (\omega + \gamma) +$$

$$+ r \sin (\omega + \gamma),$$

$$\text{где } \omega = \frac{180}{Z} \cdot \frac{1}{1+m}.$$

В случае криволинейной формы передней грани

$$r = \frac{d_{\text{вн}} \sin \omega}{2 \cos (\omega + \gamma)};$$

$$R_0 = \frac{d_{\text{вн}}}{2} [\cos \omega + \sin \omega \operatorname{tg} (\omega + \gamma)].$$

Проверка получающейся толщины тела плашки e производится по формуле

$$e = \frac{D}{2} - (R_0 + r).$$

Полученное значение e должно находиться в пределах:

$$e = (0,15 \div 0,11) D \text{ при } Z = 3 \div 5$$

$$\text{и } e = (0,10 \div 0,08) D \text{ при } Z = 6 \div 8.$$

Для регулирования размера изношенной плашки предусмотрен паз под центральный винт шириной $b = 3 \div 16$ мм с углом 60° ; при этом разрезается перемычка толщиной $a = 0,5 \div 1,5$ мм. Сжатие плашки осуществляется двумя винтами, упирающимися в зенковки с углом 90° , смещённые относительно оси на величину $c = 0,5 \div 2,0$ мм. Для установки плашки в воротке (ГОСТ 2175-43) в ней выполняется ещё 2 зенковки (или одна для размеров до 6 мм) под углом 60° .

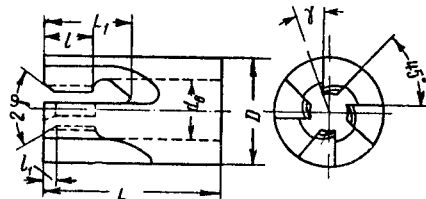
Размеры резьбы метчиков плашечных и маточных (для калибровки плашек) принимают по ГОСТ 2174-43. Допуски на основные размеры плашек установлены по ГОСТ В 1679-42.

Твёрдость перьев у режущих кромок должна быть в пределах $HRC = 58 \div 62$. Твёрдость перемычки противоположающей прорези (или двух перемычек при нечётном Z) должна быть $HRC = 30 \div 45$.

Заточка передней грани плашек выполняется на специальном станке конструкции завода «Фрезер». Круг штифтовый цилиндрический (ГОСТ 2447-52) с характеристикой Э, 60, СТ₂, К.

Размеры круглых плашек для нарезания конических резб по ГОСТ 6111-52 и 6211-52 принимаются по ГОСТ 6228-52.

Плашки других типов. Трубочатые плашки (прогонки) (фиг. 135) снабжаются 3—4 перьями и цилиндрическим отверстием. По сравнению с круглыми облегчают регулировку,



Фиг. 135. Трубочатая плашка

заточку и отвод стружки, поэтому применяются главным образом на револьверных станках и автоматах. Габаритные размеры стандартизованы по ОСТ НКТП 6313/299. Длина режущей части $l_1 = 2 \div 2,5$ витка, а нарезанной $l = 7 \div 8$ витков. Длина канавки $L_1 \approx 2l$.

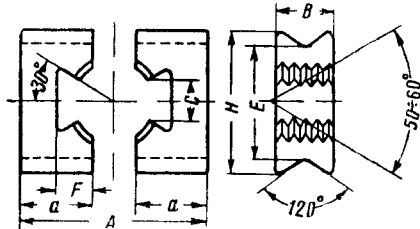
Регулирование размера производится при помощи установочных колец (ОСТ НКТП 6314/300).

Слесарные плашки применяют в виде набора из двух штук (фиг. 136). Размеры стандартизованы по ОСТ 4259.

Нарезаются метчиком диаметром, превышающим номинальный на две глубины резьбы.

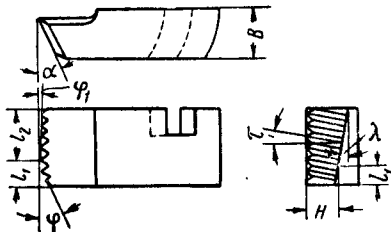
В процессе нарезания резьбы слесарные плашки сближаются между собой перед каждым проходом до получения резьбы нужных размеров.

Плашки для резьбонарезных головок бывают радиального и тангенциального типа.



Фиг. 136. Плашки слесарные

Конфигурация и размеры плашек зависят от конструкции и размеров головки. Элементы плашки радиального типа представлены на фиг. 137.



Фиг. 137. Плашка радиального типа к резьбонарезной головке

Угол в плане $\varphi = 15 \div 20^\circ$. При нарезании в упор $\alpha = 35 \div 40^\circ$. Длина режущей части $l_1 = (t + a) \operatorname{ctg} \varphi$, где t — глубина резьбы, $a = 0,2 \div 0,5$ мм.

Длина калибрующей части должна быть не менее $3 \div 4$ шагов резьбы.

Для получения равных условий резания на правых и левых режущих кромках принимают $\lambda = \tau$, где τ — угол подъема резьбы.

Вспомогательный угол в плане берут $\varphi_1 = 15 \div 20'$.

Задний угол берут $\alpha = 12 \div 15^\circ$.

Передний угол выбирают по табл. 46.

Для правильной установки плашки относительно детали необходимо при заточке поддерживать высоту первого зуба калибрующей части

$$H = \frac{B}{2} - \frac{d_{BH}}{2} \sin \alpha.$$

Величина H маркируется на плашках. Допустимое отклонение величины H составляет от $-0,03$ до $-0,05$ мм в зависимости от размера.

Таблица 46

Передние углы у радиальных плашек

Обрабатываемый материал	Передний угол γ°
Литая или твердая сталь	0
Мягкая сталь	15—25
Твердый чугун	0
Мягкий »	5
Ковкий »	10—15
Фосфористая бронза	2—3
Латунь	12—15
Медь	15—20
Алюминий	20—25

Плашки применяют комплектом из четырех штук и, следовательно, резьба каждой плашки смещена на $1/4$ шага относительно резьбы смежных.

Заточка производится: а) по передней грани и б) по задней грани на заборной части. Для облегчения заточки возможно угол λ увеличить до 10° .

Основные размеры, а также размеры резьбы тангенциальных плашек (фиг. 138) по ГОСТ 2287-43.

Угол в плане рекомендуется $\varphi = 20^\circ$; при нарезании в упор $\varphi = 30 \div 35^\circ$. У плашек универсального назначения $\gamma + \alpha = 22^\circ$. В зависимости от обрабатываемого материала передний угол выбирают по табл. 47. Длина заборной части $l_1 \approx (t_2 + 1) \operatorname{ctg} \varphi$, где t_2 — высота резьбы. Заточка передней грани может выполняться на заборной части или на всей длине.

Таблица 47

Передние углы у тангенциальных плашек

Обрабатываемый материал	Передний угол γ°
Малоуглеродистая сталь	22—25
Латунь литая	0—5
» катаная	22
Бронза	0—10
Медь	30
Алюминий	28—33

Тангенциальные плашки для нарезания трубной конической резьбы стандартизованы по ГОСТ 6229-52.

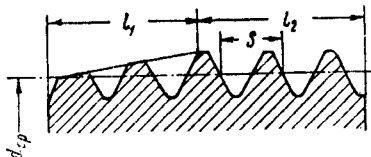
Резьбовые резцы и гребенки

Резьбовые резцы применяют как призматического типа (фиг. 139), так и круглого.

Передний угол выбирают по табл. 8 и 9 и уменьшают умножением на коэффициент $0,75 - 0,9$. Задний угол берется $\alpha = 12 \div 15^\circ$. Для многозаходных резьб необходимо также проверить наличие задних углов на боковых кромках α_1 по условию $\operatorname{atg} \frac{\varepsilon_p}{2} - \tau \geq 2^\circ$, где

τ — угол подъема резьбы. Если данное условие не удовлетворяется, то с целью получения необходимых вспомогательных задних углов α_1 возможно несколько увеличить угол α , выбрать на обеих режущих кромках различные

ущественно распространены круглые гребёнки с винтовой резьбой, работающие, как круглые резцы, но с меньшим числом проходов. Для нарезания правой наружной резьбы и левой внутренней применяются гребёнки с левой резьбой. Для нарезания левой наружной резьбы и правой внутренней гребёнки имеют правую резьбу. Профиль резьбы гребёнки (фиг. 142) имеет режущую часть длиной $l_1 = (1,5 \div 3) S$ (или короче при нарезании в упор), срезающую резьбу по вы-



Фиг. 142. Профиль резьбы гребёнки

соте обычно до d_{cp} . Длина калибрующей части $l_2 = (2 \div 3) S$.

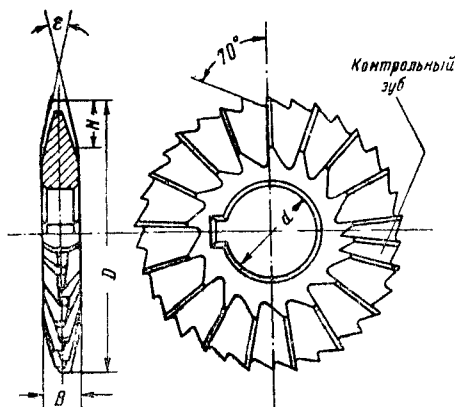
Конструктивное оформление и габаритные размеры, как у фасонных резцов.

Допуски элементов резьбы по ГОСТ 1336-47, как у резьбовых фрез. Твёрдость режущей части должна быть в пределах $H_{RC} = 61 \div 64$.

Резьбовые фрезы

Резьбовые фрезы разделяются на дисковые, гребёнчатые и летучие.

Дисковые фрезы (фиг. 143) применяют главным образом для нарезания трапецидальной



Фиг. 143. Дисковая резьбовая фреза

резьбы. Зубья остро заточенные с прямолинейным профилем, что вызывает искажение профиля нарезаемой резьбы. Искажение возрастает с ростом угла наклона резьбы и уменьшением угла между боковыми сторонами. При нарезании крепёжных резьб и червяков с углом подъёма меньше 10° обычно искажением можно пренебречь, в противном случае профиль выполняется криволинейным. Зубья смещены на $1/2$ шага и несколько перекрывают друг друга с целью уменьшения колебаний сил резания.

Для удобства контроля фреза снабжается одним полным зубом.

Размеры профиля H , B и ε берут в соответствии с нарезаемой резьбой.

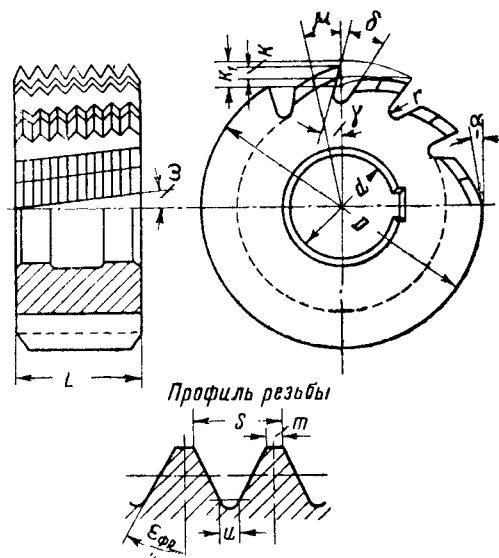
Диаметры D и d берут, как у затылованных фрез. Число зубьев берётся из условия

$$Z > \frac{720}{\delta^\circ},$$

где δ° — половина угла контакта; при этом одновременно находится в работе не менее двух зубьев.

Гребёнчатые фрезы (фиг. 144) применяют главным образом для нарезания остроугольных коротких резьб.

Основные размеры, профиль резьбы и допуски по ГОСТ 1336-47. Для обработки внутренних резьб D берётся равным $0,8 \div 0,9$ от диаметра отверстия.



Фиг. 144. Гребёнчатая резьбовая фреза

Резьба фрезы двух степеней точности E и H . Отклонения по шагу для фрез точности $E \pm 0,01$ мм на 1 виток.

Передний угол рекомендуется выбирать в зависимости от обрабатываемого материала в пределах $\gamma = 0 \div 10^\circ$. Задний угол $\alpha = 8 \div 10^\circ$. Канавки выполняются прямыми или с углом $\omega = 5 \div 8^\circ$. Направление канавки совпадает с направлением резьбы. Направление зубьев кольцевое. Шаг канавки определяется $T = \pi D \operatorname{ctg} \omega$. При шлифованном профиле для выхода шлифовального круга затылование выполняется двойным:

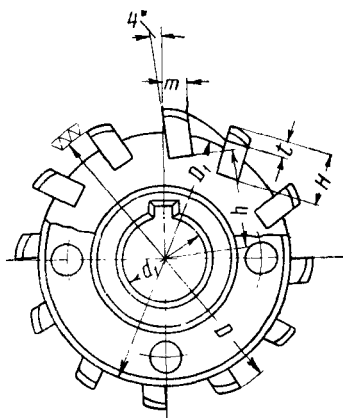
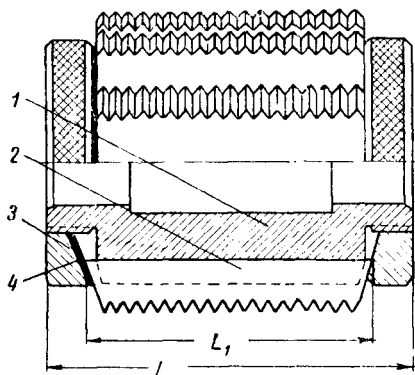
$$K = \frac{\pi D}{Z} \operatorname{tg} \gamma$$

и

$$K_1 \approx 1,5 K.$$

Число зубьев обычно принимается чётным, ориентировочно выбирается по формуле

$$Z \approx 1,75 \sqrt{D}.$$



D	D_1	d_1	t	Шаг резьбы $s_{наиб}$	Число ножей z	m	H	h
50	42	16	1,5			4	8,5	16,5
60	51	22		3	12	5	10	20,0
70	60			4	14	5,5	11	24,0
		27	2					
80	67						14	26,0
				6	16	6		
90	77	32					16	29,0

Технические условия по ГОСТ 1336-41

Допуски размеров h и H : $\pm 0,01$.
 Допуски размера m : $-0,008$ на толщину зуба
 и $+0,013$ на ширину впадины.
 Материал корпуса сталь 40Х.
 Твёрдость после термообработки

$$H_{RC} = 45 \div 50.$$

Фиг. 145. Фреза резьбовая со вставными гребёнками из быстрорежущей стали: 1 — корпус; 2 — нож; 3 — сферическая шайба; 4 — прокладка

Для облегчения выхода шлифовального круга при шлифовке затылков размеры впадины увеличиваются: $\delta = 30 \div 45^\circ$ и $r = 2,5 \div 4,5$ мм.

Ширина фрезы L выполняется больше длины резьбы изделия на 2—3 шага.

С целью упрощения изготовления профиль зубьев фрез принимается прямолинейным; угол профиля $\varepsilon_{фр}$ находится из уравнения

$$\operatorname{tg} \frac{\varepsilon_{фр}}{2} = \frac{t_u}{t_{фр}} \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2},$$

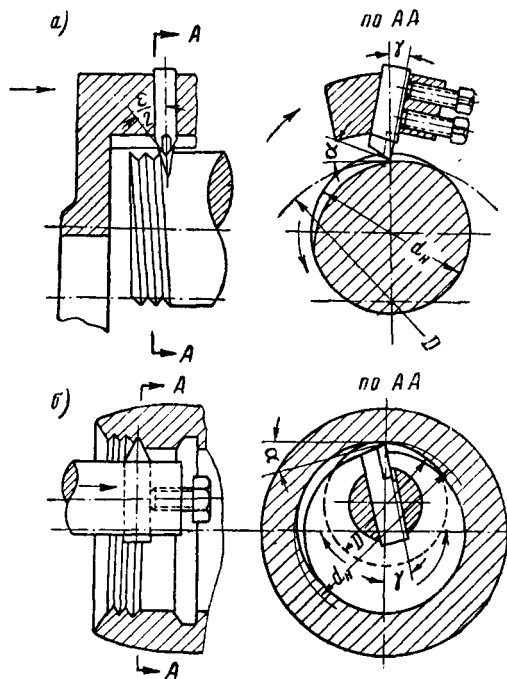
где t_u — глубина профиля нарезаемой резьбы;

$t_{фр}$ — глубина профиля зубьев фрезы;

ε — угол профиля нарезаемой резьбы.

С целью экономии режущих материалов резьбовые фрезы могут выполняться со вставными гребёнками (фиг. 145).

Летучие фрезы применяют для нарезания наружных резьб (фиг. 146, а) и внутренних (фиг. 146, б). Они могут быть с одним зубом



Фиг. 146. Нарезание резьбы летучей фрезой

(резцом) и несколькими, но при этом одновременно работать должен лишь один. Для наружных резьб диаметр фрезы $D = (1,4 \div 1,6) d_n$, для внутренних $D = (0,5 \div 0,55) d_n$. Сечение резцов рекомендуется от 10×10 до 16×16 мм в зависимости от шага резьбы.

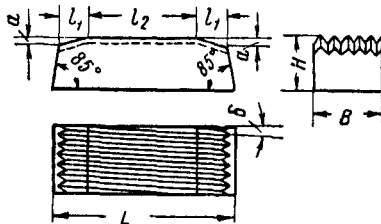
Передний угол берут от $+3$ до -5° в зависимости от качества обрабатываемого материала, задний угол $\alpha = 12^\circ$ для наружных резьб и $\alpha = 16^\circ$ для внутренних. Угол при вершине резца следует уменьшить против его номинального значения на $30' \div 1^\circ$.

При нарезании резьб с большим шагом ось вращения резцовой головки устанавливается под углом (обычно 30°) к оси вращения изделия.

Плшки резбонакатные

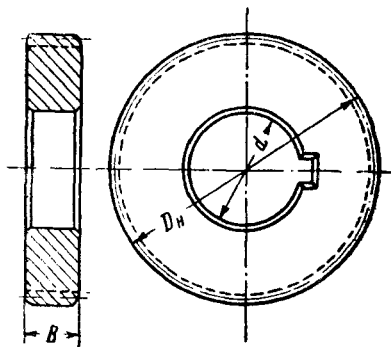
В зависимости от типа резбонакатного станка плашки бывают плоские и круглые.

Основные размеры, профиль резьбы и допуски плоских плашек (фиг. 147) стандартизованы по ГОСТ 2248-43.



Фиг. 147. Плоская резбонакатная плашка

Круглые резбонакатные плашки (фиг. 148) позволяют получить большую точность и чистоту обработанной поверхности.



Фиг. 148. Круглая резбонакатная плашка

Средний диаметр D_{cp} находится по формуле

$$D_{cp} = d_{cp} i,$$

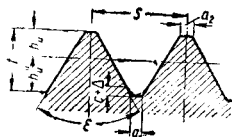
где d_{cp} — средний диаметр накатываемой резьбы;

i — число заходов накатной плашки.

Размеры резьбы (фиг. 148а) определяются по наибольшим размерам резьбы изделия:

$$h'_u = \left(\frac{d_{cp} + d_{вн}}{2} + 0,04 s \right)^{-0,025 s};$$

$$h''_{u \text{ наим}} = \frac{d_n - d_{cp}}{2} + C,$$



Фиг. 148а. Профиль резьбы резбонакатной плашки

где зазор $C = 0,025 s$. Наибольшее значение h'' не регламентируется.

Площадки вершины и впадины определяют:

$$a_1 = \frac{s}{2} - 2h''_u \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}; \quad a_2 = \frac{s}{2} - 2h'_u \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}.$$

Площадка a_1 может быть заменена закруглением.

Наружный диаметр

$$D_n = D_{cp} + 2h'_u.$$

Соответствие полученных диаметров оборудованию проверяется по условиям:

$$L_{\text{наиб}} \geq D_n + d_{cp} + \delta_1$$

и

$$L_{\text{наим}} \leq D_{cp} + d_{cp} - \delta_2,$$

где $L_{\text{наиб}}$ и $L_{\text{наим}}$ — наибольшее и наименьшее расстояния между шпинделями. Величины δ_1 (зазор при установке) и δ_2 (деформация системы станок—изделие—инструмент) можно принять 0,5—2 мм. Направление резьбы берётся обратным направлению резьбы изделия. Ширина накатной плашки берётся на (2 ÷ 3) s больше, чем длина резьбы изделия, а при коротких резьбах ширина накатной плашки удваивается для двустороннего использования.

Уменьшение диаметров плашек при восстановлении допускается до 3%.

ЗУБОРЕЗНЫЙ ИНСТРУМЕНТ

Фасонные зуборезные фрезы

Фасонные зуборезные фрезы дисковые и пальцевые применяют для нарезания цилиндрических зубчатых колёс (прямозубых, косозубых и шевронных) и реек.

По характеру обработки разделяются на черновые и чистовые. Фасонные фрезы в силу простоты изготовления, дешевизны и возможности применения на универсальных станках обычно используются в индивидуальном и мелкосерийном производстве. Пальцевые фрезы преимущественно применяются при изготовлении крупномодульных зубчатых колёс. Точность зубчатых колёс, нарезанных фасонными фрезами, не превышает IV класса.

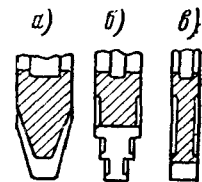
Элементы конструкции дисковых фрез определяются так же, как у обычных фасонных фрез. Наименьший задний угол на боковых режущих кромках допускается $\alpha_{\text{наим}} \geq 1^\circ 20'$.

В случае шлифования профиля затылование выполняется двойным, причём падение 2-го затылка K_2 берётся $K_2 = (1,2 \div 1,5) K_1$. С целью устранения искажения профиля после переточек у чистовых фрез передний угол $\gamma = 0^\circ$.

Для предварительной прорезки впадин могут применяться черновые фрезы, имеющие профиль в виде трапеции (фиг. 149, а), со ступенчатым профилем (фиг. 149, б), а также прорезные (фиг. 149, в).

Размеры дисковых (модульных) фрез приведены в ОСТ 20181-40. Технические условия приведены в ГОСТ 1678-42.

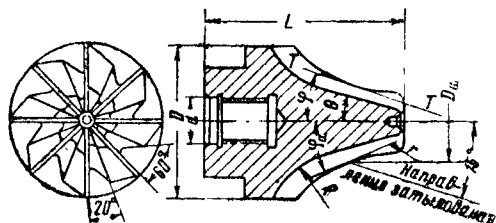
Пальцевые фрезы (фиг. 150) обычно крепят на оправке при помощи резьбы.



Фиг. 149. Профиль черновых дисковых зуборезных фрез

Для точной установки в отверстии фрезы выполняется направляющая выточка. Передний угол у чистовых фрез $\gamma = 0^\circ$, а у черно-

8 включительно и набор из 15 фрез для больших модулей. Для более точных работ применяется набор из 26 фрез.



Фиг. 150. Пальцевая фреза

вых $\gamma = 8 \div 10^\circ$. Заточка выполняется по передней грани. Затылование рекомендуется выполнять под углом 15° к оси.

Задний угол в осевой плоскости на произвольном диаметре D_a определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_a = \frac{Z K (\cos 15^\circ \operatorname{tg} \varphi_a + \sin 15^\circ)}{\pi D_a}$$

Рекомендуемые числа зубьев для фрез диаметром $D = 50 \div 70$ $Z = 4$; для $D = 75 \div 140$ $Z = 6$ и $D = 150 \div 220$ $Z = 8$

Канавки наклонены к оси фрезы под углом $\theta = \varphi - (4 \div 7^\circ)$.

Касательная $T-T$ проводится так, чтобы расстояния от неё до крайних точек профиля были одинаковыми.

Отклонение профиля от шаблона (просвет) в мм допускается 0,002 от величины модуля m на рабочем участке эвольвенты зубчатого колеса.

Биеение по профилю при креплении фрезы

Червячные зуборезные фрезы

Эти фрезы применяют для нарезания цилиндрических и червячных зубчатых колёс на зубофрезерных станках. Их преимущество перед фасонными фрезами в том, что могут быть использованы при нарезании цилиндрических колёс с любым числом зубьев при заданном модуле.

Фрезы разделяются: 1) по роду обработки на черновые (однозаходные, многозаходные, специальные) и чистовые (нормальные и повышенной точности); 2) по конструкции на цельные, насадные и сборные. Фрезы также различаются в зависимости от контура исходной рейки (угла и высоты зуба) и системы зацепления.

Фрезы червячные чистовые (фиг. 151) стандартизованы по ГОСТ 3346-46. Технические условия по ГОСТ 2973-45. Стандартизованные фрезы изготавливаются трёх классов точности: А, В и С.

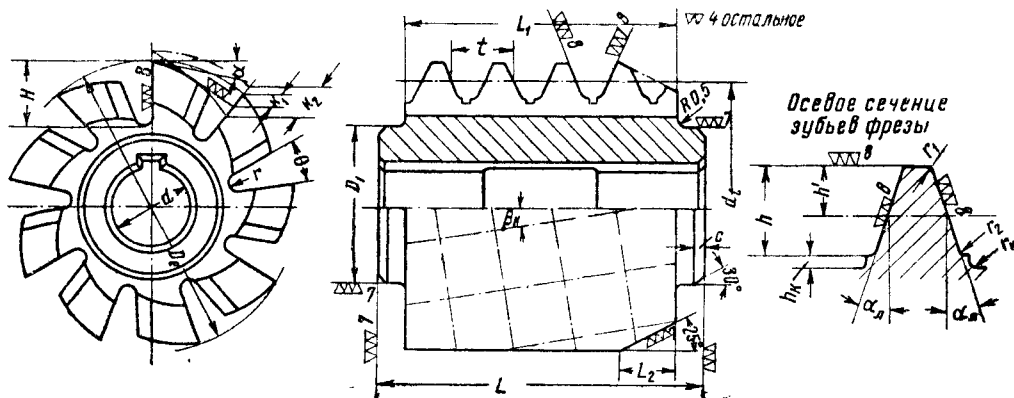
Фрезы классов А и В, предназначенные для колёс III и IV классов точности, должны быть изготовлены со шлифованным профилем.

Фрезами класса А возможно нарезание колёс II класса при модуле до 4.

Колёса II класса при $m > 4$ могут быть нарезаны червячными фрезами повышенной точности.

Фрезы класса С, предназначенные для колёс ниже IV класса точности, могут быть изготовлены с нешлифованным профилем.

Фрезы повышенной точности имеют увеличенный диаметр (табл. 48).



Фиг. 151. Чистовая червячная фреза с профилем прямолинейным в осевом сечении

на оправке не должно быть больше 0,04 мм для модуля $m = 10 \div 16$; 0,05 мм для $m = 18 \div 30$ и 0,07 мм для $m = 36 \div 50$ мм. Для черновых фрез предельное отклонение профиля возможно увеличить в 2 раза, а биеение — в 1,5 раза.

Теоретически для каждого числа зубьев колеса требуется отдельная фреза, но для снижения номенклатуры инструмента обычно применяют набор из 8 фрез для модуля до

Применяются также чистовые фрезы с углом профиля, уменьшенным до 7° по сравнению со стандартными.

Отверстия под оправку у фрез всех классов должны быть отшлифованы, а у фрез класса А доведены.

Черновые фрезы выполняются с передним углом $\gamma = 5 \div 10^\circ$.

Для повышения производительности их часто делают двух- и трёхзаходными. Хоро-

Наружные диаметры фрез повышенной точности

Т а б л и ц а 48

Модуль	4	4,25	4,5	5	5,5	6	6,5	7	8	9	10	11	12	13	14
D_e в мм	85	90	95	105	115	125	135	145	155	170	190	210	230	250	260

шие результаты показали черновые фрезы с различной высотой зубьев. У данных фрез толщина среза, снимаемая периферийными режущими кромками, колеблется незначительно, а поэтому при работе ими возможно значительно увеличить подачи.

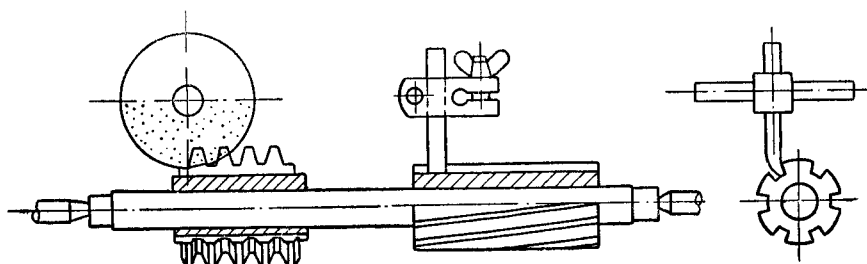
Заточка

Заточка червячных фрез выполняется по передней грани и может производиться как на специальном оборудовании, так и на универсально-заточных станках со специальными приспособлениями.

вляется от руки при помощи шестерни 5 и рейки.

Алмаз устанавливается в осевой плоскости при помощи шаблона 6. Оправка устанавливается в центрах заточного станка и получает движение как затачиваемая фреза. В процессе правки алмаз придаёт шлифовальному кругу форму, необходимую для образования радиальной передней грани у затачиваемой да-
лее фрезы.

Характеристики заточных кругов: Э, 60, $С_1 - СМ_1$, К (для быстрорежущих фрез), ЭБ, 60, $СМ_2 - СМ_1$, К (для малолегированных



Фиг. 152. Приспособление с копиром для заточки червячных фрез

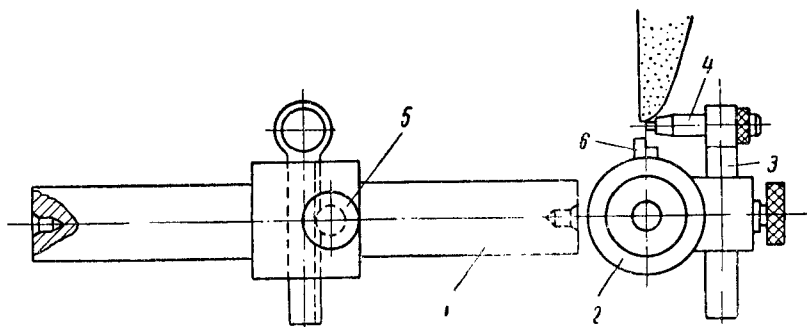
На фиг. 152 пригледено заточное приспособление, имеющее винтовой копир. Число и шаг канавок копира и фрезы должны быть одинаковыми.

С целью устранения завала передней грани заточку необходимо выполнять конической поверхностью круга формы 1Т, 2Т или 3Т (ГОСТ 2424-52). При больших углах подъема канавок ($\lambda_{du} > 10^\circ$) следует выполнять специальную заправку шлифовального круга. Приспособление для правки (фиг. 153) состоит

быстрорежущих фрез) и КЗ, 80, МЗ — $СМ_1$, К (для фрез с гребенками из твердого сплава).

Зуборезные долбяки

Долбяки (фиг. 154) применяются на зубодолбежных станках для нарезания цилиндрических зубчатых колес с прямыми, косыми и шевронными зубьями. Преимущественное применение получили при изготовлении колес внутреннего зацепления, блочных зубчатых



Фиг. 153. Схема приспособления для правки заточного круга

из оправки 1 с насаженной втулкой, в которой перемещается движок 3, несущий державку 4 с алмазом. Перемещение движка осущест-

колес и колес с выступающими фланцами. Чистовые долбяки могут обеспечить точность обработки зубчатых колес по II классу точности.

расположена перпендикулярно образующей конуса впадин заготовки. Угол α_n необходимо строго выдерживать при заточке.

Передний угол $\gamma_N = 10 \div 22^\circ$ в зависимости от обрабатываемого материала. Для резцов универсального назначения $\alpha_n = 12^\circ$ и $\gamma_n = 20^\circ$. Заточка производится лишь по передней грани.

АБРАЗИВНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

Характеристика и типы

К абразивным инструментам относятся: шлифовальные круги, головки, бруски и сегменты. Кроме того, применяют абразивные шлифовальные шкурки и пасты.

К основным характеристикам, определяющим свойства абразивных инструментов, относятся: форма и размер инструмента, материал зёрен, связка, зернистость, твёрдость, способ изготовления и структура. Правильный выбор характеристики круга обеспечивает получение высокой производительности, самозатачивание круга, получение заданного качества поверхности.

Форма и размеры абразивного инструмента стандартизованы по ГОСТ 2424-52, ГОСТ 2447-52, ГОСТ 2456-52 и ГОСТ 2464-52. Выбор формы приведён в табл. 49 и 50.

Шлифовальные шкурки стандартизованы по ГОСТ 6456-53.

Таблица 49

Выбор шлифовальных кругов (ГОСТ 2424-52)
















Тип и форма инструмента	Обозначение	Применение
	ПП	Круглое наружное, внутреннее и бесцентровое шлифование; плоское шлифование периферией круга, заточка резцов
	ПВ	Круглое шлифование, когда зажимные фланцы могут мешать подводке круга к месту обработки ПВД, применяют также для ведущих кругов бесцентрового шлифования
	ПВД	
	ПВК	Круглое шлифование с подрезкой торца обрабатываемой детали
	ПВДК	
	ПР	Плоская обдирка деталей на специальных станках

Продолжение табл. 49





Тип и форма инструмента	Обозначение	Применение
	ПН	Плоская обдирка деталей на специальных станках
	1К	Плоское шлифование торцом круга
	2К	Плоское шлифование торцом круга
	ЧЦ	
	ЧК	Заточка инструмента
	1Т	
	2Т	
	3Т	Шлифование зубьев долбяков и шестерён
	2П	Шлифование зубьев шестерён и гребёнок
	3П	Заточка пил
	4П	Шлифование зубьев шестерён, заточка инструмента
	Д	Отрезание, прорезание пазов
	С	Шлифование калиброванных скоб
	И	Заточка иголок
	М	Разрезание минералов
	Кс	Заточка ножей косилок

Таблица 50

Выбор абразивных головок, сегментов и брусков

Тип и форма инструмента	Обозначение	Применение
Г о л о в к и (ГОСТ 2447-52)		
	ГЦ	Для обработки фасонных поверхностей штампов, отливок, сварных соединений и др. ГЦ применяют также для внутреннего шлифования вместо мелких кружков
	ГУ	
	Г60°	
	ГСв	
	ГК	
	ГШ	
	ГШЦ	
С е г м е н т ы (ГОСТ 2464-52)		
	СП	Для наборных кругов в зависимости от типа станка и конструкции сегментной головки
	1С	
	2С	
	3С	
	4С	
	5С	
Б р у с к и (ГОСТ 2456-52)		
	Бкв	Для различных ручных работ
	БП	

Продолжение табл. 50

Тип и форма инструмента	Обозначение	Применение
	БТ	Для различных ручных работ
	БКр	
	БПК	
	БХ	Для хонингования и суперфиниша
	БХВ	

Выбор материала зёрен абразивных инструментов приведён в табл. 51.

Кроме того, для изготовления паст применяются также карбид бора, кварц, окись железа, окись хрома и др.

Таблица 51

Материалы зёрен абразивных инструментов

Наименование абразивного материала	Обозначение	Область применения
Электрокорунд нормальный	Э	Шлифование сталей: машиноподелочных, углеродистых, легированных, чугуна ковкого перлитной структуры; бронзы твёрдой
Электрокорунд белый	ЭБ	Профильное шлифование и заточка фасонного стального инструмента. Резьбо- и зубошлифование. Отделочное шлифование тонкостенных стальных деталей
Корунд естественный	Е	Ведущие круги бесцентрового шлифования. Окончательное шлифование закалённых шариков. Пасты для лекальных работ
Карборунд чёрный	КЧ	Шлифование чугунов белого, отбеленного и серого; мягкой бронзы; меди; алюминия; неметаллических материалов — эбонита, фибры, бакелита, фагфора и др.
Карборунд зелёный	КЗ	Заточка инструмента из твёрдых сплавов. Доводка режущего инструмента из инструментальных сталей

Электрокорунд нормальный содержит $86 \div 91\% \text{Al}_2\text{O}_3$.

Электрокорунд белый (корракс) содержит $96 \div 99\% \text{Al}_2\text{O}_3$.

Карборунд зелёный содержит не менее $97\% \text{SiC}$, а карборунд чёрный — не менее $95\% \text{SiC}$.

Основные типы связок абразивных инструментов

Таблица 52

Наименование связки	Обозначение	Характеристика	Изготавливаемые инструменты	Область применения
Керамическая	К	Отличается высокой водо- и огнеупорностью. Хорошо сохраняет профиль круга. Круги чувствительны к изгибающим и ударным нагрузкам. Возможно появление прижогов шлифуемой поверхности	Шлифовальные круги, сегменты, бруски и головки	Все виды шлифования, за исключением операций разрезки и прорезки узких пазов
Бакелитовая	Б	Бакелитовые круги отличаются высокой прочностью и упругостью. Имеют пониженное теплообразование, что способствует отсутствию прижогов. В случае применения щелочных охлаждающих жидкостей требуют пропитки парафином	Круги, сегменты и бруски для хонингования	Разрезка и прорезка узких пазов. Фасонное шлифование. Заточка профильного инструмента. Резьбошлифование, хонингование
Вулканитовая	В	Вулканитовые круги более упруги и менее огнестойки, чем бакелитовые. При температуре выше 150°C связка размягчается и зерна в ней вдавливаются. Вулканитовые круги непригодны для снятия больших припусков вследствие значительной плотности	Плоские круги, головки. Твердость СМ, С, СТ и Т	Разрезка, прорезка и шлифование узких пазов. Шлифование сферических поверхностей. Чистовое фасонное шлифование. Ведущие круги бесцентрового шлифования

Корунд естественный сорта Семиз-Бугу содержит до 95% Al_2O_3 . Твердость корунда по 10-балльной шкале (твердость алмаза соответствует 10, а рубина 9) в зависимости от содержания Al_2O_3 составляет 9,25÷9,5, твердость карборунда — примерно 9,75.

Связка

Основные типы связок и область применения их приведены в табл. 52.

Для сухого шлифования применяют также связки силикатовую и магнезиальную. В качестве связки для паст применяют парафин, стеарин, масло машинное и др. Для закрепления абразивных зерен на полотне, бумаге и поверхности эластичных кругов (войлочных или фетровых) применяются клеи мездровый, костяной, казеиновый, а также лаки.

Зернистость

Зернистость абразивных материалов характеризуется по ГОСТ 3238-46 длиной зерна l (при $l > 40$ мк) или полусуммой длины и ширины зерна (при $l \leq 40$ мк).

Дробленые абразивные материалы, идущие для производства инструментов, включают зерна различных размеров и характеризуются номерами зернистости в зависимости от granulометрического состава.

Granулометрический состав в свою очередь характеризуется (по ГОСТ 3347-47) пятью размерными фракциями (группами) зерен и относительным весом (в процентах) зерна в них.

Классификация абразивных материалов в зависимости от зернистости приведена в табл. 53.

Крупнозернистые абразивы (до № 36) назначаются для обдирочных работ.

Для чистовых операций с незначительной

Таблица 53
Классификация абразивных материалов по их зернистости

Группа материалов	Номер зернистости	Размерная характеристика зерна основной фракции в мк
Шлифовальные зерна	10	2 300÷2 000
	12	2 000÷1 700
	14	1 700÷1 400
	16	1 400÷1 200
	20	1 200÷1 000
	24	850÷700
	30	700÷600
	36	600÷500
	46	420÷355
	54	355÷300
	60	300÷250
	70	250÷210
Шлифовальные порошки	80	210÷180
	90	180÷150
	100	150÷125
	120	125÷105
	150	105÷75
	180	85÷63
	220	75÷53
Микропорошки	240	63÷42
	280	53÷28
	320	42÷20
	M28	28÷20
	M30	20÷14
	M14	14÷10
	M10	10÷7
	M7	7÷5
	M5	5÷3,5

глубиной резания принимается зернистость от № 46 до № 120. Для отделочных операций применяют шлиф и микропорошки размерами, начиная от № 150.

Твердость

Под твердостью абразивного инструмента понимается сопротивляемость связки отделению зерен с поверхности под воздействием внешних усилий.

Шкала степеней твердости абразивных инструментов приведена в табл. 54.

Твердость определяют согласно ГОСТ 3751-47. Для круглой и плоской шлифовки преимущественно применяют круги твердостью $M_2 \div C_2$.

Для обдирочных работ, зачистки литых поковок и мест сварки, снятия заусениц и других работ с неравномерным припуском рекомендуется твердость $ST_1 \div ST_3$, для отрезных и прорезных работ $C_2 \div CT_3$, для шлифовки и заточки инструмента $M_3 \div CM_2$.

Таблица 54

Шкала твердости абразивных инструментов

Наименование твердости	Обозначение подразделений твердости
Мягкий	M_1, M_2, M_3
Среднемягкий	CM_1, CM_2
Средний	C_1, C_2
Среднетвердый	ST_1, ST_2, ST_3
Твердый	T_1, T_2
Весьма твердый	BT_1, BT_2
Чрезвычайно твердый	CT_1, CT_2

Круги ЧТ применяют для шлифовки шариков и для правки абразивных инструментов (взамен алмазов).

Закаленные стали следует обрабатывать менее твердыми кругами, нежели сырые. Цветные металлы (алюминий, бронза, медь, латунь и др.) обрабатываются более мягкими кругами, чем сталь. При прерывистом резании, значительном и неравномерном припуске следует твердость круга повышать. Большие

сплошные поверхности и тонкостенные детали следует обрабатывать мягкими кругами.

Для точных работ твердость круга следует повышать.

Для фасонного шлифования следует применять более твердые круги, чем для обычных работ.

Структура

Структура абразивного инструмента выражает количественное соотношение между абразивными зёрнами, связкой и порами.

Структуры обозначают номерами от 0 до 12, причём чем меньше номер, тем плотнее расположены абразивные зёрна. Различают 3 группы структур: плотные (№ 0, 1, 2 и 3), среднетвёрдые (№ 4, 5 и 6) и открытые (№ 7, 8, 9, 10, 11 и 12).

Круги на керамической связке плотных структур обычно не изготавливаются.

Круги с плотной структурой рекомендуются применять при тяжёлых грубых работах, где высокие усилия резания обеспечивают в этих случаях процесс самозатачивания.

Для отделочных работ рекомендуются открытые структуры.

Структуры № 7, 8, 9 применяются для плоского шлифования торцом круга, отрезки, заточки твердосплавного инструмента; № 5, 6 — для круглого (наружного, внутреннего и бесцентрового), плоского шлифования периферией круга и заточки режущего инструмента; № 3, 4 — для профильного шлифования и тяжёлых работ.

Выбор круга

Выбор кругов для различных видов шлифования приведён в табл. 55—60.

Таблица 55

Выбор шлифовального круга для наружного круглого шлифования в центрах

Шлифуемый материал	Абразив	Связка	Зернистость	Твёрдость	Структура
Сталь незакалённая	Корунд	Керамическая	36—46	CM_1-C_2	5
Сталь закалённая	Корунд; корракс	То же	36—46 46—60	CM_1-M_1	5
Сталь быстрорежущая	То же	»	36—46 46—60	CM_1-CM_2	5
Чугун	Карборунд	»	36—46	CM_2-M_2	5
Алюминий	То же	»	36—46	CM_1-M_2	5
Латунь и бронза мягкая	»	»	36—46	CM_1-CM_2	5
Бронза твёрдая	Корунд	»	36—46	CM_1-M_2	5

Примечание. При работе на маломощных станках с целью снижения расхода мощности следует применять более мягкие круги.
Зернистость 46—60 применять при чистовом шлифовании.

Таблица 56

Выбор шлифовального круга для бесцентрового наружного круглого шлифования

Шлифуемый материал	Абразив	Связка	Зернистость	Твёрдость	Структура
Незакалённая сталь	Корунд	Керамическая	46—60	C_1-CM_2	5
Закалённая сталь	То же	То же	60—80	CM_2-M_2	5
Быстрорежущая сталь	»	»	60—80	CM_2-M_2	5
Чугун	Карборунд	»	46—60	CM_1-CM_1	5
Латунь и мягкая бронза	То же	»	36—46	C_1-C_1	5
Бронза твёрдая	»	»	46—60	CM_1-M_2	5
Алюминий и его сплавы	»	»	36—46	CM_1-M_2	5

Примечание. Ведущие круги применяются корундовые на вулканитовой связке твердостью ST_2-T_1 , зернистостью 80—120.

Т а б л и ц а 57

Выбор шлифовального круга для внутреннего шлифования

Шлифуемый материал	Абразив	Связка	Зернистость	Твёрдость	Структура
Сталь незакалённая	Корунд	Керамическая	36—46	СМ ₁ —М ₃	5
Сталь закалённая	Корунд; корракс	То же	46—60	СМ ₁ —М ₁	5
Сталь быстрорежущая	То же	»	46—60	СМ ₁ —М ₃	5
Чугун	Карборунд	»	36—46	СМ ₁ —СМ ₃	5
Алюминий	То же	»	36—46	СМ ₃ —СМ ₁	5
Латунь и бронза мягкая	»	»	46—60	СМ ₃ —СМ ₁	5
Бронза твёрдая	Корунд	»	46—60	СМ ₁ —СМ ₂	5

Т а б л и ц а 58

Выбор шлифовального круга для плоского шлифования периферией круга

Шлифуемый материал	Абразив	Связка	Зернистость	Твёрдость	Структура
Сталь незакалённая	Корунд	Керамическая	36—46	СМ ₃ —М ₃	8
Сталь закалённая	То же	То же	36—46	М ₃ —М ₁	8
Сталь быстрорежущая	»	»	46—60	М ₃ —М ₁	8
Чугун	Карборунд	»	36—46	СМ ₁ —М ₃	8
Хромоникелевая сталь	Корунд	»	36—46	СМ ₁ —М ₁	8

Т а б л и ц а 59

Выбор шлифовального круга для плоского шлифования торцом круга

Шлифуемый материал	Тип станка	Абразив	Связка	Зернистость	Твёрдость	Структура
Закалённая сталь	С круглым столом полуавтомат	Корунд	Силикатная	80	СМ ₂	8
	С круглым столом нормального типа	Корунд	Керамическая	36	М ₃	8
Незакалённая сталь	С круглым столом	Корунд	Керамическая	24—36	М ₁ —СМ ₁	8
	С прямоугольным столом	Корунд	Бакелитовая Керамическая	16—24 16—24	М ₃ —С ₁ М ₃ —СМ ₂	8
Закалённая сталь	С круглым или прямоугольным столом	Корунд	Бакелитовая Керамическая	24—36 24—36	М ₁ —СМ ₁ М ₁ —СМ ₁	8
Быстрорежущая сталь закалённая		Корунд	Силикатная	24—46	М ₃ —М ₁	8
Чугун серый		Карборунд	Бакелитовая Керамическая	16—24 16—24	М ₃ —СМ ₂ М ₃ —С ₁	7
Ковкий чугун		Карборунд	Керамическая	16—36	М ₁ —СМ ₂	7
Латунь и мягкая бронза		Карборунд	Керамическая	24—36	М ₁ —М ₃	8
Алюминий		Корунд	Керамическая	24—36	СМ ₁ —СМ ₂	8

Таблица 60
Выбор шлифовального круга для шлифования резьб

Шаг шлифовальной резьбы		Предварительное шлифование	Окончательное шлифование
в мм	по числу витков на 1"	Характеристика круга	
До 0,5	—	M28 CT ₁ — M28 C ₂	M20 CT ₁ — M20 C ₂
0,5—0,9	—	320 C ₂	M28 CT ₁ — M28 C ₂
1,0—1,25	48—40	240 C ₁	320 C ₂
1,5—2,5	32—26	220 CM ₂ — 220 CM ₁	280 C ₁
2,5—4	24—14	180 CM ₂ — 180 CM ₁	220 CM ₂ — 220 CM ₁
4,5—5,5	12—10	150 CM ₁	180 CM ₂ — 180 CM ₁
6	9—7	120 CM ₁	150 CM ₁
Более 6	—	120 CM ₁	120 CM ₁

Примечание. Связка кругов керамическая; абразивные материалы — корракс или карборунд.

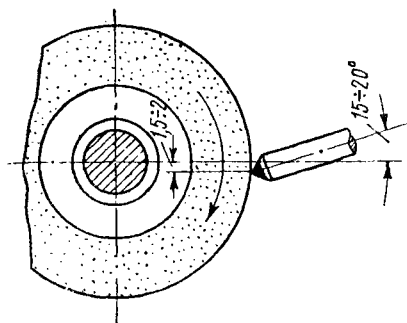
Правка кругов

Круги правят путём удаления с их поверхности затупившихся абразивных зёрен для восстановления режущей способности круга и придания кругу нужной формы.

Правка выполняется: а) алмазами, б) абразивами, в) металлическими роликами, г) шарошками наборными и цельными.

Алмазная правка применяется при профильном и резьбовом шлифовании и при отделке деталей высокой точности.

Алмазы должны прочно закрепляться в державках. Державка с алмазом устанавливается ниже центра круга на $1,5 \div 2$ мм и под углом $15 \div 20^\circ$ в направлении вращения круга (фиг. 159).



Фиг. 159. Алмазная правка

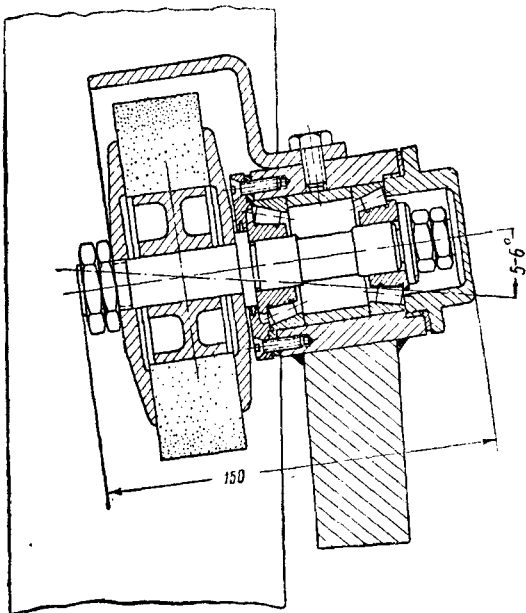
Правка должна выполняться с механической подачей при нормальной рабочей скорости и обильном и непрерывном охлаждении. По мере затупления кромок алмаза державку следует поворачивать. При алмазной правке недопустимо малейшее биение шпинделя. Режим правки: глубина $15 \div 20$ мк, продольная подача $200 \div 300$ мм/мин.

Алмазная правка может выполняться также алмазно-металлическими карандашами, состоя-

щими из алмазной крошки весом $\frac{1}{3} \div \frac{1}{100}$ карата, цементированной сплавом из $70 \div 80\%$ вольфрама, $19 \div 28\%$ меди и $0,9 \div 2\%$ алюминия. Характеристика карандашей приведена в ГОСТ 607-52.

Правка абразивами может выполняться путём обкатки или шлифованисм.

При правке методом обкатки правящий инструмент укрепляется на свободно вращающейся оправке приспособления (фиг. 160)



Фиг. 160. Правка методом обкатки цилиндрическим кругом

под углом $5 \div 6^\circ$ к оси круга. Также возможна правка коническим кругом (фиг. 161).

Правка методом шлифования выполняется при принудительном вращении правящего круга.

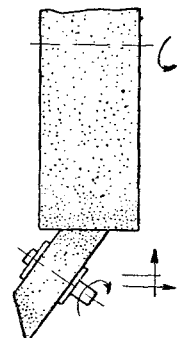
При наружном круглом шлифовании правящий круг устанавливается в центрах на оправке, а при внутреннем шлифовании — в патроне.

Круги для правки применяются карборундовые на керамической связке.

Диаметр правящего круга ориентировочно принимается $0,2 \div 0,35$ от диаметра рабочего круга.

Твёрдость должна быть на $2 \div 5$ степеней выше твёрдости рабочего круга, причём при правке обкаткой применяют более твёрдые круги.

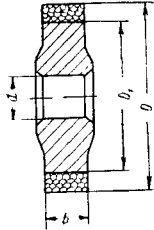
Зернистость правящего круга должна быть при правке методом обкатки на $2-3$ номера, а при правке методом шлифования на $1-2$ номера выше, чем зернистость рабочего круга.



Фиг. 161. Правка методом обкатки коническим кругом

При работе правящий круг выводится за пределы рабочего круга лишь на 0,75 своей ширины, глубина снимаемого слоя $0,05 \div 0,12$ мм при грубом шлифовании и $0,025 \div 0,05$ мм при отделочном шлифовании. Продольная подача $0,5 \div 1$ м/мин при грубом шлифовании и $0,25 \div 0,5$ м/мин при отделочном шлифовании.

Правка металлическими роликами (фиг. 162) с наплавленной крошкой из твёрдого сплава



D	D_1	d	b
60	50	20	5—10
80	60	20	8—15
80	66	37	8—15
150	134	65	10—20

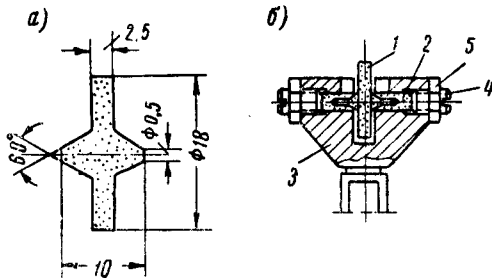
Фиг. 162. Ролик с наплавленной крошкой из твёрдого сплава

обеспечивает хорошее качество поверхности выправляемого круга. Выполняется методом обкатки.

Размеры роликов обычно колеблются: $D = 60 \div 150$ мм, $b = 5 \div 20$ мм. Глубина снимаемого при правке слоя составляет $0,08 \div 0,25$ мм. Продольная подача $0,7 \div 1,2$ м/мин. Широко применяется правка методом обкатки твёрдосплавными дисками (ГСОТ 4802-53).

На фиг. 163, а представлен твёрдосплавный цельный диск, а на фиг. 163, б крепление его в державке.

Диск 1 устанавливается в твёрдосплавных подшипниках 2, расположенных в отверстиях державки 3. Регулировка производится при



Фиг. 163. Твёрдосплавный диск

помощи винтов 4, закрепляемых гайками 5. Материал дисков ВК3 и ВК6, подшипников — ВК6 и ВК8.

При предварительной правке продольная подача $0,4 \div 0,6$ м/мин, глубина $0,03 \div 0,05$ мм; при окончательной правке — продольная подача $0,2 \div 0,3$ м/мин, глубина $0,02 \div 0,03$ мм. Число проходов 7—8, причём 2—3 последних прохода выполняются без поперечной подачи.

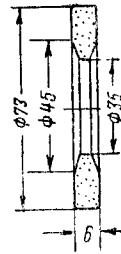
Хорошее качество правки обеспечивают диски АЗ (ГОСТ 6565-53) из, термокорунда (фиг. 164).

Данные диски крепятся в специальной державке. Продольная подача $0,5 \div 1,5$ м/мин, глубина $0,01 \div 0,04$ мм. Число проходов 8, причём 2 последних прохода без поперечной подачи.

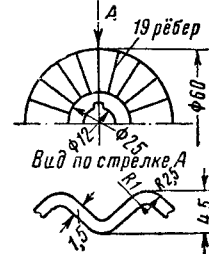
Правка дисками (твёрдосплавными и АЗ) производится с обильным охлаждением. Оси диска и круга во время правки параллельны.

Правка наборными шарошками применяется в основном для кругов, выполняющих грубые работы.

Из наборных шарошек получили широкое распространение: а) с гофрированными дисками (фиг. 165), с зубчатыми дисками (фиг. 166).



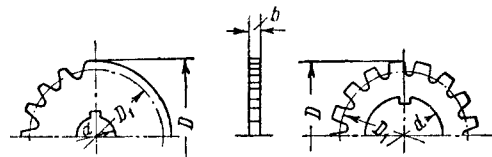
Фиг. 164. Диск АЗ



Фиг. 165. Гофрированный диск наборной шарошки

Диски шарошек изготавливаются из малоуглеродистой стали, цементируются и калятся на твердость $H_{RC} = 50 \div 60$. Ширина наборной шарошки обычно берётся равной ширине подлежащего правке круга.

Цельные шарошки имеют продольные пазы с неравномерным шагом. Применяются для правки мелкозернистых и твёрдых кругов. Для правки профильных кругов (в частности резбовых многоконических) применяются фасонные шарошки из инструментальных сталей,



Тип	D	D_1	d	b	Число зубьев
1	30	22	6,5	0,75—1,5	16
2	35	27	8,4	1—1,5	16
3	41	30	12,5	1—1,5	16
4	74	58	48	0,7—1,2	24
5	62	52	42	1,5	20
6	90	78	50	2	20

Фиг. 166. Зубчатые диски к наборным шарошкам

имеющие после термической обработки твердость $H_{RC} = 62 \div 64$.

Правка шарошками производится при глубинах $0,06 \div 0,08$ мм и продольных подачах $S = 0,7 \div 1,2$ м/мин.

ЧИСТОТА ПОВЕРХНОСТЕЙ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Чистота поверхностей режущих инструментов не стандартизована. Рекомендуемая чистота посадочных и торцевых поверхностей насадного инструмента приведена (по данным

ВНИИ) в табл. 60, а чистота поверхности цилиндрических и конических хвостовиков у хвостового инструмента в табл. 61. Чистота рабочих поверхностей у основных видов режущих инструментов приведена в табл. 62. Опорные поверхности резцов рекомендуются выполнять по 5-му классу.

Таблица 61

Чистота посадочных и торцевых поверхностей насадного режущего инструмента в зависимости от точности его изготовления

Допуск на изготовление посадочного отверстия инструмента в мм		+0,005	+0,008	+0,015	+0,025 и выше
Чистота поверхности по ГОСТ 2789-51	На поверхности посадочного отверстия	▽▽▽▽10	▽▽▽▽10	▽▽▽9	▽▽▽8
	На поверхности базирующего торца	▽▽▽▽10	▽▽▽9	▽▽▽8	▽▽▽7 в

Таблица 62

Чистота поверхности цилиндрических и конических хвостовиков у хвостового инструмента в зависимости от точности его изготовления

Допуск на изготовление основного диаметра хвостового инструмента в мм	0,05	0,06—0,10	0,10—0,25
Чистота поверхности по ГОСТ 2789-51	▽▽▽8	▽▽▽7 в	▽▽▽7 в
Примечание. Хвостовики развёрток изготавливают с чистотой поверхности по 8-му классу.			

Таблица 63

Чистота рабочих поверхностей режущего инструмента

Инструмент			Наименование поверхности	Чистота поверхности по ГОСТ 2789-51
Наименование	Материал режущей части	Размер в мм		
Резцы	Инструментальная сталь	20×30	Передняя и задние грани	▽▽▽7
	Твёрдый сплав	От 10×10 до 40×60	Передняя грань Фаски на передней и задних гранях Вспомогательная задняя грань	▽▽▽7 ▽▽▽8—9 ▽▽▽7
Свёрла спиральные	Инструментальная сталь	10—52	Передняя грань Задняя грань и поверхность направляющей ленточки	▽▽▽7 ▽▽▽7 в
	Твёрдый сплав	6—30	Передняя грань Задняя грань и поверхность направляющей ленточки	▽▽▽7 ▽▽▽8
Зенкеры	Инструментальная сталь	12—35	Передняя грань Задняя грань и поверхность направляющей ленточки	▽▽▽7 ▽▽▽8
	Твёрдый сплав	25—80	Передняя грань Фаски на передней и задней гранях и поверхность направляющей ленточки	▽▽▽7 ▽▽▽8
Развёртки цилиндрические	Инструментальная сталь	10—50	Передняя и задняя грани Поверхность направляющей ленточки	▽▽▽8 ▽▽▽8
	Твёрдый сплав	10—50	Передняя и задняя грани Поверхность направляющей ленточки	▽▽▽9 ▽▽▽8
Развёртки конические	Инструментальная сталь	Для конусов № 1÷5	Передние и задние грани	▽▽▽8

Продолжение табл. 63

Инструмент			Наименование поверхности	Чистота поверхности по ГОСТ 2789-51
Наименование	Материал режущей части	Размер в мм		
Фрезы цилиндрические	Инструментальная сталь	60—150	Передние и задние грани (на цилиндрических, торцевых, угловых и боковых сторонах)	▽▽▽7 в
Фрезы торцевые		10—110		
Фрезы дисковые		60—110		
Фрезы торцевые	Твёрдый сплав	150—400	Передняя грань Фаски на передней и задних гранях	▽▽▽7 ▽▽▽8
Фрезы концевые		10—50		
Фрезы дисковые		75—150		
Протяжки круглые	Инструментальная сталь	10—50	Передние и задние грани Поверхность направляющих » ластовика	▽▽▽8 в—9 ▽▽▽8 ▽▽▽7
Протяжки шлицевые		16—80		
Протяжки шпоночные		3—20		
Метчики ручные с нешлифованным профилем	Инструментальная сталь	6—52	Передняя грань Затылочная поверхность на заборной части Поверхность профиля резьбы . .	▽▽▽7 в ▽▽▽7 ▽▽6 в
Метчики гаечные с шлифованным профилем		6—36		
Лашки круглые	Инструментальная сталь	6—36	Передняя грань	▽▽▽7
			Затылочная поверхность на заборной части Поверхность профиля резьбы . . Торцы и наружная поверхность .	▽▽▽7 ▽▽6 в ▽▽▽7 в
Фрезы резьбовые гребёнчатые	Инструментальная сталь	Шаг 1÷3	Передняя грань Поверхность профиля резьбы . .	▽▽▽8 в ▽▽▽9
Резцы резьбовые	Твёрдый сплав	От 12×20 до 20×30	Передняя и задние грани	▽▽▽9
Фрезы червячные чистовые класса А	Инструментальная сталь	M=1÷10	Передняя грань Задние грани наружные » » боковые	▽▽▽8 в ▽▽▽8 ▽▽▽9
Долбяки чистовые класса А	Инструментальная сталь	M=0,8÷8	Передняя грань Задние грани наружные и боковые	▽▽▽9 в ▽▽▽9 в
Гребёнки зуборезные чистовые		M=1÷10		

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

- Аваков А. А. Некоторые вопросы стойкости реза. Сборники трудов ТБИИЖТ, 1947, № 2, 1948, 3—4; 1951, № 5, Трансжелдориздат, М.
- Алексеев Г. А., Аршинов В. А., Смольников Е. А. Расчёт и конструирование режущего инструмента. Машгиз, М., 1951.
- Альбом котельного инструмента и приспособлений, применяемых при текущем ремонте паровозов. Трансжелдориздат, 1949.
- Альбом приспособлений, применяемых при текущем ремонте паровозов. Трансжелдориздат, 1949.
- Грудов П. П., Цыганова М. П. Применение керамических пластинок при чистовом и получистовом точении. Центр. бюро технической информации, М., 1952.
- Грудов П. П., Волков С. И. и Харламов М. С. Режущие свойства твёрдых сплавов при фрезеровании. Центр. бюро технической информации, 1953.
- Даниелян А. М. Резание металлов и инструмент. Машгиз, М., 1950.
- Долматовский Г. А. Справочник технолога. Машгиз, М., 1950.
- Каменкович С. Л. Режущий инструмент высокой производительности. «Московский рабочий», 1947.
- Конструкции твёрдосплавного инструмента. Сборник нормалей. Машгиз, М., 1952.
- Некаровский М. Д., Лернер А. С., Климов В. И. и Смирнов Л. Н. Металлорежущие инструменты. Справочник конструктора. Машгиз, Свердловск—М., 1947.
- Семенченко И. И. Режущий инструмент, т. I—IV. Машгиз, М.—Л., 1936—1944.
- Типовые технологические процессы термической обработки инструмента. Оргваппром, М., 1942.
- Томилин Г. Н., Мясников В. П. и Журавлёв С. А. Инструменты для скоростного резания металлов. Машгиз, М.—Л., 1950.
- Труды МЭМИТ, вып. 61. Скоростные методы резания металлов. Трансжелдориздат, 1952.

МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ



Советская станкостроительная промышленность выпускает станки всех известных в настоящее время типов, причём по каждому типу станка производится выпуск ряда типо-размеров (разных моделей). В настоящем разделе приведены данные о характерных станках каждого типа, имеющих или могущих найти применение на металлообрабатывающих предприятиях железнодорожного транспорта.

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ СТАНКИ

Токарно-винторезные станки

Токарно-винторезные станки предназначены для выполнения различных токарных работ, включая нарезание резьбы.

На этих станках обрабатываются различные детали подвижного состава: дышловые валики, валики рессорного подвешивания, винты винтовых стяжек, буферные стержни, золотниковые втулки и др.

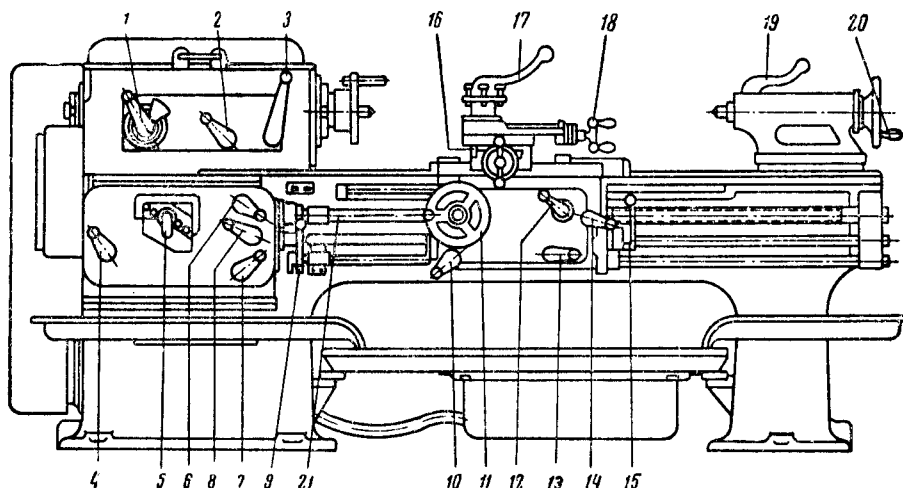
Общий вид токарно-винторезного станка 1Д62М со спецификацией рукояток управления показан на фиг. 1.

Передача движения к шпинделю станка осуществляется с помощью коробки скоростей (фиг. 2) на 18 ступеней в пределах от 12 до 600 об/мин.

График чисел оборотов коробки скоростей с указанием чисел зубьев сцепляющихся зубчатых колёс дан на фиг. 3.

Методику построения графиков — см. «Краткие справочные данные по паспортизации станков» (стр. 559).

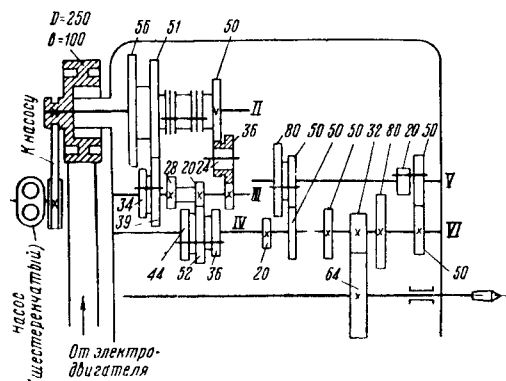
Кинематика механизмов подачи станков 1Д62М и 1А62 аналогична, для последнего этот механизм разобран ниже. Станок 1А62 (фиг. 4) отличается увеличенной мощностью и повышенными числами оборотов шпинделя, что даёт большие возможности для рационального использования инструментов из твёрдых сплавов. Коробка скоростей станка позволяет получить 21 различное число оборотов шпинделя (в пределах от 12 до



Фиг. 1. Общий вид токарно-винторезного станка 1Д62М: 1—рукоятка для установки числа оборотов шпинделя; 2—рукоятка для увеличения шага резьбы; 3—рукоятка для установки числа оборотов шпинделя; 4—рукоятка для настройки станка на нарезку резьбы метрической и дюймовой; 5—рукоятка конуса зубчатых колёс; 6, 7—рукоятки для настройки шага резьбы; 8—рукоятка для включения ходового винта или валика; 9—рукоятка для включения и реверсирования станка; 10—рукоятка трензеля; 11—маховичок для ручного перемещения каретки; 12—рукоятка для переключения продольной и поперечной подачи; 13—рукоятка для включения подачи и для включения после автоматического останова; 14—рукоятка для включения гайки ходового винта; 15—рукоятка для включения и реверсирования станка; 16—рукоятка для поперечной подачи супорта вручную; 17—рукоятка для закрепления резцовой головки; 18—рукоятка для подачи резцовых салазок; 19—рукоятка для крепления линоли; 20—маховичок для перемещения линоли; 21—кнопочная станция

1 200 об/мин.) для прямого и 12 (до 1 520 об/мин.) для обратного вращения.

В коробку скоростей станка 1А62 введено исполнителное звено непосредственной пере- лахи на шпиндель с вала, имеющего тройной



Фиг. 2. Кинематическая схема коробки скоростей токарно-винторезного станка 1Д62М

передвижной блок (50 : 50). Это даёт возможность получить три дополнительных повышенных числа оборотов шпинделя (для прямого вращения): 770, 960 и 1 200 об/мин.

От шпинделя станка движение передаётся к механизму подачи или непосредственно или через звено увеличения шага для получения резьб с увеличенными шагами против нормальных в 4 и 16 раз.

Числа оборотов шпинделя станка 1А62

Для прямого вращения

12; 14,5; 19; 24; 30; 37; 46; 58; 76; 96; 120; 150; 184; 230; 305; 375; 460; 600; 770; 960 и 1 200 об/мин

Для обратного вращения

18; 30; 48; 73; 121; 190; 295; 485; 599; 760; 970; 1 520 об/мин.

Коробка подач состоит из основной коробки с конусным набором на 8 цилиндрических зубчатых колёс и умножающей коробки на 4 варианта передаточных отношений:

$$i_1 = \frac{28 \cdot 28}{56 \cdot 56} = \frac{1}{4}; \quad i_2 = \frac{28 \cdot 42}{56 \cdot 42} = \frac{1}{2};$$

$$i_3 = \frac{28}{28} = 1; \quad i_4 = \frac{42 \cdot 56}{42 \cdot 28} = 2.$$

Основная коробка спроектирована как с ведущим, так и с ведомым конусом, благодаря чему получают следующие резьбы: дюймовые — от 1 5/8 до 24 ниток на 1", метрические — с шагом 0,8 ÷ 12 мм, модульные — с модулем 0,2 ÷ 3,0 мм и питчевые — с диаметральным шагом 96 ÷ 6,5.

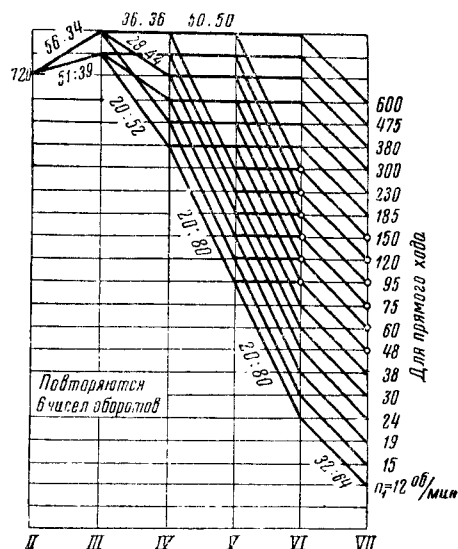
На станке можно получить резьбы повышенной точности путём прямого включения ходового винта (без коробки подач), для чего

на гитару устанавливаются необходимые сменные зубчатые колёса в зависимости от требуемого шага резьбы.

Для нарезания метрических и дюймовых резьб на гитаре ставятся сменные зубчатые колёса 42 : 100, которые легко найти из уравнения кинематического баланса от шпинделя до ходового винта; уравнение составлено для наибольшего шага метрической резьбы

$$t = \frac{50 \cdot 50 \cdot 38 \cdot 42 \cdot 25 \cdot 48 \cdot 25 \cdot 42 \cdot 56 \cdot 12}{50 \cdot 50 \cdot 38 \cdot 100 \cdot 36 \cdot 28 \cdot 25 \cdot 42 \cdot 28} = 12 \text{ мм.}$$

Для нарезания модульных и питчевых резьб из аналогичного уравнения для наибольшего модуля $m = 3$ имеем сменные зубчатые колёса 32 : 97.



Фиг. 3. График чисел оборотов шпинделя токарно-винторезного станка 1Д62М

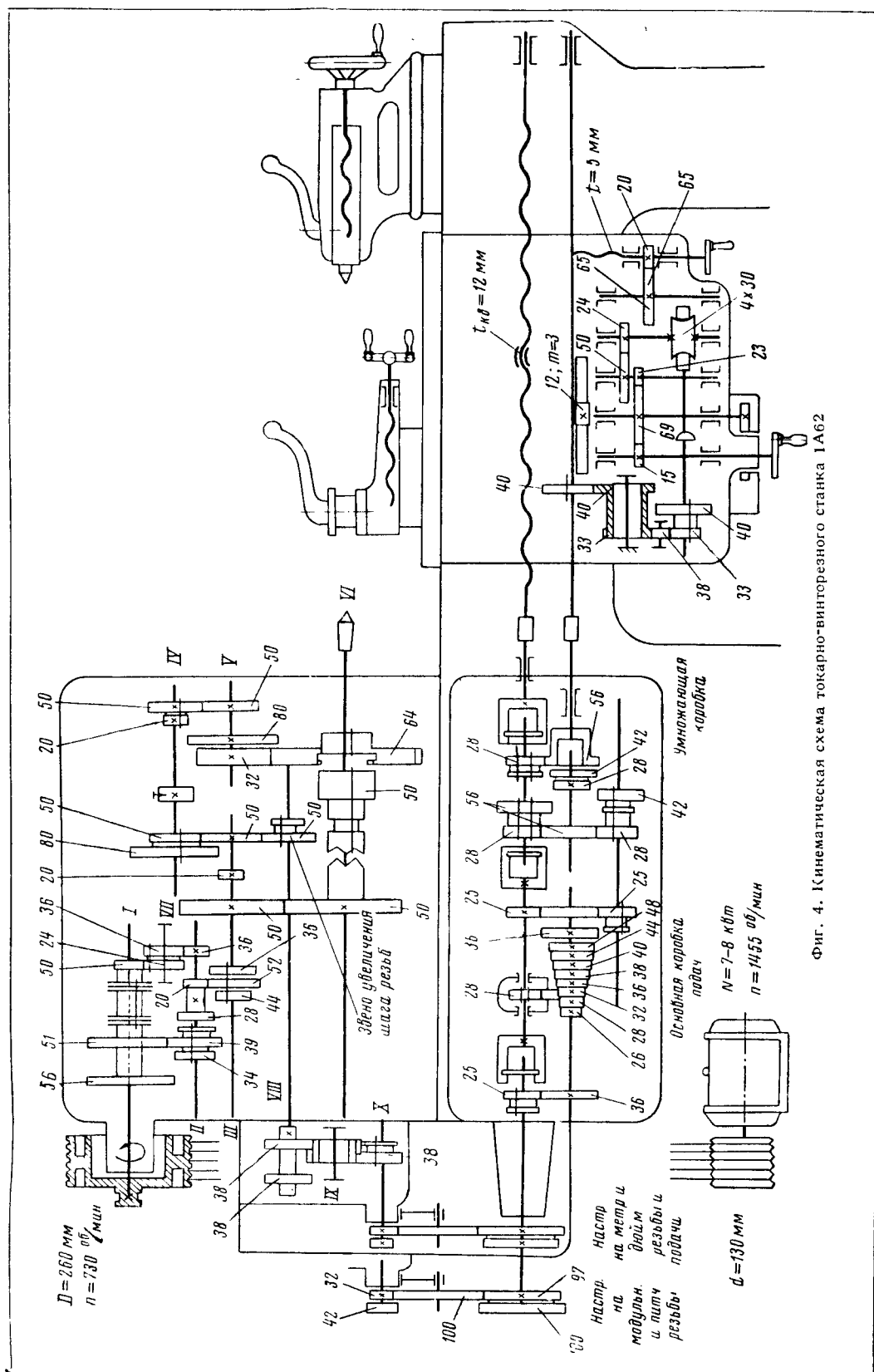
В табл. 1 и 2 приведены метрические, модульные, дюймовые и питчевые резьбы, которые могут быть нарезаны на станках 1Д62М и 1А62, и подачи при соответствующих настройках. В указанных таблицах: t — шаг в мм, m — модуль в мм, a — число ниток на 1", P — питч., $s_{\text{прод}}$ — продольная подача в мм/об и $s_{\text{попер}}$ — поперечная подача в мм/об.

В табл. 3 и 4 приведены основные данные токарно-винторезных станков завода «Красный пролетарий».

На фиг. 5 показана кинематическая схема токарного станка для патронных работ модели МК-163.

В цепи главного движения станка поставлена коробка скоростей в сочетании с гитарой сменных зубчатых колёс. Такая конструкция позволяет производить обработку деталей мелких серий без перенастройки гитары скоростей, пользуясь для изменения чисел оборотов шпинделя переключением передвижных блоков коробки ($3 \times 2 \times 2 = 12$ ступеней чисел оборотов).

В то же время имеется возможность смещать весь ряд чисел оборотов шпинделя вверх



или вниз путём перенастройки гитары. В связи с этим числа оборотов шпинделя распределяются по двум следующим рядам:

При сменных колёсах	Число оборотов в мин.
26 : 70	4,5; 6,5; 9; 12; 17; 23,5; 37; 51; 70; 97; 135; 186
48 : 48	12,5; 17,5; 24; 33; 46; 64; 101; 141; 194; 266; 371; 510

Таблица 1

Электродвигатель для быстрого перемещения каретки и супорта: станка МК-163 тип АФ 31/4; $N=2,2$ кВт; $n=1440$ об/мин.; насос охлаждения: тип П-45А; $N=0,15$ кВт; $n=2800$ об/мин.

В коробке скоростей станка поставлен перебор, передаточное отношение которого

$$i_{пер} = \frac{24 \cdot 22}{48 \cdot 88} = \frac{1}{8}.$$

Таблица 2

Метрические и модульные резьбы и подачи (при соответствующей настройке) токарно-винторезных станков 1Д62М и 1А62

$t_{мм}$	$s_{прод} \text{ мм/об}$	$s_{попер} \text{ мм/об}$	$m_{мм}$
12	1,205	0,4	—
11	1,106	0,367	—
10	1,002	0,334	—
9,5	0,96	0,317	3
9	0,935	0,3	2,75
8	0,804	0,266	2,5
7	0,705	0,239	2,376
6,5	0,652	0,216	2,25
6	0,602	0,2	2
5,5	0,552	0,184	1,75
5	0,511	0,166	1,62
4,75	0,475	0,158	1,5
4,5	0,45	0,15	1,32
4	0,4	0,134	1,25
3,5	0,35	0,117	1,18
3,25	0,325	0,108	1,125
3	0,301	0,102	1
2,75	0,276	0,092	0,875
2,5	0,251	0,084	0,818
2,37	0,238	0,079	0,75
2,25	0,226	0,075	0,687
2	0,202	0,069	0,625
1,75	0,176	0,058	0,594
1,625	0,163	0,054	0,562
1,5	0,151	0,05	0,5
1,375	0,138	0,046	0,437
1,25	0,125	0,042	0,406
1,187	0,119	0,04	0,375
1,125	0,113	0,038	0,343
1	0,101	0,035	0,312
0,875	0,088	0,029	0,297
0,812	0,082	0,027	0,281
—	—	—	0,25
—	—	—	0,218
—	—	—	0,23

Дюймовые и питчевые резьбы и подачи (при соответствующей настройке) токарно-винторезных станков 1Д62М и 1А62

a	$s_{прод} \text{ мм/об}$	$s_{попер} \text{ мм/об}$	P
1 $\frac{1}{8}$	1,57	0,522	—
1 $\frac{1}{4}$	1,46	0,434	—
2	1,28	0,424	—
2 $\frac{1}{4}$	1,13	0,377	6,5
2 $\frac{1}{2}$	1,0	0,357	7
2 $\frac{3}{4}$	0,93	0,34	8
3	0,85	0,308	9
3 $\frac{1}{4}$	0,785	0,233	9,5
3 $\frac{1}{2}$	0,73	0,261	10
4	0,64	0,242	11
4 $\frac{1}{4}$	0,565	0,212	12
4 $\frac{1}{2}$	0,535	0,188	13
5	0,51	0,179	14
5 $\frac{1}{4}$	0,465	0,17	16
5 $\frac{1}{2}$	0,425	0,154	18
6	0,392	0,142	19
6 $\frac{1}{4}$	0,365	0,13	20
7	0,32	0,121	22
8	0,232	0,105	24
9	0,268	0,094	26
9 $\frac{1}{2}$	0,255	0,089	28
10	0,232	0,085	32
11	0,212	0,077	36
12	0,196	0,071	38
13	0,182	0,065	40
14	0,16	0,6	44
16	0,142	0,05	48
18	0,134	0,047	52
19	0,128	0,044	56
20	0,116	0,42	64
22	0,106	0,038	72
24	—	0,035	76
—	—	—	80
—	—	—	88
—	—	—	96

Токарно-винторезные станки завода «Красный пролетарий»

Таблица 3

Элементы характеристики станка	Единица измерения	М о д е л ь			
		1Д63	1Д63А	1Д64	1Д65
Высота центров	мм	300	370	410	500
Наибольшее расстояние между центрами	»	1501÷3000	1501÷3000	3000	3000÷5000
Наибольший диаметр точения	»	350	345	500	620
Количество чисел оборотов шпинделя	—	18	18	12	12
Пределы чисел оборотов шпинделя	об/мин.	9,6—480	14—750	8—362	4,25—194
Пределы продольных подач	мм/об	0,15—2,65	0,15—2,65	0,22—3,15	0,22—3,15
Пределы шагов метрических резьб	мм	1—14	1—224	1—14	1—14
Пределы дюймовых резьб	нитки на 1"	28—2	28—2	28—2	23—2
Пределы шагов модульных резьб	мм	0,25—3,5	0,25—56	0,25—3,5	0,25—14
Мощность главного электродвигателя	кВт	5,2—3,2	10	11—13	20
Габариты:					
длина	мм	3595/5095	5110	5350	6015
ширина	»	1310	1685	1850	2785
высота	»	1352	1275	1430	1620
Вес	кг	3110/3430	3920	7500	8500

Станки токарной группы

Таблица 4

Элементы характеристики станка	Единица измерения	М о д е л ь			
		1Д62М	1А62	МК-163	1620
Высота центров	мм	200	202	500	225
Наибольшее расстояние между центрами	»	750; 1 000; 1 500	750; 1 000; 1 500	700	1 000
Наибольший диаметр точения	»	400	400	1 000	400
Пределы чисел оборотов шпинделя	об/мин.	12—600	12—1 200	5—510	18—3 000
Пределы продольных подач	мм/об	0,08—1,6	0,08—1,6	0,66—2,44	0,06—1,43
Пределы поперечных подач	»	0,03—0,5	0,03—0,5	0,04—1,72	0,06—1,43
Пределы шагов метрических резьб	мм	0,8—12	0,8—12	1—56	1—240
То же модульных	»	0,2—3	0,2—3	0,25—14	0,25—60
Скорость быстрого перемещения каретки	м/мин	—	—	3,45	3,8
Мощность главного электродвигателя	квт	4,5	7—8	17	13
Габариты:					
длина	мм	2 400	2 400	3 850	3 180
ширина	»	1 580	1 580	2 620	1 300
высота	»	1 200	1 210	1 630	1 250
Вес	кг	2 300	2 200	9 550	3 500

При работе станка без перебора зубчатое колесо $z = 66$ включается в $z = 66$, давая $i = 1$.

Движение от шпинделя станка может передаваться двояко:

$$i_1 = \frac{56}{56} = 1 \quad \text{и} \quad i_2 = \frac{88 \cdot 36}{22 \cdot 36} = 4.$$

За счёт следующего двойного передвижно го блока с передаточными отношениями

$$\frac{24}{48} = \frac{1}{2} \quad \text{и} \quad \frac{36}{36} = 1$$

дополнительно получаем от шпинделя:

$$i_3 = \frac{4}{2} = 2 \quad \text{и} \quad i_4 = \frac{1}{2}.$$

Следовательно, подачи за 1 оборот шпинделя могут быть или уменьшены в 2 раза или увеличены в 2 и 4 раза.

Для реверсирования движения супорта поставлен трензель, имеющий передаточное отношение

$$i_{тр} = \frac{36}{36} = 1, \quad \text{или} \quad i_{тр} = \frac{36 \cdot 22}{22 \cdot 36} = 1.$$

За трензелем следует гитара подачи, служащая для передачи движения к коробке подач. Через муфту движение передаётся непосредственно или с перебором, используемым для мелких подач.

$$i_{пер} = \frac{33 \cdot 28}{51 \cdot 56} = 0,324.$$

Коробка с конусным набором зубчатых колёс даёт 6 ступеней, а дополнительная умножающая коробка даёт 4 ступени:

$$i_1 = \frac{42}{42} = 1; \quad i_2 = \frac{21 \cdot 42}{84 \cdot 42} = \frac{1}{4};$$

$$i_3 = \frac{42 \cdot 28}{42 \cdot 56} = \frac{1}{2}; \quad i_4 = \frac{21 \cdot 28}{84 \cdot 56} = \frac{1}{8}.$$

Следовательно, различных подач (без перебора) может быть $6 \times 4 = 24$.

При нарезании модульных резьб на гитаре ставятся сменные зубчатые колёса $66 : 84$.

Конструктивная особенность супорта станка состоит в том, что он установлен на подвижной (в продольном направлении) каретке.

Конструкция супорта с удлинённой поворотной средней частью позволяет перемещать его механически в разных направлениях.

На фиг. 6 показана кинематическая схема универсального токарно-винторезного электрокопировального станка модели 1620 Московского завода «Красный пролетарий», предназначенного для обточки и расточки цилиндрических и конических поверхностей, нарезания различных резьб и торцевых спиралей, сверления диаметром до 60 мм, электрокопировальных работ с помощью электрошупа по шаблону и образцу.

Станок конструктивно выполнен с разделённым приводом главного движения. Такой привод уменьшает вибрации и повышает точность работы станка, позволяя осуществлять передачу вращения на шпиндель в диапазоне высоких скоростей короткой кинематической цепью, чем значительно повышается к. п. д. станка при высоких числах оборотов.

В цепи главного движения станка поставлен механический бесступенчатый фрикционный привод (вариатор) системы Светозарова. Преимущество такого привода в том, что он позволяет поддерживать постоянную скорость резания при поперечной обработке изделий (отрезке, торцевой обточке и т. п.) за счёт непрерывного автоматического увеличения числа оборотов шпинделя и допускает регулирование скорости на ходу станка.

Передаточные отношения бесступенчатого привода могут быть различными за счёт поворота промежуточной шайбы, изменяющей расчётные диаметры ведущего и ведомого сферических дисков.

Из фиг. 6 имеем:

$$i = 0,99 \frac{r}{R}$$

(0,99 — коэффициент скольжения);

$$r = a - x_1 \quad \text{и} \quad R = a - x_2,$$

где

$$x_1 = r_0 \cos(\alpha + \varphi); \quad x_2 = r_0 \cos(\alpha - \varphi).$$

Тогда

$$i = 0,99 \frac{a - r_0 \cos(\alpha + \varphi)}{a - r_0 \cos(\alpha - \varphi)},$$

т. е. с изменением угла поворота φ промежуточной шайбы изменяются передаточные отношения бесступенчатого привода.

Передачи этой системы имеют высокий к. п. д. (в пределах 0,95—0,97).

В станке отсутствуют рукоятки управления, и изменение чисел оборотов шпинделя осуществляется толчковыми кнопками. Для более быстрого изменения числа оборотов шпинделя коробка скоростей смонтирована с электромагнитными муфтами.

Диапазон регулирования чисел оборотов шпинделя станка от 18 до 3 000 об/мин. При диапазоне от 750 до 3 000 об/мин. вращение приводного шкива передаётся непосредственно шпинделю без участия зубчатых колёс (фиг. 6).

Диапазоны чисел оборотов 187—750, 47—187 и 18—72 об/мин. достигаются включением переборов через зубчатые колёса с передаточными отношениями, равными:

$$\frac{36 \cdot 27}{72 \cdot 54} = \frac{1}{4}; \quad \frac{36 \cdot 44 \cdot 15 \cdot 27}{72 \cdot 44 \cdot 60 \cdot 54} = \frac{1}{16}$$

и

$$\frac{36 \cdot 24 \cdot 15 \cdot 27}{72 \cdot 64 \cdot 60 \cdot 54} = \frac{1}{42,6}$$

Для недопущения перегрева при высоких числах оборотов на станке у передней опоры шпинделя установлен тепловой компенсатор, через который воспринимают осевую нагрузку радиально-упорные подшипники.

Благодаря жёсткости конструкции и точности изготовления на станке возможно получение изделий по 2-му классу точности и с чистой поверхности по 8-му классу.

Коробка подач закрытого типа получает движение от коробки главного движения по трём кинематическим цепям:

1) непосредственно от шпинделя через клиноремённую передачу и зубчатые муфты А и Б; при этом осуществляются продольная и поперечная подачи и подача верхней части супорта;

2) непосредственно от шпинделя через зубчатые колёса 60 : 96; 52 : 65; 60 : 60 и зубчатые муфты В и Г (при этом осуществляются все три рода подач; эта же цепь используется и при нарезании резьб с нормальным шагом);

3) от переборного вала через зубчатые колёса 60 : 48; 52 : 65; 60 : 60 и те же зубчатые муфты В и Г (для нарезания резьб с увеличенным шагом).

Станок имеет следующие продольные и поперечные подачи: 0,055; 0,06; 0,07; 0,075; 0,08; 0,09; 0,095; 0,1; 0,11; 0,12; 0,14; 0,15;

0,16; 0,18; 0,19; 0,2; 0,22; 0,24; 0,27; 0,3; 0,33; 0,35; 0,38; 0,41; 0,44; 0,49; 0,55; 0,61; 0,66; 0,7; 0,76; 0,82; 0,94; 1,1; 1,22 и 1,43.

Движение каретки и супорта осуществляется управлением от одной рукоятки посредством электромагнитных муфт.

Обточка и расточка крутых коротких конусов производятся поворотом верхней части супорта на требуемый угол, при этом подача резца происходит от дополнительной кинематической цепи. При обточке пологих конусов необходима настройка на одновременную подачу каретки и супорта.

Нарезание многозаходных резьб, имеющих 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20, 30 и 60 заходов, происходит путём соответствующих последовательных поворотов шпинделя, для чего на шпинделе и валу перебора закреплены зубчатые колёса с числом зубьев, равным 60.

Перемещение пиноли задней бабки при сверлении изделий осуществляется через червячную передачу ($i = \frac{1}{10}$).

Токарно-револьверные станки

Токарно-револьверные станки предназначены как для обработки отдельных деталей, закреплённых в патроне, так и для обработки деталей из прутка.

На фиг. 7 показана кинематическая схема токарно-револьверного станка 1А36 Московского завода имени Орджоникидзе. Станок предназначен для прутковых и патронных работ. Шпиндель станка получает вращение от коробки скоростей. График чисел оборотов шпинделя станка показан на фиг. 8.

Станок имеет два супорта — передний и револьверный — и две коробки подач, которые по конструкции аналогичны. Продольные подачи супортов следующие: 0,12; 0,16; 0,22; 0,3; 0,4; 0,5; 0,7; 0,9; 1,17; 1,6; 2,1; 2,9 и 3,9 мм/об. Поперечные подачи переднего супорта меньше продольных в 2 раза.

Станок 1В36 в отличие от станка 1А36 снабжён механизмом управления с предварительным выбором скорости (преселективное управление).

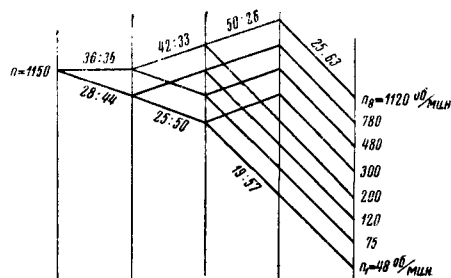
В управление коробкой скоростей входят две рукоятки. При вращении за крестовую рукоятку через зубчатую передачу происходит поворот дисков (барабанов), на окружности которых имеются выступы и впадины. Для получения требуемого числа оборотов шпинделя основные рычаги должны занимать определённое положение соответственно выступам и впадинам на барабане. После того как крестовая рукоятка будет поставлена на нужное число оборотов шпинделя, для закрепления в этом положении основных рычагов следует повернуть фиксирующую рукоятку. Через зубчатые колёса, а также крутовые рейки произойдёт давление выступов на указанные рычаги и тем самым фрикционные муфты будут поставлены в желаемую позицию.

График чисел оборотов шпинделя этого станка представлен на фиг. 9.

В производстве находят также применение револьверные станки модели 1К36 Алапаевского станкостроительного завода.

Основные данные станка 1К36

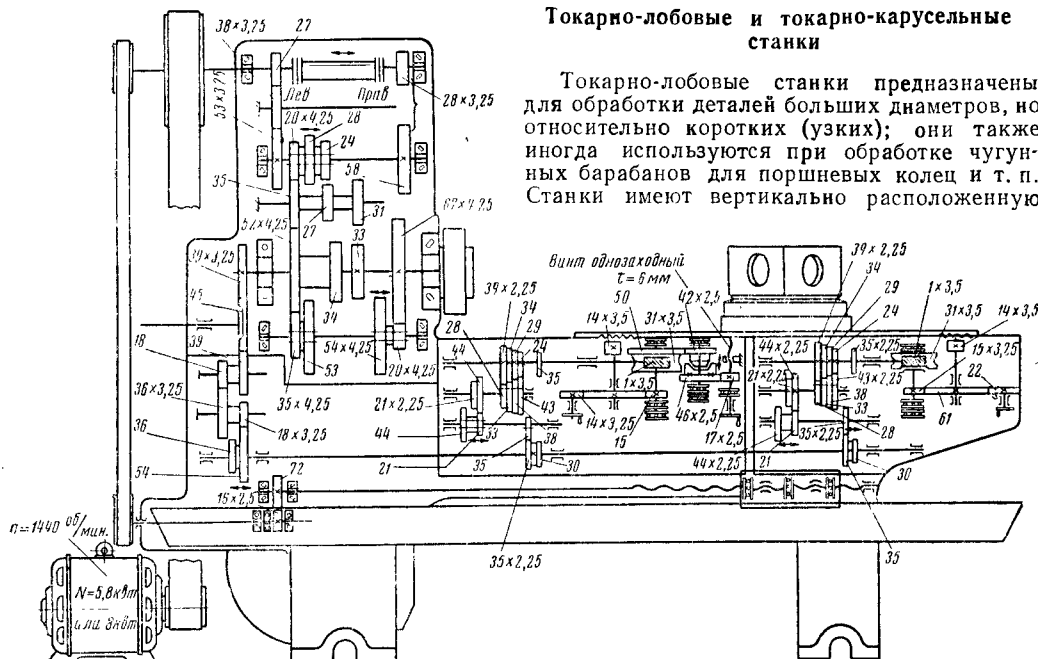
Высота центров	210 мм
Наибольшее расстояние от шпинделя до револьверной головки	1 170 »
Наибольший диаметр точения	440 »
Пределы чисел оборотов шпинделя в минуту	44—1 090
Пределы продольных подач	0,07—2,3 мм/об
Пределы поперечных подач	0,03—1,0 »
Мощность главного электродвигателя	10 кВт
Габариты:	
длина	3 200 мм
ширина	1 780 »
высота	1 450 »
Вес	3 000 кг



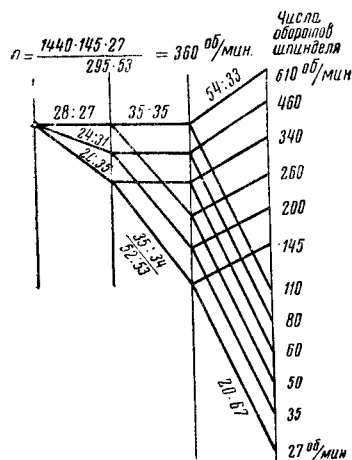
Фиг. 9. График чисел оборотов шпинделя токарно-револьверного станка 1К36

Токарно-лобовые и токарно-карусельные станки

Токарно-лобовые станки предназначены для обработки деталей больших диаметров, но относительно коротких (узких); они также иногда используются при обработке чугунных барабанов для поршневых колец и т. п. Станки имеют вертикально расположенную



Фиг. 7. Кинематическая схема токарно-револьверного станка 1К36



Фиг. 8. График чисел оборотов шпинделя токарно-револьверного станка 1К36

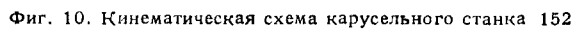
планшайбу для крепления обрабатываемого изделия и не имеют задней бабки.

В настоящее время лобовые станки вследствие ряда недостатков (неудобство крепления детали, значительные нагрузки на подшипники шпинделя и др.) нашей промышленностью не производятся и вытесняются более удобными и производительными карусельными станками.

Наиболее распространенными универсальными карусельными станками являются станки Краснодарского завода имени Седина. На фиг. 10 дана кинематическая схема карусельного одностоечного станка модели 152.

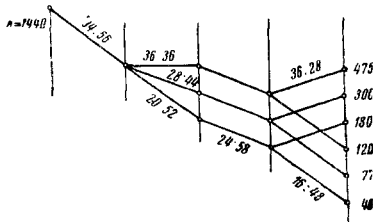
Станок имеет горизонтально расположенную планшайбу диаметром 845 мм, а также револьверный и боковой супорты, благодаря которым можно производить обточку, расточку, подрезку и другие операции.

Револьверная головка револьверного супорта имеет пять гнезд для режущих инструментов; боковой супорт имеет четырехгранную поворотную головку.



Фиг. 10. Кинематическая схема карусельного станка 152

На фиг. 12 дана кинематическая схема одношпиндельного вертикально-сверлильного станка модели 2150 Одесского завода имени Ленина. Наибольший диаметр сверления 50 мм. Шпиндель станка получает вращение от электродвигателя через коробку скоростей. График чисел оборотов шпинделя станка приведён на фиг. 13.



Фиг. 13. График чисел оборотов шпинделя вертикально-сверлильного станка 2150

Механизм вертикальной подачи шпинделя состоит из коробки со скользящей шпонкой на 5 вариантов и двойного передвигного блока, благодаря чему станок имеет 10 раз-

личных подач: 0,15; 0,18; 0,22; 0,28; 0,36; 0,44; 0,57; 0,7; 0,9; 1,2 мм/об.

В табл. 6 приведены основные данные вертикально-сверлильных станков завода имени Ленина. Новой моделью этой группы станков является 2А150.

Этот станок отличается от аналогичного станка 2150 (см. табл. 6) более широким диапазоном чисел оборотов и подач шпинделя. Коробка скоростей станка позволяет получить 12 ступеней чисел оборотов шпинделя в пределах от 32 до 1400 об/мин. Коробка подач станка даёт девять различных вариантов подач шпинделя в пределах от 0,125 до 2,6 мм/об. Мощность главного электродвигателя 7 квт.

Радиально-сверлильные станки

Радиально-сверлильные станки предназначены для сверления, зенкерования, развёртывания и нарезания резьбы преимущественно в тяжёлых, крупногабаритных изделиях, без перестановки последних (решётки паровозного котла, цилиндрические блоки и т. д.).

В табл. 7 приводятся основные данные радиально-сверлильных станков.

Таблица 6

Основные данные вертикально-сверлильных станков завода имени Ленина

Элементы характеристики станка	Единица измерения	М о д е л ь				
		2118	2125	2135	2150	2175
Наибольший диаметр сверления	мм	18	25	35	50	75
Номер конуса Морзе	—	2	3	4	6	6
Количество чисел оборотов шпинделя	—	6	9	6	6	6
Пределы чисел оборотов шпинделя	об/мин.	71—730	70—945	53—500	46—475	32—323
модификация II	»	—	101—1422	—	—	—
» III	»	—	136—1921	—	—	—
» IV	»	—	193—2721	—	—	—
Количество подач	—	3	9	8	10	10
Пределы подач	мм/об	0,2—0,31	0,1—0,81	0,1—1,11	0,15—1,2	0,15—1,2
Мощность главного электродвигателя	квт	1,85	2,2	5,2	8,2	15
Габарит станка:						
длина	мм	1100	940	1210	1420	1420
ширина	»	630	750	930	850	850
высота	»	2310	2335	2835	3035	2590
Вес станка	кг	(600)	750	1550	2220	2800

Таблица 7

Радиально-сверлильные станки

Элементы характеристики станка	Единица измерения	Наибольший диаметр сверления				
		25	35	50	75	100
Диаметр шпинделя	мм	25—30	30—30	40—50	60—70	75—85
Наибольшее расстояние от оси шпинделя до гильзы	»	800 1200 —	800 1200 1500	1200 1500 2000	2000 2500 3000	2500 3000 —
Наименьшее расстояние от оси шпинделя до гильзы	»	200—300	250—350	300—450	400—500	400—500
Наибольшее перемещение шпинделя	»	275	300	350	450	500
Диаметр гильзы	»	175—200	250—300	350—400	450—550	600—700
Номер конуса Морзе	—	3	4	5	6	6
Пределы чисел оборотов шпинделя	об/мин.	63—2000	45—1500	30—1500	16—1500	12—1500
Пределы подач	мм/об	0,03—1,0	0,03—1,0	0,3—1,2	0,03—3,0	0,1—3,0
Мощность главного электродвигателя	квт	1,5—2,2	2,2—3,5	3,5—5,8	5,8—10	10—17

Новой моделью является станок 257.

Конструктивной особенностью этого станка является наличие механизма управления с предварительной установкой (выбором) режимов резания. Механизм работает от гидросистемы с шестерённым насосом и аккумулятором, накапливающим необходимый объём масла в гидросистеме. Последняя имеет пять цилиндров, предназначенных для переключения блоков коробки скоростей.

Станок имеет также механизм выключения подачи на установленной глубине с точностью до 0,05 мм. Выключение достигается расцеплением червяка и червячного колеса в механизме подачи.

Основные данные станка 257

Наибольший диаметр сверления	75 мм
Наибольшее расстояние от оси шпинделя до колонны	2 000 мм
Конус шпинделя	№ 6
Количество чисел оборотов шпинделя	22
Пределы чисел оборотов шпинделя в минуту	11—1 400
Количество подач	18
Пределы подач	0,03—2 мм/об
Мощность главного электродвигателя	7,8 кВт
Габариты:	
длина	3 000 мм
ширина	1 550 »
высота	3 870 »
Вес	11 000 кг

Горизонтально-расточные станки

Горизонтально-расточные станки предназначены для различной обработки отверстий (сверление, расточка, развёртывание и т. п.) в тяжёлых изделиях. Широко используемым станком этой группы является горизонтально-расточный станок модели Р-80 завода имени Свердлова (диаметр шпинделя 80 мм) для обработки изделий с растачиваемым диаметром до 400 мм. Ниже приводятся числа оборотов шпинделя и подачи станка Р-80.

Числа оборотов шпинделя в мин.

С перебором 8; 11; 14; 19; 26; 35
Без перебора 46; 62; 83; 111; 149; 200

Подачи в мм/об

0,03; 0,04; 0,07; 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 0,95;
1,5; 2,3; 3,5; 5,5; 8,5; 13; 20

Кроме сверлильных и расточных работ, на станке можно производить также нарезание резцом различных резьб. Для этого имеется гитара со сменными зубчатыми колёсам; настройка её производится по формуле

$$i_{см} = \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} = \frac{t_{н.р}}{t_{х.в}},$$

где $i_{см}$ — передаточное отношение сменных зубчатых колёс гитары;
 z_1, z_2, z_3 и z_4 — числа зубьев сменных зубчатых колёс гитары;
 $t_{н.р}$ — шаг нарезаемой резьбы в мм;

$t_{х.в}$ — шаг ходового винта шпинделя
($t_{х.в} = 10$ мм).

Отдельные типы расточных станков снабжают специальным поперечным супортом, помещённым на планшайбе станка. При таком дополнительном механизме представляется возможным производить на станке поперечную обточку, совмещая её с продольным движением шпинделя.

Универсальный горизонтально-расточный станок модели 262А (фиг. 14) снабжён таким супортом с планетарной передачей для его радиальной (поперечной) подачи. Конструктивная особенность этого механизма заключается в том, что движение от шпинделя станка к поперечному супорту (фиг. 15) передаётся с двух сторон. С одной стороны оно передаётся непосредственно от шпинделя через зубчатые колёса с постоянным передаточным отноше-

нием $\frac{z_a}{z_b}$ для вращения поводка. При этом зубчатые колёса z_3 и z_2 совершают планетарное движение, приводя во вращение зубчатое колесо z_4 для передачи движения к супорту. С другой стороны движение к механизму подачи передаётся от шпинделя через коробку подач. Указанные движения суммируются и передаются через зубчатые колёса z_5, z_6 , а также дополнительные зубчатые колёса к рейке супорта.

Так как планетарный механизм суммирует движения, то результирующее передаточное отношение

$$i_{рез} = \left(\frac{z_a}{z_b} i_{на} \pm \frac{i_{общ} z_1}{z_4} \right) \frac{z_5}{z_6},$$

где $i_{общ}$ — общее передаточное отношение зубчатых колёс цепи от планшайбы до зубчатого колеса z_1 планетарной передачи;

$i_{на}$ — передаточное отношение планетарной передачи.

Передаточное отношение планетарной передачи (или дифференциала — фиг. 14)

$$i_{на} = 1 + \frac{15}{25} = \frac{8}{5}.$$

Кроме того, по конструкции узла супорта зубчатые колёса z_a и z_b вращаются в одном направлении. Следовательно, величина поперечной подачи

$$s_{попер} = (i_{рез} - 1) c_n,$$

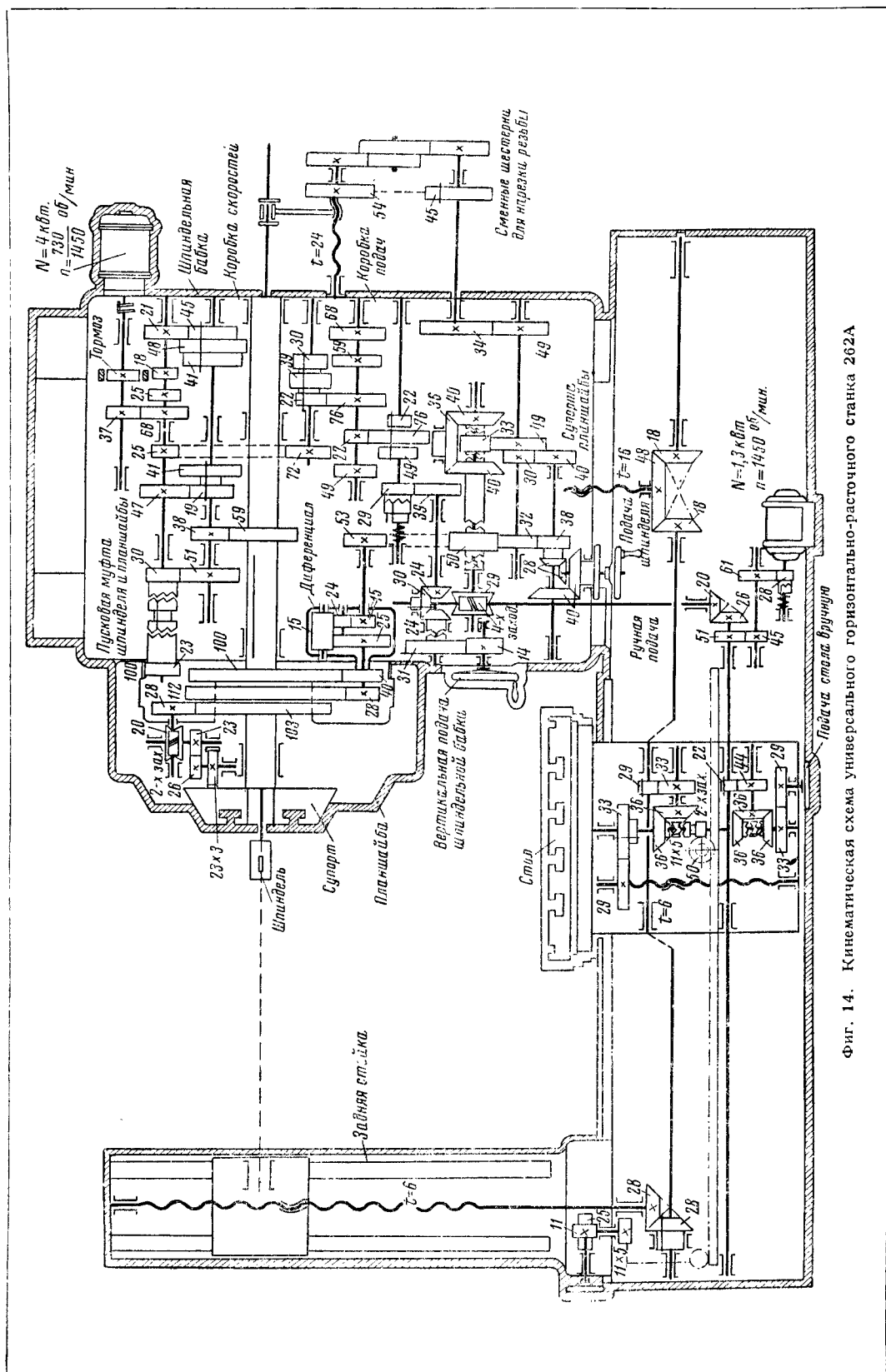
где c_n — постоянная величина от зубчатого колеса z_4 до рейки супорта в мм.

Подставляя значения согласно кинематике станка, получим

$$s_{попер} = \left(\frac{100 \cdot 8 \cdot 28}{40 \cdot 5 \cdot 112} \pm \frac{i_{общ} 15 \cdot 28}{25 \cdot 112} - 1 \right) c_n = \frac{i_{общ} 15 \cdot 28 c_n}{25 \cdot 112}.$$

Из кинематической схемы имеем

$$c_n = \frac{103 \cdot 2 \cdot 23 \cdot \pi \cdot 3 \cdot 23}{28 \cdot 20 \cdot 26} \approx 70.$$



Фиг. 14. Кинематическая схема универсального горизонтально-расточного станка 262А

Формула поперечной подачи тогда будет

$$s_{\text{попер}} = \frac{i_{\text{общ}} \cdot 15 \cdot 28 \cdot 70}{25 \cdot 112} = 10,5 i_{\text{общ}}$$

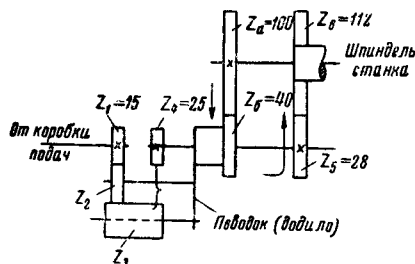
При

$$i_{\text{общ}} = \frac{119 \cdot 25 \cdot 39 \cdot 76 \cdot 29 \cdot 24 \cdot 4 \cdot 50}{23 \cdot 72 \cdot 59 \cdot 22 \cdot 39 \cdot 30 \cdot 29 \cdot 53} = 0,33$$

величина наибольшей поперечной подачи супорта планшайбы равна

$$s_{\text{попер}} = 10,5 \cdot 0,33 = 3,5 \text{ мм/об.}$$

Заводом имени Свердлова выпускаются также горизонтально-расточные станки модели 262Г.



Фиг. 15. Схема планетарной передачи универсального горизонтально-расточного станка 262А

Станок 262Г по сравнению со станком 262А имеет более широкий диапазон чисел оборотов шпинделя и подач. Этот станок также снабжен поперечным супортом планшайбы и гитарой со сменными зубчатыми колесами для нарезания резьб.

В табл. 8 приведены основные данные станков моделей 262А и 262Г.

Кроме того, выпускается станок для глубокого сверления и расточки модели 146, который может обеспечить сверление или обработку отверстия диаметром до 100 мм и наибольшую глубину сверления 1 000 мм.

На фиг. 16 дана кинематическая схема станка 146 завода «Красный пролетарий».

Для увеличения диапазона чисел оборотов шпинделя в скоростной цепи, кроме тройного блока, поставлена гитара с тремя парами сменных зубчатых колес. Таким образом, всего станок имеет девять различных чисел оборотов шпинделя. Минимальное число оборотов шпинделя будет

$$n_1 = \frac{1450 \cdot 160 \cdot 38 \cdot 45 \cdot 21 \cdot 36 \cdot 0,98}{310 \cdot 76 \cdot 55 \cdot 79 \cdot 76} \approx 38 \text{ об/мин.}$$

Последующие восемь чисел оборотов можно получить, заменяя взятое передаточное отношение тройного блока $\left(\frac{38}{76}\right)$ на $\frac{47}{67}$ и $\frac{57}{57}$, а также подставляя вместо взятого передаточного отношения сменных зубчатых колес $\left(\frac{21}{79}\right)$

два других: $\frac{33}{67}$ и $\frac{59}{41}$ (см. кинематическую схему на фиг. 16).

Таблица 8

Основные данные горизонтально-расточных станков

Элементы характеристики станка	Единица измерения	Модель	
		262А	262Г
Диаметр шпинделя	мм	80	85
Внутренний конус шпинделя	—	№ 5	№ 5
Наибольшее перемещение расточного шпинделя	мм	—	600
Диаметр планшайбы	»	600	630
Наибольшее радиальное перемещение супорта планшайбы	»	170	170
Количество чисел оборотов шпинделя	—	12	18
Пределы чисел оборотов шпинделя	об/мин.	23—300	15—750
Пределы чисел оборотов планшайбы	»	12—153	8—142
Пределы продольных и поперечных подач стола	мм/об	0,12—3,3	0,03—8
Пределы подач супорта планшайбы	»	0,12—3,5	0,03—8
Мощность главного электродвигателя	квт	4	6,5
Габариты:			
длина	мм	4 900	5 070
ширина	»	2 215	2 250
высота	»	2 700	2 755
Вес	кг	7 000	12 000

Коробка подач получает движение от шпинделя через цепную передачу. Механизм коробки даёт шесть различных подач для прямого и обратного ходов супорта. Супорт приводится в движение от коробки подач через ходовой винт. Скалки различных диаметров закрепляются в головке супорта с помощью сменных вкладышей.

Супорт станка имеет следующие подачи:

для прямого хода — 0,06; 0,11; 0,2; 0,35; 0,64 и 1,18 мм/об;
для обратного хода — 0,07; 0,12; 0,23; 0,38; 0,7 и 1,32 мм/об.

Быстрое движение супорта осуществляется через ходовой винт от отдельного электродвигателя со скоростью

$$v_{\text{быстр}} = \frac{1450 \cdot 17 \cdot 10}{66 \cdot 1000} = 3,75 \text{ м/мин.}$$

Фрезерные станки

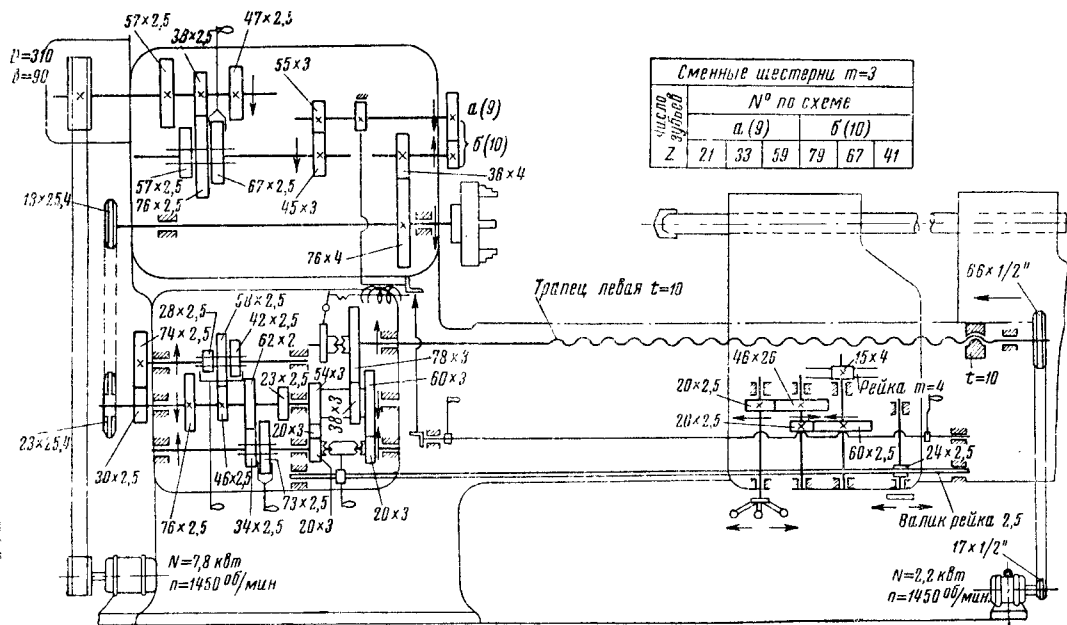
Фрезерные станки предназначены для выполнения различных фрезерных работ.

Фрезерованию подвергаются многие детали подвижного состава: буксы, параллели, дышла и т. п.

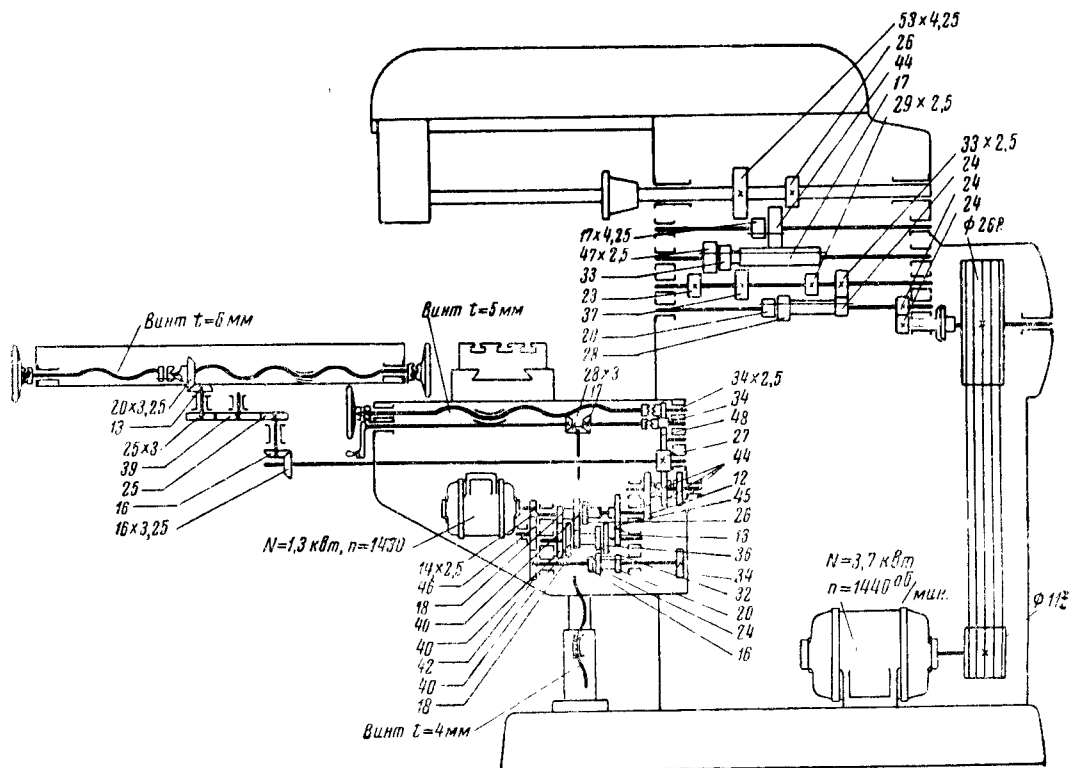
Горизонтально- и универсально-фрезерные станки

Горизонтально-фрезерные станки аналогичны универсально-фрезерным. Различие их состоит лишь в том, что у горизонтально-фрезерного станка стол не поворачивается в горизонтальной плоскости.

Кинематическая схема универсально-фрезерного станка 6Б82 показана на фиг. 17.

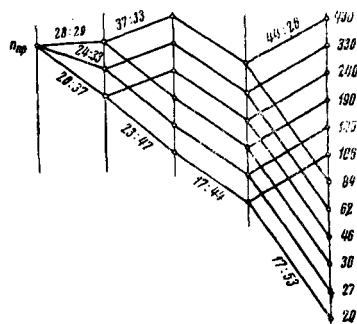


Фиг. 16. Кинематическая схема станка для глубокого сверления модели 146



Фиг. 17. Кинематическая схема универсально-фрезерного станка 6Б82

График чисел оборотов шпинделя дан на фиг. 18. В настоящее время станок модернизируется путём изменения диаметра шкива электродвигателя (204 мм вместо 114 мм).



Фиг. 18. График чисел оборотов шпинделя универсально-фрезерного станка 6Б82

Число оборотов приводного вала повышается до

$$n_{пр} = \frac{1450 \cdot 204}{270} = 1100 \text{ об/мин.},$$

и шпиндель станка будет иметь следующие числа оборотов: 37; 51; 66; 85; 113; 150; 200; 265; 350; 455; 605 и 800.

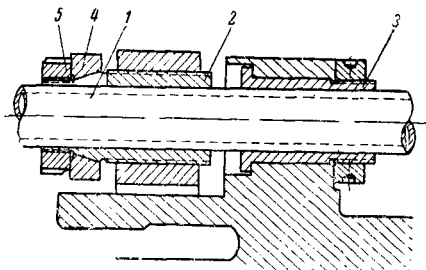
Стол станка подаётся в продольном, поперечном и вертикальном направлениях и, кроме того, может поворачиваться в горизонтальной плоскости.

Коробка подач стола имеет передвигаемые блоки зубчатых колёс и перебор с передаточным отношением

$$i_{пер} = \frac{18 \cdot 13}{40 \cdot 45} = 0,13.$$

Стол станка имеет следующие подачи: 20, 27, 36, 53, 73, 100, 145, 210, 275, 400, 560 и 760 мм/мин.

Станок 6Б82 снабжён компенсирующим механизмом (фиг. 19) для устранения зазора между гайкой и винтом продольной подачи



Фиг. 19. Компенсирующий механизм универсально-фрезерного станка 6Б82

стола в результате ослабления при обработке изделий методом фрезерования «по подаче», т. е. при одноимённом направлении вращения инструмента (фрезы) и движения стола с изделием.

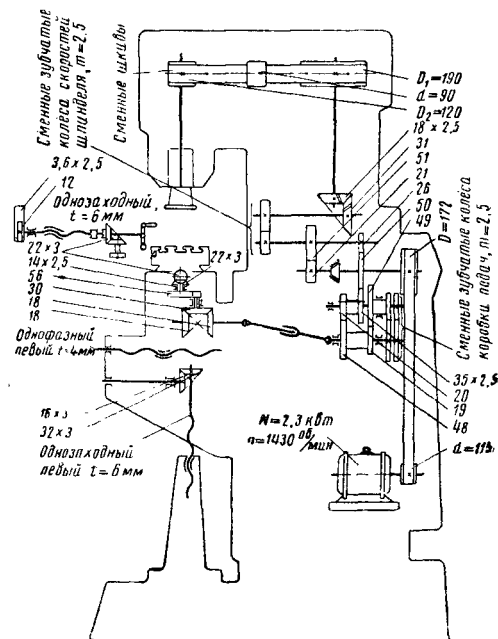
Для компенсации зазора применена дифференциальная гайка.

Необходимым условием работы такого устройства является создание трения между витками ходового винта 1 и дифференциальной гайкой 2, превосходящего трение между наружной нарезкой на дифференциальной гайке и нарезкой гнезда. С этой целью конец гайки сделан разрезным. Регулировка дифференциальной гайки производится снизу стола посредством кольца 4 и гайки 5. Зазор между винтом и гайками устраняется следующим образом. При увеличении тягового усилия увеличивается сила трения между винтом 1 и гайкой 2. Если эта сила трения превосходит силу трения между наружной резьбой гайки 2 и нарезкой гнезда, гайка 2 поворачивается. В результате происходит относительное сближение гаек 2 и 3, а следовательно, и выборка зазора между винтом и гайками.

В табл. 9 приведены основные данные станков 6Б82, 6Н82 и 6Н82Г. Последние два станка характеризуются повышенной мощностью, жёсткостью и более высокими числами оборотов шпинделя. На этих станках можно также производить и попутное фрезерование (фрезерование «по подаче») благодаря наличию в механизме подачи компенсирующего устройства для выравнивания зазора между гайкой и ходовым винтом.

Вертикально-фрезерные станки

Вертикально-фрезерный станок 610Б (фиг. 20) имеет в шпиндельной коробке гитару со сменными зубчатыми колёсами.

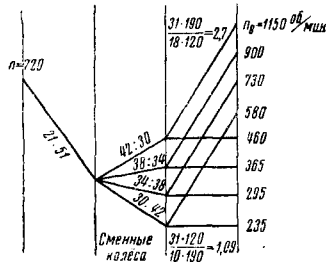


Фиг. 20. Кинематическая схема вертикально-фрезерного станка 610Б

График чисел оборотов шпинделя модернизированного станка 610Б показан на фиг. 21.

В механизме подачи также установлена гитара сменных зубчатых колёс, благодаря которой можно получить следующие продоль-

ные подачи стола: 20; 25; 30; 38; 47; 60; 73; 95; 120; 153; 185; 230; 296; 375; 452 и 585 мм/мин.



Фиг. 21. График чисел оборотов шпинделя модернизированного вертикально-фрезерного станка 610Б

На фиг. 22 показан скоростной вертикально-фрезерный станок модели 6А54 Горьковского завода, предназначенный для скоростного фрезерования плоскостей. Станок имеет массивную станину и снабжен двумя маховиками на шпинделе. Он имеет также гидравлический механизм для зажима поперечных салазок, червячно-реечный привод для продольной подачи стола и устройство для быстрых перемещений стола и фрезерной бабки.

Конструктивной особенностью цепи подачи станка является применение конического дифференциала, установка которого даёт значительные удобства при переключении с рабочих подач стола на быструю его подачу и обратно. Из кинематической схемы видно, что величина наименьшей продольной подачи стола равна

$$s_{пр мин} = \frac{2960 \cdot 28 \cdot 22 \cdot 24 \cdot 25 \cdot 20 \cdot 43 \cdot 2 \cdot 30 \cdot 22 \cdot 3 \cdot 14 \cdot 8}{67 \cdot 44 \cdot 48 \cdot 50 \cdot 64 \cdot 54 \cdot 32 \cdot 30 \cdot 22} = 60 \text{ мм/мин.}$$

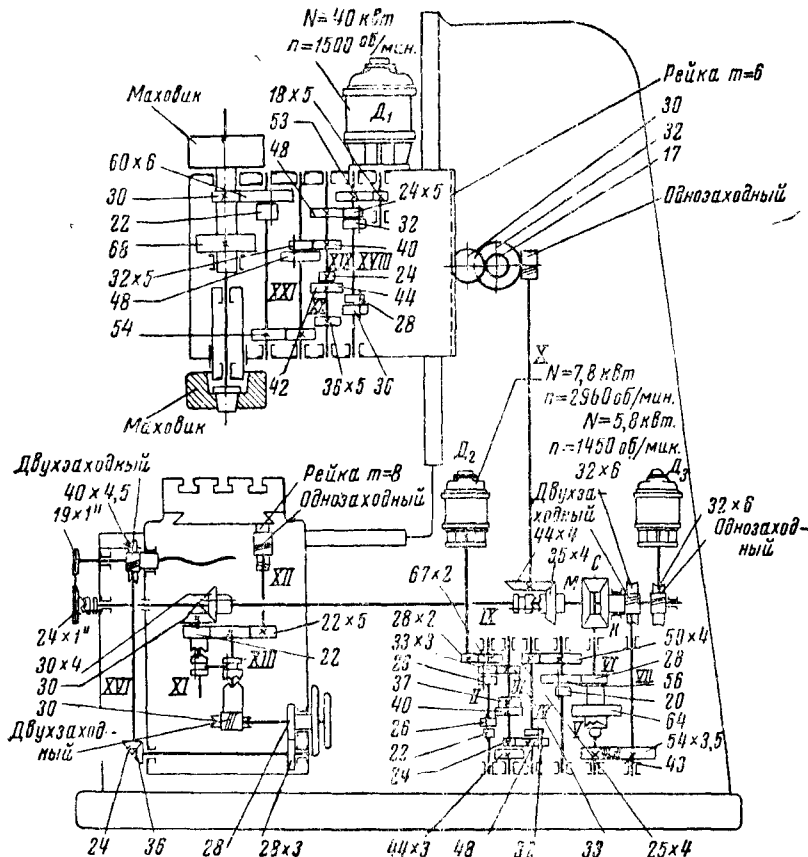
При этом передаточное отношение дифференциала равно единице, так как движение передаётся с правого конического колеса дифференциала на левое, минуя крестовину.

Быстрая подача стола осуществляется от отдельного электродвигателя D_3 .

В этом случае передаточное отношение дифференциала равно 2, так как движение передаётся с крестовины на коническое колесо.

Тогда

$$s_{пр быстр} = \frac{1450 \cdot 2 \cdot 30 \cdot 22 \cdot 3 \cdot 14 \cdot 8}{32 \cdot 30 \cdot 22 \cdot 1000} = 2,3 \text{ м/мин.}$$



Фиг. 22. Кинематическая схема скоростного вертикально-фрезерного станка 6А54; D_1 —главный электродвигатель; D_2 —электродвигатель подачи; D_3 —электродвигатель быстрого хода

Шпиндель станка смонтирован в подвижной гильзе на подшипниках качения. В передней опоре установлено два радиально-упорных роликоподшипника, в задней — один шарикоподшипник. Шпиндель разгружен от изгибающих усилий. На нём и на втулке его зубчатых колёс установлены маховики для уменьшения неравномерности хода вращения шпинделя.

Станок снабжён гидросистемой, которая предназначена для переключения блоков зубчатых колёс в коробке скоростей и подачи, для гидравлического зажима стола и поперечных салазок, а также для смазки всех узлов станка. Система работает от шестерённого насоса. Она состоит из сети низкого давления в $1,5-2 \text{ кг/см}^2$ (для смазки узлов) и сети высокого давления в 10 кг/см^2 (для зажимов и переключения блоков коробок скоростей и подачи).

В гидросистеме установлены два манометра и два реле для контроля давления. Реле высокого давления включено в электроцепь фрезерной головки. При отсутствии необходимого давления пуск шпинделя станка невозможен.

Основные данные вертикально-фрезерных станков 610Б, 6Н12 и 6А54 приведены в табл. 9.

Зубофрезерные станки

Зубофрезерные станки предназначены для изготовления цилиндрических зубчатых колёс, а также червячных колёс, многозаходных червяков и шлицевых валиков.

Из современных зубофрезерных станков внимания заслуживают станки моделей 5А326 и 5327 Егорьевского завода «Комсомолец» (табл. 10). Эти станки предназначены для нарезания цилиндрических зубчатых колёс с прямыми и винтовыми зубьями, а также червячных колёс. Станки имеют неподвижный стол с жёстким креплением. Необходимые поступательные движения совершаются супортной стойкой. На фиг. 23 показана кинематическая схема станка 5А326. Электродвигатель привода станка установлен непосредственно на фрезерном супорте, благодаря чему достигнуто полное отсутствие подвижных соединений в кинематической цепи главного движения. Кроме того, количество передач в этой цепи сокращено

Таблица 9

Основные данные фрезерных станков

Элементы характеристики станка	Единица измерения	М о д е л ь					
		6Б82	6Н82	6Н82Г	610Б	6Н12	6А54
Наибольшее расстояние от оси шпинделя до поверхности стола	мм	400	400	450	—	—	—
Размеры рабочей поверхности стола	»	1 250×300	1 250×320	1 250×320	750×225	1 250×320	2 200×600
Наибольшее перемещение стола:							
продольное	»	700	700	700	450	700	2 250
поперечное	»	250	250	250	150	250	750
вертикальное	»	450	370	420	3.0	420	—
Количество чисел оборотов шпинделя	—	12	18	18	8	18	16
Пределы чисел оборотов шпинделя	об/мин.	20—425	30—1 500	30—1 500	47—530	30—1 500	40—1 250
Количество подач	—	12	18	18	16	18	16
Пределы продольных и поперечных подач	мм/мин	20—760	19—950	19—950	20—585	19—950	60—2 000
Мощность главного электродвигателя	кВт	3,7	5,8	7,8	2,3	5,8	40
Габарит станка:							
длина	мм	1 870	2 100	2 100	1 250	1 950	4 260
ширина	»	2 500	1 740	1 740	1 730	2 225	4 570
высота	»	1 570	2 000	2 000	1 700	2 240	4 200

Таблица 10

Основные данные зубофрезерных станков

Элементы характеристики станка	Единица измерения	М о д е л ь		
		5А326	5327	5330
Наибольший модуль нарезаемого зубчатого колеса:				
по стали	мм	10	10	15
по чугуну	»	—	12	20
Наибольший наружный диаметр нарезаемых зубчатых колёс	»	750	750	1 500
Наибольшая ширина обработки	»	500	300	500
Диаметр стола	»	650	650	1 175
Пределы чисел оборотов шпинделя фрезы	об/мин.	37—157	37—157	16—100
Пределы вертикальных подач	мм/об	0,5—4	0,5—3	0,3—5,9
Мощность главного электродвигателя	кВт	5,8	7	14
Габариты:				
длина	мм	3 195	3 370	5 755
ширина	»	1 605	2 040	2 680
высота	»	2 235	2 235	3 560
Вес	кг	7 300	9 000	30 000

до трёх, причём последней передачей является червячная с отношением 6:31. Червячная пара даёт возможность избежать передач неравномерности вращения фрезы в делительную цепь, так как червяк этой передачи воспринимает только осевую нагрузку. С таким же супортным устройством выполнен и станок 5327.

Конструктивная особенность этого станка состоит в том, что он снабжается протяжным суппортом, используемым при нарезании червячных колёс методом осевой подачи.

Характерным по конструкции и своей универсальности является станок модели 5330. На нём можно нарезать, кроме прямозубых, косозубых и червячных колёс, ещё и шевронные колёса, применяя пальцевые фрезы.

При нарезании прямозубых зубчатых колёс на зубофрезерном станке настраиваются три гитары: 1) гитара скоростей, 2) гитара деления и 3) гитара подачи.

Для вывода формулы настройки гитары скоростей составляется кинематическое уравнение между электродвигателем и шпинделем червячной фрезы (фиг. 23)

$$\frac{1450 \cdot 93 i_{\text{СК}} \cdot 6}{282 \cdot 31} = n_{\text{ФР}},$$

откуда

$$i_{CK} = -\frac{n_{\phi p}}{92},$$

где $i_{ск}$ — передаточное отношение зубчатых колёс гитары скоростей;

$n_{\text{фр}}$ — число оборотов червячной фрезы
в мин.

Для настройки гитары деления уравнение, составленное с учётом необходимой связи вращений фрезы и заготовки, будет

$$\frac{n_{\text{фр}} \cdot 31 \cdot 50 \cdot 40 i_{\text{дел}}}{6 \cdot 50 \cdot 62 \cdot 80} = n_{\text{заг}},$$

откуда

$$i_{\text{дел}} = 24 \frac{n_{\text{заг}}}{n_{\text{фр}}},$$

где $i_{\text{дел}}$ — передаточное отношение зубчатых колёс гитары деления;

$n_{\text{заг}}$ — число оборотов заготовки в мин.

С другой стороны, связь между фрезой и заготовкой базируется на уравнении червячной передачи, т. е.

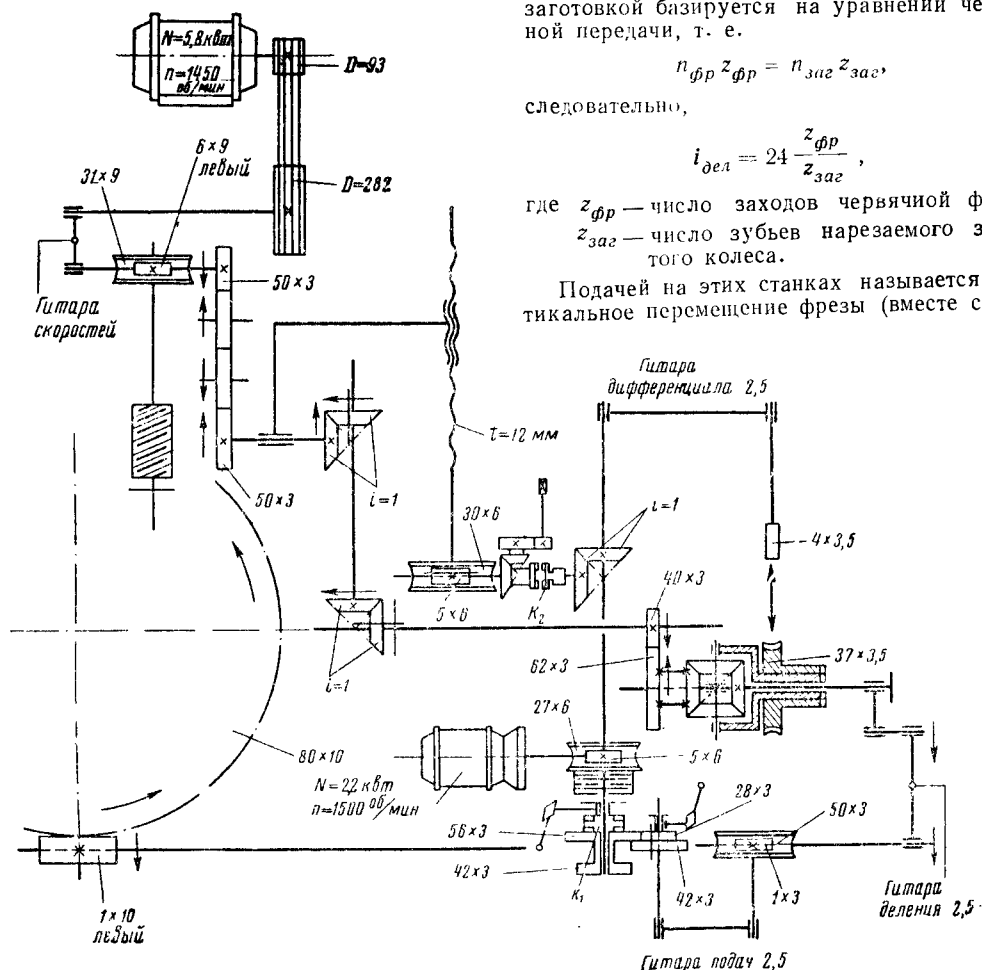
$$n_{\phi p} z_{\phi p} = n_{3a2} z_{3a2},$$

следовательно,

$$i_{\text{дел}} = 24 \frac{z_{\text{шп}}}{z_{3\text{ш2}}},$$

где $z_{фр}$ — число заходов червячной фрезы;
 $z_{заг}$ — число зубьев нарезаемого зубчатого колеса.

Подачей на этих станках называется 'вертикальное перемещение фрезы (вместе с фре-



Фиг. 23. Кинематическая схема зубофрезерного станка 5А326

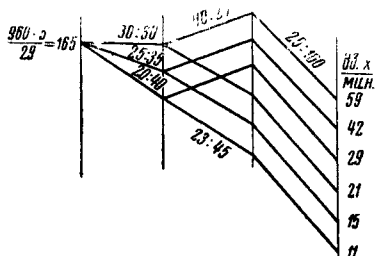
$$v_{\text{раб. макс}} = \frac{Rv_1}{a+r} \text{ и } v_{\text{хол. макс}} = \frac{Rv_1}{a-r},$$

где a — расстояние между осью качания кулисы и центром вращения кривошипа;
 R — длина кулисы;
 v_1 — скорость вращения пальца кривошипа в м/мин;
 r — радиус кривошипа.

Средние скорости рабочего и холостого ходов резца в м/мин

$$v_{\text{раб. ср}} = \frac{360 Ln}{\alpha} \text{ и } v_{\text{хол. ср}} = \frac{360 Ln}{\beta},$$

где L — длина хода ползуна (берётся в зависимости от длины строгания) в м;
 n — число двойных ходов ползуна в мин.;
 α и β — соответственно углы рабочего и холостого ходов.



Фиг. 26. График чисел двойных ходов ползуна поперечно-строгального станка 736

Поперечная подача стола станка осуществляется от храпового механизма. Подача подсчитывается в зависимости от числа зубьев z , на которое собачка поворачивает храповое колесо за 1 двойной ход ползуна, шага винта поперечной подачи стола t_g и полного числа зубьев храпового колеса z_{xp} :

$$s_{\text{попер}} = \frac{x t_g}{z_{xp}} \text{ мм/дв. ход.}$$

Для станка 736 при $x = 1$, $z_{xp} = 36$ и $t_g = 12$ мм

$$s_{\text{попер}} = \frac{12}{36} = 0,33 \text{ мм/дв. ход.}$$

Поперечно-строгальные станки моделей 7А36 и 737 предназначены для обработ-

ки плоских и фасонных поверхностей и имеют гидравлическое перемещение ползуна и гидравлическую подачу стола (на каждый двойной ход ползуна).

Характерным для станков является постоянно скорости в процессе рабочего (а также холостого) хода ползуна.

На фиг. 27 показан гидрофицированный поперечно-строгальный станок модели 737. Электродвигатель 1 вращает лопасти двояных лопастных насосов 2 постоянной производительности, от которых работает гидросистема станка. Управление механизмами станка осуществляется при помощи панели 3 с золотниковым распределением.

Станок имеет бесступенчатое регулирование скоростей движения ползуна и стола. Благодаря применению гидропривода скорость движения ползуна сохраняется постоянной на всей длине резания.

Включение лопастных насосов 2 осуществляется при помощи трёхскоростного золотника 4. Масло, проходя золотник 4, поступает через регулятор скорости 5 (клапан с дросселем), реверсивный золотник 6 и золотник управления 7 в правую полость рабочего цилиндра 8. Масло, вытесняемое из левой полости цилиндра, присоединяется к потоку масла от насосов (так как цилиндр станка дифференциального типа — см. ниже, в главе «Гидравлические приводы станков») и происходит обратный ход ползуна.

При прямом ходе ползуна масло от насосов поступает в полость со штоком.

Рабочая подача стола осуществляется следующим образом: масло поступает в цилиндр 9 с поршнем-рейкой, вращающей зубчатые колёса $z = 28$. По возвращении поршня-рейки в исходное положение колёса ($z = 28$) поворачиваются в обратную сторону. Дальнейшее движение к винтам стола передаваться не будет, так как втулка обгонной муфты 10 будет проскальзывать со своими роликами внутри колёса $z = 58$.

Скорость быстрой горизонтальной подачи стола от отдельного электродвигателя:

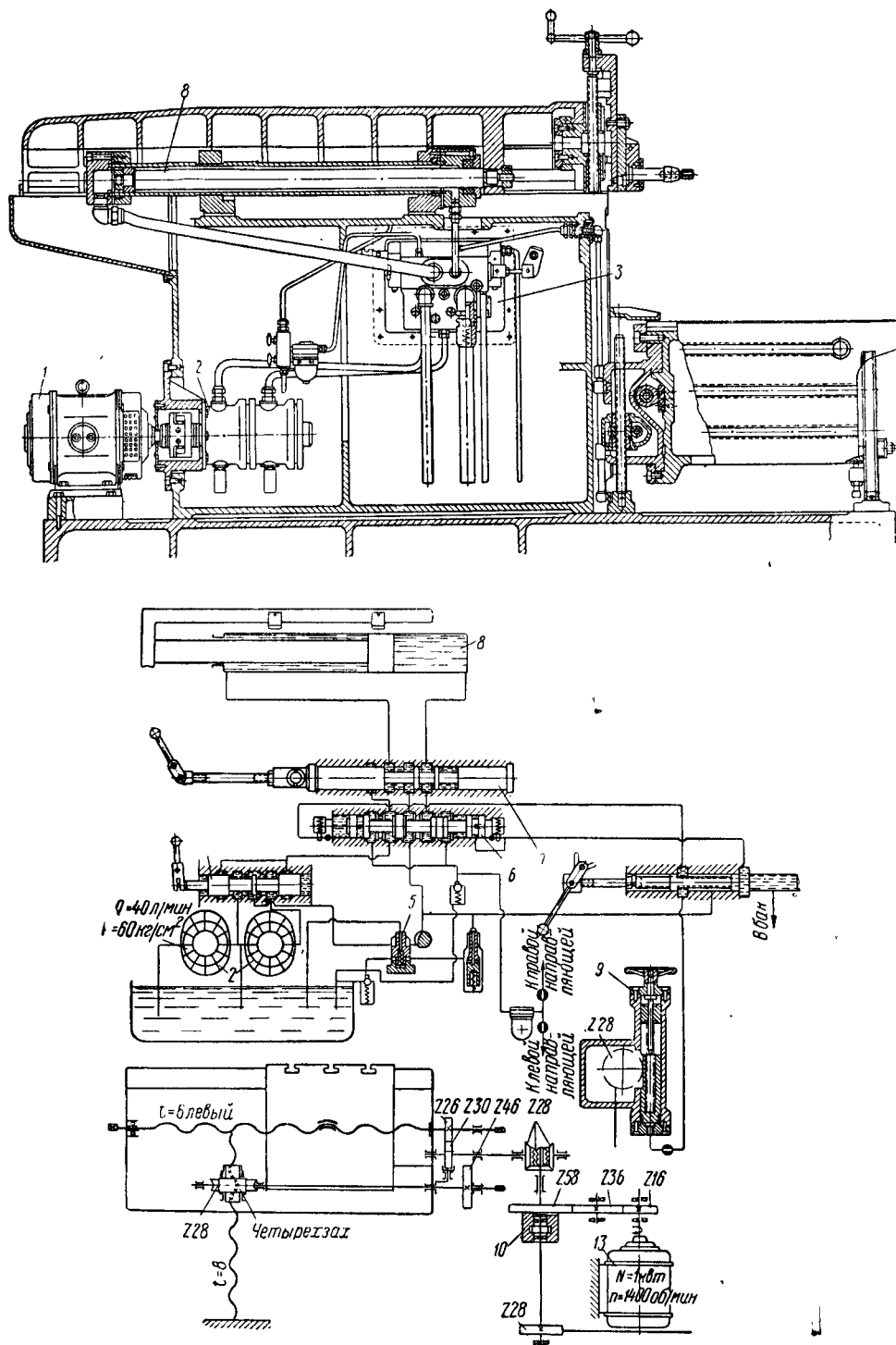
$$v = \frac{1400 \cdot 16 \cdot 30 \cdot 6}{58 \cdot 26 \cdot 1000} = 2,6 \text{ м/мин.}$$

В табл. 11 приведены основные данные поперечно-строгальных станков моделей 736, 7А36 и 737.

Таблица 11

Основные данные поперечно-строгальных станков

Элементы характеристики станка	Единица измерения	Модель		
		736	7А36	737
Наибольшая длина хода ползуна	мм	650	700	900
Рабочая поверхность стола	»	650×450	700×450	900×450
Наибольшее перемещение стола:				
горизонтальное	»	100	750	750
вертикальное	»	30	320	320
Пределы чисел двойных ходов ползуна	дв. ход/мин.	10—59	—	—
Пределы скоростей перемещения ползуна	м/мин	—	3—37	3—37
Пределы горизонтальных подач стола	мм/дв. ход.	0,3—3,3	0—5	0—5
Мощность главного электродвигателя	квт	3,8	10	10
Габариты:				
длина	мм	2 830	2 830	3 280
ширина	»	1 450	1 700	1 710
высота	»	1 750	1 750	1 750
Вес	кг	1 850	4 000	4 500

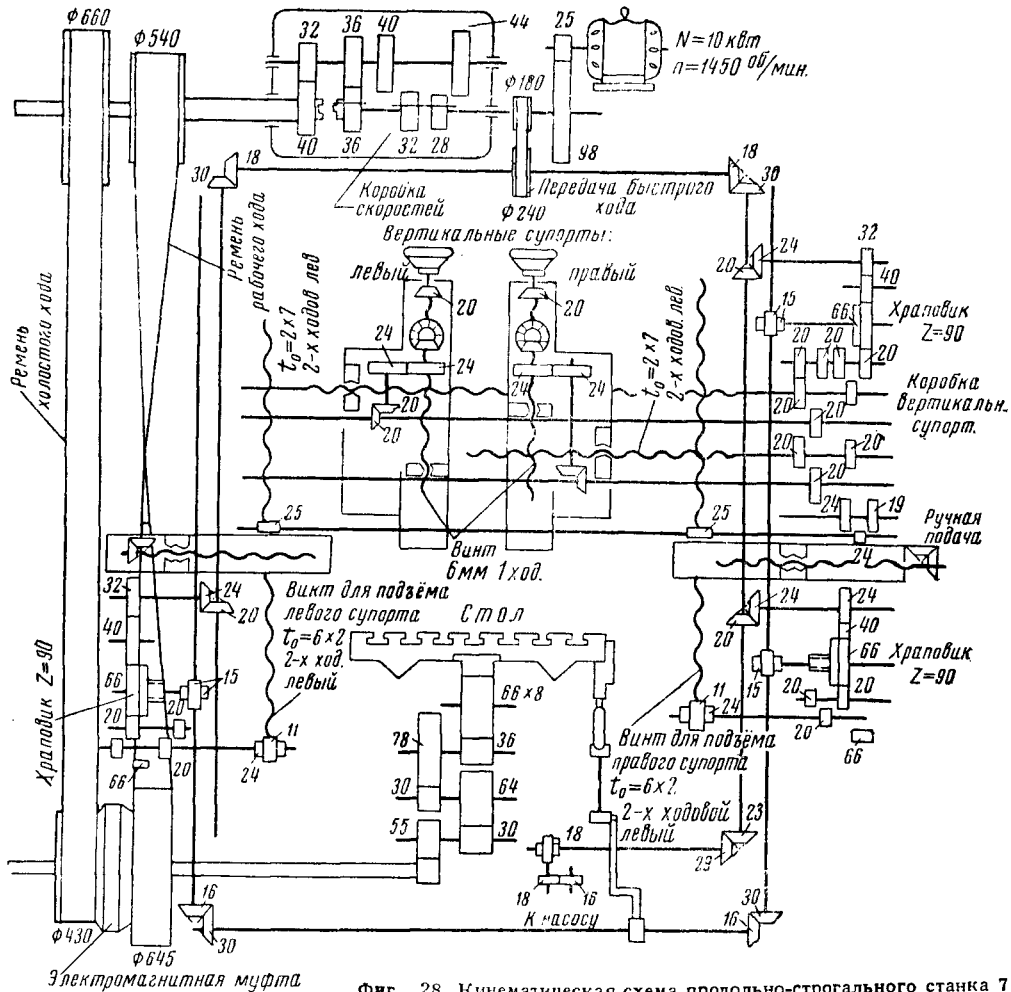


Фиг. 27. Станок модели 737

Продольно-строгальные станки. Продольно-строгальные станки предназначены для обработки деталей с большой длиной строгания (до нескольких метров). На фиг. 28 показана кинематическая схема распроста

Остальные скорости стола равны 13,5; 10,8 и 8,4 м/мин.

Число двойных ходов стола в минуту определяется из формулы потребного времени из рабочих и холостой ходы стола.



Фиг. 28. Кинематическая схема продольно-строгального станка 713

ненного продольно-строгального станка 713 завода имени Свердлова.

Станок имеет стол размером 830 × 3 000 мм с наибольшей длиной хода 3 300 мм, два вертикальных и два боковых суппорта.

Скорость рабочего хода определяется так

$$v_{p.x} = \frac{n i z t}{1000} \text{ м/мин.},$$

где n — число оборотов электродвигателя в минуту;

i — передаточное отношение привода;

z — число зубьев колеса, сцепляющегося с рейкой;

t — модуль рейки.

Наибольшая скорость рабочего хода стола равна

$$v_{p.x, \max} = \frac{1450 \cdot 25 \cdot 36 \cdot 32 \cdot 540 \cdot 0,98 \cdot 22 \cdot 30 \cdot 30 \cdot 36 \cdot 3,14 \cdot 8 \cdot 66}{98 \cdot 36 \cdot 40 \cdot 645 \cdot 55 \cdot 64 \cdot 78 \cdot 66 \cdot 1000} = 16,8 \text{ м/мин.}$$

Обозначая отношение скоростей холостого $v_{хол}$ и рабочего $v_{p.x}$ ходов через K

($K = \frac{v_{хол}}{v_{p.x}}$) и длину хода стола через L мм, имеем

$$t = t_{p.x} + t_{хол} = \frac{L}{v_{p.x}} + \frac{L}{K v_{p.x}} = \frac{L}{v_{p.x}} \left(1 + \frac{1}{K} \right) = \frac{1}{n}.$$

откуда число двойных ходов стола в минуту

$$n = \frac{v_{p.x}}{L \left(1 + \frac{1}{K} \right)}.$$

Из кинематики станка видно, что скорость холостого хода стола станка постоянна и равна 30 м/мин. Следовательно, наименьшее значение коэффициента K

$$K = \frac{v_{\text{хол}}}{v_{\text{раб, макс}}} = \frac{30}{16,8} \approx 1,8.$$

В табл. 12 приводятся числа двойных ходов стола в минуту в зависимости от длины хода стола L и коэффициента K .

Таблица 12

Числа двойных ходов стола продольно-строгального станка 713 в мин.

Длина хода стола L в мм	Значения K			
	3,6	2,9	2,3	1,8
3 000	2,2	2,6	3,1	3,6
2 000	3,3	3,9	4,6	5,35
1 000	6,6	7,8	9,3	10,7
500	13,2	15,7	18,5	21,4

Изменение направления движения стола достигается электромагнитной муфтой.

Рабочие подачи супортов продольно-строгального станка 713

$$s = \frac{xt_g i}{z_{xp}} \text{ мм/дв. ход,}$$

где i — передаточное отношение между валом храпового колеса и винтом подачи.

Скорость быстрой подачи вертикальных супортов

$$v = \frac{1450 \cdot 25 \cdot 180 \cdot 18 \cdot 20 \cdot 32 \cdot 20 \cdot 24 \cdot 6}{98 \cdot 240 \cdot 30 \cdot 24 \cdot 20 \cdot 20 \cdot 24 \cdot 1000} = 1,3 \text{ м/мин.}$$

Новой моделью является двухстоечный продольно-строгальный станок 7231А.

Основные данные станка 7231А

Наибольшая длина строгания	3 000 мм
Наибольший вес обрабатываемого изделия	5 000 кг
Размеры стола	3 000 × 900 мм
Пределы скоростей стола	5—75 м/мин
Скорость быстрого хода стола	75 »
Пределы горизонтальных подач вертикальных супортов	0,5—35 мм (дв. ход)
Пределы вертикальных подач вертикальных супортов	0,12—8,75 мм (дв. ход)
Пределы подач боковых супортов	0,15—10,5 »
Мощность главного электродвигателя	37 кВт
Габариты:	
длина	7 080 мм
ширина	4 100 »
высота	2 930 »
Вес станка	22 000 кг

Характерным в конструкции станка 7231А является то, что зубчатая рейка стола приводится в движение червяком, помещённым под острым углом к направлению движения

стола. Благодаря этому достигается более полное прилегание витков червяка к рейке и обеспечивается спокойная, плавная работа в процессе снятия стружки.

Перемещение супортов станка осуществляется от отдельных электродвигателей, но не при помощи обычного храпового устройства, а от фрикциона с разжимным кольцом. Преимущество этого механизма состоит в том, что он даёт бесступенчатость величин подач.

Долбежные станки

Долбежные станки предназначены для обработки плоских и фасонных поверхностей, долбления пазов, шпоночных и других канавок в разнообразных деталях, а также для обработки штампов. Основные данные этих станков приведены в табл. 13.

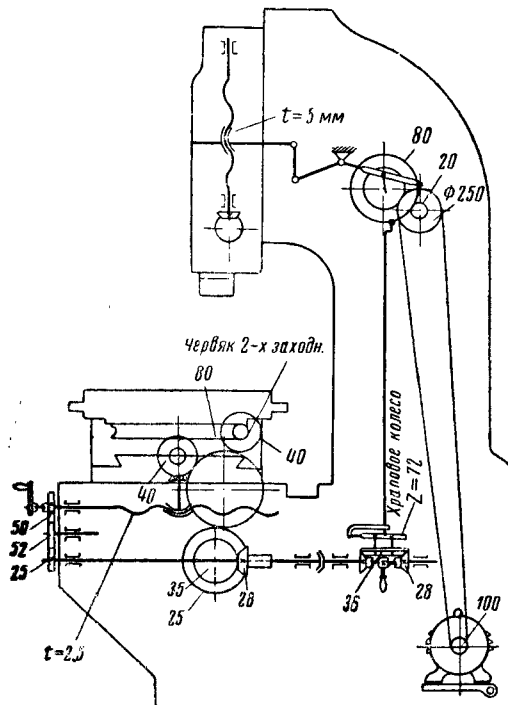
Кинематическая схема долбежного станка модели 741 показана на фиг. 29. Станок приводится в движение от четырёхскоростного электродвигателя переменного тока с $n=480$, 720, 960 и 1 450 об/мин. (за счёт переключения числа пар полюсов) мощностью $1,8 \div 2,8 \text{ кВт}$. Возвратно-поступательное движение осуществляется при помощи механизма качающейся кулисы (фиг. 29).

Числа двойных ходов долбяка равны:

$$n_1 = \frac{480 \cdot 100 \cdot 0,98 \cdot 20}{250 \cdot 80} \approx 48 \text{ дв. ход/мин.},$$

$$n_2 \approx 72 \text{ дв. ход/мин.},$$

$$n_3 \approx 96 \text{ дв. ход/мин. и } n_4 \approx 145 \text{ дв. ход/мин.}$$



Фиг. 29. Кинематическая схема долбежного станка 741

Стол станка имеет продольные, поперечные и круговые подачи, осуществляемые от барабана подачи и храпового механизма. Число зубьев храпового колеса $z_{xp} = 72$. При передаточном отношении от храпового колеса до винта продольной подачи

$$i = \frac{36 \cdot 28 \cdot 25}{28 \cdot 35 \cdot 40} = 0,64$$

продольная подача на один зуб храпового колеса

$$s_{прод} = \frac{x \cdot i}{z_{xp}} = \frac{0,64 \cdot 10}{72} = 0,09 \text{ мм/дв. ход.}$$

Круговая подача стола на один зуб храпового колеса

$$s_{кр} = \frac{1 \cdot 36 \cdot 28 \cdot 25 \cdot 2 \cdot 360^\circ}{72 \cdot 28 \cdot 35 \cdot 40 \cdot 80} = 0,08^\circ.$$

Новыми моделями являются гидрофицированные долбежные станки 7430, 7450 и 745. Эти станки имеют бесступенчатое регулирование скоростей долбяка.

В пределах рабочего (и холостого) хода скорость долбяка остаётся постоянной.

Некоторые данные об этих моделях станков приведены в табл. 14.

Станки шлифовальной группы

Основные данные станков приведены в табл. 15.

Круглошлифовальные станки. Круглошлифовальные станки предназначены для шлифования наружных поверхностей тел вращения. Гидрокинематическая схема универсального круглошлифовального станка модели 313 (табл. 15) станкостроительного завода имени Молотова показана на фиг. 30.

Таблица 13

Основные данные долбежных станков

Элементы характеристики станка	Единица измерения	Модель			
		741	742	743	7417
Наибольший ход долбяка	мм	200	320	300	160
Диаметр стола	»	—	—	610	500
Наибольший продольный и поперечный ход стола	»	500	500	600	500
Пределы чисел двойных ходов	дв. ход/мин.	48—145	23—67	19—77	30—120
Пределы подач стола	мм/дв. ход	0,09—0,7	0,2—1,6	—	0,08—1,2
Поворот стола за 1 двойной ход	град.	0,08—0,6	0,07—0,6	—	0,05—0,8
Мощность главного электродвигателя	квт	2,8	5,2	5,2	3,4
Габариты:					
длина	мм	1 765	3 000	2 230	1 870
ширина	»	1 220	1 550	1 650	1 300
Вес	кг	2 000	3 600	3 000	2 000

Таблица 14

Данные о гидрофицированных долбежных станках

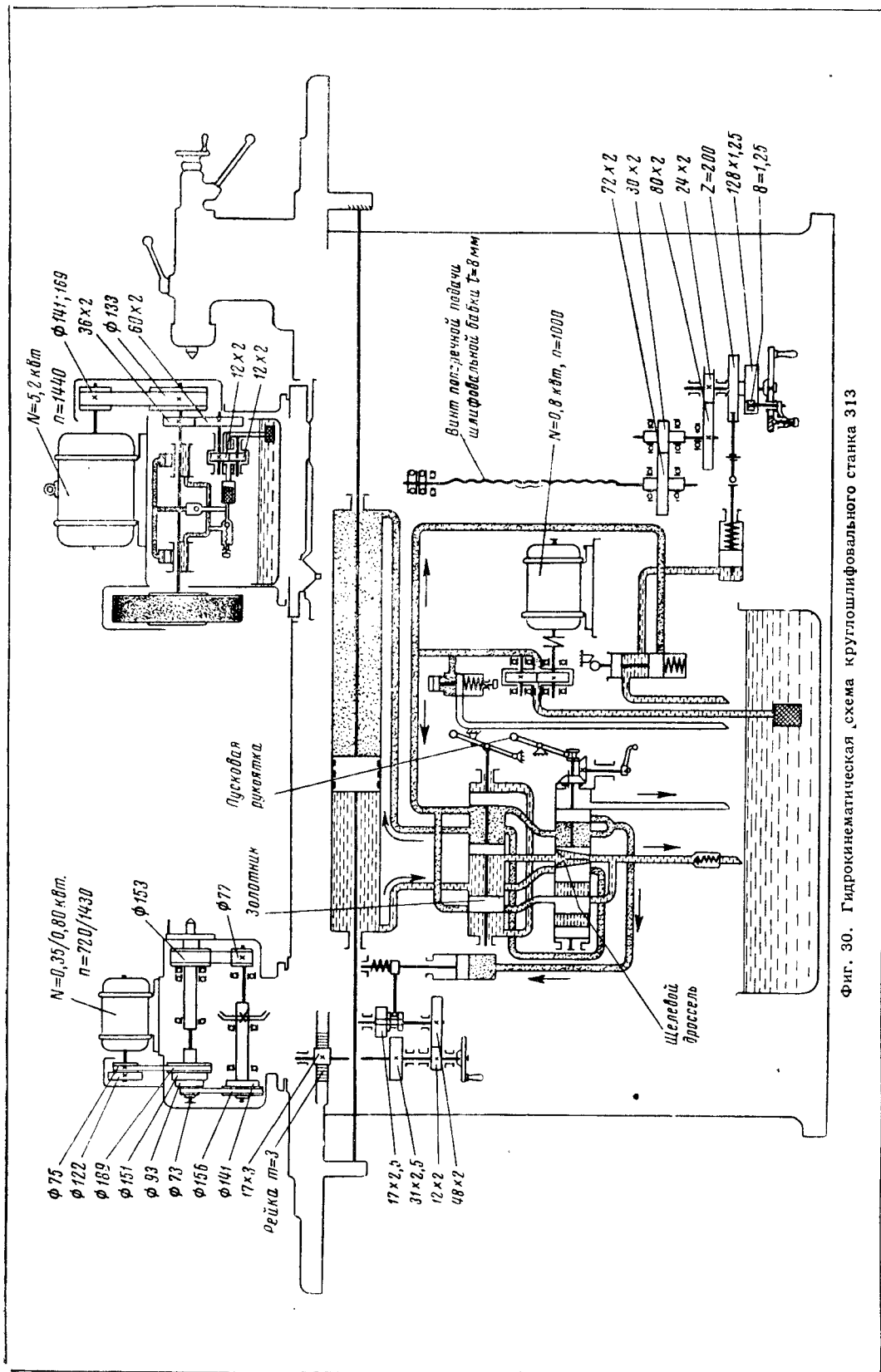
Элементы характеристики	Единица измерения	Модель		
		7430	7450	745
Наибольший ход долбяка	мм	300	500	900
Пределы скоростей рабочего хода	м/мин	5—16	5—16	3—32
Мощность главного электродвигателя	квт	6	7	20

Таблица 15

Шлифовальные и заточные станки

Элементы характеристики станка	Единица измерения	Модель				
		313	3151	316М	3740	ЗА64
Высота центров	мм	150	125	150	—	125
Расстояние между центрами	»	750	750	1 000	—	650
Наибольший диаметр шлифовачия	»	250	150	250	400	—
Наибольшая длина (высота) шлифовачия	»	750	750	1 000	175	—
Наибольший диаметр шлифовального круга	»	500	600	750	350	300
Числа оборотов шпинделя для вращения изделия	—	65—375	75—300	60—240	20—210*	—
Пределы скорости движения стола	м/мин	0,4—8	0,08—10	0,5—8	0,3—4	—
Мощность электродвигателя шлифовального круга	квт	5,2	5,8	7,8	4,2	0,65
Габарит станка:						
длина	мм	2 100	2 260	2 800	2 250	1 730
ширина	»	1 700	1 600	1 700	1 535	1 260
высота	»	1 500	1 770	1 500	1 900	1 450
Вес станка	кг	2 500	3 900	4 000	3 700	1 200

* Числа оборотов стола.



Станок предназначен для шлифования наружных и внутренних цилиндрических и конических поверхностей, а также торцов. Стол станка может поворачиваться на $\pm 6^\circ$, а шлифовальная бабка — до 90° .

Шлифовальный круг может иметь два числа оборотов (за счёт смены ведущего шкива):

$$n_1 = \frac{1440 \cdot 141 \cdot 0,98}{133} \approx 1530 \text{ об/мин.}$$

и

$$n_2 = \frac{1440 \cdot 169 \cdot 0,98}{133} \approx 1830 \text{ об/мин.}$$

Изделие получает вращение от отдельного электродвигателя. Числа оборотов изделия: 65, 95, 130, 190, 265 и 375 об/мин.

Гидравлическая система работает от третьего электродвигателя мощностью 0,8 кВт с шестерённым насосом постоянной производительности ($Q = 28 \text{ л/мин}$) и давлением $6-8 \text{ кг/см}^2$.

Гидросистема предназначена для продольной подачи стола, а также для поперечной подачи шлифовальной бабки.

Масло от шестерённого насоса поступает через золотник в правую полость рабочего цилиндра, передвигая стол в левую сторону.

Из левой полости цилиндра масло уходит через золотник и щелевой дроссель в бак. Скорость движения стола регулируется щелевым дросселем. В конце хода стола упоры переключают золотник в правое положение. В этом случае масло от насоса будет направляться в левую полость рабочего цилиндра, перемещая стол в правую сторону. Во время рабочей подачи стола вспомогательный поршень под давлением масла держит выключенным зубчатое колесо ($z = 17$), и ручная подача стола (через зубчатое колесо по рейке) становится невозможной.

При необходимости ручной подачи стола масло из-под вспомогательного поршня выпускается через цилиндр дросселя в бак введением в зацепление через пружину зубчатых колёс: $z = 17$ и $z = 31$. Полости же главного цилиндра сообщаются между собой через ответвления между золотником и цилиндром щелевого дросселя.

Поперечная подача шлифовальной бабки осуществляется нажимом кулачка на осевой пилот-золотник. Масло производит давление на поршень нижнего цилиндра, в результате чего происходит поворот храпового колеса $z = 200$ на требуемое число зубьев. Величина поперечной подачи на один двойной ход стола

$$s_{\text{попер}} = \frac{x \cdot t \cdot i}{z_{\text{хр}}} = \frac{24 \cdot 30 \cdot 8}{200 \cdot 80 \cdot 72} = 0,005 \text{ мм/дв. ход,}$$

где x — число зубьев, на которое собачка поворачивает храповое колесо (регулируемая величина); расчёт, приведённый ниже, дан для случая $x = 1$;

t — шаг винта поперечной подачи;

i — передаточное отношение от храпового колеса до винта поперечной подачи;

$z_{\text{хр}}$ — число зубьев храпового зубчатого колеса.

В табл. 15 приводятся также основные данные круглошлифовальных станков моделей 3151 и 316М станкостроительного завода имени Молотова.

Внутришлифовальные станки. Эти станки предназначаются для шлифования внутренних цилиндрических, конических и других поверхностей тел вращения. Они разделяются на два основных типа: 1) станки с вращением изделия и шлифовального круга и 2) станки с планетарным вращением круга при неподвижном изделии.

Планетарные внутришлифовальные станки применяют для обработки крупных деталей, которые привести во вращение практически неудобно. Станки строятся для обработки отверстий диаметром от 25 до 1500 мм, длиной до 3 м и имеют мощность главного привода до 15–20 кВт.

На фиг. 31 дана гидрокинематическая схема планетарного внутришлифовального станка. Станок снабжён дифференциалом с числом зубьев колёс $z = 24$, предназначенным для восприятия суммарного движения в моменты осуществления механической поперечной подачи круга.

Передача к дифференциалу осуществляется по следующей кинематической цепи от электродвигателя: ремённые передачи с переда-

точным отношением $\frac{155 \cdot 170}{155 \cdot 130}$ или $\frac{155 \cdot 130}{155 \cdot 170}$,

затем $\frac{70}{210}$ или $\frac{100}{180}$, зубчатая передача $\frac{20}{80}$ и

цепная передача $\frac{21}{63}$. В результате вращает-

ся наружный цилиндр 2, на котором жёстко закреплено колесо $z = 76$, вращающее колесо $z = 38$. Вал колеса $z = 38$ является крестовиной дифференциала с сателлитными колёсами $z = 24$. При вращении крестовины дифференциала сателлитные колёса передают движение левому коническому колесу, соединённому общей втулкой с цилиндрическим колесом $z = 38$, вращающим колесо $z = 152$.

В процессе шлифования правое коническое колесо дифференциала неподвижно и в этом случае наружный цилиндр 2 вращается синхронно с установочным цилиндром 1, так как

$$\frac{76 \cdot 2 \cdot 38}{38 \cdot 152} = 1,$$

где 2 — передаточное отношение дифференциала (передача с крестовины на левое колесо).

Как только шлифовальный круг в конце своего продольного хода выйдет из изделия, то через реечную передачу и тягу произойдёт воздействие защёлки на храповое колесо.

Это колесо, имеющее 200 зубьев, посажено на общем валу с двухзаходным червяком, вращающим червячное колесо $z = 25$.

Последнее сидит на общей втулке с правым коническим колесом дифференциала.

Общее передаточное отношение от храпового колеса до установочного цилиндра 1

$$i_{\text{общ}} = \frac{2 \cdot 38 \cdot 63 \cdot 2}{25 \cdot 152 \cdot 15 \cdot 64} = 0,026.$$

С другой стороны, соотношение между углом β поворота храпового колеса и углом α поворота установочного цилиндра

$$\frac{\alpha}{\beta} = i_{\text{общ}}, \text{ но } \beta = \frac{360^\circ}{z_{\text{хр}}} = \frac{360^\circ}{200} = 1,8^\circ,$$

следовательно, угол поворота установочного цилиндра на 1 зуб храпового колеса будет

$$\alpha = i_{\text{общ}} \beta = 0,026 \cdot 1,8^\circ \cdot 3600 = 17''.$$

От этого поворота установочного цилиндра изменится эксцентриситет, т. е. расстояние между осями изделия и круга, и тем самым

где Q — производительность в $\text{см}^3/\text{мин}$;

d — диаметр поршней в см ;

z — число поршней;

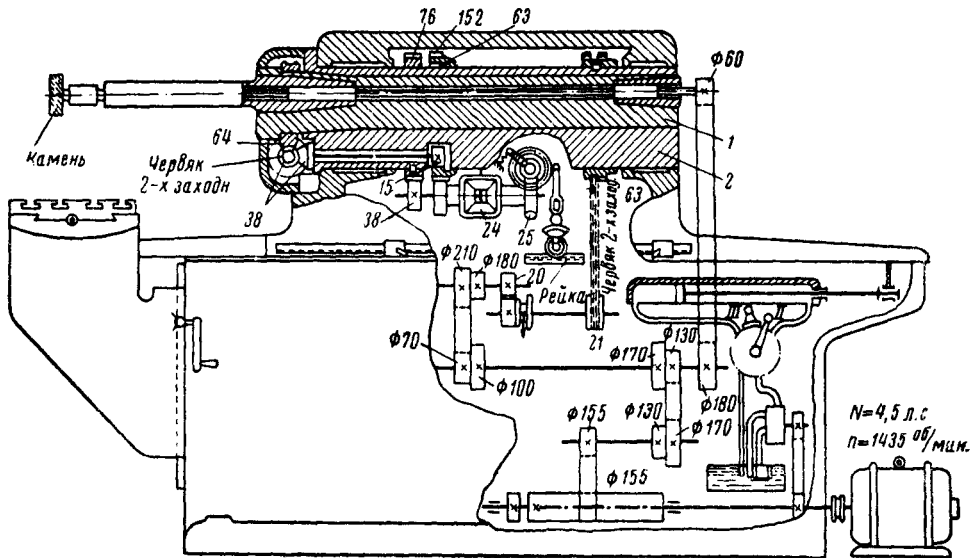
R — радиус окружности поршней в см ;

β — угол наклона шайбы.

От гидромотора движение передается круглому столу через зубчатую передачу с передаточным отношением

$$\frac{25 \cdot 35}{35 \cdot 130} = \frac{1}{5,2}.$$

Стол вращается с числом оборотов в пределах 20—210 об/мин.



Фиг. 31. Гидрокинематическая схема планетарного внутришлифовального станка

осуществится радиальная (поперечная) подача.

Продольная подача круга происходит гидравлически от шестерённого масляного насоса.

Плоскошлифовальные станки. Эти станки применяются для шлифования поршневых и золотниковых колец и других деталей подвижного состава.

Гидравлический плоскошлифовальный станок модели 3740 Московского станкостроительного завода (фиг. 32) имеет горизонтально расположенный шпиндель и круглый стол.

Вращательное и поступательное движение стола осуществляется с помощью гидравлического привода от двоянного лопастного насоса производительностью 50/26 л/мин, с наибольшим давлением 65 $\text{кг}/\text{см}^2$.

От насоса 1 (фиг. 32) масло через фильтр 2 и пусковой кран 3 поступает в гидромотор аксиально-плунжерного типа с наклонной шайбой. Из гидромотора масло уходит через кран 3а в бак. Вращательное движение вала гидромотора происходит за счёт тангенциальных составляющих осевых сил плунжеров. Число оборотов гидромотора (гидродвигателя)

$$n = \frac{2Q}{\pi d^2 R z t_g \beta} \text{ об/мин.},$$

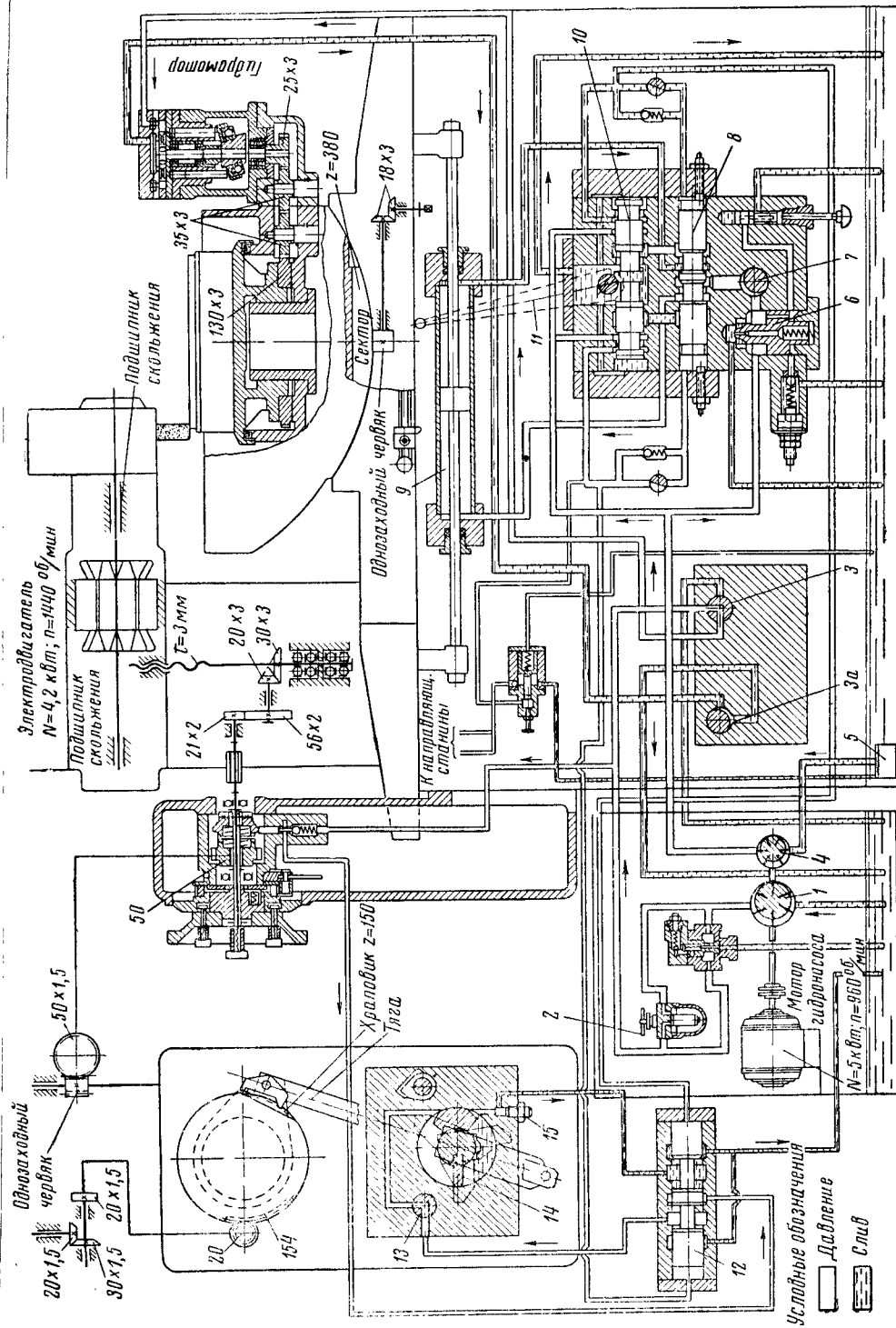
От насоса 4 с фильтром 5 масло поступает через дозирующий клапан 6 и кран 7 в реверсивный золотник 8, откуда направляется в левую полость цилиндра 9 стола. Из правой полости цилиндра масло через реверсивный золотник и пилот 10 уходит в бак. Направление движения стола изменяется с помощью рычага реверса 11, а следовательно, и от изменения положения пилота.

От главной магистрали насоса 1 масло поступает через распределительный золотник 12 в пусковой кран 13 поперечной подачи шлифовальной бабки. Для автоматической подачи бабки поставлен сервомотор 14 с дросселем 15, регулирующим скорость движения.

Рабочая подача шлифовальной бабки возможна также за двойной и одинарный ход стола. При регулировке на один зуб храпового колеса (т. е. при $x = 1$), шаг винта подачи бабки $t_g = 3 \text{ мм}$, числе зубьев храпового колеса $z_{\text{хр}} = 150$ и передаточном отношении колёс от храпового колеса до винта подачи

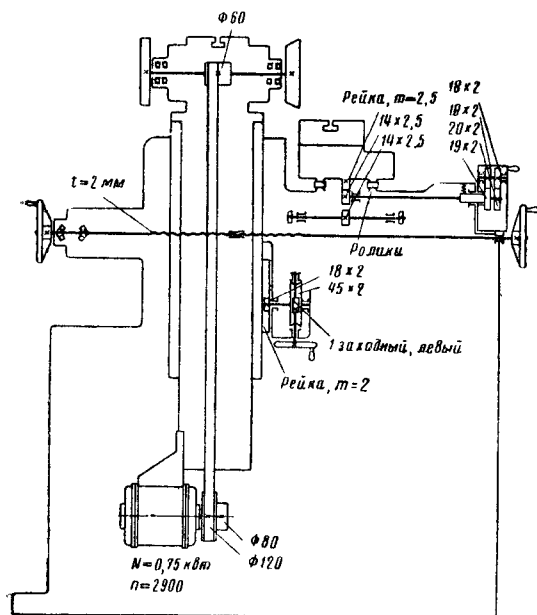
$$i = \frac{21 \cdot 20}{56 \cdot 30} = 0,25 \text{ величина поперечной подачи равна}$$

$$s_{\text{попер}} = \frac{x t_g i}{z_{\text{хр}}} = \frac{3 \cdot 0,25}{150} = 0,005 \text{ мм.}$$



Фиг. 32. Гидрокинематическая схема плоскошлифовального станка 3740

Заточные станки. Универсально-заточный станок 3А64 завода имени Ильича (фиг. 33)



Фиг. 33. Кинематическая схема универсально-заточного станка 3А64

предназначен для заточки многолезвийных режущих инструментов (фрез, развёрток, зенкеров, метчиков и др.).

На станке с помощью специальных приспособлений можно также производить круглое и плоское шлифование. Элементы характеристики станка см. в табл. 15.

Шпиндель станка может иметь два различных числа оборотов:

$$n_1 = \frac{2900 \cdot 120 \cdot 0,98}{60} \approx 5800 \text{ об/мин.}$$

и

$$n_2 = \frac{2900 \cdot 80 \cdot 0,98}{60} \approx 3800 \text{ об/мин.}$$

Шпиндель может подниматься и опускаться вручную со скоростью (за один оборот маховика)

$$v = \frac{1}{45} \pi \cdot 2 \cdot 18 = 2,5 \text{ мм/об мах.}$$

Продольная подача стола осуществляется от рукоятки через планетарную передачу с обкатывающимися зубчатыми колёсами $z = 19$ и 18 . Зубчатое колесо $z_1 = 19$ неподвижно. Передаточное отношение планетарной передачи

$$i_{пл} = 1 - \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} = 1 - \frac{19 \cdot 18}{19 \cdot 20} = \frac{1}{10}.$$

Следовательно, за один оборот рукоятки продольная подача:

$$s_{прод} = \frac{1}{10} \pi \cdot 2,5 \cdot 14 = 11 \text{ мм/об рук.}$$

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ СТАНКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Осевые центровально-отрезные станки

Центровально-отрезные станки предназначены для отрезки концов у заготовок осей, зацентровки осей и прорезки в заготовках канавок для ввода в них проходных резцов при черновой обработке. Станки характерны наличием двух приводных бабок с полыми шпинделями для зажима и вращения обрабатываемой оси. Станки снабжаются двумя парами супортов с резцами для отрезки концов заготовок осей и прорезки канавок.

Для сверления и зенкования центров оси служат две сверлильные бабки.

На фиг. 34 показана кинематическая схема двустороннего центровально-отрезного станка для вагонных осей модели 1830 завода «Красный пролетарий».

Обработка производится одновременно двух концов оси по полуавтоматическому циклу. Привод станка разобщённый: для вращения изделия и рабочей подачи поперечных супортов — от центрального вала, для зажима изделия — от двух реверсивных электродвигателей и для каждой сверлильной головки — от отдельных фланц-моторов.

Шпиндель станка получает вращение от электродвигателя постоянного тока. Плавное изменение чисел оборотов изделия при отрезке для сохранения постоянной скорости резания достигается регулированием электродвигателя в пределах от 325 до 1200 в минуту. Это регулирование в указанном диапазоне осуществляется благодаря установке шунтового электродвигателя постоянного тока, регулируемого по системе Леонарда (двигатель—управляемый генератор).

Предельные числа оборотов шпинделя согласно кинематической схеме станка будут:

$$n_{1 \text{ мин}} = \frac{325 \cdot 20 \cdot 23 \cdot 22}{35 \cdot 60 \cdot 97} = 42 \frac{23}{60} = 16 \text{ об/мин.};$$

$$n_{2 \text{ мин}} = 42 \frac{27}{56} = 20 \text{ об/мин.};$$

$$n_{3 \text{ мин}} = 42 \frac{31}{52} = 25 \text{ об/мин.}$$

Соответственно

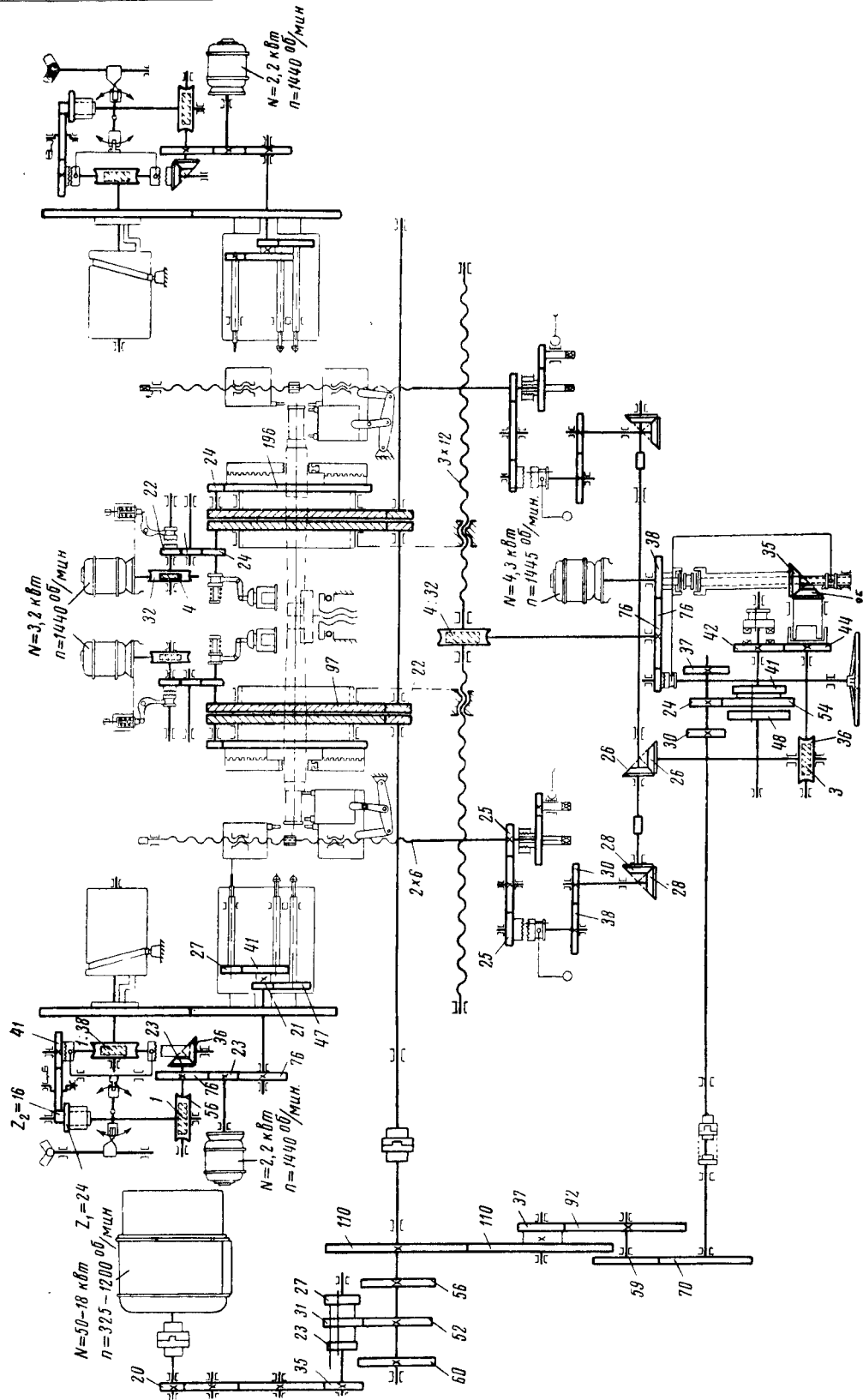
$$n_{1 \text{ макс}} = 59 \text{ об/мин.};$$

$$n_{2 \text{ макс}} = 74 \text{ об/мин.};$$

$$n_{3 \text{ макс}} = 92 \text{ об/мин.}$$

Поперечные подачи отрезного супорта за 1 оборот шпинделя:

$$s_{1 \text{ попер}} = \frac{97 \cdot 110 \cdot 37 \cdot 59 \cdot 24 \cdot 42 \cdot 3 \cdot 30 \cdot 2 \cdot 6}{22 \cdot 110 \cdot 92 \cdot 70 \cdot 54 \cdot 44 \cdot 36 \cdot 38} = 1,1 \frac{24}{54} = 0,5 \text{ мм/об};$$



Фиг. 34. Кинематическая схема центрально-отрезного станка модели 1830 для вагонных осей

$$s_{2 \text{ попер}} = 1,1 \frac{30}{48} = 0,7 \text{ мм/об}$$

и

$$s_{3 \text{ попер}} = 1,1 \frac{37}{41} = 1 \text{ мм/об.}$$

Прорезные резцы поперечного супорта благодаря дополнительной рычажной системе с отношением плеч рычагов 1 : 2 имеют уменьшенные поперечные подачи:

$$s'_1 = 0,25 \text{ мм/об}, \quad s'_2 = 0,35 \text{ мм/об}$$

$$\text{и } s'_3 = 0,5 \text{ мм/об.}$$

Сверлильная головка, предназначенная для зацентровки оси, получает движение от отдельного электродвигателя ($N = 2,2 \text{ кВт}$, $n = 1440 \text{ об/мин.}$).

В головке три шпинделя: для сверла, фрезы и зенковки. Числа оборотов для сверла и фрезы

$$n_{св} = n_{фр} = \frac{1440 \cdot 23 \cdot 41}{76 \cdot 27} = 665 \text{ об/мин.};$$

для зенковки

$$n_{зен} = \frac{1440 \cdot 23 \cdot 21}{76 \cdot 47} = 195 \text{ об/мин.}$$

Изменение величины продольной подачи головки за оборот шпинделя осуществляется перестановкой зубчатых колёс

$$z_1 = 24 \text{ и } z_2 = 16.$$

При $z_1 = 24$ (и шаге кривой рабочего хода на кулачке $t \approx 600 \text{ мм}$) величины продольных подач сверла и фрезы

$$s_{1 св} = s_{1 фр} = \frac{1440 \cdot 23 \cdot 24 \cdot 600}{76 \cdot 56 \cdot 41 \cdot 38} \approx$$

$$\approx 72 \text{ мм/мин.}$$

Подача на один оборот будет:

$$\frac{72}{665} = 0,11 \text{ мм/об.}$$

При включении зубчатого колеса $z_2 = 16$ подача на один оборот сверла или фрезы

$$s_{2 св} = s_{2 фр} = \frac{1440 \cdot 23 \cdot 16 \cdot 600}{76 \cdot 56 \cdot 41 \cdot 38 \cdot 665} =$$

$$= 0,07 \text{ мм/об.}$$

Соответственно для зенковки подачи будут: при $z_1 = 24$

$$s_{1 зен} = 0,36 \text{ мм/об}$$

и при $z_2 = 16$

$$s_{2 зен} = 0,24 \text{ мм/об.}$$

Зажим обрабатываемого изделия (сси) происходит с двух сторон от двух электродвигателей, передающих движение к самоцентрирующим патронам. Скорость перемещения кулачков патрона равна

$$v_{зж} = \frac{1440 \cdot 4 \cdot 22 \cdot 24 t}{32 \cdot 24 \cdot 196} =$$

$$= 510 \text{ мм/мин.},$$

где t — шаг торцевой резьбы на кулачках.

Скорость быстрого перемещения кареток

$$v_{кар} = \frac{1445 \cdot 38 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 12}{76 \cdot 32 \cdot 1000} = [3,2 \text{ м/мин.}]$$

Скорость быстрого перемещения сверлильной головки

$$v_{гол} = \frac{1440 \cdot 23 \cdot 123 t_{уск}}{76 \cdot 36 \cdot 38 \cdot 1000} = 4,4 \text{ м/мин.},$$

где $t_{уск}$ — шаг кривой ускоренного хода на кулачке.

Скорость быстрого перемещения поперечных супортов

$$v_{суп} = \frac{1445 \cdot 35 \cdot 3 \cdot 30 \cdot 2 \cdot 6}{35 \cdot 36 \cdot 38 \cdot 1000} = 1,14 \text{ м/мин.}$$

Центровально-отрезные станки модели 1831 предназначены для отрезки прибылей и зацентровывания поковок паровозных осей. По своей конструкции эти станки аналогичны станкам модели 1830.

В табл. 16 приводятся основные данные станков моделей 1830 и 1831.

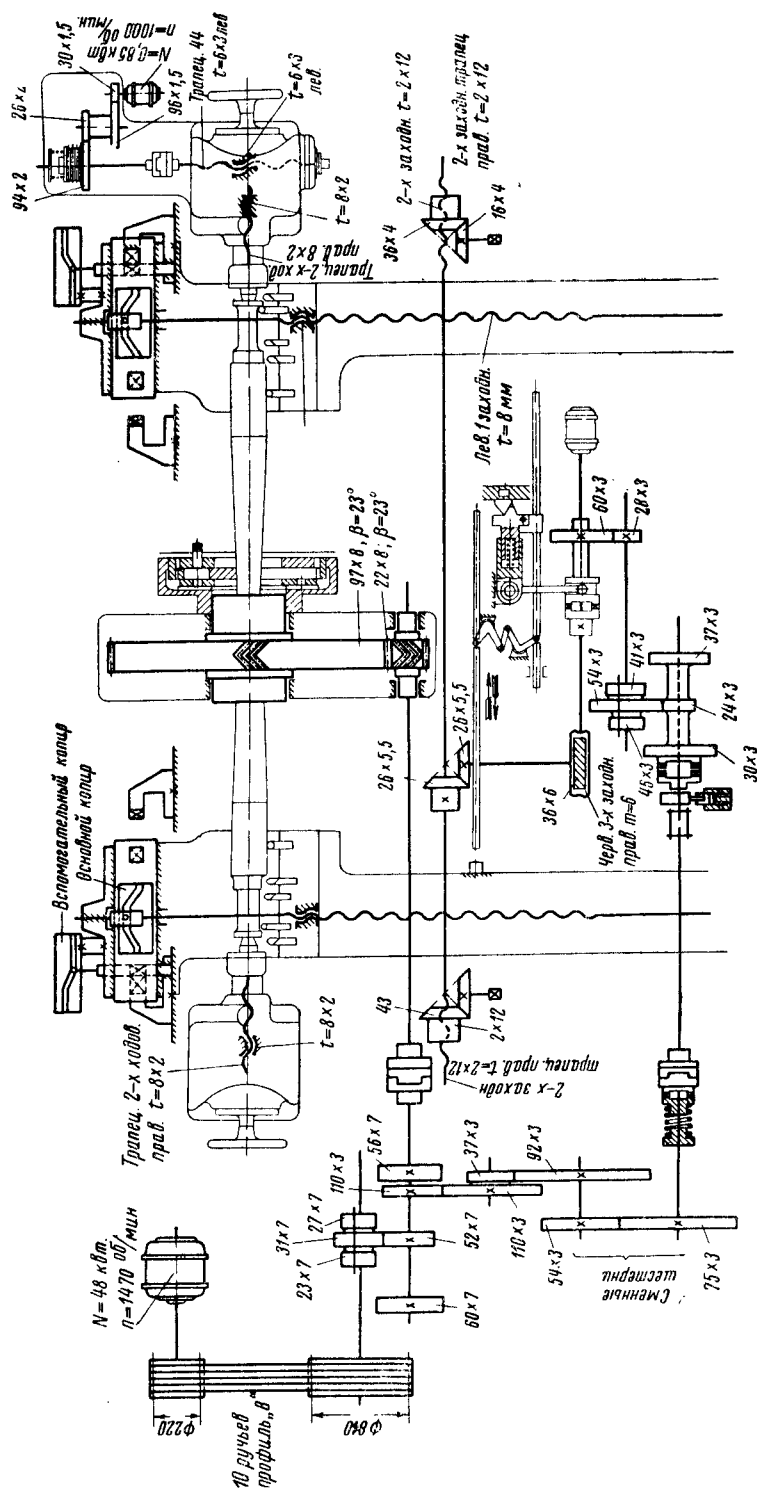
Таблица 16

Основные данные центровально-отрезных станков 1830 и 1831

Элементы характеристики станка	Единица измерения	Модель	
		1831	1830
Габарит:			
длина	мм	8 900	8 900
ширина	»	2 400	2 400
высота	»	1 650	1 650
Высота центров над станиной	»	400	400
Наибольший диаметр обработки	»	285	212
Наименьший диаметр обработки	»	210	170
Длина поковки наибольшей	»	2 000	2 600
Скорость быстрого перемещения сверлильной головки	м/мин	4,15	4,4
Скорость быстрого перемещения кареток	»	3,25	3,2
Числа оборотов изделия	об/мин.	12,5—60 16—75 19—93	16—59 20—74 25—92
Поперечные подачи отрезного супорта	мм/об	0,3; 0,45; 0,6	0,5; 0,7; 1,0
Число оборотов сверла и фрезы	об/мин.	174	665
Число оборотов зенковки	»	100	195
Подачи сверла и фрезы	мм/об	0,23; 0,34 0,4	0,07; 0,11 0,24
Подачи зенковки	»	0,6	0,36

Токарно-осевые станки для обработки концов осей

На фиг. 35 показана кинематическая схема станка для предварительной обточки шеек и подступичной части вагонных осей модели 172 завода «Красный пролетарий». Станок с центральным приводом, двумя задними бабками и двумя супортами. Правая задняя бабка может перемещаться по станине для удобства установки обрабатываемой оси. Крепление обрабатываемой детали производится в патроне центрального привода и в цент-



Фиг. 35. Кинематическая схема станка модели 172 для предварительной обточки вагонных осей

рах задних бабок. Передние супорты имеют продольные подачи от 0,465 до 1 мм/об; они могут также быстро перемещаться от отдельного электродвигателя со скоростью 3 м/мин.

Токарно-многорезцовые станки завода «Красный пролетарий» модели 183 предназначены также для черновой обточки поковок вагонных осей.

Основные данные станка 183

Высота центров	400 мм
Расстояние между центрами	2 800 »
Количество чисел оборотов шпинделя	3
Число продольных рабочих подач	3
Мощность электродвигателя:	
главного привода	48 кВт
быстрого перемещения супортов	3,2 »
задней бабки	0,85 »
Габариты:	
длина	6 300 мм
ширина	2 300 »
высота	1 650 »
Вес станка	19 100 кг

Аналогичную конструкцию имеют станки модели 1833, предназначенные для чистовой обточки концов паровозных осей.

Привод этого станка осуществлён от индивидуального электродвигателя переменного тока мощностью 48 кВт с числом оборотов в минуту 1470.

Кинематическая схема станка модели 1833 дана на фиг. 36.

Числа оборотов полого шпинделя с обрабатываемым изделием равны:

$$n_1 = \frac{1470 \cdot 0,98 \cdot 280 \cdot 23 \cdot 22}{400 \cdot 60 \cdot 97} \approx$$

$$\approx 230 \frac{23}{60} = 90 \text{ об/мин.};$$

$$n_2 = 230 \frac{27}{56} = 112 \text{ об/мин.}$$

и

$$n_3 = 230 \frac{31}{52} = 140 \text{ об/мин.}$$

Продольная обточка производится резцами, установленными на передних супортах.

Продольные подачи передних супортов за 1 оборот шпинделя равны:

$$s_{1 \text{ прод}} = \frac{97 \cdot 37 \cdot 35 \cdot 24 \cdot 26 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 12}{22 \cdot 92 \cdot 94 \cdot 54 \cdot 60 \cdot 36} =$$

$$= 0,57 \frac{24}{54} = 0,25 \text{ мм/об};$$

$$s_{2 \text{ прод}} = 0,57 \frac{30}{48} = 0,35 \text{ мм/об}$$

и

$$s_{3 \text{ прод}} = 0,57 \frac{37}{41} = 0,51 \text{ мм/об.}$$

Скорость быстрого продольного перемещения передних супортов

$$v_{\text{пер}} = \frac{1500 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 12}{36 \cdot 1000} \approx 3 \text{ м/мин.}$$

Поперечные подачи задних супортов за 1 оборот шпинделя

$$s_{1 \text{ попер}} = \frac{97 \cdot 37 \cdot 35 \cdot 24 \cdot 31 \cdot 22 \cdot 3 t_{\text{бар}}}{22 \cdot 92 \cdot 94 \cdot 54 \cdot 47 \cdot 27 \cdot 54} =$$

$$= 0,1 \text{ мм/об},$$

где $t_{\text{бар}}$ — шаг кривой барабана подачи;

$$s_{2 \text{ попер}} = 0,14 \text{ мм/об} \text{ и } s_{3 \text{ попер}} = 0,2 \text{ мм/об.}$$

Скорость быстрого перемещения задних супортов

$$v_{\text{задн}} = \frac{1470 \cdot 30 \cdot 3 t_{\text{бар}}}{50 \cdot 54 \cdot 1000} = 1,2 \text{ м/мин.}$$

Бабки, в центрах которых вращается обрабатываемое изделие, снабжены массивными пинолями со сменными вращающимися центрами. Правая бабка снабжена отдельным электродвигателем для её перемещения по каретке в направлении, перпендикулярном к оси обрабатываемого изделия. Скорость быстрого перемещения правой задней бабки равна

$$v_{\text{б}} = \frac{970 \cdot 30 \cdot 26 \cdot 3 \cdot 6}{96 \cdot 94 \cdot 1000} \approx 1,55 \text{ м/мин.}$$

Станок модели 183А завода «Красный пролетарий» предназначен для чистовой обточки по копирам шеек и подступичной части вагонных осей резцами, закреплёнными в передних и задних супортах.

Привод станка осуществляется от электродвигателя постоянного тока мощностью 50 кВт с регулируемыми числами оборотов (от 150 до 1200 об/мин.).

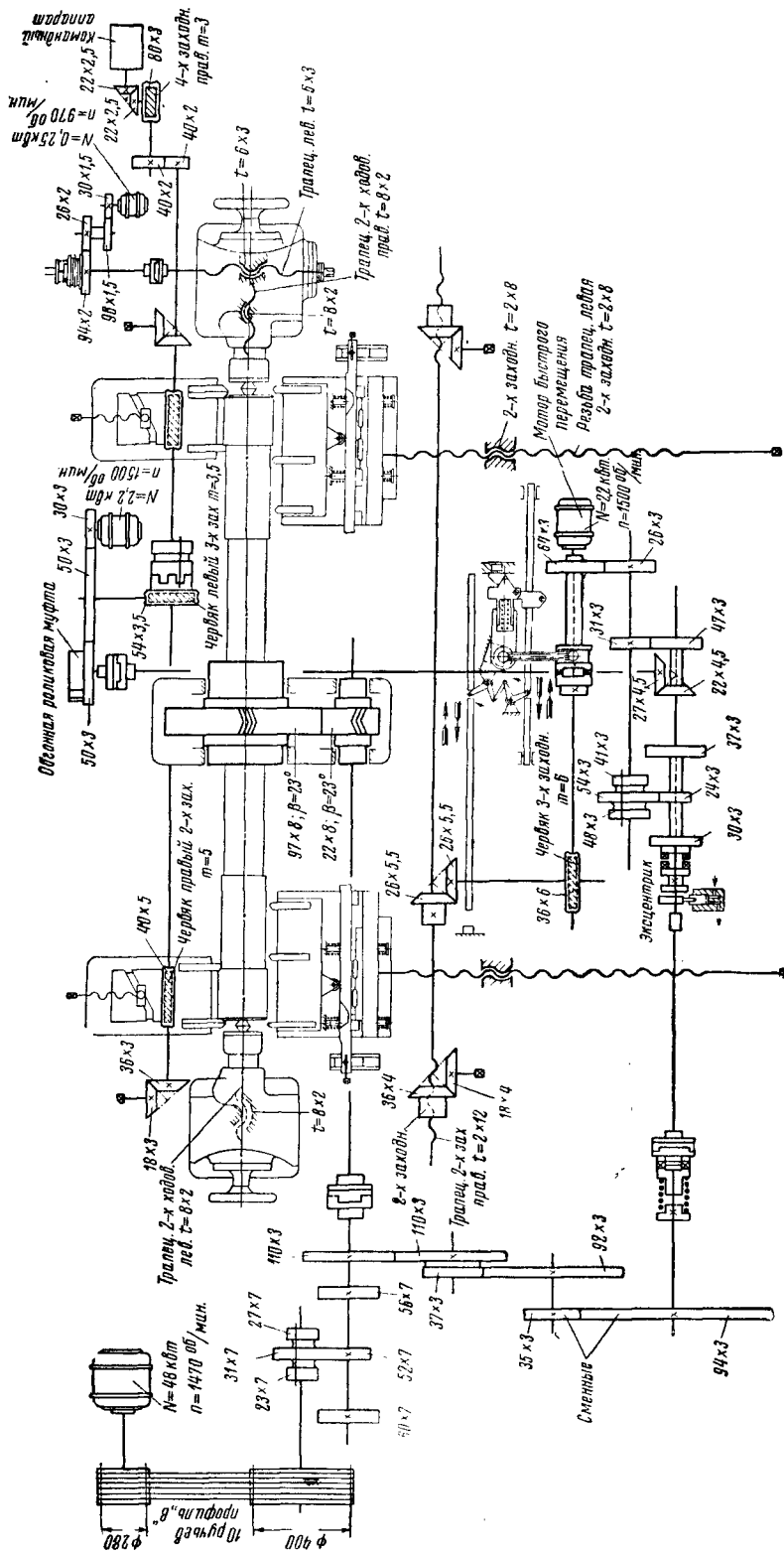
Предельные числа оборотов центрального привода равны соответственно:

$$n_{\text{мин}} = \frac{150 \cdot 20 \cdot 23 \cdot 22}{22 \cdot 60 \cdot 97} = 11,9 \text{ об/мин.};$$

Таблица 17

Основные данные токарно-многорезцовых станков моделей 183А и 1833

Элементы характеристики станка	Единица измерения	Модель	
		183А	1833
Высота центров	мм	400	400
Расстояние между центрами	»	2 800	2 860
Продольные подачи	мм/об	0,35—0,7	0,25—0,51
Поперечные подачи (для подрезки торцов)	»	0,15—0,3	0,1—0,2
Поперечные подачи (для зачистки галтелей)	»	0,05—0,1	
Скорость быстрого перемещения передних супортов	м/мин	3	3
Скорость быстрого перемещения задних супортов	»	1,2	1,2
Скорость быстрого перемещения правой задней бабки	»	1,55	1,55
Габарит станка:			
длина	мм	5 950	6 250
ширина	»	2 600	2 150
высота	»	1 650	1 650



Фиг. 36. Кинематическая схема станка модели 1833 для чистовой обточки концов паровозных осей

$$n_{\text{макс}} = \frac{1200 \cdot 20 \cdot 31 \cdot 22}{22 \cdot 52 \cdot 97} = 148 \text{ об/мин.}$$

В табл. 17 приводятся основные данные токарно-многолезцовых станков* моделей 183А и 183З.

Токарно-осевые станки для обработки осей по всей длине

Токарные станки для обработки осей по всей длине выполняются без центральной приводной бабки; эти станки имеют один или два суппорта, аналогичных суппортам тяжёлых токарных станков, применяемых в общем машиностроении.

Эти станки приспособлены также к обточке конуса (что необходимо при обработке средней части оси).

Многолезцовый полуавтомат модели 1832 завода «Красный пролетарий» предназначен преимущественно для черновой обточки паровозных осей, но возможна отделка его наладка и на чистовые операции.

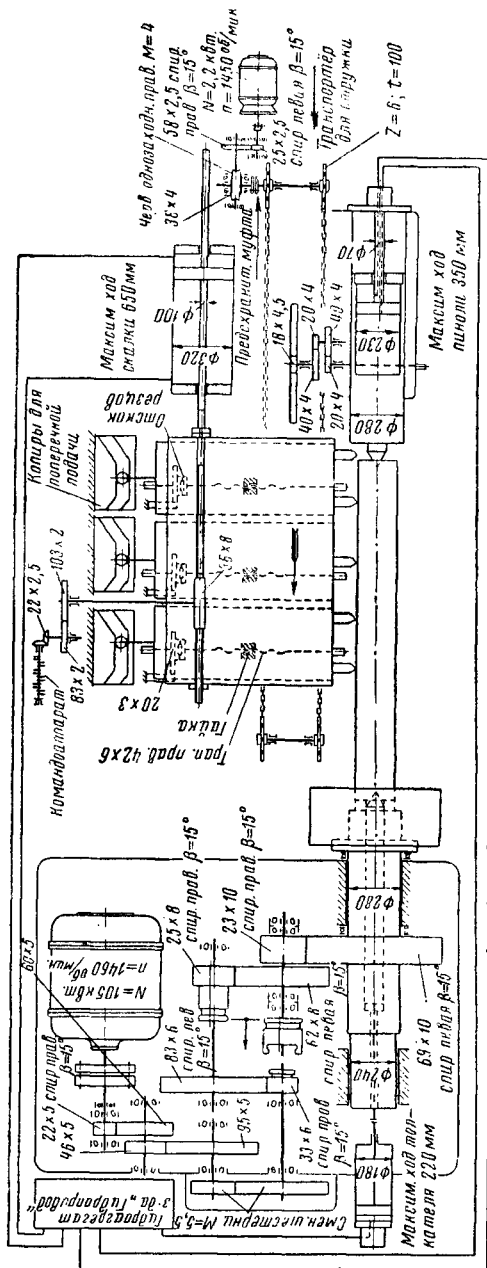
Полуавтомат образует замкнутую раму с большим квадратным отверстием в середине для схода стружки.

Кинематическая схема станка представлена на фиг. 37, график чисел оборотов шпинделя — на фиг. 38.

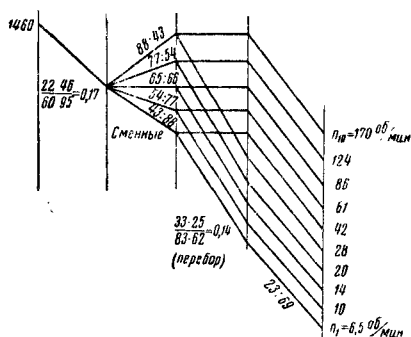
Основные данные станка 1832

Максимальная длина обрабатываемого изделия	3 000 мм
Максимальный диаметр обрабатываемого изделия	350 »
Высота центров станка от пола	1 200 »
Диаметр и длина передней шейки шпинделя	280 × 390 мм
Диаметр и длина задней шейки шпинделя	240 × 320 »
Количество чисел оборотов шпинделя	10
Пределы чисел оборотов шпинделя	6,5—178 об/мин.
Мощность главного электродвигателя	105 кет
Число оборотов главного электродвигателя	1 460 об/мин.
Число кареток на станке	1
Пределы рабочих подач	1,26—150 мм/мин
Скорость быстрого перемещения каретки	1,17 м/мин
Максимальное перемещение каретки от гидроцилиндра	650 мм
Диаметр гидроцилиндра продольной подачи суппортов	320 »
Максимальный ход скалки гидроцилиндра	650 »
Диаметр скалки гидроцилиндра	100 »
Число суппортов на каретке	3
Величина перемещения суппортов по копиру	80 мм
Диаметр и шаг винта суппорта гидравлического цилиндра толкателя изделия	42 × 6
Максимальное перемещение скалки толкателя изделия	180 мм
Максимальное перемещение задней бабки	220 »
Диаметр гидравлического цилиндра пиноли	840 »
Максимальное перемещение пиноли	230 »
Гидропривод (см. фиг. 82)	завода «Гидропривод» № МГ 721
Мощность электродвигателя гидропривода	3,5 кет

Число оборотов электродвигателя гидропривода	960 об/мин.
Мощность электродвигателя транспортера	2,2 кет
Число оборотов электродвигателя транспортера	1 440 об/мин.
Производительность насоса охлаждения	180 л/мин
Мощность электродвигателя охлаждения	0,65 кет
Число оборотов электродвигателя охлаждения	2 800 об/мин.
Габариты:	
длина	6 975 мм
ширина	1 975 »
высота	2 340 »
Вес станка без патрона, резцедержателей, копиров и электрооборудования	~ 33 т



Фиг. 37. Кинематическая схема полуавтомата 1832 для обточки паровозных осей



Фиг. 38. График чисел оборотов шпинделя полуавтомата 1832 для обточки паровозных осей

Осе-шеечные станки для обработки шеек осей колёсных пар

Станки для обработки шеек осей вагонных колёсных пар характерны тем, что вращение колёсной пары осуществляется преимущественно через ремённую передачу непосредственно на поверхность катания одного из бандажей. Станки для обточки и накатывания шеек осей колёсных пар имеют супорты, на которых предусмотрена установка приспособлений с накатными роликами.

Токарно-накатный станок модели 1835 (МК-177) завода «Красный пролетарий» (фиг. 39) предназначен для обточки и накатывания шеек осей вагонных колёсных пар.

Основные данные станка 1835

Высота центров над станиной	320 мм
Наибольшее расстояние между центрами бабок	2 900 »
Наибольший диаметр колёс по кругу катания	1 065 »
Диаметр накатного ролика	140 »
Числа оборотов колёсной пары	34; 71 и 138 об/мин.
Подачи каретки	0,14; 0,29; 0,57; 1,18; 2,36 и 4,7 мм/об
Максимальное перемещение каретки	420 мм
Мощность главного электродвигателя	7,8 квт
Число оборотов главного электродвигателя	1 455 об/мин.
Мощность электродвигателя для подъёма изделия	1,5 квт
Число оборотов электродвигателя для подъёма изделия	1 425 об/мин.
Мощность электродвигателя для насоса охлаждения	0,1 квт
Число оборотов насоса охлаждения	2 800 об/мин.
Производительность насоса охлаждения	15 л/мин
Габариты:	
длина	5 000 мм
ширина	1 840 »
высота	1 550 »
Вес станка	7 800 кг

Вращение колёсной пары осуществляется от шкива коробки скоростей; при этом колесо пары используется как ведомый элемент. Числа оборотов колёсной пары:

$$n_1 = \frac{1455 \cdot 21 \cdot 24 \cdot 230 \cdot 0,98}{77 \cdot 60 \cdot 1065} \approx 34 \text{ об/мин.};$$

$$n_2 = \frac{1455 \cdot 21 \cdot 38 \cdot 230 \cdot 0,98}{77 \cdot 46 \cdot 1065} \approx 71 \text{ об/мин.};$$

$$n_3 = \frac{1455 \cdot 21 \cdot 52 \cdot 230 \cdot 0,98}{77 \cdot 32 \cdot 1065} \approx 138 \text{ об/мин.}$$

Коробка подач размещена внизу механизма главного движения. На ведомом валу коробки подач установлена звёздочка $z = 14$ с шагом $t = 19,05$ мм для цепной передачи к супортам.

Каретки станка имеют передние и задние супорты. На передних супортах помещены четырёхпозиционные поворотные резцедержатели и державки с роликами для накатки. На задних супортах установлены накатные ролики.

Передние и задние супорты могут поочередно запираются (фиксироваться) в своих крайних положениях в случае необходимости работы от одного супорта.

Супорты станка снабжены падающими червяками, предохраняющими механизм подач от перегрузки.

Перемещение кареток происходит от коробки подач с тройным передвижным блоком. Величины подач:

$$s_1 =$$

$$= \frac{1035 \cdot 24 \cdot 36 \cdot 14 \cdot 28 \cdot 25 \cdot 36 \cdot 6 \cdot 20 \cdot 20 \cdot 3,14 \cdot 5 \cdot 12}{230 \cdot 72 \cdot 72 \cdot 28 \cdot 74 \cdot 77 \cdot 36 \cdot 48 \cdot 52 \cdot 58} = 0,14 \text{ мм/об},$$

$$s_2 = 0,29 \text{ мм/об} \text{ и } s_3 = 0,57 \text{ мм/об}.$$

Указанные подачи можно также увеличить включением перебора в цепи подачи, передаточное отношение которого

$$i_{пер} = \frac{28 \cdot 25}{74 \cdot 77}.$$

При этом $s_4 = 1,18$ мм/об, $s_5 = 2,36$ мм/об и $s_6 = 4,7$ мм/об.

Ручное перемещение обоих супортов от маховиков может производиться как в отдельности, так и одновременно в разных направлениях.

Подъём домкратом может производиться как вручную от маховика, так и от электродвигателя. Вращение маховика передаётся на планетарную передачу с неподвижным зубчатым колесом ($z_1 = 90$). При этом зубчатые колёса с $z_2 = 20$, обкатываясь по зубчатому колесу с z_1 , приводят во вращение диск с резьбовой гайкой, соединённой с винтом домкрата (его шаг равен 10 мм).

Передаточное отношение планетарной передачи может быть определено методом разложения сложного движения (табл. 18).

По данным табл. 18 имеем

$$i_{пл} = \frac{n_{диска}}{n_{z_2}} = \frac{1}{1 + \frac{z_1}{z_2}} = \frac{1}{1 + \frac{90}{50}} = \frac{5}{14}.$$

Следовательно, скорость подъёма

$$v = \frac{1425 \cdot 20 \cdot 5 \cdot 10}{206 \cdot 14 \cdot 1000} = 0,5 \text{ м/мин.}$$

Перемещение пинолей бабок станка производится вручную от маховика через коническую передачу 31 : 31 и винт (с шагом 6 мм).

Таблица 18

Данные для определения передаточного отношения планетарной передачи

Рассматриваемые положения	Числа оборотов			Примечание
	диска	z_1	z_3	
I	1	1	1	Включён палец между z_3 и диском
II	0	-1	$+\frac{z_1}{z_3}$	Палец выключен
Результат	1	0	$1+\frac{z_1}{z_3}$	

Вставной центр вращается на шариковых и роликовых подшипниках; осевое усилие воспринимается упорным подшипником. Подшипники регулируют резьбовыми кольцами.

Проектным бюро ЦУМЗ МПС разработан переносный станок для обточки шеек осей паровозных колёсных пар. Особенность станка в том, что он устанавливается непосредственно на оси колёсной пары. Станок имеет тележку-привод, на котором помещён электродвигатель мощностью 1,6 кВт и числом оборотов $n = 1440$ в минуту.

Резцовая головка с двумя резцами, имеющая наибольшее число оборотов 43 в минуту, совершает вращательное движение от зубчатой передачи с внутренним зацеплением. При наибольшем диаметре обрабатываемых шеек колёсных пар 270 мм

$$v = \frac{3,14 \cdot 270 \cdot 43}{1000} = 36,5 \text{ м/мин.}$$

Расчётное усилие резания равно:

$$P = \frac{1,36 \cdot 75 \cdot 60 N}{v} \eta = \frac{6120 \cdot 1,6 \cdot 0,8}{36,5} = 214 \text{ кг.}$$

Станок снабжается прибором для точного центрирования при обточке шеек осей.

Основные данные станка

Пределы диаметров обрабатываемых шеек	180–270 мм
Наибольшая длина обрабатываемых шеек	340 »
Глубина резания	2 »
Подача резца	0,11 мм/об
Габариты станка:	
длина	950 мм
ширина	510 »
высота	650 »
Вес станка	90 кг

Карусельные станки для обработки колёсных центров, колёс и расточки бандажей

Для обработки колёсных центров и расточки бандажей вагонных колёсных пар существует ряд моделей карусельных станков. Наиболее современной из них является модель 1551 Краснодарского завода имени Седина.

Основные данные станка 1551

Наибольший диаметр обрабатываемого изделия	1 500 мм
Пределы чисел оборотов шпинделя	от 3 до 96 об/мин.
Количество чисел оборотов планшайбы	16
Мощность главного электродвигателя	28 кВт

Этот станок имеет 16-ступенчатую коробку скоростей, два вертикальных супорта и один боковой; подача вертикальных супортов осуществляется в пределах от 0,2 до 9,0 мм/об с помощью коробок подач, установленных на торцах поперечины. Боковой супорт имеет установленную на нём отдельную коробку подач. Вес станка — 21 т.

В вагонных колёсных мастерских применяется тип станка, кинематическая схема главного привода которого представлена на стр. 559.

Для обработки колёсных центров и бандажей можно применять также некоторые модели универсальных токарно-карусельных станков.

Для обработки колёсных центров и бандажей локомотивов наряду с другими моделями карусельных станков может служить двухстоечный карусельный станок модели 1553 (фиг. 40), который является вторым типоразмером станка модели 1551. Эти станки сходны по конструкции и имеют много унифицированных деталей.

Станок снабжён 11 электродвигателями, из которых: 1 — для привода главного движения (вращения планшайбы) мощностью 37 кВт и числом оборотов 1470 об/мин., 1 — для ускоренного движения поперечины ($N = 5,8$ кВт; $n = 1450$ об/мин.), 1 — для зажима поперечины ($N = 1,5$ кВт; $n = 1425$ об/мин.), 6 — для перемещения супортов (каждый из трёх супортов, помимо рабочей подачи, получаемой от отдельного электродвигателя, имеет ускоренное движение со скоростью 3 000 мм/мин также от отдельного электродвигателя).

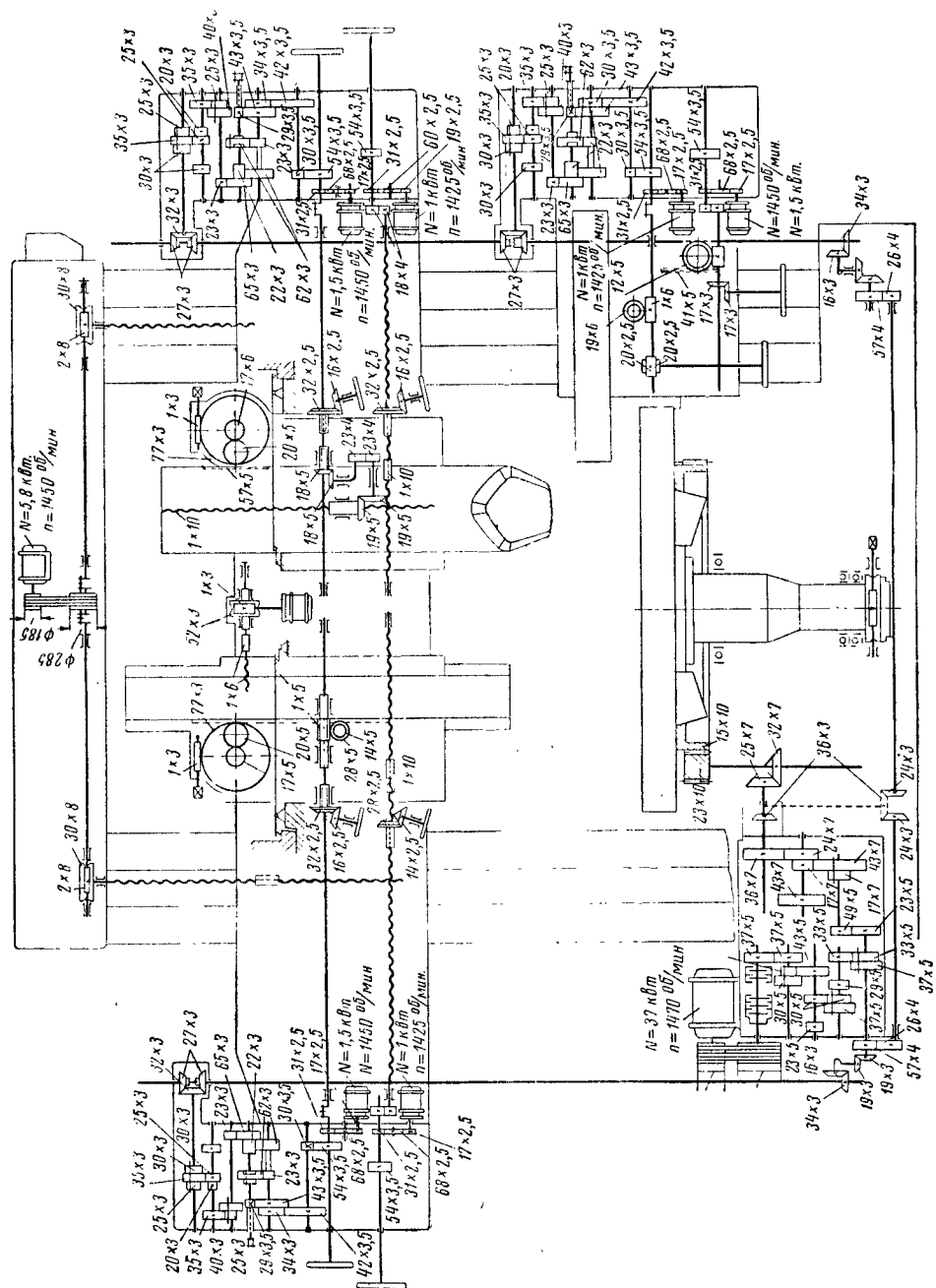
Мощность каждого электродвигателя для привода супорта — 1,5 кВт и число оборотов — 1425 об/мин. Кроме того, имеются электродвигатели для привода маслососа ($N = 1,0$ кВт; $n = 1425$ об/мин.) и для привода системы охлаждения ($N = 0,15$ кВт; $n = 2800$ об/мин.). Габаритные размеры станка модели 1553:

Диаметр планшайбы	2 100 мм
Наименьший и наибольший диаметры обточки револьверной головкой или левым вертикальным супортом	0–2 300 мм
То же, расточки	150–1 900 »
Наименьший и наибольший диаметры обточки горизонтальным супортом	900–2 100 »
Диаметр зажатия изделия кулачками	400–1 900 »
Габариты:	
длина	4 000 мм
ширина	5 625 »
высота	4 250 »
Вес станка	35 000 кг

Для управления всеми электродвигателями на станке имеется подвесная кнопочная станция.

Шпиндель планшайбы, расположенный в двух роликовых подшипниках и регулируемом подпятнике, приводится во вращение от главного электродвигателя ($N = 37$ кВт; $n = 1470$ об/мин.). Коробка скоростей даёт возможность получить 16 различных чисел оборотов планшайбы.

Запись чисел оборотов планшайбы при возможных вариантах зацеплений зубчатых колёс будет



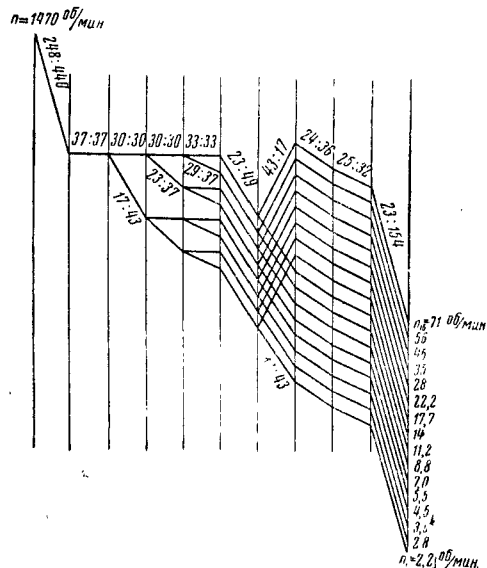
Фиг. 40. Кинематическая схема двухстоечного карусельного станка модели 1553

$$n_{пл} = 1470 \frac{248}{440} \cdot 0,98 \cdot \frac{37}{37} \cdot \frac{17}{43} \cdot \frac{23}{37} \cdot \frac{29}{49} \cdot \frac{23}{43} \cdot \frac{17}{36} \cdot \frac{24}{32} \cdot \frac{25}{154} \text{ об/мин.}$$

$$\frac{30}{30} \cdot \frac{30}{30} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{43}{71}$$

$$1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 16$$

График чисел оборотов планшайбы представлен на фиг. 41.



Фиг. 41. График чисел оборотов планшайбы карусельного станка 1553

Электродвигатели для перемещения поперечины ($N = 5,8 \text{ кВт}$; $n = 1450 \text{ об/мин.}$) и для её зажима и отжима ($N = 1,5 \text{ кВт}$; $n = 1450 \text{ об/мин.}$) заблокированы так, что перед началом перемещения поперечины срабатывает малый электродвигатель, отжимая поперечину, и лишь только после этого она может перемещаться. При остановке движения поперечины включается малый электродвигатель, зажимая её. В крайнем верхнем положении ход поперечины автоматически выключается благодаря наличию концевого выключателя.

Подача резцов осуществляется тремя супортами, которые снабжены одинаковыми коробками подач.

Левый вертикальный супорт расположен на подвижной поперечине. Он состоит из салазок (перемещающихся от ходового винта вправо и влево), поворотной части (поворачивающейся от 0 до 45° от вертикали) и ползуна с четырёхгранным резцедержателем (перемещающихся вверх и вниз посредством реечной передачи). Правый вертикальный супорт также расположен на поперечине и несёт на себе пятигранную револьверную головку, которая может поворачиваться вокруг своей оси на 360° и вместе с супортом перемещаться вверх и вниз. Салазки правого вертикального супорта могут перемещаться вправо и влево вдоль поперечины. Горизонтальный (боковой) супорт расположен на правой стойке станка и может перемещаться вдоль неё вверх и вниз; ползун горизонталь-

ного супорта имеет горизонтальное перемещение (вправо и влево).

Изменение величин подач достигается перестановкой передвижных зубчатых колёс, что даёт возможность получить для каждого супорта следующий ряд из 12 вертикальных или горизонтальных подач: 0,1; 0,14; 0,20; 0,28; 0,40; 0,55; 0,8; 1,12; 1,57; 2,25; 3,15 и 4,5 мм/об.

Включение и выключение подач может быть произведено нажатием специальных кнопок на коробках подач, а также на подвесной кнопочной станции.

В коробках подач предусмотрена блокировка, не дающая возможности одновременно включать ускоренные и рабочие подачи.

На фиг. 42 показана кинематическая схема карусельного станка-полуавтомата для обработки колёсных центров.

Основные данные станка-полуавтомата для обработки колёсных центров

Диаметр планшайбы	1 550 мм
Расстояние от центра планшайбы до стойки	860 »
Наибольший диаметр зажатия изделия кулачками	1 200 »
Наибольшее перемещение супортов:	
первого (по горизонтали)	400 »
второго (по вертикали)	300 »
третьего (по горизонтали и вертикали)	300 »
четвёртого (по горизонтали и вертикали)	300 »

Габарит станка 4 300 × 5 100 × 3 200 мм.

Предельные числа оборотов планшайбы:

$$n_{\max} = \frac{700 \cdot 30 \cdot 22 \cdot 64 \cdot 34 \cdot 19}{32 \cdot 64 \cdot 28 \cdot 60 \cdot 140} = 40 \text{ об/мин.}$$

$$n_{\min} = \frac{700 \cdot 20 \cdot 22 \cdot 25 \cdot 34 \cdot 19}{42 \cdot 64 \cdot 67 \cdot 60 \cdot 140} = 3,2 \text{ об/мин.}$$

На фиг. 43 дан график чисел оборотов планшайбы станка.

Коробки скоростей карусельно-центровых станков могут быть модернизированы в целях повышения числа оборотов планшайбы до 80÷130 об/мин. для получения большей скорости резания и обеспечения надлежащей чистоты поверхности отверстия ступицы в процессе её расточки.

Величина горизонтальной подачи первого и третьего супортов меняется от переключения муфты А (фиг. 42).

Постоянное передаточное отношение от планшайбы до муфты А

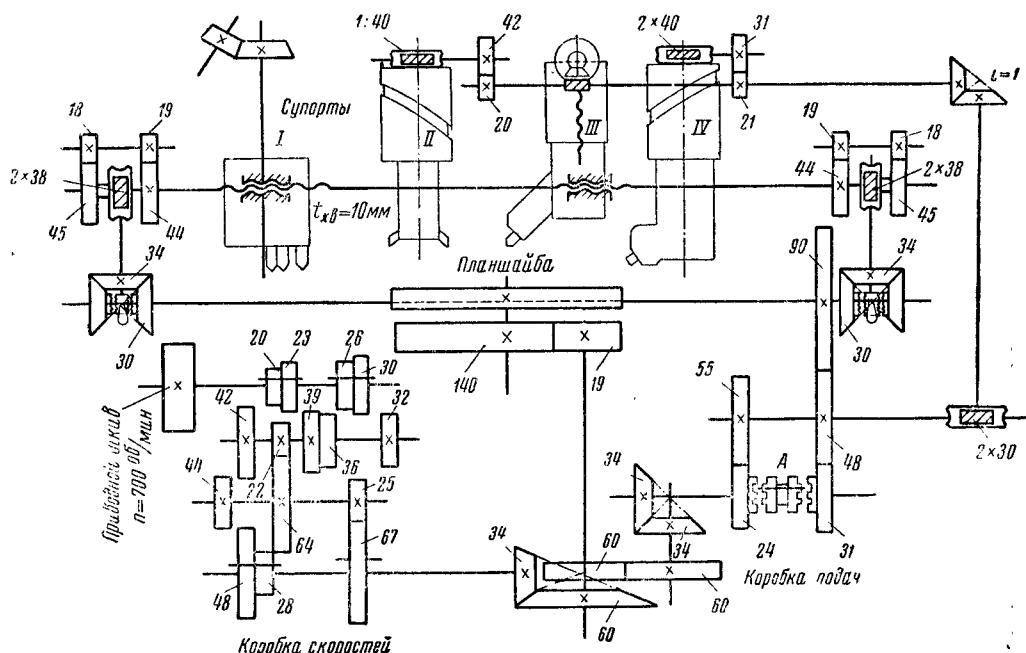
$$i_1 = \frac{140 \cdot 60 \cdot 34}{19 \cdot 60 \cdot 34} = 7,35.$$

Передаточные отношения, изменяемые переключением муфты А

$$i_2 = \frac{31}{48}; i_2' = \frac{24}{55}.$$

Постоянное передаточное отношение от вала с зубчатыми колёсами 55 и 48 до винта (с шагом 10 мм) горизонтального перемещения первого и третьего супортов

$$i_3 = \frac{48 \cdot 20 \cdot 2 \cdot 45 \cdot 19}{90 \cdot 34 \cdot 38 \cdot 18 \cdot 44} = 0,027.$$



Фиг. 42. Кинематическая схема карусельного станка-полуавтомата для обработки колёсных центров

Величины горизонтальных подач:

$$s_1 = 0,64 \cdot 7,35 \cdot 0,027 \cdot 10 = 1,25 \text{ мм/об};$$

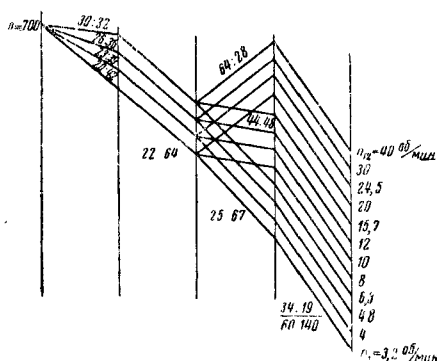
$$s_2 = 0,44 \cdot 7,35 \cdot 0,027 \cdot 10 = 0,86 \text{ мм/об}.$$

Второй и четвёртый супорты перемещаются механически только в вертикальном направлении, горизонтальная подача осуществляется вручную.

$$s_1 = 7,35 \frac{24 \cdot 2 \cdot 30 \cdot 20 \cdot 1 \cdot 250}{55 \cdot 30 \cdot 30 \cdot 42 \cdot 40} = 2,5 \text{ мм/об};$$

$$s_2 = 7,35 \frac{31 \cdot 2 \cdot 30 \cdot 20 \cdot 1 \cdot 250}{48 \cdot 30 \cdot 30 \cdot 42 \cdot 40} = 3,7 \text{ мм/об}.$$

На фиг. 44 показана кинематическая схема двухсупортного карусельного станка-полуавтомата для расточки бандажей.



Фиг. 43. График чисел оборотов планшайбы карусельного станка для обработки колёсных центров

Конструктивная особенность этих супортов состоит в том, что их подача происходит от барабанов с винтовыми кулачками; благодаря этим кулачкам супорт после рабочей подачи возвращается в исходную позицию без включения дополнительных устройств.

Вертикальные подачи второго супорта при шаге винтовой канавки 250 мм будут равны:

Габаритные размеры станка

Диаметр планшайбы	1 700 мм
Расстояние от центра планшайбы до стойки	1 000 »
Наибольшая высота изделия	175 »
Наибольший диаметр зажатия кулачками	1 350 »
Наибольшее перемещение супортов по вертикали	490 »
Габариты:	
длина	4 300 »
ширина	4 200 »
высота	3 600 »

Коробка скоростей по конструкции аналогична коробке станка для колёсных центров.

Предельные числа оборотов планшайбы равны:

$$n_{\max} = \frac{750 \cdot 30 \cdot 22 \cdot 64 \cdot 24 \cdot 19}{32 \cdot 64 \cdot 28 \cdot 66 \cdot 140} = 27 \text{ об/мин.};$$

$$n_{\min} = \frac{750 \cdot 20 \cdot 22 \cdot 25 \cdot 24 \cdot 19}{42 \cdot 64 \cdot 67 \cdot 66 \cdot 140} = 2,3 \text{ об/мин}.$$

Постоянное передаточное отношение от планшайбы до коробки подачи

$$i_{1 \text{ пост}} = \frac{140 \cdot 66 \cdot 66 \cdot 20 \cdot 22}{19 \cdot 24 \cdot 47 \cdot 29 \cdot 44} = 9,8.$$

Передаточные отношения коробки подач:

$$i_1 = \frac{59 \cdot 24}{83 \cdot 72} = 0,24; \quad i_2 = \frac{62 \cdot 24}{80 \cdot 72} = 0,26;$$

$$i_3 = \frac{59 \cdot 32}{83 \cdot 64} = 0,36; \quad i_4 = \frac{62 \cdot 32}{80 \cdot 64} = 0,39.$$

Постоянное передаточное отношение от коробки подач до барабана-копира правого супорта

$$i_{2 \text{ пост}} = \frac{27 \cdot 37 \cdot 1 \cdot 20}{66 \cdot 70 \cdot 30 \cdot 40} = 0,0036.$$

При шаге винтовой канавки барабана $t = 120 \text{ мм}$ наименьшая вертикальная подача равна

$$s_1 = 9,8 \cdot 0,24 \cdot 0,0036 \cdot 120 = 1 \text{ мм/об.}$$

Аналогично подсчитываются и другие величины подач (при $i_2 = 0,26$, $i_3 = 0,36$ и $i_4 = 0,39$).

На головке левого супорта устанавливаются подрезной и канавочный резцы для подрезки упорного бурта и проточки канавки под укрепляющее кольцо. Эта головка имеет механическую подачу под требуемым углом.

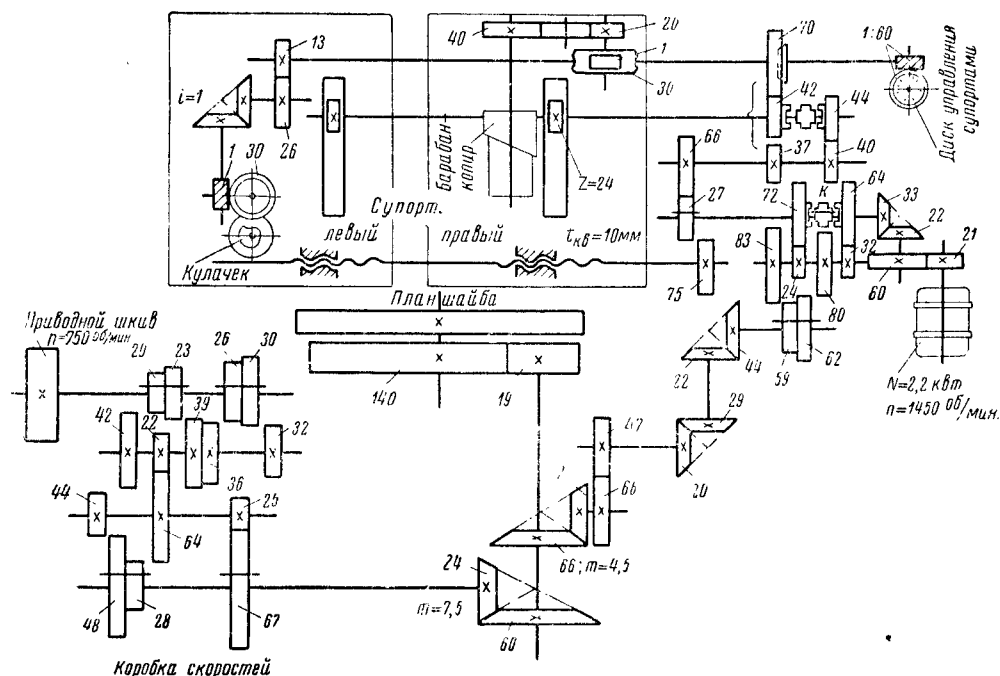
Обдирочные и чистовые резцы укрепляются на головках правого супорта, перемещающегося в вертикальном направлении от барабана-копира.

Для сохранения полуавтоматического цикла обработки бандажа на станке установлен диск управления супортами, за один оборот которого кулачок и барабан-копир делают также по обороту, т. е.

$$\frac{1 \text{ об. кул. } 30 \cdot 26}{13 \cdot 60} = 1 \text{ обороту диска.}$$

Скорость быстрого перемещения супортов в горизонтальном направлении

$$v_2 = \frac{1450 \cdot 21 \cdot 22 \cdot 27 \cdot 10}{60 \cdot 33 \cdot 75 \cdot 1000} = 1,2 \text{ м/мин.}$$



Фиг. 44. Кинематическая схема двухсупортного карусельного станка для расточки бандажей

На супортах станка помещаются три резцовые головки, из которых одна на левом и две на правом супорте. Головка левого супорта перемещается в наклонном положении под углом $18,5^\circ$. Перемещение этой головки достигается благодаря наличию кулачка или эксцентрика, число оборотов которого одинаково с числом оборотов барабана-копира:

$$\frac{n_{\text{кул}} \cdot 30 \cdot 26 \cdot 20}{13 \cdot 30 \cdot 40} = n_{\text{бар}},$$

откуда

$$n_{\text{кул}} = n_{\text{бар}}.$$

Колёсно-токарные станки для обточки бандажей колёсных пар

Эти станки применяют для обточки по профилю катания и подрезки внутренних торцевых граней новых и изношенных бандажей колёсных пар подвижного состава железных дорог. Колёсно-токарные станки строятся в основном трёх размеров: 1) для вагонных и тендерных колёсных пар; 2) для колёсных пар грузовых паровозов и 3) для колёсных пар пассажирских паровозов.

По принципу работы станки делят на два типа: 1) станки для обработки профиля методом копирования и 2) станки для обра-

ботки профиля широкими фасонными (профильными) резцами.

В табл. 19 даны основные параметры колёсно-токарных станков (средние значения).

Таблица 19

Колёсно-токарные станки

Назначение колёсных пар	Наибольший диаметр обработки по кругу катания в мм
Для грузовых паровозов, электровозов и тепловозов	1 720
Для пассажирских паровозов, электровозов и тепловозов	2 300
Для вагонов, тендеров и бегунковых колёсных пар паровозов	1 050

Колёсно токарный станок модели 1838 Краматорского завода тяжёлого станкостроения предназначен для обточки по профилю катания новых и бывших в эксплуатации бандажей колёсных пар всех типов для паровозов и тендеров широкой колеи всех серий в диапазоне диаметров по кругу катания от 900 до 2200 мм.

Кинематическая схема станка представлена на фиг. 45.

Станок имеет 6 электродвигателей общей мощностью около 80 кВт.

В корпусе станины станка (*узел № 1*) установлен главный вал *IV*, служащий для привода планшайбы и коробки подач.

Передняя шпиндельная бабка (*узел № 2'*) неподвижно крепится к станине; задняя бабка (*узел № 2*) перемещается от винта, приводящегося в движение отдельным электродвигателем.

Крепление колёсной пары осуществляется кулаками (*узел № 3*), перемещающимися к торцам бандажей колёсной пары с помощью поршней, на которые давит специальная гидростатическая масса, подводимая по трубкам.

В радиальном направлении кулаки перемещаются от системы зубчатых колёс.

На передней части станины установлена коробка скоростей (*узел № 4*).

Коробка подач (*узел № 5*) установлена в средней части станины.

Станок имеет четыре супорта, из которых два копировальных (*узлы № 9*) для чашечных резцов, обрабатывающих только гребневую поверхность бандажа, и два основных (*узлы № 7*), имеющих поворотные резцовые головки для проходных и фасонных (в том числе полнопрофильного чистового) резцов, обрабатывающих поверхности бандажа с уклонами 1:20 и 1:7, фаску и окончательный профиль бандажа.

Все супорты установлены на специальных постелях (*узлы № 6 и 8*).

Привод копировальных и основных супортов осуществляется через две распределительные коробки.

На коробке подач неподвижно укреплен гидравлический пятитонный домкрат (*узел № 10*).

Основные данные станка

Высота центров над станиной	1 220 мм
Количество чисел оборотов шпинделя	12
Числа оборотов шпинделя	0,58; 1,25; 1,6; 1,87; 2,0; 3,7; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5 об/мин.
Количество подач	8
Подачи при обточке по уклону 1:20 и обточке внутренней торцевой грани	0,75; 1,1; 1,5; 2,1; 3,0; 4,3; 6,0 и 8,6 мм/об
Средние подачи по копиру	0,36; 0,5; 0,7; 3,0; 4,0 мм/об; 1,0; 1,5; 2,0;
Скорость перемещения задней бабки:	
ускоренного	915 мм/мин
замедленного	147 »
Скорость перемещения каждой постели	975 »
Скорость продольного и поперечного перемещений основных супортов и поперечного перемещения копировальных супортов	365 »
Допустимый вес обрабатываемой колёсной пары	7 т
Габариты станка:	
длина	9 200 мм
ширина	6 090 »
высота общая	3 440 »
высота над полом	2 840 »
Вес станка (расчётный)	107 т

Главный электродвигатель станка посредством клиноременной передачи вращает приёмный вал коробки скоростей (*узел № 4*), от которого через последующие два вала передаётся движение на главный вал *IV* и затем на планшайбы шпинделей *V*.

На валу *IV* расположено также зубчатое колесо 72×4, передающее движение на вал *VI* коробки подач и далее на вал *VII*, втулку *VIII*, от неё — валам *IX* и *X*, а от последнего — распределительным коробкам основных и копировальных супортов (*узлы № 7 и 9*).

Механизм распределительной коробки основных супортов (*узел № 7*) получает движение от зубчатого колеса 31×4, сидящего на нижнем конце вала *X*.

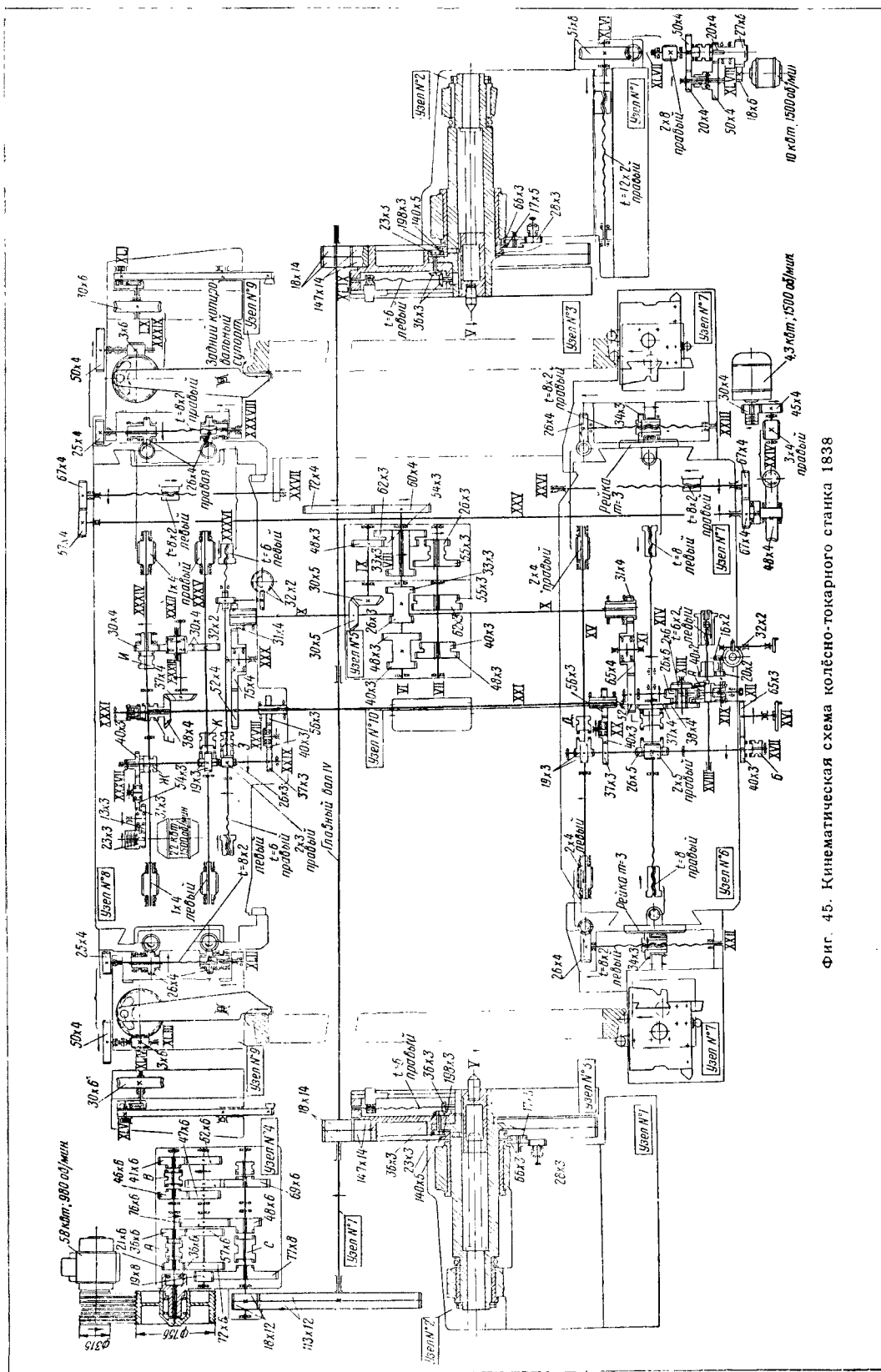
Далее вращение передаётся на вал *XIII* через зубчатые колёса 38×4 и 37×4. При правом включении муфты *Г* получает вращение вал *XIV*, на концах которого имеются соответственно правая и левая винтовые нарезки с шагом 8 мм, входящие в гайки, закреплённые в основных супортах.

Поперечное перемещение верхних салазок относительно нижних производится вручную при помощи маховика, сидящего на валу *XVI*.

Для малого смещения салазок супортов в поперечном направлении в процессе их одновременного движения в продольном направлении (с целью автоматического получения уклона 1:20 на профиле бандажа) существует приспособление: рейки ($m=3$) соединены с винтовыми нарезками вала *XIV* (служащими для продольного перемещения супортов).

Рейки сцеплены с зубчатыми колёсами 34×3, укрепленными на корпусах гаек винтов *XXII* и *XXIII* (служащих для поперечного перемещения салазок супортов).

Ускоренное перемещение основных супортов осуществляется от специального электро-



Фиг. 45. Кинематическая схема колёсно-токарного станка 1838

двигателя, установленного на распределительной коробке копировальных супортов.

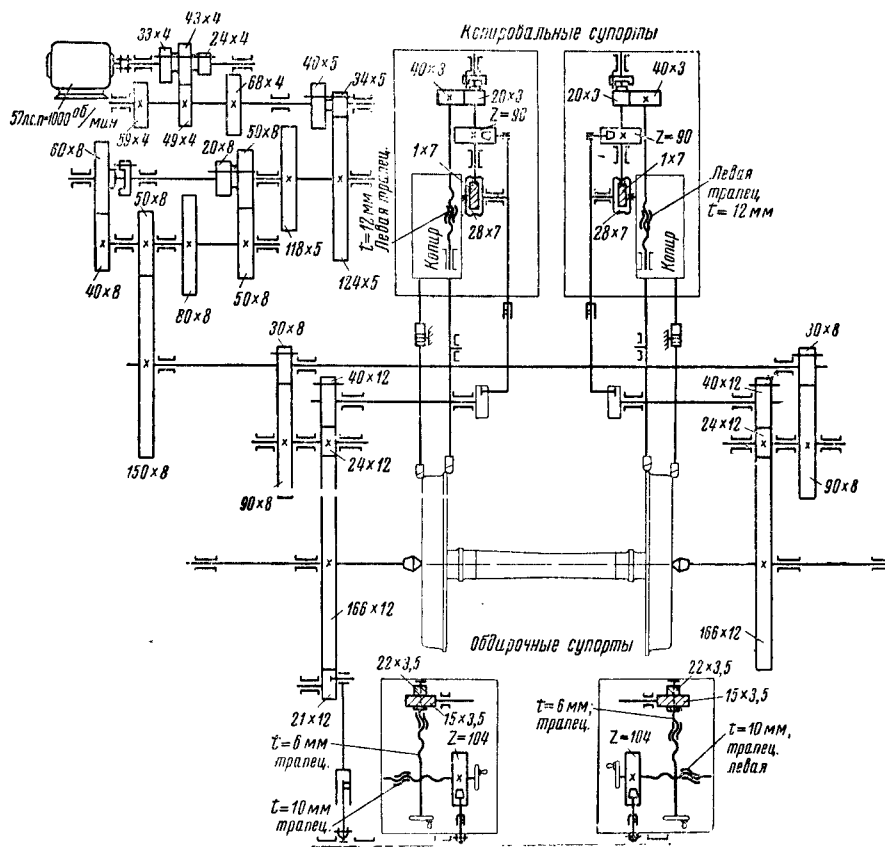
На станке имеется автоматизированное приспособление с упорами для остановки основных и копировальных супортов при их продольном и поперечном перемещениях.

Распределительная коробка копировальных супортов (узел № 9) получает движение от зубчатого колеса 31×4 , сидящего на верхнем конце вала X. Валы XL и XLIV приводят

ных пар паровозов и других локомотивов широкой колеи с диаметром поверхности катания от 950 до 2 250 мм.

Основные данные станка: высота центров станка 1100 мм; наибольшее расстояние между планшайбами 3 020 мм; общий вес станка около 50 000 кг.

Принцип устройства станка можно уяснить из рассмотрения его кинематической схемы (фиг. 46).



Фиг. 46. Кинематическая схема главного привода и механизма подачи колёсно-токарного станка ЗТСН-Н

в движение пальцы XLI и XLV, входящие в вырезы копиров для гребневых поверхностей. Эти пальцы соединены со специальными резцедержателями, на другом конце которых крепятся чашечные резцы.

При перемещении пальцевого конца резцедержателя по копиру резец, закреплённый на другом конце его, будет описывать профиль, соответствующий гребню бандажа (резцедержатель в его средней части опирается на ползунок).

Для поперечного перемещения постелей основных и копировальных супортов имеется специальный механизм с приводом от отдельного электродвигателя.

После окончания настройки возможность всех перемещений постелей и супортов ликвидируется зажимами, работающими от соответствующих гидравлических устройств.

Колёсно-токарный станок модели ЗТСН-Н предназначен для обточки бандажей колёс-

Запись чисел оборотов планшайбы при возможных вариантах зацеплений зубчатых колёс будет

$$n_{пл} = 1000 \cdot \frac{24}{63} \cdot \frac{34}{124} \cdot \frac{20}{80} \cdot \frac{50}{150} \cdot \frac{30}{90} \cdot \frac{24}{166} \text{ об/мин.}$$

$$\frac{33}{59} \cdot \frac{40}{118} \cdot \frac{50}{50}$$

$$\frac{43}{49} \cdot \frac{60}{40}$$

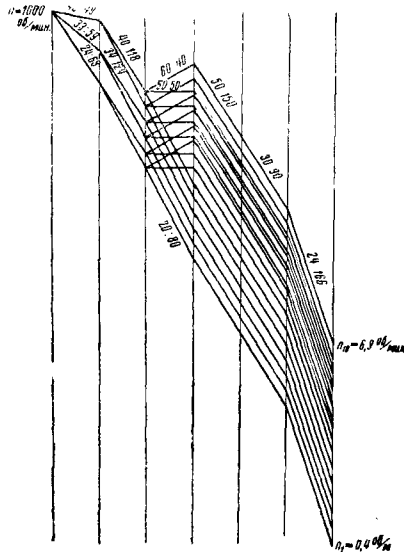
$$1 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 18$$

График чисел оборотов планшайб показан на фиг. 47.

Для перемещения передней и задней бабок (с планшайбами) по станине служит специальный электродвигатель мощностью 12 л. с. и 1500 об/мин. С помощью поводкового привода в виде зубчатого сектора планшайбы передают вращение колёсной паре.

Колёсные пары паровозов устанавливаются на центровых отверстиях оси, а тендерные и подобные им зажимаются специальными зажимными втулками (цангами), надеваемыми на шейки оси. Для возможности установки колёсных пар паровозов с пальцами кривошипов в планшайбах под углом 90° устроены вырезы (выемки).

Станок имеет четыре супорта. Два из них (обдирочные) несут проходные резцы,



Фиг. 47 График чисел оборотов планшайб колёсно-токарного станка ЗТСН-Н

подача которых возможна в продольном и поперечном (в осевом и радиальном) направлениях. Эти резцы служат для предварительной обточки полотна, срезания гребней по высоте (если нужно) и проточки внутренних торцевых граней бандажей (для получения установленного расстояния между торцами бандажей). Продольная подача каждого обдирочного супорта осуществляется параллельно части полотна бандажа с уклоном 1:20 по направляющим. Обдирочные супорты получают движение от главного привода с помощью зубчатых колёс 21×12 , имеющих эксцентрики (фиг. 45). Через тяги движение передаётся на вал подачи, а с последнего при помощи рычагов, тяг и храповиков с собачками — на винты продольного перемещения ($t = 10$ мм). Таким же путём движение передаётся на косозубые колёса $22 \times 3,5$ и $15 \times 3,5$ и далее на винты поперечного перемещения ($t = 6$ мм).

С помощью соответствующих штурвалов, укрепленных на концах винтов $t = 10$ мм и $t = 6$ мм, продольное и поперечное перемещения обдирочных супортов можно осуществить также и вручную.

На колёсно-токарных станках других моделей (такого типа) для ускорения и облегчения труда станочника существует возможность механизированного перемещения супортов с помощью отдельных электродвигателей с соответствующими передачами на указанные винты.

Два копировальных супорта, установленных на другой стороне станка, несут в специальных резцедержателях чашечные или полукруглые резцы. Копировальные супорты могут перемещаться вручную в продольном и поперечном направлениях (что используется при установке). Продольное движение производится с помощью маховика, расположенного сбоку, и червячной передачи (1×7 и 28×7), а поперечное — от винта ($t = 12$ мм), вращаемого с помощью расположенного спереди маховика и зубчатых колёс 20×3 и 40×3 . Кроме указанных перемещений, существует ещё сложное механическое движение резцов (связанных с помощью упомянутых специальных резцедержателей с копирами, закрепленными в корпусе копировальных супортов) по соответствующей кривой. Таким путём обеспечивается окончательная обточка полного профиля бандажа.

Указанное движение осуществляется также от главного привода с помощью зубчатых колёс 24×12 и 40×12 , валов подачи колёс с эксцентриками, тяг, рычагов, храповых механизмов ($z = 90$). Далее с помощью червячных передач (червяки 1×7 и червячные колёса 28×7) движение передаётся на ось копира для обточки гребня, а с помощью зубчатых колёс 19×8 и 41×8 — на ось копира для обточки полотна.

Величины механических подач супортов зависят от длин соответствующих тяг, осуществляющих качение соответствующих рычагов механизма подачи и захвата собачкой того или другого количества зубьев храпового колеса.

В данном станке собачка может захватывать от 1 до 7 зубьев храпового колеса, поворачивая его на соответствующие углы. Таким образом, подача обдирочных супортов в продольном направлении может быть от 0,45 до 3,2 мм/об, а в поперечном — от 0,5 до 3,1 мм/об, подача же копировальных супортов — от 0,45 до 3,2 мм/об.

Радиус закругления гребневых резцов, работающих по копиру, равен 16 мм.

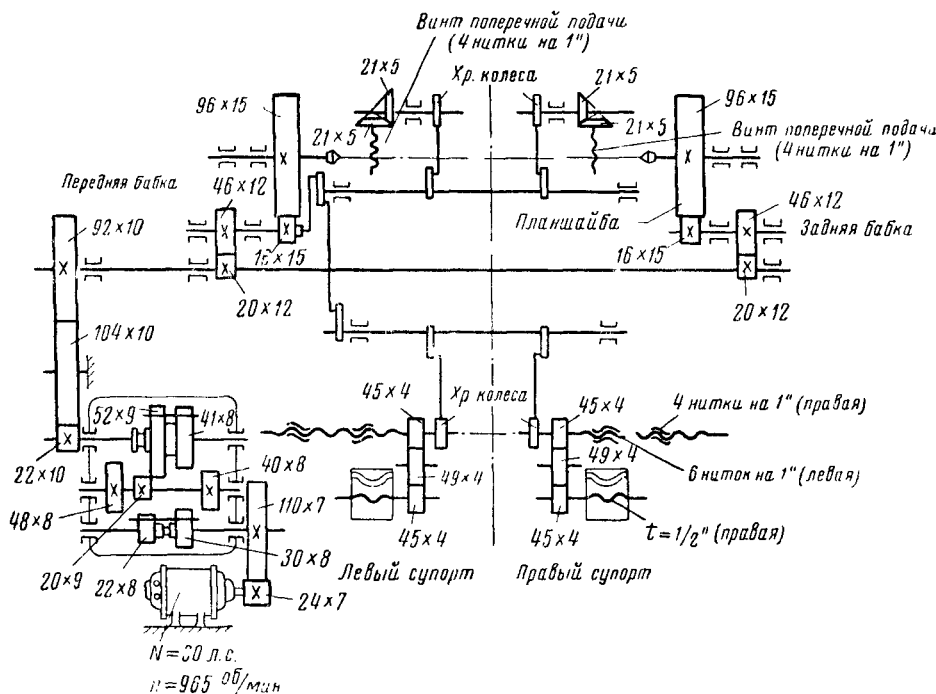
Колёсно-токарный станок модели 1937 Горьковского завода «Двигатель революции» предназначен для обработки бандажей колёсных пар паровозов, тендеров и вагонов по профилю катания.

От электродвигателя мощностью 22—25 кВт с числом оборотов 965 об/мин. (фиг. 48) с помощью зубчатого колеса 24×7 вращение передаётся на зубчатое колесо 110×7 , сидящее на конце приёмного вала коробки скоростей (вне коробки). В коробке скоростей на приёмном валу находятся два зубчатых колеса 30×8 и 22×8 , сцепляющихся с одним из зубчатых колёс следующего вала (40×8 или 48×8), откуда вращение передаётся на третий вал (с помощью зубчатых колёс 20×9 и 52×9 или 40×8 и 41×8). С третьего вала через зубчатые колёса 22×10 , 104×10 и 92×10 вращение передаётся на главный вал, от которого с помощью зубчатых колёс 20×12 и 46×12 — на промежуточный вал, а с последнего — через зубчатое колесо 16×15 и зубчатый венец 96×15 на планшайбу передней бабки; одновременно при помощи аналогичной пе-

редачи движение с главного вала передаётся и на планшайбу задней бабки.

Таким образом, коробка скоростей станка даёт возможность получить четыре различных числа оборотов планшайб в пределах от 0,6 до 2,5 об/мин.

мощью храпового механизма и трёх зубчатых колёс: 45×4 , 49×4 и 45×4 ; зубчатые колёса 45×4 сидят на концах специальных винтов копировальных супортов (фиг. 50). Один из винтов супорта имеет двойную нарезку (левую 6 ниток на дюйм и правую



Фиг. 48. Кинематическая схема колёсно-токарного станка модели 1937

Запись чисел оборотов планшайб при возможных вариантах зацеплений зубчатых колёс будет

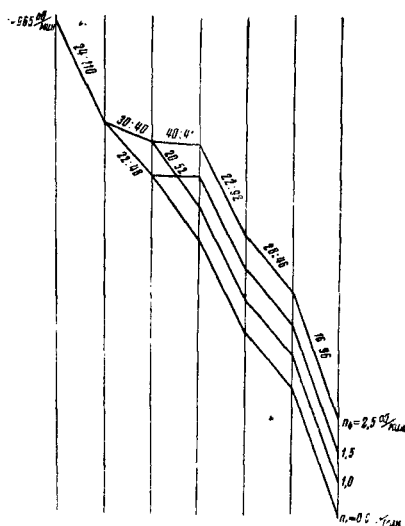
$$n_{пл} = 965 \cdot \frac{24}{110} \cdot \frac{30}{40} \cdot \frac{40}{41} \cdot \frac{22}{92} \cdot \frac{20}{46} \cdot \frac{16}{96} \text{ об/мин.}$$

$$\frac{22}{48} \cdot \frac{20}{52}$$

$$1 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 4$$

На фиг. 49 показан график чисел оборотов планшайб станка.

Подача супортов осуществляется от главного привода с помощью храповых механизмов. Задние супорты получают механическую поперечную подачу (при обточке внутренних торцевых граней бандажей) с помощью храпового механизма, пары конических зубчатых колёс 21×5 и винтов (4 нитки на 1"). Эти супорты могут перемещаться и вручную: в поперечном направлении с помощью указанных винтов и в продольном направлении по станине с помощью реечного зубчатого колеса и рейки. Передние копировальные супорты получают механическую подачу для обточки профиля бандаж (каждый бандаж — двумя специальными закруглёнными или чашечными резцами), так же как и задние супорты, с по-



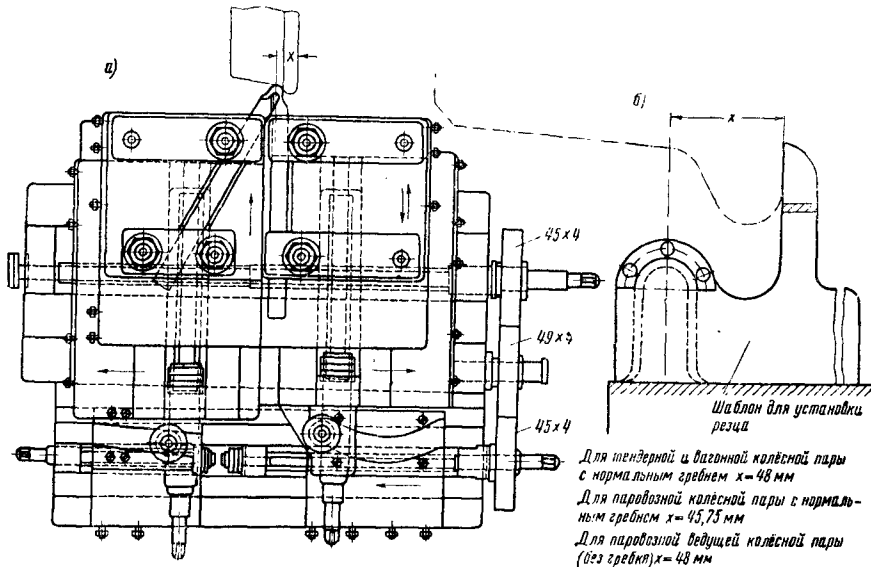
Фиг. 49. График чисел оборотов планшайб колёсно-токарного станка 1937

4 нитки на дюйм), которой соединяется с двумя резцедержателями для обточки полотна и гребня. Второй винт имеет одну нарезку с шагом $1\frac{1}{2}$ " и соединён с копиром

для резцедержателя гребневого резца (копир резцедержателя, несущего резец для обточки полотна, неподвижен). Таким образом, с помощью сложения двух одновременно происходящих движений резцедержателя обеспечивается перемещение резцов по нужному профилю. Недостаточная жёсткость данной

ных супорта — для окончательной обточки профиля чашечными резцами.

Передняя (левая) бабка неподвижна и в ней размещён привод главного движения; задняя бабка — подвижна. На станине станка между бабками находится домкрат, служащий для установки колёсной пары.



Фиг. 50. а—левый копировальный супорт колёсно-токарного станка модели 1937 (в положении перед началом обработки); б—установка шаблонов и резцов на копировальном супорте

конструкции часто не даёт возможности автоматически получать точный профиль, а поэтому завод-изготовитель рекомендует заканчивать обработку применением фасонных полнопрофильных резцов. Кроме механической подачи, копировальные супорты могут перемещаться в продольном и поперечном направлениях и вручную так же, как и задние супорты.

На станке можно получить следующие величины механических подач (с помощью храповых механизмов): на копировальных супортах при обточке поверхности катания 0,846; 1,69; 2,54 и 3,38 мм/об, при обточке гребня бандажа 0,56; 1,12; 1,68 и 2,24 мм/об и на задних супортах при обточке торцевых граней бандажа 0,846; 1,69; 2,54 и 3,38 мм/об. Величины подач зависят от того, сколько зубьев храпового колеса захватывает собачка (1, 2, 3 или 4 зуба).

Станок модели 1937 имеет вес 28 т. На фиг. 51 показана кинематическая схема четырёхсупортного колёсно-токарного станка модели 1936 Краматорского завода тяжёлого станкостроения (КЗТС), работающего по методу копирования.

Этот станок может быть использован не только для обработки вагонных и тендерных колёсных пар, но и для обработки бегунковых колёсных пар паровозов.

Два задних супорта предназначены для обдирки профиля бандажей проходными резцами и подрезки внутренних торцевых граней бандажей, два передних копираль-

Основные данные станка 1936

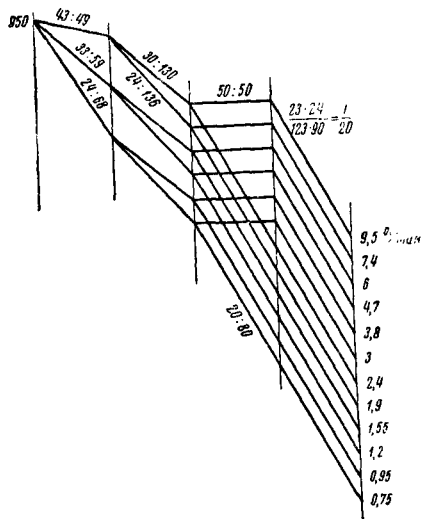
Высота центров	600 мм
Диаметр планшайбы	1 300 »
Наибольшее и наименьшее расстояния между планшайбами	3 000—1 800 мм
Пределы диаметров обрабатываемых бандажей (колёс) по кругу катания	900—1 050 »
Скорость быстрой поперечной подачи обдирочных и копировальных супортов	680 мм/мин
Скорость перемещения задней бабки	1 930 »
Количество чисел оборотов шпинделя	12
Пределы чисел оборотов шпинделя	0,75—9,5 об/мин.
Подачи обдирочных супортов:	
продольные	от 0,9 до 2,7 мм/об
поперечные	от 1,9 до 5,2 мм/об
Подачи копировальных супортов	от 0,95 до 4,75 мм/об
Мощность главного электродвигателя	32 квт
Число оборотов главного электродвигателя	950 об/мин.
Габариты:	
длина	6 700 мм
ширина	3 400 »
высота	2 200 »
Вес станка	27 т

Коробка скоростей изготовлена с одним тройным и двумя двойными передвижными блоками, благодаря которым шпиндель станка имеет 12 различных чисел оборотов. Предельные числа оборотов колёсной пары следующие:

$$n_{\min} = \frac{950 \cdot 24 \cdot 24 \cdot 20 \cdot 23 \cdot 24}{68 \cdot 136 \cdot 80 \cdot 123 \cdot 90} = 0,75 \text{ об/мин.};$$

$$n_{\max} = \frac{950 \cdot 43 \cdot 30 \cdot 50 \cdot 23 \cdot 24}{49 \cdot 130 \cdot 50 \cdot 123 \cdot 90} = 9,5 \text{ об/мин.}$$

График чисел оборотов шпинделя дан на фиг. 52. Задние обдирочные супорты имеют продольные и поперечные подачи. В механизмах супортов имеются раздвижные рычаги и храповые устройства. Привод



Фиг. 52. График чисел оборотов шпинделя колёсно-токарного станка 1936

их осуществляется от кривошипного зубчатого колеса $z = 22$, вращающегося от зубчатого колеса коробки скоростей $z = 24$.

Каждый обдирочный супорт снабжается двумя автоматическими выключателями храпового устройства.

Величина продольной или поперечной прерывистой подачи супорта при повороте храпового колеса на x зубьев, полном числе зубьев храпового колеса $z_{\text{хр}}$ и шаге винта подачи t мм определяется по формуле

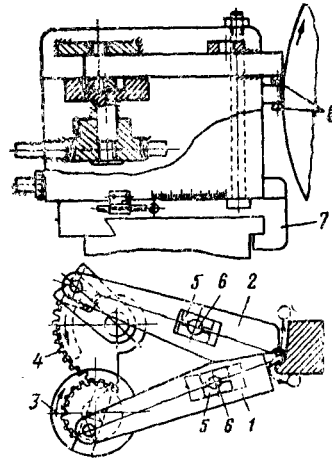
$$s = \frac{xti}{z_{\text{хр}}} \text{ мм/об},$$

где i — передаточное отношение зубчатых колёс от храпового колеса до винта подачи.

Быстрое перемещение обдирочных супортов осуществляется по самостоятельным кинематическим цепям от отдельных электродвигателей как для продольного, так и для поперечного перемещения. Быстрая подача может быть произведена и вручную от отдельных маховичков.

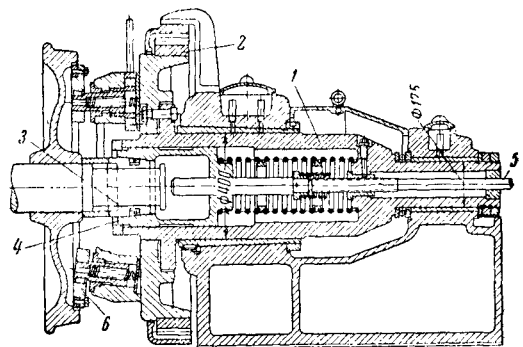
Копировальный супорт колёсно-токарного станка модели 1936 (фиг. 53) расположен на салазках 7. Обработка бандажа производится чашечными резцами 8, движение которых складывается из вращательного вокруг неподвижного центра и поступатель-

ного — по копиру относительно этого центра. Основными деталями копировального супорта являются: качающиеся резцедержатели 1 и 2 для обточки гребня и поверхности катания, копиры 3 и 4 резцедержателей 1 и 2, ползушки (камни) кулис 5 резцедержателей и неподвижные пальцы 6 ползушек.



Фиг. 53. Копировальный супорт колёсно-токарного станка 1936

Привод рычагов копировальных супортов осуществляется от зубчатого колеса $z = 22$ (аналогично передаче к обдирочным супортам). Через тяги, храповое устройство с $z_{\text{хр}} = 48$ и червячную передачу $1:28$ движение передаётся к зубчатым сегментам с $z = 12$ и 20 . Вращается ведущий диск резцедержателей, в прорезях которых скользят ползуны. Последние ведут концы цапф резцедержателей, снабжённых роликами, перемещающимися в копирах.



Фиг. 54. Разрез по правой шпиндельной бабке колёсно-токарного станка 1936

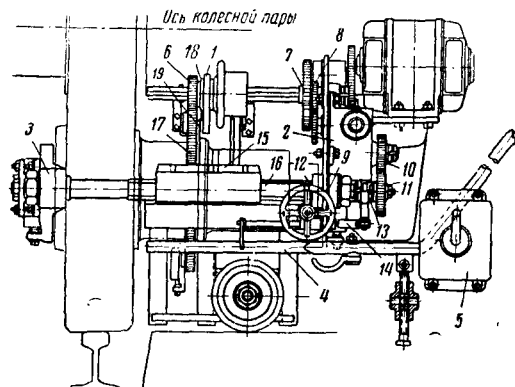
На фиг. 54 дан разрез по правой шпиндельной бабке станка 1936; 1 — шпиндель бабки; 2 — приводное зубчатое колесо ($z = 90$); 3 — разрезная центрирующая втулка; 4 — зажимная конусная втулка; 5 — выталкиватель и 6 — поводковые кулачки для зажима колеса.

Станки для обработки пальцев кривошипов колёсных пар и расточки отверстий под пальцы кривошипов

Эти станки имеют горизонтальное исполнение. Колёсная пара устанавливается в центрах, смонтированных в передней и задней бабках. Шпиндели бабок пустотелые для обеспечения возможности обточки пальцев кривошипов большой длины (так как по мере обточки последние входят в шпиндель). Режущий инструмент для обточки пальцев кривошипа и накатные ролики устанавливаются в регулируемых державках, помещённых на планшайбах передних концов шпинделей. При расточке отверстий под пальцы кривошипов применяются расточные оправки, которые закрепляются в отверстиях шпинделей.

Шпиндельные бабки по конструкции одинаковы. Вращение шпинделей осуществляется от электродвигателя через ременную передачу и червячную пару. Шпиндели имеют числа оборотов от 12 до 36 об/мин. Диапазон рабочих подач $0,4 \div 1,6$ мм/об.

На фиг. 55 показана конструкция станка Калужского машиностроительного завода, предназначенного для обточки и подрезки



Фиг. 55. Общий вид станка для обработки пальцев кривошипов у паровозов

пальцев кривошипов у паровозов без выпрессовки пальцев из колёсных центров и без выкатки колёсных пар из-под паровоза.

Станок работает от электродвигателя мощностью 1,5 квт при числе оборотов 1450 об/мин. Станок состоит из четырёх основных частей: резцовой головки 1, передней рамы с коробкой скоростей 2, задней рамы 3, тележки 4 и механизма переключений 5. От электродвигателя вращение передаётся резцовой обойме 6 через закреплённый в нижней раме ходовой валик 7 и зубчатое колесо 8.

Основной частью резцовой головки является стальная обойма 15 с ползушками, которыми головка опирается на направляющие 16. Обойма имеет центральную расточку с впрессованной в неё конусной бронзовой втулкой. Во втулку входит стакан с зубчатым колесом 17, вращающимся от валика привода через зубчатые колёса 18 и 19.

К обойме крепятся державки с резцами. Установка резцов на стружку осущес-

вляется маховичком супорта. Для ручной подачи супорта пользуются маховичком, посаженным на втулке с зубчатым колесом 18.

Подача инструмента происходит через червячную передачу, смонтированную в коробке скоростей, зубчатые колёса 10, 11 и ходовой винт 9. Продольное перемещение резцовой головки осуществляется винтом 12, получающим движение от коробки подач. Механическая подача достигается включением кулачковой муфты 13 и рычага 14.

В центральной части рамы станка помещается передний плавающий центр. Продольная подача центра осуществляется винтовой нарезкой, второй плавающий центр с нарезанным хвостовиком так же, как и передний, может перемещаться по двум взаимно перпендикулярным осям. Сзади переднего центра помещён на площадке электродвигатель станка.

Рама тележки покоится на двух колёсах для передвижения станка. При подводе станка к паровозу установка происходит на двух домкратах.

Другой станок Запорожского машиностроительного завода для обточки пальцев кривошипов сцепных колёс паровозов (фиг. 56) предназначен для устранения овальности и конусности пальцев или задиров шеек, для обточки пальцев после расплавления дышлавых подшипников и т. п.

Станок состоит из Г-образной станины, механизма привода и супорта. Нижняя опорная часть станины крепится через поперечину 1 крючкообразными болтами 19 к колесу паровоза. Базой для выверки устройства служат риски на торцах пальца. Параллельность осей пальца и станка достигается прижатием станины болтами 2 к торцевой плоскости оси.

Станина станка представляет собой стальную отливку, переходящую вверх в направляющие 7, а внизу — в опорную часть 11. Концы направляющих станины имеют вид лапок, на которых устанавливается корпус 8 привода. Во втулках корпуса вращается приводной валик 20, передающий движение зубчатому колесу 18. Последнее может перемещаться вместе с корпусом 5 супорта по направляющим 7. Зубчатое колесо 18 находится в зацеплении с зубчатым венцом, нарезанным на обойме 4, вращающейся вместе с венцом, в запрессованной в конус супорта втулке. По выступам обоймы перемещаются два резцедержателя 3 с укрепленными в их пазах резцами. Подтягивание обоймы при износе её конической шейки производится гайкой 6.

Корпус супорта может перемещаться по направляющим 7. Подтягивание салазок супорта к направляющим осуществляется регулировочными планками 10. Подача супорта производится винтом 16.

Для ручной подачи служит рукоятка 15. Механическое переключение подач достигается вытяжной шпонкой с головкой 14 через ряд зубчатых колёс, помещённых в корпусе 8 привода.

Валик 20, вращающий обойму супорта, получает движение через приводной шкив от вала тележки привода с числом оборотов 475 об/мин. Для вращения вручную обоймы

резцедержателей служит рукоятка 13, надеваемая на квадратный конец приводного валика 20.

Потребная мощность на приводном шкиве станка 0,7—0,8 квт.

На фиг. 57 показана кинематическая схема привода правой шпиндельной бабки двухшпиндельного горизонтально-расточного станка модели ЛР-15 завода имени Свердлова. Станок предназначен для окончатель-

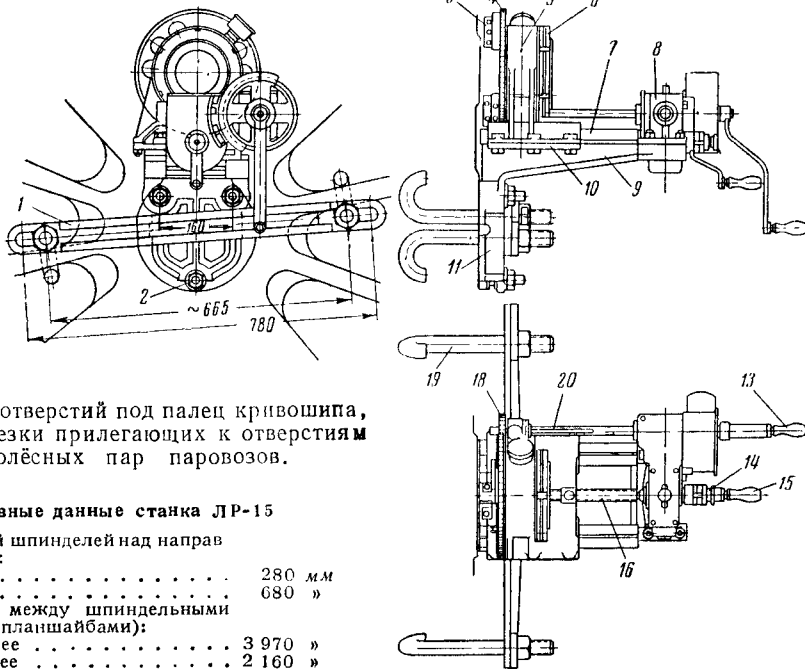
ной расточки отверстий под палец кривошипа, а также подрезки прилегающих к отверстиям торцов у колёсных пар паровозов.

Станок состоит из трёх частей: правой, левой и средней.

Правая и левая части (бабки) станка

изготовлены одинаково, средняя часть является установочным устройством.

Колёсные пары устанавливаются на стайке в центрах и зажимаются за бандаж электрогидропластическими зажимами. Для расточки отверстий под палец кривошипа применяются многолезвьевые скалки, а подрезка



ной расточки отверстий под палец кривошипа, а также подрезки прилегающих к отверстиям торцов у колёсных пар паровозов.

Основные данные станка ЛР-15

Высота осей шпинделей над направляющими:	
салазок	280 мм
станины	680 »
Расстояние между шпиндельными бабками (планшайбами):	
наибольшее	3 970 »
наименьшее	2 160 »
Расстояние между зажимными центрами:	
наибольшее	2 170 »
наименьшее	1 670 »
Поперечное смещение осей шпинделей относительно осей центров:	
наибольшее	300,52 »
наименьшее	247,48 »
Диаметры колёсных пар по кругу катания:	
наибольший	2 300 »
наименьший	1 320 »
Радиусы кривошипа колёсных пар:	
наибольший	425 »
наименьший	350 »
Диаметры растачиваемых отверстий:	
наибольший	250 »
наименьший	100 »
Диаметры подрезаемых торцов:	
наибольший	400 »
наименьший	150 »
Скорость перемещения салазок центров	1,33 м/мин
Скорость перемещения направляющих люнетов	1,1 »
Наибольшее продольное перемещение шпиндельных бабок	900 мм
Скорость быстрого перемещения	1,25 м/мин
Диаметр планшайб радиальных супортов	630 мм
Наибольшее перемещение радиального супорта	140 »
Скорость его быстрого перемещения	0,95 м/мин
Грузоподъёмность домкрата	7 т
Габариты:	
длина	7 940 мм
ширина	2 960 »
высота	1 660 »
Вес станка	30 т

Фиг. 56. Станок для обточки пальцев кривошипов у паровозов

торцов осуществляется радиальными супортами, установленными на планшайбах станка.

Шпиндельные бабки состоят из коробок скоростей; привода подач бабок и радиальных супортов.

Привод подач осуществляется двухскоростным электродвигателем посредством клиноремённой передачи.

Согласно кинематической схеме (фиг. 57) наибольшее рабочее число оборотов шпинделя станка

$$n_{\text{шп макс}} = \frac{1460 \cdot 168 \cdot 31 \cdot 19 \cdot 39 \cdot 39}{210 \cdot 46 \cdot 39 \cdot 28 \cdot 62} \approx 336 \text{ об/мин.}$$

Всего коробка скоростей даёт 8 различных рабочих чисел оборотов каждого шпинделя: 34; 48; 68; 96; 120; 168; 240 и 336 об/мин.

Кроме того, каждый шпиндель может иметь 2 числа оборотов быстрого вращения (за счёт дополнительной ремённой передачи, минуя коробку скоростей):

$$n_{шп_{быстр_1}} = \frac{730 \cdot 127}{175} = 530 \text{ об/мин.};$$

$$n_{шп_{быстр_2}} = 1060 \text{ об/мин.}$$

Наибольшее число оборотов планшайбы

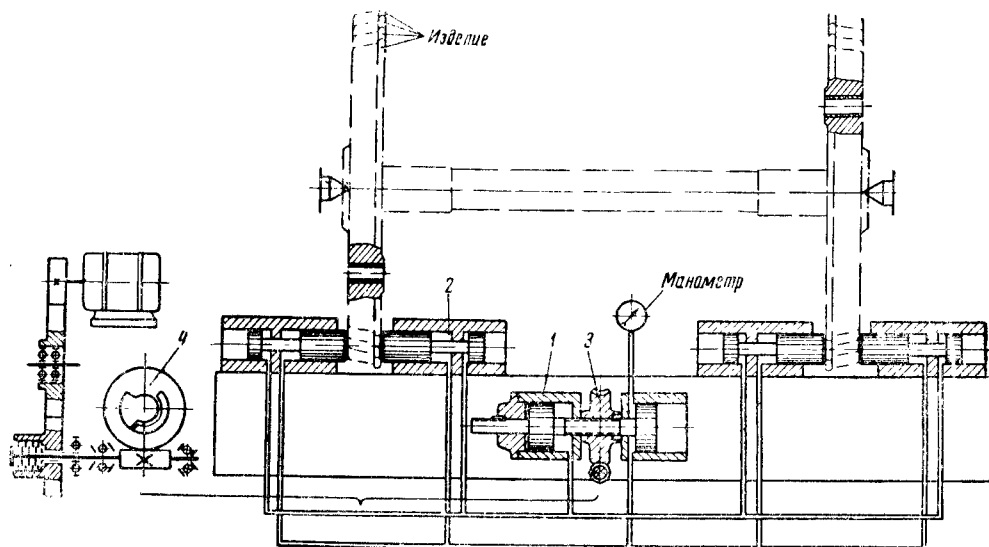
$$n_{пл_{макс}} = \frac{1460 \cdot 168 \cdot 31 \cdot 19 \cdot 39 \cdot 22}{210 \cdot 46 \cdot 39 \cdot 28 \cdot 58} = 205 \text{ об/мин.}$$

Всего каждая планшайба может иметь 8 различных чисел оборотов: 20; 30; 40; 60; 70; 100; 145 и 205 об/мин.

Всего имеется 6 различных подач каждого радиального супорта планшайбы: 0,34; 0,47; 0,65; 0,92; 1,32 и 1,88 мм/об.

На станке можно иметь, кроме того, 24 дополнительные подачи шпиндельных бабок (при быстром вращении шпинделя) в пределах от 0,017 до 0,454 мм/об.

Оригинальную конструкцию представляет собой электро-гидропластический зажим колёсной пары (фиг. 58). Зажим состоит из редуктора с электродвигателем и двумя цилиндрами 1 возбuditеля давления. Полости цилиндров возбuditеля давления соединены трубопроводом гидропласта с полостями цилиндров 2 зажимных кулачков по системе сообщающихся сосудов.



Фиг. 58. Схема электро-гидропластического зажима колёсной пары на станке модели ЛР-15

Наибольшая подача шпиндельных бабок за один оборот шпинделя:

$$v_{шп_{макс}} = \frac{62 \cdot 60 \cdot 34 \cdot 28 \cdot 23 \cdot 39 \cdot 30 \cdot 38 \cdot 2 \cdot 8}{39 \cdot 34 \cdot 34 \cdot 40 \cdot 71 \cdot 61 \cdot 70 \cdot 70} = 1,45 \text{ мм/об.}$$

Всего имеется 6 различных подач каждой шпиндельной бабки: 0,27; 0,38; 0,52; 0,74; 1,03 и 1,45 мм/об.

Скорость быстрого перемещения шпиндельной бабки:

$$v_{быстр} = \frac{1450 \cdot 31 \cdot 29 \cdot 30 \cdot 38 \cdot 2 \cdot 8}{62 \cdot 61 \cdot 70 \cdot 70 \cdot 1000} \approx 1,25 \text{ м/мин.}$$

Наибольшая подача радиального супорта планшайбы за один её оборот:

$$s_{рад_{макс}} = \frac{58 \cdot 60 \cdot 34 \cdot 28 \cdot 23 \cdot 39 \cdot 30 \cdot 20 \cdot 24 \cdot 116 \cdot 3,14 \cdot 16 \cdot 3}{22 \cdot 34 \cdot 34 \cdot 40 \cdot 71 \cdot 61 \cdot 70 \cdot 24 \cdot 116 \cdot 22 \cdot 22} = 1,88 \text{ мм/об.}$$

Червячное колесо 3 редуктора смонтировано на гайке ходового винта-скалки поршней цилиндров возбuditеля давления. От вращения колеса происходит осевое продольное перемещение поршней возбuditеля. Выключение электродвигателя осуществляется автоматически — от тормозного реле оборотов 4.

Гидропласт представляет собой полужидкую так называемую желеобразную массу. Основная особенность такой массы в том, что при довольно значительных давлениях она не вытекает через зазоры посадок А/С. Перед заполнением системы гидропластом труба нагревается до температуры 80—90°C в термостате.

Проектным бюро ЦУМЗ МПС разработаны новые типы переносных станков для обточки пальцев кривошипов сцепных и ведущих колёсных пар паровозов.

Резцовая головка станка получает вращательное движение от приводного вала через зубчатую передачу.

В ней устанавливаются резцы с пластинами из твёрдого сплава Т15К6. Наибольшее число оборотов резцовой головки (при наибольшем диаметре обрабатываемых пальцев кривошипов 110 мм) равно 165 об/мин.

фовального круга, который получает вращение от ремённой передачи (диаметры шкивов соответственно 230 и 63 мм). С другой стороны, вследствие вращения цилиндра 1 шпиндель шлифовального круга будет совершать планетарное движение вокруг обрабатываемого изделия.

Передаточное отношение планетарной передачи (при неподвижном зубчатом колесе z_1) будет

$$i_{n,1} = 1 - \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} = 1 - \frac{20}{28} = \frac{2}{7}.$$

Число оборотов планетарного шпинделя (или цилиндра А)

$$n_A = \frac{950 \cdot 235 \cdot 41 \cdot 203 \cdot 26 \cdot 24 \cdot 20 \cdot 35}{228 \cdot 51 \cdot 202 \cdot 50 \cdot 24 \cdot 28 \cdot 100} = 96 \text{ об/мин.}$$

При шлифовании цилиндр 1 и зубчатое колесо $z = 108$ вращаются синхронно, что видно из соотношения

$$\frac{1 \text{ об.шп.} \cdot 100 \cdot 28 \cdot 24 \cdot 27}{35 \cdot 20 \cdot 24 \cdot 108} = 1.$$

Для осуществления поперечной подачи шлифовального круга производят ручную поворот червяка, что вызовет поворот вокруг своей оси зубчатого колеса $z_a = 14$; далее движение передаётся через коническую и червячную пары внутреннему цилиндру, благодаря чему произойдёт увеличение установленного эксцентриситета и тем самым осуществится поперечная подача круга.

Для обеспечения возможности шлифования радиусного паза кулисы стол станка установлен на крестообразных направляющих и шарнирно связан со штангой, находящейся сзади станины станка.

Для изменения радиуса паза можно регулировать (с помощью винта) длину штанги. Связь стола со штангой и поперечное движение стола дают возможность перемещения его по дуге окружности с радиусом, равным радиусу паза кулисы.

Фрезерные станки для обработки паровозных дышел

Для фрезерования контура и плоскостей паровозных дышел применяются продольно-фрезерные копировальные станки. При фрезеровании на этих станках контура дышел последние устанавливаются пакетом (фиг. 61).

Фрезерование головок дышел (снаружи и внутри) производится на вертикально-фрезерных станках.

На фиг. 60 показана кинематическая схема продольно-фрезерного копировального станка, применяющегося на ряде заводов МПС. По двум стойкам 1 перемещается поперечина 2, на которой расположен шпиндель 3, получающий вращение от главного электродвигателя ($N=24 \text{ кВт}$; $n=1450 \text{ об/мин.}$) через коробку скоростей 4. Обработка пакета дышел производится набором фрез 5, установленных на оправке 6. Последняя вставляется в шпиндель и от него получает вращение.

Стол 7 получает продольное перемещение от коробки подач 8. На столе устанавливается

пакет дышел и копир 9 с профилем в вертикальной плоскости. При движении стола копир воздействует на ролик 10, связанный с поперечиной, и перемещает последнюю в вертикальной плоскости вместе со шпинделем и набором вращающихся фрез.

Предварительный подвод ролика до соприкосновения с копиром производится вручную при помощи червячной пары 4:22. Винт 11, жёстко связанный с роликом, входит в гайку, расположенную внутри червячного колеса $z=22$, и при вращении последнего получает вертикальное перемещение, приближая ролик к копиру.

Поперечина может перемещаться, кроме того, вручную и от отдельного электродвигателя. Ручное перемещение производится через конические зубчатые колеса 19:54, червячную пару 1:48, два реечных зубчатых колеса с $z=16$ и две соответствующие рейки. Механическое (быстрое) перемещение поперечины производится от электродвигателя ($N=22 \text{ кВт}$; $n=1410 \text{ об/мин.}$) через ремённую передачу (шкивы имеют диаметры соответственно 90 и 270 мм), цилиндрические зубчатые колеса 21:70 и далее, как при ручном перемещении, т. е. через червячную пару 1:48 и указанные две реечные пары.

Уравновешивание поперечины производится гидравлически; величина хода поршня в цилиндре 12 устанавливается через конические зубчатые колеса 20:20, червячную пару 2:30, две пары зубчатых колёс (14:44 и 63:25) и круглую рейку 13.

Минимальное число оборотов шпинделя будет

$$n_1 = \frac{1450 \cdot 180 \cdot 19 \cdot 26 \cdot 36 \cdot 20 \cdot 18}{480 \cdot 39 \cdot 52 \cdot 40 \cdot 56 \cdot 103} \approx 7 \text{ об/мин.}$$

Остальные числа оборотов будут:

8,4; 11; 14; 18; 21; 28 и 36 об/мин.

Величины подач стола:

7,2; 9,6; 12,9; 17; 23; 30; 40,7; 53,5; 69,5;
92; 124 и 163 мм/мин.

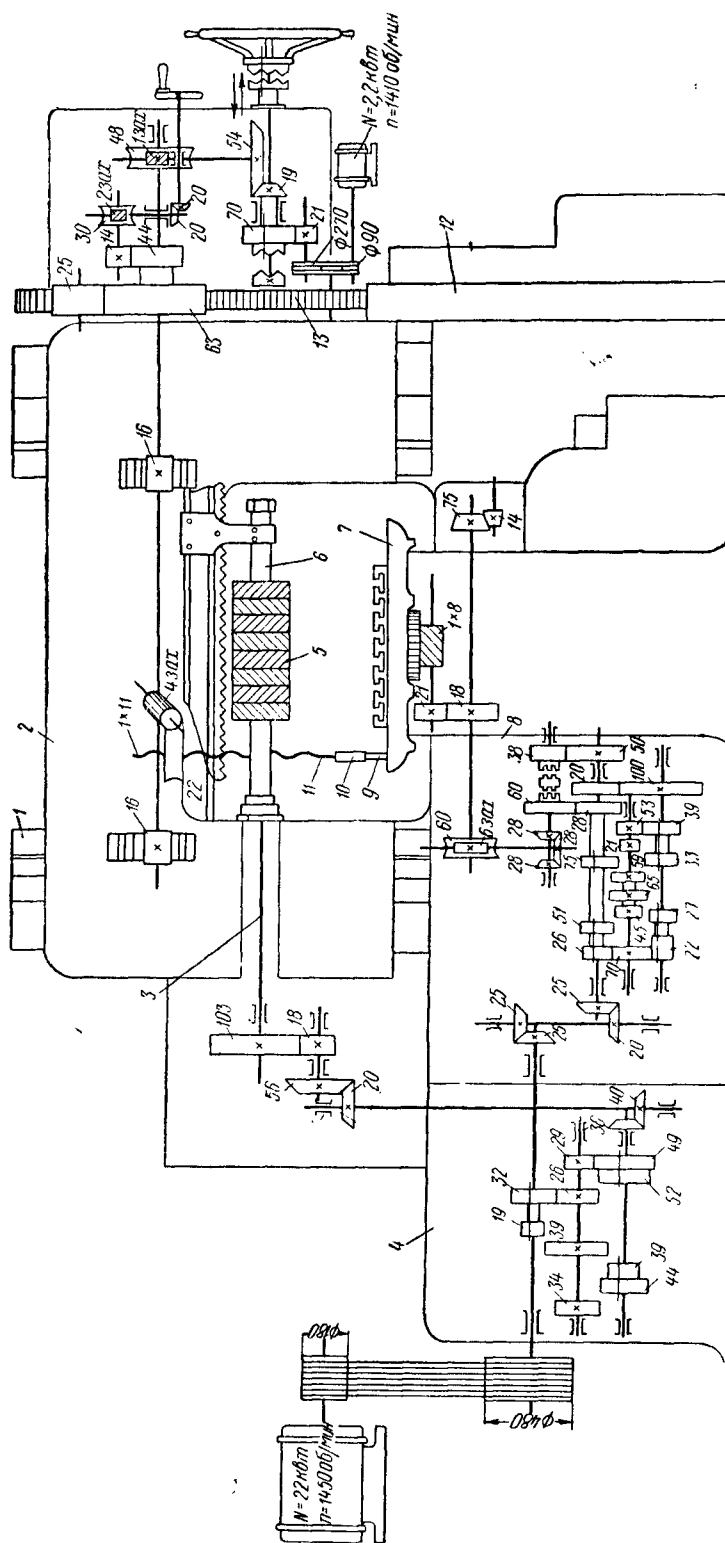
Некоторыми заводами МПС станок модернизирован с целью увеличения чисел оборотов шпинделя.

В табл. 21 приводятся основные данные фрезерных станков, нашедших применение на ряде заводов МПС для обработки дышел.

Горьковским заводом фрезерных станков выпущен продольно-фрезерный быстходный станок модели ГФ-33 для скоростного фрезерования паровозных дышел.

Основные данные станка ГФ-33

Расстояние между стойками	1 600 мм
Размеры рабочей поверхности стола	4 250 × 1 250 мм
Наибольшее перемещение стола	4 500 мм
Количество чисел оборотов шпинделя	18
Пределы чисел оборотов шпинделя	11,8 - 600 об/мин.
Скорость быстрого перемещения стола при обратном ходе	3 м/мин
Мощность главного электродвигателя	85 кВт
Габариты:	
длина	11 850 мм
ширина	4 730 »
высота	3 700 »
Вес	50 т

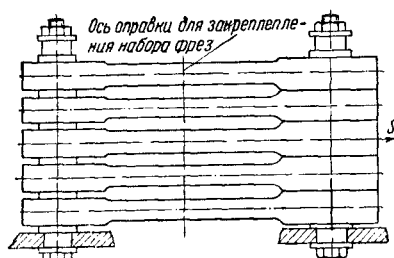


Фиг. 60. Кинематическая схема продольно-фрезерного копировального станка

Основные данные фрезерных станков для обработки дышел

Таблица 21

Элементы характеристики станка	Единица измерения	Наименование станка	
		продольно-фрезерный копирующий	вертикально-фрезерный
Наибольшее расстояние от оси шпинделя до поверхности стола	мм	700	—
Наибольшее расстояние от торца шпинделя до поверхности стола	»	—	700
Расстояние между стойками	»	1 100	680
Расстояние от оси шпинделя до станины	»	800	—
Наибольшее расстояние от поперечины до стола	»	—	800
Наибольшее расстояние от задней кромки стола до станины	»	—	800
Размеры рабочей поверхности стола	»	4 800×1 000	1 610—500
Наибольшие перемещения стола:			
продольное	»	4 500	1 700
поперечное	»	—	800
Количество чисел оборотов шпинделя	—	8	8
Пределы чисел оборотов шпинделя	об/мин.	7—36	12,7—172
Количество подач:			
продольных	—	12	12
поперечных	—	—	12
Пределы подач:			
продольных	мм/мин	7,2—163	4,6—103
поперечных	»	—	4,75—106
Скорость быстрых перемещений стола:			
продольного	м/мин	11,6 (при обратном ходе)	1,7
поперечного	»	—	0,8
Мощность главного электродвигателя	квт	22	7,36
Число оборотов главного электродвигателя	об/мин.	1 450	1 420
Габариты:			
длина	мм	7 800	4 000
ширина	»	3 300	3 000
высота	»	2 700	3 000



Фиг. 61. Установка паровозных дышел в пакете на продольно-фрезерном станке для фрезерования контура

Станки для обработки цилиндров паровозов

Для обработки поршневого и золотникового отверстий в цилиндрах паровозов применяются специальные станки.

Станки для расточки поршневого и золотникового отверстий и подрезки соответствующих торцов выполняются: 1) для одновременной обработки обоих отверстий и 2) для обработки каждого из отверстий в отдельности.

Специальный агрегат (фиг. 62) предназначен для расточки в цилиндрах паровозов поршневого и золотникового отверстий (под втулки и совместно со втулками), с одновременной подрезкой торцов и снятием фасок с обеих сторон.

Агрегат состоит из приспособления 1 для установки и закрепления обрабатываемого цилиндра, скалки 2 для расточки поршневого отверстия и двух скалок 3 для расточки золот-

никовых отверстий. Станок снабжен комплектом стоек 4, которые поддерживают и направляют расточные скалки. В нем имеется специальный механизм 5, служащий для вытягивания скалки из расточных 6 и подрезных 7 головок.

Схема устройства расточной и подрезной головок показана на фиг. 63. Расточная головка 6 (фиг. 62) начинает обработку с середины цилиндра. Она имеет четыре резца для обдирки и два резца для чистовой обработки, работающих попеременно. Врезание резцов расточной головки производится перемещением внутренней скалки относительно наружной, которая при врезании не имеет продольного перемещения.

Подрезные головки 7 связаны стойками 4 с двумя цилиндрическими колонками 8. Головки надеваются на скалку и входят в зацепление с круглой рейкой 1 (фиг. 63), действующей через передачу на резцовую каретку.

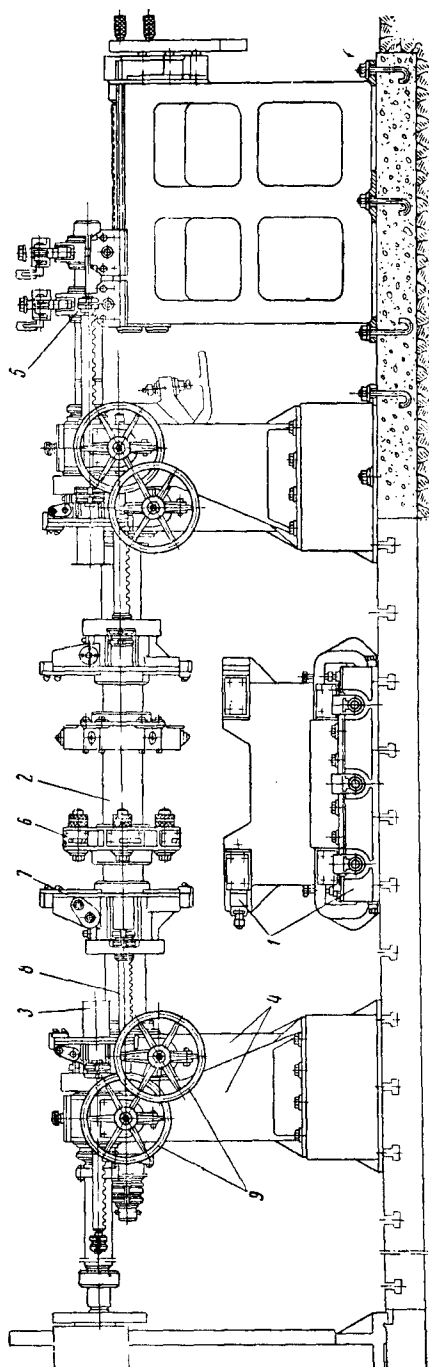
Подвод подрезных головок к обрабатываемому цилиндру производится вручную от штурвала 9. Автоматическое выключение резцов подрезных головок регулируется перемещением пальца, входящего в спиральные канавки круглой рейки. Подрезные и расточные головки работают одновременно и после окончания работ отводятся в исходную позицию.

Для расточки отверстий со втулками применяют другие расточные головки.

Во всех расточных головках на черновых и чистовых операциях в работе участвуют одновременно 3 или 4 резца, вследствие чего подача резцов на один оборот шпинделя увеличивается в 3—4 раза.

Время на обработку сокращается также и вследствие одновременной работы расточных и подрезных головок.

Тяжёлый уникальный четырёхшпиндельный горизонтально-расточный станок модели ЛР-10 завода имени Свердлова предназначен для двусторонней одновременной скоростной расточки поршневого и золотникового отверстий в цилиндре паровоза серни Л и проточки прилегающих к отверстиям торцов.



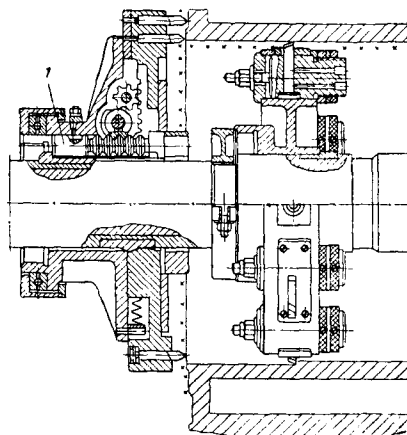
Фиг. 62. Специальный агрегат для обработки цилиндров паровозов

Основные данные станка ЛР-10

Число шпиндельных бабок . . .	4
Число шпинделей в каждой бабке	1
Расстояние между осями шпинделей	550—850 мм
Высота оси шпинделя над основной плитой	1 625 мм
Количество подвижных люнетов	2
Количество главных электродвигателей	4
Общая мощность главных электродвигателей	124 квт
Пределы диаметров поршневого отверстия	550÷900 мм
Наибольшая длина расточки поршневого отверстия	1 250 мм
Наибольшее перемещение радиального супорта	100 »
Пределы диаметров золотникового отверстия	290÷470 мм
Наибольшая длина расточки золотникового отверстия	1 600 мм
Наибольшее перемещение радиального супорта	85 »
Диаметры расточных скалок в месте расположения радиального супорта поршневой линии	420 »
То же золотниковой линии	240 »
Скорость быстрого установочного перемещения шпиндельных бабок	1 200 мм/мин
Габариты:	
длина	16 920 мм
ширина	6 065 »
высота	2 190 »
Вес станка	175 т

Станок состоит из двух линий — поршневой и золотниковой, каждая из которых имеет самостоятельные шпиндельные бабки с расточными скалками и бабки с полыми шпинделями. Каждая бабка приводится в движение от отдельного электродвигателя.

Получение различных чисел оборотов шпинделей золотниковой и поршневой линий осуществляется отдельными коробками скоростей. Различные числа оборотов шпинделей



Фиг. 63. Схема устройства расточной и подрезной головок специального агрегата для обработки цилиндров паровозов

могут быть установлены управлением от одной рукоятки с помощью селекторного механизма.

Шпиндели поршневой группы станка имеют 16 различных чисел оборотов: 6; 8; 10; 13; 15; 19; 25; 31; 38; 49; 62; 79; 92; 121; 154 и 200 об/мин.

Шпиндели золотниковой группы станка имеют 16 различных чисел оборотов: 10; 13; 16; 21; 25; 32; 41; 52; 64; 80; 103; 131; 158; 202; 257 и 330 об/мин.

Наибольшее усилие резания для шпинделя поршневой линии 4 000 кг, золотниковой линии — 3 000 кг.

Привод подачи каждой шпиндельной бабки осуществляется от отдельного электродвигателя постоянного тока мощностью 4,4 кВт. С помощью электрического вариатора станок может обеспечить следующие рабочие подачи шпиндельных бабок: 11,2; 14; 18; 22,5; 28; 35,5; 45; 56; 71; 90; 112; 140; 180; 225; 280; 355 мм/мин.

Также от электродвигателя постоянного тока мощностью 2,4 кВт с помощью электрического вариатора на станке получают следующие рабочие подачи радиальных супортов: 7,1; 9; 11,2; 14; 18; 22,5; 28; 35,5; 45; 56; 71; 90; 112; 140 мм/мин.

Шпиндельные бабки с расточными скалками, а также бабки с полыми шпинделями имеют быстрое установочное перемещение, осуществляемое от отдельных электродвигателей мощностью каждый 8,9 кВт и с числом оборотов 1 500 в мин. Скорость перемещения бабок

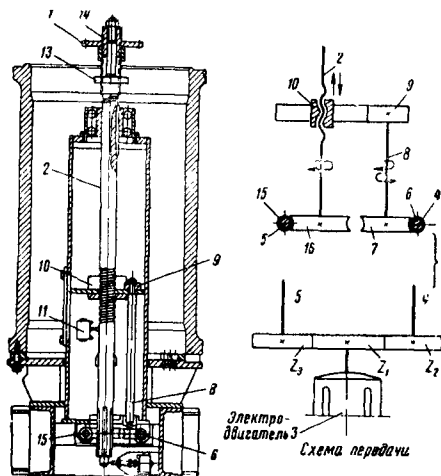
$$v_b = 1\,200 \text{ мм/мин.}$$

Зажим обрабатываемого изделия происходит с помощью четырёх электродвигателей мощностью каждый по 1,5 кВт. Скорость перемещения зажимных плит равна

$$v_n = 1\,160 \text{ мм/мин.}$$

Всего на станке ЛР-10 45 электродвигателей.

При ремонте цилиндров и обработке на месте применяются расточные станки пере-



Фиг. 64. Станок для притирки крышек цилиндра паровоза

носного типа. Станки изготовляются с электрическим ремённым или пневматическим приводом. Пустотелая расточная скалка укрепляется с одной стороны во фланце цилиндра, а с другой — в подшипнике кронштейна, закреплённого на торце цилиндра. Подача производится от винта, проходящего внутри скалки.

На фиг. 64 показан станок для притирки крышек цилиндра паровоза.

Крышка укрепляется на фланце 1 шпинделя 2, который вращается и имеет возвратно-поступательное движение (вверх и вниз).

Привод вращательного и возвратно-поступательного движений шпинделя осуществляется от электродвигателя 3 через карданные валы 4 и 5. Вращение шпинделю сообщает карданный вал 5 через червячную передачу 15, 16. Возвратно-поступательное движение шпинделя осуществляется от карданного вала 4 через червячную пару 6, 7 (с переменновращательным движением промежуточного валика 8). На конце валика 8 сидит зубчатое колесо 9, приводящее во вращение гайку 10, а последняя трансформирует вращательное движение в поступательное.

Реверсирование возвратно-поступательных движений шпинделя происходит от электрических выключателей 11. Благодаря пальцу 13 и вертикальному пазу во втулке 14 крышка при вращении шлифуется к цилиндру.

Копировально-фрезерные станки

На копировально-фрезерных станках производится обработка различных пространственных поверхностей.

Такие поверхности имеют дышла паровозов, шатуны двигателей, всевозможные штампы, пресс-формы и т. д.

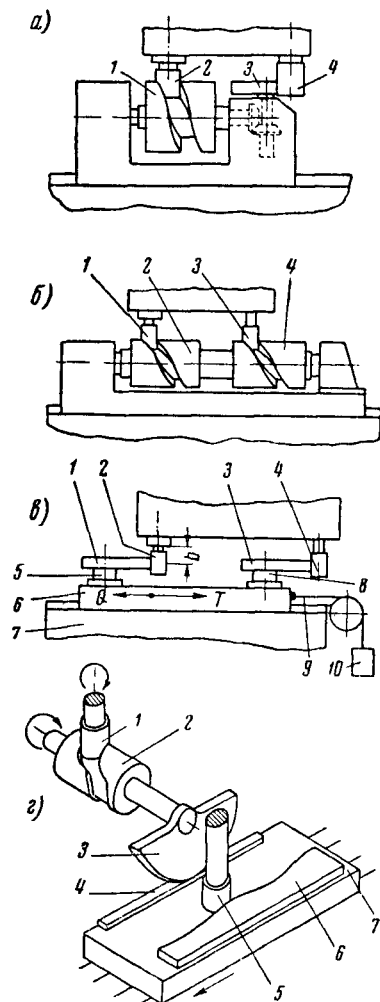
На фиг. 65 показаны схемы копировальных станков с механическим управлением. Вращение конической пары (фиг. 65, а) передаётся непосредственно заготовке 1 и копиру 3.

Фреза 2, жёстко связанная с копировальным пальцем (роликом) 4, при своём вращательном движении производит обработку цилиндрического винтового кулака соответственно профилю плоского копира.

Основным недостатком подобных станков является наличие больших усилий подачи, действующих на копиры. В мощных станках эти усилия подачи достигают 2 000—5 000 кг, в связи с чем требуются стальные термообработанные копиры шириной 20—40 мм (по данным станкостроительных заводов).

Показанное на фиг. 66 получение поверхности с помощью жёсткого копира применяется при изготовлении длинных изделий. В этом случае форма изделия получается повернутой на 180° относительно копира. Вес шпиндельной бабки станка должен быть больше вертикальной слагающей силы резания в целях предотвращения отрыва копировального ролика 1 от копира 2.

Получение поверхности по копиру со следующим приводом, управляемым перемещениями в двух взаимно перпендикулярных направлениях, показано на фиг. 67, где дана принципиальная схема копировально-фрезерного станка для обработки кромок котельных листов огневых коробок. Стол 12 станка подаётся ходовым винтом от электродвигателя 19. На столе размещены две планшайбы 11 и 13, одна из которых предназначена для изделия, а другая — для шаблона. Планшайбы приводятся во вращение через червячные пары от электродвигателя 10. По вертикальным направляю-



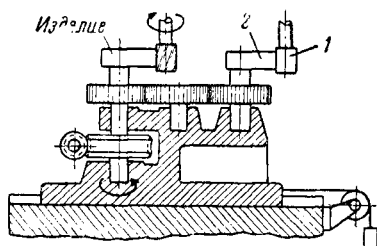
Фиг. 65. Схемы копировальных станков с механическим управлением:

а — обработка цилиндрического кулака по вращающемуся плоскому копиру: 1 — заготовка; 2 — фреза; 3 — копир; 4 — копировальный ролик;

б — схема копирования цилиндрических кулаков: 1 — фреза; 2 — заготовка изделия; 3 — копировальный палец; 4 — копир;

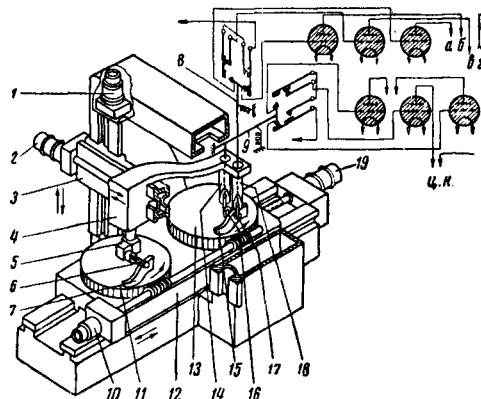
в — принцип копирования по жёсткому копиру: 1 — заготовка; 2 — фреза; 3 — копир; 4 — копировальный ролик; 5 — ось заготовки; 6 — стол; 7 — станина; 8 — ось копира; 9 — трос; 10 — груз;

г — обработка цилиндрического кулака по поступательно-перемещающемуся плоскому копиру: 1 — фреза; 2 — заготовка изделия; 3 — зубчатый сектор; 4 — зубчатая рейка; 5 — копировальный ролик; 6 — копир; 7 — стол



Фиг. 66. Схема устройства копировально-фрезерного станка с жёстким копиром

щим перемещается поперечина 3 (через ходовой винт, приводимый во вращение электродвигателем 1). На поперечине помещается суппорт 4, перемещающийся с помощью ходового винта от электродвигателя 2. Суппорт несёт фрезерную головку 5 с фрезой 6, обрабатывающей кромку листа 7. По шаблону 15 скользят два ролика 16 и 17, принадлежащие к копировальным приборам 14 и 18. Ролик 16 движется по кромке шаблона и управляет



Фиг. 67. Принципиальная схема устройства копировально-фрезерного станка для обработки кромки котельных листов

процессом фрезерования по высоте, а ролик 17 — по боковой поверхности и управляет поворотом планшайбы в те моменты, когда фреза отходит от изделия. Управление контактными группами, воздействующими на электросхему управления, происходит через рычаги 8 и 9, благодаря чему обеспечивается расположение оси фрезерной головки по нормали к криволинейной кромке обрабатываемого листа.

На базе этой принципиальной схемы спроектирован копировально-фрезерный станок, предназначенный для обработки кромок штампованных котельных листов для паровозов.

Кинематическая схема станка показана на фиг. 68.

Конструкция копировально-фрезерного станка рассчитана на фрезерование котельных листов паровозов любых серий.

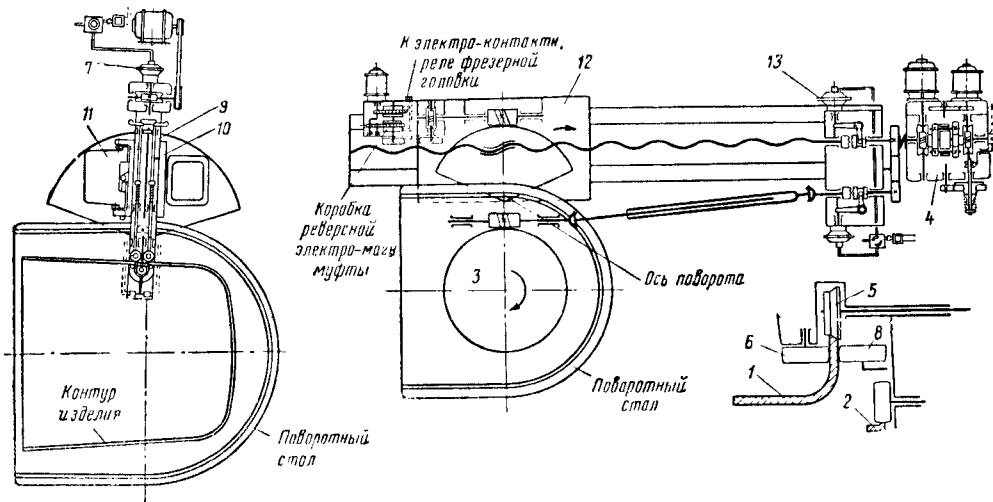
Обрабатываемый лист 1 (фиг. 68) устанавливается на приспособление с высотным копиром 2. Это приспособление закреплено на круглом столе 3, приводимом через карданный вал от коробки подач 4. Траектория рабочей фрезы 5 определяется копиром 2 и роликом 6.

Постоянное соприкосновение копирного ролика 6 с листом 1 обеспечивается воздушным цилиндром 7, прижимающим два ролика 8.

Шпиндель для фрезы 5 вмонтирован в ползун фрезерной головки 9. Прижим ролика к копиру 2 осуществляется весом каретки 10, перемещающейся в стойке 11. Подача фрезы 5 производится продольным перемещением саней 12 станины или вращением круглого стола 3.

Переключение продольной подачи саней 12 на вращение стола производится при помощи конечного выключателя, действующего через соленоид на пневматические цилиндры 13; последние переключают зубчатые муфты.

осуществляется с прерывистой подачей путём переключения золотника 5. При переключении этого золотника масло может направляться также по трубке 6 для быстрого перемещения салазок вверх.



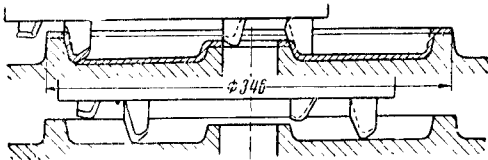
Фиг. 68. Кинематическая схема копировально-фрезерного станка для обработки котельных листов для паровозов: 1—обрабатываемый лист; 2—копир; 3—стол круглый; 4—коробка подачи; 5—фреза; 6—ролик; 7—воздушный цилиндр; 8—ролик; 9—головка фрезерная; 10—каретка; 11—стойка; 12—сани станка; 13—цилиндры пневматические

Основные данные станка

Число электродвигателей . . .	7
Общая мощность электродвигателей . . .	14 квт
Скорость резания . . .	34 м/мин
Рабочая подача . . .	200 мм/мин
Габариты:	
длина . . .	9 000 мм
ширина . . .	5 000 »
высота . . .	3 000 »
Вес станка . . .	18 т

Разные станки

Вертикально-расточный полуавтомат для обработки пятника шкворневой балки вагона. Профиль пятника шкворневой балки и схема настройки резцового супорта полуавтомата Уральского завода имени И. В. Сталина показаны на фиг. 69.



Фиг. 69. Схема настройки резцового супорта вертикально-расточного полуавтомата для обработки пятника

Основным узлом полуавтомата (фиг. 70) является резцовая головка 1.

Резцовая головка получает вращение от электродвигателя 2 через червячную и зубчатые передачи. Вертикальное перемещение салазок 3 головки осуществляется гидросистемой. При подаче масла в трубку 4 салазки опускаются вниз. Врезание резцов

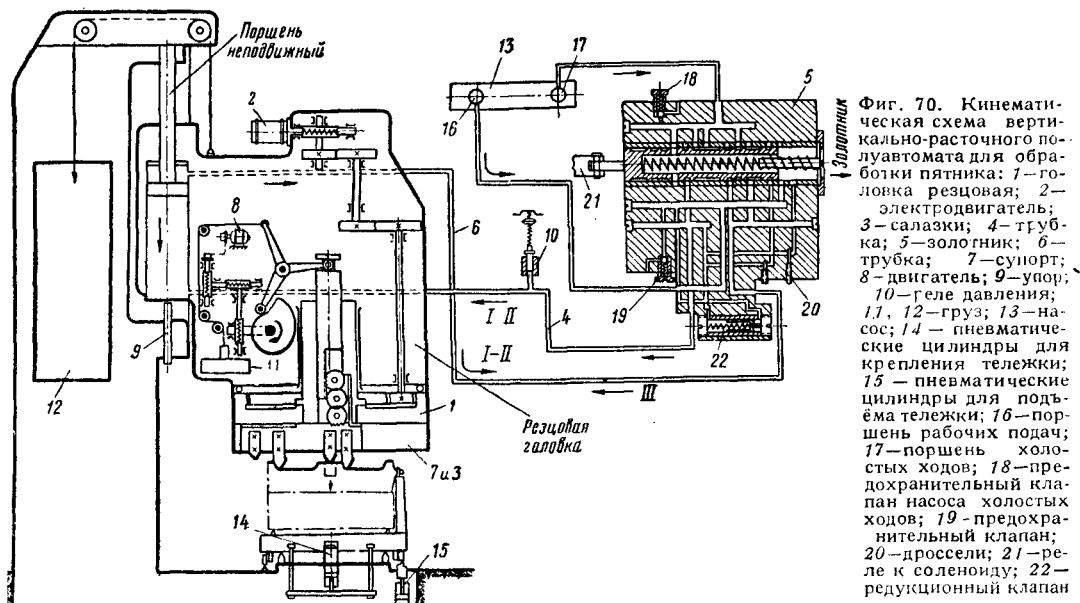
От электродвигателя 8 производится поперечное перемещение резцового супорта 7 через червячный редуктор, зубчатые колёса и реечные передачи. Включение электродвигателя 8 производится от упора 9 и реле давления 10. Постоянный контакт между роликом и плоским кулачком обеспечивается грузом 11, а уравнивание салазок 3 с головкой—грузом 12.

Поршневой насос 13 подаёт масло в рабочий цилиндр. Для крепления тележки с изделием к станку служат два пневматических цилиндра 14. Подъём тележки осуществляется четырьмя пневматическими цилиндрами 15.

Насос 13 имеет два поршня, из которых один (16) для рабочих подач и другой (17)—для холостых ходов. Гидросистема снабжена двумя предохранительными клапанами: 18 — при холостом ходе и 19 — при рабочем. Скорость движения регулируется дросселями 20 с редукционным клапаном 22. Для автоматического выключения электродвигателя в случае повышенного давления служит реле 21.

Основные данные полуавтомата

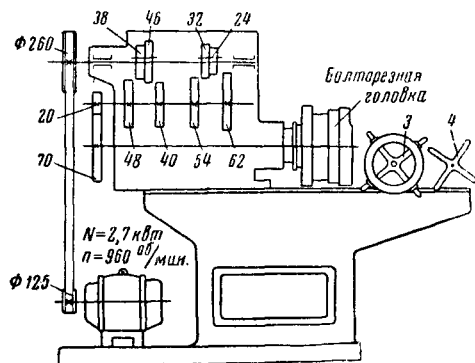
Мощность главного электродвигателя . . .	11 квт
Мощность электродвигателя поперечной подачи . . .	1,6 »
Число оборотов головки . . .	35 об/мин.
Скорость резания при $d_{гол} = 346$ мм . . .	38 м/мин
Горизонтальная подача поперечного супорта . . .	1 мм/мин
Габариты:	
длина . . .	2 000 мм
ширина . . .	750 »
высота . . .	3 000 »
Вес полуавтомата . . .	5 т



Болторезный станок модели 9101Б. Станок (фиг. 71) предназначен для нарезания правой наружной резьбы на болтах, стержнях, трубах и тому подобных изделиях тангенциальными плашками, закрепленными в самооткрывающейся резьбонарезной головке.

Основные данные станка модели 9101Б

Пределы диаметров нарезаемых резьб:	
трубной	$1/4 \div 1 1/2$ дюймовой
метрической	$6 \div 38$ мм
Наибольшая длина нарезаемой резьбы	280 »
Пределы диаметров изделий, зажимаемых в тисках супорта	$8 \div 70$ »
Числа оборотов шпинделя	51, 78, 105 и 152 об/мин.
Число оборотов и мощность главного электродвигателя	960 об/мин. и 2,7 кВт
Габариты:	
длина	1 620 мм
ширина	890 »
высота	1 250 »
Вес станка	780 кг



Фиг. 71. Кинематическая схема болторезного станка 9101Б

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПРИВОДЫ СТАНКОВ

Гидравлические приводы широко применяют в современных металлорежущих станках. К числу достоинств гидроприводов относятся: возможность осуществлять бесступенчатое регулирование скоростей на ходу в пределах большого диапазона, возможность развивать значительные тяговые усилия, автоматически предохранять механизмы станка от перегрузки, осуществлять полную автоматизацию рабочего цикла простыми средствами.

Гидроприводы преимущественно применяются в качестве механизмов прямолинейного движения, например, в цепи подачи шлифовальных, сверлильно-расточных, строгальных, агрегатных и других станков. Гидравлические механизмы вполне удовлетворительно работают также и в приводе вращательных движений, в особенности для осуществления круговых подач, например, в плоскошлифовальных, резьбошлифовальных, червячно-шлифовальных и других станках.

Гидроприводы имеют также широкое применение в различных механизмах управления станков, например, для переключения передвижных блоков зубчатых колес коробок скоростей и подач, для переключения муфт, тормозов и т. п. Гидроприводы получают также применение в зажимных и блокирующих устройствах станков, например, для крепления обрабатываемого изделия, для предохранения от одновременного включения двух механизмов, что достигается гидравлической связью их между собой. Гидропривод часто комплектуется с пневматическими устройствами, образуя пневмогидравлические механизмы, например, в пневмогидравлических силовых головках агрегатных станков автоматических станочных линий станкостроительных заводов (имени Орджоникидзе, «Станкоконструкция» и др.).

Рабочей жидкостью в гидроприводах в большинстве случаев служит минераль-

ное масло (веретённое, турбинное, машинное или цилиндрическое), которое обеспечивает смазку механизма, защиту от коррозии, хорошее уплотнение направляющих поверхностей.

Минеральные масла, применяемые в гидроприводах, имеют чаще всего условную вязкость в пределах $2-6^\circ \text{E}_{50}$. Влияние на вязкость масла оказывает давление и в особенности температура. Вязкость масла возрастает с понижением температуры и повышением давления. С возрастанием вязкости масла уменьшаются его утечки через зазоры, но увеличиваются потери на гидравлические сопротивления. Однако при работе гидропривода с давлением до 50 кг/см^2 эти потери относительно малы.

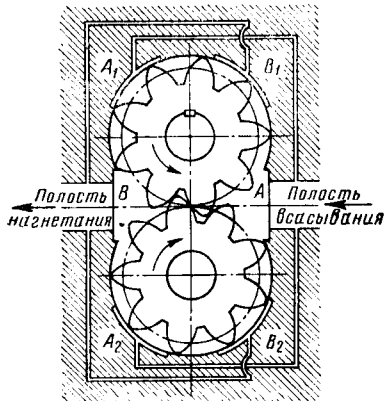
Масло в гидросистеме станка находится под определённым давлением и при работе насоса подаётся к требуемому силовому органу (цилиндру, гидродвигателю и т. п.). Циркуляция масла в системе может быть открытая и замкнутая. В гидроприводах с открытой циркуляцией отработанное масло уходит в бак, откуда вновь подаётся в гидросистему насосом.

Однако при открытой системе циркуляции в выходной части (за рабочим цилиндром) может создаваться пониженное давление и без дополнительного противодействия почти невозможно избежать проникновения воздуха в систему.

В системе с замкнутой циркуляцией отработанное масло через ряд обратных клапанов поступает, минуя бак, во всасывающую трубу насоса. Эта система затрудняет охлаждение масла и требует хорошей фильтрации.

Гидронасосы

В станках большое распространение получили насосы: шестерённые, лопастные и поршневые. Наибольшая производительность насосов $100-120 \text{ л/мин}$ и наибольшее давление $60-65 \text{ кг/см}^2$.



Фиг. 72. Шестерённый насос

Поршневые и лопастные насосы могут быть регулируемые и нерегулируемые (по производительности), шестерённые насосы изготавливаются только нерегулируемыми, т. е. постоянной производительности.

Шестерённый насос (фиг. 72) состоит из двух сцепляющихся цилиндрических зубчатых

колёс, вращающихся в корпусе с весьма малым зазором. При вращении колёс масло выталкивается из впадин между зубьями, так что в местах выхода зубьев из зацепления образуется вакуум, вызывающий засасывание масла из бака. Для увеличения плавности работы насоса и равномерности подачи масла применяются косозубые и шевронные зубчатые колёса.

На фиг. 72 дана схема шестерённого насоса. Полости A , A_1 и A_2 соединены каналом, вследствие чего давление в диаметрально противоположных впадинах зубьев колёс выравнивается и силы давления не передаются на валы. Для этой же цели соединены каналами полости B , B_1 и B_2 .

На валы передаётся только усилие, возникающее в точке зацепления колёс. Такое уменьшение давления на валы позволяет повысить давление в шестерённых насосах до $50-60 \text{ кг/см}^2$.

Производительность насоса с колёсами, имеющими одинаковые числа зубьев, определяется приближённо по формуле

$$Q = \frac{\pi d_f (d_n - d_f) b n}{10^6} \text{ л/мин},$$

где d_f и d_n — диаметры начальной и наружной окружностей в мм;

b — длина зуба в мм;

n — число оборотов колёс в мин.

В табл. 22 приведены данные о производительности шестерённых насосов отечественного производства.

Таблица 22

Производительность шестерённых насосов

Элементы характеристики	Показатели							
Давление в кг/см^2	20	20	15	15	15	10	10	10
Объёмный к.п.д. . .	0,76	0,78	0,82	0,84	0,86	0,86	0,86	0,9
Мощность электродвигателя в квт .	0,85	1,2	1,2	1,8	2,7	2,7	2,7	2,7
Производительность шестерённых насосов в л/мин	16	25	35	50	70	100	120	120
Вес насоса в кг . .	36	45	47	49	75	77	77	79

Лопастный насос двойного действия постоянной производительности показан на фиг. 73.

Насос имеет роторный диск 1 с наклонными лопастями 2, вращающимися в статорном кольце 3 эллиптического профиля. Под лопасти через отверстие 4 подводится масло.

При работе насоса лопасти прижаты давлением масла к внутренней поверхности статора 3. Это предупреждает перетекание масла, но повышает износ лопастей и статора. Ротор вращается между двумя бронзовыми дисками. В левом диске имеются четыре продольных отверстия, совпадающих с такими же отверстиями в корпусе. Два из них (5 и 6) служат для всасывания, другие два (7 и 8) для нагнетания. За один оборот ротора лопасти дважды выдвигаются из пазов, образуя камеры, в которые масло засасывается, а затем нагнетается в систему.

Производительность лопастного насоса определяется по формуле

$$Q = \frac{2bn}{10^6} \left[\pi (r_n^2 - r_v^2) - \frac{zs(r_n - r_v)}{\cos \alpha} \right] \text{ л/мин},$$

где r_n и r_v — наружный и внутренний радиусы лопастей в мм;

b и s — ширина и толщина лопастей в мм;

n — число оборотов в минуту роторного диска;

z — число лопастей;

α — угол наклона лопастей, равный около 13° .

Нормалью ЭНИМС предусматривается следующий ряд производительности этого типа насосов: $Q = 5; 8; 12; 18; 25; 35; 50; 70; 100$ л/мин с давлением до $60\text{--}65$ кг/см².

Мощность электродвигателя, необходимая для привода гидронасоса постоянной произ-

водительности, определяется по следующей формуле:

$$N = \frac{pQ}{612 \eta_m \eta_o} \text{ квт},$$

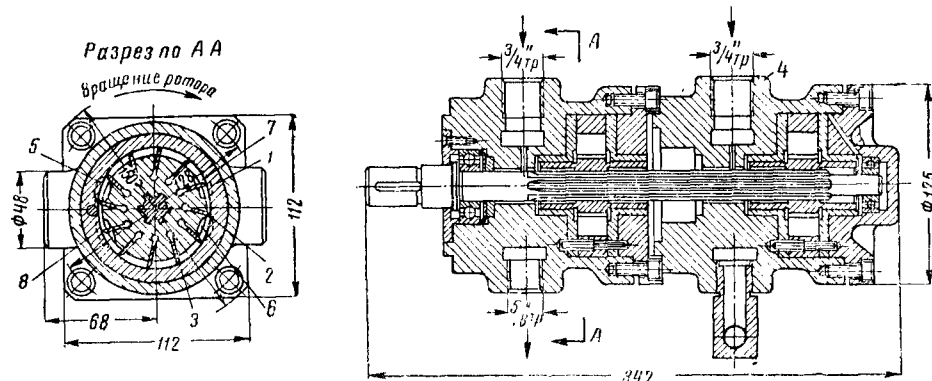
где p — давление насоса в кг/см²;

Q — производительность в л/мин;

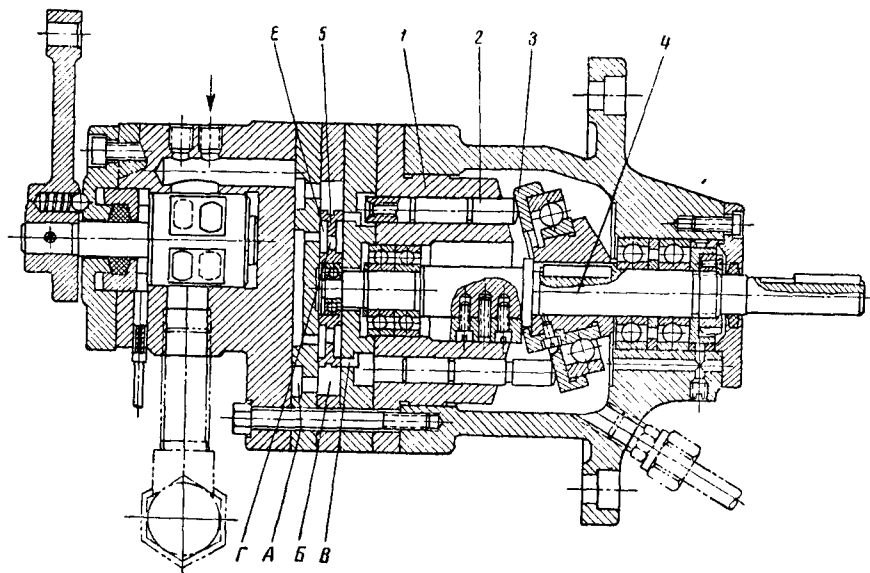
η_m, η_o — механический и объёмный к.п.д.

Конструкция осевого нерегулируемого поршневого насоса дана на фиг. 74. Насос имеет постоянный угол наклона шайбы 3, на которую производят давление поршни 2, размещённые вдоль оси насоса.

Поршни, находясь в корпусе 1, прижимаются к шайбе давлением масла, поступающего из распределительного устройства. В корпусе помещаются одинадцать поршней (плунжеров), расположенных равномерно по окружности. Распределительное устройство насоса состоит из дискового золотника 5 и



Фиг. 73. Лопастный насос двойного действия: 1 — роторный диск; 2 — лопасти; 3 — статор; 4 — канал для подвода масла; 5 и 6 — отверстия для всасывания; 7 и 8 — отверстия для нагнетания



Фиг. 74. Гидродвигатель с наклонной шайбой (поршневой насос): 1 — корпус; 2 — поршни; 3 — наклонная шайба; 4 — приводной вал; 5 — дисковый золотник

каналов *A*, *B* и *B*. Золотник насажен на эксцентричный валец вала 4, от вращения которого золотник приводится в колебательное движение.

Поршневой насос часто используется как гидродвигатель в ряде станков: резьбошлифовальном, плоскошлифовальном, червячно-шлифовальном и др.

Рассматривая поршневой насос как гидродвигатель, имеем следующую циркуляцию масла. Из распределительного устройства масло поступает в канал *A*, направляясь по каналам *B* и *B* к верхним (рабочим) поршням 2. Поршни, перемещаясь вправо, образуют от своих осевых давлений составляющие усилия, касательные к окружности, которые приводят во вращение шайбу 3 с валом 4. В это время нижние поршни будут двигаться влево, вытесняя масло через каналы *B* и *E* в бак. По истечении первого пол-оборота вала 4 наклон шайбы 3 изменится в противоположную сторону (влево), соответственно повернется золотник 5, который теперь будет направлять масло из канала *A* через *B* и *B* к нижним поршням. За вторые пол-оборота вала 4 масло из верхних цилиндров через каналы *B* и *G* идет на слив.

В результате за один оборот вала 4 каждый поршень сделает один двойной ход (рабочий и обратный).

Для того чтобы изменить направление вращения вала 4, необходимо поменять местами подводящие *A* и отводящие *E* и *G* каналы насоса. Это обеспечивается реверсивным золотником гидросистемы станка, благодаря которому масло от насоса будет направляться через канал *E* к нижним поршням рабочего хода, а из верхних цилиндров масло будет уходить на слив через каналы *B*, *B* и *A*.

Число оборотов гидродвигателя определяется по производительности Q_{np} , равной

$$Q_{np} = \frac{\pi d^2 R z n \operatorname{tg} \beta}{2} \text{ см}^3/\text{мин},$$

где R — радиус окружности центров поршней в см;

d — диаметр поршней в см;

z — число поршней;

β — угол наклона шайбы;

n — число оборотов гидродвигателя;

$$n = \frac{2Q_{np}}{\pi d^2 R z \operatorname{tg} \beta},$$

т. е. число оборотов вала гидродвигателя зависит от количества масла Q_{np} , поступающего через дроссель (край) подачи.

Рабочие цилиндры. Рабочие, или силовые, цилиндры могут иметь поршни с односторонним или двусторонним штоком. При насосе постоянной производительности в цилиндре с двусторонним штоком (фиг. 75, *a*) скорости прямого и обратного хода поршня одинаковы.

В цилиндре с односторонним штоком (фиг. 75, *б*) скорости поршня будут неодинаковыми ввиду разных площадей в полостях цилиндра со штоком и без штока.

Количество масла, поступающего от насоса в левую или правую полость цилиндра, равно

$$Q = f v_1 = f_0 v_2,$$

где f и f_0 — площади полостей цилиндра;

v_1 и v_2 — скорости поршня вправо и влево;

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{f_0}{f},$$

но

$$f_0 = f - f_{шт};$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{f - f_{шт}}{f} = 1 - \frac{f_{шт}}{f}.$$

Если принять, например, для шлифовального станка

$$v_2 = 1,2 v_1,$$

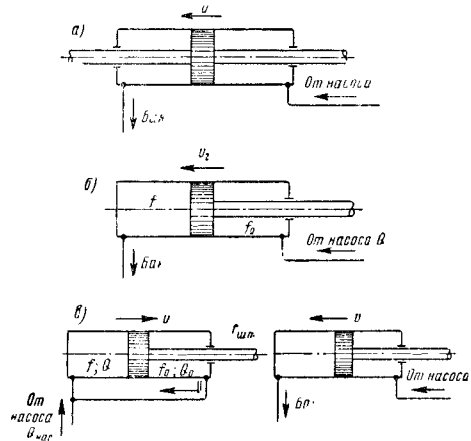
тогда

$$\frac{f_{шт}}{f} = 0,17 = \frac{d_{шт}^2}{d^2}$$

или

$$d_{шт} = 0,4 d.$$

Для простых цилиндров диаметр штока $d_{шт}$ берётся в пределах $0,25 - 0,4 d$, где d — диаметр поршня



Фиг. 75. Поршни цилиндров: *a* — с двусторонним штоком; *б* — с односторонним штоком; *в* — дифференциальный цилиндр

При одностороннем штоке несмотря на неравенство площадей в полостях цилиндра можно сделать скорости прямого и обратного хода поршня одинаковыми в том случае, если площадь поршня будет равна двойной площади штока, при этом полости цилиндра должны сообщаться между собой (при одном из ходов) (фиг. 75, *в*).

При ходе вправо производительность насоса равна

$$Q_{нас} = Q - Q_0 = f v - f_0 v = v f_{шт},$$

или

$$v = \frac{Q_{нас}}{f_{шт}}.$$

При ходе влево

$$v = \frac{Q_{нас}}{f_o}$$

Отсюда для получения одинаковых скоростей прямого и обратного хода необходимо, чтобы

$$f_{шт} = f_o$$

или

$$f = f_o + f_{шт} = 2f_{шт}.$$

Такой рабочий цилиндр, у которого полости могут сообщаться между собой, называется **дифференциальным** цилиндром.

Если площадь штока будет значительно меньше площади поршня, тогда при прямом ходе масло поступает в полость со штоком и скорость будет равна

$$v_{раб} = \frac{Q_{нас}}{f_o}.$$

При обратном ходе полости цилиндра сообщаются между собой

$$v_{обр} = \frac{Q_{нас}}{f_{шт}}$$

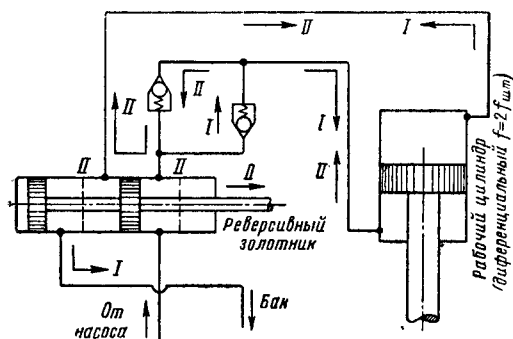
или отношение скоростей

$$\frac{v_{обр}}{v_{раб}} = \frac{f_o}{f_{шт}} = \frac{f - f_{шт}}{f_{шт}} = \frac{d^2}{d_{шт}^2} - 1.$$

Например, при $d=100$ мм и $d_{шт}=30$ мм скорость обратного хода больше скорости рабочего хода приблизительно в 10 раз.

При дифференциальном цилиндре соотношение между диаметрами d и $d_{шт}$ определяется из соотношения: $f = 2f_{шт}$, т. е. $d^2 = 2d_{шт}^2$, или $d_{шт} = 0,7 d$.

На фиг. 76 дана гидросхема дифференциального цилиндра притирочного вертикального одношпиндельного станка модели 383 завода имени Ленина.



Фиг. 76. Гидросхема с дифференциальным цилиндром: I — фаза подъема поршня; II — фаза опускания

Гидропривод предназначен для осуществления возвратно-поступательного движения шпинделя станка. Одинаковая скорость движения шпинделя вверх и вниз достигается дифференциальным цилиндром, у которого $f = 2f_{шт}$ и при опускании поршня полости

сообщаются между собой. При подъеме поршня масло от насоса поступает в нижнюю полость, направляясь из верхней полости через реверсивный золотник в бак.

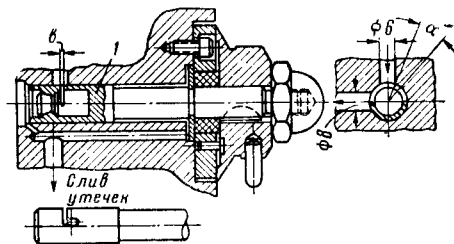
Регулирующие устройства. Регулирующие устройства предназначены для регулирования давления масла в гидросистеме и регулирования скорости движения поршня. Скорость движения поршня v , как видно из формулы

$$v = \frac{Q}{f},$$

зависит от количества масла Q . Регулирование скорости поршня при насосе постоянной производительности осуществляется дросселем. Путём изменения проходного отверстия дросселя достигается требуемая скорость движения поршня.

Дроссельное регулирование в станках является наиболее распространённым вследствие своей дешевизны и простоты. Регулирование количества масла применяется в гидросистемах с насосами постоянной производительности.

Поворотный дроссель щелевого типа показан на фиг. 77. Сечение дросселя выполнено в форме прямоугольника с острыми



Фиг. 77. Поворотный дроссель щелевого типа

кромками. Проходное сечение образуется резью шириной b , сделанной в детали дросселя 1. Регулирование расхода масла происходит в пределах угла поворота α .

Дроссель устанавливается как на входе (перед рабочим цилиндром), так и на выходе (за цилиндром). Дроссель на выходе обеспечивает более равномерную скорость движения поршня в особенности в случае малой скорости подачи (до 1 м/мин).

При дроссельном регулировании общее уравнение равновесия поршня с односторонним штоком будет

$$pf = p_o f_o + R,$$

где R — нагрузка (сопротивление стола) в кг;

f — площадь поршня в см²;

p — давление масла в рабочей полости в кг/см²;

p_o — противодавление в нерабочей полости в кг/см².

$$f_o = f - f_{шт}.$$

При холостом ходе нагрузка $R = 0$, противодавление равно

$$p_o' = \frac{pf}{f_o}.$$

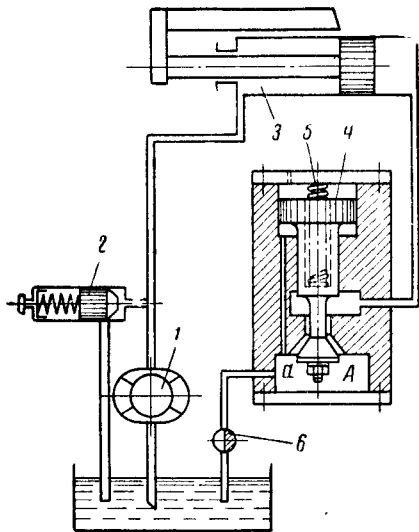
Отсюда разница в противодавлениях будет

$$p_o' - p_o = \frac{R}{f_o}.$$

Большая разница в противодавлениях может быть устранена путём установки регуляторов или стабилизаторов скорости, обеспечивающих постоянство перепада в дросселе. Таким регулятором скорости является устройство, состоящее из дросселя с редукционным клапаном или дросселя с дозирующим клапаном.

Современные регулирующие гидроустройства или регуляторы скорости обеспечивают равномерную скорость при расходе масла не менее $70-80 \text{ см}^3/\text{мин}$.

На фиг. 78 показан регулятор скорости, состоящий из дросселя 6 и редукционного клапана 4. Масло из насоса 1 поступает в цилиндр 3. Вытесняемое из цилиндра масло



Фиг. 78. Регулятор скорости с редукционным клапаном конического типа и дросселем на выходе

проходит через щель *a* в камеру *A* редукционного клапана 4, находящегося под действием пружины 5. При нормальной работе гидросистемы щель полностью открыта. При увеличенном давлении редукционный клапан, поднимаясь, сокращает щель *a*. Благодаря этому давление *p_a* в камере *A* будет поддерживаться постоянным и пониженным ($1,5-2 \text{ кг/см}^2$) независимо от изменения противодействия.

Дроссель будет пропускать в бак постоянное количество масла, тем самым обеспечивая равномерность хода поршня.

Насос 1 подаёт определённое количество масла, однако для рабочей скорости требуется обычно меньшее количество. Излишнее количество масла сливается через предохранительный клапан 2 в бак.

Преимущество редукционного клапана в том, что время срабатывания его весьма незначительно ($0,02-0,05 \text{ сек.}$), благодаря чему он является весьма чувствительным.

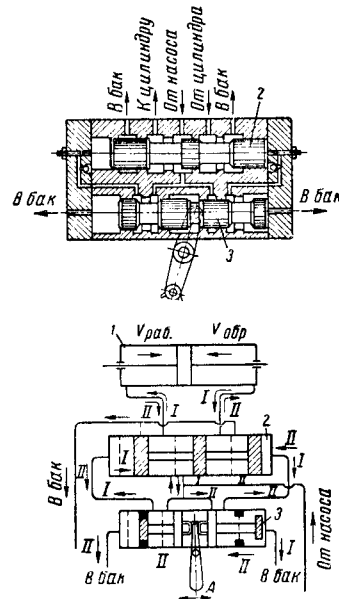
Распределительные устройства. Наиболее распространёнными распределительными устройствами являются золотниковые устройства, применяемые для направления потока масла в те или иные гидромеханизмы. Распре-

деление масла осуществляется плунжером, перемещающимся в корпусе золотника и соединяющим в нужных комбинациях каналы, к которым подводится масло, направляемое в цилиндр, гидродвигатель и пр.

В станкостроении в качестве распределительного устройства применяется цилиндрический золотник. В корпусе золотника имеется несколько кольцевых проточек, соединённых каналами в местах присоединения трубопроводов. Золотник (плунжер) также может иметь кольцевые проточки для направления масла из одних каналов в другие. Изменение направления потока масла достигается осевым перемещением золотника. Перемещение золотника может осуществляться вручную, гидравлическим, механическим или электрическим путём.

Простой реверсивный золотник с гидравлическим управлением применяется для реверсирования поршня или вала гидродвигателя. Золотник может занимать два положения: правое и левое, соответствующие двум направлениям движения поршня. Золотник переключается из одного положения в другое давлением масла, которое подводится, например, от золотника или пилота управления, поворотного крана и т. п.

На фиг. 79 показан реверсивный золотник с гидравлическим управлением от осевого пилота (золотника управления). Масло от насоса поступает в золотник управления 3.



Фиг. 79. Схема гидравлического реверсивного золотника

Если последний установлен в правом положении, как показано на фиг. 79, тогда давлением масла реверсивный золотник 2 переключается вправо. Следовательно, поток масла от насоса будет направлен в левую полость рабочего цилиндра 1, из правой полости которого масло идёт через реверсивный золотник в бак (фаза *I* рабочего хода). После передвижения золотника управления руко-

яткой *A* влево масло будет поступать в правую полость реверсивного золотника, перемещая его в левую сторону. В этом случае поток масла от насоса будет направлен в правую полость цилиндра, вытесняя масло из левой полости в бак (фаза *II* обратного хода).

Гидросистема с двумя насосами

В ряде конструкций гидроприводов станков устанавливаются два насоса постоянной производительности: один высокого давления и низкой производительности, другой — низкого давления, но высокой производительности.

Два насоса применяются в гидросистемах, имеющих фазы быстрой и рабочей подачи. При быстрой подаче требуется большое количество Q подаваемого масла, так как скорость движения пропорциональна производительности. Рабочая подача осуществляется при малом Q , но с высоким рабочим давлением

$$p = \frac{P_{\text{пор}}}{f},$$

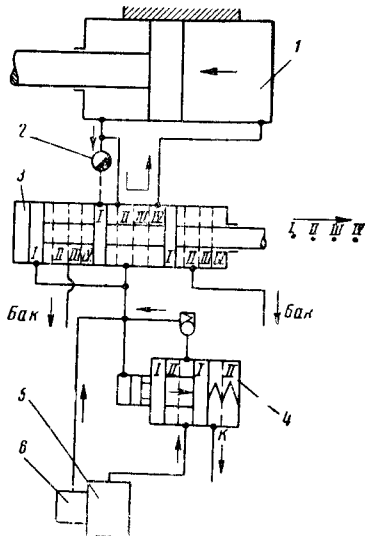
где p — давление в гидросистеме в кг/см^2 ;

$P_{\text{пор}}$ — полное давление в кг ;

f — площадь поршня в см^2 .

Установка одного насоса была бы нецелесообразна, так как насос надо было бы рассчитывать на наибольшее Q и наибольшее p .

На фиг. 80 дана гидросистема с двумя насосами постоянной производительности и дифференциальным цилиндром.



Фиг. 80. Гидросистема с двумя насосами постоянной производительности: 1 — рабочий цилиндр; 2 — дроссель; 3 — реверсивный золотник; 4 — разделительный золотник; 5 — насос высокой производительности; 6 — насос низкой производительности

Гидросистема рассчитана на четыре фазы цикла: *I* — быстрый подвод, *II* — рабочая подача, *III* — быстрый отвод и *IV* — стоп.

При первой фазе цикла масло от двух насосов поступает в правую полость цилиндра *I*.

Масло из левой полости присоединяется к количеству масла от обоих насосов 5 и 6. Скорость быстрого подвода равна

$$v_6 = \frac{Q_1 + Q_2}{f_{\text{шт}}},$$

где Q_1 и Q_2 — производительности соответственно обоих насосов в $л$.

Для получения рабочей подачи (*II* фаза) реверсивный золотник 3 переключается вправо.

Масло из левой полости рабочего цилиндра принуждено идти через дроссель 2 в бак. В системе повышается давление, поршни разделительного золотника 4 перемещаются вправо, сжимая пружину, и насос высокой производительности работает на слив. Теперь в правую полость цилиндра масло поступает только от насоса высокого давления. Наибольшая скорость рабочего хода

$$v_{\text{раб, макс}} = \frac{Q_1}{f}.$$

При переключении реверсивного золотника в положение *III* давление в системе понижается и масло от двух насосов поступает в левую полость цилиндра, осуществляя обратный ход поршня. Скорость обратного хода будет

$$v_{\text{обр}} = \frac{Q_1 + Q_2}{f_0} = v_6.$$

Так как цилиндр дифференциального типа и $f_{\text{шт}} = f_0$, скорости быстрого прямого и обратного ходов поршня будут одинаковы. Следовательно, суммарная производительность насосов должна быть больше $v_6 f_{\text{шт}}$ или

$$Q_1 + Q_2 > v_6 f_{\text{шт}}.$$

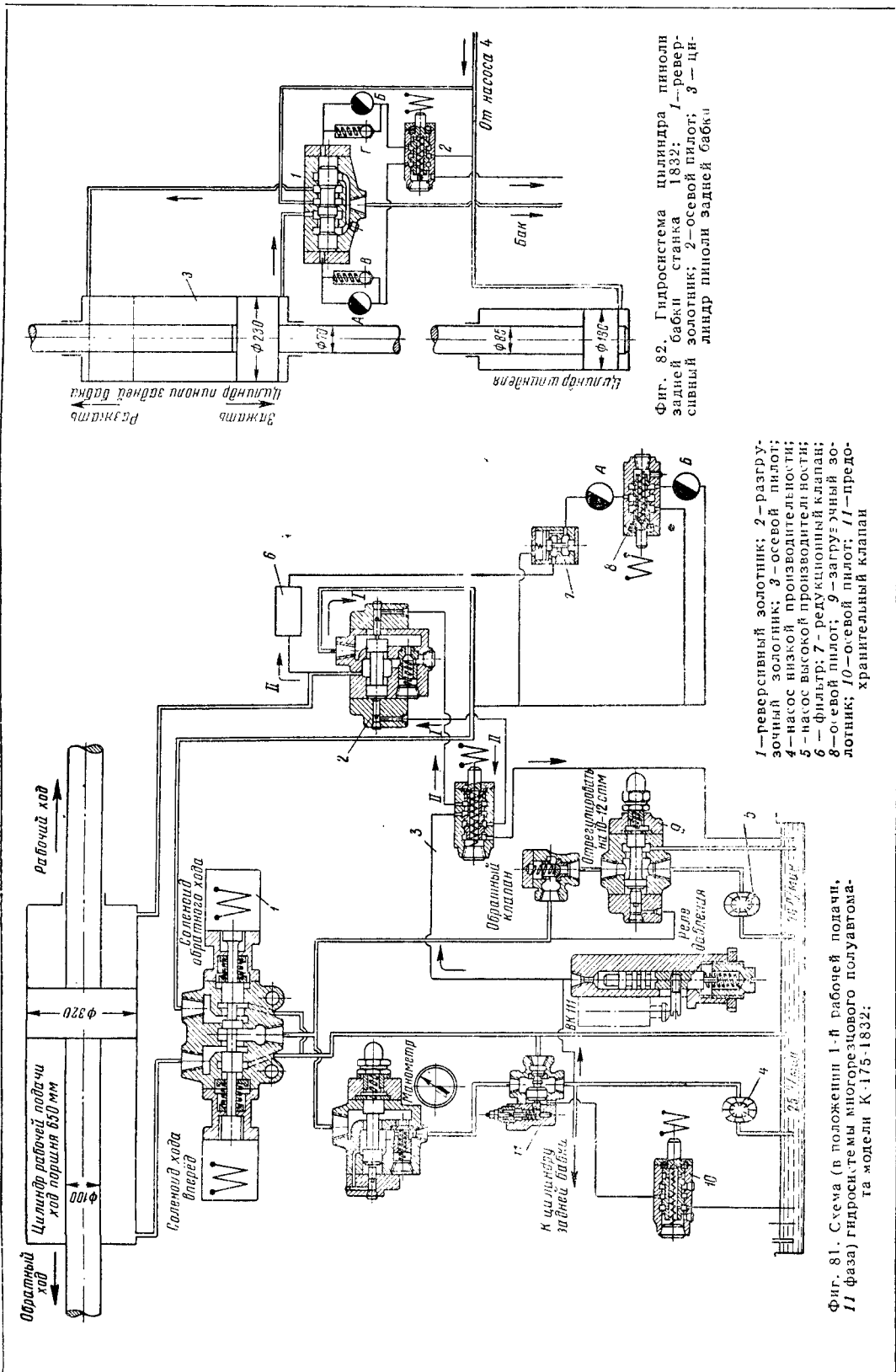
где v_6 — скорость быстрого хода поршня;
 $f_{\text{шт}}$ — площадь штока.

Гидросистема с двумя насосами токарного многорезцового полуавтомата модели 1832 (фиг. 37) завода «Красный пролетарий» является типичной системой многорезцовых станков. Гидросистема предназначена для осуществления поступательных движений при отточке паровозных осей. Система работает от двукратного лопастного насоса: один насос низкого давления, но высокой производительности, другой — высокого давления, но низкой производительности.

Гидросистемой осуществляются следующие фазы цикла движений: *I* — быстрый подвод, *II* — рабочая подача (первая), *III* — рабочая подача (вторая), *IV* — быстрый отвод и *V* — останов.

При быстром подводе и отводе работают одновременно оба насоса. Большое количество масла от насосов даёт наибольшую скорость движения поршня. Как показано на фиг. 81, через реверсивный золотник 1 масло поступает от насосов 4 и 5 в левую полость цилиндра. Из правой полости масло уходит через золотники 1 и 2 в бак.

В конце быстрого подвода супортов включается осевой пилот 3, управляющий разгрузочным золотником 2. Поршень этого золотника под давлением масла от насоса 4 прикрывает выход масла к золотнику 1.



Масло из правой полости цилиндра направляется через фильтр 6, редукционный клапан 7, дроссель А, осевой пилот 8 и золотник 1 в бак. Происходит первая рабочая подача супортов. При переключении пилота 8 масло пройдет второй дроссель Б для получения второй рабочей подачи.

Во время рабочих подач гидросистема работает только от насоса 4, так как от насоса 5 масло будет направляться сразу в бак вследствие переключения вправо золотника 9, работающего как разделительный золотник.

В конце рабочего хода супортов через соленоид переключается золотник 1. Масло от обоих насосов вследствие пониженного давления в системе будет поступать через золотник 1 в правую полость цилиндра. Из левой полости оно направляется в бак (фаза быстрого отвода супортов).

При нажиме на осевой пилот 10 давление в левой полости предохранительного клапана 11 понижается и от насоса 4 масло направляется непосредственно в бак. Одновременно с понижением давления масло от другого насоса также идет на слив (фаза останова).

На фиг. 82 показана гидросистема цилиндра пиноли задней бабки, для обслуживания которого установлен от насоса 4 реверсивный золотник 1 с гидравлическим переключением. В целях равномерного переключения этого золотника установлены два дросселя А, Б с обратными шариковыми клапанами В, Г.

Если осевой пилот 2 занимает 1-е положение, то масло от насоса 4, проходя пилот и обратный шариковый клапан Г, перемещает реверсивный золотник 1 влево. В этом случае масло из левой полости золотника сливается через дроссель А и пилот 2 в бак.

После того как реверсивный золотник 1 занял крайнее левое положение, поток масла от насоса 4 направляется через этот золотник в рабочий цилиндр 3, перемещая поршень пиноли задней бабки. Из противоположной полости цилиндра масло направляется через золотник 1 в бак. Такой поток масла создаст гидравлический зажим изделия от пиноли задней бабки станка.

МОДЕРНИЗАЦИЯ СТАНКОВ ДЛЯ ПЕРЕВОДА НА СКОРОСТНОЕ РЕЗАНИЕ [5]

Основные сведения

Модернизация металлорежущих станков для перевода их на скоростное резание производится с целью повышения производительности, улучшения чистоты обработанных поверхностей и повышения точности обработки.

Основными требованиями, предъявляемыми к станкам при скоростном резании, являются:

- 1) наличие чисел оборотов шпинделя, дающих необходимые скорости резания;
- 2) достаточная мощность на шпинделе станка (её увеличение является следствием повышения режима резания);
- 3) отсутствие слабых звеньев при работе с повышенными числами оборотов и при увеличенной мощности резания;

4) достаточная жёсткость и виброустойчивость;

5) минимальная затрата времени на вспомогательные движения и управление станком;

6) безопасность работы на станке.

При работе на модернизированных станках должна строго соблюдаться рекомендуемая геометрия режущей части инструмента, чистота граней и кромок.

Целесообразно применять принудительный съём режущих инструментов с рабочих мест для предупреждения потерь, возникающих при работе инструментом дольше установленного для него износа.

Заточка и доводка режущих инструментов, а также доставка их к рабочему месту должны быть централизованы.

Повышение быстроходности и мощности

Повышение быстроходности станка сопровождается увеличением используемой мощности привода. Увеличение числа оборотов осуществляется: при ступенчато-шкивном приводе — увеличением диаметра ведущего шкива на валу контрпривода, при индивидуальном электроприводе — изменением диаметров шкивов: ведущего (на валу электродвигателя) и ведомого (на приводном валу коробки скоростей), заменой электродвигателя на более быстроходный или изменением передаточного отношения коробки скоростей. Последнее осуществляется или заменой различных пар зубчатых колёс другими, имеющими большее передаточное отношение, или введением в коробку скоростей новых пар зубчатых колёс.

Проверочный расчёт зубчатых колёс

Расчёту подвергают на каждом валу по одному зубчатому колесу, имеющему наименьшее число зубьев и ширину при одинаковых модуле и материале.

Максимально допустимая мощность модернизируемого главного привода из расчёта на долговечность по контактным напряжениям в зубьях:

$$N_{\max} = N_0 \frac{k_n}{k_{n_m}} \sqrt[3]{\frac{T_0}{T_m} \left(\frac{n_m}{n_0} \right)^2} \text{ кВт},$$

где N_0 — мощность главного привода до модернизации в кВт;

k_n и k_{n_m} — коэффициенты, которые находятся по графику (фиг. 83);

T_0 — долговечность зубчатого колеса до модернизации в час.;

T_m — требуемая минимально допустимая долговечность зубчатого колеса после модернизации в час.;

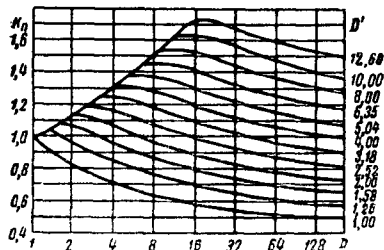
n_0 и n_m — соответственно числа оборотов шпинделя на одной и той же ступени до и после модернизации.

При непрерывной работе принимают

$$T_m = 3000 \div 5000 \text{ час.};$$

$$T_0 = T_{10} \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_{\text{конт}}} \right)^6 \frac{1}{(k_n k_N)^3} \text{ час.},$$

где $T_{10} = \frac{1,67 \cdot 10^5}{n_{\min}}$ (n_{\min} — наименьшее число оборотов);
 $\sigma_y = R_{\text{конт}}$ (табл. 23);



Фиг. 83. График для определения коэффициента k_n при расчёте зубчатых колёс на контактные напряжения

k_n — коэффициент, характеризующий работу зубчатого колеса до модернизации при разных числах оборотов и зависящий от общего диапазона чисел оборотов D , при которых рабо-

тает зубчатое колесо, и от диапазона чисел оборотов D' , при которых оно работает с постоянным крутящим моментом (диапазон D' покрывает числа оборотов шпинделя, при которых полная мощность станка не используется), D и D' понимаются как отношения наибольшего числа оборотов к наименьшему в пределах данной области чисел оборотов. Если при модернизации станка предполагается, что использование полной мощности будет происходить начиная с того же номера ступени общего диапазона, что и в станке до модернизации, то $k_n = k_{\text{пл}}$, где $k_{\text{пл}}$ — коэффициент, характеризующий работу зубчатого колеса после модернизации (фиг. 83);

k_N — коэффициент, характеризующий предполагаемое использование мощности на станке; $k_N = 0,63 \div 1,0$.

Максимальное контактное напряжение на рабочей поверхности зубьев в кг/мм^2 определяется из следующего соотношения:

$$\sigma_{\text{конт}} = \frac{180\,000}{z m} \sqrt{i \pm 1 \cdot \frac{N}{i b} \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{k_n} \cdot \frac{1}{k_N}} \text{ кг/мм}^2,$$

Таблица 23

Допустимые напряжения для зубьев зубчатых колёс

Материал	Термическая обработка	Механические свойства			Допустимые напряжения для зубьев зубчатых колёс	
		предел прочности при растяжении $\sigma_{\text{пч}}$ в кг/мм^2	предел текучести $\sigma_{\text{с}}$ в кг/мм^2	твёрдость	изгибные R_b в кг/мм^2	контактные $R_{\text{конт}}$ в кг/мм^2
Сталь 45	Нормализация . . .	60—75	>34	$H_B = 170—217$	12—15	45—55
Сталь 45	Улучшение	75—90	42—52	$H_B = 220—250$	17—20	55—65
	Закалка	>100	>75	$H_{RC} = 38—46$	25—23	100—120
Сталь 50Г2	Закалка	95—100	70—85	$H_{RC} = 28—33$	23—26	75—85
Сталь 40Х	Улучшение	80—100	60—80	$H_B = 230—260$	22—25	60—70
	Закалка	110—135	90—105	$H_{RC} = 35—42$	30—33	100—110
	»	150—165	130—140	$H_{RC} = 45—50$	37—40	130—140
Сталь 20Х	Цементация и закалка	90	65	$H_{RC} = 56—62$	32—35	165—175
Сталь 12ХНЗ	Цементация и закалка	90	65	$H_{RC} = 56—62$	35—40	170—180
Сталь 18ХГМ	Цементация и закалка	110	100	$H_{RC} = 56—62$	40—45	170—180
Чугун СЧ15-32	—	15	—	$H_B = 163—229$	5	50
Чугун СЧ21-40	—	21	—	$H_B = 170—241$	6	60
Чугун СЧ28-48	—	28	—	$H_B = 170—241$	7,5	75
Текстолит	—	—	—	—	4,2	—

где z, m, b — число зубьев, модуль и ширина зубчатого колеса в мм; знак плюс берётся для наружного зацепления, знак минус берётся для внутреннего зацепления.

Расчёт конических зубчатых колёс ведётся по среднему модулю:

$$m_{cp} = m \frac{L - 0,5b}{L} \text{ мм},$$

где m — модуль на начальной окружности в мм;

L — длина образующей начального конуса (от начальной окружности до вершины конуса) в мм.

Расчёт косозубых зубчатых колёс ведётся по нормальному модулю и условному числу зубьев z_i

$$z_i = \frac{z}{\cos^3 \beta},$$

где β — угол наклона зубьев к оси зубчатого колеса;

i — отношение числа зубьев большего зубчатого колеса к числу зубьев меньшего зубчатого колеса (для сцеплённой пары, в которую входит рассчитываемое зубчатое колесо);

N — максимальная мощность, передаваемая зубчатым колесом, в л. с.;

$$N = 1,36 N_0 \eta,$$

где η — коэффициент полезного действия кинематической цепи от электродвигателя до рассчитываемого зубчатого колеса;

n — наименьшее число оборотов зубчатого колеса в мин., при котором оно начинает передавать полную мощность;

k_v — скоростной коэффициент.

Для прямозубых цилиндрических и конических зубчатых колёс

$$k_v = \frac{P}{P + Ub},$$

где P — окружное усилие на зубчатом колесе в кг, равное $\frac{75N}{v}$; v — окружная скорость зубчатого колеса в м/сек, равная $\frac{\pi D_0 n}{1000 \cdot 60}$; D_0 — диаметр начальной окружности в мм;

$U = 0,025 v \sqrt{\frac{A\Delta}{i}}$ — окружная слагающая силы удара зубьев зубчатого колеса, отнесённая к 1 мм ширины зуба, в кг/мм; A — расстояние между осями зубчатых колёс в мм (для конических зубчатых колёс $A = L - 0,5b$); Δ — ошибка в шаге зубчатых колёс в м (табл. 24).

Для прямозубых зубчатых колёс можно принимать ориентировочно

$$k_v = \frac{c}{c + v},$$

здесь $c = 6$ — для нешлифованных зубчатых колёс;

$c = 9$ — для закалённых и шлифованных зубчатых колёс.

Таблица 24

Ошибки в шаге зубчатых колёс Δ в м

Модуль в мм	Классы точности			Модуль в мм	Классы точности		
	I	II	III		I	II	III
До 2,25	11	17	28	8—10	17	28	56
2,25—4	11	21	35	10—14	—	35	64
4—6	14	25	42	14—20	—	42	85
6—8	14	28	51				

Для косозубых зубчатых колёс принимает- ся $k_v = 0,9$.

Максимально допустимая мощность модернизируемого главного привода из расчёта на прочность по изгибным напряжениям

$$N_{\max} = N_0 \frac{n_m R_\sigma}{n_0 \sigma_u} \text{ кВт},$$

где R_σ — допустимое напряжение изгиба в кг/мм² (табл. 23);

σ_u — максимальное напряжение изгиба в зубьях зубчатых колёс (до модернизации);

$$\sigma_u = \frac{455000 N}{m^2 z b y n k_y} \text{ кг/мм}^2.$$

Здесь y — коэффициент формы зуба при нормальном зацеплении (табл. 25).

Таблица 25

Коэффициенты формы зуба y
(высота зуба $h = 2,2 m$)

Расчётное число зубьев z	Характеристика профиля		Расчётное число зубьев z	Характеристика профиля	
	$\alpha = 20^\circ$	$\alpha = 15^\circ$		$\alpha = 20^\circ$	$\alpha = 15^\circ$
12	0,078	0,067	27	0,111	0,099
13	0,083	0,071	30	0,114	0,101
14	0,088	0,075	34	0,118	0,104
15	0,092	0,078	38	0,122	0,106
16	0,094	0,081	43	0,126	0,108
17	0,096	0,084	50	0,130	0,110
18	0,098	0,086	60	0,134	0,113
19	0,100	0,088	75	0,138	0,115
20	0,102	0,090	100	0,142	0,117
21	0,104	0,092	150	0,146	0,119
23	0,106	0,094	300	0,150	0,122
25	0,108	0,096	Рейка	0,154	0,124

Расчёт ремённых передач

При модернизации станков для перевода их на скоростное резание в большинстве случаев заменяют плоскоремённую передачу на клиноремённую.

Мощность электродвигателя, допускаемая клиновыми и плоскими ремнями,

$$N_0 = \frac{Pv}{102 \eta} \text{ кВт},$$

где P — полезное окружное усилие в кг;

v — скорость ремня в м/сек;

η — к. п. д. передачи от электродвигателя до ведомого шкива.

Для клиновых ремней

$$P = z P_0 k_1 k_2,$$

где z — число клиновых ремней;

P_0 — допускаемая полезная сила, передаваемая одним ремнём, в кг (табл. 26);

k_1 и k_2 — соответственно коэффициенты угла обхвата малого шкива и скорости (табл. 27 и 28).

Таблица 26

Расчётные данные для клиноремённых передач

Сечение ремня в мм		Минимально допустимый диаметр шкива в мм	P_0 в кг	Сечение ремня в мм		Минимально допустимый диаметр шкива в мм	P_0 в кг
высота	наибольшая ширина			высота	наибольшая ширина		
10	6	70	8	22	13,5	200	40
13	8	100	14	32	19	315	82
17	10,5	140	24	33	23,5	500	120

Таблица 27

Коэффициенты угла обхвата ремнём малого шкива k_1

Ремни	Угол обхвата α в градусах							
	10	120	140	160	180	200	22	240
Плоские	—	—	0,88	0,91	1	1,06	1,12	1,18
Клиновые	0,74	0,83	0,89	0,95	1	1	1	1

Таблица 28

Коэффициенты скорости k_2

Ремни	Скорость ремня в м/сек					
	1	5	10	15	20	25
Плоские	1,04	1,03	1	0,96	0,89	0,81
Клиновые	1,05	1,04	1	0,94	0,85	0,74

Угол обхвата ремнём малого шкива

$$\alpha = \left(\pi - \frac{D_2 - D_1}{A} \right) \text{ рад},$$

где D_1 и D_2 — соответственно диаметры малого и большого шкивов в мм;

A — расстояние между осями шкивов в мм.

Если окажется, что мощность электродвигателя N_0 меньше мощности N_n электродвигателя главного привода, выбираемого при модернизации, то необходимо усилить ремённую передачу (или увеличить число ремней или выбрать ремни с большими размерами сечения).

Для плоских ремней

$$P = R_z F k_1 k_2,$$

где R_z — допускаемое напряжение ремня на растяжение в кг/мм² (табл. 29);

F — площадь поперечного сечения ремня в мм².

В табл. 29 δ — толщина ремня в мм.

Таблица 29

Расчётные данные для плоскоремённых передач

Тип ремня	Минимальное допускаемое значение $\frac{D_1}{\delta}$	Отношение $\frac{D_1}{\delta}$				
		25	30	40	60	100
		Допускаемое напряжение R_z в кг/мм ²				
Кожа	25	0,17	0,19	0,21	0,24	0,26
Прорезиненный	30	—	0,20	0,21	0,22	0,22
Хлопчатобумажный:						
широкий	40	—	—	0,18	0,19	0,20
тканый	25	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19
Шерстяной тканый	20	0,12	0,13	0,15	0,16	0,17

Расчёт фрикционных муфт

Крутящий момент, передаваемый многоскоростной муфтой,

$$M_{кр} = \frac{1}{3} \pi (R^2 - r^2) R_{ср} i \mu k_v \text{ кгсм},$$

где β — коэффициент запаса сцепления, принимаемый в пределах от 1,25 до 1,5;

$R, r, R_{ср}$ — соответственно наружный, внутренний и средний радиусы поверхностей трения в см;

i — число пар поверхностей трения;

μ — коэффициент трения (табл. 30);

k_v — скоростной коэффициент (вводится при $v > 2,5$ м/сек), где v — окружная скорость на среднем диаметре поверхностей трения;

$$k_v = \sqrt[3]{\frac{2,5}{v}}.$$

Таблица 30

Коэффициенты трения покоя μ и наибольшие допускаемые удельные давления p в кг/см² для фрикционных муфт

Материал поверхностей трения	μ	p	
		для много- дисковых муфт	для конус- ных муфт и муфт с разжим- ными кольцами
<i>Масленные муфты</i>			
Закалённая сталь по зака- лённой стали (шлифован- ные диски или нешлифо- ванные после приработки)	0,04	8—12	—
Чугун по чугуну или по за- калённой стали	0,1	5—6	8
<i>Сухие муфты</i>			
Прессованный асбест или Ферродо (медно-асбестовая прокладка) по стали . . .	0,3	2—2,5	3
Чугун по чугуну или по за- калённой стали	0,15	2,5—3	3

Мощность электродвигателя, допускаемая имеющейся муфтой,

$$N_0 = \frac{M_{кр} n}{97400 \eta},$$

где n — число оборотов муфты в мин.;

η — общий к. п. д. от электродвигателя до муфты.

Если $N_0 < N_n$, необходимо усилить муфту увеличением числа дисков муфты или увеличением их площади.

Другие фрикционные муфты рассчитывают аналогично, но крутящий момент, передаваемый ими, будет:

для конусных муфт

$$M_{кр} = \frac{2}{3} \pi R_{ср}^2 b p \mu k_v;$$

для муфт с разнжными кольцами

$$M_{кр} = \frac{2}{3} \pi R^2 b p \mu k_v,$$

где b — ширина поверхности трения в см.

Расчёт подшипников

Расчёт подшипников скольжения. При модернизации станка следует определять удельное давление (p в кг/см²) и окружную скорость шейки вала в подшипнике (v в м/сек)

$$p = \frac{P}{d l},$$

где P — усилие, действующее на подшипник при наиболее тяжёлых условиях работы (обработка в патроне при максимальном крутящем моменте), в кг;

d — рабочий диаметр подшипника в см;

l — длина подшипника в см;

$$v = \frac{\pi d n}{1000 \cdot 60} \text{ м/сек},$$

где n — число оборотов вала в мин. (при расчётном усилии P).

Режим работы подшипника характеризуется произведением удельного давления на окружную скорость — $p v$. В табл. 31 приведены предельно допустимые режимы работы подшипников скольжения.

Расчёт подшипников качения. Долговечность подшипника h в часах определяется из формулы

$$(nh)^{0,3} = \frac{C}{Q},$$

где h — определяется по таблицам каталога подшипников качения (при известных n , C и Q);

n — число оборотов вала, при котором подшипник максимально нагружен;

C — коэффициент работоспособности (берётся по таблицам каталога подшипников качения);

Q — суммарная максимальная нагрузка на подшипник в кг.

Для однорядных радиальных шарикоподшипников

$$Q = P \text{ (при } A \leq 0,25 P),$$

или

$$Q = 0,75 P + A \text{ (при } A > 0,25 P).$$

Для конических роликподшипников

$$Q = P \text{ (при } A \leq 0,3 P),$$

или

$$Q = 0,6 P + 1,55 A \text{ (при } A > 0,3 P),$$

где P и A — соответственно максимальные радиальная и осевая силы, действующие на подшипник, в кг.

Расчёт валов

Валы коробки скоростей рассчитываются на совместное действие изгиба и кручения.

Напряжение вала

$$\tau_u = \frac{M_{кр}}{W} \text{ кг/см}^2.$$

Приведённый момент

$$M_{пр} = \sqrt{M_{изг}^2 + 0,5 M_{кр}^2} \text{ кгсм}$$

(определяется в опасном сечении для такого включения передач, когда он становится максимальным),

где $M_{изг}$ и $M_{кр}$ — соответственно суммарный изгибающий и крутящий моменты в кгсм (при расчётном включении передач);

Таблица 31

Предельно допустимые режимы работы подшипников скольжения

Материал вкладыша	Марка	Шейка вала			
		гладко отделанная, закалённая		незакалённая	
		$p v$ в кгм/см ² ·сек до	v в м/сек до	$p v$ в кгм/см ² ·сек до	v в м/сек до
Бронза фосфористая	БрОФ 10-1	100	8	60	5
Бронза оловянистая (вторичная)	{ БрОЦС 5-7-12	{ 80	{ 6	{ 50	{ 4
Бронза алюминиево-железистая	БрОЦС 6-6-3	75-100	5	Не рекомендуется То же	
Бронза свинцовистая	БАЖ 9-4	100	10		
Алюминиевый сплав алькусин	БрСЗО	40-50	5	То же	
Цинковый сплав	АМК	90-100	2,5		
Баббиты	ЦАМ 10-5	150	10	40	2,5
Антифрикционный чугун	Б16, БН-6	15	4	100	6
	—			10	2,5

$$M_{изг} = \sqrt{M_{гор}^2 + M_{верт}^2} \text{ кгсм},$$

где $M_{гор}$ и $M_{верт}$ — соответственно изгибающие моменты в горизонтальной и вертикальной плоскостях от окружной и радиальной сил P и R на зубцах зубчатых колёс в кгсм;

$$R = P \operatorname{tg}(\alpha + \varphi),$$

где α — угол зацепления зубчатых колёс (20 или 15°);

φ — угол трения на зубцах зубчатых колёс.

Принимают $\varphi = 5^\circ$;

W — момент сопротивления в см³.

Для сплошных валов

$$W \approx 0,1 d^3,$$

где d — диаметр вала в см.

Для полых валов

$$W \approx 0,1 d^3 \left[1 - \left(\frac{d_1}{d} \right)^4 \right],$$

где d_1 — диаметр отверстия в см.

Значение σ_n , полученное по приведённым формулам, сравнивается с допускаемым напряжением изгиба R_g (табл. 32).

Расчёт элементов механизма подачи

Тяговое усилие, допускаемое ходовым винтом из расчёта его на продольный изгиб, определяется по формуле

$$Q = \frac{Ik' \pi^2 E}{n l^2} \text{ кг},$$

где I — момент инерции сечения винта в см⁴, равный

$$\frac{\pi d_1^4}{64} \left(0,4 + 0,6 \frac{d}{d_1} \right);$$

d — наружный диаметр винта в см;

d_1 — внутренний диаметр резьбы винта в см;

$E = 2\,000\,000$ — модуль упругости в кг/см²;

n — запас устойчивости (для вертикальных винтов $n = 3$, для горизонтальных $n = 4$);

l — расстояние между гайкой и опорой (подшипником) винта, нагруженной осевым усилием, в см;

для шарнирной опоры

$$\left(\frac{l'}{d'} < 1,5 \right) : k' = 1,$$

для жёсткой опоры

$$\left(\frac{l'}{d'} > 3 \right) : k' = 4;$$

l' — длина опоры (подшипника);

d' — диаметр опоры (подшипника).

Тяговое усилие, допускаемое гайкой из расчёта её на удельное давление, определяется по формуле

$$Q = \frac{\pi p l_1 d_{ср} t_{раб}}{S} \text{ кг},$$

где p — удельное давление. Для бронзовых гаек $p < 110$ кг/см², для чугунных — до 50 кг/см²;

Таблица 32

Допускаемые напряжения для расчёта стальных валов с учётом изгиба и кручения (R_g в кг/см²)

Источник концентрации напряжений	Эскиз	Диаметр вала d в мм	Марка стали и термическая обработка				
			Сталь 35	Сталь 45		Сталь 40Х	
			нормализованная	нормализованная	улучшенная	улучшенная	закалённая
Насажённая на вал деталь (зубчатое колесо, шкив) с острыми кромками		30	700	750	850	900	950
		50	650	700	800	850	900
		100	600	650	750	800	850
Насажённое кольцо подшипника качения		30	900	1 000	1 150	1 200	1 300
		50	850	950	1 050	1 100	1 200
		100	750	850	1 000	1 000	1 100
Ступенчатая форма с острыми внутренними углами $\frac{D}{d} < 1,2$		30	800	900	1 050	1 100	1 150
		50	700	800	900	950	1 000
		100	600	700	800	850	900
Ступенчатая форма со скруглёнными внутренними углами $\frac{r}{d} = 0,05; \frac{D}{d} < 1,2$		30	1 100	1 150	1 350	1 400	1 500
		50	950	1 000	1 150	1 200	1 300
		100	850	900	1 000	1 050	1 100

Примечание. Учитывая переменность режима работы валов у станков общего назначения, приведённые значения допускаются увеличивать до 140%.

l_1 — длина гайки в см;
 d_{cp} — средний диаметр резьбы в см;
 S — шаг резьбы в см;
 $t_{раб}$ — рабочая глубина резьбы в см.

Тяговое усилие, допускаемое реечным зубчатым колесом, из расчёта на изгиб его зубьев определяется по формуле

$$Q = \pi ymbR_g.$$

Коэффициенты формы зуба y , приведённые в табл. 25, можно увеличивать на 20—30%, а величины R_g , приведённые в табл. 23, на 60—70%, так как в работе одновременно участвует вторая диаметрально противоположная пара зубьев реечного зубчатого колеса и, кроме того, расчёт зубьев ведётся только из условий статической прочности вследствие медленного вращения реечного зубчатого колеса.

За величину наибольшего допустимого тягового усилия принимается наименьшее из трёх значений Q , рассчитанных по приведённым формулам для ходового винта, гайки и реечного зубчатого колеса.

Наибольшее допустимое усилие подачи P_x определяется по тяговому усилию с учётом трения в направляющих:

$$P_x = (Q - G) \frac{1}{k_1 \mu + k_2} \text{ кг},$$

где G — вес движущихся частей (супорта с фартуком) в кг;

$$k_1 = \frac{P_z}{P_x} \approx 3;$$

P_z — усилие резания в кг;

μ — приведённый коэффициент трения;
 $\mu \approx 0,15$;

k_2 — коэффициент, учитывающий влияние опрокидывающего момента; $k_2 \approx 1,15$.

Способы усиления «слабых звеньев станка

В случае, если приведённые выше расчёты покажут, что мощность, максимально допустимая тем или иным звеном станка, меньше мощности, вновь установленной для главного привода модернизируемого станка, производится усиление слабых звеньев.

Наиболее простым способом является изготовление слабого звена из другого, более прочного материала, но с сохранением прежней формы и размеров, например: замена чугунного зубчатого колеса стальным или замена углеродистой стали легированной, а также применение закалённой стали вместо незакалённой. Из других способов усиления слабых звеньев можно указать на следующие:

1) замена в зубчатых колёсах прямого зуба винтовым (косым), увеличение ширины, увеличение модуля при соответствующем уменьшении числа зубьев (для сохранения расстояния между валами), корригирование профиля (увеличение угла зацепления с 15 до 20° и применение укороченного зуба с высотой головки $h = 0,8 m$);

2) увеличение ширины ремня и шкивов, применение натяжного ролика для увеличе-

ния угла обхвата, замена плоскоремённой передачи клиноремённой;

3) увеличение числа дисков (пластин) в муфтах, чередование стальных пластин с текстолитовыми для увеличения коэффициента трения (сталь — текстолит); увеличение размеров конусов в муфтах, приклёпывание ленты ферродо на внутренний конус или изготовление его из текстолита;

4) увеличение диаметра и длины подшипников скольжения, улучшение смазки, замена подшипниками качения; замена другим номером или серией подшипников качения;

5) увеличение диаметров валов в зонах опасных сечений;

6) увеличение диаметра нарезки винтовых пар, удлинение гайки.

Повышение жёсткости и виброустойчивости

Для повышения жёсткости и виброустойчивости станков рекомендуется при модернизации проводить следующие основные мероприятия [5]:

1) балансировку быстровращающихся деталей (шкивы, патроны и т. п.);

2) расположение электродвигателей на отдельном основании с изоляцией последнего слоем шлака или золы;

3) применение бесконечных ремней вместо соединяемых;

4) тщательное укрепление фундаментных болтов (плавное затягивание гаек фундаментных болтов производится только после затвердевания цемента, т. е. через 5—7 дней);

5) уменьшение вылетов резцов и пиноли задней бабки;

6) введение дополнительных опор;

7) увеличение длины подшипников скольжения;

8) улучшение пригонки вкладышей подшипников шпинделя к корпусу или увеличение плотности посадки колец подшипников шпинделя;

9) применение вращающегося центра в виде шпинделя, встроеного в заднюю бабку (передняя часть пиноли должна иметь увеличенный диаметр для расположения подшипника достаточной грузоподъёмности);

10) уменьшение числа стыков за счёт сокращения дополнительных перемещений в станках;

11) устранение зазоров в супортах с расположением регулирующих клиньев и планок со стороны, противоположной нагружению;

12) повышение чистоты обработанных поверхностей и улучшение пригонки соприкасающихся поверхностей.

Механизация и автоматизация вспомогательных движений и приёмов управления станком

Эффективность скоростного резания металлов значительно повышается, если снижение машинного времени (в результате увеличения скорости резания) сопровождается одновременным проведением мероприятий по сокращению вспомогательного времени.

К указанным мероприятиям относятся:

1) установка специальных электродвигателей с редуктором для увеличения скорости холостых ходов супортов (у станков токар-

вой группы и карусельных станков) и стола (у поперечно-строгальных станков и станков фрезерной группы), увеличения скорости перемещения поперечины (у карусельных, продольно-строгальных и продольно-фрезерных станков), рукава (у радиально-сверлильных станков) и шлифовальной бабки (у шлифовальных станков);

2) оснащение супортов большими лимбами для отсчёта длин;

3) введение приспособлений для автоматического выключения подачи;

4) устройство кнопочных станций с магнитным пускателем для сокращения времени на приём «пуск — остановка» главного движения;

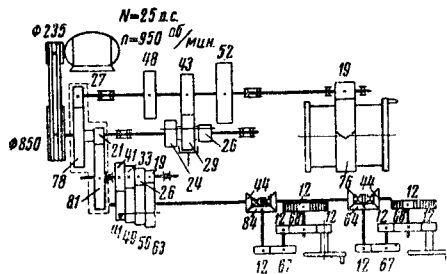
5) применение пневматических патронов;

6) установка тормоза для быстрой остановки шпинделя и изделия (например у шеечно-накатных станков).

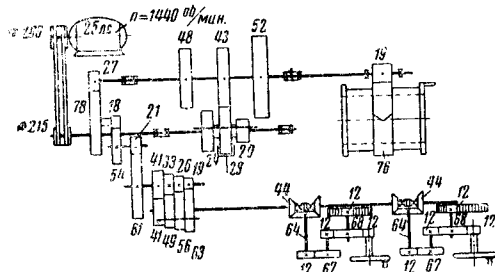
ПРИМЕРЫ МОДЕРНИЗАЦИИ СПЕЦИАЛЬНЫХ СТАНКОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА [3]

Модернизация осевого станка

На фиг. 84 и 85 показаны кинематические схемы станка до и после модернизации; результаты модернизации приведены в табл. 33.



Фиг. 84. Кинематическая схема осевого чистового станка до модернизации



Фиг. 85. Кинематическая схема осевого чистового станка после модернизации

Расчёт зубчатого колеса. Усилие резания при скоростном точении оси

$$P_z = C_p t^{x_p} s^{y_p};$$

принимая $t = 3 \text{ мм}$, $s = 0,5 \text{ мм/об}$, $\sigma_{нч} = 52 \div 62 \text{ кг/мм}^2$,

$$C_p = 165 \div 180, \quad x_p = 1, \quad y_p = 0,8,$$

Таблица 33

Характеристика станка до и после модернизации

Элементы характеристики	Единица измерения	Показатели	
		до модернизации	после модернизации
Электродвигатель:			
мощность . . .	л. с.	25	25
число оборотов . . .	об/мин.	950	1 440
диаметр шкива . . .	мм	235	260
Диаметр приводного шкива . . .	»	850	215
Числа оборотов шпинделя . . .	об/мин.	25; 33; 45	165; 220; 289
Подачи	мм/об	0,45; 0,7; 1,0; 1,5	0,15; 0,23; 0,33; 0,50

имеем

$$P_z = 165 \cdot 3 \cdot 0,5^{0,8} = 270 \text{ кг.}$$

Суммарное усилие при работе двумя супортами

$$P = 2P_z = 2 \cdot 270 = 540 \text{ кг.}$$

Крутящий момент

$$M_{кр} = \frac{PD}{2000} = \frac{540 \cdot 180}{2000} = 49 \text{ кгм}$$

(D — диаметр оси в подступичной части).

Потребная мощность электродвигателя

$$N_{э.д.} = \frac{M_{кр} n}{974 \eta_{ст}},$$

где n — максимальное число оборотов шпинделя в минуту;

$\eta_{ст}$ — к. п. д. станка (от электродвигателя до шпинделя);

$$N_{э.д.} = \frac{49 \cdot 289}{974 \cdot 0,85} = 17,2 \text{ квт} = 23,3 \text{ л. с.}$$

(имелся электродвигатель мощностью 25 л. с.).

Мощность, передаваемая рассчитываемым зубчатым колесом,

$$N_z = 25 \eta_z = 21,3 \text{ л. с.,}$$

где η_z — к. п. д. данного звена станка.

Модуль зубчатого колеса

$$m = \frac{25,4}{P} = \frac{25,4}{4} = 6,35 \text{ мм,}$$

где P — питч.

Число оборотов зубчатого колеса

$$n = 1440 \frac{260}{215} \cdot 0,98 \approx 1740 \text{ об/мин.}$$

Окружная скорость зубчатого колеса

$$v = \frac{\pi m z n}{60 \cdot 1000} = \frac{3,14 \cdot 6,35 \cdot 20 \cdot 1740}{60 \cdot 1000} = 11,5 \text{ м/сек.}$$

Допускаемая скорость для зубчатых колёс II класса

$$v_{доп} = 12 \div 15 \text{ м/сек};$$

следовательно,

$$v < v_{доп}.$$

Максимальное фактическое усилие, действующее на зуб зубчатого колеса,

$$P_{\phi} = 71\,620 \frac{N_z}{r n},$$

где r — радиус зубчатого колеса;

$$r = 0,5 m z = 0,5 \cdot 6,35 \cdot 20 = 63,5 \text{ мм};$$

$$P_{\phi} = 71\,620 \frac{21,3}{63,5 \cdot 1\,740} \approx 14 \text{ кг}.$$

Допускаемое усилие, которое может передать зубчатое колесо из расчёта на прочность по изгибным напряжениям, подсчитывается исходя из приведённой выше формулы

$$\sigma_u = \frac{455\,000 N}{m^2 z b y n k_v}.$$

Принимая

$$\sigma_u = R_{\sigma}$$

и учитывая, что

$$N = \frac{M n}{71\,620} = \frac{P_{доп} r n}{71\,620},$$

получим

$$R_{\sigma} = \frac{455\,000 P_{доп} r n}{71\,620 m^2 z b y n k_v},$$

откуда

$$P_{доп} = \frac{71\,620 m^2 z b y R_{\sigma} k_v}{455\,000 \cdot r};$$

$$b = 70 \text{ мм}; \quad y = 0,102;$$

$$R_{\sigma} = 35 \text{ кг/мм}^2;$$

$$k_v = \frac{P}{P + U b};$$

$$P = \frac{75 N}{v} = \frac{75 \cdot 21,3}{11,5} = 138 \text{ кг};$$

$$U = 0,025 v \sqrt{\frac{A \Delta}{i}}.$$

Подставляя соответствующие данные, получим:

$$A = \frac{m z_1 + m z_2}{2} = \frac{6,35 \cdot 20 + 6,35 \cdot 52}{2} = 230 \text{ мм};$$

$$\text{для } m = 6,35; \quad \Delta = 28; \quad i = \frac{52}{20} = 2,6;$$

$$U = 0,025 \cdot 11,5 \sqrt{\frac{230 \cdot 28}{2,6}} = 0,287 \cdot 48,8 \approx 14;$$

$$k_v = \frac{138}{138 + 14 \cdot 70} = \frac{138}{1\,118} \approx 0,124.$$

Подставляя найденные данные в формулу $P_{доп}$, получим:

$$P_{доп} = \frac{71\,620 \cdot 6,35^2 \cdot 20 \cdot 70 \cdot 0,102 \cdot 35 \cdot 0,124}{455\,000 \cdot 63,5} \approx 63 \text{ кг},$$

т. е.

$$P_{доп} = 63 \text{ кг} > P_{\phi} = 14 \text{ кг}.$$

Определим контактное напряжение на рабочих поверхностях зубьев также по приведённой выше формуле:

$$\sigma_{конт} = \frac{180\,000}{z m} \sqrt{\frac{i+1}{i b} \cdot \frac{N_z}{n} \cdot \frac{1}{k_v}};$$

$$\sigma_{конт} = \frac{180\,000}{20 \cdot 6,35} \sqrt{\frac{2,6+1}{2,6 \cdot 70} \cdot \frac{21,3}{1\,740} \cdot \frac{1}{0,124}} = \frac{180\,000}{20 \cdot 6,35} \cdot 0,044 = 64 \text{ кг/мм}^2.$$

Учитывая, что для зубчатых колёс, изготовленных из различных сталей,

$$R_{конт} = 45 \div 180 \text{ кг/мм}^2,$$

имеем

$$\sigma_{конт} < R_{конт}.$$

Расчёт подшипника скольжения ведущего патрона. Втулка подшипника скольжения ведущего патрона (шпинделя) работала до модернизации со средним числом оборотов $n = 33$ об/мин. (при мощности электродвигателя $N_{э.д} = 25$ л. с.).

После модернизации среднее число оборотов увеличилось до 220 об/мин. при той же мощности.

Давление на подшипник при условии передачи максимального крутящего момента

$$P = \frac{71\,620 N_z}{r n} = \frac{71\,620 \cdot 21,3}{21,5 \cdot 220} = 350 \text{ кг},$$

где $N_z = 21,3$ л. с.;

r — рабочий радиус подшипника в см.
Проекция опоры

$$d l = 43 \cdot 28 = 1\,200 \text{ см}^2,$$

где d — рабочий диаметр подшипника в см;

l — длина подшипника в см.

Удельное давление

$$p = \frac{P}{d l} = \frac{350}{1\,200} \approx 0,29 \text{ кг/см}^2.$$

Окружная скорость ведущего патрона

$$v = \frac{\pi d n}{1\,000 \cdot 60} = \frac{\pi \cdot 40 \cdot 220}{1\,000 \cdot 60} \approx 4,9 \text{ м/сек}.$$

$$p v = 0,29 \cdot 4,9 = 1,42 \text{ кгм/см}^2 \text{сек}.$$

По данным, приведённым в табл. 31, следует, что для бронзовых вкладышей и незакалённых стальных шеек допускается $v = 4 \div 5$ м/сек и

$$p v = 50 \div 60 \text{ кгм/см}^2 \text{сек}.$$

Это показывает, что данный узел допускает нагрузку при новом режиме работы.

Модернизация шеечно-накатного станка

Главное движение (вращение колёсной пары) на станке осуществляется от отдельного электродвигателя. Обрабатываемая колёсная пара получает вращение при помощи ремня, надеваемого непосредственно на поверхность катания бандажа.

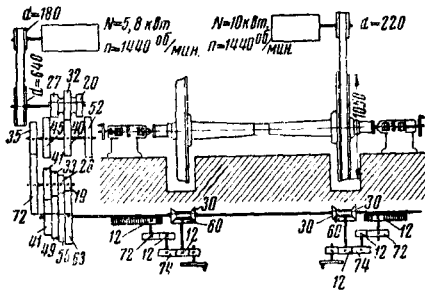
Подача супортов осуществляется от другого электродвигателя.

Благодаря наличию коробки подач супорты станка могут иметь 12 различных подач (от 0,56 до 3 мм/об).

На станке производится обточка шеек и предподступичных частей оси вагонной колёсной пары, а также накатки шеек и галтелей роликами.

При модернизации станка (фиг. 86) были проведены следующие мероприятия:

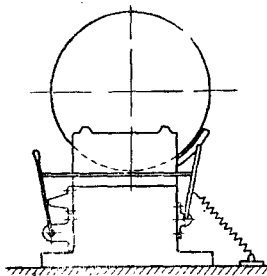
- 1) взамен электродвигателя главного движения мощностью 3,6 кВт с числом оборотов 960 в минуту был поставлен новый мощностью 10 кВт с числом оборотов 1440 в минуту;
- 2) увеличен диаметр шкива электродвигателя со 130 до 220 мм.



Фиг. 86. Кинематическая схема модернизированного шеечно-накатного станка

Проведение указанных мероприятий позволило повысить число оборотов колёсной пары со 120 до 300 об/мин.

Кроме того, был спроектирован и установлен специальный колодочный тормоз (фиг. 87)



Фиг. 87. Схема работы тормоза для быстрой остановки колёсной пары после окончания обработки на модернизированном шеечно-накатном станке

для ускорения остановки колёсной пары после окончания обработки.

При осуществлении модернизации были произведены необходимые расчёты слабых узлов станка (подшипников вращающихся центров, элементов механизма подачи и т. п.).

Ниже приводится расчёт подшипников вращающихся центров.

Подшипник рассчитывается на долговечность работы по формуле

$$(nh)^{0,3} = \frac{C}{Q} \text{ (см. выше).}$$

На центр задней бабки действуют:

- 1) усилие от веса колёсной пары $\frac{G}{2}$;
- 2) усилие резания P_z , а также радиальное и осевое усилия P_y и P_x ;
- 3) усилие от натяжения ремня T ;
- 4) усилие от нажатия пиноли при закреплении колёсной пары на станке P'_x .

Расчёт радиально-упорного подшипника производится с учётом суммарной радиальной силы P и суммарной осевой силы A при числе оборотов подшипника $n = 300$ об/мин.

Суммарная радиальная сила P определяется по известному правилу геометрического сложения сил P_z , P_y , T и $\frac{G}{2}$:

$$P \approx 600 \text{ кг.}$$

Суммарная осевая сила A равна сумме сил P_x (усилие подачи) и P'_x (нажатие пиноли):

$$A = P_x + P'_x.$$

Усилие подачи

$$P_x = 0,25 \cdot P_z; \quad P_{z \text{ макс}} = 180 \text{ кг;}$$

$$P_x = 0,25 \cdot 180 = 45 \text{ кг.}$$

Усилие от нажатия пиноли P'_x найдём из уравнения

$$M = Pl = P'_x \frac{d_{cp}}{2} \operatorname{tg}(\alpha + \rho),$$

откуда

$$P'_x = \frac{Pl}{\frac{d_{cp}}{2} \operatorname{tg}(\alpha + \rho)}.$$

где P — усилие станочника, приложенное на маховичке задней бабки;

l — плечо приложения силы станочника;

d_{cp} — средний диаметр резьбы винта пиноли;

α — угол подъёма винтовой линии (резьбы);

ρ — угол трения между винтом и гайкой.

Принимаем приближённо: $P = 10 \text{ кг}$, $l = 200 \text{ мм}$, $d_{cp} = 46 \text{ мм}$;

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{S}{\pi d_{cp}},$$

где $S = 6,5 \text{ мм}$ — шаг резьбы;

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{6,5}{\pi \cdot 46} = 0,045; \quad \alpha = 2^\circ 35';$$

$$\operatorname{tg} \rho = \mu,$$

где μ — коэффициент трения (для материалов сопрягающихся деталей);

$$\rho = 6^\circ; \quad \operatorname{tg}(\alpha + \rho) = \operatorname{tg} 8^\circ 35' = 0,15;$$

$$P'_x \approx \frac{Pl}{\frac{d_{cp}}{2} \operatorname{tg}(\alpha + \rho)} =$$

$$= \frac{10 \cdot 200}{23 \cdot 0,15} = 580 \text{ кг.}$$

Суммарная осевая нагрузка на подшипник

$$A = P_x + P'_x = 45 + 580 = 625 \text{ кг.}$$

Суммарная максимальная нагрузка на наиболее нагруженный радиально-упорный подшипник (расположенный вблизи торца цин-ли) определяется по формуле

$$Q = 0,6P + 1,55A \text{ (см. выше);}$$

$$Q = 0,6 \cdot 600 + 1,55 \cdot 625 = 360 + 968 \approx 1\,330 \text{ кг.}$$

Коэффициент работоспособности

$$C = Q (nh)^{0,3} = 1\,330 (300 \cdot 5\,000)^{0,3} =$$

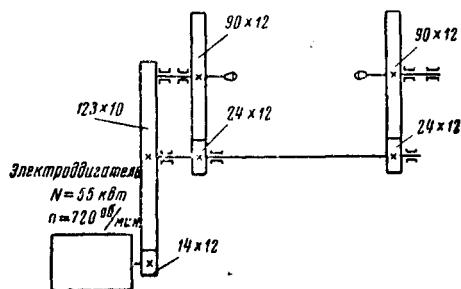
$$= 95\,300.$$

На станке установлен подшипник серии 7315, имеющий $C = 194\,000$, допускающий условную нагрузку $Q = 26\,000$ кг при $n = 350$ об/мин. и долговечности $h = 5\,000$ час.

Проведённые расчёты показывают, что подшипник допускает работу на модернизированном станке при $n = 300$ об/мин.

Модернизация колёсно-токарного станка

На фиг. 88 показана кинематическая схема главного привода колёсно-токарного станка Краматорского завода тяжёлого станкостроения (КЗТС) модели 1933 (фиг. 51), предназна-



Фиг. 88. Схема модернизации колёсно-токарного станка модели 1936

чаемого после модернизации для скоростной обточки бандажей вагонных и тендерных колёсных пар по профилю катания.

Привод станка до модернизации осуществлялся от электродвигателя мощностью 32 кВт с числом оборотов 950 в минуту.

Станок имеет следующие 12 различных чисел оборотов планшайбы: 0,75; 0,95; 1,18; 1,58; 1,9; 2,35; 3; 3,75; 4,75; 6; 7,5; 9,5 об/мин.

При диаметре бандажей вагонных и тендерных колёсных пар по кругу катания 1 050 мм максимальная скорость резания, которая может быть получена при обточке, составляет всего 31,3 м/мин.

Для обеспечения условий скоростного резания станок был модернизирован.

На фиг. 83 видно, в чём состояли изменения механизма главного привода:

1) установлен электродвигатель мощностью 55 кВт с числом оборотов 720 в минуту;

2) движение передаётся от электродвигателя не через коробку скоростей, а непосредственно на зубчатое колесо главного вала (123 × 10), а с этого вала обычным путём через зубчатые колёса 24 × 12 на зубчатые колёса, связанные с планшайбами станка (90 × 12).

Единственной деталью, которую необходимо изготовить вновь при модернизации станка, является зубчатое колесо 14 × 10, устанавливаемое на вал электродвигателя и сцепленное с зубчатым колесом главного вала (123 × 10). Последнее находится одновременно в зацеплении с зубчатым колесом 23 × 10, установленным на последнем валу коробки скоростей (фиг. 51).

При скоростной обточке бандажей колёсных пар с использованием модернизированной схемы главного движения зубчатые колёса коробки скоростей (20 × 8 и 50 × 8) должны быть установлены в нейтральное положение.

Таким образом, число оборотов планшайбы модернизированного станка повышается до 22 об/мин., а скорость резания — до 72,5 м/мин.

Кроме того, за счёт уменьшения числа зубчатых колёс, находящихся одновременно в зацеплении, коэффициент полезного действия станка после модернизации повышается с 0,75 до 0,85.

В случае необходимости на станке можно работать по старой кинематической схеме.

Результаты проведённых расчётов вновь изготовленного зубчатого колеса, установленного на валу электродвигателя, а также подшипников скольжения шпинделей планшайб, валов и т. п. свидетельствуют о том, что режимы работы по модернизированной схеме допустимы, а поэтому никакого усиления эти звенья не требуют.

Новое зубчатое колесо ($z = 14$; $m = 10$) по расчётам имеет изгибные и контактные напряжения, не превышающие допустимых для сталей.

Использование существующих резервов на станках

Для первого этапа перевода некоторых станков на скоростное резание требуется лишь постановка электродвигателя большей мощности.

Подобным примером могут служить некоторые карусельные станки, например для расточки бандажей.

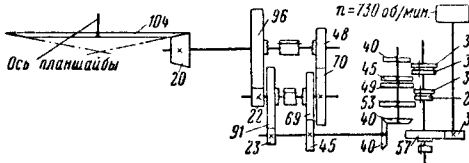
Учитывая значительный диаметр внутренней поверхности бандажей и их материал, скоростная расточка может быть обеспечена для вагонных и тендерных колёсных пар, начиная уже с 25–30 оборотов планшайбы в минуту и для бандажей локомотивов — с 15–20 об/мин.

Однако и в том случае, когда переведённые на скоростное резание карусельные станки работают при числах оборотов, не превыша-

ющих паспортные, проведение поверочных расчётов звеньев этих станков всё же необходимо в связи с увеличением мощности резания.

Ниже приводится поверочный расчёт малого конического зубчатого колеса, передающего вращательное движение планшайбе карусельного станка для расточки бандажей (фиг. 89).

$$\sigma_{\text{конт}} = \frac{180\,000}{20 \cdot 12} \sqrt{\frac{5,2+1}{5,2 \cdot 150} \cdot \frac{23,3 \cdot 1}{23,1 \cdot 5,2 \cdot 0,8}} \approx 33,5 \text{ кг/мм}^2.$$



Фиг. 89. К расчёту зубчатого колеса

Контактное напряжение на рабочих поверхностях зубьев:

$$\sigma_{\text{конт}} = \frac{180\,000}{z m_{cp}} \sqrt{\frac{i+1}{ib} \cdot \frac{N}{n} \cdot \frac{1}{k_v}};$$

$$k_v = \frac{P}{P + Ub};$$

$$U = 0,025v \sqrt{\frac{A \Delta}{i}};$$

$$A = L - 0,5b,$$

где L — длина образующей начального конуса;

$$i = \frac{104}{20} = 5,2;$$

$$v = \frac{3,14 \cdot 1\,300 \cdot 23,1}{1\,000 \cdot 60} \approx 1,58 \text{ м/сек.}$$

Учитывая, что зубья зубчатых колёс будут больше всего нагружены в период совмещения переходов черновой расточки внутренней поверхности бандажа и проточки внутренней торцевой грани, все данные для расчёта берутся исходя из указанного периода:

$$A = 730 - 0,5 \cdot 150 = 655 \text{ мм};$$

$$\Delta = 35;$$

$$U = 0,025 \cdot 1,58 \sqrt{\frac{655 \cdot 35}{5,2}} \approx 2,55.$$

Для указанных переходов расточки бандажа имеем данные, приведённые в табл. 34.

Мощность, расходуемая на черновую расточку внутренней поверхности, принята исходя из числа оборотов планшайбы 23,1 об/мин.

Потребная мощность на два совмещённых указанных перехода при $n = 23,1$ об/мин будет:

$$N = 14,8 + 8,5 = 23,3 \text{ л. с.}$$

Окружная сила на зубьях зубчатого колеса

$$P = \frac{2M}{D} = \frac{2(460 + 260)}{1,3} \approx 1\,110 \text{ кг};$$

$$k_v = \frac{1\,110}{1\,110 + 2,55 \cdot 150} = 0,8.$$

Тогда

Таким образом, $\sigma_{\text{конт}} < R_{\text{конт}}$ (см. табл. 23).

Напряжение изгиба

$$\sigma_u = \frac{455\,000 N}{m^2 z b y n k_v}.$$

Коэффициент формы зуба определяется по условному числу зубцов z_i .

Для прямозубых конических колёс

$$z_i = \frac{z}{\cos \beta} = \frac{20}{\cos 11^\circ} = 0,981 \approx 22.$$

Тогда

$$\sigma_u = \frac{455\,000}{12^2 \cdot 20 \cdot 150 \cdot 0,105} \times$$

$$\times \frac{23,3}{23,1 \cdot 5,2} \cdot \frac{1}{0,8} \approx 7,35 \text{ кг/мм}^2;$$

$$\sigma_u < R_g \text{ (см. табл. 23).}$$

Таблица 34

Усилие резания, крутящий момент и мощность резания при обработке бандажа на карусельном станке

Наименование перехода	P_z в кг	M в кгм	N_z в л. с.
Черновая расточка внутренней поверхности	1 020	460	14,8
Проточка внутренней торцевой грани	500	260	8,5

КРАТКИЕ СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ ПО ПАСПОРТИЗАЦИИ СТАНКОВ

Кинематический расчёт паспортизируемого станка состоит из определения чисел оборотов, чисел двойных ходов, скоростей главного движения, величин подач, скоростей быстрых перемещений, шагов нарезаемых резьб и данных настройки всех гитар. В динамический и поверочный расчёты входят: определение к. п. д. станка, расчёт полезных усилий, крутящих моментов и мощности, определение слабых звеньев станка и наибольших усилий, допускаемых механизмом подачи.

Важнейшим разделом паспортизации является составление подробной кинематической схемы станка с заполнением всех необ-

ходимых для расчёта данных (размеров шкивов, ремней, числа зубьев зубчатых колёс, заходности червяков, шагов винтов и т. п.).

При составлении паспортов станков следует пользоваться соответствующими пособиями.

Кинематический расчёт коробок скоростей производят с помощью структурных сеток и графиков чисел оборотов (графиков n).

Графики чисел оборотов строят для реальных чисел оборотов шпинделя станка в минуту. Такие графики позволяют выбирать оптимальные числа оборотов приводного и промежуточных валов коробок скоростей, а также оптимальные передаточные отношения отдельных зубчатых пар или других передач.

Составление графиков основано на логарифмировании геометрического ряда чисел оборотов или подач. Если $n_1 = n_{\min}$, то последующие числа оборотов будут:

$$n_2 = n_1 \varphi; \quad n_3 = n_2 \varphi = n_1 \varphi^2;$$

$$n_4 = n_3 \varphi = n_1 \varphi^3 \text{ и т. д.}$$

Следовательно,

$$n_{\max} = n_{\min} \varphi^{z-1},$$

где z — число ступеней (скоростей) коробки;

n_{\min} и n_{\max} — наименьшее и наибольшее числа оборотов шпинделя.

Таким образом, знаменатель геометрического ряда

$$\varphi = \sqrt[z-1]{\frac{n_{\max}}{n_{\min}}}.$$

Логарифмируя геометрический ряд чисел оборотов, получим:

$$\lg n_2 = \lg n_1 + \lg \varphi;$$

$$\lg n_3 = \lg n_2 + \lg \varphi;$$

$$\lg n_4 = \lg n_3 + \lg \varphi \text{ и т. д.,}$$

т. е. если в логарифмическом масштабе откладывать n , то интервалы между соседними числами оборотов будут постоянными и равными $\lg \varphi$.

С другой стороны, передаточное отношение пары зубчатых колёс кинематической цепи, построенной по геометрическому ряду, можно выразить в зависимости от φ . Например, при $n_{\text{ведущ}} = n_5$ и $n_{\text{ведом}} = n_3$, получим

$$i = \frac{n_3}{n_5} = \frac{n_1 \varphi^2}{n_1 \varphi^4} = \frac{1}{\varphi^2}$$

или в общем виде будем иметь для понижающей и повышающей цепей:

$$i_{\min} = \frac{1}{\varphi^x} \text{ и } i_{\max} = \varphi^x,$$

где x — целое число.

В соответствии с этим нетрудно выразить графически значения передаточных отношений зубчатых колёс коробок скоростей.

При передаточном отношении пары зубчатых колёс $i = 1$ луч между ведущим и ведомым валами в графическом виде должен быть проведён горизонтально (при вертикальном изображении валов). Если же $i = \varphi^x$ (больше единицы), луч будет направлен вверх, так как число оборотов второго вала больше первого.

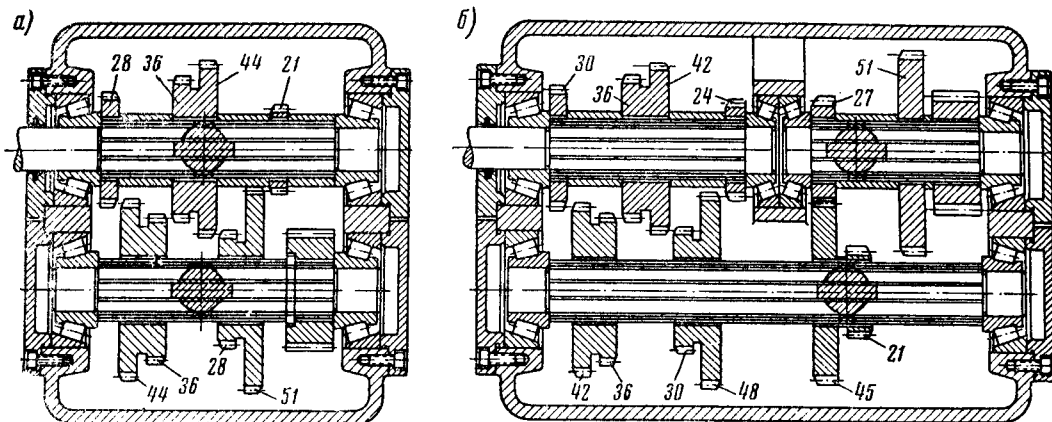
При $i = \frac{1}{\varphi^x}$ (меньше единицы) луч пойдёт вниз. Так, для двухвальной коробки скоростей на 4 ступени (фиг. 90, а) проведём две вертикали соответственно двум валам на некотором расстоянии (фиг. 91, а). На первой вертикали имеем одну точку, а на другой — 4, соответственно 4 ступеням (расстояния между точками по вертикали одинаковые, так как они равны $\lg \varphi$). Значения i в зависимости от φ следующие.

$$i_1 = \frac{44}{28} = 1,57 = \varphi;$$

$$i_2 = \frac{36}{36} = 1;$$

$$i_3 = \frac{28}{44} = \frac{1}{1,57} = \frac{1}{\varphi};$$

$$i_4 = \frac{21}{51} = \frac{1}{2,44} \approx \frac{1}{\varphi^2}.$$



Фиг. 90. Коробки скоростей на 4 и 8 ступеней

Соответственно имеющимся значениям i проводим лучи из точки первого вала к точкам второго вала, причём один из них пойдёт по горизонтали ($i_2 = 1$), второй — вверх ($i_1 = \varphi$), третий и четвёртый — вниз

$$\left(i_3 = \frac{1}{\varphi} \text{ и } i_4 = \frac{1}{\varphi^2}\right).$$

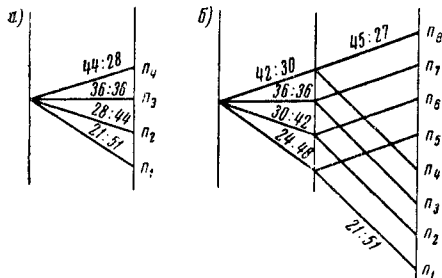
Для построения графика чисел оборотов коробки скоростей на 8 ступеней (фиг. 91) находим i в зависимости от φ , т. е.:

$$i_{\max} = \frac{42}{30} = 1,4 \approx \varphi;$$

$$\frac{36}{36} = 1; \quad \frac{30}{42} = \frac{1}{1,4} = \frac{1}{\varphi};$$

$$\frac{24}{48} = \frac{1}{2} = \frac{1}{\varphi^2}; \quad \frac{45}{27} = 1,67 \approx \varphi;$$

$$\frac{21}{51} = \frac{1}{2,44} \approx \frac{1}{\varphi^3}.$$



Фиг. 91. Графики чисел оборотов для коробки скоростей на 4 и 8 ступеней

Так как данная коробка скоростей имеет три вала, проводим три вертикали на одинаковом расстоянии между ними (фиг. 91, б). Между первым и вторым валами должны быть проведены 4 луча, из которых один горизонтальный, другой — вверх (на φ) и два вниз ($\frac{1}{\varphi}$ и $\frac{1}{\varphi^2}$). Между вторым и третьим валами имеются два передаточных отношения: $i = \frac{45}{27}$ и $i = \frac{21}{51}$.

Следовательно, из каждой точки второго вала нужно провести два луча: один вверх и один вниз соответственно имеющимся передаточным отношениям

$$\left(\frac{45}{27} = \varphi \text{ и } \frac{21}{51} = \frac{1}{\varphi^3}\right).$$

На фиг. 2 дана кинематическая схема коробки скоростей станка 1Д62М. График чисел оборотов шпинделя станка (фиг. 3) построен следующим образом. Проведены шесть вертикальных линий соответственно шести валам коробки скоростей.

Построение графика для многоступенчатой коробки скоростей удобнее начинать с последних валов, охватывая сразу весь диапазон ступеней.

Между валами VI и VII имеется передача $\frac{32}{64} = \frac{1}{2} = \frac{1}{\varphi^x}$, откуда $\varphi^x = 2$. Так как знаменатель геометрической прогрессии ряда чисел оборотов

$$\varphi = \sqrt[x]{\frac{n_{\max}}{n_{\min}}} = \sqrt[17]{\frac{600}{12}} = 1,26,$$

то при $\varphi^x = 2$ имеем

$$x = \frac{\lg 2}{\lg 1,26} = 3.$$

Следовательно, на валу VI от нижней точки откладываем три интервала φ и проводим наклонную линию со значением

$$i = \frac{32}{64} = \frac{1}{2} = \frac{1}{\varphi^3}.$$

Количество теоретических ступеней на каждом валу коробки скоростей следующее: на валу II — 1 ступень, на валу III — 2, на валу IV — $2 \times 3 = 6$, на валу V — $6 \times 2 = 12$, на валах VI и VII — $12 \times 2 = 24$. Между валами IV и VI имеем не четыре, а три фактических передаточных отношения:

$$\left(i_1 = \frac{20}{80} = \frac{1}{4}; i_2 = \frac{20 \cdot 50}{80 \cdot 50} = \frac{1}{4}; i_3 = \frac{50}{50} = 1 \text{ и } i_4 = \frac{20 \cdot 20}{80 \cdot 80} = \frac{1}{16}\right),$$

так как одно из них $\left(\frac{1}{4}\right)$ повторяется. Поэтому на валах VI и VII будет $6 \times 3 = 18$ ступеней.

Соответственно этому проводим 18 параллельных линий между валами VI и VII со значением $i = \frac{1}{\varphi^3}$.

Между валами V и VI имеем два передаточных отношения:

$$\left(i_1 = \frac{50}{50} = 1 \text{ и } i_2 = \frac{20}{80} = \frac{1}{4}\right); \quad \frac{1}{4} = \frac{1}{\varphi^x},$$

откуда $\varphi^x = 4$ и

$$x = \frac{\lg 4}{\lg \varphi} = 6.$$

Так как на валу V имеем 12 ступеней, то на соответствующей вертикали будет 12 точек, из которых проводят 12 горизонтальных линий ($i_1 = 1$) и 12 наклонных

$$\left(i_2 = \frac{20}{80} = \frac{1}{\varphi^6}\right).$$

На валу IV имеем 6 ступеней, или 6 точек. Передаточные отношения зубчатых колёс между валами IV и V:

$$i_1 = \frac{20}{80}, i_2 = \frac{50}{50}.$$

Соответственно этому проводят 6 горизонтальных и 6 наклонных линий

$$\left(i_1 = \frac{20}{80} = \frac{1}{4}\right).$$

На валу III за счёт двойного передвижного блока имеем две ступени, т. е. соответственно две точки. Передаточные отношения зубчатых колёс между валами III и IV:

$$i_1 = \frac{36}{36} = 1; i_2 = \frac{28}{44} = \frac{1}{\varphi^2} \text{ и } i_3 = \frac{20}{52} = \frac{1}{\varphi^4}.$$

Следовательно, из каждой точки вала III проводят по три линии: горизонтальную

($i_1=1$), наклонную ($i_2 = \frac{1}{\varphi^2}$) и вторую наклонную ($i_3 = \frac{1}{\varphi^4}$).

На валу II — одна ступень. Передаточные отношения зубчатых колёс между валами II и III:

$$i_1 = \frac{51}{39} = \varphi, i_2 = \frac{56}{34} = \varphi^2.$$

Поэтому из точки вала II линии передаточных отношений проведены вверх.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ

При работе на металлорежущих станках необходимо соблюдение следующих основных условий техники безопасности производства работ:

1) надёжное ограждение кожухами и экранами быстровращающихся частей (изделия, шкивы, ремни, хомутки, режущие инструменты и т. п.);

2) применение стружколомателей или стружкозавивателей в виде специальных накладок, уступов, канавок и т. п.;

3) надёжное закрепление обрабатываемых изделий и режущих инструментов;

4) тщательное наблюдение за исправностью станка (не допускать чрезмерного нагрева подшипников передней бабки, менять вовремя изношенные центры и т. п.);

5) проведение перед работой балансировки несимметричных изделий;

6) проведение тщательного инструктажа станочников.

Станочник, работающий на станке, в особенности при высоких скоростях резания, должен:

а) производить соприкосновение режущего инструмента с обрабатываемым металлом осторожно, без удара, и только после соприкосновения включать самоход;

б) пользоваться очками или экраном для защиты от стружки;

в) держать в чистоте рабочее место; систематически убирать стружку, не допуская её скопления на станке и около него;

г) удалять стружку крючком, а не руками;

д) останавливать станок при установке и снятии детали и инструмента, при выводе инструмента из-под стружки, при промерах изделия, при чистке и смазке станка, а также при уборке стружки;

е) привести в порядок одежду: завязать рукава у кисти, закрыть длинные волосы гладким головным убором; не носить одежды нараспашку и т. п.;

ж) не тормозить руками шкив, патрон, планшайбу, оправку, деталь и другие вращающиеся части.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Ачеркан Н. С. Расчёт и конструирование металлорежущих станков. Машгиз, М., 1952.
2. Дикущий В. И. Основные данные для проектирования металлорежущих станков. «Машиностроение». Энциклопедический справочник, т. 9. Машгиз, М., 1949.
3. Зобнин Н. П., Юдин Д. Л., Хапко В. У. Скоростные методы обработки элементов колёсных пар. Сборник трудов МЭМИИТ, вып. 61. Трансжелдориздат, М., 1952.
4. «Машиностроение». Энциклопедический справочник, т. 9. Машгиз, М., 1949.
5. Модернизация и рациональное использование станков для работы твёрдыми сплавами. Вып. 1—4. Машгиз, М., 1949.
6. «Паровозник» № 2, 1937.
7. Решетов Д. Н. Расчёт деталей станков. Машгиз, М., 1950.
8. Руководство по паспортизации металлорежущих станков. Металлургиздат, М., 1948.
9. Специализированные станки в машиностроении. Машгиз, М.—Л., 1949.
10. Хаймович Е. М. Гидроавтоматика копировальных станков. Гостехиздат УССР, 1950.

НАКАТЫВАНИЕ РОЛИКАМИ



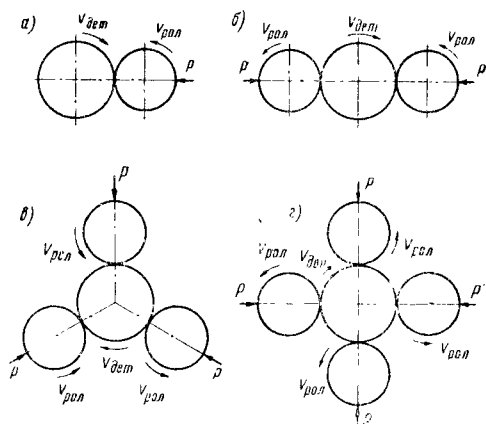
ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Накатыванием роликами деталей машин называют процесс механической обработки без снятия стружки при помощи стальных закалённых роликов, находящихся в контакте с обрабатываемой поверхностью под определённым давлением и имеющих соответствующую геометрическую форму рабочей части.

На железнодорожном транспорте накатывание роликами шеек вагонных осей подвижного состава с целью получения чистой поверхности применяют уже более чем 20 лет.

Простота процесса накатывания не требует значительных затрат на его внедрение и позволяет применять его в депо, мастерских, ремонтных и машиностроительных заводах МПС, а также МТ и ТМ.

Накатывание роликами деталей подвижного состава железнодорожного транспорта может осуществляться в основном по приведённым ниже схемам одним, двумя, тремя и четырьмя роликами (фиг. 1).



Фиг. 1. Схемы процесса накатывания посредством одного, двух, трёх и четырёх роликов

Главное движение в этом процессе — вращение накатываемой детали и вспомогательное движение — подача роликов вдоль оси вращающегося накатываемого изделия, осуществляются соответствующими механизмами станка, на котором производится накатывание.

Сущность процесса накатывания роликами в основном заключается в том, что по-

верхностный слой металла накатываемой детали подвергается пластической деформации, в результате которой в этом слое возникает наклёп и остаточные внутренние напряжения, а накатанная поверхность получает полированный вид с чистотой 8—9-го класса.

Сочетание в поверхностном слое металлической детали наклёпа, остаточных внутренних напряжений и высокого класса чистоты, полученных в результате накатывания роликами, вызывает значительное повышение усталостной прочности, износоустойчивости и долговечности деталей подвижного состава.

Степень наклёпа, глубина наклёпанного слоя металла и величина остаточных напряжений в накатанном слое зависят от качества металла и формы поверхности накатываемой детали, формы рабочей поверхности роликов и режима накатывания.

Вследствие различных значений характеристик наклёпанного слоя металла и остаточных внутренних напряжений, получаемых от накатывания роликами, имеют место и различные значения повышения прочности, износоустойчивости и долговечности.

Несмотря на сравнительно большой период, в течение которого применяется накатывание роликами для получения чистой поверхности, достаточного теоретического обоснования явлений упрочнения, возникающего в результате этого процесса, до сих пор ещё нет. Проведённые исследования и опыты ЦНИИ, ЦНИИТМаш, МЭМИИТ, литейно-механического завода МПС, Пролетарского паровозоремонтного завода, паровозостроительных заводов и других организаций, однако, дают возможность в известной степени выбирать необходимые данные процесса накатывания деталей машин с целью получения высокого класса чистоты обработанной поверхности, повышения усталостной прочности, износоустойчивости и долговечности.

На железнодорожном транспорте накатывание роликами может широко применяться:

1) как средство получения высокого класса чистоты и высокой сопротивляемости износу трущихся поверхностей деталей подвижного состава, таких, как шейки осей, пальцы, а также подобных поверхностей других машин и механизмов;

2) как средство упрочнения деталей подвижного состава и других машин, как средство повышения долговечности осей вагонов и локомотивов, а тем самым и повышения без-

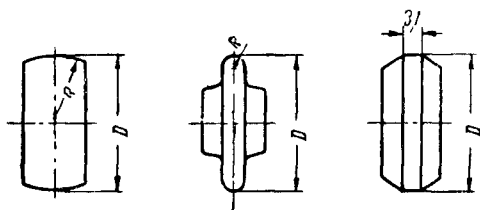
опасности движения. Эти детали, как известно, работают с высокими степенями концентрации напряжений, а накатка в таких условиях даёт ещё больший эффект упрочнения.

ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ НАКАТЫВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Инструментом для накатывания является ролик или несколько роликов, имеющих определённую форму, высокий класс чистоты, достаточно высокую твёрдость и износостойчивость рабочей поверхности.

В зависимости от цели накатывания форма рабочей поверхности роликов может быть разной.

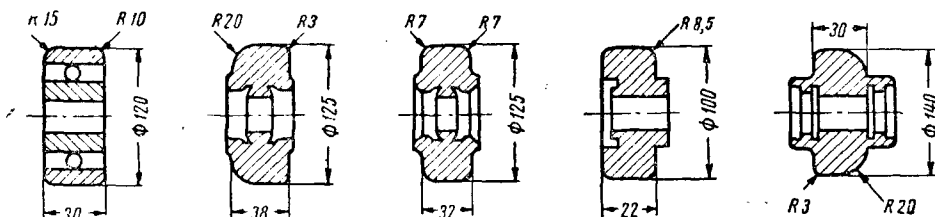
В практике известно много разных конструкций роликов для получения чистой поверхности шейки оси или вала. Принципиальные схемы некоторых, наиболее часто встречающихся роликов приведены на фиг. 2.



Фиг. 2. Принципиальные схемы конструкций роликов для накатывания

Диаметр ролика устанавливают исходя из местных условий работы. Радиусы закругления выбирают в зависимости от радиусов галтелей шеек осей, валов и пальцев кривошипа. При двух разных радиусах на одном и том же ролике (с двух сторон) накатывают две галтели шейки. Степень наклёпа и глубина наклёпанного слоя галтелей, а также цилиндрической поверхности шеек при этом окажется разной.

В одном ролике таким образом сосредоточивают (фиг. 3) различные формы рабочей поверхности, но это создаёт неравномерное качество накатанной поверхности на всей шейке. Поэтому накатывать галтели следует

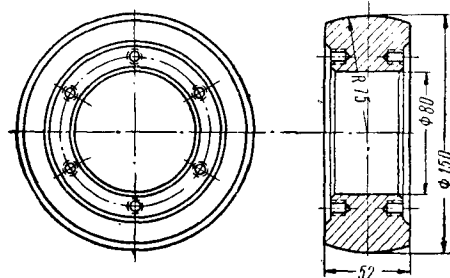


Фиг. 3. Схемы конструкций роликов для накатывания осей и других деталей

роликами специальной формы, чтобы чистота, степень наклёпа (повышение твёрдости) и глубина наклёпанного слоя были такими, которые необходимы для повышения сопротивляемости износу и усталостной прочности (фиг. 5—7). Например, для повышения твёр-

дости и глубины наклёпанного слоя металла обрабатываемой поверхности шейки оси и её галтелей применяют ролики с малыми контурными радиусами, а для получения более высокого класса чистоты обработанной поверхности с помощью накатывания роликами необходимо применять ролики с большими контурными радиусами.

Для повышения усталостной прочности и долговечности детали (оси, пальцы кривошипа и др.) накатывают роликами, рабочая поверхность которых может иметь форму, указанную на фиг. 4. При этом диаметр ролика D



Фиг. 4. Схема конструкции роликов для накатывания подступичных частей осей и подобных им других деталей подвижного состава железных дорог

может быть близким диаметру накатываемой детали (от $\frac{3}{4} D$ и до $1 D$), а так называемый контурный радиус R выбирают в зависимости от требований к накатанной поверхности (чистота, степень наклёпа, глубина наклёпанного слоя). При исследовании накатывания вагонных и тендерных осей применялись ролики $D=150$ мм и контурный радиус $R=75$ мм, т. е. рабочая поверхность такого ролика представляла собой сферу диаметром 150 мм.

Материалом для изготовления роликов служит преимущественно легированная сталь марок ШХ15, ХВГ, 5ХНМ и др., а также углеродистая инструментальная сталь У10А и У12А, У10 и У12.

Ролики необходимо подвергать закалке при соответствующей температуре с последующим обычным отпуском. Затем рабочую поверхность роликов шлифуют и полируют до

нужных размеров. Твёрдость рабочей поверхности ролика должна быть H_{RC} в пределах 60—65, а чистота рабочей поверхности 8—10-го класса по ГОСТ 2789-51.

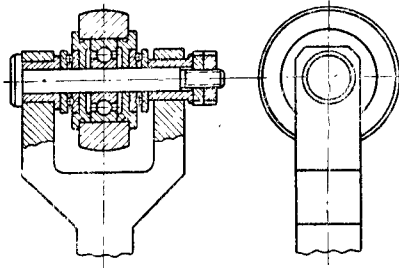
Изготовленные таким образом ролики обеспечивают длительную работу без заметного

износа. Впоследствии, если ролик заметно износился, его следует перешлифовать и затем снова полировать. Такие перешлифовки и полировки можно делать многократно. Практически один комплект может служить много лет.

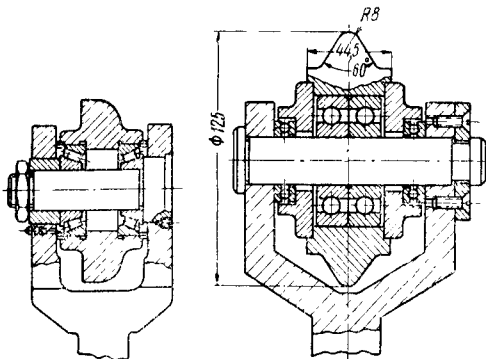
ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ НАКАТЫВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И ДРУГИХ МАШИН

Для осуществления накатывания осей, пальцев и других деталей указанные выше ролики монтируют в специальных, достаточно простых приспособлениях и державках.

Практически приспособления для накатывания с целью получения высокого класса чистоты применяют однороликовые (фиг. 5—7), двухроликовые (фиг. 8 и 9) и трёхроликовые (фиг. 10).

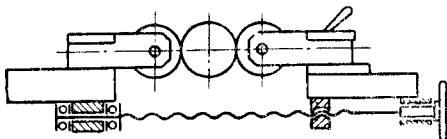


Фиг. 5. Однороликовая державка (МВТУ)



Фиг. 6. Однороликовая державка, применяемая при накатке шеек осей

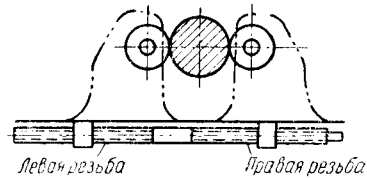
Фиг. 7. Однороликовая державка, применяемая при накатке галтелей



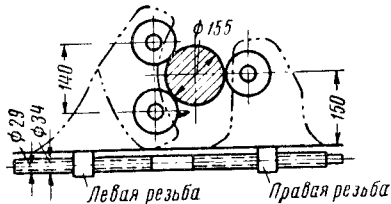
Фиг. 8. Схема приспособления для накатывания посредством двух однороликовых державок, закрепляемых в заднем и переднем суппортах

Лучшие из них — трёхроликовые приспособления.

Однороликовые, а иногда и двухроликовые приспособления страдают недостатками, заключающимися в том, что в процессе накатывания одним роликом или неправильно установленными двумя роликами возникает



Фиг. 9. Схема приспособления для накатывания посредством двух роликов



Фиг. 10. Схема приспособления для накатывания шеек осей посредством трёх роликов

значительная перегрузка центров, в которых крепится накатываемое изделие, а при недостаточном диаметре его возникает и значительный прогиб, вследствие которого ухудшается чистота накатанной поверхности.

Для повышения усталостной прочности и долговечности желательно применять, как правило, трёхроликовые приспособления (фиг. 11). Для накатывания галтелей дополнительно к приспособлению, приведённому на фиг. 11, применяют однороликовую державку (см. фиг. 7).

Приспособления для накатывания осей, пальцев и других деталей подвижного состава и машин железнодорожного транспорта являются переносными; они могут и должны закрепляться на любом токарном, достаточном по высоте центрах станке.

Некоторые из этих приспособлений являются стационарными, устанавливаемыми на специальных шеечных токарно-накатных станках для накатывания шеек осей без выпрессовки последних из ступиц колёсных центров или колёс.

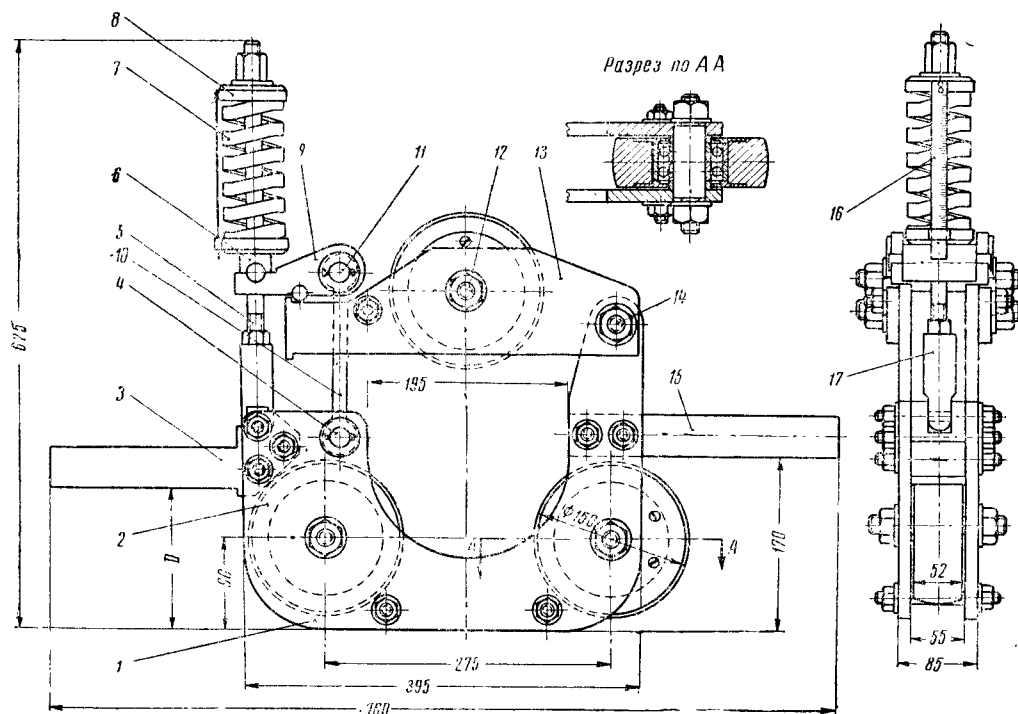
СТАНКИ ДЛЯ НАКАТЫВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И ДРУГИХ МАШИН ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

В вагонном хозяйстве применяют шеечно-токарно-накатные станки, приводимые в движение от электродвигателя при помощи ремня, надетого на бандаж колёсной пары, шейка оси которой должна обрабатываться.

Такие станки, как правило, используются одновременно и для предварительной обточки чистовыми резцами изношенной шейки и для накатывания этой шейки после чистовой обточки. Но для чистовой обточки ско-

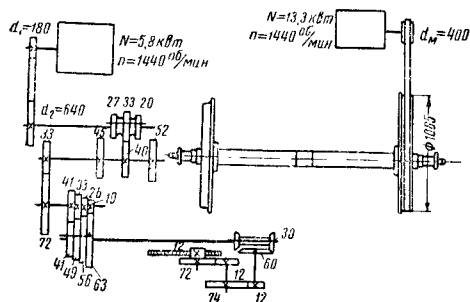
ростными методами необходимы соответствующие, достаточно высокие числа оборотов и мощность. Мощности и числа оборотов используемых на практике станков не всегда отвечают этим требованиям.

При модернизации шеечно-накатных станков число оборотов увеличивается приблизительно со 100 до 300. Необходимо устанавливать тормозные приспособления для остановки колёсных пар после обтачивания и после



Фиг. 11. Приспособление МЭМИИГ для накатывания осей: 1—щека нижней обоймы; 2—ролик; 3—державка; 4—ось тяги; 5, 17—винтовая тяга; 6—траверса; 7—пружина; 8—упорная шайба; 9—планка рычага; 10—тяги; 11—ось рычага; 12—ось верхнего ролика; 13—щека верхней обоймы; 14—ось верхней обоймы; 15—упорная планка; 16—масштабная линейка для измерения давления на ролик

Схема одного из существующих шеечно-токарно-накатных станков, модернизированного работниками МЭМИИТ и вагонного депо, приведена на фиг. 12.



Фиг. 12. Кинематическая схема модернизированного шеечно-токарно-накатного станка для повышения скорости и мощности при предварительной обточке шеек осей под накатку и для накатки

Модернизация может быть произведена у каждого токарно-накатного станка при условии усиления слабых звеньев. Методику расчёта и проведения модернизации станков см. в разделе «Металлорежущие станки».

накатывания, так как без торможения колёсная пара после обработки на вращающихся центрах долгое время не останавливается, что приводит к потере времени.

Торможение колёсной пары кустарным способом запрещается, так как это может привести к несчастным случаям и не обеспечит быстрой остановки.

Накатывание осей, пальцев и других подобных деталей до запрессовки их в колёса и втулки можно производить на тех же станках, на которых производилась чистовая обточка.

РЕЖИМ НАКАТЫВАНИЯ ОСЕЙ, ПАЛЬЦЕВ И ДРУГИХ ДЕТАЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАШИН

Под режимом накатывания в данном случае подразумевается скорость вращения накатываемых изделий, продольная подача роликов, число проходов при накатывании роликами изделия, давление роликов на накатываемую деталь и применение смазки.

Для ориентировки при выборе режима накатывания можно пользоваться зависимостями, приведёнными в табл. 1.

Таблица 1

Ориентировочная характеристика влияния режима на результаты накатывания деталей из среднуглеродистой стали (при сферической поверхности ролика $D=150$ мм)

Фактор режима	Чистота накатанной поверхности	Степень наклёпа (повышение твёрдости)	Глубина наклёпанного слоя
Увеличение скорости вращения накатываемой детали от 10 до 60 м/мин	Практически не изменяется	Незначительно повышается	Незначительно увеличивается
Увеличение продольной подачи роликов относительно изделия от 0,3 до 1,0 мм	Незначительно снижается	Практически не изменяется	Незначительно уменьшается
Увеличение давления ролика на изделие от 20 до 5 000 кг	Вначале повышается (в пределах одного класса чистоты), а затем не изменяется	Значительно повышается	Значительно увеличивается
Увеличение числа проходов	Вначале (приблизительно до 2—3 проходов) не изменяется, а затем может снижаться	Вначале (приблизительно до трёх проходов) повышается, а затем снижается (получается перенаклёп металла)	Вначале незначительно увеличивается, а затем остаётся без изменения
Увеличение диаметра и контурного радиуса ролика	Повышается	Снижается	Уменьшается

Влияние смазки при накатывании сказывается, главным образом, на чистоте поверхности: известно, что чем активнее смазка, тем хуже накатанная поверхность.

Смазывание рекомендуется вести обычным машинным маслом.

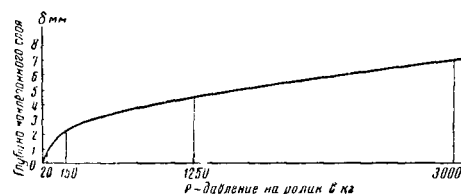
Количественную характеристику влияния режимов накатывания на степень наклёпа и глубину наклёпанного слоя в осевой стали образцов диаметром 155 мм при накатывании в трёхроликовом приспособлении за 1 проход при давлении 4 400 кг на ролик можно видеть из табл. 2.

Чистота накатанной поверхности при этом изменялась практически мало.

Наиболее мощным средством получения значительной глубины наклёпанного слоя и повышения твёрдости на поверхности является рабочая форма ролика и давление ролика на накатываемую поверхность детали.

При одинаковом качестве металла, одинаковом размере изделия и формы рабочей поверхности с увеличением давления ролика растёт глубина и степень наклёпа. Зависимость глубины наклёпанного слоя от давления роликов со сферической рабочей поверх-

ностью диаметром 150 мм на оси диаметром 63 мм представлена на графике фиг. 13, а зависимость повышения твёрдости от глубины наклёпанного слоя — на графике фиг. 14.



Фиг. 13. График зависимости глубины наклёпанного слоя от давления на ролик в образцах осей диаметром 63 мм при накатывании в трёхроликовом приспособлении с диаметром роликов 150 мм и сферической рабочей поверхностью

Графики фиг. 15 и 16 показывают зависимость состояния наклёпанной поверхности от режимов накатывания у натуральных осей $d=155$ мм, накатанных за один проход трёхроликовым приспособлением и давлением на ролик, равным 4 400 кг.

При другом металле деталей, другой форме

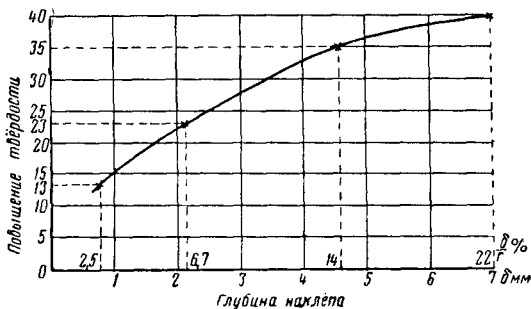
Таблица 2

Глубина и твёрдость наклёпанного слоя после накатывания за один проход в натуральных образцах осей диаметром 155 мм в зависимости от режимов накатывания при давлении ролика 4 400 кг

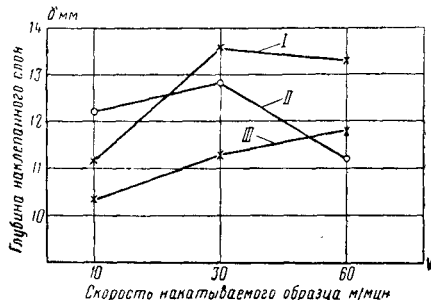
№ образца	Режим обработки		Состояние поверхностного слоя после накатки						Глубина наклёпанного слоя в % от радиуса образца
	подача в мм/об	скорость в м/мин	глубина наклёпанного слоя в мм	твёрдость в кг/мм²			повышение твёрдости в %		
				на поверхности	на скосе у поверхности	на скосе исходная	на поверхности	на скосе у поверхности	
1	0,3	10	12,2	207	212	157	34	38	15,8
4	0,6	30	13,5	209	209	164	27	27	17,5
5	0,3	30	12,9	208	225	165	27	36	16,7
6	0,3	60	11,2	217	232	153	32	44	14,5
7	0,6	10	11,1	207	207	153	34	34	14,4
8	0,9	10	10,3	213	225	153	38	38	13,4
9	0,6	60	13,3	216	213	157	31	31	17,3
10	0,9	30	11,3	207	212	148	34	37	14,7
11	0,9	60	11,8	218	218	154	41	41	15,3

рабочей поверхности роликов и другом режиме количественная зависимость будет иной.

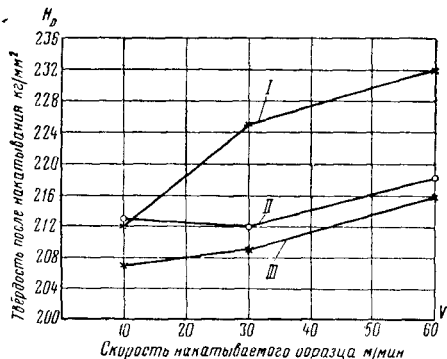
Режим накатывания следует выбирать на основании требований, предъявляемых к накатанной поверхности. Для обеспечения определённого класса чистоты, глубины и повышения твёрдости наклёпанного слоя металла надо



Фиг. 14. График повышения твёрдости в % в зависимости от увеличения глубины наклёпа δ в мм и отношения глубины к радиусу образца $\frac{\delta}{r}$ в %



Фиг. 15. График зависимости глубины наклёпанного слоя δ в мм от окружной скорости v накатываемого образца в м/мин. Накатывание: I—при $s=0,6$; II—при $s=0,3$; III—при $s=0,9$ мм/об



Фиг. 16. График зависимости максимальной твёрдости после накатывания (на поверхности или на скосе у поверхности) от окружной скорости v накатываемого образца в м/мин. Накатывание: I—при $s=0,9$; II—при $s=0,6$ мм/об

выбирать прежде всего форму рабочей поверхности роликов и величину их давления на деталь в процессе накатывания; что же касается скорости и подачи, то эти величины больше связаны с производительностью, а

так как они влияют на качество поверхности значительно меньше, то их надо выбирать достаточно высокими. Число проходов не следует допускать более 1 и в крайнем случае 2, если форма ролика и режим позволяют надеяться на то, что не получится микроразрушений поверхности.

Для обеспечения определённого и постоянного (в процессе всего прохода) давления встраивают в приспособления для накатки специальные механические (в виде пружин), электрические или гидравлические динамометры.

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ, ИЗНОСОУСТОЙЧИВОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ НАКАТЫВАНИЯ

Считают, что получающийся от накатывания роликами после чистовой обработки детали наклёп и остаточные напряжения сжатия вызывают повышение прочности, износоустойчивости и долговечности детали. В особенности большой эффект от накатывания получается у деталей с высокой концентрацией напряжений, вызванных конструктивными и технологическими факторами, как, например, прессовыми соединениями, наличием галтелей и т. п.

В зависимости от степени и глубины наклёпанного поверхностного слоя металла, а также от величины и знака остаточных напряжений получается большее или меньшее упрочнение накатанной детали.

Не всякий металл поддаётся успешному накатыванию, т. е. получению в нём упруго пластического деформирования наклёпанного слоя и остаточных напряжений.

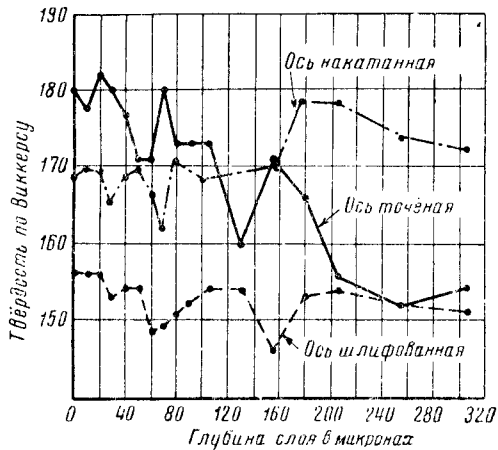
Например, о накатывании изделий из обычного серого чугуна и других хрупких металлов пока ещё нет достаточно обоснованных и определённых данных.

Сталь также допускает разные величины глубины, повышения твёрдости и других характеристик наклёпа в зависимости от марки, способа заготовки и режима термической обработки. Накатывание роликами стальных деталей всегда вызывает значительное изменение чистоты обработанной поверхности, в частности уменьшение шероховатостей, но может появиться волнистость, которая отрицательно влияет на прочность прессовых соединений осей с колёсами. Накатывание роликами стальных деталей вызывает, как правило, повышение твёрдости поверхностного слоя металла. При излишнем давлении роликов на поверхность обрабатываемой детали или при многократном количестве проходов может появиться перенаклёп, причём твёрдость на самой поверхности окажется ниже, чем твёрдость следующего за поверхностью на небольшой глубине слоя (см. табл. 2 или график фиг. 17).

Исходя из указанного не следует допускать образования волнистости или перенаклёпа, которые могут вредно влиять на эксплуатационные характеристики накатанных деталей.

В случаях же невозможности по каким-либо причинам избежать волнистости или перенаклёпа, следует подвергать накатанную

деталь дополнительной чистовой обработке резанием на токарном или шлифовальном станке со снятием дефектного поверхностного слоя (0,1—0,5 мм), что при общей глубине наклёпа до 15% от радиуса накатываемой оси не вызывает понижения прочности.



Фиг. 17. График изменения твёрдости поверхностного слоя осей при некоторых режимах накатывания роликами [5]

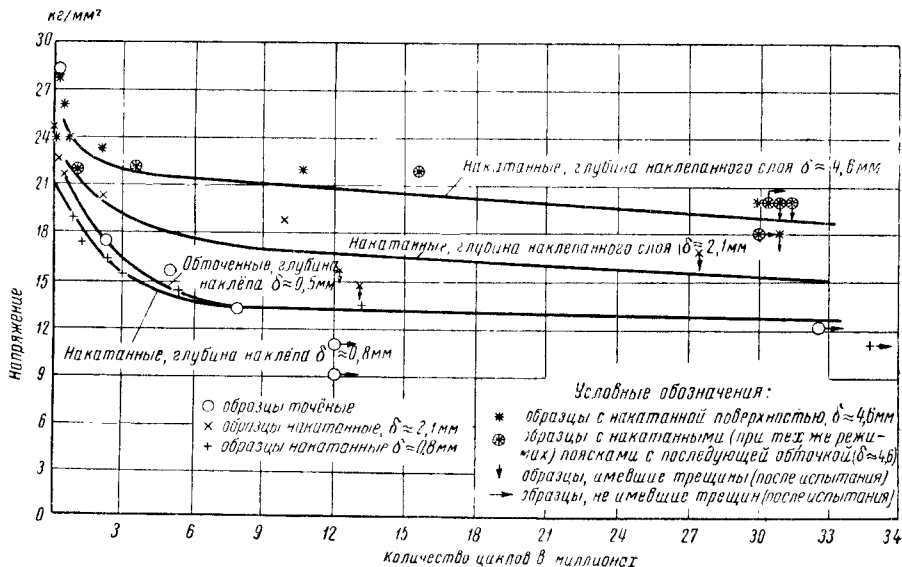
Диаметр обработанной детали после накатывания уменьшается в зависимости от условий и режима. Для осевой стали, предварительно обточенной и имеющей 5-й класс чистоты, диаметр уменьшается в пределах 10—80 мк (в зависимости от давления на ролик); если предварительная обработка бу-

деталей машин, причём для гладких образцов, не имеющих концентрации напряжений, на 20—30% по сравнению с усталостной прочностью ненакатанных образцов. В образцах деталей, работающих с концентрацией напряжений, например при прессовой посадке ступицы колеса на ось, усталостная прочность, по исследованиям МЭМИИТ (фиг. 18), повышается приблизительно на 50%. По данным других исследований, повышение усталостной прочности получается ещё больше.

Долговечность (т. е. повышение количества циклов переменной нагрузки до излома, или, что то же, количество оборотов — пробег колёсной пары при существующем напряжении) для накатанных образцов осей увеличивается в 13 раз, а для других накатанных деталей, работающих в иных условиях, долговечность по сравнению с ненакатанными увеличивается в десятки раз.

Как показали исследования советских учёных И. А. Одинг и др., усталостная прочность и долговечность от наклёпа вначале увеличивается с ростом глубины и степени наклёпа и достигает наибольшего значения при определённой величине наклёпа, выше которого эффект упрочнения не изменяется. У исследованных образцов осей подвижного состава и других подобных деталей машины этот максимум повышения выносливости достигается, если накатанный слой будет иметь глубину, приблизительно равную 15% радиуса накатываемой поверхности, а повышение твёрдости металла на поверхности — приблизительно на 35—45%.

Последующее увеличение глубины, как показывают исследования (фиг. 19), не даёт



Фиг. 18. График усталостной прочности образцов осей $d = 63$ мм при различных видах обработки посадочных поверхностей

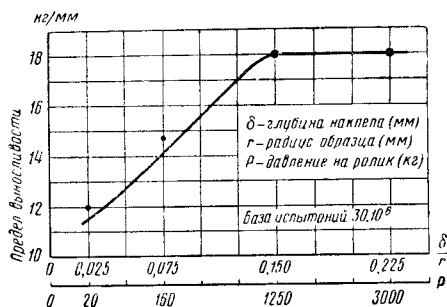
дет более грубая, то и уменьшение диаметра будет больше.

Исследованиями установлено, что накатывание повышает усталостную прочность

повышения предела выносливости. Дальнейшее повышение степени наклёпа (повышение твёрдости металла поверхности против исходного) накатыванием деталей, изготовлен-

ных из среднеуглеродистых сталей, практически затруднительно.

Возникающие после накатывания в поверхностном слое металла остаточные напряжения сжатия благоприятно влияют на динамическую прочность детали, компенсируя на некоторую величину эксплуатационные напряжения в растягивающихся волокнах, например в осях. В сжимающихся волокнах остаточные напряжения сжатия, конечно, прибавляются к эксплуатационным, но, как известно, в стали предел прочности



Фиг. 19. График изменения предела усталости в зависимости от глубины наклепанного слоя образцов осей $d = 63$ мм

при сжатии значительно выше и такое добавление остаточных напряжений не вызывает перенапряженности.

Накатанная поверхность, кроме того, лучше сопротивляется коррозии и, в частности, коррозии трения, возникающей в крайних зонах прилегания посадочных поверхностей подступичной части оси и краёв стенок отверстия ступиц колёс.

Некоторые детали, работающие в корродирующей среде, с помощью накатки могут значительно повысить предел выносливости. Например, по данным И. А. Одина, для высокопрочной стали накатанные образцы по сравнению с ненакатанными при одинаковых условиях испытания их в воде показали увеличение предела выносливости более чем в 4 раза.

Влияние накатки на износоустойчивость трущихся деталей также благоприятно.

По данным советских учёных, износоустойчивость пластически деформированной стали увеличивается в том случае, если в поверхностном слое создаются остаточные деформации сжатия. На изнашивание влияют также размеры, форма и направление штрихов в общем расположении неровностей, т. е. шероховатостей, остающихся после механической обработки поверхности деталей. Часто сопряжение поверхностей вкладыша подшипника и шейки, обработанных разными методами механической обработки (например, шлифование и накатывание, доводка колеблющимися брусками, протягивание и т. п.) позволяют иметь более высокое сопротивление износу.

Сравнительные исследования ЦНИИ на изнашивание шлифованной и накатанной роликами поверхностей шеек осей показали, что накатывание влияет на увеличение сопротивления износу.

Исследования МЭМИИТ трущихся поверхностей натуральных размеров у действующего паровоза показали, что накатанные шейки по сравнению со шлифованными шейками изнашивались на 20 — 25% меньше.

Исследования ТЭМИИТ на образцах также показывают, что накатывание образцов снижает износ, причём с увеличением твёрдости накатанной трущейся поверхности её изнашивание уменьшается. Снижение изнашивания с увеличением твёрдости происходит до получения перенаклепа.

Благодаря накатке, дающей возможность получить чистые (от 7-го до 10-го класса) поверхности с повышенной твёрдостью металла в поверхностном слое на 35 — 50%, на определённую глубину можно снизить износ трущихся деталей подвижного состава и других машин и значительно увеличить тем самым их долговечность.

Некоторые предприятия накатанные поверхности зачищают наждачным полотном и тем самым могут снизить положительное влияние накатки на сопротивление износу. Чистые и ровные поверхности от накатки для трущихся пар нужно получать из-под роликов, что же касается поверхностей для прессовых соединений, то после накатки необходимо производить чистовую обточку резцом на небольшую глубину при малых подачах (0,2 — 0,3 мм/об) и при высоких скоростях резания (не ниже 140 м/мин).

Оценка результатов накатывания может быть произведена определением чистоты накатанной поверхности, твёрдости и глубины наклепанного поверхностного слоя данного изделия. Чистота поверхности должна определяться соответствующими приборами — профилометром Киселёва, различными типами профилографов или интерферометром. Некоторые приборы могут быть взяты непосредственно в цех (профилометр Киселёва), а для других необходимо вырезать образец данной поверхности детали. Поэтому следует предпочитать профилометр, а в случаях отсутствия его можно применить и метод слепков при помощи специальной плёнки (целлулоид), размягчённой в обезвоженном ацетоне, а затем отпечаток шероховатости измерить на двойном микроскопе или на интерферометре. Метод отпечатков описан в соответствующих руководствах по определению чистоты обработанной поверхности.

Физические свойства поверхностного слоя пока практически определяются по вырезанным образцам в виде косых срезов, по которым измеряют твёрдость на обычном приборе типа Виккерса с помощью алмазной пирамиды или шарика минимального диаметра при минимально возможной нагрузке (1—5 кг). Как видно из фиг. 20, твёрдость у поверхности длиной l_0 должна быть наибольшей, затем на скосенной поверхности l_1 должна снижаться в каждой точке измерения и чем глубже эта точка лежит от поверхности, тем ниже должна быть твёрдость; наконец, когда кончится наклепанный слой, твёрдость не будет изменяться, значит, получилось её исходное значение. Заметив ту точку на скосе, от которой твёрдость перестала изменяться, её расстояние от поверхности (глубину) x легко подсчитать, имея размеры h , l ,

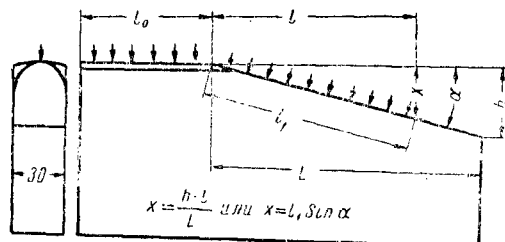
L на образце со скошенной поверхностью, т. е.

$$x = \frac{hl}{L},$$

или

$$x = l_1 \sin \alpha.$$

Этот метод применяется в МЭМИИТ с 1940 г. и является достаточно надёжным.



Фиг. 20. Схема образца для определения глубины наклепанного слоя от накатывания

Степень наклепа, т. е. повышение твердости металла на поверхности, по сравнению с исходной определяется данными измеренной твердости металла на поверхности и исходного металла путём сравнения и вычисления в процентах.

Метод определения остаточных напряжений в наклепанном накатыванием глубоком (приблизительно 12 — 15 мм) слое описан в специальной литературе Академии наук, ЦНИИТМаш и др.

Предварительная обработка деталей под накатывание роликами имеет существенное значение на эффективность накатки. Понятно, что накатывание роликами не снимает с обрабатываемой поверхности какой-либо стружки, и поэтому если на этой поверхности были дефекты в виде раковин, трещин, включений и т. п., то они накатыванием не уничтожаются. Предварительная механическая обработка поверхностей деталей, предназначенных для накатывания, должна производиться тщательно, с соответствующей макро- и микрогеометрией и так, чтобы на обработанной под накатку поверхности не оставалось никаких дефектов и недопустимых неровностей. Испытанным и давшим положительные результаты методом предварительной обработки поверхностей деталей для осуществления на них накатывания является скоростная обточка со скоростью резания 140 м/мин и выше при подаче 0,2 — 0,3 мм/об и глубине резания 0,3 — 0,5 мм резцом из твёрдых сплавов с радиусом закругления приблизительно 1 — 3 мм.

Шлифование менее желательно, так как есть основание полагать, что при этом процессе имеет место шаржирование в поверхностный слой металла детали абразивных зёрен. Чистота поверхности после предварительной обработки должна быть не ниже 5-го класса по ГОСТ 2789-51.

Итоговые данные о накатывании показывают, что выносливость накатанных запрессованных образцов осей ($d=63$ мм) при базе испытания $30 \cdot 10^6$ повышается более чем в 1,5 раза, а долговечность увеличивается в 13 и более раз.

Повышение выносливости и долговечности образцов при одинаковых режимах накатки зависит от типа стали (химического состава, механических свойств, способа изготовления и структуры).

При одной и той же стали повышение выносливости и долговечности связано с глубиной и степенью наклепанного слоя металла, вызываемых накаткой роликами. Испытанные образцы подступичных частей осей диаметром 63 мм (база испытаний $30 \cdot 10^6$) с глубиной наклепанного слоя поверхности, равной 0,82 мм, при увеличении твердости поверхностного слоя на 13 % заметного повышения выносливости не показали; испытания образцов глубиной наклепанного слоя, равного 2,15 мм, при увеличении твердости на 23% показали повышение выносливости приблизительно на 20 %; с увеличением глубины наклепанного слоя до 4,62 мм и увеличением твердости на 35% повышение выносливости получилось приблизительно на 50%. Дальнейшее увеличение глубины наклепанного слоя не давало повышения выносливости.

Глубина и степень наклепанного слоя при одинаковых режимах обкатки роликами подступичных поверхностей образцов осей зависит от типа стали. Зависимость глубины наклепанного слоя от давления роликов для образцов осевой стали $d=63$ мм при накатывании тремя роликами сферической рабочей поверхности $D=150$ мм за один проход в исследованиях МЭМИИТ получилась следующая (с приближением):

Давление ролика P в кг	Максимальное удельное давление $\sigma_{z_{\max}}$ в кг/мм ²	Глубина наклепанного слоя δ в мм
3 030	400	7
1 250	300	4,62
150	150	2,15
20	75	0,82

Давление ролика в опытах выбиралось из условия обеспечения значительного различия глубины в отдельных партиях образцов, а для этого требовалась ориентировка в значениях удельных давлений.

Максимальное удельное давление можно вычислить ориентировочно по известной формуле (приведённой в курсах сопротивления материалов):

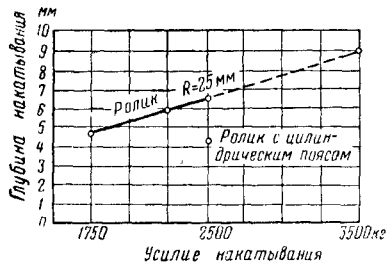
$$\sigma_{z_{\max}} = \frac{1,5 P}{\pi ab},$$

где P — давление ролика в кг;
 a и b — полуоси эллипса площадки касания ролика и образца в см.

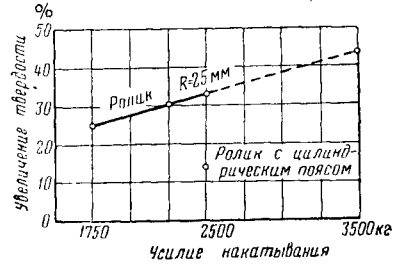
После подстановки вычисленных по соответствующим данным значений a и b получается для указанных выше условий следующая зависимость максимального удельного давления от общего давления ролика

$$\sigma_{z_{\max}} = K \sqrt[3]{P} \text{ кг/мм}^2. \text{ Для образцов диаметром } d=63 \text{ мм } K=28,0; \text{ } d=165 \text{ мм } K=20,9; \text{ } d=182 \text{ мм } K=20,4.$$

Следует заметить, что удельные давления практически вычислять нет необходимости; в данном случае это было сделано и для ориентировки в выборе режимов при переходе от образцов к натурным размерам.



Фиг. 22. Зависимость глубины накатывания от усилия накатывания (ЦНИИ)



Фиг. 23. Увеличение твердости поверхности накатываемой детали в зависимости от усилия накатывания (ЦНИИ)

Таблица 3

Технологический процесс накатывания подступичных частей и шеек осей

Наименование и эскиз перехода	Инструмент и его геометрии	Режим обработки			
		Режим обточки			Класс чистоты поверхности по ГОСТ 2789-51
Обточка перед накаткой	Материал пластинки Т15К6 Сечение по аа	v в м/мин	s в мм/об	f в мм	
		140 и выше	0,3	0,5	▽▽5
Накатка стальными термически обработанными ($H_{RC} = 60 \div 65$) роликами	Материал роликов—сталь ШХ15; рабочая поверхность сферическая	Режим накатывания*			
		v в м/мин	s в мм/об	число проходов к давлению на ролик P в кг	
Глубина накатываемого слоя после накатки 0,6 мм				шейка $d = 135 \div 140$ мм	
				I типа $d = 155$ мм	
				II типа $d = 165$ мм	
				III типа $d = 182$ мм	
Перед накатыванием осей проверить прибор на обкатке натурального образца с последующим измерением глубины и степени наклёпа		30—60	0,3—0,6	1	4 000 4 400 4 500 4 900
Окончательная чистовая обточка после накатывания	Материал пластинки Т15К6 Сечение по аа	Режим обточки			Класс чистоты по ГОСТ 2789-51
		v в м/мин	s в мм/об	f в мм	не ниже
Глубина накатываемого слоя после обточки 0,6—0,8 мм		140 и выше	0,2	0,1—0,5	

* Накатывание производить с обильной смазкой машинным маслом. В процессе накатки поверхность подступичных частей не должна нагреваться до такой температуры, которую не выносит рука при ощупывании вслед за проходом роликов. Давление на ролик должно осуществляться при помощи тарированной пружины 5, посредством рычагов 3 и 4 приспособления.

Накатывание подступичных частей осей можно производить на том же станке, на котором велась обточка, в связи с этим размеры державок 6 роликов следует увязывать с определённым станком.

К этому следует добавить, что данная технология является первым ориентиром и что практика внедрения накатки для упрочнения осей, пальцев и других подобных деталей может внести соответствующие коррективы как в конструкцию приспособления, так и в режим накатки.

Например, для накатывания шеек осей с роликовыми подшипниками, находящимися в эксплуатации и ранее выпущенных без накатки, ЦНИИ составил технологию, схема которой показана на фиг. 21. Режим накатывания в этой технологии несколько отличается от указанного в табл. 3 в связи

с тем, что эксплуатируемые шейки не имеют припуска, хотя и небольшого, необходимого для процесса накатывания. Глубина наклёпа и повышение твёрдости металла при этом показаны на фиг. 22 и 23. Давление на ролик в упомянутой технологии рекомендуют 2500 кг.

Следует заметить, что накатку шеек у скользящих подшипников надо осуществлять не только для получения чистоты, но и для повышения износоустойчивости, а последнее требует соответствующего физического изменения поверхностного слоя трущейся шейки, т. е. получения необходимого наклёпа.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Васильев Н. А. Чистовая обработка поверхностей обкаткой роликами. Сборник «Механическая обработка металлов» (опыт уральских заводов). Машгиз, М., 1950.
2. Войшко В. О. Холодная обработка металла, упрочняющаяся калибрующим инструментом. Машгиз, М.—Л., 1950.
3. Дьяченко П. Е. Исследование зависимости микрогеометрии поверхности от условий механической обработки. Изд. АН СССР, М., 1949.
4. Дьяченко П. Е. и др. Количественная оценка неровностей обработанных поверхностей. Изд. АН СССР, М., 1952.
5. Зобнин Н. П. Обработка и запрессовка колёсных пар. Трансжелдориздат, М., 1944.
6. Зобнин Н. П. Влияние наклёпа от обкатки роликами на выносливость прессовых соединений. Качество поверхностей деталей машин. Сборник № 2 семинара по качеству поверхностей. Изд. АН СССР, М., 1953.
7. Зобнин Н. П. Усталостная прочность запрессованных осей и их сопротивление распрессовке. «Вестник машиностроения» № 8. Машгиз, М., 1951.
8. Кислик В. А. Износ деталей паровозов. Труды ЦНИИ, вып. 24. Трансжелдориздат, М., 1948.
9. Крагельский И. В. Трение и износ в машинах. Ин-т машиноведения. Сборник. Изд. АН СССР, М. 1—1939; II—1941, III—1949.
10. Кудрявцев И. В. и др. Методы поверхностного упрочнения деталей машин. Машгиз, М., 1949.
11. Кудрявцев И. В. Внутренние напряжения как резерв прочности в машиностроении. Машгиз, М., 1951.
12. Маталин А. А. Шероховатость поверхности деталей в машиностроении. Машгиз, М.—Л., 1949.
13. Махов В. Н. и Иньшаков Н. Н. Оси повышенной крепости. «Транспортное машиностроение» № 4 (18), 1940.
14. МЭМИИТ. Сборник научных работ, выпуск 58. Трансжелдориздат, М., 1949.
15. Новые исследования в области прочности машиностроительных материалов. ЦНИТМаш, кн. 49. Машгиз, М., 1952.
16. Одинг И. А. Допускаемые напряжения в машиностроении и циклическая прочность металлов. Машгиз, М., 1947.
17. Пантилеев В. Н. Испытание на усталость железнодорожных осей. Сборник «Свойства и термическая обработка транспортного металла». Металлургиздат, М., 1947.
18. Повышение усталостной прочности деталей машин поверхностной обработкой. Под редакцией С. В. Серенсена. Машгиз, М., 1952.
19. Рябченко А. В. Коррозионно-усталостная прочность сталей. Машгиз, М., 1953.
20. Серенсен С. В. Сопротивление усталости и конструктивные технологические методы повышения прочности деталей. Сборник «Повышение прочности деталей машин», АН СССР, 1949.
21. Серенсен С. В., Козлов Л. А., Кагаев В. П. Концентрация напряжений в деталях машин. «Вестник машиностроения» № 10 и 11, 1949.
22. Шапов Н. П. Пластическая деформация как средство повышения прочности металлов и сплавов. Повышение прочности деталей машин. (Труды совещания по методам повышения прочности деталей машин). М.—Л., АН СССР, 1949.

НАКЛЁПЫВАНИЕ ДРОБЬЮ



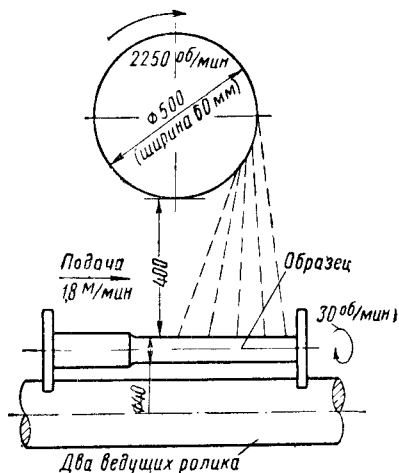
ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Дробеструйный наклёп—один из методов механического поверхностного упрочнения металлов, значительно повышающий долговечность изделий, работающих в условиях высоких переменных нагрузок.

Дробеструйный наклёп не требует больших затрат на оборудование и позволяет производить упрочнение самых разнообразных деталей сложной формы.

Сущность дробеструйного наклёпа заключается в том, что готовое изделие после механической и термической обработки подвергается ударному действию потока дроби.

Поток дроби, выбрасываемый сжатым воздухом из сопла пневматического аппарата или лопатками быстро вращающегося ротора (фиг. 1) со скоростью 50—60 м/сек, произ-



Фиг. 1. Схема дробеструйного наклёпа

водит наклёп поверхности обрабатываемой детали.

Под ударным действием потока дроби поверхностный слой изделия пластически деформируется, в результате чего увеличивается его твёрдость и прочность. Одновременно в поверхностном слое возникают остаточные напряжения сжатия. На изделии остаются следы ударов дробинок, значительно меняющих макро- и микрогеометрию его поверхности.

Дробеструйный наклёп, так же как и другие методы поверхностного упрочнения, эффективно повышает предел выносливости изделий, увеличивает их долговечность при переменных нагрузках, но не оказывает существенного влияния на статическую прочность. Это явление объясняется повышенной чувствительностью усталостной прочности к состоянию поверхностного слоя изделия.

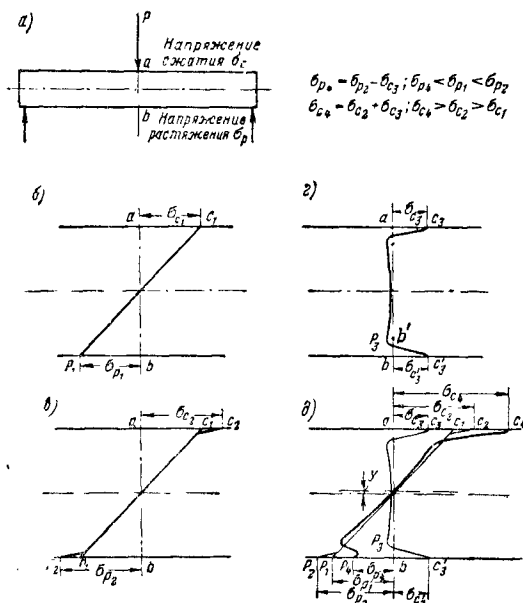
Поверхность изделия, подвергаемого воздействию повторяющейся нагрузки, вне зависимости от того, насколько она была чисто обработана, подвержена явлению усталости больше, чем внутренние слои, удалённые от поверхности. Это может быть объяснено влиянием микроскопических трещин и царапин на поверхности, а также тем, что поверхностный слой с одной стороны совершенно открыт, а кристаллиты металла с наружной стороны ничем не удерживаются.

Дробеструйный наклёп уничтожает или значительно снижает вредное влияние поверхностных дефектов (волосовин, обезуглероживания, заборн, риск от резцов). Эффективность наклёпа поэтому более заметна при обработке изделия с грубой поверхностью, особенно проката, чем с высококачественной, например, шлифованной поверхностью.

Наклёп значительно повышает прочность и в тех случаях, когда детали не имеют существенных дефектов на поверхности. Это является следствием создания остаточных напряжений сжатия в наклёпанном слое, значительно снижающих рабочие напряжения, особенно при изгибе и кручении. При приложении к наклёпанному образцу нагрузки растягивающие напряжения в поверхностном слое уменьшаются на величину предварительно созданных наклёпом сжимающих напряжений. Поскольку изломы усталости в большинстве порождаются растягивающими напряжениями в поверхностном слое, долговечность изделия, в поверхностном слое которого наклёпом создаются сжимающие напряжения, значительно возрастает.

На основании испытания цементованных и азотированных образцов высказывается мнение о преимущественном влиянии сжимающих остаточных напряжений на повышение предела выносливости. Это мнение основывается на предположении о перенесении области возникновения очагов разрушения с поверхности в подслоную область и устранении благодаря этому влияния концентрации напряжений в поверхностном слое.

Это положение может быть хорошо иллюстрировано с помощью диаграмм распределения напряжений в поперечном сечении балки, лежащей на двух опорах, нагруженной сосредоточенной нагрузкой (фиг. 2): в верх-



Фиг. 2. Схема распределения напряжений в поперечном сечении бруса, наклепанного с двух сторон

нем сечении балки возникнут напряжения сжатия, а в нижнем — растяжения.

Величина напряжения по нейтральной оси будет равна нулю. Величина растягивающих и сжимающих напряжений будет пропорциональна величине удаления от нейтральной оси бруса. На диаграмме эти напряжения будут характеризоваться диагональю C_1P_1 , проведенной через центр сечения бруса и будут соответственно равны σ_{c1} и σ_{p1} (фиг. 2, б).

Но эти рассуждения справедливы лишь при абсолютной однородности металла и отсутствии пороков в поверхностном слое. Практически реальная балка, изготовленная любым технологическим способом, будет иметь повреждения в поверхностном слое в виде окислов, волосовин, надрывов и шероховатостей. Эпюра напряжений в сечении изогнутого бруса показана на схеме (фиг. 2, в), где напряжения в поверхностных слоях сечения больше на C_1C_2 и P_1P_2 по сравнению с теоретическими.

В зависимости от чистоты обработки величина добавочного напряжения, характеризующаяся отрезками P_1P_2 и C_1C_2 , будет меняться. Она тем больше, чем грубее поверхность, и тем меньше, чем лучше обработка; она достигает минимального значения при хорошо полированной поверхности. Однако величина дополнительного напряжения P_1P_2 совершенно не исчезает при самой идеальной обработке, и в поверхностном слое напряжение всегда больше расчетного.

В случае наклепа дробью в поверхностных слоях бруса в ненагруженном состоянии появляются сжимающие напряжения. Эти по-

верхностные сжимающие напряжения вызывают растягивающие напряжения в остальном сечении бруса и особенно в подповерхностных слоях (фиг. 2, г). Отрезки aC_3 и bC_3' соответствуют величине предварительного сжимающего напряжения, а отрезок $b'P_3$ — величине предварительного растягивающего напряжения, уравновешивающего сжимающие напряжения в поверхностных слоях. При нагружении наклепанного бруса возникающие напряжения от нагрузки повышают напряжения сжатия в его поверхностных слоях верхней половины сечения, работающей на сжатие. В нижней же половине сечения, работающей на растяжение, суммарные напряжения складываются алгебраически, т. е. предварительное напряжение сжатия, созданное наклепом, снижает величину растягивающих напряжений, в результате чего их абсолютная величина значительно падает. Диаграмма распределения напряжений в таком предварительно напряженном брус под нагрузкой приведена на фиг. 2, д. Действующее растягивающее напряжение σ_{p1} в поверхностном слое будет меньше напряжения растяжения подповерхностного слоя, где и может начаться разрушение. Нейтральная ось в этом случае смещается относительно геометрической оси бруса.

Величина напряжения растяжения в подповерхностном слое нагруженного бруса, имеющего предварительно напряженное состояние, меняется в зависимости от величины предварительного напряжения сжатия и глубины предварительно напряженного слоя.

Очень важным фактором, объясняющим явление упрочнения наклепанных образцов, является изменение физических свойств металла в поверхностном слое. Холодная пластическая деформация упрочняет поверхностный слой металла за счет собственно наклепа металла и является одной из причин, повышающих сопротивляемость усталости наклепанных дробью образцов.

Влияние наклепа и остаточных напряжений на прочность изделий впервые осветил в 1887 г. русский учёный Н. В. Калакуцкий. Большое внимание упрочнению и, главным образом, методам определения остаточных напряжений уделено в трудах Н. И. Давиденкова, И. А. Одинга и И. В. Кудрявцева.

Обширные исследования в области технологии поверхностного упрочнения методом термической и химико-термической обработки появились лишь за последние годы. К ним относятся работы Н. А. Минкевича и В. И. Прохвирова по цементации, И. Е. Канторовича, С. В. Юрьева, Ю. М. Лахтина по азотированию, В. П. Вологодина по технологии поверхностной закалки нагревом токами высокой частоты. Упрочнение путём накатки во многом получило освещение в работах Н. П. Зобнина и М. М. Кобринина. Развитие и теоретическое обобщение различных способов упрочнения получило в работах С. В. Серенсена, Н. П. Шапова, И. В. Кудрявцева и др.

Теоретические основы процесса наклепа дробью впервые получили свою разработку в СССР в работах М. М. Саверинова. Практическое применение дробеструйного наклепа получило своё освещение в работах Карасёва, Тарасова, Свешникова, Листгартена и др.

На железнодорожном транспорте впервые изучением дробеструйного наклепа начали заниматься в ЦНИИ и в МЭМИИТ.

Для суждения о сопротивлении деталей разрушению от часто повторяющихся переменных нагрузок необходимо считаться с распределением напряжений и свойствами металла в наиболее нагруженных зонах, что тесно связано с конфигурацией и размерами деталей. В условиях поверхностного упрочнения изучение конструктивной прочности должно основываться на выяснении связи условий разрушения с параметрами упрочнённого слоя и его напряжённостью.

Благодаря дробеструйному наклепу удаётся как повысить предельную нагрузку, безопасную для работы детали, так и увеличить срок службы детали при сохранении старых условий эксплуатации.

Дробеструйная обработка спиральных пружин и листовых рессор может повысить их долговечность в 10—20 и более раз, например: спиральных пружин в 29, рессор автомобилей в 6, вагонных в 9, коленчатых валов автомобилей в 9, коленчатых валов авиационных — в 29, шестерён коробки передач — в 5—6, шестерён заднего моста в 6 раз.

Номенклатура деталей, подвергающихся дробеструйной обработке, с каждым днём расширяется и охватывает уже клапанные пружины, шатуны и коленчатые валы авиационных, танковых и автомобильных двигателей, шестерни и валы коробки передач и заднего моста, поворотные кулаки, крестовины кардана, полуоси, пружины подвесок и рессоры автомобилей, пружины и рессоры и другие детали подвижного состава железных дорог.

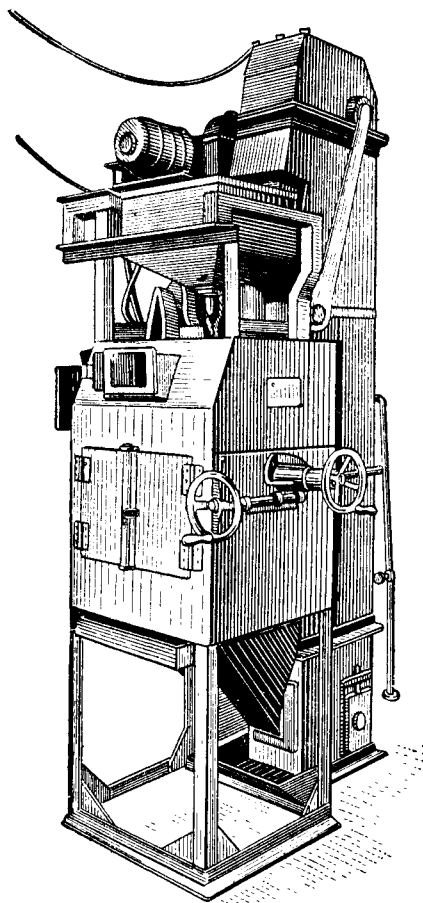
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ДРОБЕСТРУЙНОГО НАКЛЕПА

По принципу выбрасывания дробы применяют оборудование двух типов. Первый тип — дробь подаётся сжатым воздухом, второй тип — дробь подаётся центробежной силой быстро вращающегося ротора.

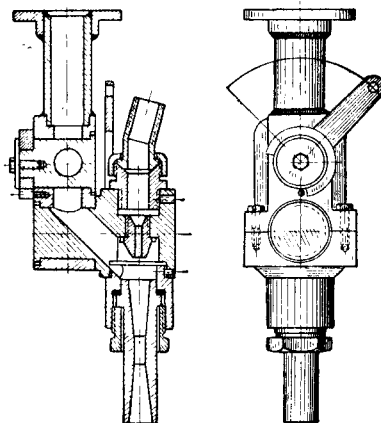
Кроме того, установки различаются по типу конвейера для перемещения изделия под струёй дробы, что определяется формой и размером наклепываемых деталей.

Установка НИАТ (фиг. 3) работает сжатым воздухом с давлением 4—5 ат. Дробь засыпается в бункер, расположенный над камерой, и под действием собственного веса подаётся в сопло форсунки (фиг. 4). Воздух, подведённый к средней части сопла форсунки, захватывает дробь и выбрасывает её на обдуваемую деталь, расположенную под форсункой. Дробь после обдувки ссыпается в нижний бункер камеры, откуда ковшами элеватора подаётся в верхний бункер для последующего использования. Деталь для обдувки укрепляется в камере на оправке, которая может поворачиваться вокруг своей оси и перемещаться в продольном направлении, чем обеспечивается обдувка по всей наружной поверхности детали. Размер рабочей камеры 600 × 600 × 800 мм, расстояние от сопла до оси оправок для крепления детали 270 мм, наибольшая величина продольного перемещения шпинделей 500 мм.

Отсутствие в установке поперечного перемещения обдуваемого изделия компенсируется качанием форсунки вокруг горизонтальной оси.



Фиг. 3. Установка НИАТ для обдувки дробью, основанная на принципе выбрасывания дробы сжатым воздухом [14]



Фиг. 4. Форсунка для выбрасывания дробы [14]

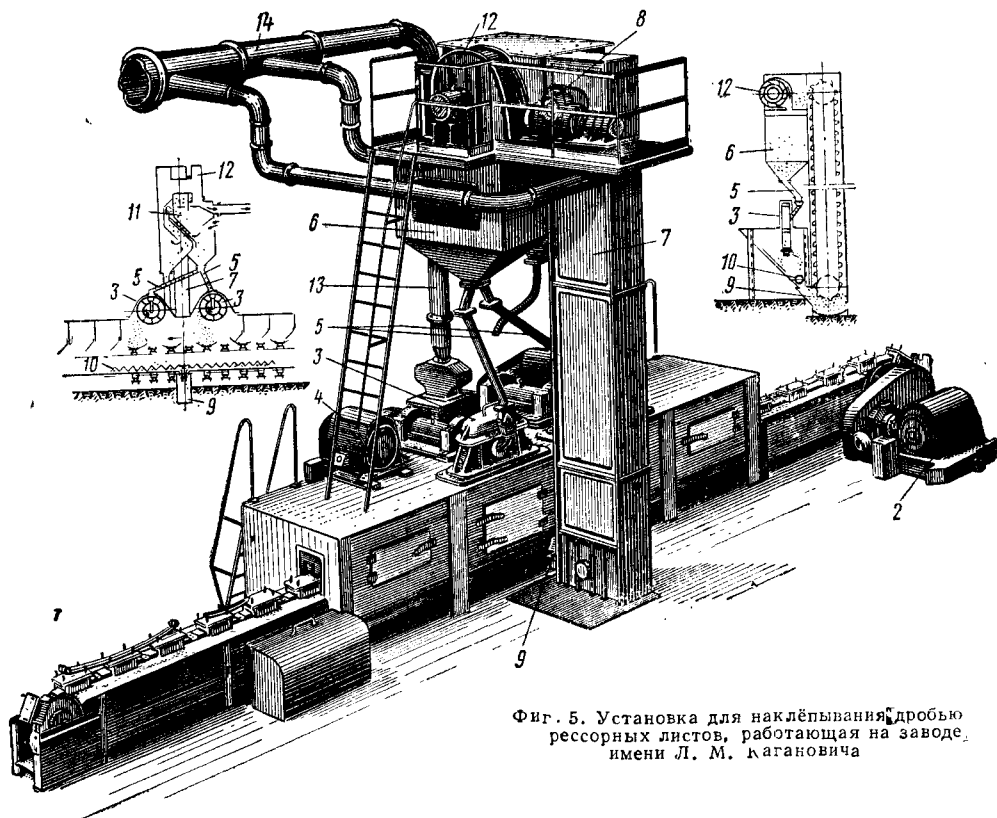
Диаметр отверстия сопла форсунки 9 мм, диаметр отверстия штуцера, подводящего воздух, 5 мм. Давление воздуха может меняться

редукционным вентилем. В случае необходимости увеличить поток дробь вместо обычной форсунки устанавливают форсунку с несколькими соплами.

Установки, работающие сжатым воздухом, малопроизводительны, а главное они не позволяют с должной гибкостью регулировать основные параметры процессов наклёпа. Более удобными и производительными являются установки, в которых дробь подаётся центробежной силой быстро вращающегося ротора.

движения наклёпываемой детали, что определяется скоростью конвейера. Скорость конвейера берётся от 1 до 12 м/мин. Конструкция и скорость конвейера обычно определяются видом, формой и габаритом наклёпываемых изделий.

Очень важной частью установки для наклёпа дробью является сепаратор для удаления осколков дробы. Битая дробь, имея острые углы, при наклёпе создаёт на наклёпываемой поверхности острые надрезы, вле-



Фиг. 5. Установка для наклёпывания дробью рессорных листов, работающая на заводе имени Л. М. Кагановича

В таких установках имеется возможность в широких пределах регулировать скорость, направление струи и расход дробы. В существующих роторных установках ротор, выбрасывающий дробь до 150 кг/мин, имеет диаметр 200—500 мм, ширину 45—130 мм и работает при 2 200—3 500 об/мин. Расстояние от края ротора до наклёпываемого изделия 300—500 мм. В процессе наклёпа струя дробы с большой скоростью, получаемой в роторе, направляется на наклёпываемую деталь. Угол, под которым струя дробы ударяет о наклёпываемую плоскость, может меняться путём поворота питательного механизма ротора. Наибольший эффект наклёпа обычно получается, когда дробь имеет перпендикулярное направление к плоскости наклёпа. В заводских установках для массового производства наклёпываемые детали движутся по конвейеру с постоянной скоростью под дробемётным ротором. Интенсивность, или степень, наклёпа зависит при прочих равных факторах от времени действия дробы, или, иначе, скорости

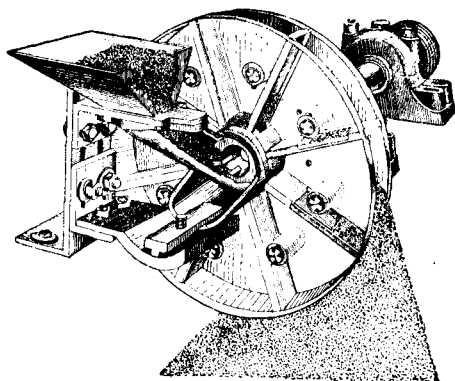
кущие за собой снижение прочности изделия. Внутренние стенки камеры рекомендуется облицовывать толстой резиной, предохраняющей дробь от раскалывания.

Установка для наклёпа дробью рессорных листов (фиг. 5). Она состоит из металлической сварной камеры, через которую проходит конвейер 1 для передвижения рессорных листов. Конвейер приводится в движение электродвигателем 2 мощностью 3,6 кВт через передачу с вариатором, позволяющим менять скорость конвейера в пределах 1,0—4,0 м/мин. На конвейере установлены два роторных дробемётных аппарата 3, приводимых в движение через клиноремённую передачу электродвигателями 4 мощностью 23 кВт каждый. Диаметр ротора равен 500 мм, ширина — 80 мм. Во время работы ротор делает 2 350 оборотов и может выбрасывать 150 кг дробы в минуту. Дробь к дробемётному аппарату подводится из бункера 6 по трубам 5. В бункер 6 дробь подаётся из приёмника 9 элеватором 7 производи-

тельностью $5 \text{ м}^3/\text{час}$. Лента элеватора приводится в движение со скоростью $1,07 \text{ м/сек}$ электродвигателем 8 мощностью $1,75 \text{ кВт}$. Отработавшая дробь ссыпается в корыто нижней части корпуса и шнеком 10, вращающимся со скоростью 50 об/мин. от электродвигателя $3,6 \text{ кВт}$, подаётся в приёмник, откуда элеватором 7 снова подаётся в бункер 6. Таким образом, дробь во всё время работы установки циркулирует и многократно используется для наклёпа. Так как при многократном употреблении дробь последняя разрушается, в установке предусмотрено устройство (сепаратор) для очистки дроби от осколков. Конструкция сепаратора 11 основана на способности осколков дроби, имеющих некруглую форму, отделяться под действием струи сжатого воздуха. Сжатый воздух для сепарирования дроби подаётся вентилятором 12, приводимым в движение электродвигателем мощностью $2,85 \text{ кВт}$ с 1600 об/мин., подающим $5000 \text{ м}^3/\text{час}$ воздуха с давлением 50 мм вод. ст.

Так как в процессе наклёпа образуется много пыли, установка оборудована мощной вытяжной вентиляцией 14, отсасывающей пыль из камеры наклёпа через трубы 13.

Роторный дробемётный аппарат (фиг. 6 и 7) выполнен в виде дисков с радиально расположенными лопатками а.



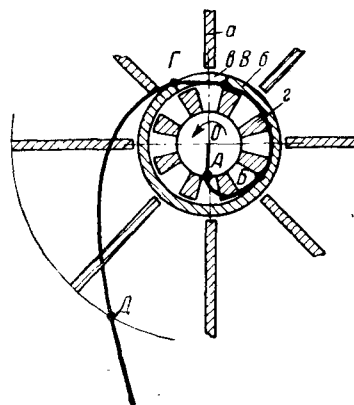
Фиг. 6. Дробемётный аппарат

Ось ротора расположена горизонтально. Дробь подводится к центру ротора и выбрасывается ротором вниз на обрабатываемые изделия. Направление потока дроби регулируется втулкой б, которая обеспечивает проход дроби на лопатки через имеющееся в ней окно в. К окну регулирующей втулки дробь подаётся нагнетателем г, представляющим собой полый цилиндр с окнами. Нагнетатель г жёстко скреплён с ротором и вращается с такой же скоростью, как и последний. От лопаток ротора он отделён регулирующей втулкой, жёстко связанной с кожухом ротора.

Дробь, поступающая по трубопроводу, попадает на вращающийся нагнетатель, начинает с ним вращаться, попадает в окно направляющей втулки, а затем на лопатки, которыми и выбрасывается с большой скоростью.

На фиг. 7 представлена примерная траектория движения дроби. Дробь, попавшая по наклонному трубопроводу в центр нагнетателя, падает вертикально по траектории ОА.

Встречая вращающийся нагнетатель в точке А и попадая в его окно, дробь увлекается нагнетателем и вследствие развивающейся центробежной силы движется по траектории АВ.



Фиг. 7. Схема ротора дробемётного аппарата и траектория движения дроби [11]

встречая на своём пути стенку регулирующей втулки в точке Б. На участке БВ дробь, отбрасываемая центробежной силой, скользит по внутренней стенке регулирующей втулки, пока не достигнет окна в. На участке ВГ дробь под действием центробежной силы выбрасывается через окно регулирующей втулки и попадает на лопатку ротора. Попавшая на лопатку ротора дробь увлекается последней и в точке Д выбрасывается на обрабатываемую деталь.

Абсолютная скорость, развиваемая дробью при этом, складывается из радиальной скорости, полученной под действием центробежной силы, и окружной скорости:

$$v = \sqrt{v_p^2 + v_{окр}^2}.$$

Для применяемых роторных дробемётов максимальная скорость дроби

$$v_{\text{макс}} = \sqrt{2} v_{\text{окр. макс}},$$

где $v_{\text{окр. макс}}$ — максимальная окружная скорость ротора.

Иначе говоря, скорость дроби при сходе с лопаток примерно в 1,4 раза больше окружной скорости ротора.

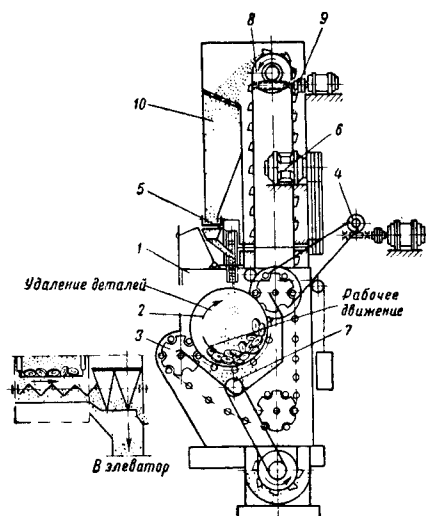
Для безопасности отверстия камеры для входа и выхода конвейера завешены фартуками из прочной листовой резины. Имеющиеся дверки в камере закрываются герметически, их запоры заблокированы с силовой подводкой тока к моторам дробемётных аппаратов так, что при открытых или неплотно закрытых дверках аппараты не работают.

Производительность такой установки равна 100—300 рессорных листов в час в зависимости от их длины.

Регулирование расхода дроби производится изменением отверстия, через которое течёт дробь к дробемётному аппарату. Изменение отверстия истечения дроби производится постановкой заслонок с калиброванным отверстием на трубах, подводящих дробь к дробемётным аппаратам из бункера.

Установки для наклёпа мелких деталей с конвейером барабанного типа (фиг. 8). Взамен ленточного конвейера, поступательно перемещающего деталь под потоком дроби, внутри камеры этой установки размещён пластинчатый транспортёр барабанного типа, на который загружают детали, подлежащие наклёпу дробью. Пластинчатый транспортёр имеет форму полумесяца или открытого барабана, поэтому при его движении детали, находящиеся на нём, пересыпаются, получая вращательное движение. Над транспортёром на камере смонтирован роторный дробемётный аппарат, который подаёт струю дроби на перемешивающиеся детали и производит их наклёп.

Отработанная дробь сыпается вниз, откуда элеватором подаётся в верхний бункер, проходя через сепаратор. Из верхнего бункера дробь снова поступает на лопатки турбины. Транспортёр этой установки может двигаться в обоих направлениях. Движение транспортёра в одном направлении является рабочим,



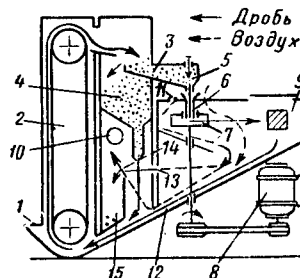
Фиг. 8. Схема дробемётной установки с конвейером барабанного типа, работающей на автозаводе имени И. В. Сталина: 1 - камера; 2 - барабан; 3 - цепной конвейер; 4 - привод конвейера; 5 - дробемётный аппарат; 6 - привод дробемётного аппарата; 7 - шнек; 8 - элеватор; 9 - привод элеватора; 10 - сепаратор

а в противоположном направлении — разгрузочным. При разгрузке деталей после наклёпа конвейеру дают обратный ход, и обработанные детали из камеры высыпаются в тару.

Одним из недостатков описанных установок является трудность подвода дроби к центру ротора, ось вращения которого расположена горизонтально.

Установка ЦНИИТМаш типа ДУ-1 с горизонтальным расположением ротора дробемёта с вертикальной осью вращения (фиг. 9) не имеет указанного выше недостатка. Вертикальное расположение оси вращения ротора облегчает подвод дроби к ротору, упрощает конструкцию направляющего устройства и снижает износ её деталей.

При заправке дробемёта дробь засыпается в загрузочный бункер 1. С помощью ковшевого элеватора 2 она поднимается вверх и заполняет бункер 3 питателя ротора. Избыток дроби поступает в бункер 4 (сепаратора), объём которого достаточен для размещения всей



Фиг. 9. Схема дробемётной установки типа ДУ-1 ЦНИИТМаш с вертикальной осью вращения дробемётного аппарата [7]

дроби (300 кг), загружаемой в установку. Из бункера питателя при открытом дросселе 5 дробь поступает по вертикальному трубопроводу 6 в центр быстро вращающегося ротора 7, укрепленного на вертикальном валу и приводимого в движение электродвигателем 8. Лопатками ротора дробь выбрасывается в горизонтальной плоскости на обрабатываемое изделие 9, помещённое в рабочей камере дробемёта. Определённое направление выбрасывания дроби обеспечивается расположением выходного отверстия сбоку в нижней части вертикального трубопровода 6, имеющего возможность поворачиваться и фиксироваться в любом положении. После наклёпа деталей дробь скатывается по наклонному дну рабочей камеры и попадает вновь на элеватор, совершая замкнутый цикл.

Установка снабжена вытяжным вентилятором для отсоса загрязнённого воздуха из рабочей камеры и очистки дроби от осколков. Вентилятор укреплен на боковой стенке сепаратора и связан с ним приёмным патрубком 10. В рабочую камеру воздух поступает через отверстия 11, расположенные над ротором, а в сепаратор — через окна 12 и 13.

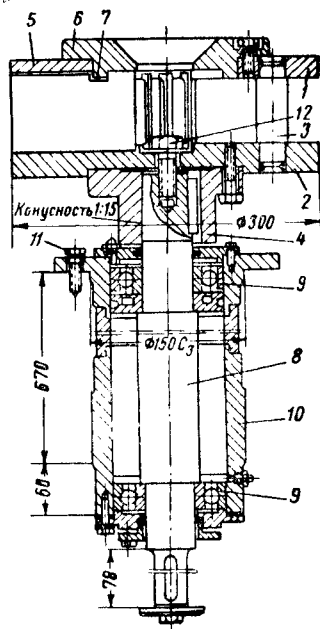
Очистка дроби от осколков осуществляется пневматически. При открытом дросселе 14 дробь широкой струёй высыпается из бункера, встречая на своём пути поперечный поток отсасываемого из рабочей камеры воздуха, который направляется на дробь специальным диффузором, вставленным в окно 13. Осколки дроби увлекаются воздушным потоком и попадают в предназначенный для них бункер 15.

Полноценная дробь падает вниз, где смешивается с дробью, поступающей из рабочей камеры дробемёта на элеватор. Таким образом, сепарирование дроби осуществляется параллельным потоком, что позволяет производить очистку дроби и при работающем и при неподвижном роторе дробемёта.

Ротор дробемёта (фиг. 10) выполнен сварным в виде двух дисков 1 и 2, соединённых пальцами 3 и закреплённых на ступице 4. Диски имеют радиальные пазы, предназначенные для установки восьми лопаток 5. Литые лопатки

из износостойкой стали крепятся в роторе диском 6, который заходит в имеющиеся в них пазы 7. Весь ротор укреплен на коническом хвостовике вертикального вала 8, на противоположном конце которого монтируется сменный шкив привода.

Вал имеет два радиальных подшипника 9, нижний подшипник, помимо радиального,

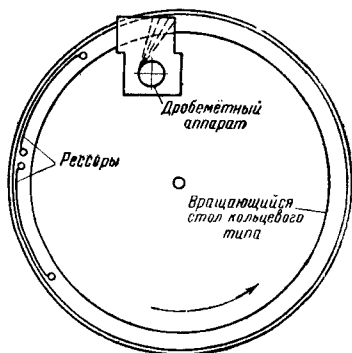


Фиг. 10. Общий вид ротора установки ДУ-1 с вертикальной осью вращения

также воспринимает осевую нагрузку. Весь комплект собран в трубе 10, что облегчает монтаж и технологию изготовления этого узла. Собранный ротор крепится к корпусу дробемёта болтами 11. Ротор приводится в движение двигателем через клиноремённую передачу.

Для перемещения изделий под потоком дробы применяются конвейеры различных типов.

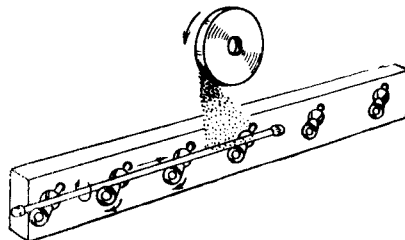
Вращающийся кольцевой конвейер для наклепа рессорных листов дробью показан на фиг. 11. Наклепываемые рессорные листы укладываются на ребро, а дробемётный аппа-



Фиг. 11. Схема дробемётной установки с кольцевым конвейером для наклепа рессорных листов

рат с вертикальной или наклонной осью вращения располагается внутри кольца конвейера. Подобного типа установки обладают всеми преимуществами установки с роторами, вращающимися в горизонтальной плоскости, и позволяют вследствие кольцевого конвейера обслуживать этот конвейер одному рабочему.

На фиг. 12 приводится схема конвейера для наклепа валов длиной 1—2 м. Всесто-



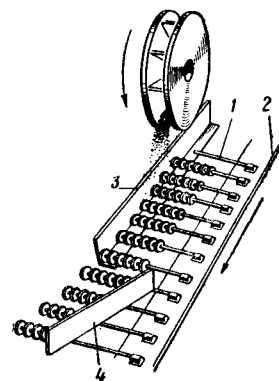
Фиг. 12. Схема конвейера для наклепа длинных валов [17]

ронная обработка дробью поверхности валов достигается здесь одновременно поступательным и вращательным их перемещением. Поступательно-вращательное движение обрабатываемых валов достигается посредством вращающихся роликов, образующих 2 конуса, сопряжённых вершинами и расположенных под углом к направлению продольного перемещения. Обрабатываемые валы при поступательном движении по роликам вращаются вокруг своей оси благодаря тому, что угол между их осями и осями вращающихся роликов меньше прямого.

Схема конвейера для обработки дробью спиральных и цилиндрических пружин приведена на фиг. 13.

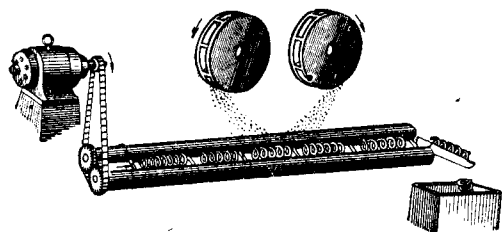
На пальцы 1 конвейера 2 надеваются пружины, предназначенные для наклепа. При продольном перемещении конвейера под потоком дробы пружины встречают опору в виде планки 3 и начинают катиться по ней, вращаясь на всём протяжении опорной планки, т. е. под потоком дробы они получают поступательное и вращательное движение. При прохождении зоны действия дробы пружины встречают упор 4, снимающий их с пальцев конвейера.

На фиг. 14 представлен вариант транспортера для наклепа крупных спиральных пружин. Он состоит из двух валов, расположенных вдоль камеры установки, и резинового ремня с металлическими шпорами, проходящими между валами. Наклепываемые пружины укладываются на валы и получают от них вращательное движение. Продольное пере-



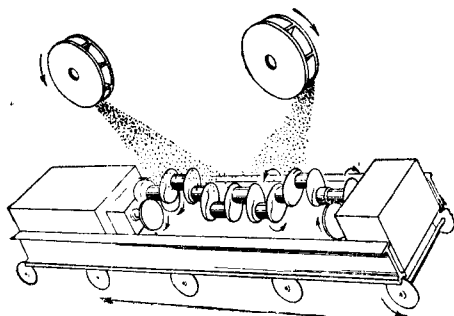
Фиг. 13. Схема установки для наклепа пружин [7]

мещение пружин производится шпорами, прикреплёнными на ремне, который движется между валами.



Фиг. 14. Схема установки для наклёпа крупных цилиндрических пружин

На фиг. 15 приводится схема установки для наклёпа крупных коленчатых валов. Наклёпываемый вал опирается концевыми шейками на ролики. Эти ролики находятся в сцеплении с колёсами тележки. При поступательном движении тележки под потоком дробы



Фиг. 15. Схема установки для наклёпа коленчатых валов

от колёс её передаётся вращательное движение роликам и опирающемуся на них обрабатываемому валу.

ДРОБЬ ДЛЯ ДРОБЕСТРУЙНОГО НАКЛЁПА

Для наклёпа поверхности изделий с целью их упрочнения применяется стальная или, чаще, чугунная дробь диаметром от 0,4 до 1,5 мм. Более крупная дробь даёт более высокий наклёп. Дробь меньшего диаметра даёт более гладкую поверхность после наклёпа. Для чугунной дроби обычно применяется чугун следующего химического состава: углерода 3,45%, кремния 1,8%, марганца 0,55%, серы 0,15%, фосфора 0,46%. Дробь должна обладать возможно большей твёрдостью и вместе с тем не должна раскалываться от удара об изделие при наклёпе. Дробинка диаметром 0,8—1,0 мм при испытании не должна разрушаться под нагрузкой 180 кг.

Получается чугунная дробь путём распыления струи жидкого чугуна с помощью водяной струи под большим давлением. Высушивание дроби предохраняет её от коррозии.

После сушки дробь сортируется путём просеивания через сито с калиброванными ячейками.

В процессе охлаждения в воде мелких частичек чугуна микроструктура дробинков получается цементитно-мартенситная с $H_B = 650 \div 800$. Такая твёрдость способствует раскалыванию дроби. Для обеспечения стойкости дроби рекомендуется её термически обрабатывать. Обработка состоит в нагреве до полного или частичного разложения цементита и образования углерода отжига с последующей закалкой и отпуском. Применяя различные режимы обработки, можно получить дробь вязкую с $H_B = 200 \div 600$. Большой расход чугунной дроби из-за раскалывания её на части при ударе вследствие её низкой пластичности значительно удорожает операцию наклёпа. Практикой установлено, что расход дроби вследствие её раскалывания на один дробемёт роторного типа при скоростях выбрасывания дроби 70 м/сек достигает 30—50 кг/час. Лучшие результаты даёт стальная дробь. Средний расход стальной дроби в тех же условиях составляет всего лишь 1,0 кг/час, т. е. в 30—50 раз меньше, чем чугунной. Производство для дробеструйного наклёпа стальной литой дроби связано с трудностями из-за низких литейных свойств стали по сравнению с чугуном.

Московский автозавод им. Сталина в 1949—1950 гг. успешно применил дробь, полученную путём рубки стальной проволоки. В готовом виде такая дробь представляет собой цилиндрики, высота которых равна их диаметру. При работе в дробемётном аппарате эти цилиндрические кусочки стальной проволоки в результате пластической деформации при ударе об упрочняемую поверхность изделия приобретают форму, близкую к форме шара.

После длительной работы дробь сама наклёпывается, что сопровождается повышением её твёрдости. Так, твёрдость дроби из канатной проволоки, содержащей углерода 0,7%, по истечении 40 часов работы повышается с 36 до 44, а по истечении 300 час. работы до 50 единиц по Роквеллу.

Стальная дробь, проработавшая 400—500 час., получает сильный наклёп, в результате чего на дробинках появляются трещины и дробь начинает раскалываться. В этом случае расход дроби увеличивается до 1,5 кг/час на один дробемётный аппарат.

Стоимость 1 кг стальной дроби, рубленной из проволоки, в 4—5 раз дороже чугунной, но применение её вследствие лучшей стойкости и меньшего поэтому расхода обходится дешевле.

При использовании для наклёпа стальной дроби резко уменьшается износ лопаток ротора дробемёта.

Чугунная дробь, в структуре которой содержатся весьма твёрдые частицы цементита, при сбросе бороздит лопатки, неравномерно и быстро их изнашивая.

При работе со стальной дробью износ лопаток происходит медленнее и равномернее по всей плоскости.

Эффект упрочнения стальной круглой дробью несколько выше, чем чугунной, так как в последней всегда имеются осколки с остры-

ми краями. Эффект наклёпа дробью, рубленой из проволоки, нескруглённой, несколько ниже, чем при применении чугуновой дробь.

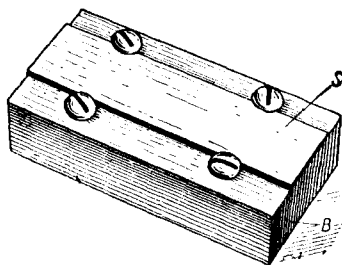
КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССА ДРОБЕСТРУЙНОЙ ОБРАБОТКИ

Глубина наклёпанного слоя и остаточные напряжения в нём зависят от материала наклёпываемой детали, её термообработки, состояния наклёпываемой поверхности, размера и качества дробь, скорости дробь в момент удара и количества выбрасываемой дробь на единицу наклёпываемой поверхности.

Такое многообразие факторов, влияющих на степень наклёпа, вызывает необходимость установления оптимального режима наклёпа, обеспечивающего наибольшую прочность упрочняемых изделий и сохранения стабильности установленного процесса в производственных условиях.

В настоящее время большое распространение получил метод, в основе которого лежит измерение стрелы прогиба эталонной пластинки, наклёпанной вместе с упрочняемой деталью.

При пользовании этим методом одновременно с обработкой детали или вместо неё под поток дробь помещается эталонная пластинка *S*, укреплённая четырьмя винтами на специальной колодке *B* (фиг. 16). Односторонний наклёп дробью этой пластинки вызывает



Фиг. 16. Колодка для крепления эталонных пластинок при их наклёпе

увеличение твёрдости металла наклёпываемого слоя и создаёт в этом слое напряжения сжатия. После освобождения от колодки пластинка получает искривление. Стрела прогиба пластинки, искривившейся вследствие её наклёпа дробью, принимается за критерий интенсивности процесса и степени наклёпа изделия.

Для измерения стрелы прогиба пластинки используют специальное приспособление с индикатором (фиг. 17). Режим дробеструйного наклёпа в производственных условиях обычно контролируется периодически несколько раз в смену.

Эталонные пластинки для контроля процесса обычно изготавливают из стали марки У7 или пружинной стали и подвергают термической обработке для получения твёрдости $H_{RC}=44-50$.

В практике применяют два типа эталонных контрольных пластинок (табл. 1). Пла-

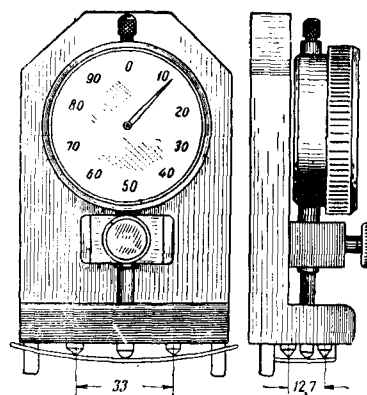
стинки меньшей толщины применяют в том случае, когда их стрела в результате наклёпа не превышает 0,4 мм.

Таблица 1

Размеры контрольных пластинок в мм

Тип	Длина	Ширина	Толщина
A	76,2±0,38	19,05—0,13	1,295±0,025
C	76,2±0,38	19,05—0,13	2,391±0,025

Стрела прогиба пластинки зависит от глубины наклёпанного слоя и величины остаточных напряжений. Может иметь место одинаковая стрела при разном сочетании этих факторов. Поэтому описанный метод надёжно обеспечивает контроль стабильности установленного процесса. Интенсивность же наклёпа



Фиг. 17. Прибор для измерения кривизны контрольных пластинок после наклёпа

он характеризует в степени, определяемой взаимозависимостью между глубиной наклёпа и величиной напряжений в изделиях, наклёпанных дробью по установленным практической режимам.

Этот метод контроля стабильности процесса наклёпа практически с успехом может быть применён при одностороннем дробеструйном наклёпе рессорных листов путём замера изменения кривизны самих наклёпываемых листов.

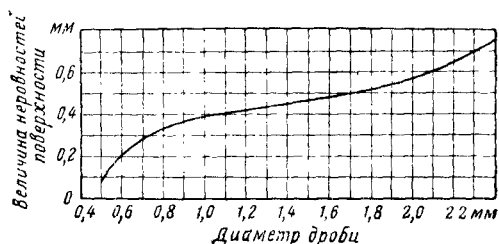
Для этого устанавливается оптимальное изменение кривизны термически обработанного рессорного листа от наклёпа дробью и периодическими замерами кривизны таких же листов перед наклёпом и после наклёпа контролируется стабильность режима наклёпа рессорных листов.

УПРОЧНЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ДРОБЕСТРУЙНОГО НАКЛЁПА

В поверхностном слое наклёпываемого изделия происходят микро- и макроскопические изменения.

Поверхность детали при наклёпе дробью становится неровной, причём неровность возрастает с увеличением размера применяемой дробь.

На фиг. 18 приведена кривая зависимости неровностей поверхности от размера применяемой дроби, а на фиг. 19 показана поверхность наклепанного образца.



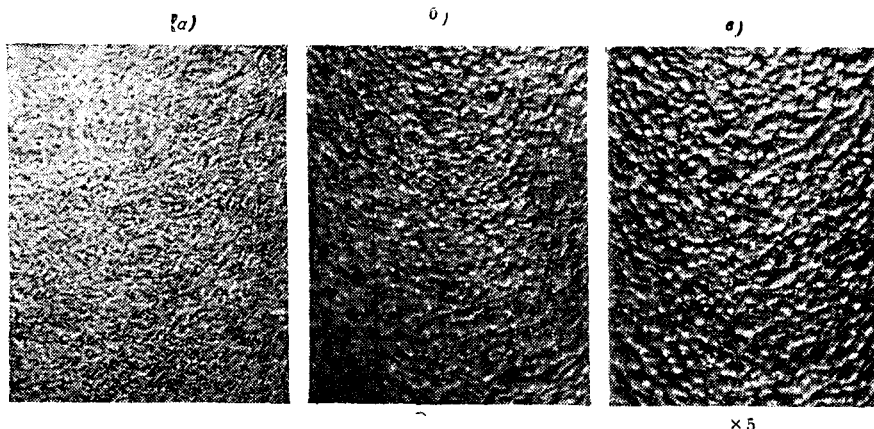
Фиг. 18. Зависимость между диаметром дроби и неровностью поверхности

В поверхностном слое наклепанного изделия в результате пластической деформации можно наблюдать текстуру (фиг. 20) и линии сдвига Чернова, последние особенно рельефно проявляются при наклёпе высокомарганцевой закалённой стали (фиг. 21). Кроме того, в результате возникновения больших

Прирост твёрдости в результате наклёпа тем резче, чем меньше твёрдость стали до наклёпа.

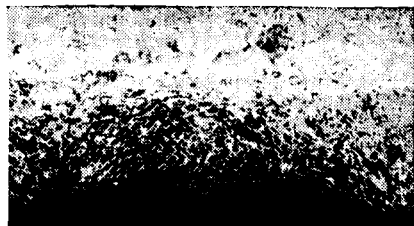


Фиг. 21. Микроструктура наклепанной зоны высокомарганцевой закалённой стали



Фиг. 19. Поверхность стального образца, наклепанного дробью диаметром: а — 0,5 мм; б — 0,8 мм; в — 1,4 мм

напряжений и высоких температур в поверхностном слое могут возникнуть фазовые превращения, оказывающие большое влияние на прочность изделия.



Фиг. 20. Микроструктура поверхности наклепанного образца

Твёрдость поверхностного слоя изделий, наклепанных дробью, повышается.

В результате наклёпа твёрдость повышается: у сталей марок 15—20 на 60—80%, у среднеуглеродистых сталей на 18—20%, а у инструментальных сталей и цементированных изделий на 13—14%.

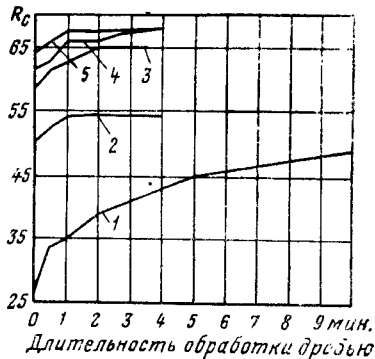
Увеличение твёрдости поверхности происходит в первые 1—3 минуты дробеструйной обработки. Последующее увеличение длительности обработки не сопровождается её заметным приростом. У изделия с обезуглероженной поверхностью повышение твёрдости происходит в течение более длительного периода (фиг. 22).

Приращение твёрдости от наклёпа дробью распространяется на глубину 0,3—0,4 мм с постепенным снижением (приближённо — по линейному закону) по мере удаления от поверхности (фиг. 23).

Пластическая деформация поверхностного слоя детали при дробеструйном наклёпе создаёт в нём остаточные напряжения. Величина этих напряжений достигает предела текучести.

В результате развития остаточных напряжений в поверхностном слое наклёпанная пластинка получает искривление.

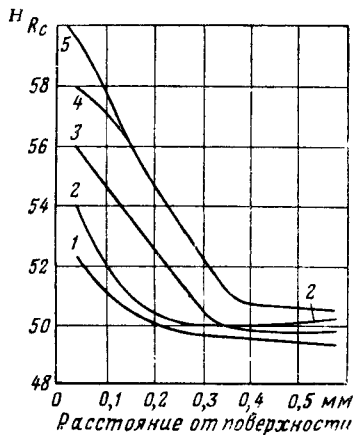
На фиг. 24 приводится зависимость толщины сжатого слоя, величины искривления контрольных пластинок и величины остаточных напряжений от длительности наклёпа.



Фиг. 22. Зависимость между длительностью наклёпа дробью и твердостью поверхностного слоя: 1 — сталь 55C2; 2 — обезуглероживанная на глубину 0,15 мм; 3 — сталь 15X цементованная; 4 — сталь P9; 5 — сталь P18 [12]

Данные, представленные этими кривыми, получены экспериментальным путём на пластинках размером $19 \times 75 \times 1,3$ мм, изготовленных из стали марки У7, термически обработанных ($H_{RC} = 49-50$).

Наклёп производился чугунной дробью диаметром 0,4—0,6 мм при скорости 57 м/сек с подачей 110 кг/мин. Продолжительность

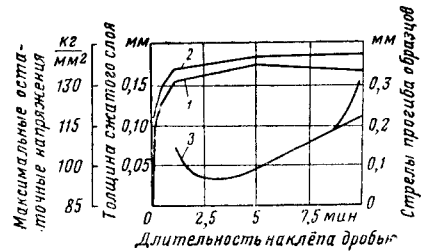


Фиг. 23. Изменение твердости по глубине наклёпанного слоя стали 50ХГФ (длительность наклёпа: 1—5 сек.; 2—30 сек.; 3—60 сек.; 4—120 сек.; 5—300 сек.) [12]

наклёпа изменялась от 5 сек. до 10 мин. Остаточные напряжения определялись методом удаления слоёв электролитическим сравнением.

Степень наклёпа, кроме того, зависит от скорости дробы в момент удара. Предельная скорость обычно лимитируется прочностью дробы.

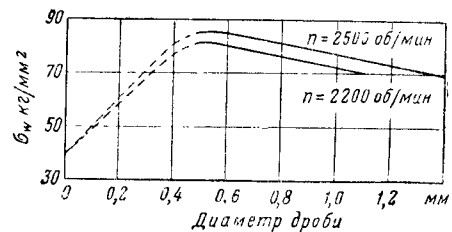
Из диаграммы, приведённой на фиг. 25, видно, что наиболее высокий предел выносливости получается при наклёпе дробью диаметром 0,4—0,6 мм.



Фиг. 24. Влияние длительности наклёпа дробью стали У7 на толщину сжатого слоя и на величину максимальных остаточных напряжений: 1 — толщина сжатого слоя; 2 — прогиб образца; 3 — остаточные напряжения [12]

С уменьшением окружной скорости ротора предел выносливости образцов также снижается.

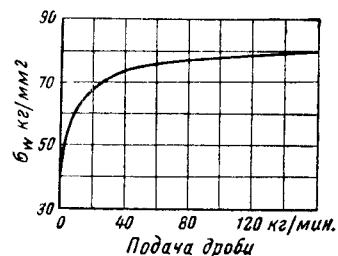
На фиг. 26 приводится зависимость предела выносливости σ_w образцов от количества



Фиг. 25. Зависимость предела выносливости от диаметра дробы и скорости вращения ротора дробемёта

дробы, выбрасываемой на наклёпываемые из деления ротором дробемёта при скорости его вращения 2 200 об/мин. и скорости конвейера 2,6 м/мин.

Из этой диаграммы видно, что с увеличением подачи дробы предел выносливости ста-

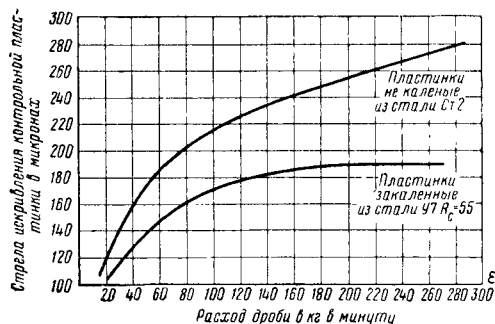


Фиг. 26. Зависимость предела выносливости σ_w от количества дробы, подаваемой в ротор дробемёта [15]

ли σ_w вначале резко возрастает. Последующее увеличение подачи дробы даёт меньший эффект который совершенно затухает при расходе дробы больше 120 кг/м.

Это же явление можно видеть на схеме (фиг. 27), где приводится величина искривления контрольных пластинок в зависимости от расхода дробы.

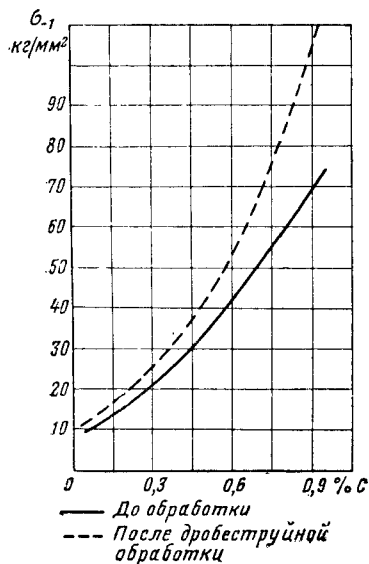
При дробеструйной обработке большое значение имеет время нахождения изделия под струёй дробы. Последнее обычно регулируется скоростью поступательного движения



Фиг. 27. Зависимость искривления контрольных пластинок от расхода дробы

конвейера, несущего наклёпываемую деталь, или скоростью поступательного и вращательного движения изделия, если производится наклёп изделия со всех сторон.

Непосредственным показателем эффективности наклёпа является увеличение предела

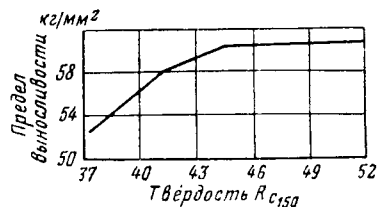


Фиг. 28. Влияние дробеструйной обработки на предел выносливости стали с различным содержанием углерода

выносливости или увеличение долговечности изделия.

Влияние дробеструйной обработки на предел выносливости стали с различным содержанием углерода показано на фиг. 28, предел выносливости в результате наклёпа дробью повышается тем больше, чем больше углерода в стали.

Наклёп повышает предел выносливости в большей степени для изделий, имеющих большую твёрдость (фиг. 29).

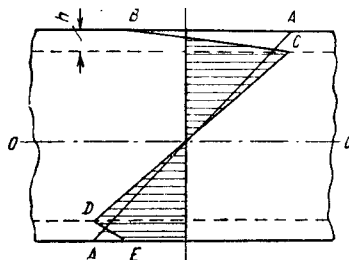


Фиг. 29. Влияние твёрдости на предел выносливости после дробеструйной обработки

Равным образом дробеструйный наклёп даёт относительно большее упрочнение детали при наличии технологических и конструктивных концентраторов напряжения на ней в виде надрезов или напрессованных втулок.

При тех же параметрах дробеструйного наклёпа можно получить гораздо больший эффект наклёпом изделия в напряжённом состоянии. Так, например, в изогнутом рессорном листе верхние волокна будут иметь напряжение растяжения, а нижние — напряжение сжатия. По величине эти напряжения должны быть не ниже тех, которые в рессоре возникают в рабочем состоянии, или, лучше, быть равными пределу текучести термически обработанных рессорных листов. Эпюра основных напряжений по сечению листа будет выражаться кривой AA (фиг. 30).

Если в таком напряжённом состоянии пластически деформировать поверхность листа дробеструйным наклёпом, то напряжения



Фиг. 30. Эпюра распределения напряжений в образце [1]

по всей глубине h пластически деформированного слоя изменяются. На стороне растянутых волокон взамен напряжения растяжения образуются сжимающие напряжения, а на стороне сжатых волокон рессорного листа напряжения сжатия значительно упадут и эпюра напряжений получит вид кривой BCDE (см. фиг. 30).

Как видно из эпюры рабочих напряжений, на стороне растянутых волокон основной эпюры появились напряжения сжатия в максимально напряжённом состоянии листа, т. е. при любых нагрузках на этот лист на его поверхности со стороны растягиваемых волокон всегда будут напряжения сжатия.

Наклёп рессорных листов в напряжённом состоянии со стороны сжатых волокон позволяет получить остаточные напряжения рас-

тяжения и этим значительно снизить сжимающие напряжения от рабочей нагрузки со стороны сжатых волокон.

Дробеструйный наклёп стальных деталей значительно повышает их коррозионно-усталостную прочность.

При одновременном воздействии на металл циклически повторяющихся переменных напряжений и коррозионной среды коррозия со временем сосредоточивается преимущественно на участках, имеющих концентрацию напряжений.

Таковыми участками могут быть как первоначальные очаги коррозии, так и поверхностные микродефекты.

По мере углубления коррозионного поражения возрастает концентрация напряжений, которая делает металл на этих участках более химически активным.

В результате развивающегося электрохимического процесса коррозии в условиях переменных нагрузок возникают узкие глубокие трещины коррозионной усталости, приводящие к излому детали.

Упрочнение поверхности стальных деталей дробеструйным наклёпом придаёт им весьма ценное свойство, заключающееся в резком снижении чувствительности к поверхностным концентраторам. В связи с этим наклёп дробью является очень эффективным для повышения коррозионно-усталостной прочности.

Экспериментально установлено, что шлифованные образцы из стали 45, имеющие предел выносливости на воздухе $23,5 \text{ кг/мм}^2$, при испытании в 3%-ном растворе поваренной соли в воде снижают свою усталостную прочность в 2,5 раза; последняя составляет всего $10,0 \text{ кг/мм}^2$. Упрочнение тех же образцов дробеструйным наклёпом повышает предел выносливости на воздухе до $29,7 \text{ кг/мм}^2$. Испытание тех же образцов в солёной воде показывает повышение предела выносливости до $20,2 \text{ кг}$, т. е. в 2 раза выше такового для шлифованных и ненаклёпанных образцов.

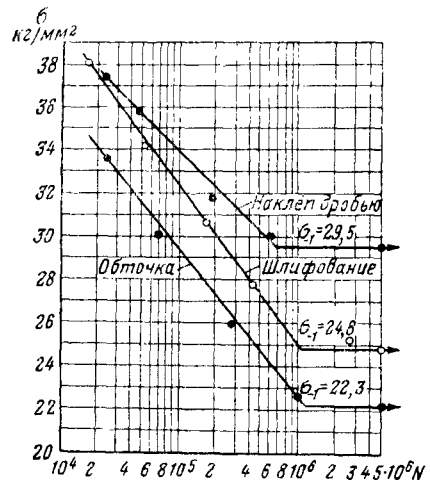
Существенного повышения (до 95%) коррозионно-усталостной прочности можно достигнуть в изделиях с электролитически хромовым покрытием за счёт предварительного поверхностного наклёпа дробью, особенно предварительного наклёпа в напряжённом состоянии.

ПРИМЕНЕНИЕ ДРОБЕСТРУЙНОГО НАКЛЁПА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Упрочнение изделий дробеструйным наклёпом эффективно для деталей машин, работающих в условиях переменных нагрузок. На железнодорожном транспорте он может быть широко применён для высоконапряжённых деталей из углеродистой стали и особенно рессор и пружин подвижного состава.

На железнодорожном транспорте широкое применение получила углеродистая сталь Ст. 5. На фиг. 31 приводятся кривые выносливости для этой стали, полученные на образцах диаметром 15 мм. Повышение пре-

дела выносливости образцов, наклёпанных дробью, по сравнению с полученным на обработанных образцах составляет 32%, а по сравнению со шлифованными образцами — 19%. Значения ударной вязкости наклёпанных и ненаклёпанных образцов из этой стали практически одинаковы. Гораздо больший эффект

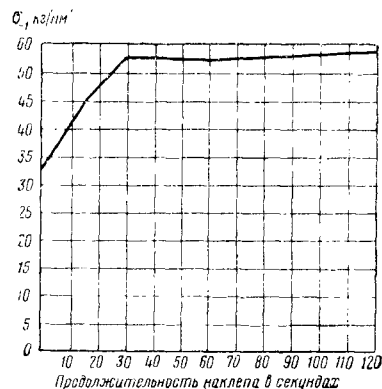


Фиг. 31. Результаты испытания образцов из стали Ст. 5, $d=15 \text{ мм}$, упрочнённых дробеструйной обработкой [12]

наклёп дробью оказывает на увеличение предела выносливости и долговечность железнодорожных пружин и рессор подвижного состава.

Опыты, проведённые на плоских образцах из рессорной стали марки 55С2 с поверхностно в состоянии проката, имеющего обезуглероживание на глубину 0,15 мм, показали значительное увеличение предела выносливости при симметричном знакопеременном цикле испытания.

При этом, если предел выносливости для ненаклёпанных термически обработанных образцов, имевших твёрдость $HR_C = 38-40$, ока-

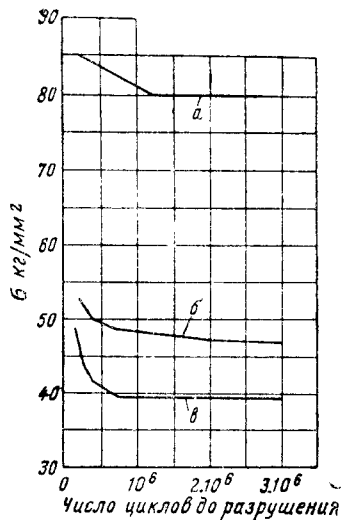


Фиг. 32. Характер нарастания упрочняющего действия от продолжительности наклёпа

зался равным 32 кг/мм^2 , то в результате наклёпа он значительно увеличивается, особенно в течение первых 30 сек. процесса. Так, при на-

клёпе чугуной дробью диаметром 0,4—0,6 мм при 2 250 об/мин. ротора, его диаметре 500 мм и расходе дроби 100—120 кг/м предел выносливости поднимается с 32 до 59 кг/мм².

Характер нарастания упрочняющего действия от продолжительности наклёпа приведён на фиг. 32.



Фиг. 33. Результаты испытаний образцов с желобом из рессорной стали марки 55С2 с чёрной поверхностью: а — наклёп дробью в напряжённом состоянии; б — наклёп дробью; в — без наклёпа [1]

Исходя из этой кривой следует признать, что при описанных условиях опыта экономически целесообразной является продолжительность наклёпа в течение 30 сек.

Дальнейшее увеличение времени до 2 мин. даёт очень незначительный упрочняющий эффект.

Данные, полученные на желобчатых плоских образцах из стали марки 55С2 толщиной 13 мм, с поверхностью в состоянии поставки при пульсирующем цикле, приведены на фиг. 33.

Эти кривые получены на плоских образцах при испытании их при пульсирующем цикле напряжения по схеме, приведённой на фиг. 34.

Термическая обработка всех образцов заключалась в закалке в масле и отпуске до $HRC = 40$.

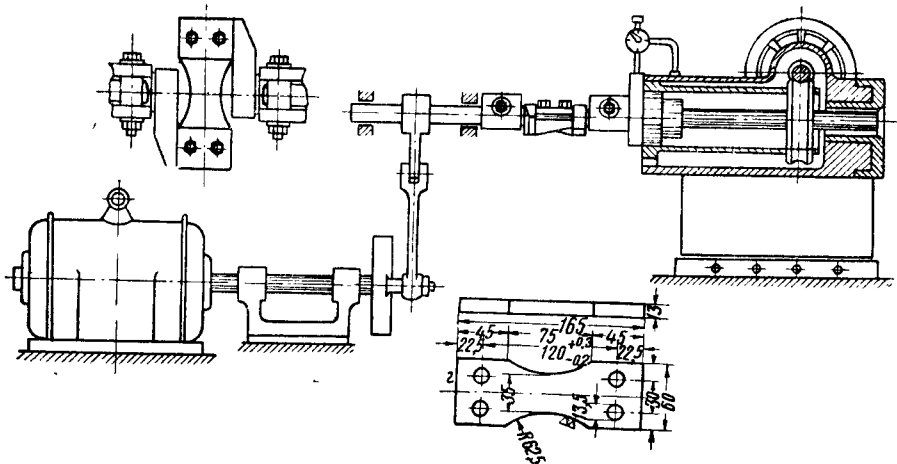
Для наклёпа в напряжённом состоянии образцы изгибались путём стягивания их болтами по концам, с прокладкой между ними так, что они в среднем сечении имели напряжение изгиба, равное примерно 80—90 кг/мм².

В таком напряжённом виде образцы подверглись наклёпу дробью со стороны растянутых волокон. При испытании разрушение образцов началось не со стороны растягивающих, а со стороны сжимающих напряжений, т. е. первоначальные трещины образовывались на стороне сжатых волокон на буртике образца.

Такие же испытания, проведённые на плоских образцах толщиной 10 мм без желобка, показали возможность увеличения предела выносливости рессорной стали путём обычного наклёпа в продолжение 1 мин. до 70 кг/мм² и наклёпа в напряжённом состоянии до 85 кг/мм² вместо 35 кг/мм² для образцов в ненаклёпанном состоянии (фиг. 35).

В железнодорожных рессорах от статической нагрузки спокойно стоящего гружёного вагона возникают напряжения до 70 кг/мм². При движении вагона по неровностям пути наблюдаются толчки, в результате которых напряжения в рессорных листах колеблется, меняясь на величину, примерно равную $\pm 40 \div 50\%$ от напряжений, вызванных статической нагрузкой. Поэтому большой практический интерес представляет влияние наклёпа на предел выносливости при режиме испытания, наиболее приближающемся к условиям работы рессор под вагоном.

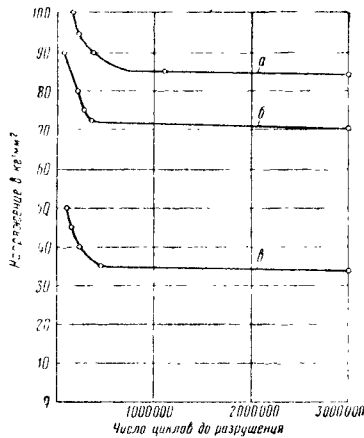
Испытание плоских образцов на машине, схема которой приведена на фиг. 34, при знакопостоянном цикле напряжения $\sigma = 70 \pm \Delta\sigma$ показало, что рессорная сталь марки 55С2 в ненаклёпанном состоянии имеет предел выносливости $\sigma = 70 \pm 13$ кг/мм², а образ-



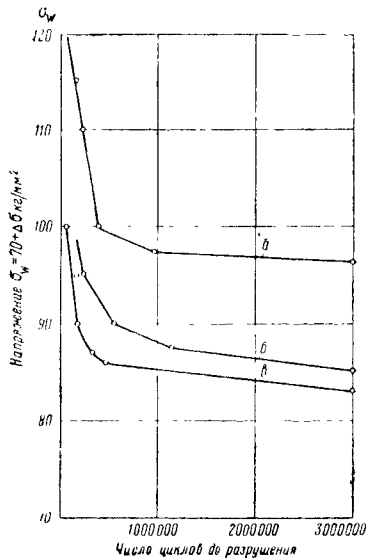
Фиг. 34. Схема машины и плоских образцов для испытаний на выносливость [1]

цах, наклёпанных дробью, он повышается до $70 \pm 15 \text{ кг/мм}^2$, а в образцах, наклёпанных в напряжённом состоянии, он достигает $70 \pm 26,5 \text{ кг/мм}^2$.

Результаты этих испытаний приведены на фиг. 36.



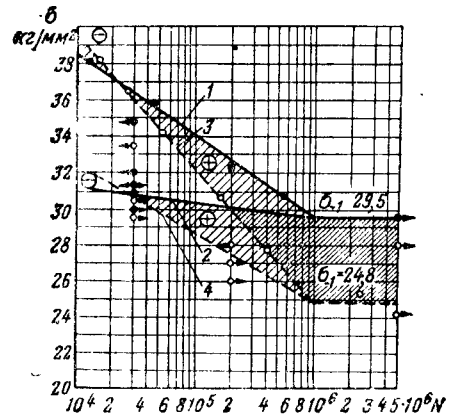
Фиг. 35. Зависимость предела выносливости для плоских образцов стали 55C2 от наклёпа при пульсирующем цикле напряжения: а — образцы, наклёпанные в напряжённом состоянии; б — образцы, наклёпанные обычным способом; в — образцы не наклёпанные



Фиг. 36. Зависимость предела выносливости для плоских образцов стали 55C2 от наклёпа при знакопеременном цикле напряжения $\sigma_w = 70 \pm \Delta\sigma$: а — наклёпанные в напряжённом состоянии; б — наклёпанные обычным способом; в — образцы не наклёпанные

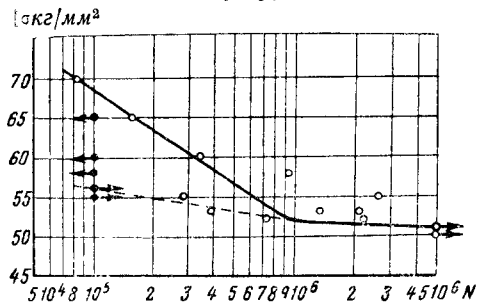
Характерно, что кривые выносливости для упрочнённых образцов и образцов шлифованных пересекаются только при очень высоких перегрузках (фиг. 37), а для упрочнённых образцов и образцов обточенных, повидимому, не пересекаются вовсе. Это говорит о том, что положительное влияние дробеструйной на-

клёпа на долговечность образцов оказывается до самых высоких перегрузок. Это положение подтверждается экспериментальными данными, приведёнными на фиг. 37. На этой фигуре приведены, помимо кривых выносливости, кривые повреждаемости, полученные на образцах диаметром 15 мм для стали Ст. 5.



Фиг. 37. Результаты перегрузочных испытаний (сталь Ст. 5, $d = 15 \text{ мм}$) образцов, упрочнённых дробеструйной обработкой: 1 — наклёп, линия выносливости; 2 — наклёп, линия повреждаемости; 3 — шлифование, линия выносливости; 4 — шлифование, линия повреждаемости [12]

Несмотря на то, что кривая повреждаемости для упрочнённых образцов прошла почти совершенно горизонтально, точка её пересечения с кривой повреждаемости для неупрочнённых образцов отвечает очень высокому перенапряжению. Области положительного и отрицательного влияния дробеструйного наклёпа, заштрихованные и отмеченные соответственно знаками плюс и минус, указывают, что почти во всех сочетаниях величины напряжения и повторности его приложения действие дробеструйной обработки остаётся положительным. Эксперименты, проведённые на образцах рессорной стали 55C2, показали, что наклёп дробью, значительно повышая предел выносливости этой стали, делает её чувствительной к перегрузкам.



Фиг. 38. Влияние перегрузок на усталостную прочность рессорной стали 55C2 [12]

На фиг. 38 приводятся кривые выносливости (сплошная линия) и повреждаемости (пунктирная линия), полученные экспериментально на плоских образцах рессорной стали

с наклёпанной поверхностью в состоянии проката.

Для построения кривой повреждаемости образцы при различных напряжениях выше предела выносливости подвергались некоторому числу циклов напряжений, меньшему того, которое вызывает разрушение. Затем каждый из этих образцов испытывался на усталость при напряжении, равном пределу выносливости образца в его исходном состоянии. Если такой образец при этом выдерживал $5 \cdot 10^6$ циклов напряжения, то считалось, что предварительная перегрузка образец не повредила.

Граница, отделяющая область допустимых перегрузок, т. е. кривая повреждаемости, на фиг. 38 показана пунктиром.

Серия таких же плоских образцов, наклёпанных дробью, подвергшихся 5-кратной перегрузке при напряжении 110 кг/мм^2 , при испытании показала снижение предела выносливости с 46 до 38 кг/мм^2 .

Следует отметить, что по абсолютному значению предел выносливости образцов, наклёпанных дробью, и после перегрузки (38 кг/мм^2) выше предела выносливости образцов в исходном состоянии без наклёпа (32 кг/мм^2).

Для изучения влияния наклёпа дробью на долговечность железнодорожных рессор подвергались сравнительному испытанию 12-листовые рессоры 2-осного грузового вагона [1], [2].

Рессоры изготовлялись из стали марки 55С2 и по своему качеству соответствовали ГОСТ 1425-48. Часть рессор для испытания была собрана из листов, упрочнённых дробеструйным наклёпом.

Наклёп листов производился чугуной дробью диаметром 0,8—1,0 мм, при подаче дробь 70 кг/мин при скорости конвейера 8 м/мин в три прохода.

Для испытания одновременно устанавливались 8 рессор, которые подвергались одинаковой постоянной нагрузке $7\,000 \text{ кг}$ каждая. При запуске машины каждая рессора прогибалась дополнительно на 20 мм с частотой колебания 80 циклов в минуту. При этом обычные 12-листовые рессоры выдерживали до разрушения от 60 до 350 тысяч циклов и дали в среднем из 16 показаний 154 тысячи циклов. Те же рессоры, собранные из листов, упрочнённых дробеструйным наклёпом и конструктивным упрочнением ушков, выдерживали до разрушения от 650 до 1 300 тысяч циклов, дали среднее значение из 8 показаний 935 тысяч циклов, т. е. долговечность их по сравнению с обычными рессорами увеличивалась в шесть раз.

Сравнительное испытание обычных и упрочнённых дробеструйным наклёпом наружных пружин тележки 50-т вагона показывает значительный эффект этого вида обработки.

Пружины, изготовленные из заготовки диаметром 30 мм стали марки 55С2 одной плавки, испытывались в наклёпанном и ненаклёпанном виде.

При испытании пружины предварительно нагружались усилием $2\,900 \text{ кг}$ каждая и затем прогибались на 20 мм с частотой 80 циклов в минуту. При этом наибольшее усилие, действующее на каждую пружину, составляло $4\,999 \text{ кг}$.

Испытание пружин прекращалось при разрушении или по достижении 3 000 000 циклов.

Пружины ненаклёпанные до разрушения выдерживали от 290 до 700 тысяч циклов, среднее значение из 24 показаний 444 тысячи. Пружины, наклёпанные дробью, выдерживали до разрушения или прекращения испытания от 1 600 до 3 000 тысяч, среднее значение из 24 показаний 2 378 тысяч циклов, т. е. в 5—6 раз больше, чем пружины ненаклёпанные.

Наклёп дробью для упрочнения пружин и рессор подвижного состава с 1954 г. вводится как обязательная технологическая операция (см. ГОСТ 1425-53).

Наклёп дробью может быть применён для упрочнения рельсовых накладок, крестовин из высокомарганцевой стали, сердечников стрелочных переводов, штоков, дышел, подбуксовых струнок, тормозных тяг и подвесок, пружин польстерных букс и др.

При выборе оборудования для наклёпа необходимо исходить из габаритов и формы наклёпываемых деталей.

Для наклёпа рессорных листов можно рекомендовать установку, приведённую на фиг. 5.

При наклёпе рессорных листов на этой установке при одновременной работе двух дробеструйных аппаратов и подаче дробь $100\text{—}120 \text{ кг/мин}$ каждой скоростью конвейера должна быть от 2 до 4 м/мин .

При необходимости повысить производительность установки можно за счёт уширения ленты конвейера укладывать рессорные листы в два ряда и этим увеличить пропускную способность установки в два раза, т. е. обеспечить наклёп $200\text{—}600$ листов в час.

Для контроля степени наклёпа можно применять контрольные пластинки толщиной 1,3 или 2,4 мм из стали У7 или из рессорной стали марки 55С2, закалённые и отпущенные до твёрдости $H_{RC} = 48 \div 50$. При достаточном наклёпе пластинка толщиной 1,3 мм на хорде, равной 33 мм, должна иметь стрелу прогиба около 0,3 мм. Пластика толщиной 2,4 мм при тех же условиях должна иметь стрелу 0,18—0,19 мм.

При расчёте скоростей перемещения наклёпываемых изделий следует исходить из того, чтобы каждая точка наклёпываемого изделия находилась под действием дробь около 1 мин. и никак не меньше 30 сек.

Для наклёпа пружин подвижного состава может быть использована также установка, приведённая на фиг. 5, но при этом необходимо заменить ленточный конвейер цепным, обеспечивающим перемещение пружин путём их перекатывания по нижнему полотну вдоль всей камеры. Но так как пружины при их перекатывании под струёй дробь подвергаются наклёпу лишь с одной стороны (сверху), и верхние витки защищают от попадания дробь внутренние части нижних витков, то скорость движения конвейера должна быть снижена до $0,5\text{—}0,8 \text{ м/мин}$. Пружина при перекатывании должна сделать полный оборот под струёй дробь. Для полного покрытия пружины струёй дробь необходимо, чтобы площадь покрытия дробью была в продольном направлении не меньше трёх диаметров пружины.

жины, а в поперечном направлении — не меньше высоты пружины.

Для наклепа пружин мелкого размера и других изделий небольших габаритов может быть рекомендована установка, приведённая на фиг. 8.

Время наклепа в этом случае должно быть определено путём одновременного наклепа вместе с деталями контрольных пластинок. Нормальный наклеп должен давать искривление пластинок на величину, указанную ранее при контроле наклепа рессорных листов.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. И в а н н и к о в Д. Г. Наклеп дробью как средство увеличения долговечности ж.-д. рессор. «Вестник машиностроения» № 10. Машгиз, М., 1953.
2. И в а н н и к о в Д. Г. Увеличение срока службы вагонных рессор. Сборник трудов Академии ж.-д. транспорта, вып. II. Трансжелдориздат, М., 1953.
3. К а р а с ё в Н. А. Дробеструйная обработка спиральных пружин. Журнал «Автомобильная промышленность» № 12. Машгиз, М., 1948.
4. К а р а с ё в Н. А. Повышение сроков службы рессор и спиральных пружин наклепом дробью. Журнал «Вестник машиностроения» № 1. Машгиз, М., 1951.
5. К а р а с ё в Н. А. Применение стальной дробин из проволоки для наклепа деталей. Журнал «Автомобильная и тракторная промышленность» № 2. Машгиз, М., 1952.
6. К а р а с ё в Н. А. Наклеп дробью деталей, находящихся в нагруженном состоянии. «Вестник машиностроения» № 8. 1953.
7. К о з л о в с к и й И. С. Обработка автомобильных деталей стальной дробью для повышения сопротивления усталости. Журнал «Автомобильная промышленность» № 3. Машгиз, М., 1946.
8. С а в е р и н М. М. Обдувка дробью как способ повышения усталостной прочности, в кн. Упрочнение машиностроительных сортов стали поверхностной обработкой. ЦНИИТМаш, Кн. 10. Машгиз, М., 1947.
9. С а в е р и н М. М. Исследование процесса дробеструйного упрочнения деталей, в кн. Исследование усталостной прочности конструкционных сталей. ЦНИИТМаш. Кн. 24. Машгиз, М., 1949.
10. С а в е р и н М. М. Определение остаточных напряжений, возникающих при дробеструйном наклепе. Сб. трудов ЦНИИТМаш «Исследования прочности сталей». Кн. 40. Машгиз, М., 1951.
11. С а в е р и н М. М. Движение дробин в роторе дробебёта механического принципа действия в сборнике статей. Новые исследования в области прочности машиностроительных материалов. Машгиз, М., 1952.
12. Сборник. Повышение усталостной прочности деталей машин поверхностной обработкой. Машгиз, М., 1952.
13. С в е ш н и к о в Д. А. и Т а р а с о в А. М. Наклеп металла в статически напряжённом состоянии. «Вестник машиностроения» № 8. Машгиз, М., 1953.
14. С е м ё н о в И. Т. Обдувка поверхностей деталей дробью. Оборонгиз, М., 1948.
15. Т а р а с о в А. М., С в е ш н и к о в Д. А. Опыт применения чугунной дробин для повышения усталостной прочности автомобильных деталей методом дробеструйной обработки. Журнал «Автомобильная и тракторная промышленность» № 2. Машгиз, М., 1952.

ДОПУСКИ И ПОСАДКИ



ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Действительный и номинальный размеры. Взаимозаменяемость

Действительным размером детали называется размер, полученный в результате непосредственного измерения. Номинальный размер детали есть её расчётный размер.

Номинальные диаметры деталей ради уменьшения номенклатуры инструментального хозяйства регламентируются ОСТ 6270 (табл. 1). Поэтому конструктор, прежде чем принять окончательно размер обрабатываемого элемента, увязывает его с указанным стандартом.

Таблица 1

Нормальные диаметры
(по ОСТ 6270)

Нормальные диаметры общего назначения									
0,5	4	15	28	48	78	115	175	270	390
0,8	4,5	16	30	50	80	120	180	240	400
1	5	17	32	52	82	125	185	290	410
1,2	6	18	34	55	85	130	190	300	420
1,5	7	19	35	58	88	135	195	310	430
1,8	8	20	36	60	90	140	200	320	440
2	9	21	38	62	92	145	210	330	450
2,2	10	22	40	65	95	150	220	340	460
2,5	11	23	42	68	98	155	230	350	470
2,8	12	24	44	70	100	160	240	360	480
3	13	25	45	72	105	165	250	370	490
3,5	14	26	46	75	110	170	260	380	500

Нормальные диаметры специального назначения									
С	1,4	А	4,2	А	9,5	С	27	С	56
С	1,7	А	4,8	А	10,5	А	29	С	64
С	2,3	А	5,5	А	11,5	С	33	С	76
С	2,6	А	6,5	А	12,5	В	37	В	215
А	3,2	А	7,5	А	13,5	С	39	В	225
А	3,8	А	8,5	А	14,5	В	47	—	—

Примечания. 1 Стандарт на нормальные диаметры распространяется на все диаметры деталей машиностроения, которые выполняются по общесоюзной системе допусков и посадок.

2. Рекомендуются отбирать из таблицы диаметров общего назначения в первую очередь диаметры, оканчивающиеся на 0, во вторую — на 0 и 5 и в третью — на 0, 2, 5 и 8.

Пример. Первый ряд 20 — — 30

Второй ряд 20 — 25 — 30

Третий ряд 20 22 25 28 30

3. А — точная механика, В — шарикоподшипники (наружные диаметры), С — метрическая резьба.

Взаимозаменяемость предусматривает изготовление деталей и узлов машин с таким расчётом, чтобы действительные размеры их посадочных мест обеспечивали возможность сборки без дополнительной припасовки (подгонки) сопрягаемых поверхностей.

Взаимозаменяемость находит также широкое применение в ремонтном деле. При ремонте узлов машин крупносерийного производства взаимозаменяемость даёт возможность: значительно повысить производительность, снизить стоимость ремонта, уменьшить расход металла, повысить качество ремонта и пр.

После износа контактных поверхностей сопрягаемых элементов ремонт их производится в соответствии с градациями ремонтных размеров, которые устанавливаются специальным расчётом.

Изношенная поверхность одной детали обрабатывается до размера, соответствующего парной детали, получаемой из запаса. Вторая, изношенная, деталь ремонтируется и идёт в запас.

В запас предназначаются детали с размерами сопрягаемых элементов, предусмотренными градациями ремонтных размеров.

Основной базой, способствующей развитию взаимозаменяемости, является:

1. Регламентация точности изготовления деталей.

2. Разделение сопрягаемых элементов на основные и подчинённые.

3. Дифференциация посадок.

4. Рациональное использование больших допусков в точных сопряжениях.

Перечисленные мероприятия соответственно осуществляются:

1) реализацией наиболее подходящих классов точности, выбираемых из ряда стандартных классов;

2) выбором наиболее удобной системы (системы отверстия или системы вала);

3) использованием наиболее работоспособной посадки из серии подвижных переходных или пресовых, предусматриваемых стандартами;

4) применением селективного метода, основанного на разбивке партии изготовленных деталей на отдельные группы с такими градациями их действительных отклонений, которые обеспечивают требуемую посадку, в обычных условиях сборки достигаемую только при использовании более высоких классов точности.

Классы точности

Классы точности определяют степень точности обработки деталей. ОСТ предусматривает 10 классов точности: 1, 2, 2а, 3, 3а, 4, 5, 7, 8 и 9. Большую точность имеет первый класс, далее точность понижается. Последние три класса точности 7, 8 и 9 являются грубыми классами, они предназначены преимущественно для несопрягаемых размеров.

Точность для данного диаметра определяется допуском размера, который является разностью между наибольшим предельным размером и наименьшим предельным размером детали (фиг. 1).

Абстрактно величина допуска не характеризует степень точности: допуск размера, равный 25 микронам, является точным для диаметра, равного 400 мм, а допуск в 20 микрон грубее на три класса для диаметра, равного 3 мм.

Зависимость между допуском, диаметром и классом точности

Исследование совокупности факторов, влияющих на точность изготовления, а также свойство допусков возрастать с ростом диаметров по определённой закономерности дали возможность установить зависимость между допуском и диаметром:

$$\delta = a (0,5 \sqrt[3]{d}),$$

где δ — допуск в микронах;
 $0,5 \sqrt[3]{d}$ — единица допуска;
 d — диаметр вала в мм;
 a — коэффициент класса точности, выражающий число единиц допуска (табл. 2).

Таблица 2

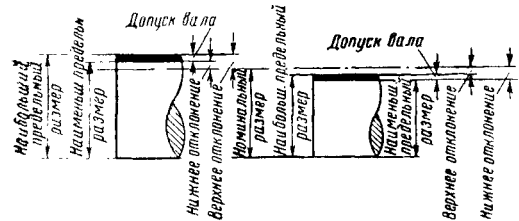
Допуски по ОСТ и качества ISA

Число единиц допуска (приближённо)	Посадки по ОСТ		Классы ISA
	отверстия	валы	
7	—	$G_1-T_1-H_1-P_1-C_1-B_1-D_1-PR_1-PP_2_1$	5
10	$A_1-G_1-T_1-H_1-P_1-C_1-D_1$	$PR-P_1-G-T-H-P-C-D-B$	6
16	$A-P_1-P_1-G-T-H-P-C-D$	$GR-X-G_2a-T_2a-H_2a-P_2a-C_2a-B_2a$	7
21	$GR-X$	L	—
25	$G_2a-T_2a-H_2a-P_2a-C_2a-A_2a$	$Ш$	8
27	L	—	—
30	$A_1-Ш-C_1$	$PR_1-PP_2_1-PR_3_1-C_1-PR_4_1-B_1$	—
40	$Х_1$	$Х_1$	9
50	$Ш_1$	$Ш_1$	—
64	A_3a-C_3a	B_3a-C_3a	10
100	$A_1-C_1-X_1-L_1-Ш_1$	$B_1-C_1-X_1-L_1-Ш_1$	11
160	—	—	12
200	$A_5-C_5-X_5$	$C_5-X_5-B_5$	13
250	—	—	14
400	A_7	B_7	15
640	A_8	B_8	16
1 000	A_9	B_9	—

ПОСАДКИ

Основные данные, характеризующие посадку

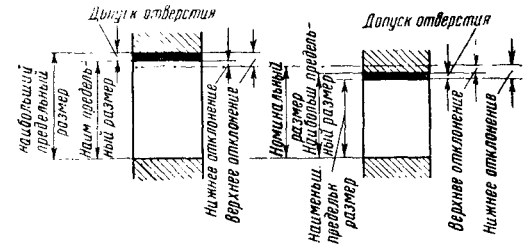
Предельные размеры, определяющие на чертеже допуск, задаются отклонениями (фиг. 1 и 2).



Фиг. 1. Графическое изображение допусков и отклонений для валов

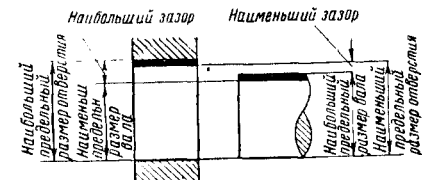
Верхнее отклонение есть разность между наибольшим предельным размером и номинальным размером. Нижнее отклонение определяется разностью между наименьшим предельным размером и номинальным размером. Отсюда следует, что отклонения могут иметь положительные и отрицательные значения.

Графическое изображение допусков предусматривает расположение образующей вала

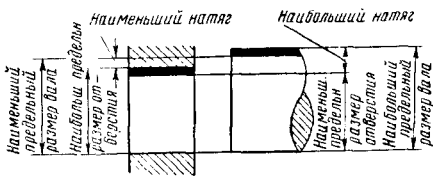


Фиг. 2. Графическое изображение допусков и отклонений для отверстий

и образующей отверстия на одной прямой, поэтому зазоры (фиг. 3) и натяги (фиг. 4) изображаются относительным расположением двух

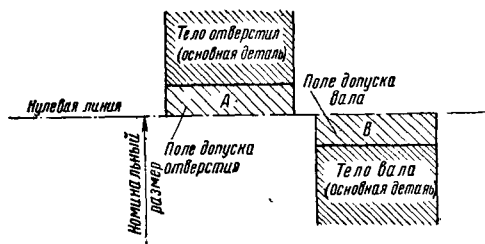


Фиг. 3. Графическое изображение зазоров валов и отверстий



Фиг. 4. Графическое изображение натягов валов и отверстий

других образующих. Принятый способ расположения образующих позволяет, оставляя на графике только ту часть соединения, которая характеризует посадку, представить её в большем масштабе. В качестве оси графика используется линия номинального диаметра, которую



Фиг. 5. Графическое изображение поля допуска вала и отверстия относительно нулевой линии

называют и *у л е в о й* линией (фиг. 5). Положительные отклонения откладываются над нулевой линией, а отрицательные отклонения — под нулевой линией. Сопряжение поверхностей элементов соединяемых деталей образуется *з а з о р* или *н а т я г*, который определяется разностью действительных размеров. Зазор есть положительная разность действительных размеров, натяг является отрицательной разностью этих размеров. Зазор обеспечивает относительную подвижность сопрягаемым деталям, натяг определяет их относительную неподвижность.

При заданной посадке сопрягаемых размеров зазоры и натяги колеблются в своих пределах. Н а и б о л ь ш и й з а з о р получается, когда отверстие изготовлено с наибольшим предельным размером, а сопрягаемый вал имеет действительный размер, равный наименьшему предельному размеру. Наибольший натяг достигается при обработке вала по наибольшему предельному размеру и обработке отверстия — по наименьшему предельному размеру. Н а и м е н ь ш и й з а з о р получается в результате обработки отверстия по наименьшему предельному размеру и обработки вала — по наибольшему предельному размеру. Изготовление вала с наименьшим предельным размером и расточка отверстия с наибольшим предельным размером образуют сопрягаемую пару с наименьшим натягом. Колебание зазоров и натягов определяется *д о п у с к о м п о с а д к и*, т. е. разностью между наибольшим и наименьшим зазорами, а также разностью между наибольшим и наименьшим натягами.

Допуск посадки равен сумме допусков сопрягаемых элементов.

Система отверстия и система вала

Сопряжение поверхностей соединяемых элементов осуществляется при постоянных предельных размерах диаметра охватывающего элемента, когда характер сопряжения достигается путём изменения предельных размеров вала, либо при постоянных предельных размерах диаметра охватываемого элемента,

когда характер сопряжения достигается путём изменения предельных размеров отверстия. Первый способ определяет систему отверстия, которая обозначается *А*, второй способ определяет систему вала, которая обозначается *В*. Индексы при *А* и *В* указывают класс точности, отсутствие индексов указывает на второй класс. В системе отверстия наименьший предельный размер отверстия равен номинальному размеру, следовательно, допуск развивается в тело детали. В системе вала наибольший предельный размер вала равен номинальному размеру, а допуск направлен также в тело детали. Поле допуска отверстия при системе отверстия строится над нулевой линией, а при системе вала поле допуска вала располагается под нулевой линией. Детали, изготовленные с указанным расположением поля допуска, носят название основных деталей.

В принятых стандартных системах ОСТ поле допуска основных деталей имеет одностороннее расположение относительно нулевой линии, в соответствии с чем система отверстия и система вала называются асимметричными предельными системами.

В деталях машиностроения среди сопрягаемых поверхностей преобладают цилиндрические поверхности, поэтому ради приведения системы допусков и посадок к одному типу принято называть вне зависимости от формы поверхности все охватываемые поверхности *о т в е р с т н е* и все охватываемые — *в а л*.

Группы посадок

Основные требования, предъявляемые к сопряжениям поверхностей соединяемых деталей, определяют три типа посадок: пресовые, переходные и свободные, или подвижные.

Кроме этого, большое разнообразие требований к прочности, плотности и подвижности сопрягаемых элементов деталей машиностроения привело к большой дифференциации пресовых, переходных и подвижных посадок. Каждая из этих групп посадок имеет свою номенклатуру, крайние номера которой значительно отличаются своими отклонениями. Выбор посадок производится на основе расчёта гарантированного минимального натяга или зазора и сопоставления с аналогичными сопряжениями, проверенными на практике.

Характер сопряжения определяется классом точности, посадкой и принятой системой.

Пределы изменения натягов и зазоров определяются величиной допусков сопрягаемых элементов и характером относительного расположения их полей допусков.

Пресовые посадки

Пресовые посадки (табл. 3) применяют для обеспечения относительной неподвижности сопрягаемых элементов деталей. Способность к восприятию усилий сцепления контактной поверхности соединяемых элементов устанавливается специальным расчётом посадок с гарантированным натягом. Данный

Таблица 3

Посадки в системе ОСТ

Наименование	Посадки	1 (ОСТ 1011, 1021, 1041)	2 (ОСТ 1012, 1042, 1044, 1022)	2а (ОСТ 1016 и 1026)	3 (ОСТ 1069, 1013, 1023)	3а (ОСТ 1017 и 1027)	4 (ОСТ 1079, 1014, 1024)	5 (ОСТ 1015—1025)
Система отверстия								
Прессовые	Прессовая 1-я	ПР1 ₁	—	—	ПР1 ₁	—	—	—
	Прессовая 2-я	ПР2 ₁	—	—	ПР2 ₁	—	—	—
	Прессовая 3-я	—	—	—	ПР3 ₁	—	—	—
	Горячая	—	Г _р	—	—	—	—	—
	Прессовая	—	П _р	—	—	—	П _р	—
	Легкопрессовая	—	П _л	—	—	—	—	—
Переходные	Глухая	Г ₁	Г	Г _{2а}	—	—	—	—
	Тугая	Т ₁	Т	Т _{2а}	—	—	—	—
	Напряжённая	Н ₁	Н	Н _{2а}	—	—	—	—
	Плотная	П ₁	П	П _{2а}	—	—	—	—
Подвижные	Скользкая	С ₁	С	С _{2а}	С ₁	С _{3а}	С ₄	С ₅
	Движения	Д ₁	Д	—	—	—	—	—
	Ходовая	—	Х	—	Х ₁	—	Х ₁	Х ₁
	Легкоходовая	—	Л	—	—	—	Л ₁	—
	Широкоходовая	—	Ш	—	Ш ₁	—	Ш ₁	—
Система вала								
Прессовые	Горячая	—	Г _р	—	—	—	—	—
	Прессовая	—	П _р	—	—	—	—	—
Переходные	Глухая	Г ₁	Г	Г _{2а}	—	—	—	—
	Тугая	Т ₁	Т	Т _{2а}	—	—	—	—
	Напряжённая	Н ₁	Н	Н _{2а}	—	—	—	—
	Плотная	П ₁	П	П _{2а}	—	—	—	—
Подвижные	Скользкая	С ₁	С	С _{2а}	С ₁	С _{3а}	С ₄	С ₅
	Движения	Д ₁	Д	—	—	—	—	—
	Ходовая	—	Х	—	Х ₁	—	Х ₁	Х ₁
	Легкоходовая	—	Л	—	—	—	Л ₁	—
	Широкоходовая	—	Ш	—	Ш ₁	—	Ш ₁	—

расчёт определяет искомый минимальный натяг для подбора посадки, установление которого позволяет определить максимальный натяг. Последний необходим для расчёта на прочность соединяемых деталей. Кроме теоретического расчёта, который учитывает только основные факторы, влияющие на силу сцепления, предусматривается опытная проверка. Исключения в этом отношении составляют случаи, когда сцепление от прессовой посадки не предназначено для восприятия основных нагрузок и служит для фиксации соединяемых деталей либо используется ради точного центрирования. При таком назначении натяга выбираются лёгкие прессовые посадки ПР1₁ и П_л.

На прочность соединений, осуществляемых прессовыми посадками, кроме основного фактора натяга, также влияют материал, классы чистоты сопрягаемых поверхностей, длина пути прессования, смазка и др. Примеры раз-

мещения полей допусков для прессовых посадок приводятся на фиг. 6 и 7, предельные отклонения — в табл. 4, 5 и 11.

Детали с прессовыми посадками можно собирать также посредством нагревания обхватываемой детали, охлаждения обхватываемой детали или с применением обоих этих способов.

При нагревании детали обращается особое внимание на предупреждение: неравномерности нагревания, коробления и изменения структуры металла.

Примеры применения прессовых посадок даны в табл. 6, а расчёт на стр. 623.

Переходные посадки

Переходные посадки по ОСТ (табл. 3): глухая Г, тугая Т, напряжённая Н и плотная П. Основное назначение переходных посадок — обеспечение центрирования соединя-

Таблица 4

Предельные отклонения основных отверстий и валов прессовых посадок (в мк) для диаметров 1—180 мм

Система отверстий

Посадка	Отклонение	Номинальный диаметр в мм													
		от 1 до 3	свыше 3 до 6	свыше 6 до 10	свыше 10 до 18	свыше 18 до 30	свыше 30 до 50	свыше 50 до 65	свыше 65 до 80	свыше 80 до 100	свыше 100 до 120	свыше 120 до 140	свыше 140 до 160	свыше 160 до 180	
1-й класс точности (ОСТ НКМ-1041)															
A ₁	Верхнее . . .	+ 6	+ 8	+ 9	+ 11	+ 13	+ 15	+ 18	+ 18	+ 21	+ 21	+ 24	+ 24	+ 24	
	Нижнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ПР1 ₁	Верхнее . . .	+17	+20	+25	+31	+37	+45	+54	+56	+66	+69	+81	+83	+86	
	Нижнее . . .	+12	+15	+19	+23	+28	+34	+41	+43	+51	+54	+63	+65	+68	
ПР2 ₁	Верхнее . . .	+20	+24	+29	+36	+44	+54	+66	+72	+86	+94	+110	+118	+126	
	Нижнее . . .	+15	+19	+23	+28	+35	+43	+53	+59	+71	+79	+92	+100	+108	

Таблица 5

Предельные отклонения отверстий и валов прессовых посадок (в мк) для диаметров 1—500 мм

Система отверстий и система вала

Номи- нальный диаметр в мм	Отклонение	Система отверстия										Система вала				
		2-й класс точности				3-й класс				4-й класс		2-й класс		B	OST 1142	OST 1143
		валы				валы				A ₁	вал ПР ₁					
		A	Гр	Пр	Па	A ₁	ПР1 ₁	ПР2 ₁	ПР3 ₁							
От 1 до 3	Верхнее . . .	+10	+27	+18	+16	—	—	—	—	—	—	—	—	0	—13	—8
Свыше 3 до 6	Нижнее . . .	0	+17	+12	+10	—	—	—	—	—	—	—	—	—6	—27	—18
	Верхнее . . .	+13	+33	+23	+21	+25	+55	—	—	—	—	—	—	0	—15	—10
	Нижнее . . .	0	+20	+15	+13	+30	+30	—	—	—	—	—	—	—8	—33	—23
	Верхнее . . .	+16	+39	+28	+26	+65	+70	+100	—	—	—	—	—	—10	—17	—12
Свыше 6 до 10	Нижнее . . .	0	+23	+18	+16	+35	+40	+70	+100	—	—	—	—	—10	—39	—28
	Верхнее . . .	+19	+48	+34	+32	+75	+80	+115	+80	+120	+230	0	—22	—15	—15	
Свыше 10 до 18	Нижнее . . .	0	+29	+22	+20	+35	+40	+45	+80	0	+195	—12	—48	—34		

Продолжение табл. 5

Номиналь- ный диаметр в мм	Отклонение	Система отверстия												Система вала		
		2-й класс точности				3-й класс				4-й класс				2-й класс		
		валы				А ₂	валы				А ₄	вал	ПР ₄	В	Г _р	П _р
		Г _р	П _р	П _{р1}	ПР ₂		ПР ₃									
								ОСТ 1042	ОСТ 1043	ОСТ 1044						
Свыше 18 до 30	Верхнее . . . Нижнее . . .	+23 0	+62 +39	+42 +28	+39 +25	+45 0	+95 +50	+100 +55	+145 +100	+270 +225	0 -14	+140 0	+270 +225	-30 -62		-19 -42
Свыше 30 до 40	Верхнее . . . Нижнее . . .	+27 0	+77 +50	+52 +35	+47 +30	+50 0	+110 +60	+115 +65	+165 +115	+320 +270	0 -17	+170 0	+320 +270	-40 -77		-25 -52
Свыше 40 до 50	Верхнее . . . Нижнее . . .	+27 0	+87 +60	+52 +35	+47 +30	+50 0	+110 +60	+125 +75	+175 +125	+320 +270	0 -17	+170 0	+320 +270	-50 -87		-25 -52
Свыше 50 до 65	Верхнее . . . Нижнее . . .	+30 0	+105 +75	+65 +45	+55 +35	+60 0	+135 +75	+150 +90	+210 +150	+380 +320	0 -20	+200 0	+380 +320	-65 -105		-35 -65
Свыше 65 до 80	Верхнее . . . Нижнее . . .	+30 0	+120 +90	+65 +45	+55 +35	+60 0	+135 +75	+165 +105	+225 +165	+380 +320	0 -20	+200 0	+380 +320	-80 -120		-35 -65
Свыше 80 до 100	Верхнее . . . Нижнее . . .	+35 0	+140 +105	+85 +60	+70 +45	+70 0	+160 +90	+195 +125	+260 +190	+460 +390	0 -23	+230 0	+460 +390	-93 -140		-50 -85
Свыше 100 до 120	Верхнее . . . Нижнее . . .	+35 0	+160 +125	+95 +70	+70 +45	+70 0	+160 +90	+210 +140	+280 +210	+460 +390	0 -23	+230 0	+460 +390	-113 -180		-60 -95
Свыше 120 до 150	Верхнее . . . Нижнее . . .	+40 0	+190 +150	+110 +80	+85 +58	+80 0	+185 +105	+245 +165	+325 +245	—	0 -27	—	—	-137 -190		-70 -110
Свыше 150 до 180	Верхнее . . . Нижнее . . .	+40 0	+220 +180	+125 +95	+85 +58	+80 0	+200 +120	+275 +195	+355 +275	—	0 -27	—	—	-167 -220		-85 -125
Свыше 180 до 220	Верхнее . . . Нижнее . . .	+45 0	+260 +215	+145 +115	+105 +75	+90 0	+230 +140	+325 +235	+410 +320	—	0 -30	—	—	-200 -260		-100 -145
Свыше 220 до 260	Верхнее . . . Нижнее . . .	+45 0	+300 +255	+165 +135	+105 +75	+90 0	+250 +160	+365 +275	+450 +360	—	0 -30	—	—	-240 -300		-120 -165
Свыше 260 до 310	Верхнее . . . Нижнее . . .	+50 0	+350 +300	+195 +160	+135 +100	+100 0	+285 +185	+420 +320	+515 +415	—	0 -35	—	—	-285 -350		-145 -195
Свыше 310 до 360	Верхнее . . . Нижнее . . .	+50 0	+400 +350	+220 +185	+135 +100	+100 0	+305 +205	+470 +370	+565 +465	—	0 -35	—	—	-335 -400		-170 -220
Свыше 360 до 440	Верхнее . . . Нижнее . . .	+60 0	+475 +415	+260 +220	+170 +130	+120 0	+360 +240	+550 +430	+670 +550	—	0 -40	—	—	-395 -475		-200 -260
Свыше 440 до 500	Верхнее . . . Нижнее . . .	+60 0	+545 +485	+300 +260	+170 +130	+120 0	+395 +275	+620 +500	+740 +620	—	0 -40	—	—	-465 -545		-240 -300

Примеры применения прессовых посадок

Таблица 6

Класс точности	Посадка	Назначение	Название сопрягаемых деталей
2	G_r (горячая)	Обеспечить прочность соединения одной посадкой	Несъёмные муфты на валах электромашин. Нониусная гильза микрометрического винта
1	PR_1 , PR_2 , (прессовая первая и прессовая вторая)	То же, когда сила, действующая на сцепление, невелика, или если она воспринимается другими деталями, когда имеется возможность избежать значительных колебаний натягов	Втулка на валу ротора электродвигателя. Седло клапана максимального давления по наружному диаметру в корпусе насоса на паровозе ЭР
2	P_r (прессовая)	Обеспечить прочность соединения одной посадкой; конструкция деталей при сборке предусматривает восприятие больших осевых усилий	Подшипниковые щиты электродвигателей моторных вагонов. Несъёмные кондукторные втулки. Глухие муфты. Втулки в шестернях
3	PR_1 , (прессовая)	Обеспечить прочность соединения одной посадкой; применяется, когда напряжения, возникающие от максимального натяга, не влияют на работу деталей	Золотниковая втулка в корпусе цилиндра на паровозе ЭР. Втулка в маятнике кулисы паровоза СО.
3	PR_2 , (прессовая)	Обеспечить прочность соединения одной посадкой при больших усилиях; применяется при сильно колеблющейся нагрузке	Втулка механизма парораспределения паровозов
3	PR_3 , (прессовая)	То же с большим натягом	Втулка в головке шатуна трактора. Пятигранный подшипник в буксе паровоза. Шток с диском поршня паровоза СО
4	PR_4 (прессовая)	Обеспечить прочность соединения одной посадкой при весьма значительных усилиях, действующих на сцепление	Палец кривошипа в центре ведущего колеса паровоза СО
2	P_L (легкопрессовая посадка)	Обеспечить прочность сцепления посадкой, когда внешние усилия, вызывающие расцепление, невелики, или когда часть этих усилий воспринимается специальным креплением	Шестерни при небольшой толщине их стенок. Тонкостенные втулки, ступицы

мых деталей. Посадка G_1 постоянно обеспечивает натяг. Сопряжения по остальным посадкам этой группы могут иметь относительно небольшие зазоры.

Детали, осуществляющие передачу усилий от одного сопрягаемого элемента другому посредством деталей крепления, а не натяга, работают в различных условиях, которые определяются: температурными колебаниями (особенно когда коэффициенты линейного расширения неодинаковы), характером нагрузки, относительным движением, повторностью монтажных работ и пр. В одних случаях работоспособность узла определяется плотностью сопряжения, в других — подвижностью, в третьих — главным значение при выборе посадки придаётся условиям монтажа из-за частой его повторяемости и т. д.

Это разнообразие условий определило большое количество переходных посадок, рациональный выбор которых должен производиться с учётом их особенностей. Величина полей допусков сопрягаемых элементов и их взаимное расположение должны учитывать отмеченные выше условия. Поля допусков переходных посадок изображены на фиг. 8 и 9, примеры применения переходных посадок даны в табл. 9, предельные отклонения приводятся в табл. 7, 8 и 12.

Подвижные посадки

Группа подвижных посадок (табл. 3) предусматривает посадку скольжения C , движе-

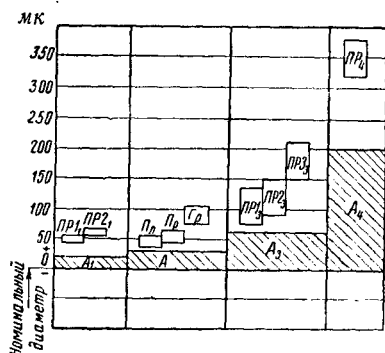
ния D , ходовую X , легкоходовую L и широкоходовую $Ш$.

Минимальный зазор посадки скольжения равен нулю, максимальный — равен сумме допусков сопрягаемых деталей. Сопряжение двух основных деталей образует посадку скольжения. Наименьший зазор подвижных посадок равен сумме их допусков и минимального зазора. Основное назначение подвижных посадок — обеспечить минимальный зазор, который главным образом и определяет выбор той или другой посадки. Увеличение минимального зазора положительно влияет на подвижность и отрицательно на центрирование сопрягаемых деталей.

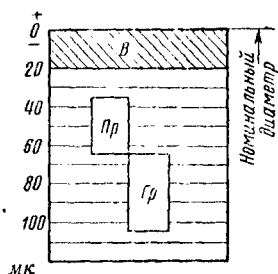
Основными факторами, отрицательно влияющими на работоспособность узла, являются прогиб вала, температурные колебания, многоопорность вала, большое расстояние между опорами, эксцентричность, динамические нагрузки, обусловленные значительными зазорами, и др.

В сопряжениях скользящих пар со значительной скоростью скольжения, кроме отмеченных соображений, величина зазора должна определяться с учётом вязкости смазки. Для обеспечения работоспособности необходимо увеличивать зазор с увеличением скорости и диаметра. Точный расчёт по определению минимального зазора при жидкостном режиме трения производится на основе гидродинамической теории смазки.

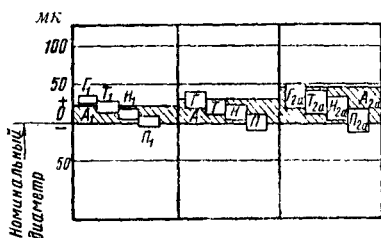
Поля допусков подвижных посадок приводятся на фиг. 10 и 11.



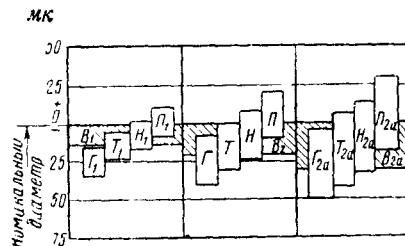
Фиг. 6. Схема прессовых посадок в системе отверстия (для диаметров в интервале 50—65 мм)



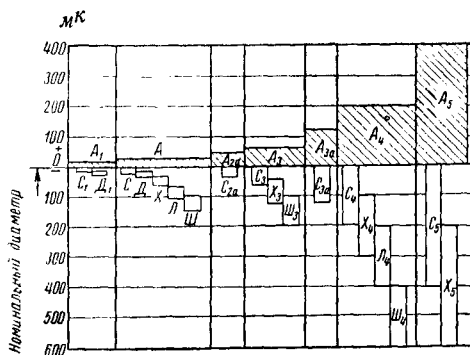
Фиг. 7. Схема прессовых посадок в системе вала (для диаметров в интервале 50—65 мм)



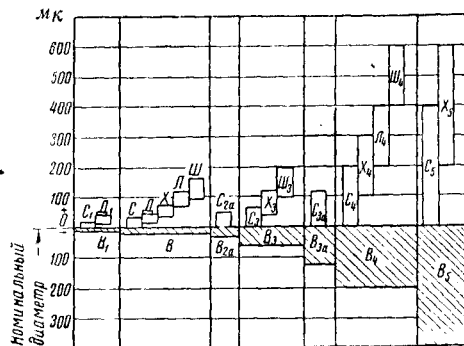
Фиг. 8. Схема переходных посадок в системе отверстия (для диаметров в интервале 50—80 мм)



Фиг. 9. Схема переходных посадок в системе вала (для диаметров в интервале 50—80 мм)



Фиг. 10. Схема подвижных посадок в системе отверстия (для диаметров в интервале 50—80 мм)



Фиг. 11. Схема подвижных посадок в системе вала (для диаметров в интервале 50—80 мм)

Примеры применения свободных посадок даны в табл. 10, предельные отклонения указаны в табл. 7, 8 и 13. Осуществление посадок комбинированием классов по ОСТ 1020 рекомендуется:

$$\frac{A_3}{D}, \quad \frac{A_{3a}}{C-D-X-L-Ш},$$

$$\frac{A_3}{\Gamma_{2a}-T_{2a}-H_{2a}}$$

и

$$\frac{A_{3a}}{C_4-X_4-L_4-Ш_4}$$

и по ОСТ 1030:

$$\frac{D}{B_3}, \quad \frac{C_{2a}}{B_3}, \quad \frac{C_3-X_3}{B_{2a}},$$

$$\frac{\Gamma_{2a}-\Pi_{2a}}{B_3}, \quad \frac{C_5-Ш_4}{B_{3a}}.$$

Продолжение табл. 7

Посадка	Отклонение	Номинальный диаметр в мм											
		от 1 до 3	свыше 3 до 6	свыше 6 до 10	свыше 10 до 18	свыше 18 до 30	свыше 30 до 50	свыше 50 до 80	свыше 80 до 120	свыше 120 до 180	свыше 180 до 260	свыше 260 до 360	свыше 360 до 500
3-й класс точности (ОСТ 10113)													
H_{2a}	Верхнее	—	—	+16	+19	+23	+27	+32	+38	+43	+51	+53	+67
	Нижнее	—	—	+1	+1	+2	+2	+2	+3	+3	+4	+4	+5
P_{2a}	Верхнее	+7	+9	+10	+12	+13	+15	+13	+20	+22	+24	+27	+31
	Нижнее	—2	—3	—5	—6	—8	—10	—12	—15	—18	—23	—27	—31
$C_{2a} = B_{2a}$	Верхнее	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Нижнее	—9	—12	—15	—18	—21	—25	—30	—35	—40	—47	—54	—62
3-й класс точности (ОСТ 10113)													
A_3	Верхнее	+20	+25	+30	+35	+45	+50	+60	+70	+80	+90	+100	+120
	Нижнее	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$C_3 = B_3$	Верхнее	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Нижнее	—20	—25	—30	—35	—45	—50	—60	—70	—80	—90	—100	—120
X_3	Верхнее	—7	—11	—15	—20	—25	—32	—40	—50	—60	—75	—90	—105
	Нижнее	—32	—44	—55	—70	—85	—100	—120	—140	—165	—195	—225	—255
$Ш_3$	Верхнее	—17	—25	—35	—45	—60	—75	—95	—110	—150	—180	—210	—250
	Нижнее	—50	—65	—85	—105	—130	—160	—195	—235	—285	—330	—380	—440
Класс точности 3а (ОСТ НКМ-10117)													
A_{3a}	Верхнее	+40	+48	+58	+70	+84	+100	+120	+140	+160	+185	+215	+250
	Нижнее	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$C_{3a} = B_{3a}$	Верхнее	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Нижнее	—40	—48	—58	—70	—84	—100	—120	—140	—160	—185	—215	—250
4-й класс точности (ОСТ 10114)													
A_4	Верхнее	+60	+80	+100	+120	+140	+170	+200	+240	+260	+300	+340	+380
	Нижнее	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$C_4 = B_4$	Верхнее	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Нижнее	—60	—80	—100	—120	—140	—170	—200	—240	—260	—300	—340	—380
X_4	Верхнее	—30	—40	—50	—60	—70	—80	—100	—120	—130	—150	—170	—190
	Нижнее	—90	—120	—150	—180	—210	—250	—300	—350	—400	—450	—500	—570
$Т_4$	Верхнее	—60	—80	—100	—120	—140	—170	—200	—240	—260	—300	—340	—380
	Нижнее	—120	—160	—200	—240	—280	—340	—400	—450	—500	—600	—680	—760
$Ш_4$	Верхнее	—120	—160	—200	—240	—280	—340	—400	—450	—500	—600	—680	—760
	Нижнее	—180	—240	—300	—360	—420	—500	—600	—700	—800	—900	—1000	—1100
5-й класс точности (ОСТ 10115)													
A_5	Верхнее	+120	+160	+200	+240	+280	+340	+400	+460	+530	+630	+760	+800
	Нижнее	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$C_5 = B_5$	Верхнее	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Нижнее	—120	—160	—200	—240	—280	—340	—400	—460	—530	—630	—760	—800
X_5	Верхнее	—60	—80	—100	—120	—140	—170	—200	—240	—260	—300	—340	—380
	Нижнее	—180	—240	—300	—360	—420	—500	—600	—700	—800	—900	—1000	—1100
Основные отклонения 7, 8 и 9-го классов точности													
A_7	Верхнее	+250	+300	+360	+430	+520	+620	+740	+870	+1000	+1150	+1350	+1550
	Нижнее	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A_8	Верхнее	+400	+480	+580	+700	+840	+1000	+1200	+1400	+1600	+1900	+2200	+2500
	Нижнее	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A_9	Верхнее	+600	+750	+900	+1100	+1300	+1600	+1900	+2200	+2500	+2900	+3300	+3800
	Нижнее	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Примечание. Для B_7, B_8 и B_9 нижние отклонения соответственно равняются верхним отклонениям A_7, A_8 и A_9 , но с обратным знаком.

Примечание. Для B_7, B_8 и B_9 нижние отклонения соответственно равняются верхним отклонениям A_7, A_8 и A_9 , но с обратным знаком.

Таблица 8

И редельные отклонения основных валов и отверстий переходных и подвижных посадок (в мк) для диаметров 1—500 мм

Система вала

Номинальный диаметр в мм

Посад-ка	Отклонение	Номинальный диаметр в мм											
		от 1 до 3	свыше 3 до 6	свыше 6 до 10	свыше 10 до 18	свыше 18 до 30	свыше 30 до 50	свыше 50 до 80	свыше 80 до 120	свыше 120 до 180	свыше 180 до 260	свыше 260 до 360	свыше 360 до 500
1-й класс точности (ОСТ НКМ-1021)													
B_1	Верхнее	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Нижнее	-4	-5	-6	-8	-9	-11	-13	-15	-18	-20	-22	-25
Γ_1	Верхнее	-4	-5	-6	-8	-10	-12	-14	-17	-20	-23	-27	-30
	Нижнее	-10	-13	-16	-20	-24	-28	-33	-38	-45	-52	-58	-65
T_1	Верхнее	-2	-2	-3	-4	-4	-5	-5	-6	-7	-8	-9	-10
	Нижнее	-8	-10	-12	-15	-17	-20	-24	-28	-32	-36	-40	-45
H_1	Верхнее	+1	+1	+1	+1	+2	+2	+2	+3	+3	+3	+4	+5
	Нижнее	+5	+7	+8	+10	+12	+14	+16	+19	+22	+25	+28	+32
P_1	Верхнее	+4	+4	+6	+7	+8	+9	+10	+12	+14	+16	+18	+20
	Нижнее	+2	+3	+5	+7	+8	+9	+10	+12	+14	+16	+18	+20
$C_1=A_1$	Верхнее	+6	+8	+9	+11	+13	+15	+18	+21	+24	+27	+30	+35
	Нижнее	+0	+0	+0	+0	+0	+0	+0	+0	+0	+0	+0	+0
D_1	Верхнее	+10	+14	+17	+20	+25	+29	+34	+39	+43	+48	+55	+65
	Нижнее	+3	+5	+6	+7	+9	+10	+12	+14	+16	+18	+20	+25
2-й класс точности (ОСТ 1022)													
B	Верхнее	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Нижнее	-6	-8	-10	-12	-14	-17	-20	-23	-27	-30	-35	-40
Γ	Верхнее	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-12	-15	-18	-20
	Нижнее	-13	-16	-20	-24	-30	-35	-40	-45	-52	-60	-70	-80
T	Верхнее	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Нижнее	-10	-13	-16	-19	-23	-27	-30	-35	-40	-45	-50	-60
H	Верхнее	+3	+4	+4	+5	+6	+7	+8	+9	+10	+11	+12	+15
	Нижнее	+7	+9	+12	+14	+17	+20	+23	+26	+30	+35	+40	+45
P	Верхнее	+7	+9	+11	+13	+16	+18	+20	+23	+27	+30	+35	+40
	Нижнее	+3	+4	+5	+6	+7	+8	+10	+12	+14	+16	+18	+20
$C=A$	Верхнее	+10	+13	+16	+19	+23	+27	+30	+35	+40	+45	+50	+60
	Нижнее	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	Верхнее	+13	+17	+21	+25	+30	+35	+42	+50	+60	+70	+80	+90
	Нижнее	+3	+4	+5	+6	+8	+10	+12	+15	+18	+22	+26	+30
X	Верхнее	+22	+27	+33	+40	+50	+60	+70	+90	+105	+120	+140	+180
	Нижнее	+8	+10	+13	+16	+20	+25	+30	+40	+50	+60	+70	+90
L	Верхнее	+30	+40	+50	+60	+80	+95	+115	+140	+170	+200	+230	+270
	Нижнее	+12	+17	+23	+30	+40	+55	+65	+80	+100	+120	+140	+170
$Ш$	Верхнее	+38	+50	+65	+80	+105	+125	+155	+190	+230	+270	+310	+365
	Нижнее	+18	+25	+35	+45	+60	+75	+95	+120	+150	+180	+210	+250
Класс точности 2а (ОСТ НКМ-1026)													
B_{2a}	Верхнее	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Нижнее	-9	-12	-15	-18	-21	-25	-30	-35	-40	-47	-54	-62
Γ_{2a}	Верхнее	-1	-2	-3	-3	-3	-4	-4	-5	-6	-7	-7	-7
	Нижнее	-15	-20	-25	-30	-36	-42	-50	-58	-67	-78	-90	-102
T_{2a}	Верхнее	—	—	+1	+2	+4	+5	+5	+6	+8	+9	+10	+10
	Нижнее	—	—	-21	-25	-29	-34	-41	-43	-55	-64	-74	-85

Продолжение табл. 6

Посадка	Отклонение	Номинальный диаметр в мм											
		от 1 до 3	свыше 3 до 6	свыше 6 до 10	свыше 10 до 18	свыше 18 до 30	свыше 30 до 50	свыше 50 до 80	свыше 80 до 120	свыше 120 до 180	свыше 180 до 260	свыше 260 до 360	свыше 360 до 500
Класс точности 2а (ОСТ НКМ-1026)													
<i>H</i> 2а	Верхнее	—	—	+6	+8	+10	+12	+14	+16	+20	+22	+26	+28
	Нижнее	—	—	—16	—19	—23	—27	—32	—38	—43	—51	—58	—67
<i>P</i> 2а	Верхнее	+7	+9	+12	+15	+20	+24	+28	+34	+41	+49	+57	+64
	Нижнее	—7	—9	—10	—12	—13	—15	—18	—20	—22	—24	—27	—31
<i>C</i> 2а = <i>A</i> 2а	Верхнее	+14	+18	+22	+27	+33	+39	+46	+54	+63	+73	+84	+95
	Нижнее	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3-й класс точности (ОСТ 1023)													
<i>B</i> 3	Верхнее	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Нижнее	—20	—25	—30	—35	—45	—50	—60	—70	—80	—90	—100	—120
<i>C</i> 3 = <i>A</i> 3	Верхнее	+20	+25	+30	+35	+45	+50	+60	+70	+80	+90	+100	+120
	Нижнее	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>X</i> 3	Верхнее	+32	+44	+55	+70	+85	+100	+120	+140	+165	+195	+225	+255
	Нижнее	+7	+11	+15	+20	+25	+32	+40	+50	+60	+75	+90	+105
<i>Ш</i> 3	Верхнее	+50	+65	+85	+105	+130	+160	+195	+235	+330	+380	+440	+490
	Нижнее	+17	+25	+35	+45	+60	+75	+95	+120	+150	+180	+210	+250
Класс точности 3а (ОСТ НКМ-1027)													
<i>B</i> 3а	Верхнее	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Нижнее	—40	—48	—58	—70	—84	—100	—120	—140	—160	—185	—215	—250
<i>C</i> 3а = <i>A</i> 3а	Верхнее	+40	+48	+58	+70	+84	+100	+120	+140	+160	+185	+215	+250
	Нижнее	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4-й класс точности (ОСТ 1024)													
<i>B</i> 4	Верхнее	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Нижнее	—60	—80	—100	—120	—140	—170	—200	—230	—260	—300	—340	—380
<i>C</i> 4 = <i>A</i> 4	Верхнее	+60	+80	+100	+120	+140	+170	+200	+230	+260	+300	+340	+380
	Нижнее	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>X</i> 4	Верхнее	+90	+120	+150	+180	+210	+250	+300	+350	+400	+450	+500	+570
	Нижнее	+30	+40	+50	+60	+70	+80	+100	+120	+130	+150	+170	+190
<i>Л</i> 4	Верхнее	+120	+160	+200	+240	+280	+340	+400	+460	+530	+600	+680	+760
	Нижнее	+60	+80	+100	+120	+140	+170	+200	+230	+260	+300	+340	+380
<i>Ш</i> 4	Верхнее	+180	+240	+300	+360	+420	+500	+600	+700	+800	+900	+1000	+1100
	Нижнее	+120	+160	+200	+240	+280	+340	+400	+460	+530	+600	+680	+760
5-й класс точности (ОСТ 1025)													
<i>B</i> 5	Верхнее	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Нижнее	—120	—160	—200	—240	—280	—340	—400	—460	—530	—600	—680	—760
<i>C</i> 5 = <i>A</i> 5	Верхнее	+120	+160	+200	+240	+280	+340	+400	+460	+530	+600	+680	+760
	Нижнее	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>X</i> 5	Верхнее	+180	+240	+300	+360	+420	+500	+600	+700	+800	+900	+1000	+1100
	Нижнее	+60	+80	+100	+120	+140	+170	+200	+230	+260	+300	+340	+380

Примечание. Отклонения основных валов и отверстий 7, 8 и 9-го классов точности приводятся в табл. 7.

Примечание. Отклонения основных валов и отверстий 7, 8 и 9-го классов точности приводятся в табл. 7.

Таблица 9

Примеры применения переходных посадок

Класс точности	Посадка	Назначение	Название соединяемых деталей
1	$\frac{G_1}{B_1}$	Обеспечивает гарантию небольшого натяга без подбора деталей и значительный натяг при подборе	Поршневой шток и поршень тракторного двигателя
2	$\frac{A}{F}$	Обеспечивает при подборе как натяг, так и небольшой зазор	Постоянные кондукторные втулки в корпусах. Съёмная плита в кондукторе для сверления отверстий на фланце
2a	$\frac{A_{2a}}{F_{2a}}$	То же, но несколько большие зазоры и натяги	Грундбоксы в крышке цилиндра паровой машины
1	$\frac{A_1}{T_1}$	В большинстве случаев даёт небольшой натяг и только подбором деталей весьма малый зазор	Шестерни на валах точных передач
2 и 2a	$\frac{A}{F}$ и $\frac{A_{2a}}{F_{2a}}$	То же, но зазор может быть значительно больше	Шестерни на валах, поршневые пальцы и установочные шестерни в своих гнездах Шток тормозного насоса с диском на паровозе Э ^р (посадка $\frac{A}{T}$)
1	$\frac{A_1}{H_1}$	Обеспечивает хорошее центрирование и лёгкость монтажа	Шестерни на валах точных передач
2	$\frac{A}{H}$	Обеспечивает достаточное центрирование и лёгкость монтажа	Шестерни на валах передач. Вкладыш в подшипниках электромашин
2a	$\frac{A_{2a}}{H_{2a}}$	То же при средней точности	Крейцкопфный валик в отверстиях вилки шатуна компрессора
1	$\frac{A_1}{P_1}$	Обеспечивает лёгкость монтажа, сборки и хорошую плотность	Конусная втулка в передней опоре шпинделя токарного станка
2	$\frac{A}{P}$	Обеспечивает удобства монтажа при достаточной плотности	Сменные шестерни на валах. Подшипниковые стаканы в картере и крышке редуктора
2a	$\frac{A_{2a}}{P_{2a}}$	Обеспечивает удобства монтажа	Крышка в цилиндре паровой машины

Выбор системы и класса точности

Ряды зазоров и натягов, предусмотренные стандартом, позволяют конструктору выбрать способ сопряжения, который в данных конкретных условиях будет являться наиболее рациональным со всех точек зрения: прочности, долговечности, стоимости обработки, качества, простоты монтажа, удобства эксплуатации, способности к восприятию заданных температурных колебаний и пр.

Если с точки зрения работоспособности узла выбор оптимальной посадки является наиболее важным, то выбор основной детали (системы) и отыскание наиболее грубого класса, обеспечивающего работоспособность узлу, с экономической стороны является совершенно необходимым.

Произвольный выбор системы может привести к непропорциональным затратам.

Система отверстия, имея для заданного диаметра отверстия предельные размеры постоянными для всех типов посадок, обуславливает широкую номенклатуру калибров для валов и узкую номенклатуру калибров и развёрток для отверстий.

Предельные размеры для заданного вала остаются постоянными при системе вала, а для отверстия эта система предусматривает осо-

бые предельные размеры для каждой посадки. Поэтому номенклатура калибров для валов при системе вала получается узкой, а для отверстий номенклатура калибров и развёрток получается широкой.

Стоимость калибров-пробок, служащих для измерения отверстий, значительно выше стоимости калибров-скоб, служащих для измерения валов. Кроме того, измерение внутренних размеров сложнее наружных размеров. Наконец, количество дорогостоящих развёрток при системе вала по отношению к их потребному количеству при системе отверстия увеличивается пропорционально числу применяемых посадок.

Таким образом, система отверстия позволяет иметь значительно меньшие затраты на калибровое и инструментальное хозяйство. Однако система отверстия, как увидим ниже, не может иметь права на исключительное применение.

Когда имеется возможность использовать светлотянутый калиброванный вал, применение системы вала освободит от необходимости обработки его посадочных мест и ожидаемая экономия на обработке вала может дать большой эффект, вследствие чего преимущества будут на стороне системы вала. Стандартные детали, выпускаемые для раз-

Примеры применения свободных (подвижных) посадок

Класс точности	Посадка	Назначение	Название соединяемых деталей
1	$\frac{A_1}{C_1}$	Обеспечивает высокие требования к соосности и точности направления. Допускает частый монтаж и демонтаж	Шпиндель в корпусе зубодолбежного станка
2	$\frac{A}{C}$	Позволяет осуществить соосность и точность направления. Обеспечивает удобства монтажа и демонтажа	Кулачковая муфта с валом. Сменные шестерни. Ступенчатый валок храповика в собачке пресс-маслёнки на паровозе ЭР
3	$\frac{A_2}{C_2}$	Обеспечивает нормальные требования к соосности и точности	Головка дышла в направляющих буртах подшипника. Центрирование фланцев картера коробки передачи и картера маховика автомобиля
4	$\frac{A_4}{C_4}$	Небольшая точность	Соединение головки шпренгельной тяги вагона с её опорой
5	$\frac{A_5}{C_5}$	Низкая точность при центрировании	Фланцевые соединения крышек и корпуса арматуры по внутреннему диаметру кольцевых выступов и впадин
1	$\frac{A_1}{D_1}$	Обеспечивает подвижность при весьма малом зазоре	Для внутреннего диаметра кондукторных втулок
2	$\frac{A}{D}$	Обеспечивает подвижность при малом зазоре	Клапанный шпиндель с направляющей втулкой
2	$\frac{A}{X}$	При небольших диаметрах обеспечивает расчётный зазор подшипника для работы в условиях жидкостного режима трения. Зазор определяется по расчёту подшипников на жидкостный режим трения	Цапфы в подшипниках скольжения при значительном удельном давлении и умеренной скорости
2a	$\frac{A_{2a}}{X_{2a}}$	То же при режиме жидкостного трения	Посадка вала в металло-керамической втулке
3	$\frac{A_3}{X_3}$	Обеспечивает колебание зазора	Многоопорные валы на длинных подшипниках и при больших пролётах. Валик заднего сцепного дышла в подшипнике и ступенчатый валик храповика пресс-маслёнки в опорах на паровозе ЭР
4	$\frac{A_4}{X_4}$	Обеспечивает большие колебания зазоров. Требования к точности посредственные	Многоопорные валы передач на длинных несамостоятельных подшипниках, предусмотренных в большом количестве
5	$\frac{A_5}{X_5}$	Обеспечивает лёгкость сборки. Требования к точности низкие	Люлечное подвешивание вагонной тележки. Съёмные рычаги и рукоятки на валах
2	$\frac{A}{L}$	Обеспечивает зазор для работы в условиях жидкостного трения при средних диаметрах цапф. Зазор определяется по расчёту подшипников на жидкостный режим трения	Цапфы в подшипниках скольжения при большой скорости
4	$\frac{A_4}{L_4}$	Обеспечивает значительные колебания зазоров. Требования к точности невелики	Валы ручного привода в подшипниках скольжения. Вагонные буферные стержни в стаканах
2	$\frac{A}{Ш}$	Обеспечивает зазор при жидкостном режиме трения для цапф средних и больших диаметров	Цапфы в подшипниках скольжения
3	$\frac{A_3}{Ш_3}$	Обеспечивает зазор при большом отношении длины цапфы к её диаметру	Цапфы в подшипниках скольжения при небольшом удельном давлении. Шейка сцепной оси в подшипнике и шейка пальца кривошипа в подшипнике на паровозе
4	$\frac{A_4}{Ш_4}$	Обеспечивает лёгкость монтажа при низкой точности	Шариры топочных дверок и другие подвижные соединения, не требующие ухода

Таблица 11

Предельные отклонения валов и основных отверстий прессовых посадок (в мк) для диаметров
свыше 500 до 3 150 мм
Система отверстий

Номинальный диаметр в мм	Отклонение	Посадка									
		2-й класс точности				класс точности 2а					
		A	валы			A _{2a}	валы				
			П _Л	П _Р	ПР1		ПР _{2a}	ПР1 _{2a}	ПР2 _{2a}	ПР3 _{2a}	
Свыше 500 до 560	Верхнее ..	+70	+215	+345	+475	+110	+370	+500	+630	+760	
	Нижнее ..	0	+170	+300	+430	0	+300	+430	+560	+690	
» 560 » 630	Верхнее ..	+70	+215	+375	+525	+110	+400	+550	+700	+850	
	Нижнее ..	0	+170	+330	+480	0	+330	+480	+630	+780	
» 630 » 710	Верхнее ..	+80	+270	+420	+580	+120	+450	+620	+790	+960	
	Нижнее ..	0	+220	+370	+540	0	+370	+540	+710	+880	
» 710 » 800	Верхнее ..	+80	+270	+470	+660	+120	+500	+690	+830	+1 080	
	Нижнее ..	0	+220	+420	+610	0	+420	+610	+800	+1 000	
» 800 » 900	Верхнее ..	+90	+340	+525	+735	+130	+560	+770	+990	+1 200	
	Нижнее ..	0	+285	+470	+680	0	+470	+630	+900	+1 110	
» 900 » 1 000	Верхнее ..	+90	+340	+585	+815	+130	+620	+850	+1 090	+1 330	
	Нижнее ..	0	+285	+530	+760	0	+530	+760	+1 000	+1 240	
» 1 000 » 1 120	Верхнее ..	+100	+410	+650	+910	+150	+690	+950	+1 220	+1 480	
	Нижнее ..	0	+350	+590	+850	0	+590	+850	+1 120	+1 380	
» 1 120 » 1 250	Верхнее ..	+100	+410	+710	+1 010	+150	+750	+1 050	+1 350	+1 640	
	Нижнее ..	0	+350	+650	+950	0	+650	+950	+1 250	+1 540	
» 1 250 » 1 400	Верхнее ..	+110	+500	+800	+1 125	+170	+845	+1 170	+1 510	+1 830	
	Нижнее ..	0	+435	+735	+1 060	0	+735	+1 060	+1 400	+1 720	
» 1 400 » 1 600	Верхнее ..	+110	+500	+885	+1 265	+170	+930	+1 310	+1 690	+2 050	
	Нижнее ..	0	+435	+820	+1 200	0	+820	+1 200	+1 580	+1 940	
» 1 600 » 1 800	Верхнее ..	+120	+600	+1 000	+1 425	+190	+1 045	+1 470	+1 900	+2 320	
	Нижнее ..	0	+525	+925	+1 350	0	+925	+1 350	+1 780	+2 200	
» 1 800 » 2 000	Верхнее ..	+120	+600	+1 100	+1 575	+190	+1 145	+1 620	+2 100	+2 570	
	Нижнее ..	0	+525	+1 025	+1 500	0	+1 025	+1 500	+1 980	+2 450	
» 2 000 » 2 240	Верхнее ..	+130	—	+1 225	+1 755	+210	+1 270	+1 800	+2 330	+2 860	
	Нижнее ..	0	—	+1 140	+1 670	0	+1 140	+1 670	+2 200	+2 730	
» 2 240 » 2 500	Верхнее ..	+130	—	+1 355	+1 955	+210	+1 400	+2 000	+2 580	+3 170	
	Нижнее ..	0	—	+1 270	+1 870	0	+1 270	+1 870	+2 450	+3 040	
» 2 500 » 2 800	Верхнее ..	+150	—	+1 500	+2 200	+230	+1 550	+2 250	+2 900	+3 550	
	Нижнее ..	0	—	+1 400	+2 100	0	+1 400	+2 100	+2 750	+3 400	
» 2 800 » 3 150	Верхнее ..	+150	—	+1 700	+2 450	+230	+1 750	+2 500	+3 250	+4 000	
	Нижнее ..	0	—	+1 600	+2 350	0	+1 600	+2 350	+3 100	+3 850	

Таблица 12

Предельные отклонения валов и основных отверстий переходных и свободных посадок (в $\mu\text{м}$) для диаметров свыше 500 до 10 000 мм
Система отверстий

Посадка	Отклонение	Номинальный диаметр в мм													
		свыше 500 до 630	свыше 630 до 800	свыше 800 до 1 000	свыше 1 000 до 1 250	свыше 1 250 до 1 600	свыше 1 600 до 2 000	свыше 2 000 до 2 500	свыше 2 500 до 3 150	свыше 3 150 до 4 000	свыше 4 000 до 5 000	свыше 5 000 до 6 300	свыше 6 300 до 8 000	свыше 8 000 до 10 000	
2-й класс точности															
А	Верхнее . . .	+70	+80	+90	+100	+110	+120	+130	+150	+170	+190	+220	+260	+300	
	Нижнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Г	Верхнее . . .	+70	+80	+90	+100	+110	+120	+130	+150	—	—	—	—	—	
	Нижнее . . .	+25	+30	+35	+40	+45	+45	+45	+50	—	—	—	—	—	
Н	Верхнее . . .	+45	+50	+55	+60	+65	+75	+85	+100	—	—	—	—	—	
	Нижнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	—	—	—	—	—	
Л	Верхнее . . .	+23	+25	+27	+30	+33	+38	+43	+50	—	—	—	—	—	
	Нижнее . . .	—22	—25	—27	—30	—32	—37	—42	—50	—	—	—	—	—	
С	Верхнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	—	—	—	—	—	
	Нижнее . . .	—45	—50	—55	—60	—65	—75	—85	—100	—	—	—	—	—	
Класс точности 2а															
А 2а	Верхнее . . .	+110	+120	+130	+150	+170	+190	+210	+230	+260	+300	+350	+400	+450	
	Нижнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Г 2а	Верхнее . . .	+120	+135	+150	+165	+180	+200	+220	+250	—	—	—	—	—	
	Нижнее . . .	+50	+55	+60	+65	+70	+80	+90	+100	—	—	—	—	—	
Л 2а	Верхнее . . .	+35	+40	+45	+50	+55	+60	+65	+75	—	—	—	—	—	
	Нижнее . . .	—35	—40	—45	—50	—55	—60	—65	—75	—	—	—	—	—	
С 2а	Верхнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—	—	—	—	
	Нижнее . . .	—70	—80	—90	—100	—110	—120	—130	—150	—170	—	—	—	—	
Х 2а	Верхнее . . .	—100	—110	—120	—130	—150	—170	—190	—210	—240	—	—	—	—	
	Нижнее . . .	—170	—190	—210	—230	—260	—290	—320	—360	—410	—	—	—	—	

Продолжение табл. 12

Посадка	Отклонение	Номинальный диаметр в мм													
		свыше 500 до 630	свыше 630 до 800	свыше 800 до 1 000	свыше 1 000 до 1 250	свыше 1 250 до 1 600	свыше 1 600 до 2 000	свыше 2 000 до 2 500	свыше 2 500 до 3 150	свыше 3 150 до 4 000	свыше 4 000 до 5 000	свыше 5 000 до 6 300	свыше 6 300 до 8 000	свыше 8 000 до 10 000	
3-й класс точности															
А ₃	Верхнее . . .	+140	+150	+170	+200	+220	+250	+280	+300	+350	+400	+450	+500	+600	
	Нижнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
С ₃	Верхнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Нижнее . . .	-140	-150	-170	-200	-220	-250	-280	-300	-350	-400	-450	-500	-600	
Х ₃	Верхнее . . .	-120	-130	-150	-170	-180	-210	-230	-260	-300	-350	-400	-450	-500	
	Нижнее . . .	-260	-280	-320	-370	-410	-460	-510	-560	-650	-750	-850	-950	-1 100	
Л ₃	Верхнее . . .	-190	-210	-240	-270	-300	-340	-380	-420	-480	-540	-600	-700	-800	
	Нижнее . . .	-330	-360	-410	-470	-520	-590	-660	-720	-830	-940	-1 050	-1 200	-1 400	
Класс точности 3а															
А _{3а}	Верхнее . . .	+280	+300	+350	+400	+450	+500	+550	+600	+700	+800	+900	+1 000	+1 200	
	Нижнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
С _{3а}	Верхнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	
	Нижнее . . .	-280	-300	-350	-400	-450	-500	-550	-600	-700	-800	-900	-1 000	-1 200	
Ш _{3а}	Верхнее . . .	-280	-300	-350	-400	-450	-500	-550	-600	-700	-800	-900	-1 000	-1 200	
	Нижнее . . .	-560	-600	-700	-800	-900	-1 000	-1 100	-1 200	-1 400	-1 600	-1 800	-2 000	-2 400	
4-й класс точности															
А ₄	Верхнее . . .	+450	+500	+550	+600	+650	+750	+900	+1 000	+1 100	+1 200	+1 400	+1 600	+1 800	
	Нижнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
С ₄	Верхнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Нижнее . . .	-450	-500	-550	-600	-650	-750	-900	-1 000	-1 100	-1 200	-1 400	-1 600	-1 800	

Изо должно табл. 12

Посадка		Отклонение	Номинальный диаметр в мм													
			свыше 500 до 630	свыше 630 до 800	свыше 800 до 1 000	свыше 1 000 до 1 250	свыше 1 250 до 1 600	свыше 1 600 до 2 000	свыше 2 000 до 2 500	свыше 2 500 до 3 150	свыше 3 150 до 4 000	свыше 4 000 до 5 000	свыше 5 000 до 6 300	свыше 6 300 до 8 000	свыше 8 000 до 10 000	
H_4	Верхнее . . . Нижнее . . .	-230 -680	-250 -750	-280 -830	-300 -900	-330 -980	-380 -1 130	-450 -1 350	-500 -1 500	-550 -1 650	-600 -1 800	-700 -2 100	-800 -2 400	-900 -2 700		
L_4	Верхнее . . . Нижнее . . .	-450 -900	-500 -1 000	-550 -1 100	-600 -1 200	-650 -1 300	-750 -1 500	-900 -1 800	-1 000 -2 000	-1 100 -2 200	-1 200 -2 400	-1 400 -2 800	-1 600 -3 200	-1 800 -3 600		
$Ш_4$	Верхнее . . . Нижнее . . .	-900 -1 350	-1 000 -1 500	-1 100 -1 650	-1 200 -1 800	-1 300 -1 950	-1 500 -2 250	-1 800 -2 700	-2 000 -3 000	-2 200 -3 300	-2 400 -3 600	-2 800 -4 200	-3 200 -4 800	-3 600 -5 400		
5-й класс точности																
A_5	Верхнее . . . Нижнее . . .	+500 0	+1 000 0	+1 100 0	+1 200 0	+1 300 0	+1 500 0	+1 800 0	+2 000 0	+2 200 0	+2 500 0	+2 800 0	+3 200 0	+3 500 0		
C_5	Верхнее . . . Нижнее . . .	0 -900	0 -1 000	0 -1 100	0 -1 200	0 -1 300	0 -1 500	0 -1 800	0 -2 000	0 -2 200	0 -2 500	0 -2 800	0 -3 200	0 -3 500		
X_5	Верхнее . . . Нижнее . . .	-450 -1 350	-500 -1 500	-550 -1 650	-600 -1 800	-650 -1 950	-750 -2 250	-900 -2 700	-1 000 -3 000	-1 100 -3 300	-1 200 -3 750	-1 400 -4 200	-1 600 -4 800	-1 750 -5 250		
Основные отверстия 7, 8 и 9-го классов точности ¹																
A_7	Верхнее . . . Нижнее . . .	+1 800 0	+2 000 0	+2 200 0	+2 400 0	+2 600 0	+3 000 0	+3 500 0	+4 000 0	+4 500 0	+5 000 0	+5 500 0	+6 500 0	+7 000 0		
A_8	Верхнее . . . Нижнее . . .	+2 800 0	+3 000 0	+3 500 0	+4 000 0	+4 500 0	+5 000 0	+5 500 0	+6 000 0	+7 000 0	+8 000 0	+9 000 0	+10 000 0	+12 000 0		
A_9	Верхнее . . . Нижнее . . .	+4 500 0	+5 000 0	+5 500 0	+6 000 0	+6 500 0	+7 000 0	+8 000 0	+9 000 0	+10 500 0	+12 000 0	+14 000 0	+16 000 0	+18 000 0		

¹ Для B_5 , B_7 , B_8 и B_9 нижние отклонения соответственно равняются верхним отклонениям A_5 , A_7 , A_8 и A_9 , но с обратным знаком.

Таблица 13

Предельные отклонения отверстий и основных валов переходных и свободных посадок (в мкм) для диаметров свыше 500 до 10 000 мкм*

Посадка	Отклонение	Номинальный диаметр в мм													
		свыше 500 до 630	свыше 630 до 800	свыше 800 до 1 000	свыше 1 000 до 1 250	свыше 1 250 до 1 600	свыше 1 600 до 2 000	свыше 2 000 до 2 500	свыше 2 500 до 3 150	свыше 3 150 до 4 000	свыше 4 000 до 5 000	свыше 5 000 до 6 300	свыше 6 300 до 8 000	свыше 8 000 до 10 000	
Система вала															
2-й класс точности															
B	Верхнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Нижнее . . .	-45	-50	-55	-60	-65	-75	-85	-100	-110	-120	-140	-160	-180	
T	Верхнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Нижнее . . .	-70	-80	-90	-100	-110	-	-	-	-	-	-	-	-	
H	Верхнее . . .	+25	+30	+35	+40	+45	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Нижнее . . .	-45	-50	-55	-60	-65	-	-	-	-	-	-	-	-	
P	Верхнее . . .	+48	+55	+62	+70	+80	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Нижнее . . .	-22	-25	-25	-30	-30	-	-	-	-	-	-	-	-	
C	Верхнее . . .	+70	+80	+90	+100	+110	+120	+130	+150	-	-	-	-	-	
	Нижнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	
X	Верхнее . . .	+170	+190	+210	+230	+260	+290	+320	+360	-	-	-	-	-	
	Нижнее . . .	+100	+110	+120	+130	+150	+170	+190	+210	-	-	-	-	-	
Класс точности 2a															
B _{2a}	Верхнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Нижнее . . .	-70	-80	-90	-100	-110	-120	-130	-150	-170	-190	-220	-260	-300	
C _{2a}	Верхнее . . .	+110	+120	+130	+150	+170	+190	+210	+230	+260	-	-	-	-	
	Нижнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	
3-й класс точности															
B ₃	Верхнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Нижнее . . .	-140	-150	-170	-200	-220	-250	-280	-300	-350	-400	-450	-500	-600	

Продолжение табл. 13

Посадка	Отклонение	Номинальный диаметр в мм													
		свыше 500 до 630	свыше 630 до 800	свыше 800 до 1 000	свыше 1 000 до 1 250	свыше 1 250 до 1 600	свыше 1 600 до 2 000	свыше 2 000 до 2 500	свыше 2 500 до 3 150	свыше 3 150 до 4 000	свыше 4 000 до 5 000	свыше 5 000 до 6 300	свыше 6 300 до 8 000	свыше 8 000 до 10 000	
С ₃	Верхнее . . .	+140	+150	+170	+200	+220	+250	+280	+300	+350	+400	+450	+500	+600	
	Нижнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Х ₃	Верхнее . . .	+260	+280	+320	+370	+410	+460	+510	+560	+600	+750	+850	+950	+1 100	
	Нижнее . . .	+120	+130	+150	+170	+190	+210	+230	+260	+300	+350	+400	+450	+500	
Л ₃	Верхнее . . .	+330	+360	+410	+470	+520	+590	+660	+720	+830	+940	+1 050	+1 200	+1 400	
	Нижнее . . .	+190	+210	+240	+270	+300	+340	+380	+420	+480	+540	+600	+700	+800	
В _{3а}	Верхнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Нижнее . . .	-280	-300	-350	-400	-450	-500	-550	-600	-700	-800	-900	-1 000	-1 200	
С _{3а}	Верхнее . . .	+230	+300	+350	+400	+450	+500	+550	+600	+700	+800	+900	+1 000	+1 200	
	Нижнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ш _{3а}	Верхнее . . .	+500	+600	+700	+800	+900	+1 000	+1 100	+1 200	+1 400	+1 600	+1 800	+2 000	+2 400	
	Нижнее . . .	+240	+300	+350	+400	+450	+500	+550	+600	+700	+800	+900	+1 000	+1 200	
В ₄	Верхнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Нижнее . . .	-450	-500	-550	-600	-650	-750	-900	-1 000	-1 100	-1 200	-1 400	-1 600	-1 800	
С ₄	Верхнее . . .	+400	+500	+550	+600	+650	+750	+900	+1 000	+1 100	+1 200	+1 400	+1 600	+1 800	
	Нижнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Х ₄	Верхнее . . .	+680	+750	+830	+900	+980	+1 130	+1 350	+1 500	+1 650	+1 800	+2 100	+2 400	+2 700	
	Нижнее . . .	+230	+250	+290	+300	+330	+380	+450	+500	+550	+600	+700	+800	+900	
Л ₄	Верхнее . . .	+900	+1 000	+1 100	+1 200	+1 300	+1 500	+1 800	+2 000	+2 200	+2 400	+2 800	+3 200	+3 600	
	Нижнее . . .	+450	+500	+550	+600	+650	+750	+900	+1 000	+1 100	+1 200	+1 400	+1 600	+1 800	
Ш ₄	Верхнее . . .	+1 350	+1 500	+1 600	+1 800	+1 950	+2 250	+2 700	+3 000	+3 300	+3 600	+4 200	+4 800	+5 400	
	Нижнее . . .	+900	+1 000	+1 100	+1 200	+1 300	+1 500	+1 800	+2 000	+2 200	+2 400	+2 800	+3 200	+3 600	

* Отклонения основных валов и отверстий 5, 7, 8 и 9-го классов точности приводятся в табл. 12.

личных сопряжений (на неизвестного потребителя), должны предусматривать: валы — систему вала, отверстия — систему отверстия. Такой порядок позволит потребителю обеспечить нужную посадку.

Выбирая класс точности, следует ориентироваться на наиболее низкий класс, если он будет отвечать назначению проектируемого узла.

Чем определеннее характер сопряжения (меньше колебания натяга и зазора), тем выше класс точности. Однако последнее не является единственным средством; селективный метод подбора деталей даёт возможность, используя низкий класс, получить необходимый зазор или натяг с колебаниями, при существующими высоким классом точности.

Первый класс точности применяется в приборостроении и моторостроении. Классы точности 2, 2а и 3 применяются в станкостроении, краностроении и сельскохозяйственном машиностроении. В паровозостроении и вагоностроении преимущественно применяются 3, 3а, 4 и 5-й классы точности.

СЕЛЕКТИВНАЯ СБОРКА

Использование полной взаимозаменяемости при монтаже готовых деталей приводит к тому, что в партии собранных узлов могут иметь место неоднородные посадки. У одних реализован допуск посадки и, следовательно, они имеют наибольшие натяги или наибольшие зазоры. В других узлах, наоборот, посадка может оказаться с наименьшим натягом или с наименьшим зазором. Таким образом, на практике при полном использовании взаимозаменяемости собранные узлы имеют неоднородные посадки. Разница в зазорах и натягах тем больше, чем ниже класс точности. Большая неоднородность посадки не всегда может соответствовать требованиям конструкции, а применение высокого класса точности иногда вызывает производственные затруднения. В таких случаях организуют сборку узлов из готовой партии деталей так, чтобы получить посадку в полном соответствии с требованиями конструкции. Проведение ряда мероприятий, требующих особых затрат на сортировку деталей по группам, позволяет достигнуть высокой точности при низком классе точности. Способ предварительной сортировки деталей по группам с дифференцированием их действительных размеров ради получения однотипных сопряжений носит название селективной сборки. При этом способе допуск вала и отверстия делится на несколько равных частей (фиг. 12); из деталей одинаковых номеров составляются группы деталей, сопряжения которых дадут более однородные посадки, обеспечивающие в полной мере заданную точность при сравнительно слабых производственных возможностях.

Если допуски отверстия и вала не равны, то и допуски посадок групп при селективной сборке будут несколько отличны. Положим, наибольший допуск имеет вал δ_B , а отверстие имеет наименьший допуск δ_M (фиг. 12).

Тогда группа деталей 1 образует сопряжения с самыми большими групповыми по-

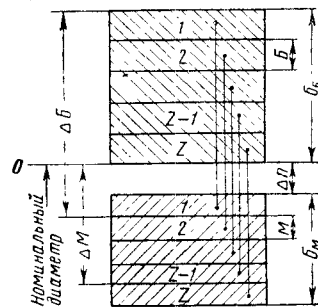
садками, а группа Z — с самыми малыми групповыми посадками.

Большой допуск при селективной сборке

$$B = \frac{\delta_B}{Z} \quad (1)$$

и меньший

$$M = \frac{\delta_M}{Z} \quad (2)$$



Фиг. 12. График допусков при селективной сборке

Наименьший зазор составит:

$$\Delta_M = \Delta_n + (Z - 1) M, \quad (3)$$

или

$$\Delta_M = \Delta_n + \delta_M - M, \quad (4)$$

откуда

$$M = \delta_M + \Delta_n - \Delta_M. \quad (5)$$

Наибольший зазор

$$\Delta_B = \delta_B + \Delta_n + M. \quad (6)$$

Таким образом, имея заданным наименьший зазор Δ_M или наибольший зазор Δ_B , пользуясь уравнением (4) или (6), легко найти меньший допуск M при селективной сборке и далее по уравнению (1) или (2) определяется число групп Z .

Пример 1. Используя селективный метод сборки деталей, требуется для деталей диаметром $(50 \div 80) \text{ мм}$ $\frac{A_{3a}}{X_4}$ определить наименьший и наибольший зазоры при числе групп $Z = 4$.

Из табл. 7 имеем: для A_{3a} верхнее отклонение — 120 мк и для X_4 в. о. — 100 мк и нижнее отклонение — 300 мк.

Отсюда получаем:
наибольший допуск

$$\delta_B = 300 - 100 = 200 \text{ мк},$$

наименьший допуск

$$\delta_M = 120 \text{ мк}$$

и наименьший зазор по стандарту

$$\Delta_n = 100 \text{ мк}.$$

Пользуясь уравнениями (2), (4) и (6), последовательно определяем:
наименьший допуск

$$M = \frac{120}{4} = 30 \text{ мк},$$

наименьший зазор

$$\Delta_M = 100 + 120 - 30 = 190 \text{ мк}$$

и наибольший зазор

$$\Delta_B = 200 + 100 + 30 = 330 \text{ мк.}$$

Допуск посадки при селективной сборке, равный

$$\delta_C = \Delta_B - \Delta_M.$$

составит

$$\delta_C = 330 - 190 = 140 \text{ мк.}$$

Стандартный допуск посадки значительно выше:

$$\delta = 120 + 200 = 320 \text{ мк.}$$

Пример 2. В пределах 3-го класса точности для диаметра $(50 \pm 80) \text{ мм}$, пользуясь селективным методом сборки, выбрать посадку вала, которая бы обеспечила наименьший предельный зазор $\Delta_M = 85 \text{ мк}$ и наибольший предельный зазор $\Delta_B = 135 \text{ мк}$ при числе групп $Z = 4$ и системе отверстия.

Верхнее отклонение (A_1) равняется 60 мк . Допуск вала при подвижных посадках всегда больше или равен допуску отверстия, следовательно, будем иметь:

наименьший допуск

$$\delta_M = 60 \text{ мк}$$

и наименьший допуск при селективной сборке

$$M = \frac{60}{4} = 15 \text{ мк.}$$

Поэтому согласно уравнению (6) нижнее отклонение вала

$$\delta_B + \Delta_n = \Delta_B - M$$

будет

$$\delta_B + \Delta_n = 135 - 15 = 120 \text{ мк.}$$

Такое нижнее отклонение предусматривается у посадки X_2 . Верхнее отклонение $X_2 = 40 \text{ мк}$ должно равняться $\Delta_n (\Delta_n = M + \Delta_M - \delta_M = 15 + 85 - 60 = 40 \text{ мк})$. Следовательно, заданное условие полностью соответствует посадке $\frac{A_2}{X_2}$.

Допуск посадки при селективной сборке

$$\Delta_B - \Delta_M = 135 - 85 = 50 \text{ мк,}$$

а стандартной посадки для $\frac{A_2}{X_2}$ он составляет 140 мк .

При решении вопроса применения селективной сборки необходимо иметь в виду ее недостатки, к которым следует отнести: 1) дополнительные затраты по сортировке деталей; 2) необходимость задела и организация его хранения; 3) значительное увеличение калибрового хозяйства; 4) затраты по ликвидации сверхзадела; этот недостаток особенно чувствителен при громоздких деталях, так как их стоимость велика и издержки на транспорт и хранение весьма большие; 5) нарушение принципа полной взаимозаменяемости.

МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ДОПУСКОВ И ПОСАДОК ISA

Основной системой допусков и посадок является система ОСТ, которую следует применять во всех случаях.

При ремонте деталей, посадки которых предусмотрены по ISA, следует назначать соответствующие посадки по ОСТ.

Выбор заменяющих посадок производится в соответствии с табл. 14.

В особых, исключительных случаях, когда посадки ISA не могут быть заменены посадками ОСТ, они могут быть оставлены.

В системе допусков ISA точность изготовления регламентируется квалитетами: IT1, IT2, IT3, IT4, . . . , IT16.

Первые четыре квалитета предусмотрены для использования при изготовлении особо точных деталей. Точность пятого квалитета соответствует точности 1-го класса ОСТ, а точность последнего, шестнадцатого квалитета соответствует нашему 9-му классу точности. Основные данные, характеризующие посадку в системе ISA: «номинальный размер», «отверстие», «вал», «отклонения», «допуск», «зазор», «натяг», — те же, что и в системе ОСТ. Система ISA является так же, как и система допусков ОСТ, асимметричной предельной.

Здесь также основание системы предусматривает систему отверстия (H) или систему вала (h). При этом верхнее отклонение отверстия (H) и нижнее отклонение вала (h) для одинаковых квалитетов одинаковы и отличаются только знаками. Посадки валов и отверстий обозначаются, как указано в табл. 14. Принадлежность посадки к квалитету определяется по числовому показателю. Например, диаметр $50H_6/g_5$ показывает H_6 — систему отверстия для шестого квалитета и g_5 показывает посадку g для пятого квалитета. Посадка H_6/g_5 находится в полном соответствии с посадкой A_1/D_1 по ОСТ. Посадка H_8/h_7 предусматривает систему вала и соответствует посадке $C2a/B2a$ по ОСТ.

В системе ISA допуски у большинства одноименных посадок при равных квалитетах одинаковы.

В табл. 15 приводятся отклонения отверстий и валов ISA, посадки которых соответствуют посадкам по ОСТ 1011 — 1015 (в системе отверстия) и по ОСТ 1021 — 1025 (в системе вала).

Из сопоставления отклонений посадок следует: 1) посадки 2а и 3а классов точности полностью вошли в систему ISA, 2) посадки A_1/D_1 не отличаются от посадок H_6/g_5 , а все остальные посадки ISA, указанные в табл. 12, только приблизительно соответствуют посадкам ОСТ. Схемы посадок для системы ISA приводятся на фиг. 13 и 14.

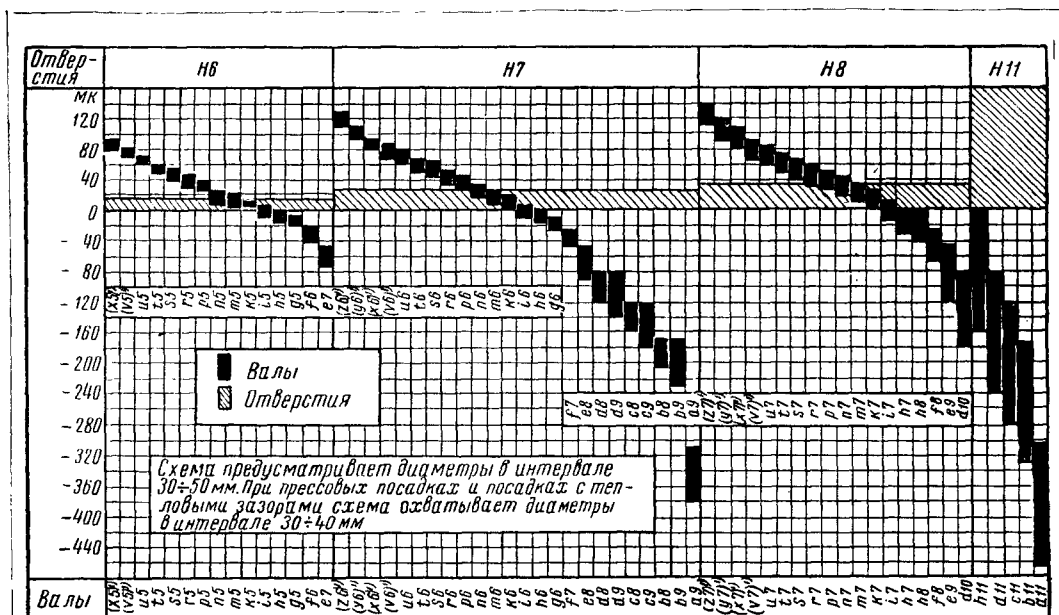
ОБОЗНАЧЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ ОТКЛОНЕНИЙ РАЗМЕРОВ НА ЧЕРТЕЖАХ ПО ГОСТ 3457-46

Предельные отклонения указываются на чертежах непосредственно после номинального размера условными обозначениями по общесоюзным стандартам на допуски и посадки или числовыми величинами (табл. 16).

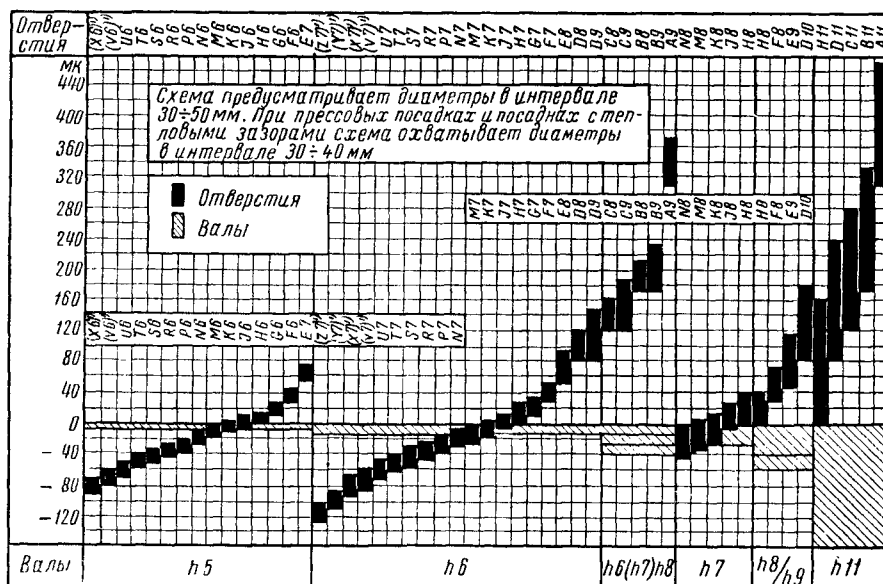
В виде исключения допускается указывать наряду с условными обозначениями числовые обозначения отклонений.

При простановке размера в разрыве размерной линии обозначения отклонений или числовые их величины проставляются также в разрыве размерной линии. Числовые величины отклонений проставляются одно над другим, верхнее — над нижним.

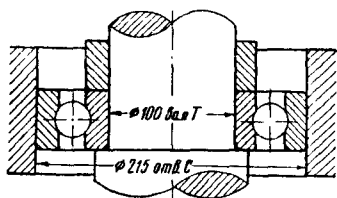
При простановке размера над размерной линией обозначения отклонений или числовые их величины проставляются также над размерной линией. Размер шрифта буквенных обозначений такой же, как для простановки размеров, а цифровые величины отклонений указываются более мелким шрифтом.



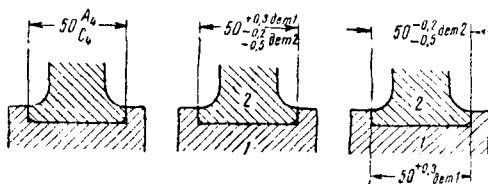
Фиг. 13. Посадка в системе отверстий по ISA



Фиг. 14. Посадка в системе вала по ISA



Фиг. 15. Изображение посадки и размера на сборочном чертеже



Фиг. 16. Простановка посадок и отклонений на сборочных чертежах

Если наряду с условными обозначениями указываются также и числовые величины отклонений, то последние рекомендуется проставлять в скобках уменьшенным (в сравнении с номинальным размером) шрифтом.

Отклонение, равное нулю, на чертежах не проставляется.

При симметричном расположении поля допуска величина отклонения проставляется со знаками \pm рядом с размером и одинаковым с ним шрифтом.

Предельные отклонения размеров деталей, изображенные на чертеже в собранном виде, указываются в виде дроби: в числителе проставляются обозначения или числовые величины отклонений отверстий (охватываемой детали), а в знаменателе — обозначения или числовые величины отклонений вала (охватываемой детали).

При указании числовых величин отклонений допускаются надписи, поясняющие, к какой из деталей относятся отклонения.

Допускается вместо одной проводить две размерные линии (фиг. 15) и отдельно указывать отклонения вала и отверстия с надписями, к какой детали относятся отклонения.

При простановке номинального размера соединения в разрыве размерной линии черта, разделяющая отклонения отверстия и вала, может быть слита с размерной линией, т. е. отклонения отверстия проставляются над размерной линией, а вала — под ней.

Если на чертеже соединения в собранном виде необходимо указать предельные отклонения только одной из сопрягаемых поверхностей, то это поясняется надписью, к какой детали относятся отклонения (фиг. 16).

Таблица 14

Посадки ISA, соответствующие посадкам по ОСТ

Система отверстия

Система вала

Посадки по ОСТ			Посадки по ОСТ		
	ISA			ISA	
1-й класс	A_1/G_1 A_1/T_1 A_1/H_1 A_1/P_1 A_1/C_1 A_1/D_1	$H6/n\ 5$ $H6/m\ 5$ $H6/k\ 5$ $H6/j\ 5$ $H6/h\ 5$ $H6/g\ 5$	1-й класс	G_1/B_1 T_1/B_1 H_1/B_1 P_1/B_1 C_1/B_1	$H6/h5$ $M6/h5$ $K6/h5$ $J6/h5$ $H6/h5$
2-й класс	A/G A/T A/H A/P A/C A/D A/X A/L $A/Ш$	$H7/n\ 6$ $H7/m\ 6$ $H7/k\ 6$ $H7/j\ 6$ $H7/h\ 6$ $H7/g\ 6$ $H7/f\ 7$ $H7/e\ 8$ $H7/d\ 10$ $H7/d\ 10$	2-й класс	G/B T/B H/B P/B C/B B X/B L/B $Ш/B$	$H7/h6$ $M7/h6$ $K7/h6$ $F7/h6$ $H7/h6$ $G7/h6$ $F7/h6$ $(F7/h7)$ $E8/h6$ $E8/h7$ $D8/h6$ $D9/h6$ $D8/h7$
Класс 2а	A_{2a}/G_{2a} A_{2a}/T_{2a} A_{2a}/H_{2a} A_{2a}/P_{2a} A_{2a}/C_{2a}	$H8/n\ 7$ $H8/m\ 7$ $H8/k\ 7$ $H8/j\ 7$ $H8/h\ 7$	Класс 2а	G_{2a}/B_{2a} T_{2a}/B_{2a} H_{2a}/B_{2a} P_{2a}/B_{2a} C_{2a}/B_{2a}	$H8/h7$ $M8/h7$ $K8/h7$ $J8/h7$ $H8/h7$
3-й класс	A_3/C_3 A_3/X_3 $A_3/Ш_3$	$H8/h\ 8$ $H8/h\ 9$ $H8/e\ 9$ $H8/d\ 10$	3-й класс	C_3/B_3 X_3/B_3 $Ш_3/B_3$	$H8/h8$ $H8/h9$ $E9/h8$ $E9/h9$ $D10/h8$ $D10/h9$
Класс 3а	A_{3a}/C_{3a}	$H10/h11$	Класс 3а	C_{3a}/B_{3a}	$H10/h10$
4-й класс	A_4/C_4 A_4/X_4 A_4/L_4 { до 10 мм свыше 10 до 180 мм свыше 180 мм $A_4/Ш_4$ { до 10 мм свыше 10 до 180 мм свыше 180 мм	$H11/h11$ $H11/d11$ $H11/c11$ $H11/b11$ $H11/c11$ $H11/b11$ $H11/a11$ $H11/b11$	4-й класс	C_4/B_4 X_4/B_4 L_4/B_4 { до 10 мм свыше 10 до 180 мм свыше 180 мм $Ш_4/B_4$ { до 10 мм свыше 10 до 180 мм свыше 180 мм	$H11/h11$ $D11/h11$ $C11/h11$ $B11/h11$ $C11/h11$ $B11/h11$ $A11/h11$ $B11/h11$

Примечание. Посадки A_1/D_1 полностью соответствуют указанным посадкам ISA. а посадки классов точности 2а и 3а соответствуют указанным в табл. 15 посадкам ISA только для диаметров до 180 мм. Остальные посадки ОСТ приблизительно соответствуют посадкам ISA.

Система ISA
Отклонения валов и отверстий переходных и подвижных посадок (в мк)
Система отверстий

Т а б л и ц а 15

Посадка		Отклонение	Номинальные диаметры в мм													
			от 1 до 6	свыше 3 до 6	свыше 6 до 10	свыше 10 до 18	свыше 18 до 30	свыше 30 до 50	свыше 50 до 80	свыше 80 до 120	свыше 120 до 180	свыше 180 до 250	свыше 250 до 315	свыше 315 до 400	свыше 400 до 500	
ВАЛЫ	Отверстие H6	Верхнее . . . Нижнее . . .	+ 7 0	+ 8 0	+ 9 0	+11 0	+13 0	+16 0	+19 0	+22 0	+25 0	+28 0	+32 0	+36 0	+40 0	
	n5	Верхнее . . . Нижнее . . .	+11 + 6	+13 + 8	+16 +10	+20 +12	+24 +15	+28 +17	+33 +20	+38 +23	+45 +27	+51 +31	+57 +34	+62 +37	+67 +40	
		m5	Верхнее . . . Нижнее . . .	+ 7 + 2	+ 9 + 4	+12 + 6	+15 + 7	+17 + 8	+20 + 9	+24 +11	+28 +13	+33 +15	+37 +17	+42 +19	+46 +21	+50 +23
	k5		Верхнее . . . Нижнее . . .	— —	— —	+ 7 + 1	+ 9 + 1	+11 + 2	+13 + 2	+15 + 2	+18 + 3	+21 + 3	+24 + 4	+27 + 4	+29 + 4	+32 + 5
		j5	Верхнее . . . Нижнее . . .	+ 4 — 1	+ 4 — 1	+ 4 — 2	+ 5 — 3	+ 5 — 4	+ 6 — 5	+ 6 — 7	+ 6 — 9	+ 7 —11	+ 7 —13	+ 7 —16	+ 7 —18	+ 7 —20
	h5		Верхнее . . . Нижнее . . .	— 0 — 5	— 0 — 5	— 0 — 6	— 0 — 8	— 0 — 9	— 0 —11	— 0 —13	— 0 —15	— 0 —18	— 0 —20	— 0 —23	— 0 —25	— 0 —27
		g5	Верхнее . . . Нижнее . . .	— 3 — 8	— 4 — 9	— 5 —11	— 6 —14	— 7 —16	— 9 —20	—10 —23	—12 —27	—14 —32	—15 —35	—17 —40	—18 —43	—20 —47
	Отверстие H7		Верхнее . . . Нижнее . . .	+ 9 0	+12 0	+15 0	+18 0	+21 0	+25 0	+30 0	+35 0	+40 0	+46 0	+52 0	+57 0	+63 0
	ВАЛЫ	n6	Верхнее . . . Нижнее . . .	+13 + 6	+16 + 8	+19 +10	+23 +12	+28 +15	+33 +17	+39 +20	+45 +23	+52 +27	+60 +31	+66 +34	+73 +37	+80 +40
			m6	Верхнее . . . Нижнее . . .	+ 9 + 2	+12 + 4	+15 + 6	+18 + 7	+21 + 8	+25 + 9	+30 +11	+35 +13	+40 +15	+46 +17	+52 +20	+57 +21
		k6		Верхнее . . . Нижнее . . .	— —	— —	+10 + 1	+12 + 1	+15 + 2	+18 + 2	+21 + 2	+25 + 3	+28 + 3	+33 + 4	+36 + 4	+40 + 4
j6			Верхнее . . . Нижнее . . .	+ 6 — 1	+ 7 — 1	+ 7 — 2	+ 8 — 3	+ 9 — 4	+11 — 5	+12 — 7	+18 — 9	+14 —11	+16 —13	+16 —16	+18 —18	+20 —20
		h6	Верхнее . . . Нижнее . . .	— 0 — 7	— 0 — 8	— 0 — 9	— 0 —11	— 0 —13	— 0 —16	— 0 —19	— 0 —22	— 0 —25	— 0 —29	— 0 —32	— 0 —36	— 0 —40
g6			Верхнее . . . Нижнее . . .	— 3 —10	— 4 —12	— 5 —14	— 6 —17	— 7 —20	— 9 —25	—10 —29	—12 —34	—14 —39	—15 —44	—17 —49	—18 —54	—20 —60
		f7	Верхнее . . . Нижнее . . .	— 7 —16	—10 —22	—13 —28	—16 —34	—20 —41	—25 —50	—30 —60	—36 —71	—43 —83	—50 —96	—56 —108	—62 —119	—68 —131
e8			Верхнее . . . Нижнее . . .	—14 —28	—20 —38	—25 —47	—32 —59	—40 —73	—50 —89	—60 —106	—72 —126	—85 —148	—100 —172	—110 —191	—125 —214	—135 —232
		d8	Верхнее . . . Нижнее . . .	—20 —34	—30 —48	—40 —62	—50 —77	—65 —98	—80 —119	—100 —146	—120 —174	—145 —208	—170 —242	—190 —271	—210 —299	—230 —327
d9			Верхнее . . . Нижнее . . .	—20 —45	—30 —60	—40 —76	—50 —93	—65 —117	—80 —142	—100 —174	—120 —207	—145 —245	—170 —285	—190 —320	—210 —350	—230 —385
		Отверстие H8	Верхнее . . . Нижнее . . .	+14 0	+18 0	+22 0	+27 0	+33 0	+39 0	+46 0	+54 0	+63 0	+72 0	+81 0	+89 0	+97 0
ВАЛЫ	n7	Верхнее . . . Нижнее . . .	+15 + 6	+20 + 8	+25 +10	+30 +12	+36 +15	+42 +17	+50 +20	+58 +23	+67 +27	+77 +31	+86 +34	+94 +37	+103 + 40	

Посадка	Отклонение	Номинальные диаметры в мм													
		от 1 до 3	свыше 3 до 6	свыше 6 до 10	свыше 10 до 18	свыше 18 до 30	свыше 30 до 50	свыше 50 до 80	свыше 80 до 120	свыше 120 до 180	свыше 180 до 250	свыше 250 до 315	свыше 315 до 400	свыше 400 до 500	
В А Л Ы	m7	Верхнее . . .	—	—	+21	+25	+29	+34	+41	+48	+55	+63	+72	+78	+86
		Нижнее . . .	—	—	+ 6	+ 7	+ 8	+ 9	+11	+13	+15	+17	+20	+21	+23
	k7	Верхнее . . .	—	—	+16	+19	+23	+27	+32	+38	+43	+50	+56	+61	+68
		Нижнее . . .	—	—	+ 1	+ 1	+ 2	+ 2	+ 2	+ 3	+ 3	+ 4	+ 4	+ 4	+ 5
	j7	Верхнее . . .	+ 7	+ 9	+10	+12	+13	+15	+18	+20	+22	+25	+26	+29	+31
		Нижнее . . .	— 2	— 3	— 5	— 6	— 8	—10	—12	—15	—18	—21	—26	—28	—32
	h7	Верхнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Нижнее . . .	— 9	—12	—15	—18	—21	—25	—30	—35	—40	—46	—52	—57	—63
h8	Верхнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Нижнее . . .	—14	—18	—22	—27	—33	—39	—46	—54	—63	—72	—81	—89	—97	
h9	Верхнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Нижнее . . .	—25	—30	—36	—43	—52	—62	—74	—87	—100	—115	—130	—140	—155	
e9	Верхнее . . .	—14	—20	—25	—32	—40	—50	—60	—72	—85	—100	—110	—125	—135	
	Нижнее . . .	—39	—50	—61	—75	—92	—112	—134	—159	—185	—215	—240	—265	—290	
d10	Верхнее . . .	—20	—30	—40	—50	—65	—80	—100	—120	—145	—170	—190	—210	—230	
	Нижнее . . .	—60	—78	—98	—120	—149	—180	—220	—260	—305	—355	—400	—440	—480	
Отверстие H10	Верхнее . . .	+40	+48	+58	+70	+84	+100	+120	+140	+160	+185	+210	+230	+250	
	Нижнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Вал h11	Верхнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Нижнее . . .	—60	—75	—90	—110	—130	—160	—190	—220	—250	—290	—320	—360	—400	
Отверстие H11	Верхнее . . .	+60	+75	+90	+110	+130	+160	+190	+220	+250	+290	+320	+360	+400	
	Нижнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Вал d11	Верхнее . . .	—20	—30	—40	—50	—65	—80	—100	—120	—145	—170	—190	—210	—230	
	Нижнее . . .	—80	—105	—130	—160	—195	—240	—290	—340	—395	—460	—510	—570	—630	
Посадка	Отклонение	Номинальные диаметры в мм													
		от 1 до 3	свыше 3 до 6	свыше 6 до 10	свыше 10 до 18	свыше 18 до 30	свыше 30 до 40	свыше 40 до 50	свыше 50 до 65	свыше 65 до 80	свыше 80 до 100	свыше 100 до 120	свыше 120 до 140		
b11	Верхнее . . .	—140	—140	—150	—150	—160	—170	—180	—190	—200	—220	—240	—260		
	Нижнее . . .	—200	—215	—240	—260	—290	—330	—340	—380	—390	—440	—460	—510		
c11	Верхнее . . .	— 60	— 70	— 80	— 95	—110	—120	—130	—140	—150	—170	—180	—200		
	Нижнее . . .	—120	—145	—170	—205	—240	—280	—290	—330	—340	—390	—400	—450		
Посадка	Отклонение	Номинальные диаметры в мм													
		от 140 до 160	свыше 160 до 180	свыше 180 до 200	свыше 200 до 220	свыше 220 до 250	свыше 250 до 280	свыше 280 до 315	свыше 315 до 355	свыше 355 до 400	свыше 400 до 450	свыше 450 до 500			

Система вала

Посадка	Отклонение	Номинальные диаметры в мм													
		от 1 до 3	свыше 3 до 6	свыше 6 до 10	свыше 10 до 18	свыше 18 до 30	свыше 30 до 50	свыше 50 до 80	свыше 80 до 120	свыше 120 до 180	свыше 180 до 250	свыше 250 до 315	свыше 315 до 400	свыше 400 до 500	
Вал h5	Верхнее . . . Нижнее . . .	0 - 5	0 - 5	0 - 6	0 - 8	0 - 9	0 -11	0 -13	0 -15	0 -18	0 -20	0 -23	0 -25	0 -27	
ОТВЕРСТИЯ	N6	Верхнее . . . Нижнее . . .	- 4 -11	- 5 -13	- 7 -16	- 9 -20	-11 -24	-12 -28	-14 -33	-16 -38	-20 -45	-22 -51	-25 -57	-26 -62	-27 -67
	M6	Верхнее . . . Нижнее . . .	- - 7	- 1 - 9	- 3 -12	- 4 -15	- 4 -17	- 4 -20	- 5 -24	- 6 -28	- 8 -33	- 8 -37	-10 -42	-10 -46	-10 -50
	K6	Верхнее . . . Нижнее . . .	- -	- -	+ 2 - 7	+ 2 - 9	+ 2 -11	+ 3 -13	+ 4 -15	+ 4 -18	+ 4 -21	+ 5 -24	+ 5 -27	+ 7 -29	+ 8 -32
	I6	Верхнее . . . Нижнее . . .	+ 3 - 4	+ 4 - 4	+ 5 - 4	+ 6 - 5	+ 8 - 5	+10 - 6	+13 - 6	+16 - 6	+18 - 7	+22 - 7	+25 - 7	+29 - 7	+33 - 7
	H6	Верхнее . . . Нижнее . . .	+ 7 0	+ 8 0	+ 9 0	+11 0	+13 0	+16 0	+19 0	+22 0	+25 0	+29 0	+32 0	+36 0	+40 0
Вал h6	Верхнее . . . Нижнее . . .	0 - 7	0 - 8	0 - 9	0 -11	0 -13	0 -16	0 -19	0 -22	0 -25	0 -29	0 -32	0 -36	0 -40	
ОТВЕРСТИЯ	N7	Верхнее . . . Нижнее . . .	- 4 -13	- 4 -16	- 4 -19	- 5 -23	- 7 -28	- 8 -33	- 9 -39	-10 -45	-12 -52	-14 -60	-14 -66	-16 -73	-17 -80
	M7	Верхнее . . . Нижнее . . .	0 - 9	0 -12	0 -15	0 -18	0 -21	0 -25	0 -30	0 -35	0 -40	0 -46	0 -52	0 -57	0 -63
	K7	Верхнее . . . Нижнее . . .	- -	- -	+ 5 -10	+ 6 -12	+ 6 -15	+ 7 -18	+ 9 -21	+10 -25	+12 -28	+13 -33	+16 -36	+17 -40	+18 -45
	F7	Верхнее . . . Нижнее . . .	+16 + 7	+22 +10	+28 +13	+34 +16	+41 +20	+50 +25	+60 +30	+71 +36	+83 +43	+96 +50	+108 +56	+119 +62	+131 +68
	H7	Верхнее . . . Нижнее . . .	+ 9 0	+12 0	+15 0	+18 0	+21 0	+25 0	+30 0	+35 0	+40 0	+46 0	+52 0	+57 0	+63 0
	G7	Верхнее . . . Нижнее . . .	+12 + 3	+16 + 4	+20 + 5	+24 + 6	+28 + 7	+34 + 9	+40 +10	+47 +12	+54 +14	+61 +15	+69 +17	+75 +18	+83 +20
	E8	Верхнее . . . Нижнее . . .	+28 +14	+38 +20	+47 +25	+59 +32	+73 +40	+89 +50	+106 +60	+126 +72	+148 +85	+172 +100	+191 +110	+214 +125	+232 +135
	D8	Верхнее . . . Нижнее . . .	+34 +20	+48 +30	+62 +40	+77 +50	+98 +65	+119 +80	+146 +100	+174 +120	+208 +145	+242 +170	+271 +190	+299 +210	+327 +230
	D9	Верхнее . . . Нижнее . . .	+45 +20	+60 +30	+76 +40	+93 +50	+117 +65	+142 +80	+174 +100	+207 +120	+245 +145	+285 +170	+320 +190	+350 +210	+385 +230
	Вал h7	Верхнее . . . Нижнее . . .	0 - 9	0 -12	0 -15	0 -18	0 -21	0 -25	0 -30	0 -35	0 -40	0 -46	0 -52	0 -57	0 -63
ОТВЕРСТИЯ	N8	Верхнее . . . Нижнее . . .	- 1 -15	- 2 -20	- 3 -25	- 3 -30	- 3 -36	- 3 -42	- 4 -50	- 4 -58	- 4 -67	- 5 -77	- 5 -86	- 5 -91	- 6 -103
	M8	Верхнее . . . Нижнее . . .	- -	- -	+ 1 -21	+ 2 -25	+ 4 -29	+ 5 -34	+ 5 -41	+ 6 -48	+ 8 -55	+ 9 -63	+ 9 -72	+11 -78	+11 -86
	K8	Верхнее . . . Нижнее . . .	- -	- -	+ 6 -16	+ 8 -19	+10 -23	+12 -27	+14 -32	+16 -38	+20 -43	+22 -50	+25 -56	+28 -61	+29 -68

Продолжение табл. 15

	Посадка	Отклонение	Номинальные диаметры в мм												
			от 1 до 3	свыше 3 до 6	свыше 6 до 10	свыше 10 до 18	свыше 18 до 30	свыше 30 до 50	свыше 50 до 80	свыше 80 до 120	свыше 120 до 180	свыше 180 до 250	свыше 250 до 315	свыше 315 до 400	свыше 400 до 500
ОТВЕРСТИЯ	H8	Верхнее . . .	+7	+9	+12	+15	+20	+24	+28	+34	+41	+47	+55	+60	+66
		Нижнее . . .	-7	-9	-10	-12	-13	-15	-18	-20	-22	-25	-26	-29	-31
	H9	Верхнее . . .	+14	+18	+22	+27	+33	+39	+46	+54	+63	+72	+81	+89	+97
		Нижнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ОТВЕРСТИЯ	E9	Верхнее . . .	+39	+50	+61	+75	+92	+112	+134	+159	+185	+215	+240	+265	+290
		Нижнее . . .	+14	+20	+25	+32	+40	+50	+60	+72	+85	+100	+110	+125	+135
	D10	Верхнее . . .	+60	+78	+98	+120	+149	+180	+220	+260	+305	+355	+400	+440	+480
		Нижнее . . .	+20	+30	+40	+50	+65	+80	+100	+120	+145	+170	+190	+210	+230
ОТВЕРСТИЯ	H9	Верхнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Нижнее . . .	-25	-30	-36	-43	-52	-62	-74	-87	-100	-115	-130	-140	-155
	H10	Верхнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Нижнее . . .	-40	-48	-58	-70	-84	-100	-120	-140	-160	-185	-210	-230	-250
ОТВЕРСТИЯ	H10	Верхнее . . .	+40	+48	+58	+70	+84	+100	+120	+140	+160	+185	+210	+230	+250
		Нижнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	H11	Верхнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Нижнее . . .	-60	-75	-90	-110	-130	-160	-190	-220	-250	-290	-320	-360	-400
ОТВЕРСТИЯ	H11	Верхнее . . .	+60	+75	+90	+110	+130	+160	+190	+220	+250	+290	+320	+360	+400
		Нижнее . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	D11	Верхнее . . .	+80	+105	+130	+160	+195	+240	+290	+340	+395	+460	+510	+570	+630
		Нижнее . . .	+20	+30	+40	+50	+65	+80	+100	+120	+145	+170	+190	+210	+230
	Посадка	Отклонение	Номинальные диаметры в мм												
			от 1 до 3	свыше 3 до 6	свыше 6 до 10	свыше 10 до 18	свыше 18 до 30	свыше 30 до 40	свыше 40 до 50	свыше 50 до 65	свыше 65 до 80	свыше 80 до 100	свыше 100 до 120	свыше 120 до 140	
ОТВЕРСТИЯ	B11	Верхнее . . .	+200	+215	+240	+260	+290	+330	+340	+380	+390	+440	+460	+510	
		Нижнее . . .	+140	+140	+150	+150	+160	+170	+180	+190	+200	+220	+240	+260	
	C11	Верхнее . . .	+120	+145	+170	+205	+240	+280	+290	+330	+340	+390	+400	+450	
		Нижнее . . .	+60	+70	+80	+95	+110	+120	+130	+140	+150	+170	+180	+200	
ОТВЕРСТИЯ	A11	Верхнее . . .	+330	+345	+370	+400	+430	+470	+480	+530	+550	+600	+630	+710	
		Нижнее . . .	+270	+270	+280	+290	+300	+310	+320	+340	+350	+380	+410	+460	

Продолжение табл. 15

Посадка	Отклонение	Номинальные диаметры в мм										
		свыше 140 до 160	свыше 160 до 180	свыше 180 до 200	свыше 200 до 220	свыше 220 до 250	свыше 250 до 280	свыше 280 до 315	свыше 315 до 355	свыше 355 до 400	свыше 400 до 450	свыше 450 до 500
ОТВЕРСТИЯ	B11	Верхнее . . .	+530	+560	+630	+670	+710	+800	+860	+960	+1 040	+1 240
		Нижнее . . .	+280	+310	+340	+380	+420	+480	+540	+600	+ 680	+ 840
	C11	Верхнее . . .	+460	+480	+530	+550	+570	+620	+650	+720	+760	+880
		Нижнее . . .	+210	+230	+240	+260	+280	+300	+330	+360	+400	+480
	A11	Верхнее . . .	+770	+830	+950	+1 030	+1 110	+1 240	+1 370	+1 560	+1 710	+1 900
		Нижнее . . .	+520	+580	+660	+ 740	+ 820	+ 920	+1 050	+1 200	+1 350	+1 500

Пр и м е ч а н и я. 1. Табл. 15 предусматривает отклонения только для посадок, указанных в табл. 14.
 2. H11 предусматривает также: h11, b11, C11 для размеров от 1 до 10 мм и свыше 180 мм и a11 — для размеров свыше 10 до 180 мм.
 3. h7 предусматривает также: F7, E8 и D8.
 4. h9 предусматривает также: H8, E9 и D10.
 5. h11 предусматривает также: B11, C11 для размеров до 10 мм и свыше 180 мм и A11 — свыше 10 до 180 мм.

Т а б л и ц а 16

Примеры простановки отклонений

Характер отклонений	Способы простановки		
	первый	второй	третий
Отклонения положительные	$100 T$	$100 T (+0,035)$ $100 T (+0,012)$	$100 +0,035$ $100 +0,012$
	$100 T$	$100 T (+0,035)$ $100 T (+0,012)$	$100 +0,035$ $100 +0,012$
Верхнее отклонение положительное, нижнее отклонение отрицательное	$100 P_{2a}$	$100 P_{2a} (+0,020)$ $100 P_{2a} (-0,015)$	$100 +0,020$ $100 -0,015$
	$100 P_{2a}$	$100 P_{2a} (+0,020)$ $100 P_{2a} (-0,015)$	$100 +0,020$ $100 -0,015$
Отклонения отрицательные	$100 X$	$100 X (-0,040)$ $100 X (-0,075)$	$100 -0,040$ $100 -0,075$
	$100 X$	$100 X (-0,040)$ $100 X (-0,075)$	$100 -0,040$ $100 -0,075$
Нижнее отклонение равно нулю	$100 A$	$100 A (+0,035)$ $100 A (+0,035)$	$100 +0,035$ $100 +0,035$
	$100 A$	$100 A (+0,035)$ $100 A (+0,035)$	$100 +0,035$ $100 +0,035$
Верхнее отклонение равно нулю	$100 T$	$100 T (-0,035)$ $100 T (-0,035)$	$100 -0,035$ $100 -0,035$
	$100 T$	$100 T (-0,035)$ $100 T (-0,035)$	$100 -0,035$ $100 -0,035$
Симметричное расположение поля допуска	$100 P$	$100 P (\pm 0,012)$ $100 P (\pm 0,012)$	$100 \pm 0,012$ $100 \pm 0,012$
	$100 P$	$100 P (\pm 0,012)$ $100 P (\pm 0,012)$	$100 \pm 0,012$ $100 \pm 0,012$
Детали в собранном виде при системе отверстия	$100 \frac{A}{T}$	$100 \frac{+0,035 \text{ д. 1}}{+0,035}$ $100 \frac{+0,012 \text{ д. 2}}{+0,012}$	$100 +0,035 \text{ д. 1}$ $100 +0,012 \text{ д. 2}$
	$100 \frac{A}{T}$	$100 \frac{+0,035 \text{ д. 1}}{+0,035}$ $100 \frac{+0,012 \text{ д. 2}}{+0,012}$	$100 +0,035 \text{ д. 1}$ $100 +0,012 \text{ д. 2}$
То же при системе вала	$100 \frac{T}{B}$	$100 \frac{-0,035 \text{ д. 2}}{-0,023 \text{ д. 1}}$	$100 -0,035 \text{ д. 2}$ $100 -0,023 \text{ д. 1}$
	$100 \frac{T}{B}$	$100 \frac{-0,035 \text{ д. 2}}{-0,023 \text{ д. 1}}$	$100 -0,035 \text{ д. 2}$ $100 -0,023 \text{ д. 1}$

ПРЕДЕЛЬНЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПО ГОСТ 3457-46

Допустимые отклонения формы и расположения поверхностей в случае необходимости их контроля следует оговаривать в технических условиях и на свободном поле чертежа либо указывать на изображении детали с использованием приведенных в табл. 17 условных знаков и пояснительных надписей.

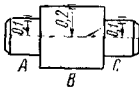
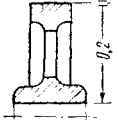
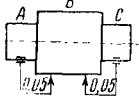

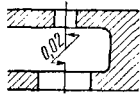
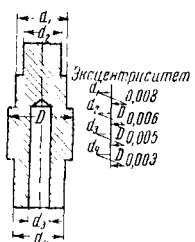
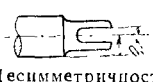
Обозначение чистоты поверхности по ГОСТ 2789-51

Таблица 17

Предельные отклонения формы и расположения поверхностей

Наименование отклонений. Обозначения и надписи на чертеже детали	Примеры записей на поле чертежа
 <p>Непрямолинейность</p>	<p>Отклонение от прямолинейности образующих по $\varnothing 25$ В не более 0,01 мм на всей длине.</p> <p>Просвет при контроле ленточной линейкой образующих по $\varnothing 10$ не более 0,005 мм</p>
 <p>Неплоскостность</p>	<p>Отклонение от плоскостности поверхности А не более 0,02 мм на длине 100 мм.</p> <p>Для поверхности А допускается вогнутость не более 0,02 мм на длине 1 000 мм.</p> <p>Для поверхности А допускается вогнутость не более 0,02 мм на длине 1 000 мм и не более 0,01 мм по всей ширине</p>
 <p>Непараллельность</p>	<p>Отклонение от параллельности плоскости А относительно опорной плоскости В не более 0,02 мм.</p>
 <p>Непараллельность</p>	<p>Отклонение от параллельности А к В не более 0,02 мм на длине 300 мм</p> <p>Непараллельность осей 1 и 2 не более 0,02 мм</p>
 <p>Овальность</p>	<p>Овальность по $\varnothing 25$ В не более 0,07 мм</p>
 <p>Конусность</p>	<p>Конусность не более 0,05:100.</p> <p>Разность диаметров шейки в крайних сечениях не более 0,01 мм; допускается только уменьшение диаметра в направлении к торцу. Стрелка указывает, в каком направлении диаметр может уменьшаться</p>

Продолжение табл. 17

Наименование отклонений. Обозначения и надписи на чертеже детали	Примеры записей на поле чертежа
 <p>Радиальное биение</p>	<p>Биение при контроле в центрах на участках А и С не более 0,1 мм, на участке В не более 0,2 мм</p>
 <p>Торцевое биение</p>	<p>Биение наружной поверхности относительно внутренней не более 0,2 мм</p>
 <p>Неперпендикулярность</p>	<p>Биение поверхностей А и С относительно В не более 0,05 мм</p>
 <p>Неперпендикулярность</p>	<p>Отклонение от перпендикулярности В к А по угольнику не более 0,01:100</p>
 <p>Несоосность</p>	<p>Отклонение от соосности (эксцентриситет) отверстий не более 0,02 мм</p>
 <p>Несоосность</p>	<p>Отклонение от соосности (эксцентриситет) ступеней относительно диаметра D:</p> <ul style="list-style-type: none"> d_1 не более 0,008 мм, d_2 не более 0,006 мм, d_3 не более 0,005 мм, d_4 не более 0,003 мм
 <p>Несимметричность</p>	<p>Отклонение от симметричного расположения паза относительно цилиндра не более 0,1 мм</p>

СОЕДИНЕНИЯ С ГАРАНТИРОВАННЫМ НАТЯГОМ

Основные предпосылки, определяющие развитие посадок с натягом

Соединение деталей с гарантированным натягом имеет применение во всех областях современного машиностроения.

На железнодорожном транспорте ходовые части подвижного состава скрепляются преимущественно посредством прессовых посадок. Соединения осей и пальцев кривошипов с ко-

лѣсными центрами осуществляются на прес-сах, а соединения колѣсных центров с бандажами достигаются посадкой с натягом, производимой нагреванием бандажей.

Посадка с гарантированным натягом имеет назначение обеспечить неподвижное соединение сцеплением контактирующих частиц сопрягаемых элементов. Соединение этого вида должно обладать способностью сопротивляться осевым и окружным смещениям от усилий, действующих на соединение при заданном силовом и температурном режиме.

Процесс сборки сопрягаемых деталей соединения с натягом может быть силовой (прессовый) или свободный, осуществляемый за счёт изменения посадочных размеров путѣм создания температурного перепада у сопрягаемых элементов.

В соответствии с принципом, положенным в основу метода сборки, первый способ сборки называется силовым, а второй термическим.

Термический способ в период осуществления сопряжения должен предусматривать свободное движение охватываемой детали относительно охватывающей. Технологическая подвижность сопрягаемых элементов регламентируется посадкой скольжения или посадкой движения.

Превращение посадок (прессовой в подвижную) на период сборки деталей соединения рассматриваемым способом может быть достигнуто нагреванием охватывающего элемента, охлаждением охватываемого элемента или комбинированным способом, предусматривающим одно и другое мероприятие.

Силовой натяг легко осуществляется, когда усилие запрессовки невелико. В этом случае сборка производится простыми приспособлениями; усилие запрессовки в них достигается с помощью рычага, винта или посредством гидравлического прессы с ручным приводом. Когда усилие запрессовки составляет десятки или сотни тонн, процесс сборки становится сложным, требующим применения специальных мощных прессов.

Советское машиностроение выпускает оборудование и машины с расчѣтом использования их в форсированных условиях. Деталям машин приходится работать главным образом при максимальной нагрузке, максимальной скорости, и, кроме этого, иногда детали работают непрерывно. Поэтому в основу проектирования деталей принимается режим нагрузки и в случаях циклической нагрузки оценка конструкции соединения производится не по способности к восприятию статической нагрузки, а по выносливости. Последнее обычно и принимается в основу проектирования деталей вращения. Соединение, осуществляемое посредством прочного натяга, рассчитанное только на надёжность сцепления, без учёта усталостной прочности, может оказаться недолговечным. По этой причине конструкция соединения должна создаваться с учётом полного комплекса всех факторов, влияющих на долговечность.

Совокупность физических явлений, происходящих в контактной зоне сопрягаемых элементов, в большой степени обуславливается технологией подготовки и сборки сопрягаемых деталей.

Технология подготовки сопрягаемых деталей к запрессовке

К технологическим мероприятиям, повышающим выносливость охватываемой детали, можно отнести упрочнение поверхностного слоя посадочных поверхностей роликовой накаткой. Однако роликовая накатка, повышая усталостную прочность, несколько снижает эффект сцепления, и распрессовка соединения с накаткой иногда сопровождается задиром посадочных поверхностей [4]. Проф. Зобнин Н. П. в результате глубокого исследования и широкого испытания крупных образцов осей нашѣл мероприятие, устраняющее последние недостатки. Это мероприятие заключается в снятии со всей упрочнённой поверхности части наклѣпанного слоя, полученного обкаткой, посредством повторной чистовой обточки. (Режим этой обработки см. ТСЖ, т. 12, стр. 566—573.)

От организации производства процесса запрессовки зависят как предотвращение задирания посадочных поверхностей в период запрессовки и распрессовки соединений, а также величина усилий, необходимых для осуществления этих операций. При этом следует иметь в виду, что основным критерием в оценке сцепления является коэффициент надёжности сцепления.

Коэффициент надёжности сцепления есть отношение усилия распрессовки к фактическому (или расчѣтному) усилию запрессовки. Усилие распрессовки может быть определено из произведения действительного усилия запрессовки на отношение усилия распрессовки к усилию запрессовки.

Усилие запрессовки получается из индикаторной диаграммы, а относительная прочность устанавливается испытанием серии натуральных образцов. Таким образом, диаграмма позволяет судить о прочности полученного соединения. Неудовлетворительная запрессовка бракуется и соединение распрессовывается. Для предупреждения коррозии и заедания сопрягаемых поверхностей посадочные места перед запрессовкой смазываются. Лучшими маслами являются растительные — льняное, конопляное и подсолнечное [11], [12], [13]; хуже — машинное масло, плохой смазкой являются свинцовые белила.

Растительные масла употребляются в сыром виде или подготовленные посредством варки. Варѣные растительные масла быстро засыхают. Опыты ЦНИИМаш [15] показывают, что, если прочность запрессовки при смазке посадочных поверхностей льняным варѣным маслом принять за 100%, то при замене его цинковыми белилами прочность достигнет 116%, применение сырого подсолнечного масла повысит прочность до 120%, льняное сырое, но свежее масло повышает прочность до 133%. Варка растительных масел преследует цель их очистки. Процесс варки следует вести при постепенном повышении температуры до 140—160°C и должен длиться в течение 2—3 час. По окончании варки через двое суток негодная мутная часть масла оседает на дно сосуда и отделяется при переливании.

Скорость запрессовки влияет на усилие запрессовки и прочность соединения; чем ниже эта скорость, тем выше прочность.

По данным Мордвинцева, с повышением скорости запрессовки с 2 до 20 мм/сек усилие запрессовки уменьшается на 50%, а прочность понижается до 20%. Следовательно, с повышением скорости запрессовки натяг должен быть соответственно увеличен.

Чистота поверхности имеет влияние на прочность прессового соединения деталей. Однако повышение чистоты поверхности для деталей диаметром до 60 мм должно ограничиваться 8—10-м классом чистоты посадочных поверхностей, так как дальнейшее повышение чистоты не повышает коэффициента сцепления и способствует заеданию при прессовых операциях. Для посадочных поверхностей осей подвижного состава, по исследованиям МЭМИИТ, рекомендуется 5—6-й класс чистоты поверхности [14].

Угол конуса приёмной фаски оказывает существенное влияние на запрессовку. Уменьшение этого угла способствует уменьшению усилия запрессовки и увеличивает прочность соединения. Оптимальное значение угла конуса приёмной фаски составляет около 10°.

Запрессовка должна производиться при соблюдении строгой точности сопрягаемых деталей.

В практике общего машиностроения для обеспечения лучшего направления на внутренней кромке охватывающей детали предусматривается фаска с углом 30—45°. С этой же целью, а также для повышения выносливости осей внутренние кромки ступиц колёсных центров и колёс подвижного состава закругляются согласно инструкции МПС.

В общем машиностроении при проектировании прессовых соединений следует предусматривать возможность распрессовки, не меняя направления усилия запрессовки; вход охватывающей детали следует предусмотреть с одного конца охватываемой детали, а выход с другого конца. Это предупреждает образование задира посадочных поверхностей в период распрессовки соединения.

В качестве основных отрицательных сторон силового метода необходимо отметить сложность и большие начальные затраты, связанные с установкой прессового оборудования. Термический способ сборки соединения не имеет указанных недостатков, но контроль по достигнутому сцеплению менее точен, так как эффект сцепления не замеряется непосредственно, а определяется расчётным путём по натягу.

Технология подготовки и сборки сопрягаемых деталей при термическом способе осуществления натяга

Соединение деталей, отличающихся своей громоздкостью, а также соединение деталей, не способных к восприятию значительных осевых сил вследствие малой их жесткости, может быть осуществлено применением термического способа сборки.

Когда невозможно получить натяг посредством одного нагревания охватывающей детали, а конструкция сопрягаемых деталей не предусматривает возможности запрессовки или когда отсутствует для этого специальное прессовое оборудование, применяют комбинированный термический способ. Комбинированный

способ подготовки к сборке сопрягаемых деталей осуществляется посредством одновременного проведения двух операций: нагревания охватывающей детали и охлаждения охватываемой детали. Комбинированный способ также применяется, когда производство соединений с натягом носит случайный характер.

Среди различных способов расширения охватывающей детали путём нагревания успешно применяется электронагревание. На железнодорожном транспорте имеют широкое применение электрогорны. С помощью электрогорнов производится нагревание бандажей при снятии их с колёсных центров и надевании на колёсные центры (см. ТСЖ, т. 7, стр. 457).

Формирование узлов общего машиностроения, предусматривающее термический способ осуществления посадки с натягом, производится с помощью различного вида электронагревателей. Они так же удобны, как и бандажные электрогорны, и вследствие простоты конструкции часто изготавливаются предприятиями, их использующими.

Охлаждение охватываемой детали производится жидким азотом [6] или сухим льдом.

Жидкий азот имеет температуру испарения —196°, а сухой лёд —79°C. Поэтому жидкий азот является более сильным средством в осуществлении сборки, однако его применение допустимо при соблюдении специальных требований техники безопасности.

Расчёт на прочность

Прочность соединения, достигнутая за счёт натяга, предназначенная для восприятия осевой силы, оценивается сопротивлением осевому сдвигу от статической нагрузки

$$P_c = \pi d l f' p \text{ [кг]}, \quad (7)$$

где d — номинальный диаметр сопрягаемых элементов в см;

l — длина посадочной части ступицы в см;

f' — коэффициент сцепления;

p — удельное давление на контактной поверхности в кг/см².

Сцепление при вибрационной нагрузке понижается примерно на 30%.

Сопротивление трения при запрессовке P меньше P_c , так как коэффициент трения f меньше коэффициента сцепления f' :

$$P = \pi d l f p \text{ [кг]}.$$

При расчёте соединений ходовых частей подвижного состава, отличающихся высокими удельными давлениями ($p \approx 1000 \text{ кг/см}^2$), значения коэффициента трения следует принимать по данным проф. Н. П. Зобнина (табл. 18 и 19). При проектировании соединений общего машиностроения значения для указанных коэффициентов следует выбирать по табл. 20 [3].

В таблице приняты обозначения: f — коэффициент трения при запрессовке; f_u — коэффициент трения при распрессовке, соответствующий моменту расщепления деталей, и f' — коэффициент трения, соответствующий периоду распрессовки при установившейся скорости выпрессовки.

Таблица 18

Результаты испытаний прочности прессовых соединений образцов из стали марки Ст. 5 с внутренним диаметром оси 62 мм и наружным диаметром втулки 130 мм

№ образца	Обработка	Запрессовочное усилие P_z в кг	Распрессовочное усилие P_p в кг	Относительная прочность соединения в % ($P_p : P_z$) 100	Коэффициент трения		Состояние поверхности после распрессовки
					при за-прессовке f	при рас-прессовке f'	
1	Посадочные поверхности обточены ($v=141$ м/мин; $s=0,25$ мм/об и $t=0,3$ мм)	11 300	30 700	272	0,0966	0,262	Без задигов
2		10 700	40 000	374	0,081	0,303	
3		13 600	23 000	243	0,099	0,24	
4		13 500	31 400	236	0,103	0,243	Малый зади
5		11 400	47 000	412	0,081	0,334	
6		12 800	44 200	345	0,0972	0,335	Без задира
8		11 300	29 000	267	0,103	0,265	
	Среднее	12 085	36 500	306	0,0945	0,283	—
32	Посадочные поверхности оси в зонах, подверженных концентрации напряжений, обкатаны с последующей обточкой посадочной поверхности (режим обточки указан в 1-й части таблицы). Давление на ролик—1 250 кг, диаметр сферического ролика 150 мм	18 360	46 800	256	0,140	0,357	Малый зади
33		19 720	47 520	242	0,149	0,359	
34		13 600	43 200	319	0,104	0,331	
35		16 920	46 700	276	0,129	0,356	
36		16 560	53 100	321	0,126	0,404	
37		19 800	44 700	225	0,151	0,341	
38		19 080	59 400	311	0,145	0,451	
	Среднее	17 720	48 800	279	0,135	0,371	—

Примечания. 1. Посадочные поверхности при запрессовке смазывались варёным растительным маслом.
2. Удельное давление на контактной поверхности около 1000 кг/см².
3. Данные для f' получены после испытания образцов на выносливость.

Таблица 19

Коэффициенты трения при запрессовке и распрессовке восьмиспицевых вагонных колёс на оси диаметром 155 мм в зависимости от натяга и обработки

Коэффициент трения f	Натяг в мк					Обработка			
	120	170	220	320	405	Центр точёный, ось точёная	Центр точёный, ось шлифованная	Центр точёный, ось накатанная	Центр шлифованный, ось точёная
f — при запрессовке	0,077	0,087	0,077	0,0305	0,026	0,076	0,070	0,0729	0,058
f' — при распрессовке	0,148	0,167	0,164	0,0665	0,059	0,112	0,099	0,095	0,099

Продолжение табл. 19

Коэффициент трения f	Обработка					Примечание
	Центр шлифованный, ось шлифованная	Центр шлифованный, ось накатанная	Центр пуансонирующей, ось точёная	Центр пуансонирующей, ось шлифованная	Центр пуансонирующей, ось накатанная	
f — при запрессовке	0,052	0,064	0,065	0,064	0,0625	Натяг 120 мк
f' — при распрессовке	0,104	0,091	0,101	0,0885	0,0901	То же

Удельное давление на контактной поверхности

$$p = \frac{P}{\pi d l f} \text{ (кг/см}^2\text{)}.$$

Прочность соединения с гарантированным натягом, предназначенным для восприятия крутящего момента, оценивается крутящим

моментом от сопротивления окружному сдвигу при статической нагрузке

$$M_c = \frac{\pi d^2 l f'_c p}{2} \text{ (кг/см)}, \quad (8)$$

где f'_c — коэффициент сцепления при проверке от статической нагрузки

Таблица 20
Коэффициенты трения (сцепления) при посадках с гарантированным натягом

Способ сборки	С и л о в о й				Т е р м и ч е с к и й						
	С т а л ь 30-50				С т а л ь 30-50						
Материал охватываемой детали	Сталь 30-50	Чугун СЧ 28-48	Магнито-алюминиевые сплавы	Латунь	Пластмасса	Сталь 30-50			Чугун СЧ 18-36	Магнито-алюминиевые сплавы	Латунь
Материал охватывающей детали	Сталь 30-50	Чугун СЧ 28-48	Магнито-алюминиевые сплавы	Латунь	Пластмасса	Только при нагревании	охлаждении	Чугун СЧ 18-36	Магнито-алюминиевые сплавы	Латунь	
	Машинное масло	—	Всухую	Всухую	Всухую	Машинное масло	Всухую	—	Всухую	Всухую	
	0,08-0,2	0,09-0,17	0,03-0,09	0,04-0,1	0,33	0,13-0,24	0,16-0,40	0,13-0,18	0,10-0,15	0,17-0,25	
	0,08-0,2	0,09-0,17	0,03-0,09	0,04-0,1	0,33	0,13-0,24	0,16-0,40	0,13-0,18	0,10-0,15	0,17-0,25	
	0,06-0,13	0,07-0,12	0,02-0,06	—	—	0,08-0,19	0,07-0,16	0,07-0,09	0,05-0,06	0,05-0,14	
Осевое смещение f'	—	0,07-0,12	0,02-0,06	—	—	0,06-0,12	0,07-0,16	0,07-0,09	0,05-0,06	0,05-0,14	
Запрессовка f	0,06-0,22	0,06-0,14	0,02-0,08	0,05-0,1	0,54	—	—	—	—	—	

Сопротивление запрессовки при передаваемом крутящем моменте M_k равняется

$$P = \frac{2 M_k}{df} \text{ (кг)}.$$

Соответственно удельное давление на контактной поверхности

$$p = \frac{2 M_k}{\pi d^2 lf} \text{ (кг/см}^2\text{)}.$$

Расчётный натяг, соответствующий упругим деформациям, равняется

$$\Delta = 10^4 pd \left\{ \frac{1}{E_1} \left[\frac{1 + \left(\frac{d_1}{d}\right)^2}{1 - \left(\frac{d_1}{d}\right)^2} - \mu_1 \right] + \frac{1}{E_2} \left[\frac{1 + \left(\frac{d}{d_2}\right)^2}{1 - \left(\frac{d}{d_2}\right)^2} + \mu_2 \right] \right\} \text{ (мк)}. \quad (9)$$

То же при изготовлении сопрягаемых деталей из однородного металла

$$\Delta = 10^4 p \frac{d}{E} \left[\frac{1 + \left(\frac{d_1}{d}\right)^2}{1 - \left(\frac{d_1}{d}\right)^2} + \frac{1 + \left(\frac{d}{d_2}\right)^2}{1 - \left(\frac{d}{d_2}\right)^2} \right] \text{ (мк)}. \quad (10)$$

Для соединения при сплошном поперечном сечении охватываемой детали и однородном металле

$$\Delta = \frac{2 \cdot 10^4 pd}{E \left[1 - \left(\frac{d}{d_2}\right)^2 \right]} \text{ (мк)}, \quad (11)$$

где d_1 — внутренний диаметр охватываемой детали в см;

d — номинальный диаметр сопрягаемых элементов в см;

d_2 — наружный диаметр охватывающей детали в см;

E_1 — модуль упругости материала охватываемой детали в кг/см²;

E_2 — модуль упругости материала охватывающей детали в кг/см²;

μ_1 — коэффициент Пуассона охватываемой детали;

μ_2 — коэффициент Пуассона охватывающей детали.

Коэффициент Пуассона для стальных деталей

$$\mu = 0,3 \text{ и } E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2;$$

для чугунных деталей

$$\mu = 0,25 \text{ и } E = 1,05 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2.$$

Натяг определяется с учётом снятия неуровностей сопрягаемых деталей по формуле

$$\Delta_n = \Delta + 1,2 (h_1 + h_2).$$

Значения h_1 и h_2 приводятся в табл. 21.

Таблица 21

Наибольшая условная глубина неровностей h_1 и h_2 при различных классах чистоты

Класс чистоты	Обозначение	h_1 и h_2 в мк
5	▽▽5	9,6÷18,9
6	▽▽6	4,8÷9,6
7	▽▽▽7	3,2÷6,4
8	▽▽▽8	1,6÷3,2
9	▽▽▽9	0,8÷1,6
10	▽▽▽▽10	0,5÷1,0
11	▽▽▽▽11	0,25÷0,5
12	▽▽▽▽12	0,125÷0,25

По Δ_n подбирают посадку с расчётом получения минимального натяга

$$\Delta_{\min} \geq \Delta + 1,2(h_1 + h_2).$$

Выбранная посадка позволяет определить максимальный натяг Δ'_{\max} и минимальный натяг Δ'_{\min} . Чем больше разница $\Delta'_{\max} - \Delta'_{\min}$, тем менее однородны будут посадки, тем меньше компактность и больше собственный вес проектируемого узла.

Чем меньше допуск посадки, тем однороднее посадки и тем равнопрочнее проектируемые объекты.

Однородность посадки достигается также применением селективного метода сборки деталей. Применение селективного метода сборки деталей позволяет увеличить прочность сцепления в несколько раз. Свойство селективного метода сборки состоит в приближении наибольшего и наименьшего натягов к расчётному натягу, необходимому для осуществления сцепления, соответствующего заданной нагрузке. Использование этого свойства позволит значительно уменьшить напряжения и деформации.

Максимальный расчётный натяг, принимаемый в основу расчёта на прочность сопрягаемых элементов, равняется

$$\Delta_{\max} = \Delta'_{\max} - 1,2(h_1 + h_2).$$

Минимальный расчётный натяг, используемый при проверке прочности сцепления, соответственно составит

$$\Delta_{\min} = \Delta'_{\min} - 1,2(h_1 + h_2).$$

Максимальный натяг будет иметь место, когда отверстие охватываемой детали будет обработано по наименьшему предельному размеру, а охватываемая деталь будет иметь посадочный размер, соответствующий наибольшему предельному размеру. В этом частном случае контактная поверхность будет испытывать максимальное удельное давление (P_{\max}), определяемое по уравнению (9), (10) или (11).

Наибольшее напряжение для охватываемой детали будет у внутренней поверхности:

$$\sigma_{сж} = \frac{2p_{\max}}{1 - \left(\frac{d_1}{d}\right)^2} \quad (\text{кг/см}^2). \quad (12)$$

Наибольшее напряжение для охватываемой детали будет у контактной поверхности

$$\sigma_{раст} = \frac{1 + \left(\frac{d}{d_2}\right)^2}{1 - \left(\frac{d}{d_2}\right)^2} p_{\max} \quad (\text{кг/см}^2). \quad (13)$$

Пластические деформации будут иметь место, когда $\sigma \geq \sigma_T$.

При проектировании часто встречается необходимость в определении изменения диаметров элементов соединения после запрессовки. Для этой цели необходимо иметь данные о деформации.

Уменьшение внутреннего диаметра охватываемого элемента при упругих деформациях составит

$$\Delta d_1 = \frac{2 \cdot 10^4 \cdot d_1 p_{\max}}{E_1 \left[1 - \left(\frac{d_1}{d}\right)^2 \right]} \quad (\text{мк}). \quad (14)$$

Увеличение наружного диаметра охватываемой детали после запрессовки достигнет:

$$\Delta d_2 = \frac{2 \cdot 10^4 \cdot d_2 p_{\max}}{E_2 \left[\left(\frac{d_2}{d}\right)^2 - 1 \right]} \quad (\text{мк}). \quad (15)$$

В последних двух формулах диаметры d , d_1 и d_2 в см.

Учитывая эти изменения, запрессовку венцов зубчатых и червячных колёс производят до нарезки зубьев.

Как было указано, термический способ достижения натяга предусматривает сборку деталей с относительным движением посадочных элементов, регламентируемым зазорами в пределах посадки скольжения либо посадки движения, что достигается за счёт температурного перепада.

Температурный перепад сопрягаемых элементов должен быть

$$t = \frac{\Delta'_{\max} + \Delta_T}{100 \alpha d}, \quad (16)$$

где Δ_T — технологический зазор в мк;

α — коэффициент линейного расширения.

Расчёт на усталостную прочность

Концентрация напряжений в охватываемых деталях обуславливается резким изменением силового воздействия, имеющего место у кромок ступицы.

Как известно, зоны, подверженные концентрации напряжений, при переменных напряжениях являются очагами развития усталостных трещин, появление которых в большинстве случаев предопределяет долговечность.

Основным критерием в оценке способности деталей сопротивляться появлению усталостных трещин является предел выносливости. Предел выносливости при изгибе определённой конкретной детали есть то наибольшее напряжение изгиба, которое способна выдержать эта деталь при весьма длительном действии переменных напряжений рассматриваемого цикла.

Если долговечность детали задана, то расчёт следует вести по пределу выносливости для заданного числа циклов.

Основные факторы, влияющие на предел выносливости охватываемой детали, учитываются эффективным коэффициентом концентрации напряжений. К этим факторам относятся конструкция сопрягаемых элементов, величина внутреннего диаметра ступицы, характер нагрузки, технология, материал и величина удельного давления. Среда (отрицательно влияющая на предел выносливости) также при расчёте должна быть учтена особым коэффициентом.

Эффективный коэффициент концентрации напряжений K , вызванный посадкой с натягом, можно рассматривать как отношение предела выносливости полированного образца — σ_{-1} , свободного от натяга, к пределу выносливости того же образца $(\sigma_{-1})_{0H}$, но испытывающего натяг:

$$K_0 = \frac{(\sigma_{-1})_0}{(\sigma_{-1})_{0H}}.$$

Если предел выносливости определялся при испытании полированного образца диаметром 10 мм, то эффективный коэффициент концентрации напряжений для образца, подверженного натягу, будет

$$K_{10} = \frac{(\sigma_{-1})_{10}}{(\sigma_{-1})_{10H}}.$$

Условимся параметры (σ_{-1}) и K для полированного образца диаметром 10 мм далее писать без индекса 10:

$$K = \frac{\sigma_{-1}}{(\sigma_{-1})_H}. \quad (17)$$

С увеличением диаметра предел выносливости уменьшается по определённой зависимости, установленной экспериментально. На эту зависимость влияет также материал.

Оценка влияния изменения выносливости детали от изменения материала и абсолютных размеров производится посредством масштабного фактора ε :

$$\varepsilon_\sigma = \frac{(\sigma_{-1})_d}{\sigma_{-1}}, \quad (18)$$

где $(\sigma_{-1})_d$ — предел выносливости рассматриваемой детали, свободной от натяга.

Масштабный фактор детали, подверженной концентрации напряжений от натяга,

$$\varepsilon_{\sigma H} = \frac{(\sigma_{-1})_{dH}}{(\sigma_{-1})_H} = \frac{K(\sigma_{-1})_{dH}}{\sigma_{-1}},$$

откуда

$$(\sigma_{-1})_{dH} = \sigma_{-1} \frac{\varepsilon_{\sigma H}}{K}, \quad (19)$$

где $(\sigma_{-1})_{dH}$ — искомый предел выносливости детали, испытывающей натяг.

Пользуясь определением для эффективного коэффициента концентрации напряжений, можем написать

$$K_d = \frac{(\sigma_{-1})_d}{(\sigma_{-1})_{dH}} = \sigma_{-1} \frac{\varepsilon_\sigma}{(\sigma_{-1})_{dH}},$$

откуда

$$(\sigma_{-1})_{dH} = \frac{\varepsilon_\sigma}{K_d} \sigma_{-1}. \quad (20)$$

Из уравнений (19) и (20) имеем

$$\frac{\varepsilon_\sigma}{K_d} = \frac{\varepsilon_{\sigma H}}{K}$$

или

$$K_d = K \frac{\varepsilon_\sigma}{\varepsilon_{\sigma H}}. \quad (21)$$

Эффективный коэффициент концентрации не является постоянным при одном и том же возбудителе концентрации напряжений. Новое технологическое или конструктивное мероприятие влияет на величину коэффициента K_d . Определение его может быть произведено на модели, отличающейся от образца, поэтому необходимо иметь зависимость между эффективными коэффициентами концентрации напряжений модели — K_m и K для того, чтобы определить K_d .

Согласно определению эффективного коэффициента концентрации напряжений напомним:

$$K_m = \frac{(\sigma_{-1})_m}{(\sigma_{-1})_{mH}}.$$

Перепишем уравнение (21) для модели

$$K_m \varepsilon_{mH} = K \varepsilon_m,$$

но

$$K_d = K \frac{\varepsilon_\sigma}{\varepsilon_{\sigma H}}.$$

Поэтому эффективный коэффициент концентрации напряжений для детали, испытывающей натяг, при данном K_m может быть определён по уравнению

$$K_d = K_m \frac{\varepsilon_{mH} \varepsilon_\sigma}{\varepsilon_m \varepsilon_{\sigma H}}. \quad (22)$$

В соответствии с этим предел выносливости согласно уравнению (20)

$$(\sigma_{-1})_{dH} = \frac{\varepsilon_m \varepsilon_{\sigma H}}{K_m \varepsilon_{mH}} \sigma_{-1},$$

или, обозначая $\frac{\varepsilon_m \varepsilon_{\sigma H}}{\varepsilon_{mH}}$ через ε , имеем

$$(\sigma_{-1})_{dH} = \frac{\varepsilon}{K_m} \sigma_{-1}.$$

К данным K_m (табл. 23) для модели диаметром 50 мм найдём значения приведённого масштабного фактора ε (табл. 22). В результате при любой конструкции соединения [9] (табл. 23) с помощью последнего уравнения легко определяется предел выносливости охватываемой детали.

Чем выше предел прочности, тем выше эффективный коэффициент концентрации напряжения.

Предел выносливости для деталей, изготовленных из стали с пределом прочности

Таблица 22

Значения масштабных факторов

Фактор	Материал	Диаметр образца в мм											
		15	20	25	30	35	40	50	60	80	100	150	200
ϵ_M	Углеродистая сталь	0,98	0,95	0,92	0,9	0,88	0,86	0,83	0,8	0,74	0,7	0,6	0,53
	Легированная сталь ($\sigma_{пч} = 100 \div 120 \text{ кг/мм}^2$)	0,96	0,92	0,88	0,84	0,82	0,79	0,74	0,7	0,64	0,6	0,55	—
$\epsilon_{МН}$ или $\epsilon_{ДН}$	Углеродистая сталь	0,96	0,92	0,88	0,84	0,82	0,79	0,74	0,7	0,64	0,6	0,55	—
	Легированная сталь ($\sigma_{пч} = 100 \div 120 \text{ кг/мм}^2$) и углеродистая сталь при значительной концентрации напряжений ($K > 2$)	0,9	0,83	0,77	0,73	0,68	0,64	0,58	0,54	0,5	—	—	—
ϵ (ϵ только при модели $\varnothing 50 \text{ мм}$)	Углеродистая сталь	1,07	1,03	0,98	0,94	0,92	0,89	0,83	0,78	0,72	0,67	0,62	—
	Легированная сталь ($\sigma_{пч} = 100 \div 120 \text{ кг/мм}^2$)	1,14	1,05	0,98	0,93	0,86	0,81	0,74	0,68	0,63	—	—	—

Таблица 23

Значения эффективных коэффициентов концентрации напряжений при изгибе K_M образца диаметром 50 мм

Конструктивное мероприятие или нагрузка	Конструктивное мероприятие отсутствует, наружный диаметр втулки 2 d								Втулка испытывает нагрузку от радиальной силы и изгибающего момента	Характер конструктивного мероприятия		
	Втулка на нагрузку не передаёт (тип А)				Втулка испытывает нагрузку от радиальной силы (тип Б)					Втулка имеет закруглённые внутренние кромки радиусом 0,06d, наружный диаметр втулки 2d	Втулка имеет лобовые кольцевые проточки при ширине, спадающей до нуля, глубиной 0,14 d, наружном диаметре 1,3 d и внутреннем диаметре 1,1 d. Наружный диаметр втулки 2 d, длина 1,2 d	Втулка имеет длину 1,5 d и заканчивается утоненными концами с наружным диаметром 1,5 d
	При отношении длины втулки к диаметру											
	0,4	0,8	1,2	1,4	0,4	0,8	1,2	1,4				
Эффективный коэффициент концентрации напряжений	1,2	1,4	1,48	1,8	1,28	1,6	1,8	2,0	2,15	K _н на 20% ниже K _н для нагрузок А и Б	1,35	1,5

Примечания. 1. Для деталей с пределом прочности $\sigma_{нч}=50\div120\text{ кг/мм}^2$ вводится коэффициент пересчёта $\gamma=1+0,012(\sigma_{нч}-50)$.

2. Коэффициент пересчёта на материал втулки (М) принимают: мягкая сталь — М = 1, цементованная и закалённая сталь — М = 1,25, бронза — М = 0,75.

$\sigma_{пч} = 50 \div 120 \text{ кг/мм}^2$ (согласно примечанию 1 к табл. 23) определяется по уравнению:

$$(\sigma-1)_{\partial H} = \frac{\epsilon}{K_M \gamma} \sigma-1. \quad (23)$$

С применением нового конструктивного мероприятия, оценённого путём определения эффективного коэффициента концентрации напряжения на модели диаметром, не равным 50 мм, масштабный фактор выбирается не по табл. 22, а подсчётом по уравнению

$$\epsilon = \frac{\epsilon_{ДН}}{\epsilon_{МВ}} \epsilon_M \quad (24)$$

Эффект применения упрочнения поверхностного слоя подступичной части валов, испытывающих натяг, посредством роликовой накатки по данным [3] при внутренних диаметрах ступицы $d = 10 \div 20 \text{ мм}$ ориентировочно

оценивается коэффициентом $\beta = 1,4 \div 2$ и для $d = 40 \text{ мм}$ $\beta = 1,4 \div 1,8$.

По данным, полученным проф. Н. П. Зобниным, на стальных образцах диаметром 62,5 мм при обкатке с последующей отбжкой, как было указано, коэффициент β составил 1,5.

Уменьшение удельного давления p на контактной поверхности положительно влияет на выносливость охватываемой детали, что следует учесть коэффициентом ζ , который при $p = 0$ принимается равным 0,65 и $p = 150 \text{ кг/см}^2$ 0,82. При удельном давлении от 300 кг/см^2 и выше влияние ζ на выносливость не учитывается [3].

Таким образом, при действии последних мероприятий β и ζ предел выносливости для охватываемой детали, испытывающей изгиб при симметричном цикле, напряжение будет

$$(\sigma-1)_{\partial H} = \frac{\epsilon \beta}{K_M \zeta \gamma} \sigma-1. \quad (25)$$

Следовательно, запас прочности по сопротивлению усталости для симметричного цикла напряжений

$$n = \frac{\varepsilon \beta}{K_M \zeta \gamma} \cdot \frac{\sigma_{-1}}{(\sigma_a)_{\partial H}}, \quad (26)$$

где σ_a — амплитуда напряжений.

Запас прочности охватываемой детали с асимметричным циклом напряжений

$$n = \frac{\varepsilon \beta}{K_M \zeta \gamma} \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_a + \psi_s \cdot \sigma_m}, \quad (27)$$

где σ_m — среднее напряжение [9].

Коэффициент ψ_s определяется по формуле

$$\psi_s = 2 \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_0} - 1,$$

где σ_0 — предел усталости при пульсирующем цикле.

Если данные для σ_0 отсутствуют, то для углеродистых сталей при $\sigma_{нч} = 35 \div 55 \text{ кг/мм}^2$ можно принять

$$\psi_s \approx 0,05.$$

Когда предел выносливости на изгиб для углеродистой стали отсутствует, его можно для расчёта определить по формуле

$$\sigma_{-1} \approx 0,4 \sigma_{нч} + 2 \text{ кг/мм}^2.$$

При учёте всех факторов, влияющих на выносливость, минимальный запас по сопротивлению усталостной прочности принимают $n = 1,3$.

Если факторы, влияющие на выносливость, учтены недостаточно точно, то $n = 1,5 \div 2,5$.

Большее значение принимается в наиболее ответственных случаях работы охватываемой детали.

Запас прочности охватываемой детали по сопротивлению пластическим деформациям проверяется в том случае, если

$$\sigma_a + \sigma_m > \frac{\sigma_T}{2,5}.$$

Рассматриваемый запас прочности

$$n = \frac{\sigma_T}{\sigma_a + \sigma_m}.$$

Пример 1. Определить предел усталости для вала диаметром 60 мм, изготовленного из стали 35, испытывающего натяг от запрессованной втулки, на которой предусмотрены утонённые концы с наружным диаметром 150 мм и при длине втулки 90 мм. Поверхность подступичной части вала упрочнена роликовой накаткой. Удельное давление на контактной поверхности $p = 150 \text{ кг/см}^2$.

Предел усталости рассматриваемого вала согласен уравнению (25)

$$(\sigma_{-1})_{\partial H} = \frac{\varepsilon \beta}{K_M \zeta \gamma} \sigma_{-1}.$$

Здесь имеем: приведённый масштабный фактор (табл. 22) $\varepsilon = 0,78$; коэффициент поверхностного упрочнения $\beta = 1,5$; коэффициент удельного давления $\zeta = 0,82$; эффективный коэффициент концентрации напряжений (табл. 23) $K_M = 1,5$ и $\gamma = 1$. Предел выносливости для стали 35 $\sigma_{-1} = 22 \text{ кг/мм}^2$.

Таким образом, предел выносливости вала составит:

$$(\sigma_{-1})_{\partial H} = \frac{0,78 \cdot 1,5}{1,5 \cdot 0,82} 22 = 21 \text{ кг/мм}^2.$$

Пример 2. Испытанием стальной модели диаметром 30 мм с новым конструктивным мероприятием получен эффективный коэффициент концентрации напряжений $K_M = 1,8$. Определить предел усталости для детали из стали 50 диаметром 80 мм, испытывающей натяг, если она имеет конструктивное мероприятие, аналогичное с моделью.

Предел выносливости определится по уравнению (23):

$$(\sigma_{-1})_{\partial H} = \frac{\varepsilon_M \varepsilon_{\partial H}}{\varepsilon_{MN} K_M \gamma} \sigma_{-1}.$$

Здесь имеем: масштабный фактор для модели диаметром 30 мм (табл. 22) $\varepsilon_M = 0,9$, для детали диаметром 80 мм, испытывающей натяг, $\varepsilon_{\partial H} = 0,64$; для модели диаметром 30 мм $\varepsilon_{MN} = 0,84$. Предел выносливости для стали 50 $\sigma_{-1} = 27 \text{ кг/мм}^2$ и предел прочности $\sigma_{нч} = 63 \text{ кг/мм}^2$.

Искомый предел выносливости будет

$$(\sigma_{-1})_{\partial H} = \frac{0,9 \cdot 0,64 \cdot 27}{0,84 \cdot 1,8 [1 + 0,012 (63 - 50)]} = 9,2 \text{ кг/мм}^2.$$

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Апарин Г. А. и Городецкий И. Е. Допуски и технические измерения. Машгиз, М., 1950.
2. Выбор допусков и посадок в машиностроении. Сборник под ред. проф. Саверина М. А. Машгиз, М., 1946.
3. Детали машин. Кн. I и II под редакцией проф. Ачеркана Н. С. Машгиз, М., 1953.
4. Зобнин Н. П. Влияние наклёпа от обкатки роликами на выносливость прессовых соединений. «Качество поверхности деталей машин», сборник 2. Издательство Академии Наук СССР, М., 1953.
5. Зобнин Н. П. Обработка и запрессовка колёсных пар. Трансжелдориздат, М., 1944.
6. Карпин А. О. Применение жидкого азота при запрессовке крупногабаритных деталей «ОРГТЯЖМАШ». Машгиз, М., 1953.
7. Машиностроение. Энциклопедический справочник, т. 2. Машгиз, М., 1948.
8. Машиностроение. Энциклопедический справочник, т. 5. Машгиз, М., 1947.
9. Энциклопедический справочник «Машиностроение», т. I, кн. 2. Машгиз, М., 1947.
10. Эйдилов В. Я. Соединение деталей с гарантированным натягом. «Справочник машиностроителя», т. III. Машгиз, М., 1951.
11. Инструкция по освидетельствованию, формированию и ремонту вагонных колёсных пар. Трансжелдориздат, М., 1945.
12. Инструкция по освидетельствованию и ремонту колёсных пар паровозов и тендеров широкой колеи. Трансжелдориздат, М., 1942.
13. Инструкция по освидетельствованию, формированию и ремонту колёсных пар электровозов и электровагонов. Трансжелдориздат, М., 1947.
14. МЭМНИТ. Сборник научных работ, выпуск 58. Трансжелдориздат, М., 1949.
15. Мордвинцев Л. А. Исследование запрессовки вагонных осей. «Транспортное машиностроение», научно-технический сборник № 2 (16), Машгиз, М., 1939.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ



КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕХНИКЕ ИЗМЕРЕНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ

МЕРЫ ДЛИНЫ

Измерения являются неотъемлемым элементом производственного процесса изготовления и ремонта машин и механизмов.

Развитие машиностроения неразрывно связано с развитием измерительной техники.

Современные требования к точности изготовления и взаимозаменяемости частей машин и механизмов вызвали потребность в значительном усовершенствовании измерительной техники и строгого соблюдения единства мер.

В СССР единство мер обеспечивается узаконенной стройной системой последовательной передачи размеров от образцовых мер и образцовых измерительных приборов до калибров и изделий включительно.

Согласно определению ГОСТ 1453-42 образцовые меры и образцовые измерительные приборы предназначены для воспроизведения и хранения единиц измерений и для проверки и градуировки мер и измерительных приборов.

Образцовые меры подразделяются на эталоны и образцовые меры ограниченной точности.

Эталонами называют образцовые меры, служащие для воспроизведения и хранения единиц измерений с метрологической точностью.

Метрологической точностью называется наивысшая достижимая при данном состоянии измерительной техники точность измерения.

Образцовыми мерами ограниченной точности называют меры, имеющие установленную меньшую, чем метрологическая, точность и служащие для практических работ по проверке и градуировке мер и измерительных приборов.

Основным первичным государственным эталоном (прототипом) мер длины является металлический платино-иридиевый штриховой метр, хранимый во ВНИИМ Комитета по делам мер и весов при Совете министров СССР.

При изготовлении эталона прототипа (1889 г. Международное бюро мер и весов. Франция) за единицу длины — метр — была принята длина одной десятиллионной части четверти длины дуги Парижского меридиана.

Последующее развитие физических наук дало возможность найти более удобную и точнее воспроизводимую, независимую естественную единицу в виде длины световой волны красного излучения паров кадмия.

Согласно ОСТ ВКС 7762 длина волны красной линии кадмия принимается, при условии нормальной температуры (20°C), нормальном давлении и влажности воздуха, соответствующей 10 мм упругости водяного пара, равной $0,64385033\text{ мк}$.

При интерференционных методах измерения плоскопараллельных концевых мер эта величина является эталоном длины.

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ [6]

В зависимости от принципа определения размера измеряемого объекта принята следующая классификация методов измерения.

Абсолютные измерения — такие, в результате которых определяется полное значение измеряемого размера непосредственно из показаний (отсчёта) прибора (инструмента).

Примером таких измерений могут служить измерения с помощью микрометров, штангенциркулей, измерения концевых мер на интерферометре абсолютным методом.

Относительные (сравнительные) измерения — такие, в результате которых искомый размер определяется как алгебраическая сумма отклонения прибора и значения исходной меры.

Примером относительных измерений может служить контроль диаметра отверстия индикаторным нутромером, настроенным по блоку концевых мер, или измерение калибра-пробки миниметром, также установленным по блоку концевых мер.

Следует отметить, что разделение методов измерения на абсолютные и относительные (сравнительные) является в известной мере условным, так как всякий процесс измерения представляет собой сравнение измеряемой величины с другой, принятой за единицу.

Кроме того, приборы, предназначенные в основном для относительных измерений, могут быть использованы для абсолютных измерений в тех случаях, когда значение измеряемой величины не превышает предела измерения по шкале прибора. Например, индикатор, предназначенный в основном для относительных измерений, при проверке вала в центрах на биение даёт абсолютную меру эксцентриситета вала относительно центров или при проверке параллельности плоскостей указывает абсолютную меру непараллельности.

Прямые измерения — непосредственное определение искомой величины (или отклонений от неё) по показаниям прибора (инструмента) в самом процессе измерения.

Косвенные измерения — такие измерения, при которых определение искомой величины (или отклонения от неё) производится на основании прямых измерений величин, связанных с искомой определённой зависимостью; например, определение конусности хвостовика инструмента путём измерения двух диаметров конуса и расстояния между ними.

Прямые и косвенные измерения могут быть абсолютными и относительными.

В зависимости от характера контакта измерительного прибора с поверхностями, ограничивающими измеряемый размер, методы измерения классифицируются на контактные и бесконтактные.

Контактные измерения — это такие измерения, при которых результаты определяются при непосредственном соприкосновении измерительных поверхностей прибора (инструмента) с поверхностями, ограничивающими определяемый размер.

Различают точечный контакт (например, при измерении нутромером), линейный контакт (при измерении микрометром, калибром-скобой цилиндрической детали) и поверхностный контакт (при измерении микрометром, штангенциркулем плоской детали).

Бесконтактные измерения определяют искомый размер без механического контакта с поверхностями, ограничивающими измеряемую величину.

Бесконтактные измерения осуществляются с помощью оптических приборов — проекторов, микроскопов, автоколлиматоров, а также приборов, действующих по принципу пневматики и электротехники.

ОСНОВНЫЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ [8]

Мера — вещественное воспроизведение единицы измерения либо её кратного или дробного значения.

Измерение — процесс сравнения измеряемой величины в количественном отношении с другой величиной, принятой за единицу, или с образцом повышенной по отношению к измеряемой величине точности.

Измерительные приборы — устройства, служащие для прямого или косвенного сравнения измеряемой величины с единицей измерения.

Номинальное значение меры — значение, указанное на мере или определяемое на основании технических данных её изготовления.

Действительное значение меры — значение данной меры, определяемое образцовыми мерами или образцовыми измерительными приборами.

Показание прибора — значение измеряемой величины, устанавливаемое по отчёту прибора.

Действительное показание прибора — показание прибора, определяемое образцовыми мерами или образцовыми измерительными приборами.

Действительное значение измеряемой величины — значение, определяемое действительным значением меры или действительным показанием измерительного прибора.

Пределы измерения прибора — значения измеряемой величины, ограничивающие область, внутри которой погрешности показаний прибора не превышают величин, установленных нормами.

Шкала — совокупность отметок, расположенных вдоль какой-либо линии, которые изображают ряд последовательных чисел, соответствующих значениям измеряемой величины.

Деления шкалы — линейный промежуток между осями или центрами двух смежных отметок.

Цена деления шкалы — значение измеряемой величины, соответствующее одному делению шкалы.

Постоянная прибора — величина, на которую должен быть умножен отсчёт (показание прибора), чтобы получить значение измеряемой величины.

Чувствительность измерительного прибора — отношение линейного или углового перемещения указателя к изменению значения измеряемой величины, вызвавшему это перемещение.

Для приборов со шкалой чувствительность обратно пропорциональна цене деления шкалы.

Порог чувствительности измерительного прибора — наименьшее значение измеряемой величины, способное вызывать малейшее изменение показаний измерительного прибора.

Чувствительность прибора является функцией кинематической схемы прибора; порог же чувствительности зависит от качества изготовления прибора, т. е. от величины зазоров, наличия трения, инерции в элементах конструкции прибора. Последние факторы снижают способность прибора реагировать на изменение измеряемой величины до некоторого определённого значения изменения порога чувствительности.

Измерительные усилия — это усилия, возникающие в процессе измерения при контакте измерительных поверхностей прибора или инструмента с контролируемым объектом.

Вариация меры или прибора — наибольшая (полученная экспериментально) разность между отдельными значениями меры или повторными показаниями измерительного прибора, соответствующими одному и тому же действительному значению измеряемой величины при неизменных внешних условиях.

Точность меры или точность измерительного прибора — определяется предельными погрешностями значения меры или предельными погрешностями показаний прибора. Погрешности отсчёта, а также погрешности, вносимые внешними условиями измерения при определении точности меры или измерительного прибора, должны быть исключены.

Точность отсчёта — степень возможности глазомерной оценки доли деления шкалы; зависит от качества выполнения шка-

лы и указателя, освещённости шкалы и индивидуальных качеств наблюдателя.

Точность отсчёта зависит также от параллакса — видимого смещения сличаемых штрихов (или указателя и штриха на шкале), расположенных в разных плоскостях. Ошибки от параллакса возрастают по мере увеличения угла зрения при отсчёте и с увеличением расстояния между плоскостями расположения штрихов (или штриха на шкале и указателя).

Точность метода измерения — определяется на основе суммарной погрешности измерения, включающей погрешность показаний прибора, погрешность концевых мер, по которым установлен или проверен прибор, погрешность отсчёта, погрешности, зависящие от внешних условий измерения (нарушение температурного режима, чистоты поверхности измеряемого объекта и др.).

ПОГРЕШНОСТИ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ [6]

Погрешностью измерения называется разность между результатами измерения величины и её действительным значением.

Погрешности по своему характеру разделяются на следующие три основные группы:

- 1) погрешности систематические;
- 2) погрешности грубые, называемые иногда промахами;
- 3) погрешности случайные.

К систематическим погрешностям относят погрешности, входящие во все результаты измерений постоянной величиной с постоянным знаком (постоянные погрешности) или изменяющиеся по определённому закону, например, систематическая постоянная погрешность будет иметь место при измерении штангенциркулем, у которого при сомкнутых губках нулевые штрихи нуля и основной шкалы совпадают недостаточно точно.

Примером систематической погрешности, изменяющейся по определённому закону, может служить погрешность углов, построенных с помощью синусной линейки, у которой расстояние между роликами определено недостаточно точно.

Систематические ошибки, как правило, могут быть исключены из результатов измерений путём введения поправок, установленных при исследовании прибора или метода измерения, или путём применения таких приёмов измерения, при которых систематическая погрешность входит один раз со знаком плюс, а при повторном измерении — со знаком минус. В этом случае результат измерения определяется как среднее арифметическое двух измерений.

Грубые погрешности по абсолютной величине далеко превосходят другие погрешности данного метода измерения и обычно явно искажают результаты измерений.

Причиной появления грубых погрешностей может являться нарушение условий, в которых производятся измерения (толчки, резкое изменение температуры и др.), неисправность и неверность измерительных средств, ошибки в отсчётах, в составлении блока плиток.

Результаты измерений, при которых допущена явная грубая погрешность, не учитываются как недостоверные. В сомнительных случаях производятся контрольные измерения с обеспечением условий, исключающих грубые ошибки.

Случайными погрешностями называют погрешности, неопределённые по величине и знаку, но которые в массе своей обладают следующими свойствами:

- 1) погрешности большие по абсолютной величине появляются реже погрешностей меньших по абсолютной величине;
- 2) погрешности со знаком плюс столь же вероятны, как и равные им по абсолютной величине погрешности со знаком минус;
- 3) с увеличением количества измерений среднее арифметическое из случайных погрешностей стремится к нулю;
- 4) для данного метода измерения случайные погрешности практически не превосходят по абсолютной величине некоторого предела, за которым уже лежит область грубых погрешностей.

Случайные погрешности являются следствием разнообразных причин — колебаний измерительного усилия, деформаций деталей приборов, состояния поверхности измеряемых объектов и др.

Влияние случайных погрешностей на результат измерения может быть учтено путём математической обработки ряда повторных измерений по законам теории вероятности.

Для этого определяют среднюю квадратическую погрешность σ ряда измерений по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2}{n}},$$

где Δ — разность между действительным значением измеряемой величины и отдельными значениями её, полученными при измерениях (т. е. погрешность отдельного измерения);

n — число измерений данного ряда.

В тех случаях, когда действительный размер измеряемой величины неизвестен, для определения средней квадратической погрешности σ пользуются следующей формулой:

$$\sigma = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2}{n}},$$

где v — разность между средним арифметическим и отдельными значениями, полученными при измерениях (остаточная погрешность);

n — число измерений данного ряда.

При числе измерений свыше 10—15 разница в величинах, подсчитанных по первой и второй формулам, практического значения не имеет.

Случайные погрешности измерения в большинстве случаев подчиняются нормальному закону распределения (закону Гаусса), на основании которого установлено, что при большом количестве измерений приблизительно в 67 случаях из 100 погрешности не превышают по абсолютной величине значения

средней квадратической погрешности, а в 99,7 случаях из 100 погрешности измерений не превышают по абсолютной величине утроенной средней квадратической погрешности.

Утроенная средняя квадратическая погрешность 3σ принимается в качестве предельной и обозначается Δ_{lim} .

Предельная погрешность $\Delta_{lim} = 3\sigma$ практически является максимальной погрешностью данного метода измерения, за пределами которой лежит область грубых погрешностей.

Средняя квадратическая погрешность σ и предельная погрешность Δ_{lim} характеризуют точность одного измерения из ряда измерений. Для оценки точности результата ряда измерений определяют среднюю квадратическую погрешность среднего арифметического M по формуле

$$M = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}.$$

Соответственно предельная погрешность среднего арифметического будет равна

$$M_{lim} = 3M = \frac{\Delta_{lim}}{\sqrt{n}}.$$

В практике промышленных измерений часто имеют место измерения, когда искомая величина определяется по результатам измерений других величин.

Например, при измерении калибра на оптиметре или миниметре размер его Z определится как сумма двух размеров — X и Y :

$$Z = X + Y,$$

где X — размер концевой меры, а

Y — разность размеров концевой меры и калибра, показанная прибором.

Если средние квадратические погрешности X и Y будут соответственно σ_X и σ_Y , то по теории суммирования случайных величин средняя квадратическая погрешность значения Z будет

$$\sigma_Z = \sqrt{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2}.$$

Если распределение случайных погрешностей величин X и Y следует нормальному закону, предельная погрешность определится по формуле

$$\Delta_{limZ} = \sqrt{\Delta_{limX}^2 + \Delta_{limY}^2}.$$

Для производственных условий обычно нет необходимости прибегать к многократным измерениям объектов контроля (деталей, калибров и др.) и производить оценку точности ряда измерений путём вывода средней квадратической погрешности.

Определив однажды точность данного метода измерения, в дальнейшем полагают, что погрешность каждого отдельного измерения не превышает предельной погрешности данного метода.

Определение точности метода измерения может быть произведено непосредственно определением суммарных погрешностей путём математической обработки большого ряда измерений аттестованного образца изделий или путём выявления и расчёта отдельных слагаемых погрешностей, зависящих от различных факторов, и затем суммирования их по правилам суммирования случайных величин.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА

Одним из важнейших условий обеспечения качества промышленной продукции машиностроительных предприятий — заводов и депо железнодорожного транспорта — является обязательный контроль размеров выпускаемых изделий и частей ремонтируемого подвижного состава.

Для этих целей предприятия должны располагать необходимым комплектом измерительного инструмента, обеспечивающего требуемую точность измерений при межоперационной и окончательной приёмке деталей и узлов.

В разделе представлены измерительные инструменты: а) универсального типа, б) гладкие калибры, в) резьбовые калибры и г) специальные калибры, характерные для предприятий железнодорожного транспорта.

ВЫБОР И НАЗНАЧЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ

При выборе измерительных средств в машиностроении и при ремонте стремятся:

а) к тому, чтобы действительные размеры изделий не выходили за предельные, предусмотренные стандартами;

б) к возможно большему расширению производственных допусков, остающихся за вычетом величин, компенсирующих погрешности измерений;

в) к максимальному снижению затрат на измерительные средства и содержание органов технического контроля.

Контроль размеров изделий можно производить универсальными измерительными средствами и калибрами.

Погрешности измерений изделий калибрами регламентированы системой ОСТ на калибры.

Погрешности методов измерения универсальными измерительными средствами приведены в табл. 1.

При назначении универсальных измерительных средств для контроля размеров изделий следует руководствоваться следующим.

Допуски на изготовление изделий, установленные действующими стандартами, должны включать погрешность средств контроля. Однако при затруднении разрешается переход за пределы стандартных допусков на величину, допускаемую при проверке изделий предельными калибрами.

В табл. 2 даны предельно допустимые погрешности измерений гладких изделий.

Приведённые в табл. 2 погрешности превышают величины предельных отклонений изношенных рабочих калибров.

Однако при применении универсальных измерительных средств переход размеров изделий за границы стандартных допусков прак-

Таблица 1

Предельные погрешности методов измерения длин

Наименование приборов и инструментов	Концевые меры		Интервалы размеров в мм							
	применяемые по разрядам	применяемые по классам точности	1—10	10—50	50—80	80— 120	120— 180	180— 260	260— 360	360— 500
			Предельные погрешности измерений в микронах (\pm)							
Оптиметры горизонтальный и вертикальный (при измере- нии наружных размеров)	3	0	0,35	0,5	0,6	0,8	0,9	1,2	1,4	1,8
Оптиметр горизонтальный (при измерении внутренних разме- ров)	4	1	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,8	2,5	3,0
	5	2	0,7	1,0	1,3	1,6	1,8	2,5	3,5	4,5
	3	0	—	0,9	1,1	1,3	1,4	1,6	—	—
Миниметр с ценой деления 0,001 мм	4	1	—	1,0	1,3	1,6	1,8	2,3	—	—
	5	2	—	1,4	1,8	2,0	2,2	3,0	—	—
	3	0	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,5	1,8
Миниметр с ценой деления 0,002 мм	4	1	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	2,0	2,5	3,0
	5	2	0,7	1,0	1,4	1,8	2,0	2,5	3,5	4,5
	6	3	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,5	6,0	8
Миниметр с ценой деления 0,005 мм	4	1	1,0	1,2	1,4	1,5	1,6	2,2	3,0	3,5
	5	2	1,2	1,5	1,8	2,0	2,8	3,0	4,0	5
	6	3	1,4	1,8	2,5	3,0	3,5	5,0	6,5	8
Индикатор с ценой деления 0,002 мм (при работе с учёт- ом погрешностей по атте- стату)	5	2	2,0	2,2	2,5	2,5	3,0	3,5	4,0	5
Индикаторы с ценой деления 0,01 мм:	6	3	2,2	2,5	3,0	3,5	4,0	5	6,5	8,5
0-го класса точности (при ра- боте в пределах нормиро- ванного участка шкалы)	6	3	3,0	3,0	3,5	4	5	6	7	8,5
0-го класса точности (при ра- боте в пределах одного обо- рота стрелки) и 1-го клас- са точности (при работе в пределах нормированного участка шкалы)	6	3	8	8	9	9	9	10	10	11
2-го класса точности (при ра- боте в пределах нормиро- ванного участка шкалы)	6	3	10	10	10	11	11	12	12	13
1-го класса точности (при ра- боте в пределах одного обо- рота стрелки)	6	3	12	12	13	13	14	15	16	17
2-го класса точности (при ра- боте в пределах одного обо- рота стрелки)	6	3	15	15	15	15	15	16	16	16
Индикаторный нутромер типа завода «Калибр»:	6	3	20	20	20	20	22	22	22	22
с индикатором 0-го класса точности (при работе в пре- делах одного оборота стрелки)	6	3	11	11	12	12	13	14	14	15
с индикатором 1-го класса точ- ности (при работе в преде- лах одного оборота стрелки)	6	3	16	16	17	17	18	19	19	20
Скоба рычажная с ценой деле- ния 0,002 мм	5	2	3	3	3,5	3,5	—	—	—	—
Скоба рычажная с ценой деле- ния 0,005 мм	6	3	3	3,5	4	4,5	—	—	—	—
Скоба рычажная с ценой деле- ния 0,01 мм	6	3	—	—	—	—	6	—	—	—
Микрометр чувствительно-ры- чажный	6	3	7	7	7,5	7,5	8	—	—	—
Микрометр 0-го класса точно- сти	—	—	3	4	—	—	—	—	—	—
Микрометр 1-го класса точно- сти	—	—	4,5	5,5	6	7	8	10	12	15
Микрометр 2-го класса точно- сти	—	—	7	8	9	10	12	15	20	25
Глубиномер микрометрический 1-го класса точности	—	—	12	13	14	15	18	20	25	35
Глубиномер микрометрический 2-го класса точности	—	—	14	16	18	22	—	—	—	—
Нутромер микрометрический 1-го класса точности	—	—	22	25	30	35	—	—	—	—
Нутромер микрометрический 2-го класса точности	—	—	—	—	18	20	22	25	30	35
Штангенциркуль с отсчётом 0,02 мм:	—	—	—	—	20	25	30	35	40	45
при измерении наружных размеров	—	—	40	40	45	45	45	50	60	70
при измерении внутренних размеров	—	—	—	50	60	60	65	70	80	90

Продолжение табл. 1

Наименование приборов и инструментов	Концевые меры		Интервалы размеров в мм							
	применяемые по размерам	применяемые по классам точности	1—10	10—50	50—80	80— 120	120— 180	180— 260	260— 360	360— 500
			Предельные погрешности измерений в микронах (±)							
Штангенциркуль с отсчётом 0,05 мм: при измерении наружных раз- меров	Абсолютные методы измерений		80	80	90	100	100	100	110	110
при измерении внутренних размеров			—	100	130	130	150	150	150	150
Штангенциркуль с отсчётом 0,1 мм: при измерении наружных раз- меров			150	150	160	170	190	200	210	230
при измерении внутренних размеров			—	200	230	260	280	300	300	300
Штангенглубиномер с отсчётом 0,02 мм			60	60	60	60	60	60	—	—
Штангенглубиномер с отсчётом 0,05 мм			100	100	150	150	150	150	150	150
Штангенглубиномер с отсчётом 0,1 мм			200	250	300	300	300	300	300	300
Универсальный микроскоп . .			1,5	2	2,5	2,5	3	3,5	—	—
Инструментальный микроскоп			5	5	—	—	—	—	—	—
Инструментальный микроскоп	5	2	2,5	3,5	—	—	—	—	—	—

Таблица 2

Допустимые предельные погрешности измерений гладких изделий

Классы ISA	Интервалы размеров в мм											
	1—3	3—6	6—10	10—18	18—30	30—50	50—80	80— 120	120— 180	180— 260	260— 360	360— 500
	Допустимые предельные погрешности измерений в микронах (±)											
5	2	2	2	3	4	4	4,5	6	6,5	—	—	—
6	3	3	4	4	5	6	6	8	10	12	15	18
7	5	6	6	8	8	10	11	13	16	17	20	25
8	6	6	7	9	10	12	13	16	19	20	25	30
9	7	8	9	11	12	15	16	19	21	25	30	35
10	9	10	11	13	15	18	20	23	25	30	35	40
11	11	12	13	17	20	24	31	38	45	55	65	75
•	18	24	30	35	42	50	60	70	80	90	100	110
14	25	30	35	40	50	60	75	85	100	120	130	150
15	40	50	60	70	80	100	120	140	160	180	210	250
16	60	75	90	100	130	170	190	220	250	290	330	380

* Допустимые погрешности измерений изделий 5-го класса точности.

тически не будет превышать отклонений из-
ложенных рабочих калибров.

Руководствуясь табл. 2 в части предельно
допустимых погрешностей измерений, можно
выбрать по табл. 1 наиболее соответствующий
тип измерительных средств.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ

Измерительные линейки

Линейки стальные измери-
тельные (ГОСТ 427-41) изготовляют жёст-
кие и упругие с пределами измерения: жёст-
кие — 100, 150, 200, 300, 500, 750 и 1 000 мм;
упругие — 150, 200, 300 и 500 мм.

Суммарные погрешности линеек на всей
длине не должны превышать:

Для линеек с пределами Погреш-
измерения ность

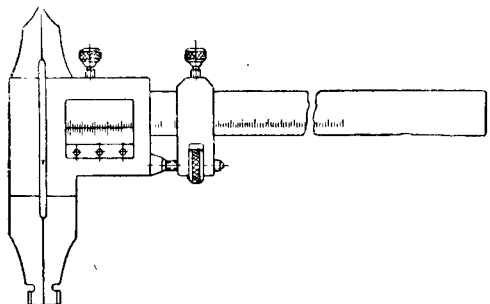
100 и 150 мм	±0,1 мм
200 и 300 »	±0,12 »
500 мм	±0,15 »
750 »	±0,18 »
1 000 мм	±0,20 »

Погрешности расстояния любого штриха
от начала или конца шкалы не должны пре-
вышать указанных выше величин. Погреш-
ности в сантиметровых делениях шкалы не
должны превышать ±0,1 мм. Погрешности
в миллиметровых делениях шкалы не должны
превышать ±0,05 мм.

Инструменты с линейным нониусом (штангенинструменты)

Штангенциркуль (фиг. 1) приме-
няют для наружных и внутренних измерений
и для разметки.

Штангенциркули изготовляют с верхним пределом измерения: 125, 150, 200, 300, 500, 600, 800, 1 000, 1 500, 2 000 мм и по особому заказу до 3 000 и 4 000 мм. Величина отсчёта по нониусу 0,1; 0,05 и 0,02 мм.

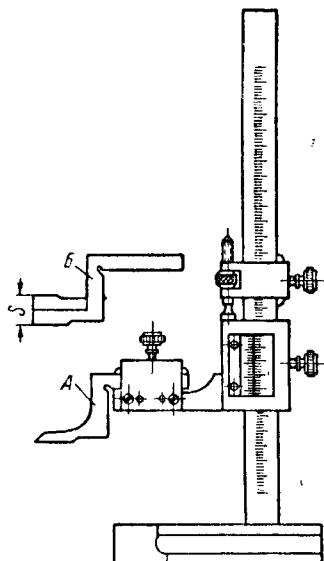


Фиг. 1. Штангенциркуль

При проверке штангенциркулей суммарные погрешности их как при незатянута, так и при затянутом зажиме рамки не должны выходить за пределы, указанные в табл. 3.

Таблица 3
Допускаемые суммарные погрешности штангенциркулей в мм (\pm)

Пределы измерения в мм	Величина отсчёта по нониусу в мм		
	0,02	0,05	0,1
До 300	0,02	0,05	0,1
Свыше 300 до 500	0,03	0,05	0,1
» 500 » 1 000	0,04	0,05	0,1



Фиг. 2. Штангенрейсмасс

Штангенрейсмасс (фиг. 2) применяют для разметки и для измерения высот (ГОСТ 164-41). Для этих целей штангенрейсмасс имеет соответствующие сменные ножки:

А — разметочную, В — измерительную. Отклонение размера S измерительной ножки от указанного маркировкой на штангенрейсмассе не должно превышать величин, указанных в табл. 4.

Таблица 4

Допускаемые отклонения высоты измерительной ножки штангенрейсмассов

Величина отсчёта по нониусу в мм	Допускаемое отклоне- ние размера S в мм (\pm)
0,02	0,01
0,05	0,02
0,1	0,03

Штангенрейсмассы изготовляют с пределами измерения, приведёнными в табл. 5.

Таблица 5

Пределы измерения штангенрейсмассов

Пределы измерения в мм	
нижний не свыше	верхний
0	200
30	300
40	500
60	800
60	1 000

Суммарные погрешности штангенрейсмассов не должны выходить за пределы, указанные в табл. 6.

Таблица 6

Допускаемые суммарные погрешности штангенрейсмассов в мм (\pm)

Верхний предел измерения в мм	Величина отсчёта по нониусу в мм		
	0,02	0,05	0,1
200	0,02	0,05	—
300	0,03	0,05	0,1
500	0,04	0,05	0,1
800	—	—	0,1
1 000	—	—	0,1

Штангенглубиномер (фиг. 3) предназначен для измерения глубин и высот (ГОСТ 162-41).

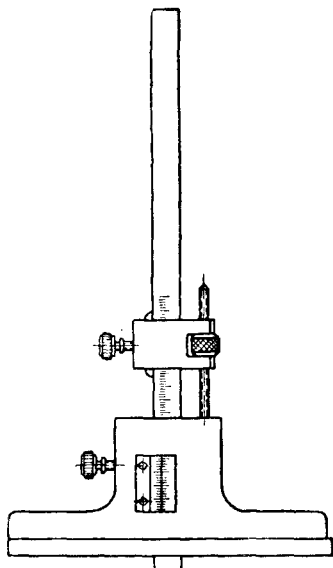
В настоящее время промышленность выпускает штангенглубиномеры с верхним пределом измерения согласно табл. 7.

В этой же таблице указаны допустимые суммарные погрешности штангенглубиномеров как при затянутом, так и при отпущенном зажиме рамки.

Таблица 7

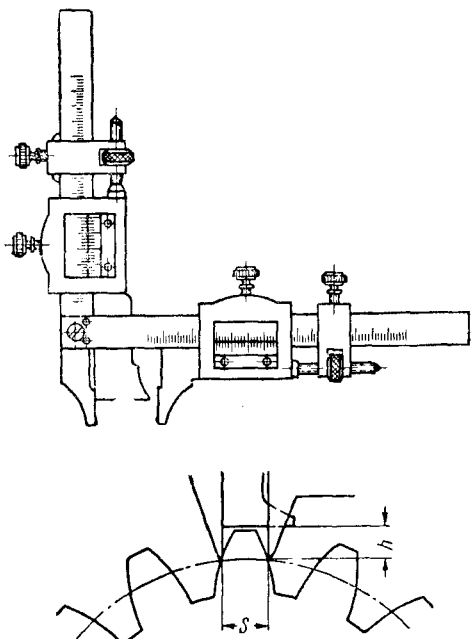
Допускаемые суммарные погрешности штангенглубиномеров

Предел измерения в мм	Величина отсчёта по нониусу в мм	Суммарная погрешность в мм (\pm)
До 150 включительно . . .	0,02	0,02
» 300 » . . .	0,05	0,05
» 500 » . . .	0,1	0,15



Фиг. 3. Штангенглубиномер

Штангензубомер (фиг. 4) применяют для измерения толщины зубьев цилиндрических и конических зубчатых колёс (ГОСТ 163-41). При этом высотная линейка устанавливается на расчётную величину вы-



Фиг. 4. Штангензубомер

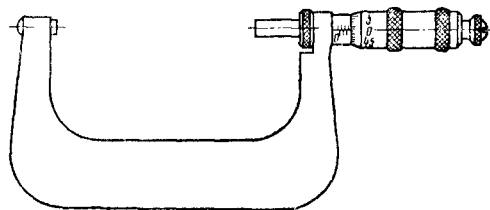
соты h головки зуба, а подвижная губка указывает толщину зуба S по хорде начальной (делительной) окружности.

Штангензубомеры изготавливаются двух размеров: для измерения зубчатых колёс с модулями от 1 до 18 мм и от 5 до 35 мм. Отсчёт по нониусу 0,02 мм.

Суммарная погрешность штангензубомера (как для губок для измерения толщины зуба, так и для высотной линейки) не должна превышать 0,02 мм.

Микрометрические инструменты

Микрометры (фиг. 5) применяют для точных наружных измерений (ОСТ НКМ 20027). Действие микрометра основано на принципе работы микрометрической пары, т. е. преобразовании вращательного движения в линейное.



Фиг. 5. Микрометр

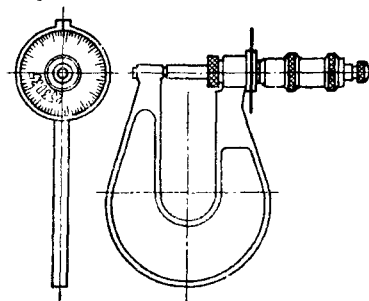
Для предупреждения значительных ошибок за счёт разгиба скобы в процессе измерения и для стабилизации измерительного давления микрометры снабжают специальным устройством — трещоткой или фрикционом. Трещотка должна обеспечить измерительное давление в пределах 700 ± 200 г. Разгиб скобы при измерении не должен превышать величины, указанных в табл. 8.

Микрометры выпускают для измерения размеров от 0 до 1 000 мм, при этом для размеров до 300 мм с интервалом измерений 25 мм и от 300 до 1 000 мм с интервалом измерений 100 мм.

Для микрометров установлено три класса точности: 0, 1, 2. Погрешности в показаниях микрометра при проверке его концевыми мерами при измерительном давлении, создаваемом трещоткой, не должны превышать величины, указанных в табл. 8.

Изгиб скобы микрометра проверяется при усилии в 3 кг и пересчитывается на 1 кг.

Микрометр для измерения толщины листового материала (фиг. 6) отличается от обычных гладких



Фиг. 6. Микрометр для измерения толщины листового материала

микрометров большим вылетом скобы и наличием специального циферблата, закреплённого на стебле. Наличие циферблата улучшает видимость отсчётов при измерении в недоста-

Таблица 8

Допускаемые погрешности микрометров

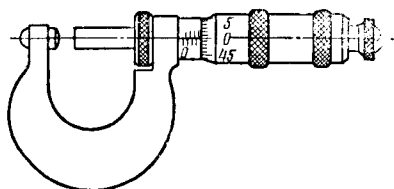
Верхние пределы измерения в мм	Суммарная погрешность микрометров в микронах (±)			Допустимая непараллель- ность в микронах измери- тельных поверхностей микрометра		Изгиб скобы в микронах при усилии в 1 кгс
	Класс			Класс 0	Классы 1 и 2	
	0	1	2			
15 и 25	2	4	8	1,5	2	2
50	2	4	8	1,5	2,5	2
75 и 100	2	4	8	1,5	3	3
125 и 150	2,5	5	10	2	4	4
175 и 200	3	6	12	3	6	5
225—300	3,5	7	14	4	8	6
325—400	4	8	16	5	10	8
425—500	5	10	20	6	12	10
525—600	6	12	24	7	14	12
625—700	7	14	28	8	16	14
725—800	8	16	32	9	18	16
825—900	9	18	36	10	20	18
925—1 000	10	20	40	11	22	20

точно освещённых местах (складах, цехах). Микрометры циферблатные изготавливают с пределами измерений 0—10 и 0—25 мм и точностью 0-го, 1-го и 2-го классов.

Измерительные поверхности микрометров плоские или сферические.

Суммарные погрешности микрометра не должны превышать для микрометров 0-го класса $\pm 0,002$ мм, 1-го класса $\pm 0,004$ мм и 2-го класса $\pm 0,008$ мм.

Микрометр для измерения толщины стенок труб (фиг. 7) изготавливают для предела измерения 0—25 мм.

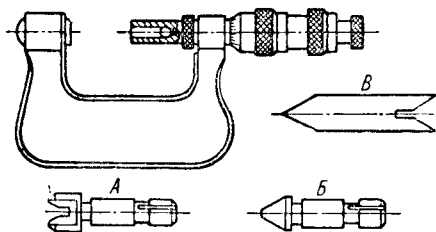


Фиг. 7. Микрометр для измерения толщины стенок труб

Неподвижная пятка микрометра имеет сферическую форму. Технические условия такие же, как для обычных микрометров.

Этот микрометр удобен также для определения разностенности (эксцентрисичности диаметров) цилиндрических втулок.

Микрометр резьбовой (фиг. 8) применяют для измерения среднего диаметра



Фиг. 8. Микрометр резьбовой; А—призматическая вставка; Б—коническая вставка; В—концевая мера

резьб метрических, дюймовых и трапецидальных (ГОСТ 4380-48).

Микрометры поставляют вместе с набором вставок для измерения метрических резьб согласно табл. 9 и с установочной мерой, соответствующей нижнему пределу измерения данным микрометром.

Таблица 9
Наборы вставок к резьбовым микрометрам для измерения метрических резьб

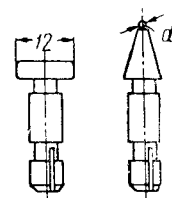
Пределы измерения микрометра в мм	Количество пар вставок	Шаг измеряемых резьб в мм
0—25	5	0,4—0,5; 0,6—0,8; 1—1,5; 1,75—2,5; 3—4,5
25—50; 50—75	4	0,6—0,8; 1—1,5; 1,75—2,5; 3—4,5
75—100; 100—125; 125—150; 150—175	4	1—1,5; 1,75—2,5; 3—4,5; 5—6
175—200; 200—225; 225—250; 250—275	3	1,75—2,5; 3—4,5; 5—6
и т. д. до 325—350	2	3—4,5; 5—6

Вставки для дюймовой и трапецидальной резьб и установочные меры к ним поставляют по особому заказу.

Для дюймовых резьб комплект вставок состоит из шести пар, для числа ниток на 1": 28—24, 20—16, 14—11, 10—8, 7—5 и 4,5—3.

Для трапецидальных резьб вставки поставляют парами для каждого шага резьбы.

Для специальных измерений по особому заказу поставляют также вставки плоской и шаровой формы (фиг. 9). Радиус шаровых поверхностей вставок 0,5, 1, 1,5, 2 и 2,5 мм. Диаметр плоской вставки 12 мм.



Фиг. 9. Вставки к микрометрам

Погрешности микрометров со вставками для метрической и дюймовой резьбы при проверке их по аттестованным резьбовым кали-

брам не должны превышать величин, указанных в табл. 10.

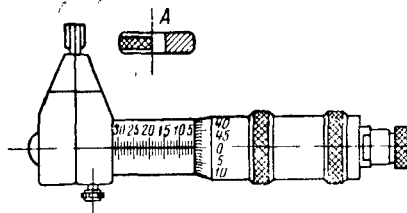
Таблица 10

Допускаемые погрешности резьбовых микрометров в микронах (\pm)

Шаг резьбы в мм	Число ниток на 1"	Пределы измерения микрометров в мм			
		0—25	25—50	50—125	125—200
0,4—0,5	—	10	13	—	—
0,6—0,8	28—24	10	13	15	—
1—1,5	20—16	12	15	17	22
1,75—2,5	14—8	15	18	20	25
3—4,5	7—5	18	20	23	28
5—6	4,5—3	—	—	25	30

Точность измерения среднего диаметра резьбы резьбовым микрометром в большой степени зависит от ошибок шага и угла профиля резьбы. Погрешности измерения среднего диаметра могут достигать 0,1 мм и более.

Микрометр для внутренних измерений (фиг. 10) имеет малое применение, так как измерение отверстий или



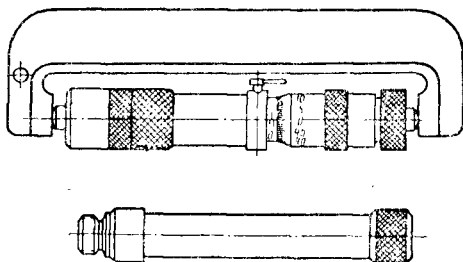
Фиг. 10. Микрометр для внутренних измерений:
А—кольцо-калибр

пазов может быть осуществлено лишь на небольшой глубине, не превышающей высоты измерительных губок (ГОСТ 319-41).

Эти микрометры изготовляют с пределами измерения 5—30 мм и 30—55 мм, 2-го и 3-го классов точности. Длина измерительной поверхности губок для микрометров с пределами измерения 5—30 мм не менее 5 мм и с пределами измерения 30—55 мм не менее 10 мм.

Микрометры снабжают установочными мерами — кольцами. Суммарные погрешности показаний микрометра 2-го класса не должны превышать $\pm 0,008$ мм, 3-го класса $\pm 0,016$ мм.

Нутромеры микрометрические (фиг. 11) изготовляют с пределами измерений 75—175, 75—575, 150—1 200 и 150—4 600 мм (ГОСТ 10-51). Цена деления шкалы



Фиг. 11. Нутромеры микрометрические

нутромера 0,01 мм. Нутромер состоит из микрометрической головки и сменных удли-

нителей, при помощи которых составляется требуемый размер нутромера. Погрешности нутромеров не должны превышать величин, указанных в табл. 11.

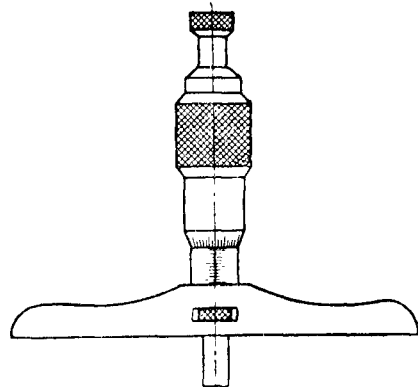
Таблица 11

Допускаемые погрешности нутромеров

Показания нутромера в мм	Допустимая погрешность в мм (\pm)
От 75 до 125	0,008
Свыше 125 » 200	0,010
» 200 » 325	0,012
» 325 » 500	0,015
» 500 » 800	0,020
» 800 » 1 250	0,025
» 1 250 » 1 600	0,030
» 1 600 » 2 000	0,040
» 2 000 » 2 500	0,050
» 2 500 » 3 150	0,060
» 3 150 » 4 000	0,070

К каждому нутромеру прилагается установочная мера, соответствующая нижнему пределу измерения.

Глубиномер микрометрический (фиг. 12) применяют для измерения высот и глубин деталей (ОСТ НКТМ 8107-39).



Фиг. 12. Глубиномер микрометрический

Глубиномеры имеют пределы измерения 0—25, 25—50, 50—75 и 75—100 мм. Изменение пределов измерения осуществляется сменой измерительных стержней. Погрешности глубиномеров с присоединенными измерительными стержнями не должны превышать величин согласно табл. 12.

Таблица 12

Допускаемые погрешности глубиномеров в мм (\pm)

Верхний предел измерения в мм	1-й класс	2-й класс
70	0,004	0,008
100	0,005	0,010

Глубиномеры должны снабжаться установочными мерами.

Индикаторные и рычажные приборы

Индикатор часового типа с ценой деления $0,01\text{ мм}$ (фиг. 13) имеет широкое применение в лабораторных и производственных условиях для измерения наружных и внутренних размеров, высот, эксцентриситеты, прямолинейности и параллельности (ГОСТ 577-49). Индикаторы применяют в сочетании со специальными приспособлениями и измерительными приборами. Индикаторы изготовляют с пределами измерения $0-5$ и $0-10\text{ мм}$, нормальная модель с диаметром корпуса 60 мм и $0-2$ или $0-3\text{ мм}$, малогабаритные с диаметром корпуса 42 мм . Цена деления шкалы индикатора $0,01\text{ мм}$.

Погрешности индикаторов не должны превышать указанных в табл. 13.

Таблица 13
Допускаемые погрешности индикаторов в микронах

Клас- сы точ- ности	Индикаторы с пределами измерения в мм				Вариация показаний	
	0—2 и 0—3	0—5	0—10	в с е х индикаторов		
	Предел измерения					
	Весь интервал		Один оборот	Нормирован- ный участок шкалы в 0,1 мм		
	0	10	12	15		10
1	15	18	20	15	8	3
2	20	25	30	20	10	5

На паровозоремонтных заводах и в депо индикаторы применяют в специальных приборах и стендах для проверки угла и длин радиусов кривошипов колёсных пар паровозов.

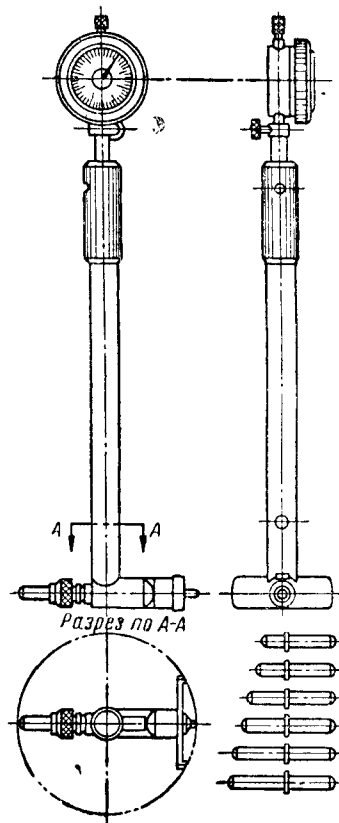
Нормальные приспособления к индикаторам включают: стойку с круглым или с прямоугольным столиком для проверки калибров грубых классов точности и небольших изделий, стойку с призматическим основанием для проверки взаимного расположения деталей машин и станков в собранном виде и приспособление для проверки в центрах набиение инструментов и изделий.

Нутромер индикаторный (фиг. 14) применяют для измерения диаметров отверстий и проверки их отклонений от заданной конусности и овальности. Он удобен для измерения глубоких отверстий, а также применим для измерения расстояний между параллельными плоскостями. Нутромер снабжён центрирующим мостиком, благодаря чему

прибор автоматически устанавливается в диаметральной плоскости отверстия. При измерении отсчёт производят по «минимуму», т. е. при покачивании прибора в диаметральной плоскости отмечают наименьшее показание по индикатору. Нутромер снабжён индикатором часового типа с ценой деления $0,01\text{ мм}$.

Индикаторные нутромеры выпускают для интервалов измерений согласно табл. 14.

В этой же таблице указаны перемещение измерительного стержня и возможная глубина



Фиг. 14. Нутромер индикаторный

производства измерений. Регулирование нутромера на требуемые размеры в пределах интервала измерения производится при помощи сменных измерительных вставок.

В условиях ремонтных предприятий железнодорожного транспорта индикаторные нутромеры следует применять для измерения отверстий для точных посадок, в первую очередь для прессовых соединений, например, для измерения отверстий в ступицах под запрессовку осей и пальцев колёсных пар, в цилиндрах паровозов под запрессовку цилиндрической и золотниковой втулок, цилиндрических отверстий под рамные и цилиндрические болты.

Глубиномер индикаторный (фиг. 15) применяют для измерения глубины и высоты деталей. Благодаря постоянству измерительного давления точность измерений повышается.

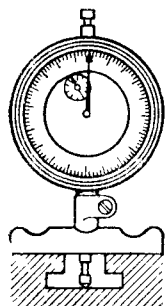
Таблица 14

Интервалы измерений, перемещение измерительного стержня и возможная глубина измерений индикаторными нутромерами

Интервалы измерений в мм	6—10	10—18	18—35	35—50	50—100	100—160	160—250	250—450	450—700	700—1 000
Наименьшее перемещение измерительного стержня в мм	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$	$\pm 0,75$	$+1,5$ -2	$+2$ -3	$+2$ -4	$+2$ -4	$+2$ -4	10	10
Возможная глубина производства измерений в мм	50	130	135	150	200	300	400	500	Не ограничено	Не ограничено

Глубиномеры снабжаются индикатором часового типа.

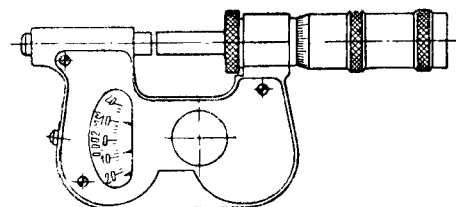
Пределы измерения от 0 до 100 мм. Погрешности показаний глубиномеров, не включая погрешностей индикатора, не превышают $\pm 0,05$ мм.



Фиг. 15. Глубиномер индикаторный

Микрометр рычажный (фиг. 16) отличается от обычного наличием подвижной пятки, связанной с рычажным механизмом, заключённым в скобе микрометра (ГОСТ 4381-48). Такое устройство обеспечивает постоянство измерительного давления и тем самым повышает точность измерения.

Величины перемещений пятки отсчитываются по шкале рычага с ценой деления 0,002 мм. Пределы измерения и погрешности показаний микрометров приведены в табл. 15.



Фиг. 16. Микрометр рычажный

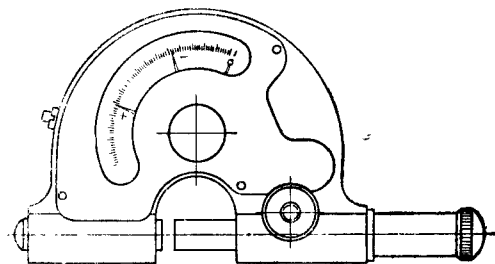
Таблица 15

Пределы измерения и допускаемые погрешности рычажных микрометров в мм (\pm)

Пределы измерения	Предельные погрешности	
	при измерении по шкале рычажного механизма	суммарная
0—25	0,001	0,003
25—50	0,001	0,004

Скобы рычажные (фиг. 17) так же, как и рычажные микрометры, имеют подвижную пятку, связанную с рычажным механизмом, заключённым в корпусе скобы (ГОСТ 4731-49), и отличаются от микрометров тем, что микрометрический винт заменён переставной

пяткой. Скобы применяют взамен калибров для относительных измерений изделий высоких классов точности (1-го, 2-го). Цена деления шкалы 0,002 мм, пределы измерения по шкале 0,08 мм. Скобы изготовляют двух размеров для диапазона измерений: 0—25 и

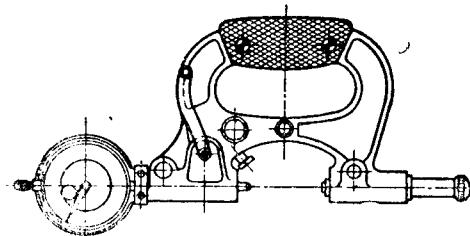


Фиг. 17. Скоба рычажная

25—50 мм; в ближайшее время намечен выпуск рычажных скоб для размеров до 150 мм с интервалом 25 мм.

Погрешности показаний скоб не должны превышать в пределах 10 делений от нулевого штриха 0,001 мм и 40 делений $\pm 0,002$.

Скобы индикаторные (фиг. 18) изготовляют для диапазонов измерений 0—50, 50—100 и далее с интервалом через 100 мм до 1 000 мм (ГОСТ 5701-51). Скобы снабжают



Фиг. 18. Скоба индикаторная

индикатором часового типа с ценой деления шкалы 0,01 мм 1-го класса точности. Величина рабочего хода подвижной пятки должна быть не менее 3 мм. Скобу настраивают по эталонам, по контрольным калибрам или по плоскопараллельным концевым мерам.

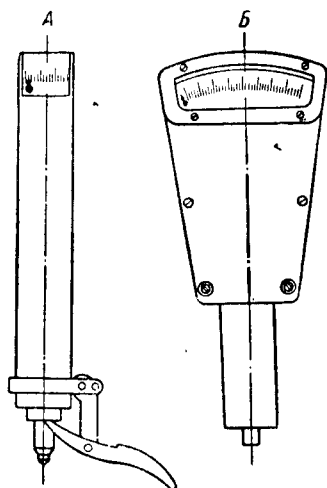
Суммарные погрешности скобы, включая погрешности индикатора, на всём пределе перемещения подвижной пятки не должны превышать указанных в табл. 16.

Т а б л и ц а 16
Допускаемые погрешности индикаторных скоб

Верхние пределы измерения в мм	Суммарные погрешности в мм (\pm)
50 и 100	0,01
200	0,012
300 и 400	0,015
500 и 600	0,020
Свыше 600 до 1 000	0,025

В условиях ремонтных предприятий железнодорожного транспорта индикаторные скобы следует применять для контроля размеров деталей под прессовые посадки, как, например, подступичной части осей и пальцев кривошипов колёсных пар.

Миниметры (фиг. 19) применяют в качестве измерительных устройств в точных



Фиг. 19. Миниметры: А—узкошкальный; Б—широкошкальный

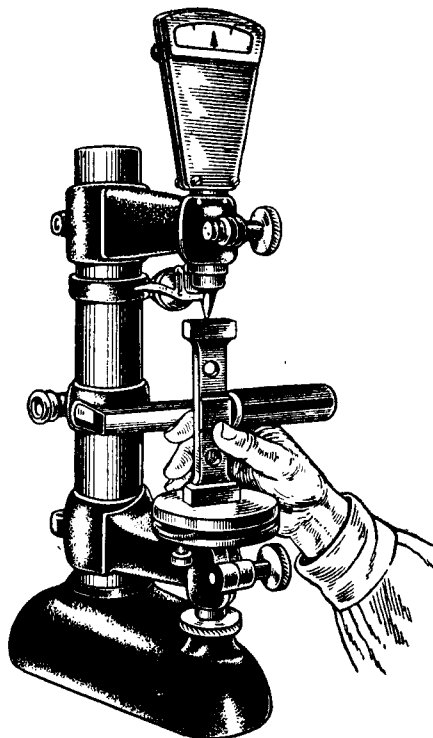
контрольных приспособлениях. В соединении со специальной стойкой миниметр применяется для проверки калибров и точных изделий (ОСТ НКМ 20102).

На фиг. 20 представлена операция измерения калибра-пробки миниметром. Пределы измерения широкошкальными миниметрами, цена деления шкалы и погрешности показаний приведены в табл. 17.

Т а б л и ц а 17
Пределы измерения широкошкальными миниметрами, цена деления шкалы и погрешности показаний

Цена деления шкалы в мм	0,01	0,005	0,002	0,001
Предел измерения в мм	0,6	0,3	0,12	0,06
Погрешность показаний в мм (\pm) . . .	0,0025	0,002	0,001	0,0005

На паровозоремонтных заводах миниметры применяют в специальных стендах для про-



Фиг. 20. Измерение миниметром калибра-пробки

верки положения пальцев кривошипов колёсных пар.

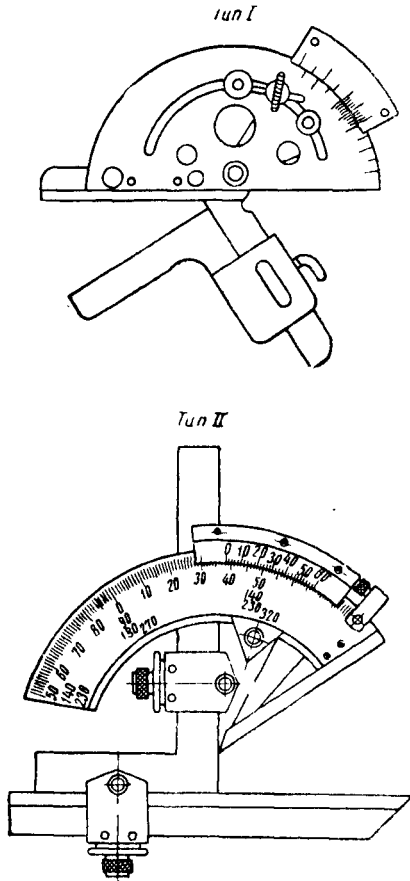
Угломерные инструменты

Угломеры с нониусом (фиг. 21) предназначены для измерения углов изделий с отсчётом по угловому нониусу. Угломеры изготовляют двух типов (ГОСТ 5378-50). Тип I для измерения наружных углов от 0 до 180° и внутренних от 40 до 180°. Цена деления шкалы корпуса—1°, а величина отсчёта по нониусу—2' и 5'.

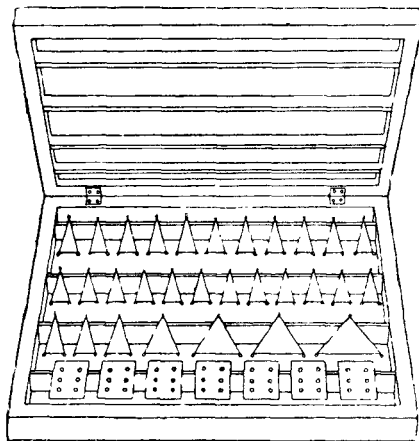
Погрешность показаний угломера для любого угла в пределах всего диапазона измерений не должна превышать $\pm 2'$ у угломеров с отсчётом по нониусу 2' и $\pm 5'$ у угломеров с отсчётом по нониусу 5'.

Угловые меры (плитки) представляют собой стальные пластины с определёнными величинами двугранных углов между измерительными поверхностями и с отверстиями для крепления пластин в державке (ГОСТ 2875-45).

На фиг. 22 представлен набор угловых мер в футляре. Угловые меры применяют для проверки угловых калибров, шаблонов, для проверки и градуировки угломерных приборов и инструментов, для проверки углов изделий. В зависимости от требующейся номинальной величины проверяемого угла применяют либо отдельные угловые меры, либо блоки из нескольких мер, собираемых в специальном приспособлении. Для получения углов дополнительных до 180° к набору мер прилагается специальная линейка с плоской измерительной поверхностью.



Фиг. 21. Угломеры с нониусом



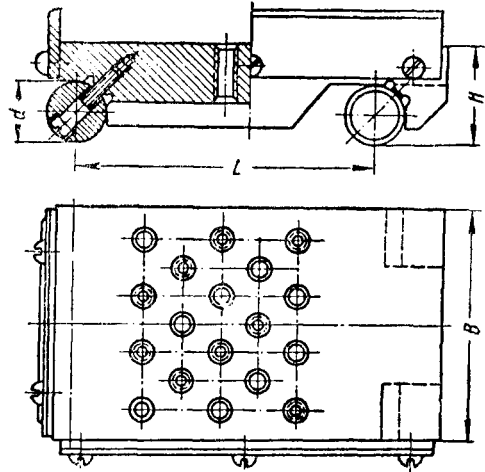
Фиг. 22. Набор угловых мер в футляре

Предельные отклонения рабочих углов не должны превышать для мер 1-го класса $\pm 10''$; 2-го класса $\pm 30''$.

Угловые меры поставляются наборами из 94 и 36 шт.

Набор из 94 шт. позволяет собирать блок из меньшего количества плиток, чем при наборе из 36 шт.

Синусные линейки (фиг. 23) применяют для проверки углов калибров и изделий при контрольных и лекальных рабо-



Фиг. 23. Синусная линейка

тах. Синусные линейки изготавливают узкие и широкие (ГОСТ 4046-48).

Основные размеры линеек приведены в табл. 18.

Таблица 18

Основные размеры синусных линеек в мм

Линейки узкие				Линейки широкие			
L	B	H	d	L	B	H	d
100	25	30	20	100	100	40	20
200	50	55	30	200	150	65	30

Конструкция линеек выполняется достаточно жёсткой, чтобы на них можно было производить шлифовку изделий. С помощью синусной линейки могут быть измерены углы в пределах от 0 до 80° .

Для установки рабочей поверхности линейки под заданным углом α к плоскости плиты, на которой установлена линейка, под один из роликов подкладывают блок плоскопараллельных концевых мер, размер которого b подсчитывают по формуле $b = L \sin \alpha$.

Погрешности построения угла с помощью синусной линейки при условии учёта поправок на размер L и на непараллельность по размеру H составляют: $\pm 1,5''$ для углов до 4° , $\pm 2''$ для угла 10° , $\pm 3,5''$ для угла 30° и $\pm 6''$ для угла 45° .

Угольники 90° (ГОСТ 3749-47) применяют для проверки и разметки прямых углов, для контроля взаимно перпендикулярного расположения деталей при ремонте и монтаже подвижного состава и оборудования.

Угольники изготавливают шести типов, четырёх классов точности и с размерами сторон согласно табл. 19.

Таблица 19

Размеры угольников

Наименование угольника	Тип угольника	Форма угольника	Классы точно- сти	Размеры сторон		Наименование угольника	Тип угольника	Форма угольника	Классы точно- сти	Размеры сторон		
				<i>H</i>	<i>B</i>					<i>H</i>	<i>B</i>	
				в мм						в мм		
Плоский лекальный	I		0 и 1	(50) 63 (80) 100 (125) 160 (200)	(32) 40 (50) (63) (80) 100 (125)	Лекальный с широ- ким основанием	II		0 и 1	63 (80) 100 125 160 (200) 250 (315)	40 (50) 63 80 100 (125) 160 (200)	
Цилиндрический	III		0 и 1	(125) 160 (200) 250 315	(80) (90) (100) 110 125	Цельный лекальный	IV		0 и 1	63 (80) 100	40 (50) 63	
Плоский	V		1, 2 и 3	63 (80) 100 (125) 160 (200) 250 315 400 (500)	40 (50) 63 (80) 100 (125) 160 200 250 (315)	С широким основанием	VI		0, 1, 2 и 3	63 (80) 100 (125) (160) (200) 250 315	40 (50) 63 (80) (100) (125) 160 200	

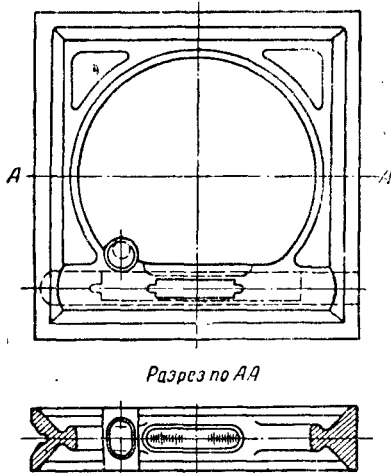
Допускаемые погрешности рабочих элементов угольников

Таблица 20

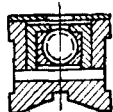
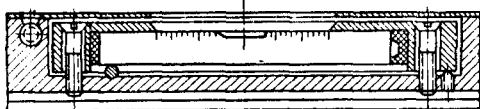
Размер длинной стороны угольника <i>H</i> в мм	Предельные отклонения в мк (±)																			
	от взаимной перпендикулярности сторон рабочих углов α и β на длине <i>H</i>				от перпендикулярности боковых плоскостей к опорной поверхности на длине <i>H</i>			от плоскостности и прямолинейности рабочих граней длинной стороны				от плоскостности рабочих граней короткой стороны				от параллельности рабочих граней короткой стороны угольников по длине <i>B</i>				
	Для классов точности																			
	0	1	2	3	0 и 1	2 и 3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3		
50 и 63	3	6	13	25	50	150	1	1,5	3	6	1	2,5	5	12	2	7	16	30		
80	3	7	14	25	50	150	1	1,5	3	6	1	2,5	5	13	2	9	18	40		
100	3	7	15	30	50	150	1	1,5	3	7,5	1,5	2,5	5	13	3	9	18	40		
125	3	8	17	30	60	180	1	1,5	3	7,5	1,5	3	6	13	3	10	20	40		
160	4	8	18	35	60	180	1	1,5	3	8	1,5	3	6	14	3	10	20	40		
200	4	9	20	40	70	200	1	2	4	10	1,5	3	6	15	3	12	25	50		
250	5	10	20	40	80	240	1	2	4	10	1,5	3,5	7	17	3	12	30	60		
315	5	11	25	50	80	240	1,5	2,5	5	10	2	4	8	18	4	14	30	60		
400	—	13	30	60	100	300	—	3	6	15	—	4,5	10	20	—	16	40	80		
500	—	15	35	70	100	300	—	3,5	7	15	—	5	10	25	—	20	40	80		
630	—	18	40	80	130	400	—	4	8	20	—	6	12	25	—	24	50	100		
800	—	20	50	100	160	500	—	5	10	20	—	7	15	30	—	30	60	120		
1 000	—	25	60	120	190	600	—	6	12	25	—	8	16	30	—	35	70	140		
1 250	—	—	70	140	—	700	—	—	15	30	—	—	20	45	—	—	90	200		
1 600	—	—	90	180	—	800	—	—	20	30	—	—	25	50	—	—	100	200		
2 000	—	—	100	220	—	1 000	—	—	25	45	—	—	30	60	—	—	120	250		

Погрешности рабочих элементов угольников не должны выходить за пределы, указанные в табл. 20.

Уровни рамные (фиг. 24) и слесарные (фиг. 25) применяют для проверки горизонтального и вертикального положения поверхностей при монтаже и проверке станков и других видов оборудования.



Фиг. 24. Рамный уровень



Фиг. 25. Слесарный уровень

На паровозоремонтных заводах рамные уровни (ГОСТ 3053-45) применяют также для проверки установки рамы при монтаже паровоза в вертикальной плоскости в поперечном направлении рамы и в горизонтальной плоскости в продольном направлении рамы.

Слесарные уровни (ГОСТ 3308-46) применяют при монтаже паровоза для проверки положения котла относительно рамы.

Уровни рамные изготавливают с размерами сторон: 200 × 200 мм и 300 × 300 мм.

Уровни изготавливаются четырех групп точности.

Цена деления основной ампулы в мм на 1 м 1-й группы от 0,02 до 0,05; 2-й группы от 0,06 до 0,10; 3-й группы от 0,12 до 0,020 и 4-й группы от 0,25 до 0,3.

У слесарных уровней 4-й группы цена деления основной ампулы от 0,25 до 0,50 мм на 1 м.

Уровни слесарные изготавливают с неподвижно установленной ампулой, а также с ре-

гулировкой положения ампулы относительно основания корпуса.

Уровни каждого типа изготавливают с длиной рабочей поверхности корпуса 200 и 300 мм.

Для установки в вертикальной плоскости рамные и слесарные уровни имеют установочные (поперечные) ампулы.

Инструменты для проверки плоскостности и прямолинейности

Линейки поверочные (табл. 21) предназначены для проверки прямолинейности и плоскостности (ОСТ НКТМ 20126-39) по одному из следующих методов:

методу световой щели «на просвет»;

методу линейных отклонений, определяемых с помощью щупов или плиток;

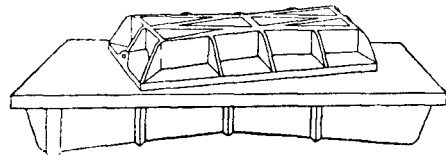
методу «на краску».

Нормы точности поверочных линеек указаны в табл. 22, 23.

Нормы плоскостности и качества шабровки рабочих поверхностей угловых линеек (клиньев) для 1-го класса — 25 пятен, для 2-го класса — 20 пятен.

Допускаемые отклонения угла между рабочими поверхностями угловых линеек (клиньев) в минутах для 1-го класса + 5', для 2-го класса 10'.

Плиты поверочные и разметочные (фиг. 26). По точности рабочей поверхности плиты разделяются на 4 класса: 0-й, 1-й, 2-й и 3-й (ОСТ НКТМ 20149-39).



Фиг. 26. Плиты поверочные и разметочные

Плиты 0-го, 1-го и 2-го классов относятся к поверочным и предназначены для проверки плоскостности по методу пятен «на краску» и для использования в качестве вспомогательного приспособления при контрольно-поверочных работах.

Плиты 3-го класса относятся к разметочным и предназначены для работ по разметке деталей.

Размеры плит приведены в табл. 24.

Рабочие поверхности у поверочных плит, предназначенных для работы по методу пятен «на краску», должны быть шаброваны. Рабочие поверхности у плит, предназначенных для иных целей, шаброваны, шлифованы или притерты. Разметочные плиты могут быть чисто строганы. Направление штрихов у шлифованных и строганных плит должно быть продольным.

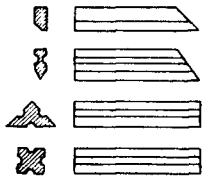

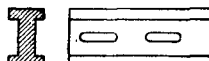
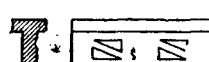
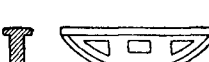
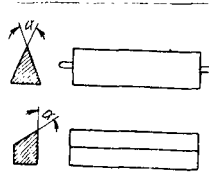
Погрешности плоскостности рабочих поверхностей плит не должны превышать величины, указанных в табл. 24.

При проверке плоскостности и качества рабочих поверхностей шаброванных плит методом «на краску» число пятен в квадрате со стороной 25 мм должно быть:

а) для поверочных плит 0-го и 1-го классов — не менее 25;

Таблица 21

Типы и размеры поверочных линеек и методы проверки ими изделий

Типы линеек	Виды линеек	Наименование видов линеек	Размеры линеек в мм	Преимущественный метод проверки	Примечания
Декальные		С односторонним скосом С двусторонним скосом Трёхгранные Четырёхгранные	75, 125, 175, 225, 300, (400), (500)	Методом световой щели	Линейки трёх- и четырёхгранные могут изготавливаться с ручками
С широкой рабочей поверхностью		Стальные прямоугольного сечения	500 750 1 000 1 500 2 000	Методом линейных отклонений. Методом «на краску»	Линейки стальные даутаврового сечения могут изготавливаться с вырезами, размеры и количество которых не нормируются
		Стальные даутаврового сечения	500 750 1 000 1 500 2 000 2 500 3 000 4 000 (5 000) (6 000)		
		Чугунные даутаврового сечения	500 750 1 000 1 500 2 000		
		Чугунные мостки	500×40 750×45 1 000×50 1 500×60 2 000×70 2 500×80 3 000×90 4 000×110		
Угловые (клинья)	 $\alpha = 45^\circ; 55^\circ; 60^\circ$	Трёхгранные Трапецидалные	250 500 750 1 000	Методом «на краску»	Клинья могут изготавливаться без ручек, а также облегченными. По особому заказу угол может иметь любую другую величину

Примечание. Размеры в скобках — по особому заказу.

Допускаемые отклонения от прямолинейности для декальных линеек в мм

Длина линеек в мм	Линейки лекальные				Длина линеек в мм	Линейки лекальные			
	с односторонним и двусторонним скосом		трёх- и четырёх- гранные			с односторонним и двусторонним скосом		трёх- и четырёх- гранные	
	Классы точности					Классы точности			
	0	1	0	1		0	1	0	1
75 125 175	0,5	2	1	3	225 300	1	3	2	5
400 500					2	5	3	7	

Таблица 23

Нормы плоскостности и качества шаброванных поверхностей и допускаемые отклонения рабочих поверхностей и углов между узкими и широкими гранями для линейек с широкой рабочей поверхностью

Длина линеек в мм	Нормы плоскостности и качества шаброванных поверхностей в пятнах в квадрате 25×25 мм		Допускаемые отклонения рабочих поверхностей в мк						Допускаемые от- клонения углов между узкими и широкими гранями в минутах (±)			
			от прямолинейности			от параллельности						
	способ проверки											
	методом «на краску»		методом линейных отклонений									
	Классы точности											
1	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
500	Не менее 25 пятен	Не менее 20 пятен	7	14	70	7	15	150	10	10	30	
750			10	18	100	10	20	200	10	10	30	
1 000			12	24	120	12	25	250	10	10	30	
1 500			16	34	180	16	35	350	10	10	30	
2 000	Не менее 20 пятен	Не менее 15 пятен	22	44	220	22	45	450	10	10	30	
2 500			23	54	280	28	55	550	10	10	30	
3 000			32	64	320	32	65	650	30			
4 000			42	80	400	42	80	800				
(5 000)			—	100	500	—	100	1 000				
(6 000)			—	120	600	—	120	1 200				

Таблица 21

Нормы плоскостности рабочих поверхностей плит

Разме- ры плиты в мм	Отклонения в микронах (±)				Разме- ры плиты в мм	Отклонения в микронах (±)			
	Класс точности					Класс точности			
	0-й	1-й	2-й	3-й		0-й	1-й	2-й	3-й
100×200	3	6	12	30	400×400	3,5	7	14	40
200×200	3	6	12	30	450×600	4	8	16	40
200×300	3,5	7	12,5	35	500×800	4	8	18	45
300×300	3,5	7	13	35	750×1 000	5	10	20	50
300×400	3,5	7	14	35	1 000×1 500	6	12	25	60

б) для поверочных плит 2-го класса — не менее 20;

в) для разметочных плит 3-го класса — не менее 12.

Меры длины концевые плоскопараллельные

Меры длины концевые плоскопараллельные (ОСТ 85000-39) являются основным средством сохранения единства мер в машиностроении и служат для передачи размера от эталона длины до изделия (табл. 25).

Таблица 25

Градации размеров и номинальные размеры концевых мер

Града- ции в мм	Номинальные размеры в мм	Града- ции в мм	Номинальные размеры в мм
25	От 100 до 200	0,001	От 1 до 1,01
50	» 50 » 300	0,01	» 1 » 1,5
100	» 100 » 1 000	0,1	» 0,3 » 2
0,001	» 0,99 » 1	0,5	» 0,5 » 10
0,01	» 0,9 » 1	10	» 10 » 100

Примечание. Специальный ряд градаций 0,01 мм для размеров от 0,4 до 0,5 мм. Специальная плитка—0,405 мм.

Концевые меры применяют для воспроизведения и хранения единиц длины, для про-

верки и градуировки мер, измерительных приборов и инструментов, для проверки контркалибров и калибров, для точного установления размеров при изготовлении инструмента, приспособлений и изделий, а также для особо точных разметочных работ, наладки станков и т. п.

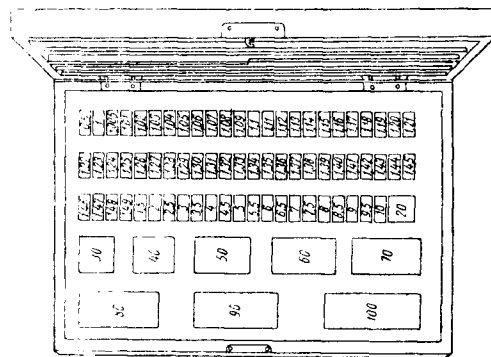
Концевые меры по форме представляют собой стальные плитки или стержни прямоугольного или цилиндрического сечения, для определения значения (размера) которых служат две взаимнопараллельные плоскости.

Комплектование концевых мер в наборы стандартом не установлено. Наиболее распространенными являются наборы из 87 плиток (из них 4 защитные), из 42 плиток (из них 4 защитные), из 9 плиток от 1,001 до 1,009 мм с градацией 0,001 мм, из 9 плиток от 0,991 до 0,999 с градацией через 0,001 мм, из 10 плиток с размерами 125, 150, 175, 200, 250, 300, 400 и 500 мм и две защитные плитки.

Отдельная концевая мера длиной 1 000 мм.

Плитки от 125 мм и выше изготовляют с отверстиями для крепления их специальными стяжками.

На фиг. 27 представлен набор концевых мер из 87 шт. в деревянном футляре.



Фиг. 27. Набор концевых мер в футляре

Плоскопараллельные концевые меры длины разделяются: по предельным погрешностям определения срединной длины на шесть разрядов: 1, 2, 3, 4, 5 и 6; по предельным отклонениям срединной длины на пять классов: 0, 1, 2, 3 и 4.

Срединной длиной плитки называется длина перпендикуляра, опущенного из пересечения диагоналей верхней измерительной поверхности на плоскость, к которой плитка притёрта своей нижней измерительной поверхностью.

Концевые меры в зависимости от требуемого номинального размера применяют в виде отдельной концевой меры либо в виде блока из нескольких концевых мер, притёртых друг к другу. Концевые меры в зависимости от технико-экономических условий применяют как с учётом поправок к их номинальным размерам — по разрядам, так и без учёта этих поправок — по классам.

Назначение концевых мер по разрядам и классам указано в табл. 26 и 27.

Таблица 26

Назначение концевых мер для проверки измерительных приборов и инструментов

Концевые меры, применяемые		Поверяемые приборы и инструменты
по разрядам	по классам	
2	—	Ультраоптиметры
3	0	Оптиметры Миниметры с ценой деления 0,001 мм Измерительные машины с ценой деления 0,001 мм Микроскопы универсальные
4	1	Миниметры с ценой деления 0,002 мм Индикаторы с ценой деления 0,001 мм Микрометры рычажно-чувствительные Микрометры класса 0 Скобы рычажные с ценой деления 0,002 мм
5	2	Миниметры с ценой деления 0,005 и 0,01 мм Индикаторы с ценой деления 0,002 и 0,01 мм класса 0 Скобы рычажные с ценой деления 0,005 и 0,01 мм Микроскопы инструментальные Микрометры класса 1 Микрометрические нутромеры класса 1
6	3	Индикаторы с ценой деления 0,01 мм классов 1 и 2 Микрометры класса 2 Микрометрические глубиномеры классов 1 и 2 Микрометрические нутромеры класса 2 Штангенциркули с отсчётом 0,02 и 0,05 мм Штангенглубиномеры с отсчётом 0,02 и 0,05 мм
—	4	Штангенциркули с отсчётом 0,1 мм Штангенглубиномеры с отсчётом 0,1 мм

Разряды и классы концевых мер, необходимые учреждениям и предприятиям для производства поверочных работ при передаче размера от основных мер до изделия, и порядок их подчинения устанавливаются поверочными схемами.

По положению в поверочной схеме учреждения или предприятия концевые меры разделяются на основные и подчинённые.

Основными концевыми мерами (основными наборами) учреждения или предприятия называются меры (или соответственно наборы), занимающие высшее место и имеющие высший разряд относительно всех других концевых мер (или соответственно наборов) поверочной схемы данного учреждения или предприятия.

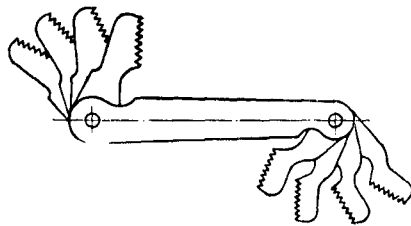
Остальные концевые меры (или наборы) поверочной схемы называются подчинёнными.

Поверочные схемы учреждений и предприятий согласовываются с соответствующими органами Комитета по делам мер и измерительных приборов при Совете Министров (Коммерприбор).

Для удобства применения концевых мер, а также для производства точных разметочных работ изготавливают специальные принадлежности к ним (ГОСТ 4119-49).

В набор принадлежностей входят державки, плоскопараллельные боковики, радиусные боковики, чертильный боковик и трёхгранная линейка. В дополнительный разметочный набор входят основание, центровый и чертильный боковик. В набор для больших плиток с отверстиями входят пять стяжек и два зажимных сухаря.

Шаблоны резьбовые (фиг. 28) представляют собой набор пластин с зубцами,



Фиг. 28. Шаблоны резьбовые

соответствующими по размерам профилям резьб (ГОСТ 519-41). Резьбовые шаблоны предназначены для определения шага резьбы при отсутствии данных о шаге и профиле проверяемой резьбы.

Шаблоны изготавливают наборами для метрических (набор № 1) и дюймовых (набор № 2) резьб.

Шаблоны радиусные (фиг. 29) применяют для проверки радиусов кривизны выпуклых и вогнутых поверхностей (ГОСТ 4126-48).

Шаблоны выпускаются тремя наборами для радиусов: от 1 до 6,5 мм, от 7 до 14,5 мм и от 15 до 25 мм.

На ремонтных предприятиях железнодорожного транспорта применяются также самостоятельно изготавливаемые радиусные шаблоны для больших величин радиусов и с длиной дуги измерительной поверхности, соответствующей углам 90 и 180°.

Назначение концевых мер для измерения калибров и изделий

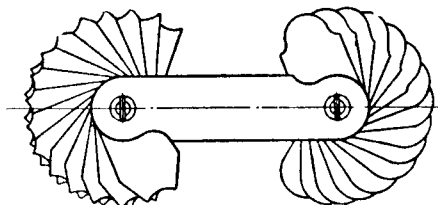
Измерительные средства			Измеряемые объекты				
концевые меры, применяемые		приборы и инструменты*, погрешности показаний которых не превышают	номинальные размеры в мм	калибры рабочие		калибры контрольные	изделия квалификационных ISA
по разрядам	по классам			для отверстий	для валов		
3	0	0,0003 мм	До 500	—	—	—	1
4	1	0,0003 мм	До 500	Для всех отверстий 1-го класса точности	Для всех валов 1-го класса точности	В, Гр, Пр, Пл, Г, Т, Н, П, С, Д, Х, Л, Ш, Г _{2а} , Т _{2а} , Н _{2а} , П _{2а} , С _{2а} , В _{2а} , В ₃ , С ₃ , Пр ₁₃ , Пр ₂₃ , Пр ₃₃ , Пр ₄	2
5	2	0,0003 мм 0,0005 мм	До 50 Свыше 50 до 500	А, Гр, Пр, Пл, Г, Т, Н, П, С, Д, Х	В, Гр, Пр, Пл, Г, Т, Н, П, С, Д, Х, Л, Г _{2а} , Т _{2а} , Н _{2а} , П _{2а} , С _{2а} , В _{2а}	Х ₃ , Ш ₃ , В _{3а} , С _{3а} , Л ₄ , Ш ₄ , В ₄ , С ₄ , Х ₄	3
5	2	0,0005 мм 0,001 мм 0,002 мм	До 18 Свыше 18 до 120 Свыше 120 до 500	Л, Ш, А _{2а} , Г _{2а} , Т _{2а} , Н _{2а} , П _{2а} , С _{2а} , А ₃ , С ₃	Ш, В ₃ , С ₃ , Пр ₁₃ , Пр ₂₃ , Пр ₃₃ , Пр ₄	В ₃ , С ₃ , Х ₃ , В ₇	4
5	2	0,001 мм 0,002 мм 0,003 мм	До 30 Свыше 30 до 180 Свыше 180 до 500	Х ₃ , Ш ₃ , А _{3а} , С _{3а}	Х ₃ , Ш ₃ , В _{3а} , С _{3а}	В ₃ , В ₇	5
6	3	0,001 мм 0,002 мм 0,003 мм 0,005 мм	До 6 Свыше 6 до 80 Свыше 80 до 260 Свыше 260 до 500	А ₄ , С ₄ , Х ₄ , Л ₄ , Ш ₄ , А ₅ , С ₅ , Х ₅ , А ₇	В ₄ , С ₄ , Х ₄ , Л ₄ , Ш ₄ , В ₅ , С ₅ , Х ₅ , В ₇	—	6 и 7
6	3	0,003 мм 0,005 мм 0,007 мм 0,01 мм	До 50 Свыше 50 до 120 Свыше 120 до 360 Свыше 360 до 500	А ₈ , Л ₈	В ₈ , В ₉	—	8

Примечания. 1. Классы точности и посадки ОСТ приравниваются к соответствующим им по точности квалификациям ISA.
2. Допустимые отклонения температуры измерения от нормальной температуры (20°С) указаны в табл. 28.
3. Методика измерения приборов, инструментов, калибров и изделий устанавливается специальными инструкциями Коммерприбор.
4. Приборы и инструменты применяются совместно с концевыми мерами.

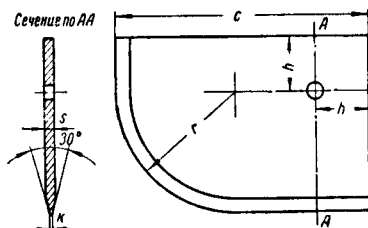
Таблица 28

Допустимые отклонения температуры измерения от нормальной температуры 20°C (±)

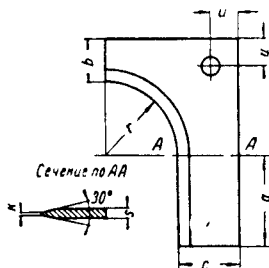
Концевые меры, применяемые		Интервалы размеров в мм			
по разрядам	по классам	до 18	св. 18 до 50	св. 50 до 120	св. 120 до 500
3	0	6	4	2	1
4	1	8	5	3	2
5	2	8	6	4	3
6	3	8	8	6	5



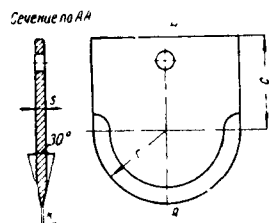
Фиг. 29. Шаблоны радиусные



Фиг. 30. Шаблон радиусный выпуклый

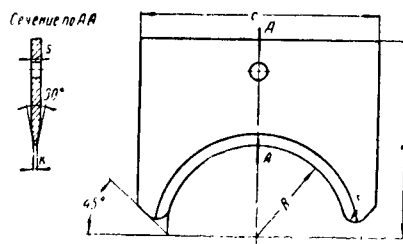


Фиг. 31. Шаблон радиусный вогнутый



Фиг. 32. Шаблон для полуокружности выпуклый

На фиг. 30 представлен радиусный выпуклый шаблон, на фиг. 31—радиусный вогнутый шаблон, на фиг. 32—шаблон для полуокружности выпуклый и на фиг. 33 — шаблон для полуокружности вогнутый.



Фиг. 33. Шаблон для полуокружности вогнутый

В табл. 29—32 даны размеры соответствующих шаблонов. Толщина шаблона S берётся от 1,5 до 3 мм, а ширина измерительной кромки K от 0,5 до 1 мм в зависимости от размера шаблона.

Таблица 29

Размеры радиусных выпуклых шаблонов в мм

Радиусы r	Размеры	
	c	h
До 10	30	5
Свыше 10 до 15	45	6
» 15 » 20	50	7
» 20 » 25	55	8
» 25 » 30	60	10
» 30 » 35	65	12
» 35 » 40	75	15
» 40 » 45	85	18
» 45 » 50	95	20

Таблица 30

Размеры радиусных вогнутых шаблонов в мм

Радиусы r	Размеры			
	a	b	c	u
До 10	15	8	10	5
Свыше 10 до 15	20	10	12	6
» 15 » 20	25	12	16	8
» 20 » 25	30	14	20	10
» 25 » 30	35	16	22	10
» 30 » 35	40	18	25	10
» 35 » 40	45	20	28	15
» 40 » 45	50	22	30	15
» 45 » 50	50	24	32	15

Таблица 31

Размеры шаблонов для полуокружности выпуклых в мм

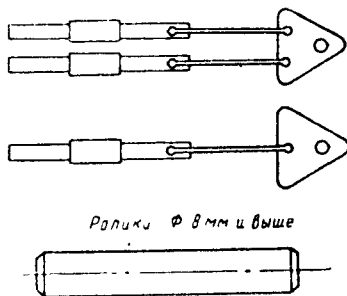
Радиусы r	Размеры
	c
До 10	30
Свыше 10 до 15	30
» 15 » 20	30
» 20 » 25	30
» 25 » 30	40
» 30 » 35	40
» 35 » 40	40
» 40 » 45	50
» 45 » 50	50

Таблица 32
Размеры шаблонов для полуокружности вогнутых в мм

Радиусы R	Размеры		
	b	c	r
От 5 до 10	30	30	2
Свыше 10 до 15	35	40	2,5
» 15 » 20	45	55	3
» 20 » 25	55	65	3,5
» 25 » 30	65	80	4
» 30 » 35	75	90	4,5
» 35 » 40	85	100	5
» 40 » 45	95	110	5,5
» 45 » 50	100	120	6

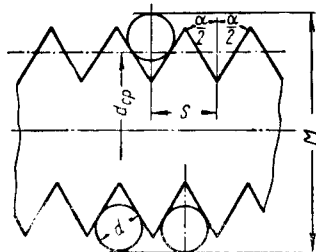
Проволочки и ролики для измерения среднего диаметра резьбы

Проволочки и ролики для измерения среднего диаметра резьбы (фиг. 34) предназначаются для точных измерений резьб по среднему диаметру (ГОСТ 2475-44). Сущность метода измерения



Фиг. 34. Проволочки и ролики для измерения среднего диаметра резьбы

проволочками среднего диаметра резьбы заключается в том, что три проволочки равных диаметров закладываются во впадины резьбы (фиг. 35) и измеряют величину M при помощи гладкого микрометра или оптиметра.



Фиг. 35. Измерение среднего диаметра резьбы с помощью трёх проволочек

Величина размера среднего диаметра резьбы

$$d_{cp} = M - d \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right) + \frac{S \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}}{2},$$

где S — шаг резьбы;
 α — угол профиля резьбы;
 d — диаметр проволочки.

Наивыгоднейший диаметр проволочки

$$d = \frac{S}{2 \cos \frac{\alpha}{2}}.$$

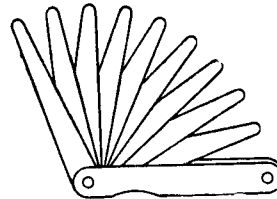
В ГОСТ 2475-44 даны таблицы размеров проволочек и роликов, соответствующие шагам резьб метрических, дюймовых, трапецидальных и упорных.

Проволочки и ролики изготавливаются двух классов точности:

класса 0 — для измерения резьб с допуском среднего диаметра от 4 до 8 микрон и класса 1 — для измерения резьб с допуском среднего диаметра более 8 микрон.

Щупы

Щупы (фиг. 36) представляют собой наборы пластин с параллельными измерительными поверхностями и предназначаются для



Фиг. 36. Щупы

проверки зазоров между поверхностями (ГОСТ 882-41).

Щупы изготовляют классов точности 1 и 2 и комплектуют в наборы согласно табл. 33.

Таблица 33

Наборы щупов						
На б о р ы						
№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7
Толщина пластин в мм						
0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,05	0,05
0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,55
0,05	0,05	0,05	0,05	0,07	0,07	0,6
0,06	0,06	0,06	0,06	0,08	0,08	0,65
0,07	0,07	0,07	0,07	0,09	0,09	0,7
0,08	—	0,08	—	0,1	0,1	0,75
0,09	0,09	0,09	—	0,15	0,15	0,8
0,10	—	0,1	0,1	0,2	0,2	0,85
—	—	0,15	0,15	0,25	—	0,9
—	—	0,2	0,2	0,3	—	0,95
—	—	0,25	—	0,4	0,4	1,0
—	—	0,3	0,3	0,5	—	—
—	—	0,35	—	0,75	0,75	—
—	—	0,4	0,4	1,0	1,0	—
—	—	0,45	—	—	—	—
—	—	0,5	0,5	—	—	—

П р и м е ч а н и е. В наборе № 2 должно быть двойное количество щупов с номинальными размерами: 0,03; 0,04.

Допускаемые отклонения в толщине щупов на длине $\frac{3}{4}$ пластины, считая от свободного конца, не должны превышать указанных в табл. 34.

Таблица 34
Допускаемые отклонения толщины щупов

Номинальные размеры щупов в мм	Допускаемые отклонения в мм (\pm)	
	1-й класс	2-й класс
От 0,03 до 0,06 . . .	0,005	0,008
Свыше 0,06 до 0,10 .	0,006	0,010
» 0,10 » 0,18 .	0,008	0,012
» 0,18 » 0,30 .	0,009	0,014
» 0,30 » 0,50 .	0,011	0,017
» 0,50 » 0,80 .	0,013	0,020
» 0,80 » 1,00 .	0,015	0,025

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Оптические измерительные приборы применяются для проверки калибров гладких и резьбовых, резьбонарезного инструмента и для других точных измерений.

К наиболее употребительным оптическим измерительным приборам относятся оптиметры вертикальный и горизонтальный, микроскопы инструментальные малой и большой модели, универсальный микроскоп и проектор.

Для каждой контрольно-измерительной лаборатории и инструментального цеха номенклатура, типы и количество оптических измерительных приборов зависят от объема и характера выполняемых контрольно-измерительных операций.

Характеристика оптических измерительных приборов приведена в табл. 35.

Таблица 35
Характеристика оптических измерительных приборов

Наименование прибора и марка	Цена деления шкалы для измерения длин в мм	Перемещение предельного столика
Микроскопы: универсальный УИМ-21	0,001	100×200
большой инструментальный БМИ	0,005	50×150
инструментальный ИИ	0,001—0,01	25×75
Большой проектор БП	0,005	50×150
Оптиметры: вертикальный ИКВ.	0,001	Пределы измерения по шкале в мм
		0,1
горизонтальный ИКГ	0,001	0,1

КАЛИБРЫ

Взаимозаменяемость — основа современного машиностроительного производства.

В ремонтном деле взаимозаменяемость также является прогрессивным методом и в последние годы получает широкое распространение при ремонте подвижного состава на ремонтных заводах и в депо.

На паровозоремонтных заводах детали дышел, кулисного механизма, поршневые и золотниковые кольца, рамные болты и др. изготавливают как взаимозаменяемые по гра-

дациям ремонтных размеров с применением калибров. Депо пользуется некоторыми готовыми деталями и узлами, поставляемыми полностью обработанными как взаимозаменяемые или с припуском на пригонку лишь по одному-двум размерам.

Важнейшим условием взаимозаменяемости является наличие на ремонтных предприятиях калибрового хозяйства. При ремонте подвижного состава применяют калибры гладкие, резьбовые и специальные.

Типы гладких калибров представлены в табл. 36 (ГОСТ 1775-42 и ГОСТ 2216-43).

Обозначение, правила применения и допуски гладких калибров даны в ОСТ 1201—1205, 1207 — 1209, 1213 — 1216 и 1219—1221.

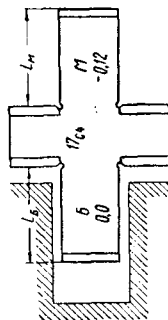
Технические условия — по ГОСТ 2015-43.

На ремонтных предприятиях железнодорожного транспорта, для которых характерно мелкосерийное производство, благодаря наличию градационных ремонтных размеров деталей номенклатура калибров широка, а использование каждого калибра относительно невелико. Поэтому для ремонтных предприятий во многих случаях следует рекомендовать применение взамен калибров универсальных средств измерения — индикаторных, рычажных и микрометрических.

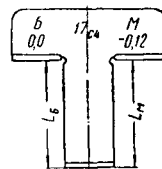
Взамен жестких скоб следует применять скобы регулируемые.

Калибры листовые для измерения глубин и высот уступов разнообразны по форме, зависящей от конфигурации проверяемого элемента детали. Наиболее распространенными из них являются глубиномеры предельные двусторонние (фиг. 37) и уступомеры предельные двусторонние (фиг. 38).

У рабочих предельных листовых калибров для проверки глубин и



Фиг. 37. Глубиномеры предельные двусторонние



Фиг. 38. Уступомеры предельные двусторонние

высот уступов сторона, соответствующая наибольшему предельному размеру изделия, обозначается буквой *B*, сторона, соответствующая наименьшему предельному размеру изделия, обозначается буквой *M*.


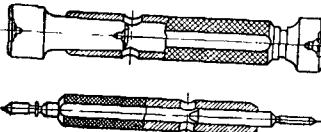
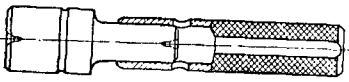
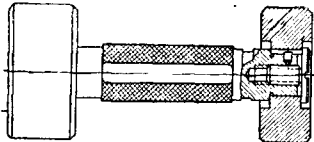
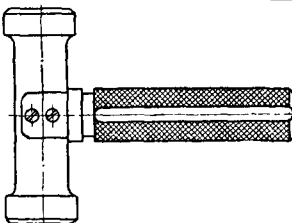
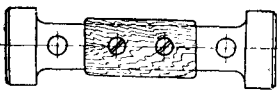

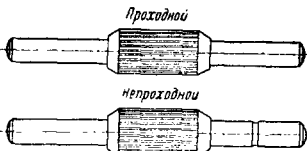
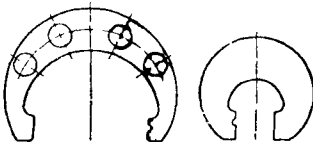
Допуски на калибры для глубин и высот установлены ГОСТ 2534-44 (рекомендуемый).

Поля допусков размеров *B* и *M* калибров располагаются симметрично относительно соответствующих предельных размеров изделия (фиг. 39).


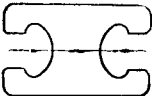
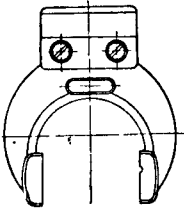
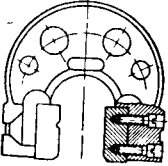
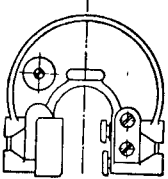
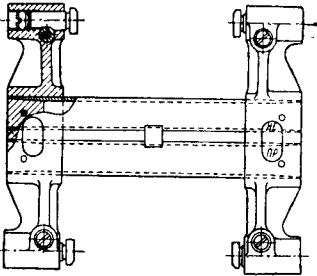
Предельные отклонения калибров новых и изношенных устанавливаются в зависимости от допусков изделий по табл. 37 и отсчитываются

Таблица 36

Типы гладких калибров

Т и п	Наименование	Применение
Калибры для отверстий — пробки рабочие и приёмные		
	Пробки гладкие двусторонние с цилиндрическими вставками (проволочками)	Для размеров от 1 до 3 мм
	Пробки гладкие двусторонние с вставками с коническими хвостовиками	Для размеров от 1 до 50 мм
	Пробки гладкие двухпредельные односторонние	Для измерений неглубоких сквозных отверстий размером от 6 до 50 мм, имеющих глубину не более длины проходной стороны пробки
	Пробки гладкие двусторонние с цилиндрическими насадками	Для размеров от 30 до 100 мм. Из-за сравнительно большого веса часто заменяются неполными пробками
	Пробки гладкие неполные односторонние. Проходные и непроходные с ручками	Для размеров от 50 до 150 мм
	Пробки гладкие неполные односторонние. Проходные и непроходные с накладками	Для размеров от 150 до 360 мм. Пробки с накладками благодаря меньшим габаритам позволяют при измерении отводить инструмент от изделия на меньшее расстояние
	Пробки гладкие предельные двусторонние листовые	Для измерений отверстий и пазов размером от 1 до 100 мм. Для отверстий точностью выше 4-го класса применять не рекомендуется
	Нутромеры сферические. Проходные и непроходные	Проходные для размеров от 250 до 1 000 мм. Непроходные для размеров от 75 до 1 000 мм. (Непроходные нутромеры размером до 250 мм применяются в комбинации с проходными пробками)
Калибры для валов — скобы рабочие и приёмные		
	Скобы листовые односторонние круглые	Для размеров от 1 до 180 мм. Предприятия-потребители самостоятельно изготавливают листовые скобы для размеров до 350 мм

Продолжение табл. 36

Т и п	Наименование	Применение
	Скобы листовые односторонние прямоугольные	Для размеров от 1 до 70 мм
	Скобы листовые двусторонние	Для размеров от 1 до 50 мм. Применяются преимущественно для измерений толщины буртов и в иных случаях, когда проходная сторона скобы не может пройти до конца измеряемой поверхности детали
	Скобы штампованные односторонние	Для размеров от 3 до 150 мм. Скобы для размеров до 50 мм изготавливаются без ручек
	Скобы литые со вставными губками односторонние	Для размеров от 100 до 325 мм
	Скобы регулируемые гладкие	Для размеров от 1 до 330 мм
	Скобы регулируемые гладкие для наружных измерений длин	Для размеров от 100 до 1 000 мм

Продолжение табл. 36

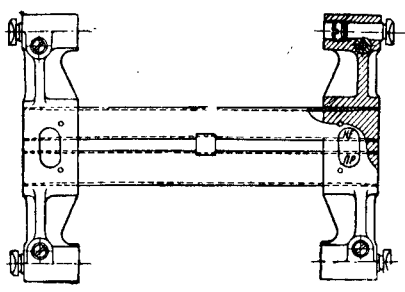
Т и п	Наименование	Применение
	Скобы регулируемые гладкие для внутренних измерений длин	Для размеров от 100 до 1 000 мм

Таблица 37

Предельные отклонения размеров Б и М рабочих калибров в зависимости от допусков изделий

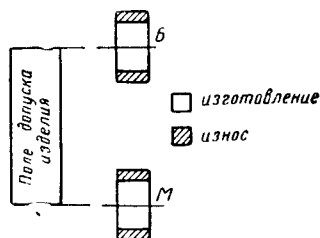
Допуски изделий и предельные отклонения калибров в микронах										
Р я д ы										
Номинальные размеры в мм	1				2			3		
	Допуски изделий	Предельные отклонения калибров		Допуски изделий	Предельные отклонения калибров		Допуски изделий	Предельные отклонения калибров		
		новых	использо- ванных		новых	использо- ванных		новых	использо- ванных	
От 1 до 3	Свыше 5 до 80	± 3	± 5	Свыше 80 до 130	± 4	± 7	Свыше 130 до 200	± 7	± 13	
Свыше 3 до 6	» 60 » 100	± 4	± 6	» 100 » 170	± 6	± 9	» 170 » 250	± 9	± 15	
» 6 » 10	» 75 » 125	± 4	± 8	» 125 » 210	± 7	± 11	» 210 » 300	± 11	± 18	
» 10 » 18	» 90 » 150	± 5	± 9	» 150 » 250	± 9	± 14	» 250 » 350	± 13	± 22	
» 18 » 30	» 110 » 180	± 6	± 11	» 180 » 300	± 10	± 17	» 300 » 420	± 16	± 26	
» 30 » 50	» 130 » 210	± 8	± 13	» 210 » 350	± 12	± 20	» 350 » 500	± 19	± 31	
» 50 » 80	» 150 » 250	± 9	± 15	» 250 » 420	± 15	± 23	» 420 » 600	± 23	± 37	
» 80 » 120	» 180 » 300	± 11	± 18	» 300 » 480	± 17	± 27	» 480 » 700	± 27	± 44	
» 120 » 180	» 210 » 350	± 12	± 20	» 350 » 550	± 20	± 32	» 550 » 800	± 31	± 50	
» 180 » 260	» 240 » 400	± 14	± 24	» 400 » 625	± 23	± 37	» 625 » 950	± 36	± 59	
» 260 » 360	» 280 » 450	± 16	± 27	» 450 » 700	± 27	± 42	» 700 » 1100	± 42	± 67	
» 360 » 500	» 320 » 500	± 19	± 31	» 500 » 800	± 31	± 48	» 800 » 1300	± 47	± 78	

Продолжение табл. 37

Номинальные размеры в мм	Допуски изделий и предельные отклонения калибров в микронах										
	Р я д ы										
	4				5				6		
	Допуски изделий		Предельные отклонения калибров		Допуски изделий		Предельные отклонения калибров		Допуски изделий	Предельные отклонения калибров	
			новых	использо- ванных			новых	использо- ванных		новых	использо- ванных
От 1 до 3	Свыше 200 до 320	±12	± 20	Свыше 320 до 500	± 20	± 30	Свыше 500	± 30	± 45		
Свыше 3 до 6	» 250 » 400	±15	± 24	» 400 » 600	± 24	± 37	» 600	± 38	± 60		
» 6 » 10	» 300 » 480	±1	± 29	» 480 » 700	± 29	± 45	» 750	± 45	± 75		
» 10 » 18	» 350 » 550	±21	± 35	» 550 » 900	± 35	± 55	» 900	± 55	± 90		
» 18 » 30	» 420 » 700	±26	± 42	» 700 » 1100	± 42	± 65	» 1100	± 65	± 105		
» 30 » 50	» 500 » 850	±31	± 50	» 850 » 1300	± 50	± 70	» 1300	± 80	± 125		
» 50 » 80	» 600 » 1000	±37	± 60	» 1000 » 1500	± 60	± 95	» 1500	± 95	± 150		
» 80 » 120	» 700 » 1100	±43	± 70	» 1100 » 1800	± 70	± 110	» 1800	± 110	± 175		
» 120 » 180	» 800 » 1300	±50	± 80	» 1000 » 2100	± 80	± 125	» 2100	± 125	± 200		
» 180 » 260	» 950 » 1500	±58	± 92	» 1500 » 2400	± 93	± 145	» 2400	± 145	± 235		
» 260 » 360	» 1100 » 1800	±67	± 107	» 1800 » 2800	± 108	± 165	» 2800	± 165	± 270		
» 360 » 500	» 1300 » 2100	±77	± 125	» 2100 » 3200	± 125	± 190	» 3200	± 190	± 310		

от соответствующих предельных размеров изделий.

Принятые в табл. 37 6 рядов интервалов допусков изделий соответствуют: 1-й ряд допуском изделий 4-го класса точности, 2-й ряд — 5-го класса, 4-й ряд — 7-го класса, 5-й ряд — 8-го класса и 6-й ряд — 9-го класса.



Фиг. 39. Расположение полей допусков у калибров листовых для измерения глубин и высот

Резьбовые калибры. Типы резьбовых калибров (ГОСТ 1774-42, 1985-43 и 3841-47) для резьб метрических, дюймовых и трубных цилиндрических представлены в табл. 38.

Технические условия — по ГОСТ 2016-43.

Допуски, наименования, обозначения и правила применения калибров для резьб:

Метрических и дюймовых	по ГОСТ 1623-46
Трубных цилиндрических	» ГОСТ 2533-44
» конических	» ОСТ 20009-38
Бригас	» ОСТ 20011-38
Трапециoidalных	» ОСТ 20151-39

Специальные калибры, применяемые при ремонте подвижного состава, разнообразны по конструкции и назначению.

На предприятиях, ремонтирующих подвижной состав, из специальных калибров наиболее распространены шаблоны плоскостные и пространственные, а также конусные калибры.

Шаблоны для ответственных деталей, как-то для профиля бандажей паровозных и вагонных, для контура деталей автосцепки, узаконены приказами и соответствующими инструкциями Министерства путей сообщения.

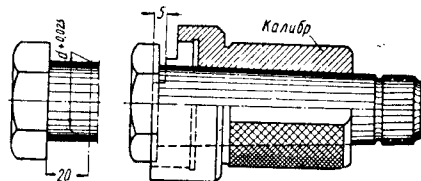
Конусные калибры применяют для большинства конических сопряжений деталей паровозов таких, как конические рамные и цилиндрические болты, конические валики кулисного механизма, дышловые валики, соединения поршневой скалки с кулаком и др.

В табл. 39 приведены данные о комплектах калибров и контркалибров для конусных элементов деталей шарнирных соединений дышел; в табл. 40 — для конических рамных и цилиндрических болтов.

Конструкция последних позволяет применять два метода обеспечения взаимозаменяемости рамных и цилиндрических болтов.

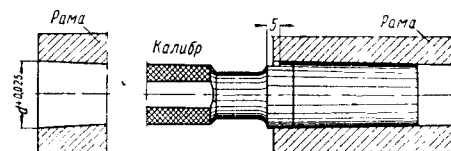
В первом случае болты и отверстия под болты по базовому диаметру изготавливают с повышенной точностью (допуск $\pm 0,025$ мм) в пределах первой ступени калибров — пробки и втулки (фиг. 40 и 41). При этом непосредственно обеспечивается требуемый натяг болта под запрессовку.

Во втором случае болты и отверстия изготавливают в пределах первой и второй ступени калибров с допусками $\pm 0,025$ мм, т. е.



Фиг. 40. Болт конусный, изготовленный по первой ступени калибра-втулки

в два раза большими (фиг. 42 и 43). В этом случае для обеспечения требуемого натяга необходимо производить подбор болтов по

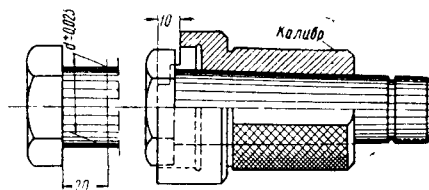


Фиг. 41. Отверстие конусное, изготовленное по первой ступени калибра-пробки

отверстиям, т. е. осуществлять селективную сборку.

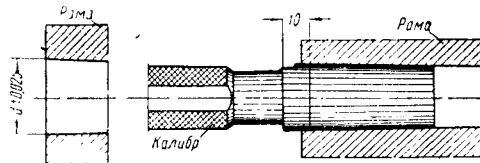
При этом для рассортировки болтов и отверстий по базовому диаметру на две градации пользуются теми же рабочими калибрами.

Для отверстий, изготовленных по диаметру в пределах первой ступени калибра-



Фиг. 42. Болт конусный, изготовленный в пределах первой и второй ступени калибра-втулки

пробки, отбирают болты, изготовленные в пределах первой ступени калибра-втулки.

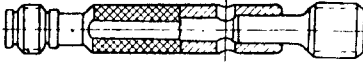
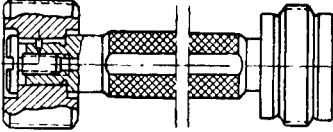
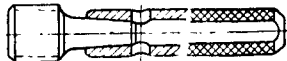
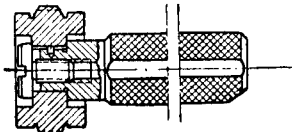

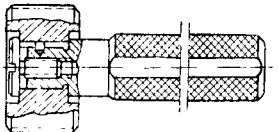
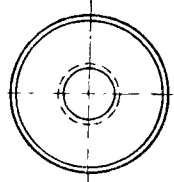
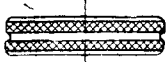
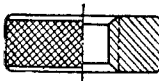
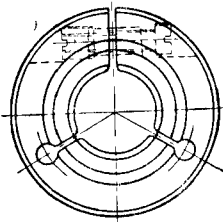
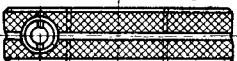

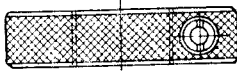


Фиг. 43. Отверстие конусное, изготовленное в пределах первой и второй ступени калибра-втулки

Для отверстий, изготовленных в пределах второй ступени калибра-пробки, отбирают болты, изготовленные в пределах второй ступени калибра-втулки.

Таблица 38

Типы резьбовых калибров

Типы, наименование и пределы измерения		Назначение
<p>Пробки резьбовые со вставками с конусным хвостовиком</p> <p>Пробки резьбовые с насадками</p> <p>Двусторонние</p>   <p>Односторонние с полным профилем</p>   <p>Односторонние с неполным профилем</p>   <p>Для резьб метрических по ОСТ НКТП-273 от 1 до 100 мм, дюймовых по ОСТ НКТП 1260 от 1/16 до 4", трубных по ОСТ НКТП 266 от 1/8 до 3 1/2"</p> <p>Для резьб метрических по ОСТ НКТП 273 от 52 до 100 мм, дюймовых по ОСТ НКТП 1260 от 2 до 4", трубных по ОСТ НКТП 266 от 2 до 3 1/2"</p>		<p>Комплектно, рабочие проходные и непроходные стороны (Р-ПР и Р-НЕ) или приёмные проходные и непроходные стороны (П-ПР и П-НЕ)</p> <p>Рабочие проходные стороны (Р-ПР) Приёмные проходные стороны (П-ПР) Установочные проходной стороны (У-ПР) Установочные непроходной стороны (У-НЕ) Контркалибр непроходной стороны (К-НЕ) Контркалибр износа непроходной стороны (КИ-НЕ)</p> <p>Рабочие непроходные стороны (Р-НЕ) Приёмные непроходные стороны (П-НЕ) Контркалибр износа проходной стороны (К-И) Контркалибр проходной стороны (К-ПР) Контркалибр приёмной проходной стороны (К-П)</p>
<p>Кольца резьбовые</p> <p>Нерегулируемые</p>  <p>Нeproходные</p>  <p>Проходные</p>  <p>Регулируемые</p>  <p>Нeproходные</p>  <p>Проходные</p>  		<p>Нeproходные рабочие (Р-НЕ) и приёмные (П-НЕ)</p> <p>Проходные рабочие (Р-ПР) и приёмные (П-ПР)</p>
<p>Для резьб метрических по ОСТ НКТП 273 от 1 до 100 мм, дюймовых по ОСТ НКТП 1260 от 1/16 до 4", трубных по ОСТ НКТП 266 от 1/8 до 3 1/2"</p>		

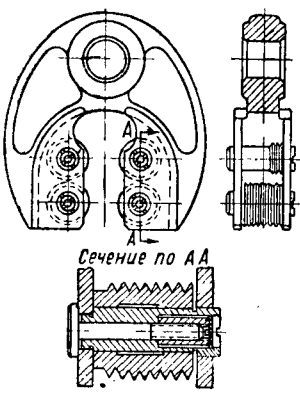
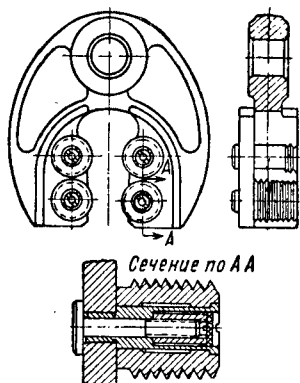
Типы, наименование и пределы измерения		Назначение
<p>Скобы резьбовые роликовые закрытого типа</p>  <p>Сечение по АА</p>	<p>Скобы резьбовые роликовые открытого типа</p>  <p>Сечение по АА</p>	Рабочие и приёмные
<p>Для наружных метрических резьб с шагом от 0,5 до 3 мм и диаметром от 6 до 52 мм</p> <p>Примечание. Скобы открытого типа применяются преимущественно для проверки резьб, нарезанных до упора.</p>		

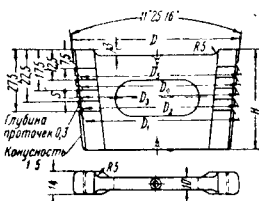
Таблица 39

Калибры конусные к узлу шарнирных соединений дышел паровозов

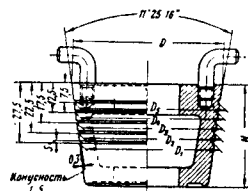
Назначение		Для номинальных градационных диаметров отверстий	D	H	$S \pm 0,05$	R	$D_1 \pm 0,02$	$D_2 \pm 0,02$	$D_3 \pm 0,02$	$D_4 \pm 0,02$	$D_5 \pm 0,02$
Паровоз серии Ф.Д	1-е и 4-е сцепные дышла	98; 99; 100; 101; 102	103,45	56	1,1	30	97,95	98,95	99,95	100,95	101,95
	3-е сцепное дышло	129; 130; 131; 132; 133	134,45	60	1,25	35	128,95	129,95	130,95	131,95	132,95
Паровоз серии Э всех индексов	1-е и 4-е сцепные дышла	75; 76; 77; 78; 79	80,45	56	0,95	25	74,95	75,95	76,95	77,95	78,95
	3-е сцепное дышло	91,5; 92,5; 93,5; 94,5; 95,5	93,95	59	1,1	30	91,45	92,45	93,45	94,45	95,45

Пробки конусные для проверки конусности и диаметра отверстий в дышлах под конус валика и под конусную втулку

Тип I—неполная

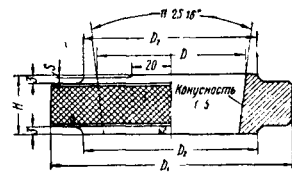


Тип II—с вырезом (позволяет осуществлять проверку, не выводя расточной борштанги из отверстия)



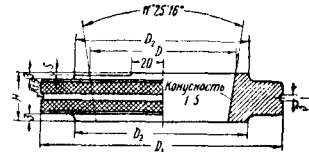
Продолжение табл. 39

Кольца конусные для проверки конусности и большего диаметра конуса валиков



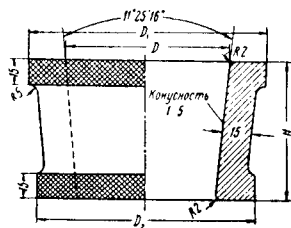
Назначение		D_1	D_2	H	S	Градационные размеры колец				
Паровоз серии ФД	1-е и 4-е сцепные дышла	155	112	24	$0,7 \pm 0,03$	Для номинального градационного диаметра конуса валика				
						98,5	99,5	100,5	101,5	102,5
						$D \pm 0,02$				
	3-е сцепное дышло	190	145	29	$0,8 \pm 0,03$	Для номинального градационного диаметра конуса валика				
						129,5	130,5	131,5	132,5	133,5
						$D \pm 0,02$				
Паровоз серии Э всех индексов	1-е и 4-е сцепные дышла	125	90	24	$0,6 \pm 0,03$	Для номинального градационного диаметра конуса валика				
						75,5	76,5	77,5	78,5	79,5
						$D \pm 0,02$				
	3-е сцепное дышло	148	106	27	$0,7 \pm 0,03$	Для номинального градационного диаметра конуса валика				
						92	93	94	95	96
						$D \pm 0,02$				

Кольца конусные для проверки конусности и большего диаметра конических втулок



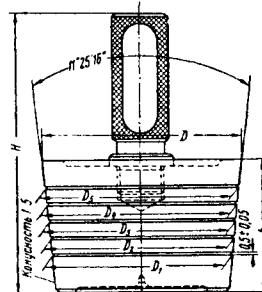
Назначение		D_1	D_2	H	S	Градационные размеры колец				
Паровоз серии ФД	1-е и 4-е сцепные дышла	155	112	25	$1,1 \pm 0,05$	Для номинальных градационных диаметров конической втулки				
						98,9	99,9	100,9	101,9	102,9
						$D \pm 0,02$				
	3-е сцепное дышло	190	145	30	$1,25 \pm 0,05$	Для номинальных градационных диаметров конической втулки				
						130	131	132	133	134
						$D \pm 0,02$				
Паровоз серии Э всех индексов	1-е и 4-е сцепные дышла	125	90	25	$0,95 \pm 0,03$	Для номинальных градационных диаметров конической втулки				
						75,9	76,9	77,9	78,9	79,9
						$D \pm 0,02$				
	3-е сцепное дышло	148	106	28	$1,1 \pm 0,05$	Для номинальных градационных диаметров конической втулки				
						92,4	93,4	94,4	95,4	96,4
						$D \pm 0,002$				

Контркалибр-штулка для проверки конусности калибров-пробок,
а также развёрток для конусных отверстий в дышлах



Назначение		D	D_1	D_2	H
Паровоз серии ФД	1-е и 4-е сцепные дышла	104	147	140	65
	3-е сцепное дышло	135	178	170	70
Паровоз серии Э всех индексов	1-е и 4-е сцепные дышла	81	124	117	65
	3-е сцепное дышло	97,5	140	133	70

Контркалибры-пробки для проверки конусности и большего диаметра
конуса новых и изношенных калибров-колец

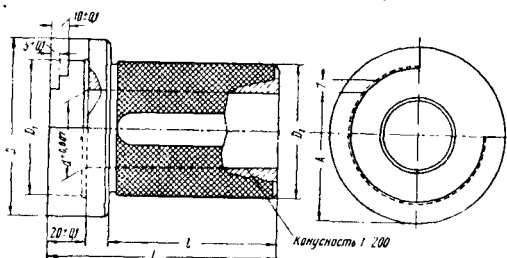


Назначение		Для номинальных градационных диаметров валиков и втулок	D	H	h	$D_1 \pm 0,02$	$D_2 \pm 0,02$	$D_3 \pm 0,02$	$D_4 \pm 0,02$	$D_5 \pm 0,02$
Паровоз серии ФД	1-е и 4-е сцепные дышла	98,5; 99,5; 100,5; 101,5; 102,5	104,04	131	56	98,54	99,54	100,54	101,54	102,54
		98,9; 99,9; 100,9; 101,9; 102,9	104,46	133	58	98,96	99,96	100,96	101,96	102,96
	3-е сцепное дышло	129,5; 130,5; 131,5; 132,5; 133,5	135,05	135	60	129,55	130,55	131,55	132,55	133,55
		130; 131; 132; 133; 134	135,57	137	62	130,07	131,07	132,07	133,07	134,07
Паровоз серии Э всех индексов	1-е и 4-е сцепные дышла	75,5; 76,5; 77,5; 78,5; 79,5	81,03	131	56	75,53	76,53	77,53	78,53	79,53
		75,9; 76,9; 77,9; 78,9; 79,9	81,45	133	58	75,95	76,95	77,95	78,95	79,95
	3-е сцепное дышло	92; 93; 94; 95; 96	97,54	135	60	92,04	93,04	94,04	95,04	96,04
		92,4; 93,4; 94,4; 95,4; 96,4	97,96	135	60	92,46	93,46	94,46	95,46	96,46

Таблица 40

Калибры конусные для конических рамных и цилиндрических болтов паровозов

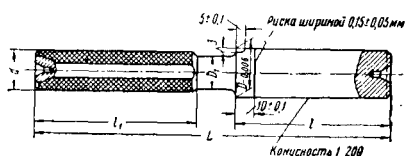
Втулка рабочая конусная для проверки конусности и диаметра конусных рамных и цилиндрических болтов



Размер	Тип		
	I	II	III
D	92	82	72
D_1	70,5	60	49
D_2	72	62	56
L	120	120	100
l	88	88	68
A	65	58	48

Тип I	Для номинального градиционного диаметра болта	41	41,5	42	42,5	43	43,5	44	44,5	45
	$d+0,007$	41,018	41,518	42,018	42,518	43,018	43,518	44,018	44,518	45,018
Тип II	Для номинального градиционного диаметра болта	34	34,5	35	35,5	36	36,5	37	37,5	38
	$d+0,007$	34,018	34,518	35,018	35,518	36,018	36,18	37,018	37,518	38,018
Тип III	Для номинального градиционного диаметра болта	27	27,5	28	28,5	29	29,5	30	30,5	31
	$d+0,006$	27,019	27,519	28,019	28,519	29,019	29,519	30,019	30,519	31,019

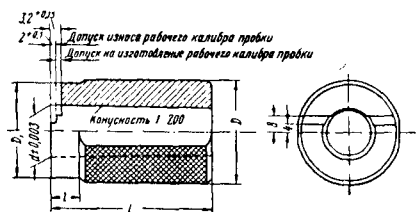
Пробка рабочая конусная для проверки конусности и диаметра конусных отверстий под рамные и цилиндрические болты



Размер	Тип		
	I	II	III
d	28	26	22
d_1	26	24	20
L	210	210	180
l	110	110	90
l_1	95	90	85

Тип I	Для номинального градиционного диаметра отверстия	41	41,5	42	42,5	43	43,5	44	44,5	45
	$D-0,007$	41,032	41,532	42,032	42,532	43,032	43,532	44,032	44,532	45,032
Тип II	Для номинального градиционного диаметра отверстия	34	34,5	35	35,5	36	36,5	37	37,5	38
	$D-0,007$	34,032	34,532	35,032	35,532	36,032	36,532	37,032	37,532	38,032
Тип III	Для номинального градиционного диаметра отверстия	27	27,5	28	28,5	29	29,5	30	30,5	31
	$D-0,006$	27,031	27,531	28,031	28,531	29,031	29,531	30,031	30,531	31,031

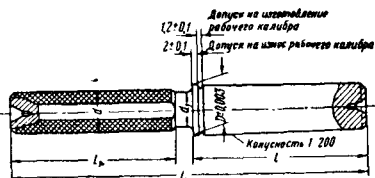
Втулка контрольная для конических рабочих пробок, а также для проверки конических развёрток для отверстий под рамные и цилиндрические болты



Размер	Тип		
	I	II	III
D	72	64	56
D_1	68	60	53
L	105	105	85
l	20	20	15

Тип I	Для номинального градиционного диаметра отверстия	41	41,5	42	42,5	43	43,5	44	44,5	45
	$d \pm 0,03$	41,042	41,542	42,042	42,542	43,042	43,542	44,042	44,542	45,042
Тип II	Для номинального градиционного диаметра отверстия	34	34,5	35	35,5	36	36,5	37	37,5	38
	$d \pm 0,003$	34,042	34,542	35,042	35,542	36,042	36,542	37,042	37,542	38,042
Тип III	Для номинального градиционного диаметра отверстия	27	27,5	28	28,5	29	29,5	30	30,5	31
	$D \pm 0,003$	27,041	27,541	28,041	28,541	29,041	29,541	30,041	30,541	31,041

Пробка контрольная для рабочих калибров-втулок



Размер	Тип		
	I	II	III
d	28		22
d_1	26		20
L	215		180
l	110		90
l_1	95		85

Тип I	Для номинального градиционного диаметра болта	41	41,5	42	42,5	43	43,5	44	44,5	45
	$D \pm 0,003$	41,035	41,535	42,035	42,535	43,035	43,535	44,035	44,535	45,035
Тип II	Для номинального градиционного диаметра болта	34	34,5	35	35,5	36	36,5	37	37,5	38
	$D \pm 0,003$	34,035	34,535	35,035	35,535	36,035	36,535	37,035	37,535	38,035
Тип III	Для номинального градиционного диаметра болта	27	27,5	28	28,5	29	29,5	30	30,5	31
	$D \pm 0,003$	27,035	27,535	28,035	28,535	29,035	29,535	30,035	30,535	31,035

КОНТРОЛЬ ЧИСТОТЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ПРИБОРЫ ДЛЯ ЕЁ ИЗМЕРЕНИЯ

ВЫБОР КЛАССА ЧИСТОТЫ ПОВЕРХНОСТИ

Таблица 41

Рекомендуемые вид и характер механической
обработки в зависимости от требуемой чистоты
поверхности

С повышением чистоты поверхности, как правило, значительно улучшаются показатели статической и динамической прочности изделия, сохраняется в процессе эксплуатации характер заданных посадок.

Классификация и обозначения чистоты поверхности определены по ГОСТ 2789-51 (см. стр. 324 и 325).

Среднее квадратическое отклонение неровностей должно определяться приборами, дающими непосредственный отчёт $H_{ск}$. Допускается подсчёт $H_{ск}$ по профилограммам по инструкциям Комитета по делам мер и измерительных приборов.

Обозначения степеней чистоты по классам ограничивают только верхний предел $H_{ск}$ или $H_{ср}$; например, $\nabla \nabla \nabla 8$ обозначает поверхность с $H_{ск}$ не более 0,8 микрона. В тех случаях, когда чистота должна быть в пределах одного или нескольких классов или разрядов, в обозначении должны указываться два номера классов или разрядов, ограничивающих допустимую чистоту, например: обозначение $\nabla \nabla \nabla 9-9$ указывает, что чистота должна быть в пределах класса 9 ($H_{ск}$ должно быть более 0,2 и не более 0,4 микрона).

Поверхности, к которым не предъявляются особых требований в отношении чистоты, обозначаются знаком \sim .

В случае необходимости допускается к обозначению чистоты добавлять указание о способе её получения.

Примеры:

Развёртывание	Хонингование	Опиловка
$\nabla \nabla \nabla$	$\nabla \nabla \nabla \nabla$	$\nabla \nabla$
9	11	6

Чистота поверхности изделия зависит от вида и характера механической обработки, параметров режущей части инструмента, режимов резания, материала изделия, рода смазывающе-охлаждающей жидкости и других факторов.

Рекомендуемые вид и характер механической обработки в зависимости от требуемой чистоты поверхности приведены в табл. 41 (по данным ВНИИ).

Рекомендации по выбору чистоты поверхности в зависимости от класса точности и посадки приведены в табл. 42.

В табл. 43 приведены классы чистоты, рекомендуемые ЦНИИ МПС для основных деталей паровозов.

Повышение эксплуатационных требований, применение иных марок материалов, модернизация деталей и узлов паровозов могут внести отдельные коррективы в данную таблицу.

Контроль чистоты при помощи измерительных приборов производят в направлении, которое даёт наибольшее значение $H_{ск}$ или $H_{ср}$, если в технических условиях на данное изделие не указано определённое

Вид механической обработки	Характер обработки		
	черно- вая	чисто- вая	тон- кая
	Классы чистоты поверхности		
Наружное точение и расточка	3—4	5—7	7—9
Наружное круглое шлифование методом продольной подачи	6	7—8	8—9
То же скоростное	6—7	7—9	9—10
Наружное круглое шлифование методом поперечной подачи (врезное)	5—6	7—8	8—9
То же скоростное	6—7	8—9	9—10
Шлифование бесцентровое	6—7	7—8	8—9
То же скоростное	7—8	8—9	9—10
Шлифование бесцентровое врезное	5—6	7—8	8—9
То же скоростное	6—7	8—9	9—10
Сверление	—	3—5	—
Зенкерование	3—4	4—5	—
Развёртывание	5	5—7	7—9
Протягивание внутреннее	—	5—7	—
Продавливание шариком	—	6—9	—
Шлифование внутреннее	6—7	7—8	—
Доводка абразивной разжимной головкой (хонингование)	7—9	8—11	—
Подрезка торца точением	3—4	4—6	—
Строгание	3—4	4—6	6—8
Фрезерование цилиндрическое	4—5	5—7	—
То же торцевое	4—5	5—7	7—8
То же торцевое скоростное	—	6—8	—
Плоское шлифование периферией круга	5—6	7—8	8—9
То же скоростное	6—7	8—9	9—10
То же торцом круга	5—7	7—8	—
Шабрение	4—5	5—6	6—7
Полірование	—	8—10	10—12
Нарезание резьбы круглыми планками	—	5—6	—
Нарезание резьбы резьбо-нарезными головками	—	5—7	—
Нарезание резьбы резцами	4—5	6—8	—
Накатывание резьбы роликами	—	7—9	—
То же полированными роликами	—	8—11	—
Шлифование резьбы	—	7—10	—
Слесарная опиловка	—	3—6	—
Долбление	—	5	—
Зубофрезерование	5—6	6—7	—
Зубодолбление	5—6	6—7	—
Шевингование	—	7—9	—

направление измерения микронеровностей. При этом должно быть исключено влияние «волиистости», т. е. закономерно повторяющихся неровностей поверхности с шагом волн, значительно превышающим расстояния между микронеровностями.

Длина, на которой производятся измерения $H_{ск}$ или $H_{ср}$, должна охватывать не менее пяти гребней и должна быть при чистоте:

По классам	1—4	не менее 3 мм
»	5—7	» » 2 »
»	8—12	» » 1 »

Таблица 42

Рекомендуемая чистота поверхности деталей в зависимости от класса точности и посадки

Классы точности	Допуск на отверстие и посадки сопрягаемых поверхностей деталей	Диаметры деталей в мм					
		1—10	10—30	30—80	80—120	120—260	260—500
		Классы чистоты					
1	Отверстие А ₁	▽▽▽ 9	▽▽▽ 9	▽▽▽ 8	▽▽▽ 8	▽▽▽ 7	▽▽▽ 7
	Вал Г ₁ , Т ₁ , Н ₁ , П ₁	▽▽▽▽10	▽▽▽▽10	▽▽▽ 9	▽▽▽ 8	▽▽▽ 8	▽▽▽ 7
	» С ₁	▽▽▽▽10	▽▽▽ 9	▽▽▽ 8	▽▽▽ 8	▽▽▽ 8	▽▽▽ 7
	» Д ₁	▽▽▽ 9	▽▽▽ 8	▽▽▽ 8	▽▽▽ 7	▽▽▽ 7	▽▽▽ 7
2	Отверстие А	▽▽▽ 8	▽▽▽ 7	▽▽▽ 7	▽▽ 6	▽▽ 6	▽▽ 6
	Вал Пр, Г, Т, Н, П	▽▽▽ 9	▽▽▽ 8	▽▽▽ 7	▽▽ 6	▽▽ 6	▽▽ 6
	» С	▽▽▽ 9	▽▽▽ 8	▽▽▽ 8	▽▽ 7	▽▽ 7	▽▽ 6
	» Д, Х	▽▽▽ 8	▽▽▽ 7	▽▽ 7	▽▽ 7	▽▽ 6	▽▽ 6
3	Отверстие А ₂	▽▽▽ 7	▽▽▽ 7	▽▽ 6	▽▽ 6	▽▽ 6	▽▽ 6
	Вал Пр З ₂	▽▽▽ 8	▽▽▽ 7	▽▽ 6	▽▽ 6	▽▽ 6	▽▽ 6
	» С ₂ , Х ₂	▽▽▽ 8	▽▽▽ 7	▽▽ 6	▽▽ 5	▽▽ 5	▽▽ 5
4	Отверстие А ₄	▽▽ 6	▽▽ 6	▽▽ 5	▽▽ 5	▽▽ 4	▽▽ 4
	Вал С ₄	▽▽ 7	▽▽ 6	▽▽ 6	▽▽ 5	▽▽ 4	▽▽ 4
	» Х ₄ , Л ₄	▽▽ 7	▽▽ 6	▽▽ 5	▽▽ 5	▽▽ 4	▽▽ 4
5	Отверстие А ₅ } Вал С ₅ , Х ₅ }	▽▽ 5	▽▽ 5	▽▽ 4	▽▽ 4	▽ 3	▽ 3

Таблица 43

Рекомендуемые классы чистоты поверхностей паровозных деталей [3]

Наименование деталей и типы поверхностей	Классы чистоты рекомендуемые	Наименование деталей и типы поверхностей	Классы чистоты рекомендуемые
<i>Трущиеся поверхности</i>			
Цилиндрическая втулка внутри	▽▽ 5	Упорная золотниковая шайба	▽▽ 6
Поршневое кольцо по наружному диаметру	▽▽ 5	Притирочная лента упорной шайбы	▽▽ 6
Поршневое кольцо по внутреннему диаметру	▽▽ 4	Золотниковый кулачок	▽▽ 6
Поршневое кольцо со стороны прилегания стенки ручья	▽▽ 5	Направляющая золотникового кулачка	▽▽ 6
Поршневое кольцо, поверхность со стороны прилегания к кольцу	▽▽ 6	Дышловые подшипники и плавающие втулки	▽▽ 6
Золотниковая втулка	▽▽ 5	Стальная втулка под плавающую	▽▽ 6
Золотниковое кольцо (наружный диаметр)	▽▽ 6	Валик сочленения дышел	▽▽ 7
Золотниковое кольцо (боковые поверхности)	▽▽ 6	Втулка сочленения дышел	▽▽ 6
Золотниковое кольцо (внутренняя поверхность)	▽▽ 4	Проушина дышла	▽▽ 6
Валик кулака	▽▽ 7	Хвостовик дышла	▽▽ 6
Подшипник кулака	▽▽ 6	Тело кулисы (рабочая часть)	▽▽ 7
Вкладыш кулака	▽▽ 5	Камень кулисы	▽▽ 7
Параллель	▽▽ 7	Отверстие в кулиском камне	▽▽ 7
Поршневая скалка	▽▽ 7	Втулки кулисного механизма	▽▽ 6
Контрскалка	▽▽ 7	Валики	▽▽ 7
Боковые поверхности ручьев диска	▽▽ 6	Цапфа кулисной щеки	▽▽ 7
Дно ручья поршневого диска	▽▽ 4	Втулка кулисной цапфы	▽▽ 6
Золотниковая скалка	▽▽ 7	Проушины тяг и подвесок кулисного механизма	▽▽ 6
Золотниковый диск (внутренняя поверхность)	▽▽ 6	Бандаж по кругу катания	▽▽ 4
Стенки ручьев золотникового диска	▽▽ 6	Пальцы кривошипов	▽▽ 7
Притирочная лента в золотниковом диске	▽▽ 6	Шейка паровозной оси	▽▽ 7
Поверхность по наружному диаметру золотникового диска	▽▽ 5	То же при накатке роликом	▽▽ 8
Уплотняющее кольцо сальников поршневого и золотникового	▽▽ 7	Торцевая поверхность ступицы с внутренней стороны	▽▽ 6
		Наружная торцевая поверхность ступицы пальца кривошипа	▽▽ 6
		Шейка тендерной оси	▽▽ 7
		То же при накатке роликом	▽▽ 8
		Запечник шейки тендерной оси	▽▽ 7
		Пальцы контркривошипа	▽▽ 7
		Торцевая внутренняя поверхность шайбы контркривошипа	▽▽ 6
		Буксовый подшипник	▽▽ 6

Продолжение табл. 43

Наименование деталей и типы поверхностей	Классы чистоты рекомендуемые	Наименование деталей и типы поверхностей	Классы чистоты рекомендуемые
Торцевая шайба (сторона прилегания к центру)	▽▽ 5	Палец под запрессовку	▽▽ 6
Буксовые наливники	▽▽ 5	Вырезы в балансирах под призму . .	▽▽ 4
» челюсти	▽▽ 6	Призма	▽▽ 5
Буксовый клин	▽▽ 6	Втулки рессорного подвешивания . .	▽▽ 6
Буксовая накладка	▽▽ 6	Места под втулки рессорного подвешивания	▽▽ 5
Втулки рессорного подвешивания . .	▽▽ 5	Втулки тормозной передачи	▽▽ 5
Валики рессорного подвешивания . .	▽▽ 6	Места под втулки тормозной передачи	▽▽ 4
Ножи рессорного подвешивания . .	▽▽ 5		
Призмы рессорного подвешивания . .	▽▽ 5		
Валики тормозной рычажной передачи	▽▽ 6		
Втулки и отверстия тормозной рычажной передачи	▽▽ 5		
Поверхности паро-воздушного насоса:		<i>Поверхности под специальные сопряжения</i>	
а) плоский золотник	▽▽ 8	Привалочная поверхность цилиндра к раме	▽▽ 4
б) поверхности под плоский и разпоршневой золотник	▽▽ 8	Конус скалки	▽▽ 6
в) вертикальный золотник	▽▽ 8	Горловина кулака	▽▽ 6
г) место под вертикальный золотник д) паровой и воздушный цилиндры . .	▽▽ 7	Конус валика кулака	▽▽ 7
е) уплотняющие кольца	▽▽ 7	Конические отверстия в кулаке под валик	▽▽ 6
Поршень пресс-масленки	▽▽ 9	Рамочные дышловые подшипники . .	▽▽ 6
Цилиндр пресс-масленки под поршень	▽▽ 8	Рамка дышла	▽▽ 6
Притирочная поверхность крана котла под заслонку	▽▽ 9	Конические отверстия в проушинах дышлов	▽▽ 6
Заслонка крана котла	▽▽ 9	Конусы валиков сочленения дышлов	▽▽ 7
Внутренняя поверхность водяного конуса инжектора	▽▽ 7	Отверстия в проушинах золотниковых тяг и подвесок кулисного механизма	▽▽ 6
Внутренняя и наружная поверхности парового конуса инжектора . .	▽▽ 7	Буксовые струнки	▽▽ 6
Притирочные поверхности пробок, клапанов, седел и корпусов кранов арматуры котла	▽▽ 8	Притирочная лента цилиндров и цилиндрических крышек	▽▽ 7
Притирочные поверхности крана машиниста и воздухораспределителя . .	▽▽ 8	Притирочная лента корпуса крана котла	▽▽ 8
		Поверхность пальца под насадку контркривошипа	▽▽ 5
<i>Поверхности под запрессовку</i>		Отверстие в контркривошипе под насадку	▽▽ 5
Цилиндр под втулку	▽▽ 4	Отверстие под болт в контркривошипе	▽▽ 5
Цилиндрическая втулка	▽▽ 4	Болт для крепления контркривошипа	▽▽ 6
Золотниковая »	▽▽ 4	Место на контркривошипе под шайбу	▽▽ 5
Место под запрессовку золотниковой втулки	▽▽ 4	Отверстие шайбы контркривошипа . .	▽▽ 5
Поршневая скалка под запрессовку	▽▽ 6	Буксовая шайба	▽▽ 6
Отверстие в диске под скалку	▽▽ 6	Цилиндровые болты	▽▽ 6
Дышловые втулочные подшипники . .	▽▽ 6	Болты междурамного крепления . . .	▽▽ 6
Отверстия в дышлах под втулки . . .	▽▽ 5		
Дышловые стальные втулки (под плавающие)	▽▽ 6	<i>Свободные поверхности</i>	
Втулки сочленения дышлов	▽▽ 6	Дышла (кроме выемок)	▽▽ 6
» кулисного механизма	▽▽ 6	Дышла в выемках	▽▽ 5
Отверстия кулисного механизма (под втулки)	▽▽ 5	Маятник	▽▽ 6
Букса (место под запрессовку подшипника)	▽▽ 4	Эксцентриковая тяга	▽▽ 6
Буксовый подшипник	▽▽ 5	Золотниковая тяга	▽▽ 6
Бандаж под центр	▽▽ 4	Поводок маятника	▽▽ 6
Центр под бандаж	▽▽ 4	Подвеска	▽▽ 6
Отверстие в центре под ось	▽▽ 5	Кулиса	▽▽ 6
» » » палец	▽▽ 5	Внутренняя грань бандажа	▽ 3
Ось под запрессовку	▽▽ 6	Средняя часть золотниковой скалки	▽▽ 5
		Поршневой диск по наружному диаметру	▽▽ 5
		Средняя часть оси	▽▽ 4

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЧИСТОТЫ ПОВЕРХНОСТИ

Приборы для измерения чистоты поверхности — профилографы и профилометры — по принципу действия разделяются на контактные и бесконтактные.

Профилометры служат для характеристики чистоты поверхности одним из числовых параметров: средней квадратической, среднеарифметической или наибольшей высотой неровностей профиля.

Профилографы дают изображение профиля поверхности в масштабе, что позволяет

непосредственно измерить элементы профиля.

Контактные приборы построены по принципу ощупывания контролируемой поверхности стальной, сапфировой или алмазной иглой. Запись или наблюдения колебаний ошупывающей иглы осуществляются через передаточное устройство, которое бывает оптическим (профилограф Левина), электрическим (электродинамический профилометр Киселёва) и пьезоэлектрическим.

В бесконтактных приборах чувствительным элементом большей частью являются световые лучи. Бесконтактные приборы бывают

также пневматические, электрические и рефлектометрические.

Из числа многих типов приборов для оценки чистоты поверхности наибольшее распространение получили следующие.

Профильограф Левина ИЗП-17—малогабаритная модель, предназначенная для использования как в лабораториях, так и в цехах. При необходимости исследовать поверхность крупной детали прибор может быть снят со штатива и установлен непосредственно на деталь.

Прибором можно исследовать плоскости и внешние цилиндрические поверхности в направлении их образующей.

Прибор осуществляет фотографическую запись микрогеометрии поверхности в масштабе увеличения по вертикали $250-5\,000\times$ и по горизонтали $25-50\times$, а также даёт возможность производить визуальное определение H_{\max} . Измерение прибором охватывает шкалу чистоты поверхности от 1-го до 12-го класса включительно.

Электродинамический профилометр Киселёва КВ-4 удобен для цеховых условий. Устройство прибора позволяет применить его для исследования поверхности деталей различных конфигураций и габаритов.

Прибор показывает по шкале среднее квадратическое значение микронеровностей проверяемых поверхностей в пределах от 5-го до 14-го класса чистоты включительно.

Двойной микроскоп Линника МИС-11 основан на принципе светового сечения исследуемой поверхности, предназначается для контроля поверхностей наиболее распространённых классов чистоты от 3-го до 9-го.

С помощью прибора определяется H_{\max} визуальным наблюдением или обмером фотографий профиля, полученных на приборе.

Масштаб увеличения — 80, 145 и 240.

Микроинтерферометр Линника ИЗК-46 основан на принципе явлений интерференции света и является наиболее точным прибором для измерения микронеровности поверхностей. Величина неров-

ностей H_{\max} определяется по искривлению интерференционных полос. Отсчёт производится визуальным наблюдением или по фотографии профиля исследуемой поверхности.

Масштаб увеличения микроскопа от 40 до 1100.

Прибор применяется для контроля поверхностей от 7-го до 14-го класса чистоты.

Для систематического контроля чистоты поверхностей изделий на рабочих местах и при приёмке наиболее простым, быстрым и экономичным и в то же время достаточно точным для цеховых условий является метод глазомерного сравнения чистоты поверхностей изделий с соответствующими образцами, обработанными и аттестованными по классам чистоты ГОСТ 2789-51. Отражающая способность материала (сталь, чугун, цветные металлы и др.) оказывает влияние на глазомерную оценку чистоты поверхности. Поэтому образцы следует изготавливать из тех же материалов, из которых изготовлены изделия, подлежащие контролю по чистоте поверхности.

Внешний вид поверхностей, полученных различными видами механической обработки (точение, фрезерование, шлифование и др.), бывает различный для одних и тех же классов чистоты.

Поэтому набор образцов общего назначения должен содержать образцы, полученные теми же видами механической обработки, которые применяются на предприятиях, использующих образцы. Для конкретных ответственных деталей и операций механической обработки целесообразно иметь образцы чистоты поверхности в виде самой обрабатываемой детали или части её.

Образцы общего назначения изготавливают по наибольшему пределу интервала, соответствующего данному классу чистоты.

Такой образец характеризует одновременно нижний предел следующего, более грубого класса чистоты.

Для удобства обращения и лучшей сохранности образцы укрепляют в специальных держателях. Держатели с образцами должны храниться в футлярах.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Апарин Г. А. и Городецкий И. Е. Допуски и технические измерения. Машгиз, М., 1953.
2. Дьяченко Н. Е., Войштейн В. Э., Левин Б. М., Бернович Е. С. и Коломийцев Т. С. Современные приборы для измерения неровностей поверхности деталей машин. Изд. АН СССР, 1950.
3. Ляпин Т. В. Классы чистоты для паровозных деталей. ЦНИИ МПС, 1949.
4. Лесохин А. Ф. Допуски и технические измерения. Машгиз, М., 1951.
5. Рудыкин Г. А. Техника измерения размеров в машиностроении. Машгиз, М., 1953.
6. Сборник материалов и инструкций. Контроль средств измерения в машиностроении. Комитет по делам мер и измерительных приборов при СНК СССР, 1948.
7. Справочник инструментальщика, Машгиз, М., 1949.
8. ГОСТ 3951-47. Основные метрологические термины и определения.
9. ГОСТ 1453-42. Образцовые меры и образцовые измерительные приборы.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ



При пользовании настоящим указателем следует иметь в виду, что каждое название упоминается один раз и, как правило, не повторяется в перестановке слов.

В указателе упоминается вначале (за редким исключением) основное слово, а потом его определение, например: «Бруски шлифовальные», а не «Шлифовальные бруски».

В большинстве случаев, когда формула, определение, уравнение, метод, способ и пр. носят название по фамилии учёного, инженера, новатора производства, в указателе приводится лишь фамилия (без сопровождающего термина), например: «Назаров А. Г.», а не «Способ Назарова А. Г.» и не «Назарова А. Г. способ».

А

Автоматы кузнечно-прессовые 177, 178
— сварочные 257
Агрегаты плавильные 106
— сварочные 255
Азотирование 296, 315
Акимов А. В. 406
Алигирование 296
Алюминий 21, 22
Аносов П. П. 9, 311
Антонов А. Ф. 400

Б

Баббиты 43
Бабошин А. Л. 10
Байков А. А. 10
Баланс печи тепловой 160
Бардин И. П. 10
Бартельс Н. А. 10
Батищев Я. 322
Бегуны смешивающие 117
Беляев Н. И. 10
Бенардос Н. Н. 10, 253
Бериллий 23
Беспровозанный И. М. 323, 326
Бирюков В. М. 460
Бондаренко А. Д. 263, 264
Борткевич Г. С. 407
Бочвар А. А. 10
Брак в литейном производстве 132
— и дефекты поковок 247
Бронзы 23, 24, 25
Бруски шлифовальные 468

В

Вагранка 106, 108
Вал 594
Ванадий 143, 144

Вариации измерительных мер 631
— — приборов 631
Взаимозаменяемость 592
Вентиляторы 165, 166
Вес заготовок 193, 196, 197, 199
— поковок 186
Виброгаситель 405
Висмут 23
Влияниековки на механические свойства стали 144
— — на величину зерна стали 145
— температуры нагрева на структуру стали при ковке 145
— химического состава на свойства стали 143
Вологдин В. П. 10
Володин В. С. 263
Волокнистость стали 144
Вольфрам 143
Время нагрева заготовок 147, 148, 149
Выбор измерительных инструментов 633
— марки твёрдого сплава для изготовления режущих инструментов 393
— системы и классов точности 604, 664, 665
Высадка холодная 244
Вытяжка 180

Г

Гадолин А. В. 322
Газопроницаемость 12
Гевелинг Н. В. 10
Генераторы ацетиленовые 282
Геометрия режущей части инструмента 327

Гибка 184
Гидравлические приводы станков 540
Глина формовочная 44
Глубиномер 639
— индикаторный 640
Головки шлифовальные 468
Горелки газовые 152
— сварочные 282
Гори 150
Гребёнки 460, 466
Грейфер 114
Группы посадок 594
Гусев В. Н. 414

Д

Дезинтегратор 117
Действительное значение измеряемой величины 631
Деление шкалы 631
Дерягин Б. В. 328
Деформации при сварке 266
Диаграмма состояния «железо — углерод» 293
Диаметр номинальный 592
Дикушин В. А. 323
Доброхотов Н. Н. 147
Доводка металла в 370, 376, 413
Долбяки 465
Долговечность накатанных деталей 568
Допуск посадки 594
Допуски 593
Допуски и посадки 592
— — , международная система 613
— на поковки 193, 223, 224, 235
Дробеструйный наклёп 575
Дробь для дробеструйного наклёпа 582
Дульчевский Д. А. 253

Е

Евангулов М. Г. 10

ЖЖакеты 52
Жидкости охлаждающие 329, 377**З**Зависимость между допуском, диаметром и классом точности 553
Заготовка кузнечная 186
—, выбор баз 379
—, подготовка для обработки резанием 379
—, припуск на обработку 379
—, разметка 379
Закалка 294, 307
— поверхностная 301
Закручивание 184
Заточка режущих инструментов 413
Зворыкин К. А. 322
Зеленов А. Н. 280
Зенкерование 345
Зенкеры 422
Зенковки 424
Зобнин Н. П. 622, 623
Зубофрезерование 359**И**Известия металлургический 20
Износков А. А. 10
Измерения 630
— абсолютные 630
— бесконтактные 631
— контактные 631
— косвенные 631
— относительные 630
— прямые 631
— технические в машиностроении 630
Износ режущей части грёбеюк 362
— — — зенкеров 346
— — — метчиков 362
— — — плашек 362
— — — протяжек 368
— — — развёрток 346
— — — резцов 326
— — — свёрл 342, 343
— — — фрез 352
Износоустойчивость накатанных деталей 568
Индикатор часового типа 640
Инструменты абразивные 467
— для накатывания роликами 564
— для свободнойковки 186
— доводочные 376
— измерительные 633
— металлорежущие 393Инструменты измерительные универсальные 635
— —, оптические 652
Интервалыковки температурные 146**К**Калибры гладкие 652
— конусные 658
— листовые для измерения глубин и высот уступов 652
— резьбовые 656
— специальные 656
Калакуцкий Н. В. 10
Керекеш В. В. 148
Классификация отливок 33
Классы точности 553
Классы чистоты поверхностей 324, 325, 663
Ковка в подкладных штампах 186
— горячая 146
— холодная 146
Колесов В. А. 383, 407
Конвертеры 113
Контроль качества сварки 267
— процесса дробеструйной обработки 583
— размеров изделий 633
— температуры нагрева 164
— чистоты поверхностей 663
Краны шаржирные 114
Краски отличительные 51
— формовочные 48
Кремний 22, 143
Кривоухов В. А. 407
Круги шлифовальные 467, 470
Кузнецов В. Д. 323
Кузнечно-прессовые автоматы 177, 178
Кузнечные заготовки 186, 193, 197, 199
Кулибин И. И. 322
Куманин И. Б. 45, 46
Курдюмов Г. В. 10
Курнаков И. С. 10**Л**Лавров А. С. 10
Лигатура алюминиевая 25
— медная 26
Линейки измерительные 635
— — — стальные 635
— поверочные 645
— синусные 643
Линия нулевая 594
Литьё в металлические формы 57
— кокильное 54
— под давлением 53
Литьё стальное 79
— цветное 88
— центробежное 56Литьё чугуниое 64
Ломоносов М. В. 9, 322
Лясс А. М. 44, 46**М**Магний 22
Манипуляторы 180
Марганец 22, 143
Марки инструментальных сталей 394
Маркировка деревянных моделей 51
Материалы абразивные изоляционные 14
— металлокерамические 340
— связующие 45
— формовочные 43
— шихтовые 15
Машины для сепарации металлических частей 116
— горизонтально-ковочные 178, 180
— дробильные 116
— просеивающие 116
— размалывающие 116
— разрыхляющие 117
— смешивающие 116
— формовочные 118
Медь 22
Менделеев Д. И. 10
Мера 630, 631
—, действительное значение 631
—, номинальное значение 631
Меры длины 630
— — — концевые 647
— — — концевые для измерения калибров 649
— — — поверки измерительных приборов и инструментов 648
— образцовые 630
— угловые 642
Металлы цветные 21, 41
Методы измерений 630
Метчики 453
Микрометр 637
— для измерения толщины листового материала 637
— — — стенок труб 638
— резьбовой 638
— рычажный 641
Миниметры 642
Микророшки для доводки металлов 377
Минкевич А. Н. 320
Минкевич Н. А. 10
Модели литейные 48, 49
Модернизация станков для перевода на скоростное резание 548
—, использование существующих резервов 558
— — колёсно-токарных 558
Модернизация станков осевых 555
—, повышение быстроходности и мощности 548

Модернизация станков, повышение жёсткости и виброустойчивости 554
 — —, проверочный расчёт зубчатых колёс 548
 — —, расчёт валов 552
 — —, расчёт подшипников 552
 — —, расчёт ремённых передач 550
 — —, расчёт фрикционных муфт 551
 — —, элементы механизма подачи 553
 — —, способы усиления слабых звеньев станка 554
 — — шеечно-накатных 557
 Молибден 143
 Молоты ковочные 169, 171, 173, 174, 175
 — рессорные 178
 — штамповочные 175
 Мусин-Пушкин А. А. 9

Н

Нагрев заготовок 147, 148, 149
 — стали дляковки 146
 Назаров А. Г. 259, 280
 Накатывание роликами 563
 — —, инструменты 564
 — —, прочность накатанных деталей 568
 — —, режим 566
 — —, станки 565
 Наклёпывание дробью 575
 — —, дробь 582
 — —, контроль 583
 — —, оборудование 577
 — —, упрочнение изделий 583
 Напряжение при сварке 266
 Нартов А. К. 322
 Натяги 594
 Никель 22, 143
 Никитин В. П. 10, 254
 Нитроцементация 317
 Ножницы 177
 Нутромер индикаторный 640
 Нутромеры микрометрические 639

О

Обозначение предельных отклонений размеров на чертежах 621
 Оборудование для выбивки и очистки литья 125
 — — дробеструйного наклёпа 577
 — — кузнечное 169
 — — литейных цехов 114
 — — сварочное 253, 280, 287
 Обрезка заусениц 227
 Обухов П. М. 10

Огнеупоры 11
 Одинг И. А. 10, 569
 Окнов М. Г. 10
 Олово 22
 Опоки литые 52
 Оптические измерительные приборы 652
 Осадка 180
 Осипов Ц. 322
 Осциллятор 256
 Отверстие 594
 Отделка колеблющимися брусками 377
 Отжиг 294
 Отклонения предельные формы и расположения поверхностей 621
 Отливки из белого чугуна 36
 — — ковкого чугуна 37
 — — отбелённого чугуна 37
 — — серого чугуна 33
 — — стальные 38
 — — цветные 40
 Отпуск 295
 Охлаждение поковок 149

П

Павлов М. А. 10
 Паспортизация станков 559
 Паста шлифовальная 467
 Передача 184
 Пескомёты 123
 Песок формовочный 44
 Петров В. В. 9
 Печи 112, 150, 293
 — для термической обработки 293, 297
 — дуговые 110
 — кузнечные 150, 153, 164
 — литейные пламенные 112
 — мареновские 113
 — тигельные 112
 — электрические 107, 110, 111
 Пирометры 164
 Пластинки минералокерамические 340
 — твёрдого сплава 402
 Пластичность 143
 Плашки 456, 463
 Плитки 642
 Плиты поворочные и размоточные 645
 — подопочные 52
 — модельные 52
 Плоскость скалывания 323
 Погрешности глубиномеров 639
 — — грубые 632
 — — для внутренних измерений 639
 — — измерений 632
 — — гладких изделий 635
 — — индикаторных скоб 642
 — — индикаторов 640
 — — методов измерений длин 634
 — — микрометров 638, 639
 — — рычажных 641

Погрешности нутрометров 639
 — — систематические 632
 — — случайные 632
 — — угольников 644
 — — штангенглубиномеров 636
 — — штангенрейсмассов 636
 — — штангенциркулей 636
 Посадки 593
 — в системе ОСТ 595
 — переходные 595
 — подвижные 598
 — пресовые 594
 — —, предельные отклонения 596
 Показание прибора измерительного 631
 Ползунов И. И. 322
 Поляков С. Т. 404
 Порог чувствительности измерительного прибора 631
 Постоянная измерительного прибора 631
 Правка поковок 211
 Пределы измерения прибора 631
 Прессы ковочные 170, 171, 172
 — — механические 176, 178
 — — обрезающие 172
 Приборы для измерения чистоты поверхностей 665
 — — измерительные оптические 652
 Приводы станков гидравлические 540
 — — —, гидронасосы 541
 — — —, гидросистема с двумя насосами 546
 — — —, рабочие цилиндры 543
 — — —, распределительные устройства 545
 — — —, регулирующие устройства 544
 Припуски литейные 50, 51
 — — на механическую обработку 193, 220, 224, 225
 — — на усадку 50
 Приспособления для накатывания роликами 565
 Притирка 377
 Проволочки для измерения среднего диаметра резьбы 651
 Проводимость кузнечных печей 153, 165
 — — литейных печей 107, 109, 111
 — — кузнечного оборудования 172, 173, 174, 175
 Протягивание 366
 Протяжки 415
 Прошивка 183
 Профилограф Левина 664
 Электродинамический Киселёва 666
 Прочность накатанных деталей 568

Р

Развёртки 427
 — конические 432
 — котельные 432
 Развёртывание 345
 Размер действительный 631
 Рассверливание 342
 Расход воздуха в кузнечных печах 153, 166
 — пара 174
 — топлива 166
 Расчёт размеров печи 164
 — режимов резания металлов 379
 Ребиндер П. А. 328
 Резание металлов 322
 — —, геометрия режущей части инструмента 327
 — —, изменения углов в процессе резания 327
 — —, расчёт и выбор режима 380
 — —, скорость резания 328
 — —, стойкость резца 326, 328, 334
 — —, усилия резания 327
 — —, явления, возникающие при резании, 323
 Резка газовая 280, 283
 — заготовок 211
 Резцы 394, 396
 — для обточки бандажей 408
 — резбовые 459
 — с виброгасителем 405
 — специального назначения 405
 — тангенциальные 412
 — фасонные 408
 — чашечные 405
 Резьбопирезание 362
 Ролики для измерения среднего диаметра резьбы 651
 — — накатывания 565
 Рубка 183
 Рубцов Н. Т. 10
 Рыжков Д. И. 405

С

Сборка селективная 612
 Сварка в паровозном и вагонном хозяйстве 253
 — газовая 280, 283
 — газопрессовая 290
 — дуговая 253, 260
 — кузнечная 184
 — электроконтактная 287
 Сверление 342
 Свёрла 416, 420, 421
 Свинец 22
 Севергин В. М. 9, 322
 Сегменты шлифовальные 468
 Сёмкин И. С. 96
 Сера 143
 Сидоров М. В. 322
 Силикокальций 20
 Силицирование 256
 Силумин 25

Система вала 594
 — отверстия 594
 Скобы индикаторные 641
 — рычажные 641
 Скорость резания 328
 Славянов Н. Г. 10, 253
 Смеси стержневые 44, 46, 47, 48
 — формовочные 44
 Соболевский П. Г. 9
 Соколов И. А. 10
 Сталь графитизированная 40
 Станки 476
 — вертикально-сверлильные 486, 487
 — вертикально-фрезерные 492, 494
 — внутришлифовальные 503
 — гидравлические приводы 540
 — горизонтально-расточные 488
 — горизонтально-фрезерные 490, 494
 — для накатывания роликами 565
 — — нарезания конических зубчатых колёс 496
 — — обработки кулис 532
 — — — пальцев кривошипов колёсных пар и расточки отверстий под пальцы кривошипов 528
 — — — паровозных дышел 533
 — — — цилиндров паровозов 535
 — — отливки деталей в металлические формы 127
 — долбежные 500, 501
 — заточные 501
 — зубофрезерные 494
 — карусельные для обработки колёсных центров, колёс и расточки бандажей 515
 — колёсно-токарные для обточки бандажей колёсных пар 519, 520, 523
 — копировально-фрезерные 537
 — круглошлифовальные 501
 — металлорежущие 476
 — осевые центrovально-отрезные 506, 508
 — осе-шечные для обработки шеек осей колёсных пар 513
 — —, паспортизация 559
 — плоскошлифовальные 504
 — перечерно-строгальные 496, 497
 — продольно-строгальные 499
 — радиально-сверлильные 487
 — специализированные для железнодорожного транспорта 506
 — строгальные 496

Станки токарно-винторезные 476, 480, 481
 — токарно-карусельные 484, 486
 — токарно-лобовые 484
 — токарно-многолезцовые 510
 — токарно-осевые для обработки концов осей 508
 — — — осей по всей длине 512
 — токарно-револьверные 483
 — универсально-фрезерные 490, 494
 — фрезерные 490
 — шлифовальные 501
 Старение 296
 Стойкость зенкеров 348
 — метчиков 366
 — плашек 366
 — протяжек 369
 — развёрток 348
 — резцов 328, 334, 340
 — свёрл 343
 — фрез 353, 358, 360
 — штампов высочных, гибочных 233
 — — молотовых 220, 221
 — — обрешных 229
 Стругание 329
 Стружка 323
 Стружколоматель 329
 Сурьма 23
 Сушка форм и стержней 99, 105
 Сушила 100, 102, 104

Т

Тепловой баланс печи 160
 Термическая обработка 293
 Техника безопасности в кузнечном производстве 250
 — — в литейном производстве 139
 — — при работе на металлорежущих станках 562
 — — — резании металлов 562
 — — — сварке металлов 269
 Тиме И. А. 322, 323
 Топливо для кузнечных печей 166
 — — литейных печей 11, 12
 Точение 329
 Точность измерительного прибора 631
 — меры 631
 — метода измерения 632
 — отсчёта 631
 Трансформаторы сварочные 254

У

Угар 147
 Углерод 143
 Угломеры 642

Угольники 643
 Уклоны формовочные 50
 — штамповочные 213
 Упрочнение изделий в результате дробеструйного наклёпа 583
 Уровни рамные и слесарные 645
 Усачёв Я. Г. 322, 323
 Усилия измерительные 631
 — резания 327
 Устройства стружкоотводные 399

Ф

Ферромарганец 19
 Ферросилиций 19
 Феррохром 20
 Флюсы 19, 21
 Формовка 64
 — двухъярусная 96
 Формовочный ручей 214
 Форсунки 152
 Фосфор 143
 Фрезерование 348, 357
 Фрезы 437
 — зуборезные 463
 — концевые обдирочные 445
 — летучие 445
 — резьбовые 461
 — фасонные 449

Х

Холодная посадка 244
 Холостов В. Е. 10
 Хренов К. К. 10
 Хром 143
 Хромирование 296, 320

Ц

Цвета каления 164
 Цементация 296, 310, 320
 Цена деления шкалы 631
 Цианирование 296, 316, 319
 Цинк 23

Ч

Чебышев В. Л. 324
 Челюсткин А. Н. 323
 Чернов Д. К. 10
 Чижиков Ю. М. 148
 Число ударов при штамповке на молотах 169, 225
 Чистота обработанной поверхности 324, 325
 — поверхностей режущих инструментов 474
 Чувствительность измерительного прибора 631
 Чугун 15, 33

Ш

Шаблоны для полуокружностей вогнутых 650
 — — выпуклых 650
 — радиусные 648, 650
 — — вогнутые 650
 — — выпуклые 650
 — резьбовые 648
 Шайбы электромагнитные 114
 Шихта 20, 21

Шихта, расчёт 26, 32
 Шкала 631
 Шкурки шлифовальные 467
 Шлакоустойчивость 12
 Шлифование 370
 Шпат плавиковый 20
 Штамповка листовая 245
 — на гидравлических прессах 171
 — — горизонтально-ковочных машинах 232
 — — молотах 209
 — — безоблойная 230
 — — фрикционных прессах 243
 Штамподержатели 219
 Шампы для горизонтально-ковочных машин 233
 — — обрезающих прессов 228
 — — молотовые 211
 Штангенглубиномер 636
 Штангензубомер 637
 Штангенрейсмасс 636
 Штангенциркуль 635
 Штейнберг С. С. 10

Щ

Щупы 651

Э

Электронагрев 166
 Электроды 152, 154, 166
 Эталон мер 630

Техн. редактор *Д. М. Юдзон*
Переплёт худ. *Б. В. Шварц*

Сдано в набор 1/VII 1953 г.
Редактирование тома закончено 27/XI 1953 г.
Подписано к печати 29/I 1954 г.
Бумага $70 \times 108^{1/16} = 21$ бумажных—57,54 печ. л
Уч.-изд. 84,42 л. ЖДИЗ 76526. Зак. 1422.
Т 01134. Тираж 10 000 экз.

1-я тип. Трансжелдориздата МПС
Б. Переяславская ул., д. 46

О П Е Ч А Т К И

Страница	Колонка	Строка	Напечатано	Должно быть
45	табл. 60	3 графа	—	Характер затвердевания «Обратимый» относится к каннфоли
57	правая	31 сверху	(20—40)	(—20 ÷ —40)
79	на фиг. 25, б	—	—	Кривые обозначают давление газа в ат, снизу вверх: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15 и 20
110	правая	15 сверху	(фиг. 76)	(фиг. 76, табл. 113)
127	фиг. 91 а	—	Ленточный пескоструйный барабан	Ленточный дробеструйный барабан
178	правая	29 снизу	Оргаметалла,	Оргаметалла для молотов,
179	табл. 51	4 графа	κ,	κ
193	правая	16 сверху	доходов	отходов
212	»	13 снизу	металла плоскости	металлом полости
215	левая	11 и 10 снизу	86, высота ручья $a=0,45$ $h \geq 0,2H$ или $\geq 0,2 D$	86.
236	правая	17 снизу	±	—
290	»	4 снизу	СГП-1рп	СГП-1р
292	табл. 44	—	время сварки в мин.	время сварки в сек.
331	правая	10 снизу	в табл. 20—24	в табл. 12 и 20—24
337	»	20 »	1,45	1,75
343	»	12 »	в табл. 44	в табл. 49
350	левая	6 »	мм/об	мм/зуб
367	табл. 111	Заголовок	плашками [19]	плашками
381	правая	26 снизу	в кот — 7,8	в л. с.—7,8
382	»	13 сверху	табл. 22	табл. 27
382	»	5 снизу	$\frac{7,6}{7,8} = 0,974$	$\frac{7,6}{7,8 \cdot 0,736} \approx 1,2$
383	левая	21 сверху	$\frac{5,53}{7,8} = 0,71$	$\frac{5,53}{7,8 \cdot 0,736} \approx 0,96$
383	»	16 снизу	$\frac{6,1}{7,8} = 0,78$	$\frac{6,1}{7,8 \cdot 0,736} \approx 1,05$
383	правая	3 снизу	$K_{p\delta}$ кг.	$K_{p\delta}$.
383	»	1 »	табл. 22—28	табл. 25—32
389	левая	17 сверху	табл. 67—69	табл. 80—83
523	»	20 снизу	фиг. 45	фиг. 46