

**САМАРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**
имени академика
С.П. КОРОЛЕВА

В.И. ЛЕПИЛИН

**РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ
АВИАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
ПРИ ТОЧЕНИИ**

**САМАРА
2000**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА**

В.И. ЛЕПИЛИН

**РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ АВИАЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ ПРИ ТОЧЕНИИ**

Учебное пособие

САМАРА 2000

Режимы резания авиационных материалов при точении: Учеб. пособие / *В.И. Лепилин*, Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 2000, 128 с.

ISBN 5-7883-0092-4

Излагаются общая методика расчета наиболее выгодного режима резания и пример ее использования для оптимизации процессов точения (обточки, расточки, отрезки). Приводятся материалы по выбору оптимальной конструкции и геометрии инструмента, нормативные характеристики обрабатываемости конструкционных материалов и другие сведения, необходимые для расчета режимов резания. Даны конкретные примеры расчета режимов резания при точении.

Предназначено для студентов, изучающих курс «Резание, станки и инструменты» и выполняющих домашнее задание или курсовую работу, и может быть полезно при выполнении дипломных проектов по технологии механической обработки. Выполнено на кафедре «Механическая обработка материалов».

Табл. 2. Ил. 15. Библиогр.: 23 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королева

Рецензенты: А. В. Г а р а с о в, В. Г. У л а н о в

ISBN 5-7883-0092-4

© Лепилин В.И., 2000

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2000

ПРЕДИСЛОВИЕ

Раздел «Физические основы процесса резания» в различных курсах технологии механической обработки заканчивается изложением методик выбора оптимальной геометрии инструмента и расчета наиболее выгодного режима резания, которые затрагивают большой круг вопросов, связанных с физикой процесса резания, и в этом смысле являются обобщением наиболее важного раздела курса.

Изложенная здесь методика является не только средством осуществления так называемого «аналитического» расчета режима резания, но и представляет собой теоретическую основу и методологию разработки нормативных сборников по режимам резания, которые периодически издаются центральным бюро промышленных нормативов по труду.

В целях закрепления и углубления знаний по основам резания металлов, приобретения навыков в выборе оптимальной геометрии инструмента и расчета режимов резания программы курсов предусматривают выполнение студентами домашнего задания или курсовой работы. Главной целью учебного пособия и является оказание помощи студентам (особенно вечерней формы обучения) при выполнении этих работ.

Различные расчеты прикладного характера, в том числе и оптимальных режимов резания, в большинстве случаев выполняются с использованием эмпирических зависимостей сил резания и стойкости инструмента от различных факторов. Нахождению этих величин посвящено большое количество исследовательских работ, результаты которых опубликованы в различных статьях, сборниках трудов, монографиях и справочниках. Если для углеродистых и легированных сталей, чугуна, медных сплавов и некоторых других групп конструкционных материалов эти исследования обобщены достаточно полно в нормативах [6-7], то для труднообрабатываемых материалов (коррозионно-стойких, жаростойких и титановых сплавов) в этом

направлении сделаны лишь первые шаги [5-10]. Работа автора данного пособия над этим вопросом позволила сделать более полные обобщения, в том числе и результатов исследований, опубликованных в последние годы. В целом приложения 3-7 представляют собой наиболее полную и компактную сводку «нормативных» характеристик обрабатываемости конструкционных материалов и могут быть полезны не только студентам при выполнении курсовых и дипломных заданий, но и технологам машиностроительных предприятий в их практической деятельности.

1. ОБЩАЯ МЕТОДИКА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ И ГЕОМЕТРИИ ИНСТРУМЕНТА И РАСЧЕТА НАИВЫГОДНЕЙШЕГО РЕЖИМА РЕЗАНИЯ

1.1. НАИВЫГОДНЕЙШИЙ РЕЖИМ РЕЗАНИЯ И ПОРЯДОК ВЫБОРА ЕГО ЭЛЕМЕНТОВ

Основной целью оптимизации операции любого производственного процесса, в том числе и обработки резанием, обеспечивающей изделию необходимое качество (геометрическую точность, точность размеров, шероховатость и т.д.), является достижение максимальной производительности при минимальной себестоимости выполнения операции. Производительность обработки тем выше, чем меньше так называемое основное технологическое время или, что то же самое, для обработки резанием - машинное время.

Машинное время обработки определяется как

$$T_{\text{маш}} = (L / v_s) i,$$

где L - путь (мм), который должен пройти инструмент в процессе обработки, складывающийся из участка врезания l_1 (рис. 1), зависящего от типа инструмента, его геометрии и глубины резания t , из длины обрабатываемой поверхности l и некоторого перебега инструмента l_2 , необходимого для того, чтобы убедиться, что инструмент закончил процесс резания, т.е. $L=l_1+l+l_2$; $v_s=s_m$ - скорость движения инструмента в направлении подачи или, что то же самое, минутная подача s_m (мм/мин), $s_m=sn$, зависящая от подачи s (мм/об) и частоты вращения n (об/мин), шпинделя станка; $i=(\Delta/t)$ - число проходов инструмента, необходимое для удаления всего припуска Δ на обработку, если глубина резания при каждом проходе равна t (мм).

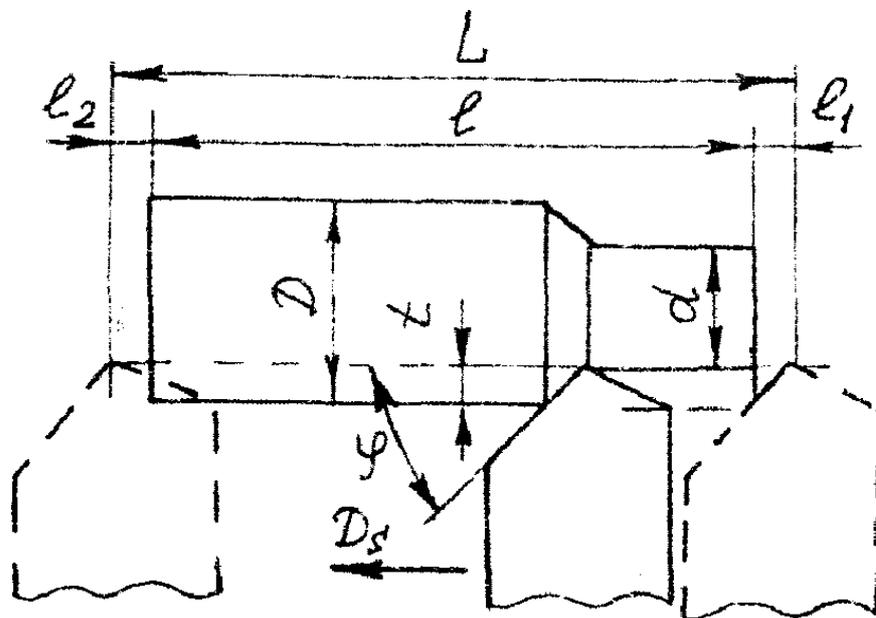


Рис. 1. Схема к определению машинного времени обработки

С учетом сказанного машинное время обработки может быть выражено как

$$T_{\text{маш}} = \frac{l_1 + l + l_2}{sn} i. \quad (1.1)$$

Имея в виду, что частота вращения шпинделя станка может быть выражена через скорость резания v (м/мин) и диаметр поверхности резания D

$$n = 1000v / \pi D,$$

формулу (1.1) можно записать и в форме

$$T_{\text{маш}} = \frac{(l_1 + l + l_2) \pi D \Delta}{1000 v s t} i,$$

где знаменатель представляет собой производительность процесса резания (объем металла в мм^3 , удаленного с заготовки в течение одной минуты):

$$P_p = 1000 v s t. \quad (1.2)$$

Очевидно, чем больше v , s , t , тем выше производительность процесса резания, меньше машинное время и, следовательно, выше производительность операции, а поэтому для достижения наивысшей производительности необходимо, чтобы

$$v s t = \text{max.}$$

В качестве критерия минимальной себестоимости операции можно использовать период стойкости режущего инструмента. Выражение

для периода стойкости, обеспечивающего наименьшую себестоимость операции, можно получить, если переменную долю себестоимости операции выразить в функции от скорости резания, найти первую производную и приравнять ее к нулю (т.е. найти минимум функции) [13]:

$$T_3 = ((1 / m - 1)(T_{см} - e / E)), \quad (1.3)$$

где T_3 - экономический период стойкости режущего инструмента, мин; m - показатель относительной стойкости ($m = (1/z)$); $T_{см}$ - время на смену износившегося инструмента и его подналадку за период его стойкости, мин; e - стоимость эксплуатации инструмента за период его стойкости, коп; E - стоимость станко-минуты, коп.

Для того чтобы определить $T_{см}$, e и E , а вместе с тем и T_3 , необходимо иметь большое количество экономических показателей конкретного производства. Такие данные, как правило, отсутствуют или они недостаточно полны, что и вызывает серьезные затруднения в расчете T_3 .

Учитывая сказанное, часто пользуются «нормативным» периодом стойкости, который отличается от T_3 только тем, что он отражает условия не конкретного производства, а некоторые средние для целой отрасли промышленности. Нормативный период стойкости в зависимости от ряда факторов приводится в нормативах [6-7].

Из изложенного следует, что себестоимость операции будет минимальной, если будут назначены такие t , s , и v , при которых реальная стойкость T инструмента станет равной экономическому периоду стойкости, T_3 .

Так как известно, что

$$T = C_T / v^z s^y t^x, \quad (1.4)$$

то, следовательно, элементы режима резания должны удовлетворять условию

$$v^z s^y t^x = (C_T / T_3) = \text{const.}$$

Таким образом, для достижения наибольшей производительности при минимальной себестоимости операции необходимо, чтобы режим резания (v , s , и t) удовлетворял одновременно двум условиям:

$$v s t = \text{max},$$

$$v^z s^y t^x = (C_T / T_3) = \text{const.} \quad (1.5)$$

Сочетание глубины резания t , подачи s и скорости резания v , которое при выполнении всех технических требований на изготовление детали (или ее поверхности) обеспечивает наибольшую произ-

водительность при наименьшей себестоимости операции (перехода), называется наивыгоднейшим режимом резания.

Из условий (1.5) видно, что если на производительность процесса (первое условие) все элементы режима резания оказывают одинаковое влияние, то на стойкость инструмента (второе условие) те же элементы влияют в различной степени. При обработке с «прямыми» срезами (т.е. когда $t \geq s$), наиболее часто встречающейся в практике, $z > y > x$.

Анализ условий (1.5) при указанном соотношении z , y и x показывает, что все элементы режима резания должны быть выбраны максимально возможными, но при этом необходимо отдавать предпочтение увеличению глубины резания t за счет соответствующего снижения скорости резания v и, если есть в этом необходимость, подачи s . Из двух других элементов режима резания (s и v) предпочтительнее увеличивать подачу s за счет соответствующего уменьшения скорости резания v . Это и определяет порядок выбора элементов режима резания.

1.2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Расчет режимов резания обычно является одним из этапов разработки технологического процесса изготовления детали и выполняется после выбора металлорежущего станка, если технологический процесс разрабатывается для существующего производства (участка, цеха), или предшествует выбору станка, если технологический процесс разрабатывается с целью проектирования нового производства. В последнем случае металлорежущие станки заказываются из числа серийно выпускаемых, а иногда и проектируются специально для выполнения конкретной операции.

Рассмотрим методику расчета наивыгоднейшего режима резания для наиболее распространенного случая практики - технологический процесс разрабатывается для изготовления детали в существующих условиях производства, вопрос о выборе оптимального варианта технологического процесса решен и, следовательно, выбран типоразмер станка, его модель и технические характеристики известны.

Приступая к расчету режима резания, необходимо подробно изучить операционную карту технологического процесса и установить цель операции (перехода), точность и шероховатость поверхности, которые требуется обеспечить в результате выполнения операции. По операционному эскизу выясняется способ установки и закрепления заготовки в приспособлении, качественно оценивается жесткость

системы СПИД («станок - приспособление - инструмент - деталь») и анализируется возможность ее повышения, например, за счет уменьшения «свободной» длины заготовки или применения соответствующего приспособления.

Затем изучаются свойства материала заготовки. При этом устанавливается марка материала и его состояние, определяется группа, к которой он относится, и физико-механические характеристики. Качественно, на основе сопоставления с другими материалами той же группы, например, по величине поправочных коэффициентов (на силы или скорость резания), оценивается обрабатываемость и склонность к образованию того или иного вида стружки. Решается вопрос о необходимости принятия мер к заживанию или дроблению стружки. Оценивается возможность возникновения вибраций. Анализируются целесообразность и способы улучшения обрабатываемости заготовки и делаются соответствующие предложения.

1.3. ВЫБОР РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА И ЕГО ОПТИМАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Характеристики инструмента в значительной степени определяют уровень режимов резания, и поэтому прежде чем приступить к их расчету, необходимо выбрать вид и тип, материал, размеры, конструкцию и геометрию инструмента.

Характер планируемой операции предопределяет вид режущего инструмента - резец, сверло, фреза и т.д., а поэтому он устанавливается еще на стадии разработки плана обработки. Иногда на этом же этапе (при расчете припусков на обработку) становятся известными и основные размеры инструмента, например диаметры сверл, зенкеров, разверток, метчиков и протяжек. Все же другие характеристики инструмента - тип, конструкция, размеры (кроме отмеченных выше), геометрия режущей части, марка инструментального материала и др. выбираются непосредственно перед расчетом режима резания, что, по существу, и является первым этапом его оптимизации.

Набор режущего инструмента, используемого в настоящее время, настолько велик и условия его эксплуатации так разнообразны, что дать конкретные рекомендации по выбору всего комплекса его характеристик в рамках учебного пособия не представляется возможным. Однако можно указать на общие подходы к выбору оптимальных параметров инструмента.

Во всех случаях, где это не вызывается какими-либо особыми соображениями, необходимо ориентироваться на использование

стандартных режущих инструментов, выпускаемых станкоинструментальной промышленностью. Набор конструкций, типоразмеров и других характеристик стандартных инструментов так широк, что практически в подавляющем большинстве случаев позволяет выбрать такие из них, которые могут обеспечить выполнение операции (переходы) с наивыгоднейшим режимом.

Однако в тех случаях, когда использование специального инструмента приведет к значительному повышению производительности, следует отдавать предпочтение ему. При этом специальный инструмент целесообразно проектировать на основе стандартных конструкций и их типоразмеров, например, у сверл - уменьшая длину спиральной части, увеличивая диаметр сердцевины, шейки и хвостовика, вводя направляющие цапфы и т.д.

Сведения о том, какой инструмент выпускается станкостроительной промышленностью, имеются в каталогах [12], различных справочниках [11], в государственных стандартах и т.д. Часто в этих же источниках можно найти и указания на область целесообразного использования инструмента. Так, например, название типа инструмента в некоторых стандартах прямо указывает на область его оптимального использования - «... для труднообрабатываемых материалов ...», «... для легких сплавов ...» и т.д. В других случаях, обращает на себя внимание характерное название типа, например, «...сверла шнековые», которые, как известно, предназначены для сверления глубоких отверстий в хрупких материалах.

При выборе типоразмера инструмента, когда он не predetermined размером обрабатываемой поверхности (например, инструменты для обработки отверстий), следует ориентироваться на использование инструментов с большей жесткостью - большого диаметра, более коротких по длине, с большим отверстием под оправку и т.д. Как правило, инструменты с большими размерами будут иметь и более высокую стойкость.

Выбирая или проектируя многозубый инструмент (фрезы, зенкеры, развертки и др.) целесообразно предпочесть тот из них, который при всех прочих равных параметрах имеет большее число зубьев (меньший шаг зубьев), что обеспечит большую равномерность работы и при одинаковой нагрузке на зуб - большую производительность, т.к.

$$S_M = S_z \cdot Z \cdot n.$$

Конечно, при этом следует помнить, что во всех случаях объем стружечной канавки должен быть достаточным для вмещения всей

стружки, образующейся за цикл работы зуба инструмента. Там, где это возможно, следует использовать спиральнозубый или косозубый инструмент с переменным шагом зубьев, который обеспечивает более равномерную работу и снижение вибраций.

Выбирая инструментальный материал и его марку, следует иметь в виду, что твердые сплавы обеспечивают большую производительность, и поэтому в первую очередь целесообразно ориентироваться на их применение, особенно при обработке жаростойких, жаропрочных и других труднообрабатываемых материалов. Однако твердые сплавы обладают и высокой хрупкостью, поэтому их эффективное использование возможно только в условиях достаточно высокой жесткости системы СПИД. Быстрорежущие стали менее производительны, чем твердые сплавы, но в условиях низкой жесткости системы СПИД могут оказаться более эффективными. Рекомендации по выбору марки инструментального материала и оптимальной геометрии инструмента даются в нормативных сборниках [6-7], отраслевых руководящих технических материалах, в научно-технической литературе [8-11], учебных пособиях [1-5] и в других источниках, посвященных режимам обработки материалов.

1.4. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭЛЕМЕНТОВ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ

В соответствии с выводами анализа условий оптимизации (1.5) сначала выбирается глубина резания. При выполнении каждой операции или ее перехода глубина резания должна быть равна припуску на обработку, т.е. $t = \Delta$.

Величина операционного припуска зависит от целого ряда факторов, расчет ее производится при разработке технологического процесса на стадии проектирования заготовки и является задачей курса технологии машиностроения. На этапе расчета режимов резания операционный припуск обычно уже известен. В тех же случаях, когда операционный припуск не рассчитывался, он может быть выбран по таблицам одного из справочников по технологии механической обработки.

При выполнении домашнего задания глубина резания выбирается в соответствии с рекомендациями, изложенными в методике расчета режима резания для конкретного метода обработки (например, для точения в 2.2).

После выбора глубины резания выбирается максимально возможная подача. Подача может ограничиваться прочностью механиз-

ма подача станка, прочностью инструмента, жесткостью системы СПИД в связи с заданной точностью обработки, шероховатостью обработанной поверхности, допустимой величиной наклепа и остаточных напряжений в поверхностном слое обработанной детали и т.д.

Следовательно, чтобы установить величину подачи, обеспечивающую наибольшую производительность, но в то же время и заданное качество детали, необходимо рассчитать предельные величины подач, допускаемых каждым из ограничивающих факторов, и выбрать из них наименьшую.

Наименьшая из расчетных подач должна быть согласована с величинами, имеющимися на станке. При этом из паспортных величин подач должна быть выбрана равная расчетной или ближайшая меньшая к ней (s_0).

Подача, обеспечивающая наибольшую производительность при выполнении всех технологических требований, называется наибольшей технологически допустимой.

После того как выбраны глубина резания t и подача s , рассчитывается скорость резания из условия полного использования режущих свойств инструмента при экономическом (нормативном) периоде стойкости T по формуле типа

$$v = C_v / T^m t^{x_v} s_0^{y_v}, \quad (1.6)$$

где C_v - коэффициент, характеризующий реальные условия обработки; x_v и y_v - показатели степени, характеризующие влияние глубины резания и подачи на скорость резания.

Зная скорость резания и диаметр обрабатываемой поверхности (наибольший диаметр поверхности резания), определим частоту вращения шпинделя станка

$$n = \frac{1000v}{\pi D} \quad (1.7)$$

или, подставив (1.6) в (1.7), получим

$$n = \frac{1000C_v}{T^m t^{x_v} s_0^{y_v} \pi D}. \quad (1.8)$$

Определив расчетную частоту вращения шпинделя по формуле (1.8), необходимо согласовать ее с возможностями станка, т.е. выбрать из имеющихся на заданном станке такую ближайшую к расчетной скоростную ступень шпинделя, которая будет обеспечивать наиболее полное использование режущих свойств инструмента и, следовательно, наибольшую производительность.

На станке с бесступенчатым регулированием частота вращения шпинделя $n_{шп}$ принимается равной n . Наивыгоднейший режим будет: t , s_0 и n . При этом режущие свойства инструмента будут использованы полностью.

Большинство же станков имеет ступенчатый ряд частот вращения шпинделя. Поэтому найденная расчетным путем частота вращения будет находиться между какими-то соседними ступенями частот вращения шпинделя - n_x и n_{x+1} .

С целью достижения наибольшей производительности желательно принять n_{x+1} , так как в этом случае будет наибольшая минутная подача $s_m = s_0 n_{x+1}$ и, следовательно, наибольшая производительность. Однако применять n_{x+1} , не изменяя s_0 , нельзя, так как, согласно уравнению (1.8), это приведет к уменьшению стойкости T инструмента по сравнению с оптимальной величиной, а следовательно, и к увеличению стоимости выполнения операции.

Для того чтобы стойкость сохранилась неизменной при n_{x+1} , необходимо уменьшить подачу, величина которой может быть найдена из выражения (1.8) при n_{x+1} :

$$s' \leq y_v \sqrt{\frac{1000 C_v}{T^m t^{x_v} \pi D n_{x+1}}} \quad (1.9)$$

или по сокращенной формуле

$$s' \leq s_0 \cdot y_v \sqrt{\frac{n}{n_{x+1}}} \quad (1.9a)$$

Полученную подачу s' необходимо согласовать с паспортными подачами, т.е. выбрать из имеющихся на станке ближайшую меньшую к s' - s_0' .

Таким образом, на реальном (заданном) станке можно работать на одном из двух режимов $n_x - s_0$, или $n_{x+1} - s_0'$, которые обеспечивают стойкость инструмента, равную оптимальной или несколько больше ее. Выгоднее же работать на том режиме, который обеспечивает большую производительность или, что то же самое - большую минутную подачу. Поэтому сравним $s_{m_x} = n_x s_0$ и $s_{m_{x+1}} = n_{x+1} s_0'$.

Ступень, для которой минутная подача окажется большей, будет наивыгоднейшей. Таким образом, выбраны оптимальные параметры режима резания: t , s_0 , n_x или t , s_0' , n_{x+1} .

Рассчитанная по формуле (1.8) частота вращения может оказаться больше, чем наибольшая частота вращения шпинделя станка ($n > n_{\text{шп макс}}$). В этом случае за оптимальную скоростную ступень следует принимать $n_{\text{шп макс}}$. Следовательно, наивыгоднейшим будет режим резания t, s_0 и $n_{\text{шп макс}}$. Совершенно очевидно, что при этом режущие свойства инструмента будут недоиспользованы. Для упрощения в последующем изложении там, где это возможно, индексы опущены и оптимальными приняты t, s и n .

1.5. ПРОВЕРКА ВЫПОЛНИМОСТИ ВЫБРАННОГО РЕЖИМА РЕЗАНИЯ ПО СТАНКУ

Шпиндель станка получает вращательное движение от электродвигателя через коробку скоростей, с помощью которой изменяется частота его вращения. Часть мощности при этом затрачивается на преодоление сил трения в кинематических парах и на опорах. В коробке скоростей, кроме того, имеются слабые звенья, которые не могут обеспечить передачу всей подводимой мощности. Поэтому различной частоте вращения соответствуют различная мощность и крутящий момент на шпинделе. Крутящий момент и мощность на шпинделе станка определяются с использованием паспорта станка. Для некоторых станков (например, токарных) величины $M_{\text{шп}}$ приводятся для каждой частоты вращения шпинделя, для других (например, сверлильных) - указывается только мощность двигателя и КПД привода главного движения η , следовательно, необходимо определить мощность на шпинделе как

$$N_{\text{шп}} = N_{\text{дв}} \eta. \quad (1.10)$$

По указанной причине в первом случае (для токарных станков) проверку выполнимости назначенного режима резания целесообразно производить по условию (1.11), во втором случае (для сверлильных станков) - по условию (1.12).

Очевидно, что выбранный режим резания можно осуществить на станке только при условии, если

$$M_{\text{ср}} \leq M_{\text{шп}}, \quad (1.11)$$

$$N_{\text{рез}} \leq N_{\text{шп}}. \quad (1.12)$$

Момент сопротивления резанию, Н · м, и эффективная мощность резания, Вт, определяются:

для точения

$$M_{\text{ср}} = \frac{P_z D}{2 \cdot 1000}, \quad (1.13)$$

$$N_{\text{рез}} = \frac{P_z v}{60}, \quad (1.14)$$

где $P_z = C_{P_z} t^{x_{P_z}} s^{y_{P_z}}$ - касательная составляющая силы резания, Н; для сверления, зенкерования и развертывания

$$M_{\text{ср}} = C_M D^{z_M} s^{y_M} t^{x_M}, \quad (1.15)$$

$$N_{\text{рез}} = (2\pi / 60) M_{\text{ср}} n. \quad (1.16)$$

Если условие (1.11) или (1.12) выполняется, то расчет заканчивается.

Однако в ряде случаев условия (1.11) или (1.12) при выбранном n , t и s не выполняются и, следовательно, для реализации оптимальных режимов резания мощность (или момент) на шпинделе станка недостаточна, т.е. станок «слабее» инструмента. В этих случаях скоростная ступень определяется из условия максимального использования возможностей станка.

Для металлорежущих станков, в паспорте которых указаны моменты на шпинделе для всего ряда частот оборотов (например, для токарных), оптимальные режимы резания устанавливаются следующим образом.

По формуле (1.13) определяется $M_{\text{ср}}$ для t , s_0 и n_x . Найденная величина $M_{\text{ср}}$ будет находиться между значениями $M_{\text{шп}_{y+1}}$ и $M_{\text{шп}_y}$, которым соответствуют скоростные ступени n_{y+1} и n_y , т.е.

$$M_{\text{шп}_{y+1}} < M_{\text{ср}} < M_{\text{шп}_y}.$$

Работа на ступени n_{y+1} возможна только при $s'' < s_0$. Величину s'' можно определить из уравнения (1.13), приняв $M_{\text{ср}} = M_{\text{шп}_{y+1}}$ и решив его относительно s'' :

$$s'' \leq \sqrt[y_{P_z}]{\frac{2 \cdot 1000 \cdot M_{\text{шп}_{y+1}}}{D C_{P_z} t^{x_{P_z}}}}. \quad (1.17)$$

Найденную величину s'' нужно сравнить с паспортными значениями и выбрать из них ближайшую меньшую - s_0 . Для работы на скоростной ступени n_y должна быть использована величина s_0 . Следовательно, имеем два режима, которые сравниваем по минутным подачам.

$$s_{m_y} = n_y s_0,$$

$$s_{m_{y+1}} = n_{y+1} s_0''.$$

Наивыгоднейшим режимом будет тот, которому соответствует большая минутная подача. При этом режиме резания (t, s_0, n_y или t, s_0'', n_{y+1}) будут полностью использованы возможности станка, но недоиспользованы режущие свойства инструмента.

Для станков, в паспорте которых отсутствуют указания на величины $M_{\text{шп}}$ или $N_{\text{шп}}$, для каждой из частот вращения шпинделя (например, сверлильные станки) оптимальные режимы резания устанавливаются (уточняются) следующим образом. Определяется скоростная ступень по формуле (1.16) при подстановке в нее $N_{\text{рез}} = N_{\text{шп}}$

$$n' = \frac{60 \cdot N_{\text{шп}}}{2\pi M_{\text{ср}}} \quad (1.18)$$

и округляется до ближайшего меньшего, имеющегося на станке. Для этой скоростной ступени минутная подача будет

$$s'_m = n'_0 s. \quad (1.19)$$

С другой стороны, по той же формуле (1.16) для оптимальной n , приняв $N_{\text{рез}} = N_{\text{шп}}$ и $M_{\text{ср}} = C_m D^{z_m} r^{x_m} s^y_m$, определяется подача

$$s'' = y_m \sqrt{\frac{60 N_{\text{шп}}}{2\pi n C_m D^{z_m} r^{x_m}}}. \quad (1.20)$$

Полученная подача согласовывается с паспортными, т.е. округляется до ближайшей меньшей, имеющейся на станке - s_0'' .

Для скоростной ступени n определяется минутная подача

$$s''_m = n s_0'' . \quad (1.21)$$

Сопоставляя величины минутных подач (1.19) и (1.21), окончательно решаем вопрос о наивыгоднейшем режиме резания. Наивыгоднейшим будет тот режим, который даст наибольшую величину минутной подачи, или, что то же самое - наибольшую производительность.

1.6. ОСНОВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ (МАШИННОЕ) ВРЕМЯ ОБРАБОТКИ

Время, в течение которого необходимо производить рабочие движения на станке - главное движение резания и движение подачи для

осуществления обработки поверхности с размером l в направлении движения подачи, - называется основным технологическим временем и определяется по формуле (1.1).

1.7. КОЭФФИЦИЕНТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЖУЩИХ СВОЙСТВ ИНСТРУМЕНТА И ЗАГРУЗКА СТАНКА ПО МОЩНОСТИ

Из изложенного выше следует, что использовать полностью режущие свойства инструмента можно только на станках с бесступенчатым регулированием главного движения и движения подач при достаточной мощности привода главного движения. В большинстве же случаев на металлорежущих станках регулирование рабочих движений ступенчатое, в связи с чем и происходит недоиспользование режущих свойств инструмента.

Коэффициент использования режущих свойств инструмента может быть определен как

$$K_M = sn / s_0 n_p, \quad (1.22)$$

где n и s - частота вращения шпинделя и величина подачи, принятые в качестве наивыгоднейших;

s_0 - величина наибольшей технологически допустимой подачи (та, которая использовалась в формуле (1.8)); n_p - частота (расчетная) вращения шпинделя, соответствующая оптимальной стойкости T и подаче s_0 (величина, полученная по формуле (1.8)).

Станок, на котором осуществляется обработка детали с наивыгоднейшим режимом резания, должен иметь мощность на шпинделе, которая равна или больше эффективной мощности резания (см. (1.12)), а поэтому, как правило, реальный станок всегда будет недогружен.

Коэффициент загрузки станка по мощности

$$K_C = (N_{рез} / N_{шп}) = (M_{ср} / M_{шп}), \quad (1.23)$$

где $N_{рез}$ - эффективная мощность резания по формуле (1.14) или (1.16) при принятых в качестве наивыгоднейших элементах режима резания (t , s и n); $M_{ср}$ - момент сопротивления резанию по формуле (1.13) или (1.15) при принятых в качестве наивыгоднейших элементах режима резания (t и s); $N_{шп}$ и $M_{шп}$ - мощность и крутящий момент на шпинделе станка на принятой в качестве наивыгоднейшей скоростной ступени (n).

2. МЕТОДИКА РАСЧЕТА РЕЖИМА РЕЗАНИЯ ДЛЯ ТОЧЕНИЯ

Основные положения методики расчета наивыгоднейшего режима резания, изложенной выше, относятся ко всем видам лезвийной обработки. Однако в связи с особенностями конструкции режущего инструмента и применяемых станков имеются и особенности в расчете режимов резания.

Ниже рассматривается методика расчета режимов резания применительно к процессу точения.

2.1. ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ И ГЕОМЕТРИИ ИНСТРУМЕНТА

Точение осуществляется токарными резцами, которые отличаются от других (строгальных, долбежных и др.) резцов большим разнообразием конструкций и геометрий.

Токарные резцы делятся на 4 группы: резцы, предназначенные для обтачивания наружных поверхностей (обточные), резцы для обработки торцевых поверхностей (торцевые), резцы для растачивания отверстий (расточные) и резцы для отрезки (отрезные).

В каждой из первых трех групп имеются резцы общего назначения (проходные - с $\varphi < 90^\circ$, упорные - с $\varphi = 90^\circ$ и подрезные - с $\varphi > 90^\circ$) и резцы специального назначения.

К резцам специального назначения относятся резцы, профиль режущих кромок которых или размеры их элементов как-либо связаны с соответствующими параметрами обрабатываемых поверхностей, например резьбовые, канавочные, галтельные и разнообразные фасонные резцы.

Как резцы общего, так и резцы специального назначения могут быть предназначены для черновой (предварительной) и чистовой (окончательной) обработки. Обычно эти резцы одинаковы по форме и конструкции головки, но отличаются величиной передних и задних углов, радиусом закругления вершины и тщательностью заточки (доводки) передних и задних поверхностей (фасок и ленточек). У специальных резцов иногда меняются размеры элементов режущих кромок.

По конструкции резцы (рис.2) делятся на *стержневые* (а), *призматические* (б) и *круглые* (в). Для работы на токарных универсальных станках используются в основном стержневые резцы.

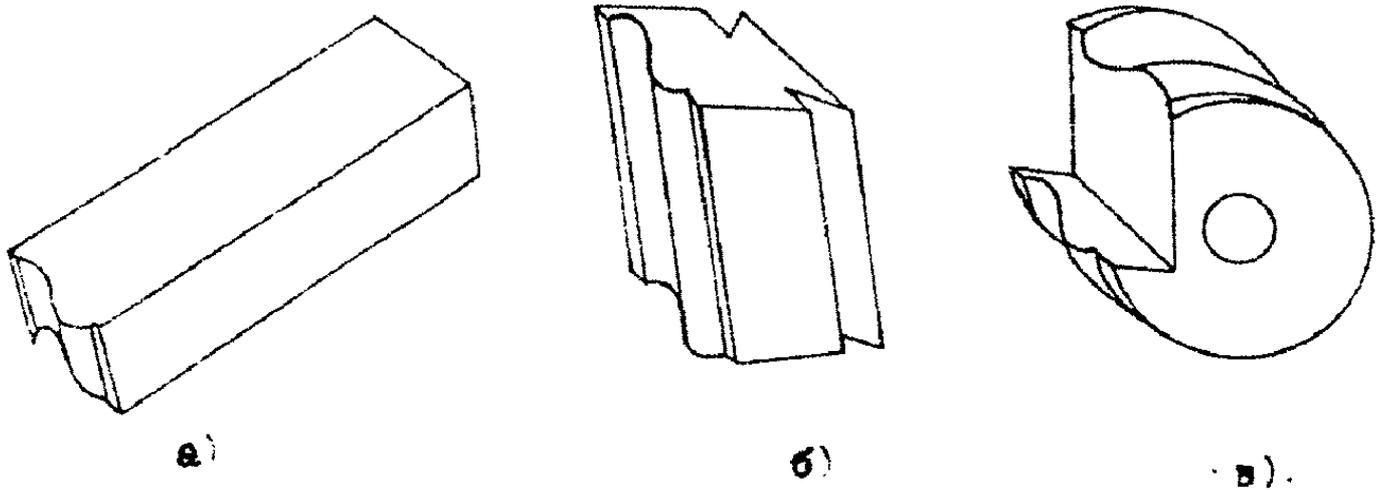


Рис. 2. Конструкции резцов:
 а) стержневой, б) призматический, в) круглый (дисковый)

По форме головки различают резцы *прямые* (рис.3 а, в), *отогнутые* (рис.3 б, г, д), ось которых изогнута в горизонтальной плоскости, *изогнутые*, ось которых изогнута в вертикальной плоскости, и *оттянутые* (см. рис.б) влево (а, б), вправо (в) и симметрично (г). Резцы, изогнутые для токарных работ, применяются очень редко (отрезные резцы).

Остановимся на некоторых соображениях, касающихся выбора стержневых резцов в зависимости от характера выполняемой операции.

2.1.1. Резцы для обтачивания

Для обработки наружных поверхностей в зависимости от их характера и размеров при преимущественно продольной подаче применяют проходные (рис. 3, а и б), упорные (рис. 3, в и г), и подрезные (рис. 3, д) резцы. Все они могут быть с прямой (рис. 3, а и в) или отогнутой головкой (рис. 3, б, г, и д).

Проходные резцы предназначены для обработки наружных цилиндрических и конических поверхностей «напроход», т.е. со свободным выходом за пределы обрабатываемой поверхности, например - в канавку, или ступенчатых поверхностей при небольшом перепаде диаметров D и d в тех случаях, когда переход от одной ступени к другой остается коническим или затем подрезается. Прямые проходные резцы по сравнению с отогнутыми более дешевы, а

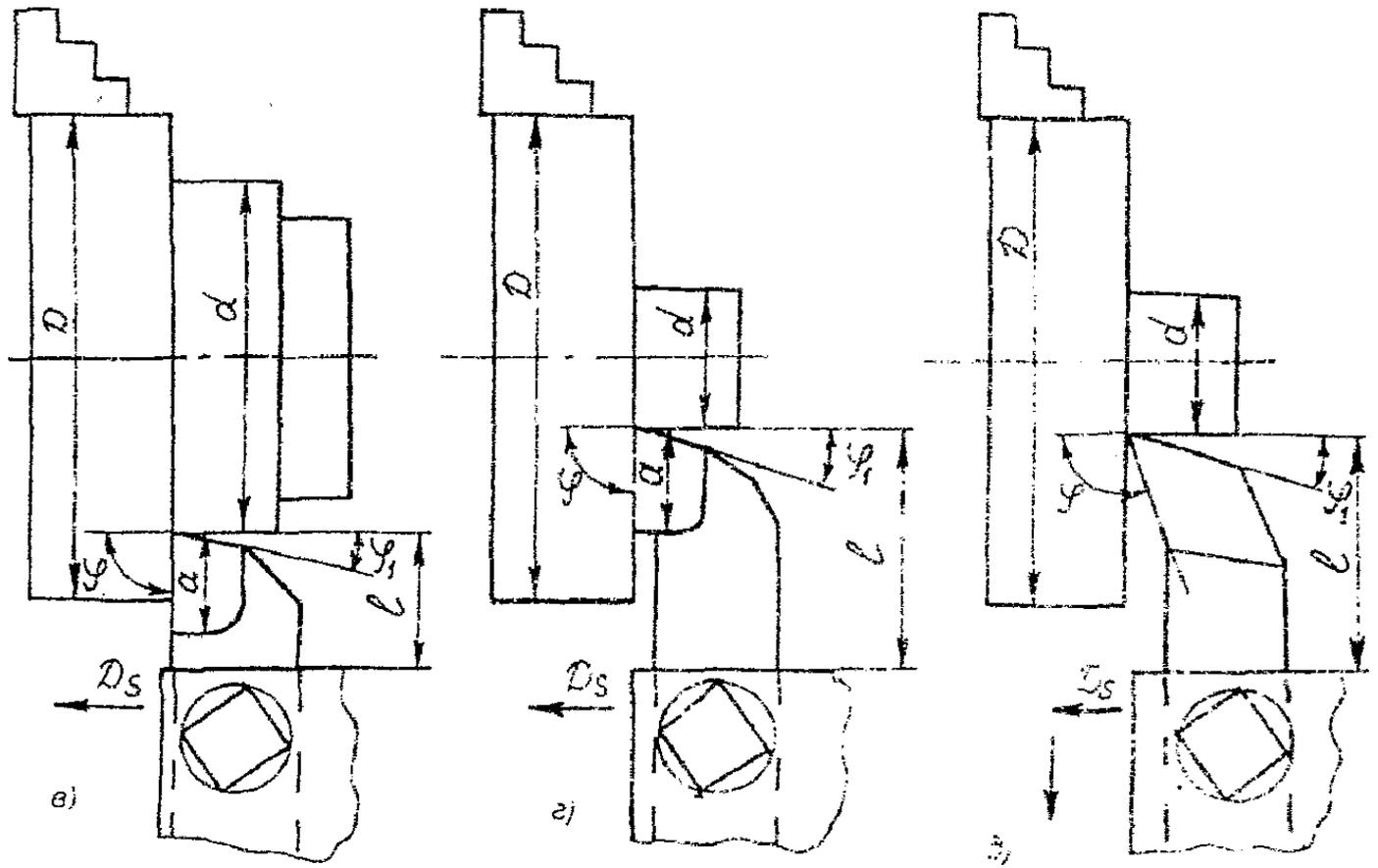
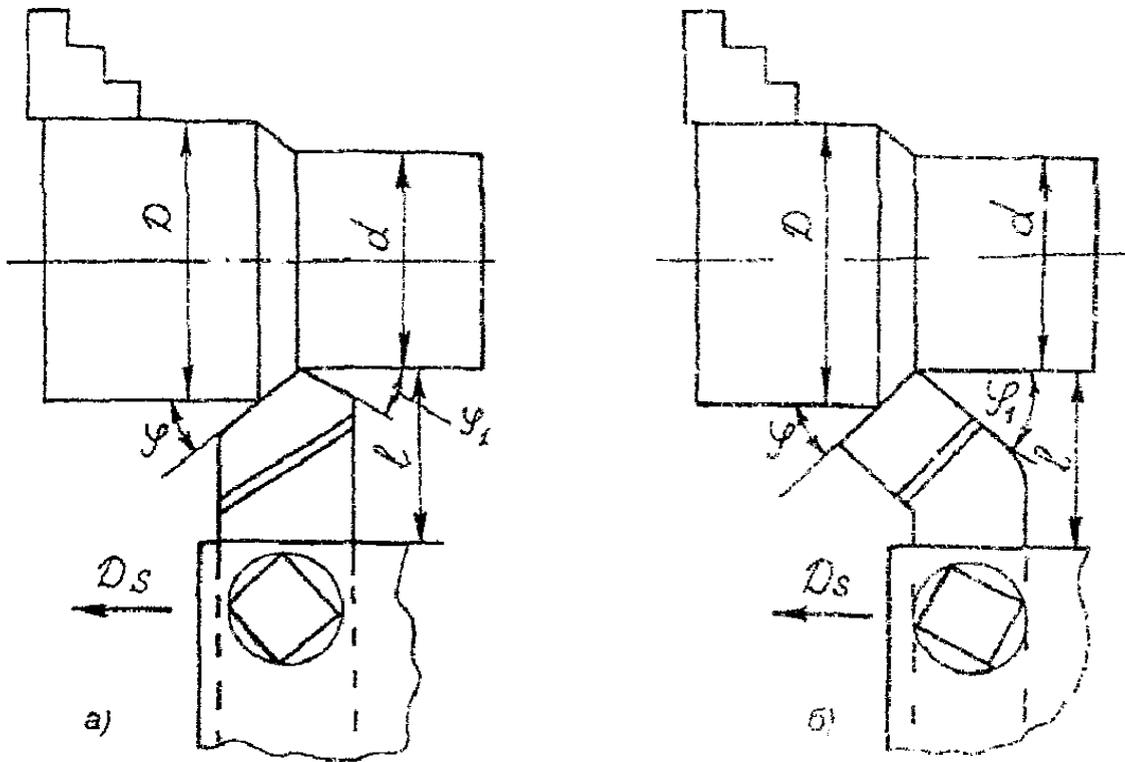


Рис. 3. Резцы для обточки:

- а) проходной прямой, б) проходной отогнутой, в) упорный прямой, г) упорный отогнутой, д) подрезной**

поэтому их следует применять везде там, где это возможно и не имеется каких-либо соображений относительно целесообразности их применения. Например, в тех случаях, когда резец в конце прохода должен очень близко подходить к кулачкам патрона или иным элементам приспособлений, удобнее использовать отогнутые проходные резцы. В соответствии со стандартами прямые проходные резцы изготавливаются с $\varphi=45, 60$ и 75° . Если это не диктуется углом перехода одной ступени к другой, то следует предпочитать резцы с меньшим углом φ , т.к. при всех прочих равных условиях резцы с меньшими φ имеют больший период стойкости и обеспечивают меньшую шероховатость обработанной поверхности, или при заданной стойкости - большую производительность.

Однако уменьшение φ может ограничиваться жесткостью системы СПИД (станок - приспособление - инструмент - деталь), так как с уменьшением φ возрастает радиальная составляющая силы резания (P_y), увеличивается прогиб детали, а следовательно снижается точность обработки и увеличивается возможность возникновения вибраций. Это необходимо учитывать, если $L/d > 3$ при закреплении детали в патроне и $L/d > 5$ при закреплении в центрах, где L - свободная длина детали, d - диаметр «опасного» сечения детали (т.е. в первом приближении ее наименьший диаметр). Чем больше указанное отношение, тем большую величину должен иметь угол φ . В любом случае при выборе типа резца нельзя ограничиваться только стандартными углами φ . Величина этого угла должна быть выбрана оптимальной, а затем по ней подбирают резец из стандартных с φ равным или несколько большим, чем оптимальный. Например, по каким-то соображениям определено, что оптимальной величиной φ является 50° . Выбирают проходной прямой резец с $\varphi=60^\circ$ и перетачивают его на угол $\varphi=50^\circ$, только на длине по режущей кромке, достаточной для перекрытия заданной глубины резания, т.е.

$l_{p.k} > \frac{l}{\sin \varphi}$. В этом случае получается резец с «двойным углом в плане» ($\varphi=50$ и 60°).

Проходные резцы с отогнутой головкой, так же как и проходные прямые, предназначены для обтачивания наружных цилиндрических и конических поверхностей «напроход» или ступенчатых поверхностей при относительно небольшом перепаде диаметров. Однако

отогнутые проходные резцы, имея 3 режущие кромки, а следовательно 2 вершины, - обладают большей универсальностью. Они позволяют осуществлять врезание с поперечной подачей и обрабатывать «открытые» торцовые поверхности (рис. 4, г). Равенство условий работы вершинами без перезакрепления в резцедержателе достигается изготовлением этих резцов с $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$. Это не означает, однако, что во всех случаях углы φ и φ_1 должны оставаться равными 45° . В зависимости от условий работы они могут изменяться до оптимальных соответствующей заточкой.

И наконец, как уже отмечалось, резцы с отогнутой головкой целесообразно использовать в тех случаях, когда необходимо работать вблизи к кулачкам патрона или к другим выступающим частям приспособлений.

Практика показывает, что резцы с отогнутой головкой имеют большую виброустойчивость по сравнению с прямыми резцами.

В связи с отмеченными особенностями проходные резцы с отогнутой головкой находят широкое применение, несмотря на несколько большую стоимость.

Упорные резцы (рис. 3, в и г) применяются при продольном обтачивании ступенчатых поверхностей, сопрягающихся под прямым или близком к нему углом, если разность между цилиндрическими поверхностями относительно невелика и не превышает 15-20 мм.

Упорные резцы имеют $\varphi = 90^\circ$, а поэтому их стойкость при цилиндрической обточке ниже стойкости проходных резцов. В связи со сказанным, при обточке ступенчатых поверхностей, у которых цилиндрическая часть достаточно длинная, а перепад диаметров невелик, во многих случаях целесообразнее обтачивать проходными резцами (с $\varphi < 90^\circ$), а затем производить подрезку уступов упорными или подрезными резцами.

Упорные резцы используют и при цилиндрической обточке в условиях низкой жесткости системы СПИД, особенно при обточке деталей с $L/d > 5$ при закреплении в патроне и с $L/d > 10$ при закреплении в центрах.

Упорные резцы часто используют и как подрезные. В этом случае их устанавливают в резцедержателе так, чтобы при цилиндрической обточке главный угол в плане был больше 90° ($\varphi \approx 95-105$), и после прекращения продольной подачи, при достижении необходимой длины цилиндрической части осуществляют поперечную подачу в направлении от центра к периферии.

Во всех тех случаях, когда нет необходимости применять упорные резцы с отогнутой головкой, применяют прямые резцы. Упорные резцы с отогнутой головкой применяют в тех случаях, когда надо работать в непосредственной близости от кулачков патрона и когда необходимо сделать несколько продольных проходов, а $(D-d)/2$ больше длины a режущей кромки (см. рис. 3, в, г).

Подрезные резцы (рис. 3, д) предназначены для того, чтобы обеспечить перпендикулярность уступа (торца) детали к оси или цилиндрической поверхности. Геометрия их формируется с учетом того, что роль режущих кромок (главной и вспомогательной) может меняться в связи с изменением направления подачи как в продольном, так и в поперечном направлениях. При черновой обработке эти резцы используются редко, так как при любой последовательности обработки цилиндрической и торцевой поверхности величины углов в плане φ и φ_1 далеки от оптимальных, а следовательно, стойкость резцов низка.

Более широкое применение подрезные резцы находят в качестве чистовых, когда технологический процесс дифференцирован и имеет четкое деление на черновые и чистовые операции.

Вообще же резцы для чистовой обработки имеют радиус закругления вершины $r=0,5\div 2$ мм, а поэтому при глубине резания $t=0,5\div 2$ мм, что и имеет место при чистовых операциях, работа осуществляется только радиусными участками режущих кромок, в каждой точке которых величина угла в плане определяется как $\cos \varphi = 1 - t_x/r$ и, следовательно, изменяется в пределах от $\varphi_x=0$ (при $t_x=0$) до $\varphi_x=90^\circ$ (при $t_x=r$). Поэтому выбрав r , не приходится и говорить об оптимальных значениях φ и φ_1 .

На универсальных работах подрезка уступов осуществляется чаще упорными резцами, как это описано выше.

2.1.2. Резцы для обработки торцовых поверхностей

Торцовые поверхности деталей могут обрабатываться торцовыми проходными с $\varphi < 90^\circ$ (рис. 4, а), торцовыми упорными с $\varphi = 90^\circ$ (рис. 4, б) и торцовыми подрезными с $\varphi > 90^\circ$ (рис. 4, в) резцами. Торцовые резцы предназначены для работы с поперечной подачей в направлении от периферии к центру (к оси). Отличаются они от резцов для обточка соответствующим расположением главной режущей кромки. Торцовые резцы изготавливаются только с отогнутой

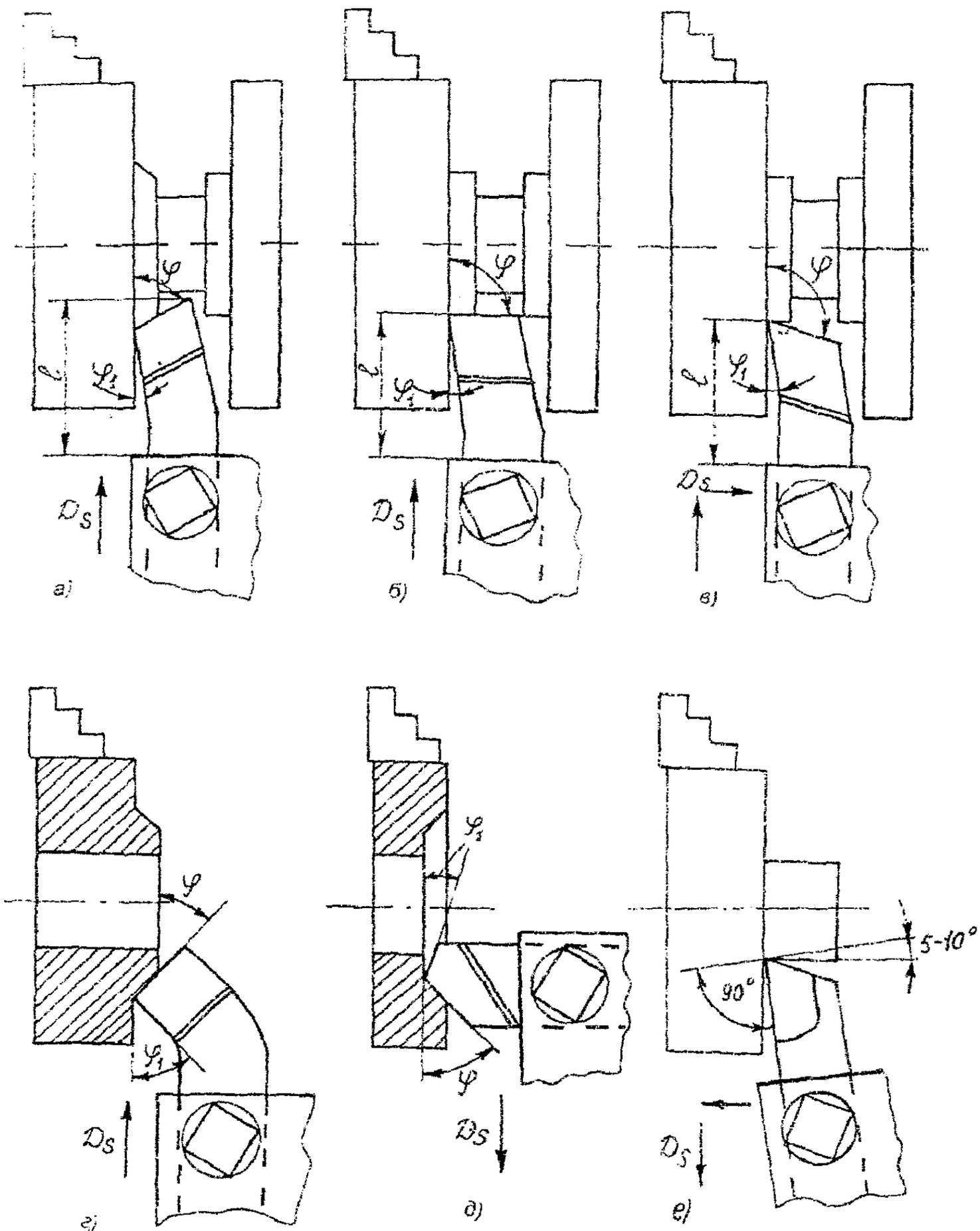


Рис. 4. Резцы для обработки торцевых поверхностей:
 а) торцевой проходной, б) торцевой упорный, в) торцевой подрезной,
 г) проходной отогнутый в качестве торцевого проходного, д) проходной
 прямой в качестве торцевого проходного, е) упорный взамен торцевого
 подрезного

головкой на угол $15\div 20^\circ$. Это обусловлено тем, что этими резцами часто приходится обрабатывать «закрытые» торцовые поверхности (см. рис. 4, а, б, в). Что касается выбора проходного, упорного или подрезного резца, все сказанное в отношении соответствующих резцов для обточки относится и к торцовым.

«Открытые» торцовые поверхности могут обрабатываться резцами, предназначенными для обработки наружных поверхностей с соответствующим их закреплением в резцедержателе станка и направлением подачи, как это показано на рис. 4, г, д. При подрезке торцовых поверхностей можно взамен подрезных резцов использовать упорные резцы для обточки, повернув их в сторону обрабатываемой поверхности на угол $5-10^\circ$ и изменив направление подачи на противоположное, обточить цилиндрическую часть с продольной подачей, а затем с помощью поперечной подачи от центра к периферии обработать торец (рис. 4, е).

2.1.3. Резцы для обработки отверстий

Резцы для обработки отверстий делятся на расточные проходные (рис. 5, а), расточные упорные (рис. 5, б) и расточные подрезные (рис. 5, в). Назначение этих резцов то же, что и соответствующих резцов для обработки наружных поверхностей. В связи с тем, что эти резцы имеют значительно больший вылет l из резцедержателя и меньшее поперечное сечение, характеризуемое диаметром d_p оттянутой части, по сравнению с резцами для обработки наружных поверхностей, имеют низкую жесткость. А это приводит к необходимости более тщательно выбирать конструкцию и геометрию резцов и в необходимых случаях снижать режимы резания. При выборе расточных резцов следует всегда ориентироваться на резцы с возможно меньшей l_p и большим d_p .

Все сказанное ранее о влиянии главного угла в плане ϕ на работу резцов здесь приобретает особое значение. У стандартных расточных проходных резцов главный угол в плане ϕ увеличен по сравнению с другими проходными резцами и делается равным 60° , несмотря на это в некоторых случаях его целесообразно увеличивать до $\phi=90^\circ$, то есть применять упорные резцы даже при обработке сквозных отверстий. Увеличение ϕ до $\phi>90^\circ$ эффекта не дает. Иначе говоря, применять подрезные резцы с целью уменьшения радиальной составляющей силы резания p_y не имеет смысла. При применении

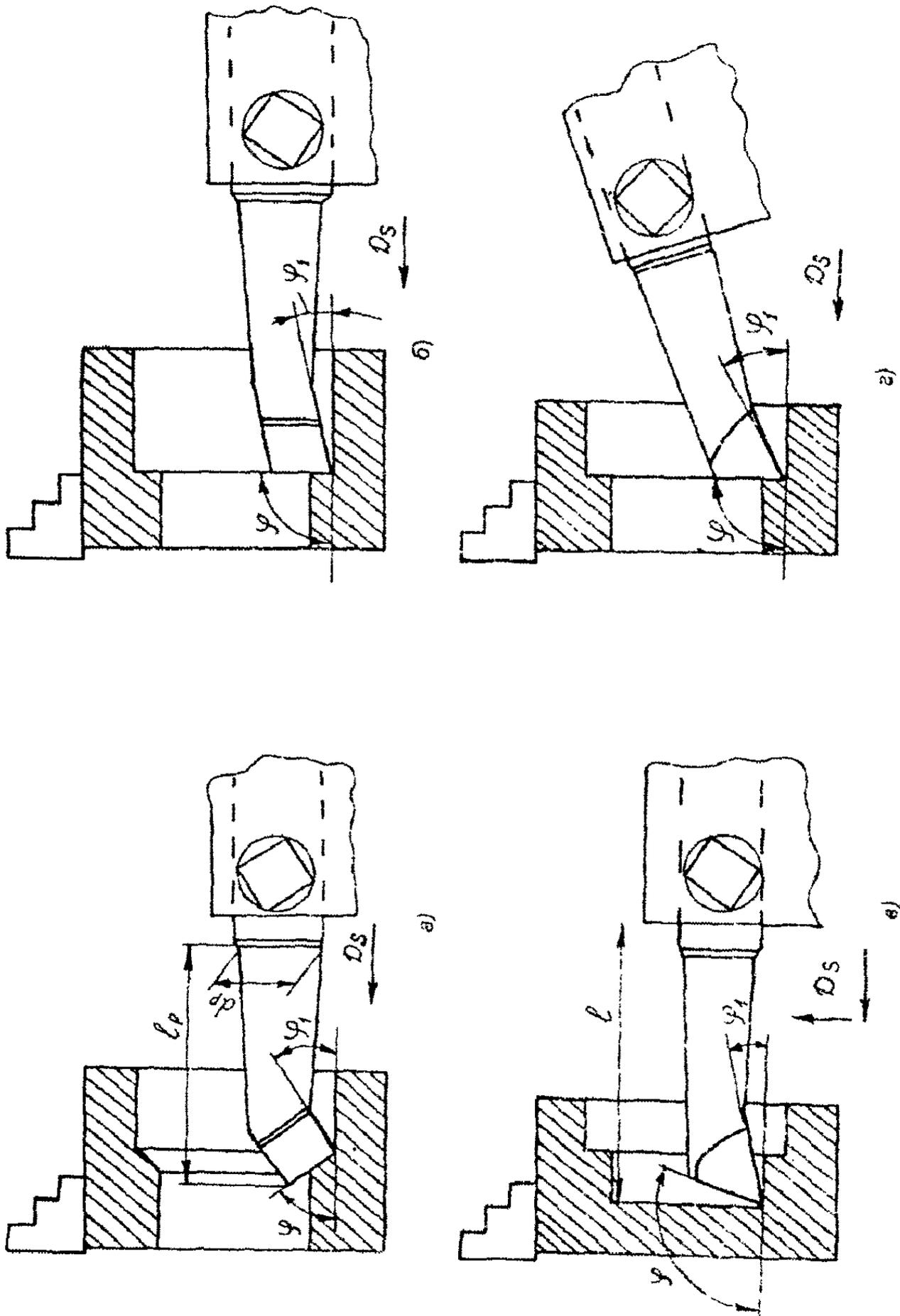


Рис. 5. Расточные резцы:
 а) расточной проходной, б) расточной упорной, в) расточной подрезной,
 г) расточной подрезной в качестве упорного

подрезных резцов, у которых $\varphi=95\div 105^\circ$, ухудшаются условия стружкообразования, силы резания растут, а это приводит к увеличению отжимов и возникновению вибраций.

Расточные подрезные резцы (с $\varphi > 90^\circ$) следует применять только для чистовой обработки и подрезки уступов ступенчатых и для глухих отверстий. При обработке отверстий с большой длиной, как правило, применяются резцы упорные. Вообще говоря, расточные упорные резцы (с $\varphi=90^\circ$) стандартами не предусмотрены, потому что резцы подрезные (с $\varphi > 95^\circ$) легко трансформируются в упорные, как это показано на рис. 5, г.

2.1.4. Резцы для отрезки

Отрезные резцы одной из конструкций имеют оттянутую головку (рис. 5), которая оснащается пластинкой из какого-либо инструментального материала (чаще - твердого сплава), при этом головка может быть оттянутой влево (рис. 6, а, б), оттянутой вправо (рис. 6, в) и оттянутой симметрично (рис. 6, г). Стандартные отрезные резцы имеют головку, оттянутую влево, они чаще всего и применяются на практике.

Соотношение размеров головки определяется зависимостью $l_p=5 \cdot a+5$, где l_p - длина головки резца, a - ширина головки, равная длине главной режущей кромки, при этом принято $a \approx 0,1 \cdot D$. В последней зависимости D - диаметр отрезаемой заготовки. Другая распространенная конструкция резцов предусматривает цельную головку в виде пластины из быстрорежущей стали, привариваемую к боковой поверхности державки. Эта конструкция имеет головку, смещенную влево. Соотношение размеров головки резцов с $a=1,5\div 3$ мм определяется зависимостью $l_p=4 \cdot a$, а для резцов с $a \geq 3$, как и в первой конструкции.

2.1.5. Выбор типоразмера резца

Размеры головки и державки оказывают большое влияние на жесткость, прочность и стойкость инструмента. Все основные размеры резцов стандартизированы. Поэтому после того как выбран тип резца, необходимо из числа рекомендованных соответствующим стандартом (или по приложению 2) выбрать такой из них, который обеспечит наиболее эффективное выполнение операции. Как прави-

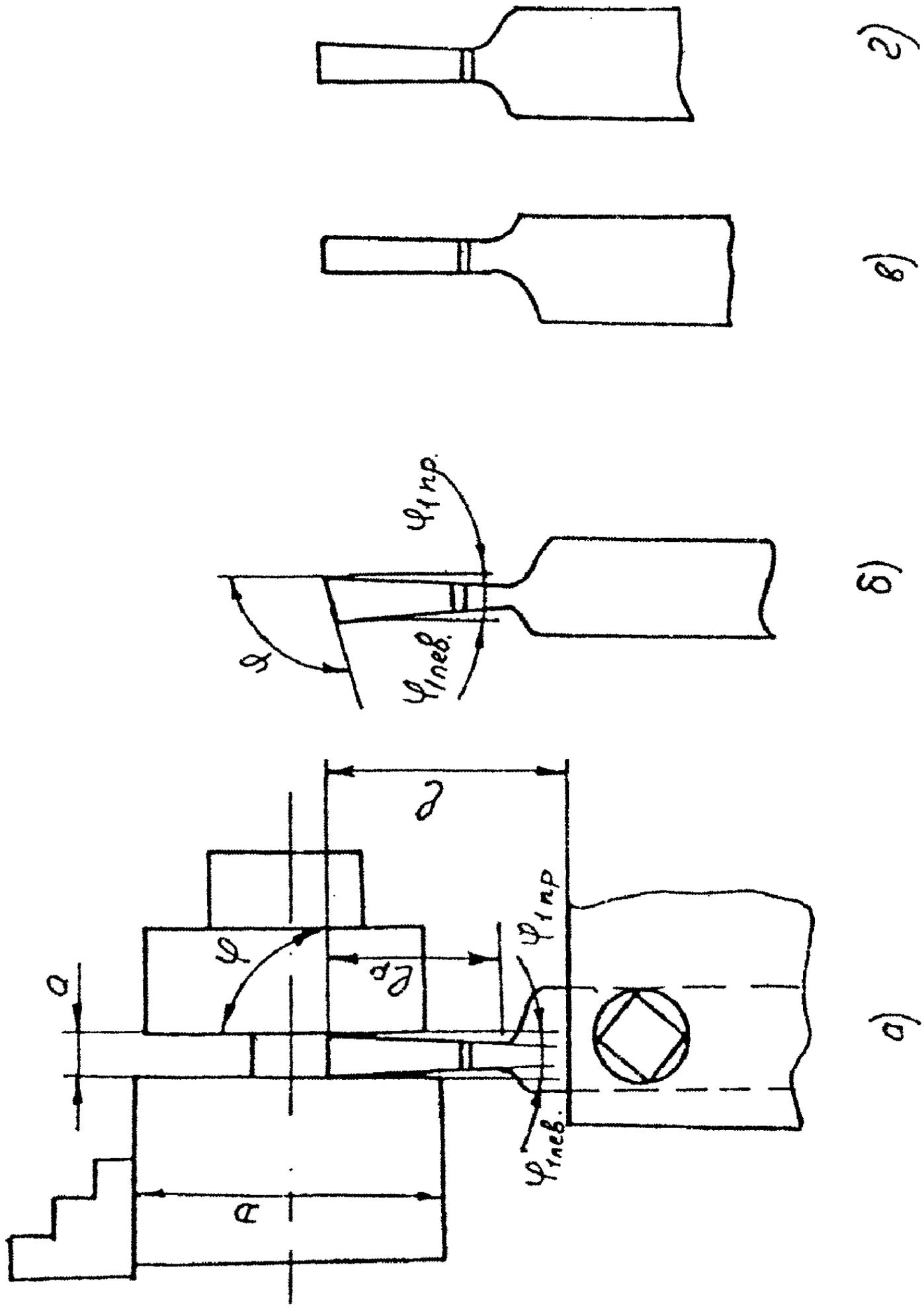


Рис. 6. Отрезные резцы:

- а) схема отрезки резцом с головкой, оттянутой влево, отрезной резец с головкой, оттянутой влево с $\varphi > 90^\circ$,
- в) отрезной резец с головкой, оттянутой вправо, отрезной резец с головкой, оттянутой симметрично

до, это резцы с возможно большей площадью поперечного сечения державки ($H \times B$) и меньшей длиной головки (l_p - для расточных и отрезных резцов) или резцы, позволяющие работать при закреплении в резцедержателе с меньшим вылетом (l). Следует иметь в виду, что резцедержатель каждого станка рассчитан на закрепление в нем резцов, максимальные размеры поперечного сечения которых указаны в паспорте станка.

В связи со сказанным, для обточки и обработки торцов целесообразно выбрать резцы, у которых высота державки H равна или несколько меньше допускаемой резцедержателем станка. Державки для твердосплавных резцов должны иметь увеличенную ширину B поперечного сечения, для них предусматривается $H:B=1,25$ (и даже $H:B=1,0$).

Расточные резцы имеют низкую прочность и жесткость, а поэтому к их выбору надо подходить особенно тщательно. Из рекомендуемых стандартом надо выбирать резцы с возможно большим сечением державки (а следовательно, и диаметр d стержня) и с меньшей длиной l стержня, несущего головку, но такими, которые бы обеспечили расположение их в обрабатываемом отверстии необходимой длины.

В стандартах на расточные резцы, как правило, есть указание на наименьший диаметр растачиваемого отверстия, которое можно получить резцом данного типоразмера резца. Это облегчает выбор. Подобрав резец по этому параметру, уточняют выбор по глубине растачиваемого отверстия и длине l несущего стержня. Остается только проверить, разместится ли резец в резцедержателе станка. Однако часто возникают затруднения, связанные с тем обстоятельством, что стандарты предусматривают резцы для обработки «нормальных» от-

верстий, т.е. таких, у которых $\frac{l_{\text{отв}}}{D_{\text{отв}}} \leq 3$. В том случае, когда

$\frac{l_{\text{отв}}}{D_{\text{отв}}} > 3 \dots 4$, часто удается использовать стандартные резцы с не-

которой их доработкой, а именно увеличение длины l несущего стержня за счет уменьшения длины квадратного сечения державки обточкой. Конечно, при этом жесткость резца снизится, что приведет к уменьшению допустимой подачи.

В тех же случаях, когда обрабатывается отверстие большого диаметра и $\frac{l_{\text{ств}}}{D_{\text{ств}}} < 1,0$, целесообразно использовать резец с максимальным сечением державки (по резцедержателю станка) и укороченной l - несколько большей, чем $l_{\text{ств}}$. Применение таких резцов (нестандартных) может значительно увеличить производительность.

Из соотношения l_p и α видно (см. 2.1.4.), что отрезные резцы (их головки) имеют низкую прочность. Условия их работы очень тяжелые, здесь мы имеем дело с осложненным резанием, при котором к силам, возникающим непосредственно при образовании стружки, добавляются силы защемления стружки в канавке в процессе ее отвода из зоны резания. Эти силы иногда превышают силы резания.

В связи со сказанным, отрезание является одной из трудновыполняемых операций. Чтобы избежать поломки резца, необходимо прежде всего правильно подобрать его с учетом диаметра отрезаемой заготовки (или детали). Очевидно, что длина головки резца должна быть не менее $l_p = 0,5D$, но не более $0,5D + 5$. Если по каким-либо причинам не удастся подобрать такой резец, то резец с $l_p > 0,5D + 5$ будет иметь более низкую производительность в связи с уменьшением допустимой величины подачи.

2.1.6. Выбор марки инструментального материала

Для изготовления режущих инструментов в настоящее время не пользуются быстрорежущие стали, металлокерамические твердые сплавы, минералокерамика, алмазы, эльбор. Алмазы и минералокерамика обладают высокой твердостью и износостойкостью, однако из-за малой прочности на изгиб эти материалы применяются только для чистовых и отделочных видов обработки (тонкое и алмазное точение). Физико-механические свойства быстрорежущих сталей и твердых сплавов изменяются в широких пределах. Это позволяет применять их в различных условиях обработки резанием. Наиболее универсальна быстрорежущая сталь, поэтому она применяется для изготовления всех, и в первую очередь сложных режущих инструментов. Однако твердосплавные инструменты обеспечивают значительно большую производительность, поэтому их следует использовать в тех случаях, когда характер резания (работа без рез

ких ударов) и конструкция инструмента позволяет применять твердые сплавы. Статистика показывает, что в металлообрабатывающей промышленности 80% токарных резцов оснащается твердыми сплавами.

Марку инструментального материала в зависимости от условий обработки рекомендуется выбирать по таблицам (прил.2).

Головки резцов изготавливаются как одно целое с державкой и оснащаются пластинками какого-либо инструментального материала, либо изготавливаются целиком из быстрорежущей стали (иногда из твердого сплава) и свариваются с державкой.

Формы и размеры пластинок стандартизированы. По форме головки резца подбирается форма пластинки, а по размерам головки и высоте державки H выбираются ее размеры, при этом толщина пластинки должна быть $C \approx (0,16-0,20) H$ (см. прил. 2).

2.1.7. Выбор геометрии режущей части резца

Геометрические параметры режущей части резца выбираются в зависимости от типа резца, марки инструментального материала, механических характеристик обрабатываемого материала, выполняемой операции и условий резания. Этот выбор рекомендуется производить по таблицам, приведенным в прил. 2.

За критерий износа резца принимается износ по задней поверхности (h_3 , мм). Средние величины допустимого износа приводятся также в прил. 2.

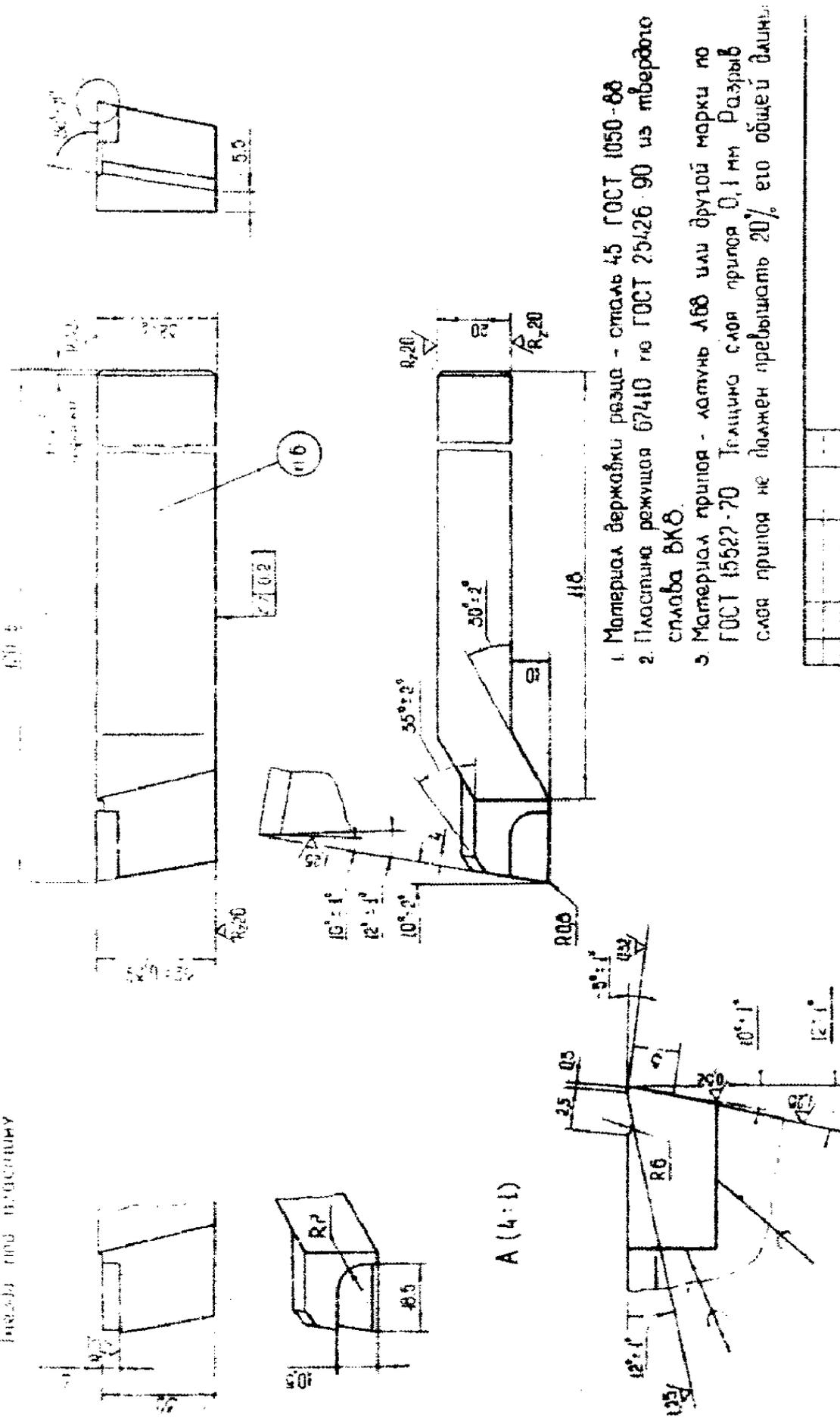
2.1.8. Рабочий чертеж резца

Выбрав тип и основные размеры резца, марку инструментального материала и геометрию режущей части, можно приступить к выполнению рабочего чертежа с соблюдением всех требований стандартов ЕСКД.

При этом целесообразно использовать каталоги режущего инструмента [12], стандарты на соответствующие резцы [19, 20, 21, 22, 23], технические требования при их изготовлении [18] и типовые чертежи резцов*, например, см. рис. 7, 8, 9, 10.

*Разработаны Д.Л. Скуратовым

Иллюстрация к чертежу



1. Материал державки резца - сталь 45 ГОСТ 1050-68
2. Пластина режущая 67410 по ГОСТ 25426 90 из твердого сплава ВК6.
3. Материал припой - латунь Л68 или другой марки по ГОСТ 15527-70 Толщина слоя припоя 0,1 мм Разрыв слоя припоя не должен превышать 20% его общей длины.

4. Нормальные предельные отклонения размеров : СТ 14/2
5. Основные технические требования по ГОСТ 5688-61
6. Маркировка: 2103-0059 ВК6 ГОСТ 18879-75

Исполнитель	Инженер	Масса	Рис.
Проверенный	Инженер	2103-0059	1:1
Утвержденный	Инженер	ВК6 ГОСТ 18879-75	
Спецификация	Лист	Листов	
Генеральный конструктор	И.И.И.		
Специалист	И.И.И.		
Ученый секретарь	И.И.И.		

Рис. 8

2.2. ВЫБОР ГЛУБИНЫ РЕЗАНИЯ

Количество проходов и доля припуска, снимаемого за каждый из них, зависят от целого ряда факторов: точности размеров, формы, шероховатости обработанной поверхности и др. Расчет величины операционных припусков является задачей технологии машиностроения и здесь не рассматривается. Общая величина припуска Δ , подлежащего снятию с помощью механической обработки, указывается в задании (размеры поверхности до и после обработки). При выполнении задания можно руководствоваться следующими рекомендациями, вытекающими из опыта промышленности.

При черновой обработке с шероховатостью поверхности $R_z > 40$ мкм весь припуск следует снимать за один проход, т.е. принимается $t = \Delta$.

При получистовой обработке с шероховатостью поверхности $R_z = 40 \dots 10$ мкм припуск $\Delta \leq 2$ мм следует снимать за один проход, т.е. $t = \Delta$. Если припуск превышает 2 мм, то обработку производят в два перехода. При этом глубина резания для второго перехода $t_2 = 0,5 \dots 1$ мм, а $t_1 = \Delta - t_2$.

При чистовой обработке с шероховатостью $R_z = 10 \dots 6,3$ мкм глубина резания для последнего перехода принимается равной $0,1 \dots 0,5$ мм.

Если припуск превышает 0,5 мм, то обработку производят в два и даже в три перехода при $t_3 = 0,1 \dots 0,5$ мм, $t_2 = 0,5 \dots 1,0$ мм, $t_1 = \Delta - t_2 - t_3$ мм.

2.3. ВЫБОР ПОДАЧИ

Для достижения наибольшей производительности должна быть выбрана и наибольшая подача. Однако величина подачи может ограничиваться рядом факторов - шероховатостью обработанной поверхности, прочностью и жесткостью державки резца, прочностью механизма подачи и др. Следовательно, чтобы установить величину подачи, обеспечивающую наибольшую производительность, необходимо рассчитать предельные величины подач, допускаемых каждым из этих факторов, и выбрать из них наименьшую. Подача, обеспечивающая наибольшую производительность при выполнении всех технологических требований, называется наибольшей технологически допустимой.

2.3.1. Расчет подачи по прочности механизма подачи станка

Механизмы подачи металлорежущих станков имеют детали с различной прочностью. Во избежание поломки деталей с наименьшей прочностью в механизмах подач современных станков предусматриваются предохранительные устройства. Величина предельно допустимой силы $Q_{мп}$, на которую рассчитано предохранительное устройство, указывается в паспорте станка (см. прил. 1).

Суммарная сила сопротивления перемещению суппорта Q не должна превышать $Q_{мп}$, т.е.

$$Q < Q_{мп} \quad (2.1)$$

и может быть определена для продольной обточки и расточки

$$Q = P_x + \mu P_z + \mu P_y + \mu G;$$

для торцовой обточки, отрезки и прорезки канавок

$$Q = P_y + \mu P_z + \mu P_x + \mu G',$$

где P_z , P_y , P_x - составляющие силы резания (касательная, радиальная и осевая соответственно); μ - коэффициент трения опорных поверхностей суппорта о направляющие; G - вес суппорта (включая фартук); G' - вес частей суппорта, перемещающихся в поперечном направлении.

Коэффициент трения μ в зависимости от типоразмера станка и условий нагружения изменяется незначительно, а величина составляющих P_x и P_y может быть выражена через P_z (как часть от нее). Поэтому с достаточной для практических расчетов степенью точности можно принять

$$Q = k_1 P_z, \quad (2.2)$$

где k_1 - коэффициент, отражающий характер нагрузки.

В зависимости от геометрии резца для станков с высотой центров 150...300мм, $k_1 = 0,33...0,45$ при продольной обточке и расточке; $k_1 = 0,5...0,6$ при торцевой обточке и отрезке.

Большие значения k_1 следует брать при $\gamma \leq -10^\circ$, меньшие - при $\gamma \geq 10^\circ$.

Сила резания P_z выражается формулой

$$P_z = C_{pz} t^{x_{pz}} s^{y_{pz}} v^{z_{pz}}, \quad (2.3)$$

где x_{pz} , y_{pz} , z_{pz} - показатели степени, характеризующие интенсивность влияния соответственно t , s , и v на величину P_z ; C_{pz} - коэффициент, отражающий влияние условий обработки (обрабатываемого материала, материала и геометрии инструмента и других факторов) на силу резания,

$$C_{pz} = C'_{pz} K_{\varphi_{pz}} K_{\gamma_{pz}} K_{\lambda_{pz}} K_{r_{pz}} K_{M_{pz}} K_{h_{pz}},$$

где C'_{pz} - коэффициент для условий, принятых при разработке нормативных материалов; $K_{\varphi_{pz}}$, $K_{\gamma_{pz}}$, $K_{\lambda_{pz}}$, $K_{r_{pz}}$, $K_{M_{pz}}$, $K_{h_{pz}}$ - коэффициенты, учитывающие изменение реальных условий обработки по сравнению с теми, при которых определялся коэффициент C'_{pz} (т.е. реальную геометрию резца - φ , γ , λ , r , величину его износа h_3 и механические свойства обрабатываемого материала).

Величина показателей степени x_{pz} , y_{pz} , z_{pz} и коэффициента C'_{pz} в зависимости от группы, в которую входит марка обрабатываемого материала, выбирается по таблицам (раздел II, прил. 3, 4, 5, 6 и 7). Если в нормативных материалах не указан показатель степени z_{pz} , то он принимается равным 0. Это означает, что в данном случае мы считаем, что скорость резания не влияет на силы резания.

Величины поправочных коэффициентов ($K_{\varphi_{pz}}$, $K_{\gamma_{pz}}$ и др.) выбираются по таблицам, приведенным в прил. 3, 4, 5, 6, 7. Следует иметь в виду, что к настоящему времени наиболее полно исследована обрабатываемость конструкционных и легированных сталей и чугуна, поэтому для этих групп материалов в нормативах указано наибольшее количество поправочных коэффициентов $K_{\varphi_{pz}}$, $K_{\gamma_{pz}}$, $K_{\lambda_{pz}}$, $K_{r_{pz}}$, $K_{M_{pz}}$, $K_{h_{pz}}$. Если какой-либо поправочный коэффициент в нормативах отсутствует, то следует принимать его равным единице. Например, для тех же углеродистых сталей $K_{h_{pz}} = 1$.

Подставив формулы (2.2) и (2.3) в выражение (2.1) и решив полученное уравнение относительно подачи, получим

$$S_1 = y_{pz} \sqrt{\frac{Q_{мп}}{K_1 C_{pz} v^{x_{pz}} v^{z_{pz}}}} \quad (2.4)$$

При решении уравнения (2.4) следует учитывать, что на этой стадии расчета скорость резания еще неизвестна, поэтому при обработке твердосплавным инструментом углеродистых, легированных, нержавеющей и жаропрочных сталей с $\sigma_B = 500 \dots 1000 \text{ МПа}$ предварительно ее можно принять равной 60...100 м/мин; при обработке жаропрочных и титановых сплавов - 30...50 м/мин; при обработке алюминиевых и медных сплавов - 300...400 м/мин. При обработке тех же материалов быстрорежущими резцами скорость резания следует уменьшить в 2-3 раза.

2.3.2. Расчет подачи по прочности державки резца

Резец можно считать балкой, заземленной одним концом и нагруженной на другом тремя силами: P_z - касательной составляющей, P_y радиальной составляющей и P_x - осевой, создающими сложное напряженно-деформированное состояние в державке резца (рис. 11).

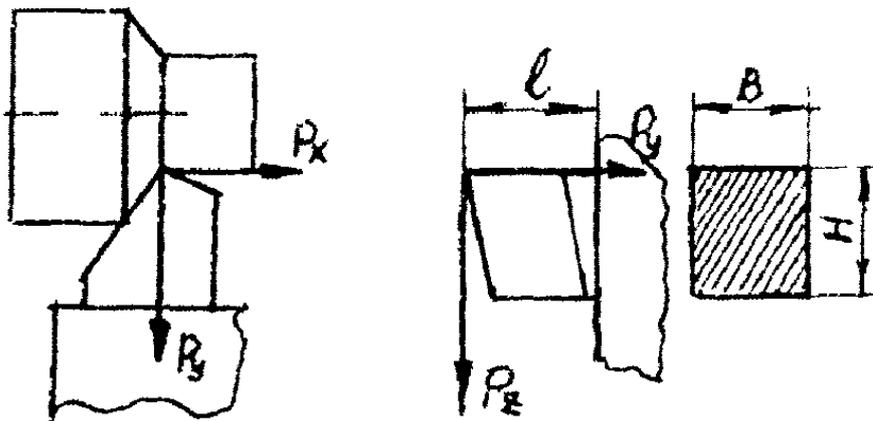


Рис. 11

Однако анализ показывает, что с достаточной для практики точностью прочность резца может быть рассчитана по силе P_z с введением в расчетное уравнение коэффициента, учитывающего сложное нагружение. При этом расчетное уравнение имеет вид

$$\sigma = \frac{k_2 P_z l}{W} \leq [\sigma_u], \quad (2.5)$$

где k_2 - коэффициент, учитывающий характер нагрузки резца (при продольной и торцевой обточке $k_2=1,3...1,5$; при расточке $k_2=1,5...2$; при отрезке $k_2=1$); P_z - касательная, составляющая силы резания; l - расстояние от точки приложения силы до опасного сечения (для большинства типов резцов это расстояние от вершины до резцедержателя (вылет), для расточных резцов - расстояние от вершины до перехода цилиндрической или конусной части в призматическую часть, а для отрезных резцов - длина головки); W - момент сопро-

тивления сечения, мм^3 (для прямоугольного сечения $W = \frac{BH^2}{6}$, а

для круглого $W = \frac{\pi d^3}{32} = 0,1 \cdot d^3$); $[\sigma_u]$ - допускаемое напряжение на

изгиб материала, державки резца, $[\sigma_u]=250...300\text{МПа}$.

Если выражение для составляющей силы P_z , рассчитанное по формуле [2.3], подставить в уравнение [2.5] и решить относительно s , то

$$s_2 \leq y_{P_z} \sqrt{\frac{W[\sigma_u]}{k_2 C_{Pz} t^{x_{Pz}} v^{z_{Pz}}}} \quad (2.6)$$

2.3.3. Расчет подачи по жесткости системы СПИД в связи с заданной точностью

В процессе обработки под действием сил резания детали узлов станка и приспособления, инструмент и обрабатываемая деталь (система СПИД) деформируются и смещаются относительно друг друга. Это приводит к изменению взаимного расположения детали и вершины резца, определяющего геометрическую форму и размеры обработанной поверхности.

Решающее влияние на точность обработки оказывает изменение взаимного расположения обрабатываемой детали и резца в горизонтальной плоскости, т.е. в направлении действия радиальной силы

P_y :

$$P_y = C_{py} t^{x_{py}} s^{y_{py}} v^{z_{py}} \quad (2.7)$$

Значения x_{py} , y_{py} , z_{py} и C_{py} определяются так же, как аналогичные величины для составляющей P_z .

Отношение действующей силы к величине смещения (прогиба) называется жесткостью, Н/мм:

$$j = \frac{P_y}{y},$$

а величина, обратная ей, - податливостью, мм/Н:

$$\frac{1}{j} = \frac{y}{P_y}.$$

Суммарное относительное смещение детали и вершины резца в горизонтальной плоскости y будет складываться из смещения детали y_d в результате ее прогиба, взаимного суммарного смещения детали и вершины резца $y_{ст}$, вызванного изменением положения узлов станка и изменения положения вершины резца в связи с его деформацией (рис. 12, 13, 14), т.е.

$$\sum y = y_d + y_{ст} + y_p = P_y \left(\frac{1}{j_d} + \frac{1}{j_{ст}} + \frac{1}{j_p} \right).$$

Для обработки детали с погрешностью, не превышающей заданный допуск δ , необходимо выполнить следующее условие:

$$P_y \left(\frac{1}{j_d} + \frac{1}{j_{ст}} + \frac{1}{j_p} \right) \leq K_5 \frac{\delta}{2}, \quad (2.8)$$

где K_5 - коэффициент, показывающий, в какую часть допуска должна укладываться погрешность, вызванная деформацией детали, узлов станка и резца, $K_5=0,7..0,8$.

Подставив выражение (2.7) в уравнение (2.8) и решив последнее относительно s , получим

$$s_3 \leq y_{py} \sqrt{\frac{K_5 \delta}{2 C_{py} x_{py} v z_{py} \left[\frac{1}{j_d} + \frac{1}{j_{ст}} + \frac{1}{j_p} \right]}}. \quad (2.9)$$

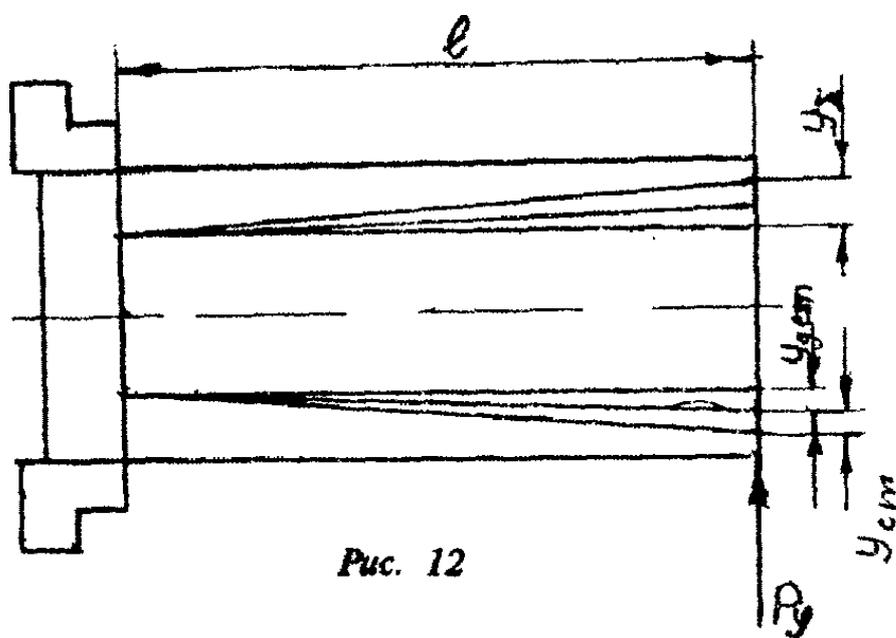


Рис. 12

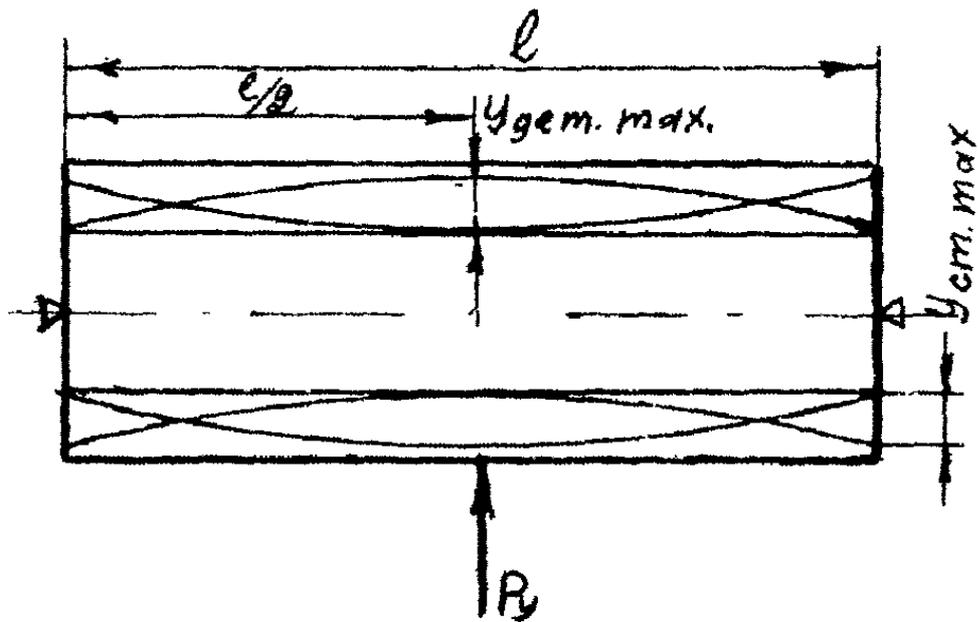


Рис. 13

Известно, что податливость детали и узлов станка в процессе обработки переменна и в каждый момент зависит от места нахождения точки приложения силы (вершины резца) по длине обрабатываемой детали.

Однако при расчете наибольших (допустимых требуемой точностью детали) подач необходимо знать не закон изменения податливостей, а только разность их экстремальных значений, характеризующих переменную часть податливости, которая не может быть учтена перед обра-

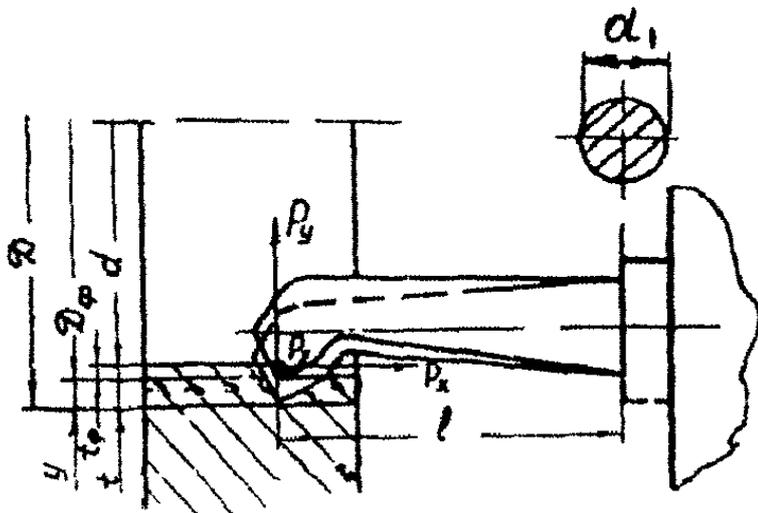


Рис. 14

боткой. Постоянная же часть податливостей, не зависящая от положения вершины резца на длине детали, может быть учтена при взятии пробной стружки или при поднастройке станка перед обработкой последующей детали.

Так как минимальная податливость детали, равная нулю, наблюдается в момент, когда резец находится против опоры, разность экстремальных значений податливости детали будет определяться известной формулой для максимальной податливости

$$\frac{1}{j_{\partial}} = \frac{L^3}{k_3 J E}, \quad (2.10)$$

где J - момент инерции наиболее опасного сечения детали, выбранного с учетом способа закрепления; для сплошного сечения $J=0,05D^4$, для кольцевого сечения $J=0,05(D^4 - d^4)$; L - свободная длина детали, мм; K_3 - коэффициент, учитывающий влияние способа закрепления детали (при закреплении в патроне $K_3=3$, в центрах - 70, в патроне с поджатием центром задней бабки - 100); E - модуль упругости материала обрабатываемой детали, величина которого приводится в прил. 3, 4, 5, 6, 7 МПа.

На основании исследований, проведенных на кафедре, приведенная разность экстремальных значений податливости станка с учетом податливости узлов может быть определена

$$\frac{1}{j_{ст}} = 0,000025 K_4 \sqrt[3]{\frac{200}{H_{ц}}}, \quad (2.11)$$

при закреплении детали в центрах и в патроне с поджатием задним центром $K_4=-1,0$, где знак «-» учитывает конкурирующее влияние смещений на погрешность обработки, при закреплении детали в патроне $K_4=0,03L$, где L - вылет детали из патрона, мм; $H_{ц}$ - высота центров ставка, мм.

Следует иметь в виду, что в формуле (2.9) результат расчета приведенной податливости (результат в скобках) во всех случаях принимается положительным (со знаком «+»).

При обточке наружных поверхностей проходной резец, обычно закрепленный в резцедержателе станка с вылетом $l < 3H$, обладает очень высокой жесткостью в направлении действия P_y по сравнению с другими компонентами системы «станок - приспособление -

инструмент - деталь», и поэтому его податливость $\frac{1}{j_p} = 0$.

При обработке внутренних поверхностей (расточке) (см. рис. 11) вылет резцов зависит от глубины обрабатываемого отверстия и может быть достаточно большим. В связи с этим жесткость резца, как правило, оказывается значительно ниже жесткости других компонентов системы СПИД и поэтому определяет величину допустимой подачи, т.е. можно принять, что

$$\frac{1}{J_{\partial}} + \frac{1}{J_{ст}} = 0$$

Расчеты показывают, что решающее влияние на погрешности диаметра отверстия оказывает величина деформации в горизонтальной плоскости y в направлении действия силы P_y , а сила P_x обуславливает уменьшение деформации в горизонтальной плоскости. Поэтому можно считать, что для обеспечения заданной точности достаточно, чтобы величина y не превышала допустимую погрешность. В связи со сказанным

$$\frac{1}{j_p} = \frac{l^3}{3J_p E_p}, \quad (2.12)$$

где l - вылет резца из резцедержателя, если державка резца имеет круглое сечение по всей длине, или расстояние от вершины резца до перехода круглого сечения призматическое; $E_p = 220000$ МПа - модуль упругости материала державки резца; J_p - момент инерции поперечного сечения державки резца, для прямоугольного сечения

$J_p = \frac{HB^3}{32}$, для круглого $J_p = \frac{\pi d_p^4}{64} = 0,05d_p^4$ (если круглое сечение переходит в прямоугольное, то расчет производится по наибольшему диаметру круглого сечения d_1).

2.3.4. Расчет подачи по заданной шероховатости обработанной поверхности

Величина неровностей на обработанной поверхности зависит от элементов режима резания, геометрии режущего инструмента, рода обрабатываемого материала и применяемой СОЖ. Величина подачи, обеспечивающая изготовление детали с допусковой шероховатостью, может быть определена по формуле

$$S_4 \leq \frac{C_s R_z^y r^n \gamma^{0,3} \alpha^{0,25}}{r^x (\varphi \varphi_1)^z h_3^{0,2}} K_s, \quad (2.13)$$

где C_s, n, x, y, z - коэффициент и показатели степени, зависящие от рода обрабатываемого материала (приведены в табл.1); R_z - высота шероховатости обработанной поверхности по ГОСТ 2789-73 (указана в задании), мкм; r - радиус закругления вершины резца, мм; φ и φ_1 - главный и вспомогательный углы в плане, градусы; γ - передний угол ($\gamma > 0$), градусы; α - задний угол ($\alpha > 0$), градусы; h_3 - величина износа резца по задней поверхности ($h_3 > 0$), мм; K_s - коэффициент, учитывающий группу труднообрабатываемых материалов (см. прил. 4)

Таблица 1

Обрабатываемый материал	C_s	n	x	y	z
Сталь и др. пластичные материалы	0,007	0,7	0,3	1,4	0,35
Чугун, бронза, алюминиевые сплавы	0,01	0,75	0,25	1,25	0,5

2.3.5. Выбор наибольшей технологически допустимой подачи

Из найденных значений подачи по ограничивающим факторам выбираем наименьшее. Эту величину сравниваем со значениями подач для данного станка (см. прил. 1) и выбираем ближайшую меньшую S_0 , которая и будет наибольшей технологически допустимой подачей. Однако наименьшая рассчитанная величина подач может оказаться меньше величины наименьшей подачи станка. В этом случае необходимо проанализировать, каким путем можно увеличить меньшую величину расчетных подач до величины, равной или несколько большей минимальной подачи станка.

Если, например, наименьшая из расчетных величин подач найдена по заданной шероховатости обработанной поверхности, то это свидетельствует о неудачном выборе геометрии резца, которую следует изменить, увеличив r (γ, α) или уменьшив φ и φ_1 . При этом необходимо помнить, что изменение геометрии резца вызывает изменение сил резания и, следовательно, результатов расчетов подач по всем ограничивающим факторам. Однако производить расчеты

повторно не следует, достаточно убедиться в том, что та из подач, которая была ближайшей большей, не оказалась наименьшей.

2.4. ВЫБОР СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ (СКОРОСТНОЙ СТУПЕНИ СТАНКА)

Скорость резания, м/мин, рассчитывается из условия полного использования режущих свойств инструмента по формуле (1.6) или (повторим ее)

$$v = \frac{C_v}{T^m t^{x_v} s_0^{y_v}} \quad (2.14)$$

Зная скорость резания, диаметр заготовки и используя (1.7), можно определить частоту вращения заготовки по формуле (1.8) или (повторим ее)

$$n = \frac{1000 C_v}{T^m t^{x_v} s_0^{y_v} \pi D} \quad (2.15)$$

где C_v - коэффициент, характеризующий реальные условия, $C_v = C'_v k_{\varphi_v} k_{\varphi_{1v}} k_{\phi_v} k_{r_v} k_{q_v} k_{u_v} k_{c_v} k_{n_v} k_{M_v} k_{o_v}$; C'_v - коэффициент, характеризующий условия обработки, для которых разрабатывались нормативные материалы (прил. 3, 4, 5, 6 и 7); k_{φ_v} , $k_{\varphi_{1v}}$, k_{ϕ_v} , k_{r_v} , k_{q_v} , k_{u_v} , k_{c_v} , k_{n_v} , k_{M_v} , k_{o_v} - поправочные коэффициенты, учитывающие изменение реальных условий обработки по сравнению с теми, при которых определялся коэффициент C'_v т.е. реальную геометрию резца - φ , φ_1 , ϕ и r , сечение державки - q , марку инструментального материала - C , состояние поверхностного слоя обрабатываемой заготовки - n , марку обрабатываемого материала - M и качество СОЖ-О. Численные значения поправочных коэффициентов приводятся в прил. 3, 4, 5, 6 и 7. При отсутствии любого из перечисленных коэффициентов он принимается равным единице; T - оптимальная стойкость инструмента (указана в задании); t - глубина резания, мм; s_0 - наибольшая технологическая допустимая подача, мм/об; D - диаметр обрабатываемой поверхности, мм; m , x_v , y_v - показатели степени, характеризующие влияние T , t и s на скорость резания, они приведены в нормативных материалах (см. прил. 3, 4, 5, 6, и 7).

Определив расчетную частоту вращения заготовки по формуле (2.17), необходимо согласовать ее с возможностями станка, т.е. вы-

брать из имеющихся на заданном станке (прил. 1) такую ближайшую к расчетной скоростную ступень шпинделя, которая будет обеспечивать наиболее полное использование режущих свойств инструмента и, следовательно, наибольшую производительность.

На станке с бесступенчатым регулированием частота вращения шпинделя $n_{шп}$ (например, станок 1620) принимается равной n . Наиболее выгодный режим будет t , s_0 , и n . При этом режущие свойства инструмента будут использованы полностью. Большинство же станков имеет ступенчатый ряд частот вращения шпинделя. Поэтому найденная расчетным путем частота вращения будет находиться между какими-то соседними ступенями частот вращения шпинделя - n_x и n_{x+1} . С целью достижения наибольшей производительности желательно принять n_{x+1} , так как в этом случае, как вытекает из формулы (1.1) для машинного времени, будет наибольшая минутная подача $s_M = s_0 n_{x+1}$ и, следовательно, наибольшая производительность.

Однако применять n_{x+1} , не изменяя s , нельзя, так как согласно уравнению (2.15) это приведет к уменьшению заданной стойкости резца T . Для того чтобы стойкость сохранилась неизменной при n_{x+1} , необходимо уменьшить подачу, величина которой может быть найдена из выражения (2.15) при n_{x+1}

$$s' \leq y_v \sqrt{\frac{1000 C_v}{T^m t^{x_v} \pi D n_{x+1}}} \quad (2.16)$$

или по сокращенной формуле

$$s' \leq s_0 y_v \sqrt{\frac{n}{n_{x+1}}} \quad (2.16a)$$

Таким образом, на реальном (заданном) станке можно работать на одном из двух режимов $n_x - s_0$ или $n_{x+1} - s'_0$, которые обеспечивают стойкость резца, равную или несколько больше оптимальной. Выгоднее же работать на том режиме, который обеспечивает большую производительность или, что то же самое, - большую минутную подачу. Поэтому сравним $s_{M_x} = n_x s_0$ и $s_{M_{x+1}} = n_{x+1} s'_0$.

Ступень, для которой минутная подача окажется большей, будет наиболее выгодной. Таким образом, выбраны оптимальные параметры режима резания: t , s_0 , n_x или t , s'_0 , n_{x+1} .

Рассчитанная по формуле (2.16) частота вращения может оказаться больше, чем наибольшая частота вращения шпинделя станка

($n > n_{\text{шп макс}}$). В этом случае за оптимальную скоростную ступень следует принимать $n_{\text{шп макс}}$. Следовательно, наивыгоднейшим будет режим резания $t, s_0, n_{\text{шп макс}}$. Совершенно очевидно, что при этом режущие свойства инструмента будут недоиспользованы. Для упрощения в последующем изложении там, где это возможно, индексы опущены и оптимальными приняты t, s и n .

2.5. ПРОВЕРКА ВЫБРАННОГО РЕЖИМА РЕЗАНИЯ ПО КРУТЯЩЕМУ МОМЕНТУ (МОЩНОСТИ) НА ШПИНДЕЛЕ СТАНКА

Шпиндель станка получает вращательное движение от электродвигателя через коробку скоростей, с помощью которой изменяется частота его вращения. Часть мощности при этом затрачивается на преодоление сил трения в кинематических парах и на опорах. В коробке скоростей, кроме того, имеются слабые звенья, которые не могут обеспечить передачу всей подводимой мощности. Поэтому различной частоте вращения соответствует различная мощность на шпинделе и крутящий момент. В паспорте станка (прил. 1) для каждой скоростной ступени указывается наибольший допустимый крутящий момент или мощность на шпинделе. Следовательно, при проверке режима резания следует убедиться в том, что мощность, Вт, (или крутящий момент, Н·м) на шпинделе при выбранной скоростной ступени достаточна для реализации назначенного режима резания ($t, s, \text{ и } n$).

При этом необходимо, чтобы

$$N_{\text{шп}} \geq N_{\text{рез}} = \frac{C_{Pz} t^{x_{Pz}} s^{y_{Pz}} v^{1+z_{Pz}}}{60}, \quad (2.17)$$

или

$$M_{\text{шп}} \geq M_{\text{рез}} = \frac{C_{Pz} t^{x_{Pz}} s^{y_{Pz}} v^{z_{Pz}} D}{2 \cdot 1000}. \quad (2.18)$$

Если одно из условий выполняется, то расчет заканчивается.

Однако в ряде случаев условия (2.17) или (2.18) не выполняются, и тогда для реализации выбранного режима резания мощность на шпинделе станка будет недостаточна (станок «слабее» резца). В этих случаях скоростная ступень определяется из условия максимального использования возможностей станка. При этом по формуле (2.18)

определяется $M_{рез}$ для t , s_0 и n_x . Найденная величина $M_{рез}$ будет находиться между значениями $M_{шп\ y+1}$ и $M_{шп\ y}$, которым соответствуют скоростные ступени n_{y+1} и n_y , т.е.

$$M_{шп\ y+1} < M_{рез} < M_{шп\ y}.$$

Работа на ступени n_{y+1} возможна только при $s'' < s_0$. Величину s'' можно определить из уравнения (2.18):

$$s'' \leq y_{рез} \sqrt{\frac{2 \cdot 1000 M_{шп\ y+1}}{DC_{рез} x_{рез}^2 v_{y+1}^2}} < s_0. \quad (2.19)$$

Найденную величину s'' нужно сравнить с паспортными значениями и выбрать из них ближайшую меньшую s_0'' . Для работы на скоростной ступени n_y должна быть использована величина s_0 . Следовательно, имеем два режима, которые сравниваем по минутным подачам.

$$s_{м\ y} = n_y s_0,$$

$$s_{м\ y+1} = n_{y+1} s_0''.$$

Наивыгоднейшим режимом будет тот, которому соответствует большая минутная подача. При этом режиме резания (t , s_0 , n_y или t , s_0'' , n_{y+1}) будут полностью использованы возможности станка, но недоиспользованы режущие свойства инструмента.

3. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА НАИВЫГОДНЕЙШЕГО РЕЖИМА РЕЗАНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ОПЕРАЦИЯХ ТОЧЕНИЯ

При обработке на токарных станках наибольший объем работы приходится на выполнение наружной продольной обточки. Не случайно поэтому методика расчета наивыгоднейшего режима резания наиболее полно разработана применительно именно к этой операции. Так как основные принципы выбора элементов наивыгоднейшего режима резания едины для всех операций механической обработки, то методика, относящаяся к наружной продольной обточке, может быть использована и для других операций точения - расточка отверстий, торцевая (поперечная) обточка и отрезка (прорезка кана-

вок). При этом должны быть учтены особенности указанных операций.

3.1. ПРОДОЛЬНАЯ ОБТОЧКА

Если в домашнем задании предложено рассчитать наивыгоднейший режим резания на операцию продольной обточки, которая выполняется за один переход, то все расчеты, предусмотренные методикой, должны быть выполнены полностью. Это не значит, что при расчете режимов резания для практических целей во всех случаях прибегают к полным расчетам. Например, при выполнении обдирочных операций, основная цель которых приблизить заготовку к форме готовой детали, когда шероховатость получаемой поверхности и точность не имеют значения, расчет подачи по этим факторам не производят.

Наоборот, в тех случаях, когда выбирается режим резания для чистовых операций, расчет подачи по прочности механизма подачи и державки резца не имеет практического смысла, так как указанная прочность достаточно большая, а возникающие силы резания малы, и расчетные величины подачи при этом могут во много раз превышать реально применяемые. Особенно это относится к случаям обработки материалов с относительно небольшой прочностью (легкие, медные и цинковые сплавы).

Если при выполнении домашнего задания возникает необходимость обработки за два перехода (черновая и чистовая обточка), то для первого перехода подача рассчитывается из условия прочности механизма подачи и державки резца (только в необходимых случаях - по жесткости системы СПИД и шероховатости обработанной поверхности); для второго (чистового) перехода расчет подачи производится только по жесткости системы СПИД в связи с требуемой точностью обработки и по заданной шероховатости обработанной поверхности.

3.2. РАСТОЧКА

Особенность расчета режима резания для расточки состоит в необходимости учитывать более тяжелые (по сравнению с наружным точением) условия резания (процесс отвода стружки, охлаждение инструмента и т.д.). Скорость резания при расточке должна быть уменьшена. Поэтому, вычисляя для формул (2.14) и (2.15) коэффи-

циент C_v , характеризующий реальные условия обработки, необходимо кроме всех поправочных коэффициентов, учитываемых при продольной обточке, учесть и поправочный коэффициент k_{v_p} .

На основе производственного опыта можно рекомендовать для диаметров отверстий ≤ 50 , $50-150$, >150 соответственно значения k_{v_p} : 0,8; 0,9; 1,0.

3.3. ТОРЦОВКА

При выборе режима резания для торцевой обточки расчет подачи по жесткости системы СПИД в связи с точностью обработки не производится, так как для этой операции он в том виде как изложено здесь не пригоден, а специальная методика расчета пока не разработана. Другие особенности расчета подачи для торцевой обточки указаны в п. 2.3.1, 2.3.2. При выборе скорости резания (скоростной ступени станка) для торцевой обточки следует иметь в виду, что частота вращения шпинделя станка (заготовки) определяется исходя из наибольшего (периферийного) диаметра торца заготовки и остается постоянной, в то время как действительная скорость резания будет непрерывно изменяться - уменьшаться при подаче от периферии заготовки к центру от v_{\max} до v_{\min} . Следовательно, средняя ее величина будет меньше той, по которой вычислялась частота вращения заготовки, т.е. режущие свойства резца окажутся недоиспользованными (действительная стойкость резца будет выше заданной).

Следовательно, скорость резания, допускаемая режущими свойствами инструмента при торцевой обточке, при прочих равных условиях должна быть выше скорости для продольной обточки. Поэтому, вычисляя для формул (2.14) и (2.15) коэффициент C_v , необходимо кроме всех поправочных коэффициентов, учитываемых при продольной обточке, учесть поправочный коэффициент

$$K_{v_T} = z \sqrt{\frac{z+1}{1-\frac{d}{D}}}, \quad (2.20)$$

где z - показатель степени, $z = \frac{1}{m}$;

d - наименьший диаметр обрабатываемой поверхности торца;
 D - наибольший диаметр обрабатываемой поверхности торца.

Величина m (показатель относительной стойкости) приведена в прил. 3, 4, 5, 6 и 7.

3.4. ОТРЕЗКА

При расчете режима резания для отрезки или прорезки канавок должно учитываться все то, что сказано о торцевой (поперечной) обточке в 3.3. Кроме того, следует помнить, что ширина среза B при отрезке равна длине главной режущей кромки, а так как у отрезного резца $\varphi=90^\circ$, то $t=B$.

Величина подачи при отрезке, допустимая прочностью стандартных резцов, может быть определена $S=(0,03-0,04) B$, для сталей с высокой прочностью $\sigma_B > 800\text{МПа} - 0,03$; для сталей с $\sigma_B < 800\text{МПа}$ и чугунов - 0,04.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАШИННОГО ВРЕМЕНИ ОБРАБОТКИ И НЕКОТОРЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Машинное время, необходимое для обработки заданной поверхности детали, определяется по формуле (1.1) с учетом реального пути режущего инструмента, который больше длины обрабатываемой поверхности на величину врезания инструмента и на некоторую величину его перебега

$$T_{\text{маш}} = \frac{l_1 + l + l_2}{ns} i, \quad (2.1)$$

где l - размер обрабатываемой поверхности в направлении подачи; l_1 - величина врезания резца, $l_1 = t \cdot \text{ctg} \varphi$ (при $\varphi = 90^\circ$ принимают $l_1 = 0,5$); l_2 - величина перебега резца, зависящая от ряда факторов.

При выполнении домашнего задания можно принимать $l_2 = 1 + 0,2t$ и округлять с точностью 0,5 мм.

Как отмечалось, металлорежущие станки имеют ступенчатое регулирование частот вращения шпинделя (кроме некоторых моделей станков) и величин подач, поэтому расчетные n и S приходится округлять до ближайших, имеющихся на станке. В связи с этим реальная производительность станка меньше той, которую может обеспечить режущий инструмент, особенно когда станок оказывает-

ся «слабее» режущего инструмента. Коэффициент использования режущих свойств инструмента может быть определен как

$$K_u = \frac{ns}{n_p s_p}, \quad (2.22)$$

где n и s - частота вращения шпинделя и величина подачи, принятые в качестве наиболее выгодных; n_p и s_p - частота вращения шпинделя и величина подачи, полученные расчетом из условия полного использования режущих свойств инструмента (n_p равна величине, полученной по формуле (2.15), s_p равна той величине подачи, которая подставлялась в эту формулу).

В связи с тем, что расчет наиболее выгодного режима резания производится с учетом полного использования режущих свойств инструмента при заданной модели станка, мощность станка часто недоиспользуется.

Коэффициент использования станка по мощности

$$K_c = \frac{N_{рез}}{N_{шп}} = \frac{M_{рез}}{M_{шп}}, \quad (2.23)$$

где $M_{рез}$ - момент резания, определяемый по формуле (2.18); $M_{шп}$ - момент на шпинделе станка при принятой частоте его вращения.

5. СПОСОБЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ О НАИВЫГОДНЕЙШЕМ РЕЖИМЕ РЕЗАНИЯ

Расчет наиболее выгодного режима резания с использованием всех приведенных выше зависимостей принято называть аналитическим, при котором решение задачи о наиболее выгодном режиме резания связано с выбором оптимальных величин различных параметров режущего инструмента, нормативных характеристик обрабатываемости материала с последовательным вычислением ряда уравнений, содержащих, как правило, дробные показатели степени, и анализом результатов этих вычислений.

Традиционное «ручное» решение указанных уравнений даже с использованием специально разработанных для этой цели таблиц возведения в степень занимает много времени. Поэтому, в частности, широкое применение нашел так называемый табличный метод назначения режимов резания.

Центральное бюро промышленных нормативов по труду (ЦБПНТ) выпускает общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках в виде сборников [6, 7 и др.]. Теоретической и методологической основой разработки нормативных сборников является изложенная «Методика расчета наивыгоднейшего режима резания». В этих сборниках все необходимое представлено в виде методических указаний и таблиц двух типов: карт и приложений.

Таблицы представляют собой сводку либо логических выводов из рекомендаций по рациональному использованию станков и инструментов, либо результатов расчетов по формулам, которые приведены в методике с использованием нормативных материалов, помещенных в приложениях 3-7 применительно к стандартным условиям резания. В таблицах, где это необходимо, имеются поправочные коэффициенты, которые дают возможность привести табличную (нормативную) величину к условиям, близким к реальным. Предполагается, что к моменту выбора режимов резания разработан технологический процесс, в котором определен припуск на обработку, а следовательно, и выбраны глубины резания, установлены оптимальная марка инструментального материала и геометрия заточки резца. Однако предусматривается и возможность выбора указанных параметров (кроме глубины резания) по таблицам приложений.

Процедура назначения режима резания сводится к выбору по картам подачи (для чистовой или черновой обработки), скорости резания (при $T = 60$ мин) и затрачиваемой мощности; уточнению выбранных s и v с помощью поправочных коэффициентов (в картах и приложениях) и к проверке (по приложениям) возможности выполнения выбранных t , s и v по прочности механизма подачи и крутящему моменту на шпинделе станка, по прочности инструмента и его пластинки, по жесткости системы СПИД и в некоторых случаях - по прочности закрепления заготовки в приспособлении.

Таким образом, табличный или нормативный метод расчета имеет ту же теоретическую основу, что и аналитический, но отличается меньшим объемом вычислительной работы и обладает меньшей точностью в связи с дискретностью как таблиц, так и рядов подач и частот вращения шпинделей станков, что неизбежно приводит к снижению производительности.

При применении калькуляторов, широко используемых в настоящее время для инженерных расчетов, затраты времени на вычисления почти одинаковы, а поэтому аналитический метод предпочтительнее как обеспечивающий более полное использование режущих свойств инструмента и позволяющий проводить анализ с целью изыскания путей повышения производительности и гарантии требуемого качества обработки. Использование современных ЭВМ позволяет в значительной мере ускорить и упростить процедуру решения задачи о наивыгоднейшем режиме резания. При этом решение задачи может осуществляться на одном из трех уровней.

1. Машина используется в режиме калькулятора с последовательным вводом программ каждого из этапов вычисления и необходимых исходных и нормативных данных.

2. Машина имеет полную программу вычислений, но требует поэтапного или одновременного ввода всех исходных и нормативных данных.

3. Машина имеет полную программу вычислений и банк нормативных данных и требует ввода только исходных данных.

С практической точки зрения наибольшую ценность имеет третий уровень решения задачи.

В учебных же целях рекомендуется использовать первый и второй уровни с применением ПЭВМ.

Работа с поэтапным программированием вычислений (первый уровень) или с полной заранее введенной программой (второй уровень) при поэтапном (в обоих случаях) введении исходных и нормативных данных при использовании дисплея с выводом на него промежуточных решений (т.е. работа в режиме диалога) позволяет производить анализ хода решения задачи, при необходимости корректировать его и, в связи с этим (а это важно для нас), успешно усвоить и закрепить теоретические основы методики расчета режимов резания, избегая трудоемких вычислений.

5.1. ПРИМЕР АНАЛИТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА НАИВЫГОДНЕЙШЕГО РЕЖИМА РЕЗАНИЯ

Пусть необходимо произвести расчет наивыгоднейшего режима резания при обточке вала (рис.15).

Все необходимые исходные данные указаны в табл. 2

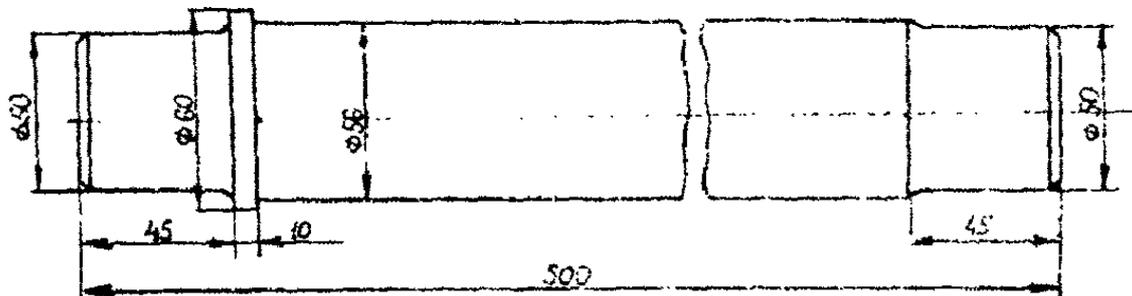


Рис. 15

Таблица 2

Вариант	1
Материал изделия	IX18H9T
Состояние материала	3
Состояние обрабатываемой поверхности	Без корки
Размер поверхности до обработки	Ø 60
Размер поверхности после обработки	Ø 56
Допуск на изготовление размера	h8
Шероховатость поверхности после обработки	Rz 40
Модель станка	IK62
Закрепление заготовки	Центры
Материал резцов	Твердый сплав
Стойкость резцов	45
Охлаждение	б/охлаждения

5.1.1. Выбор типа резца, его основных размеров и геометрии

Выбор типа и конструкции резца, его основных размеров, марки инструментального материала пластинки для его оснащения и геометрии заточки производится с использованием приложений. По прил. 4 найдем, что обрабатываемый материал относится к трудно-обрабатываемым коррозионно-стойким, жаростойким хромоникелевым сталям группы III. В закаленном состоянии сталь IX18H9T имеет $\sigma_B \geq 540 \text{ МПа}$. По прил. 2 находим, что при чистовой и

получистойовой обработке таких сталей рекомендуется применять твердый сплав марки ВК6М (в нормативах рекомендуется - ВК8). Обрабатываемая поверхность на заготовке ограничивается уступом, поэтому целесообразно использовать упорный прямой резец.

Станок ИК62 (см. прил. 1) допускает применение резцов с максимальным размером сечения державки $B \times H = 25 \times 25$, поэтому по прил. 2 выбирается резец с параметрами: $B \times H = 16 \times 25$, $L = 120$ мм. Для оснащения таких резцов рекомендуются твердосплавные пластины формы 07. Так как $C = (0,16; 0,20)$ $H = 0,2 \cdot 25 = 5$, то из этого же приложения видно, что для оснащения резца следует использовать пластину № 0725.

Геометрию заточки резца выбираем по прил. 2 (раздел IV). Форма передней поверхности - плоская с фаской; главный угол в плане $\varphi = 90^\circ$; вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 10^\circ$; радиус при вершине резца $r \approx 0,025 \cdot (H + B) = 0,025 \cdot (25 + 16) \approx 1$ мм, передний угол $\gamma = 10^\circ$; задний угол $\alpha = 10^\circ$; задний вспомогательный угол $\alpha_1 = 10^\circ$; фаска на передней поверхности $f = 0,015 \cdot (H + B) = 0,015 \cdot (25 + 16) = 0,6$ мм; угол на фаске $\gamma_f = -5^\circ$; угол наклона главной режущей кромки $\lambda = 0^\circ$; допустимая величина износа $h_3 = 0,4$ мм.

Примеры оформления чертежей резцов даны на рис. 7, 8, 9, 10.

5.1.2. Выбор глубины резания

Согласно чертежу (рис. 15), $\Delta = (60 - 56) : 2 = 2$ мм, $R_z = 40$ мкм. При шероховатости обработанной поверхности $R_z = 40 - 10$ мкм и припуске $t \leq 2$ обработку рекомендуется производить в один переход. Принимаем $t = 2$ мм.

5.1.3. Выбор подачи

Расчет подачи по прочности механизма подачи станка

$$s_1 \leq y_{Pz} \sqrt{\frac{Q_{МП}}{K_1 C_{Pz} t^{x_{Pz}} v^{z_{Pz}}}}$$

По паспортным данным станка ИК62 (см. прил. 1)

$$Q_{МП} = 3530 \text{ Н.}$$

Сталь IX18H9T относится к коррозионно-стойким. По прил. 4 находим:

механические характеристики $E = 200000$ МПа; $\sigma_B \geq 550$ МПа;

значения коэффициентов и показателей - $C'_{Pz} = 3400$; $x_{Pz} = 0,95$;
 $y_{Pz} = -0,1$; $K_{\phi Pz} = 0,9$; $K_{rPz} = 1,05$; $K_{hPz} = 1,09$.

В соответствии с п. 2.3.1 для резцов с $\gamma > 0$ принимаем $K_1 = 0,45$ и ориентировочно - $V = 60$ м/мин.

Определяем $C_{Pz} = C'_{Pz} K_{\phi Pz} K_{rPz} K_{hPz} = 3400 \cdot 0,9 \cdot 1,05 \cdot 1,09 = 3500$.

Тогда

$$s_1 \leq 0,75 \sqrt{\frac{3530 \cdot 60^{0,1}}{0,45 \cdot 3500 \cdot 2^{0,95}}} = 2,102 \text{ мм / об.}$$

Расчет подачи по прочности державки резца

$$s_2 \leq y_{Pz} \sqrt{\frac{BH^2 [\sigma_u]}{K_2 6 I C_{Pz} t^{x_{Pz}} v^{z_{Pz}}}}$$

Нами было принято: $B = 16$ мм; $H = 25$ мм; $[\sigma_u] = 250$ МПа;
 $K_2 = 1,5$; $I = (1 \div 2) H = 35$ мм.

Тогда

$$s_2 \leq 0,75 \sqrt{\frac{16 \cdot 25^2 \cdot 250 \cdot 60^{0,1}}{1,5 \cdot 6 \cdot 35 \cdot 3500 \cdot 2^{0,95}}} = 2,136 \text{ мм / об.}$$

Расчет по жесткости системы СПИД в связи с заданной точностью обработки

$$s_3 \leq y_{Pz} \sqrt{\frac{K_5 \delta}{2 C_{Py} t^{x_{Py}} v^{z_{Py}} \left(\frac{L^3}{KEJ} + \frac{1}{j_{ст}} + \frac{1}{j_p} \right)}}$$

Для вала $\varnothing 56$ h8 по стандарту 25346-82 $\delta = 0,046$. Принимаем $K_5 = 0,75$.

По прил. 4 находим: $C'_{Py} = 2760$; $x_{Py} = 0,85$; $y_{Py} = 0,52$; $z_{Py} = -0,15$;
 $K_{\phi Py} = 0,5$; $K_{rPy} = 1,11$; $K_{hPy} = 1,35$. Тогда $C_{Py} = 2760 \cdot 0,5 \cdot 1,11 \cdot 1,35 = 2068$.

Податливость детали, закрепленной в центрах,

$$\frac{1}{j_{\partial}} = \frac{L^3}{70 EJ} = \frac{500^3}{70 \cdot 200000 \cdot 0,05 \cdot 56^4} = 0,00001815.$$

Податливость станка с высотой центров 215 мм при закреплении детали в центрах

$$\frac{1}{j_{ст}} = 0,000025 K_4 \sqrt[3]{\frac{200}{H_y}} \approx 0,000025(-1,0) \sqrt[3]{\frac{200}{215}} = -0,0000244.$$

Податливость резца принимаем $\frac{1}{j_p} = 0$.

Тогда

$$s_3 \leq 0,52 \sqrt{\frac{0,75 \cdot 0,046 \cdot 60^{0,15}}{2 \cdot 206 \cdot 8 \cdot 2^{0,85} \cdot (0,00001815 - 0,0000244)}} = 1,83 \text{ мм / об.}$$

Расчет подачи по заданной шероховатости обработанной поверхности

$$s_4 \leq \frac{C_s R_z^y r^n \gamma^{0,3} \alpha^{0,25}}{t^x (\varphi \varphi_1)^z h_3^{0,2}} K_s.$$

Находим, что при обработке стали $C_s = 0,008$; $y = 1,4$; $n = 0,7$; $x = 0,3$; $z = 0,35$.

В прил. 4 находим $K_s = 0,6$.

Выбранный резец имеет $\gamma = 10^\circ$; $\alpha = 10^\circ$; $\varphi = 90^\circ$; $\varphi_1 = 10^\circ$; $r = 1 \text{ мм}$; $h_3 = 0,4 \text{ мм}$.

Следовательно,

$$s_4 = \frac{0,008 \cdot 40^{1,4} \cdot 1^{0,7} \cdot 10^{0,3} \cdot 10^{0,25}}{2^{0,3} \cdot (90 \cdot 10)^{0,35} \cdot 0,4^{0,2}} \cdot 0,6 = 0,269.$$

Выбор наибольшей технологически допустимой подачи

Расчетом получаем $s_1 \leq 2,102 \text{ мм/об}$; $s_2 \leq 2,136 \text{ мм/об}$; $s_3 = 5,96 \text{ мм/об}$; $s_4 = 0,269 \text{ мм/об}$. Из этих подач меньшей является $s_4 = 0,269 \text{ мм/об}$. Из имеющихся у станка надо выбрать равную ей или ближайшую меньшую. Для станка ИК62 (см. прил. 1) $s_{ст} = 0,26 \text{ мм/об}$. Эта подача и будет наибольшей технологически допустимой, т.е. $s_0 = 0,26 \text{ мм/об}$.

5.1.4. Выбор скорости резания (скоростной ступени станка)

Частота вращения шпинделя станка, об/мин, определяется по формуле

$$n \leq \frac{1000 C_v}{T m_t^{x_v} S_0^{y_v} \pi D}$$

По заданию $T = 45$ мин; $D = 60$ мм.

По прил. 4 (раздел Y) находим $C'_v = 240$; $x_v = 0,15$; $y_v = 0,15$;
 $m = 0,25$; $K_{\varphi v} = 0,7$; $K_{\varphi 1v} = 1,0$; $K_{uv} = 1,0$; $K_{nv} = 1,0$; $K_{mv} = 1,0$;
 $K_{Qv} = 0,9$.

Определяем

$$C_v = C'_v K_{\varphi v} K_{\varphi 1v} K_{uv} K_{nv} K_{mv} K_{Qv} = \\ = 240 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,9 = 151.$$

Тогда

$$n \leq \frac{1000 \cdot 151}{45^{0,25} \cdot 2^{0,15} \cdot 0,26^{0,15} \cdot \pi \cdot 60} = 342 \text{ об / мин.}$$

Для станка ИК62 (см. прил. 1) $n_x = 315$ об/мин; $n_{x+1} = 400$ об/мин.
 Сравним минутные подачи для этих ступеней:

$$s_x = s_0 n_x, \\ s_{x+1} = s'_0 n_{x+1},$$

$$s' \leq s_0^{0,15} \sqrt{\frac{n}{n_{x+1}}} = 0,26 \cdot 0,15 \sqrt{\frac{342}{400}} = 0,091 \text{ мм / об.}$$

Ближайшая меньшая, имеющаяся на станке $s_0' = 0,84$ мм/об,

$$s_x = 0,26 \cdot 315 = 81,9 \text{ мм/мин}; \\ s_{x+1} = 0,084 \cdot 400 = 33,6 \text{ мм/мин}; \\ s_{x+1} < s_x.$$

Таким образом, наивыгоднейший режим резания будет: $t = 2$ мм;
 $s = 0,26$ мм/об; $n = 315$ об/мин.

Действительная скорость резания

$$V = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 60 \cdot 315}{1000} = 59,3 \text{ м / мин.}$$

5.1.5. Проверка выбранного режима резания по крутящему моменту (мощности) на шпинделе станка

Условия проверки $M_{\text{рез}} \leq M_{\text{шп}}$.

$$M_{\text{рез}} = 0,0005 C_{Pz} t^{X_{Pz}} s_0^{Y_{Pz}} D = \\ = 0,0005 \cdot 3500 \cdot 2^{0,95} \cdot 0,026^{0,75} \cdot 59,3^{-0,1} \cdot 60 = 49,0 \text{ Н,}$$

$$M_{\text{рез}} = 49,0 \text{ Н} \cdot \text{м} < M_{\text{шп}} = 255 \text{ Н} \cdot \text{м} .$$

Следовательно, станок может выполнить выбранный режим резания.

5.1.6. Определение машинного времени обработки

$$T_{\text{маш}} = \frac{y + l + y_1}{sn}$$

где $y = r \cdot \text{ctg} \varphi = 0$.

Принимаем $y = 0,5 \text{ мм}$; $l = 400 \text{ мм}$; $y_1 = 1,5 \text{ мм}$; $s = 0,26 \text{ мм/об}$; $n = 315 \text{ об/мин}$.

Тогда

$$T_{\text{маш}} = \frac{0,5 + 400 + 1,5}{0,26 \cdot 315} = 4,91 \text{ мин} .$$

5.1.7. Определение коэффициента использования режущих свойств инструмента

$$K_{\text{в}} = \frac{sn}{s_p n_p}$$

$s = 0,26 \text{ мм / об}$; $n = 315 \text{ об / мин}$; $s_p = 0,26 \text{ мм / об}$;

$n_p = 342 \text{ об / мин}$.

Тогда

$$K_{\text{в}} = \frac{0,26 \cdot 315}{0,26 \cdot 342} = 0,921 \text{ или } K_{\text{в}} = 92\% .$$

5.1.8. Определение коэффициента загрузки станка по мощности (крутящему моменту)

$$K_{\text{с}} = \frac{N_{\text{рез}}}{N_{\text{шп}}} = \frac{M_{\text{рез}}}{M_{\text{шп}}} ,$$

$$M_{\text{рез}} = 49 \text{ Н} \cdot \text{м}, M_{\text{шц}} = 255 \text{ Н} \cdot \text{м}, K_c = \frac{49}{255} = 0,192$$

или $K_c = 19\%$.

5.2. ПРИМЕР ТАБЛИЧНОГО РАСЧЕТА РЕЖИМА РЕЗАНИЯ

Пусть необходимо произвести расчет режима резания для обточки вала при условиях, указанных в примере аналитического расчета наивыгоднейшего режима резания.

5.2.1. Выбор типа резца, его основных размеров и геометрии

Этот выбор производится, исходя из тех же соображений, которые изложены в примере аналитического расчета. Оптимальная марка инструментального материала и геометрии резца выбирается по прил. 1 и 2 [6].

Поскольку нормативные материалы в прил. 2 и 3 данного пособия те же, что и в [6], то и получим результаты, приведенные в примере аналитического расчета. Не будем их повторять.

5.2.2. Выбор глубины резания

Глубина резания определяется припуском на обработку или соображениями, изложенными на с.13 [6]. Можно воспользоваться и рекомендациями методики. В данном случае

$$t = \frac{60 - 56}{2} = 2 \text{ мм}.$$

5.2.3. Выбор подачи

По карте 3 на с. 39 [6] находим, что для углеродистой и легированной стали, если требуется обеспечить шероховатость по $\nabla 4$ ($R_z = 40 - 20$ мкм) резцом с $r = 1,0$ мм, рекомендуется $s = 0,55 - 0,65$ мм/об.

Поскольку $\frac{L}{D}$ достаточно большое (≈ 9), принимаем $s = 0,55$ мм/об.

Для стали XI8H9T рекомендуется $K_s = 0,6$, тогда $s = 0,55 \cdot 0,6 = 0,33$ мм/об.

Так как в таблицах рекомендуемых скоростей величины дискретны, то необходимо выбрать v для подачи ближайшей меньшей (или равной) к $0,33$ мм/об. Находим по карте 5 на с. 41 [6], что при t до $2,1$ мм v даны для $s = 0,27$ мм/об и $s = 0,37$ мм/об. Выбираем $s = 0,27$ мм/об.

Выборную подачу сопоставляем с паспортными данными станка и принимаем окончательно $s = 0,26$ мм/об.

Проверяем выбранную подачу по ограничивающим факторам.

По прочности механизма подач станка

По прил. 7 на с. 382 [6] находим, что при $t = 2$ мм; $s = 0,26$ мм/об; $v = 65$ м/мин с учетом поправок ($K_\gamma = 1,0$ и $K_\lambda = 1,0$) возникает сила подачи $P_x = 63$ кгс (630 Н). Сопоставляя с паспортными данными станка, убедимся, что возникающая сила меньше допустимой прочности механизма подач станка ($Q_{ст} = 3530$ Н).

По прочности державки резца

По прил. 9 на с. 385 [6] находим, что для резцов с $B \times H = 16 \times 25$ при $l = 1,5$ Н ≈ 35 мм и работе с $t < 2,9$ мм допустимая подача $s = 2,7$ мм/об.

По жесткости (по прогибу) в связи с заданной точностью обработки

По прил. 12 на с. 392 [6] находим, что при обточке детали из стали с $\sigma_B = 55 \div 68$ кгс/мм (550-680 МПа) по 3 классу точности (30-50 мкм), закрепленной в центрах при $t = 2$ мм, допускается подача $s = 0,62$ мм/об. В нашем случае резец имеет $\varphi = 90^\circ$, поэтому с учетом поправки $S = 0,62 \cdot 2,47 = 1,53$ мм/об.

Таким образом, наибольшей технологически допустимой подачей будет $s = 0,26$ мм/об.

5.2.4. Выбор скорости резания (скоростной ступени станка)

1. По карте 5 на с. 41 [6] находим, что при обработке жаропрочной стали Х18Н9Т в состоянии поставки резцами с пластинами твердого сплава ВК8 при t до $2,1$ мм и $s = 0,27$ мм/об и $\varphi = 90^\circ$

рекомендуется $v = 75$ м/мин. С учетом поправочных коэффициентов

$$v = 75 K_{u_v} K_{n_v} K_{M_v} = 75 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,9 = 67,5 \text{ м / мин.}$$

2. Частота вращения шпинделя станка

$$n = \frac{1000v}{\pi D} = \frac{67,5 \cdot 1000}{3,14 \cdot 60} = 358 \text{ об / мин.}$$

Сопоставляя с паспортными данными станка, принимаем $n = 315$ об/мин.

3. Действительная скорость резания

$$v_{\text{действ}} = \frac{\pi D n}{1000} = 59,34 \text{ м / мин.}$$

5.2.5. Проверка выбранного режима резания по возможностям станка

1. Мощность, потребляемая на резание. По карте 7 на с. 48 [6] находим, что при обработке жаропрочной стали X18H9T резцами с пластинками из твердого сплава при $t = 2$ мм $s = 0,3$ мм/об и $v = 59$ м/мин, $N \approx 1,3$ кВт.

2. Крутящий момент

$$M = \frac{N60}{2\pi n} = \frac{1300 \cdot 60}{2 \cdot 3,14 \cdot 315} = 39,4 \text{ Нм.}$$

(Двойной крутящий момент при черновой обработке дан в прил. 5 на с. 380 [6]).

Сопоставляя N и M с паспортными данными станка, убеждаемся, что выбранный режим резания на станке К62 выполним. Таким образом, за оптимальный режим резания принимаем $t = 2$ мм, $s = 0,26$ мм/об, $n = 315$ об/мин. Далее, если это требуется, так же как и в примере аналитического расчета, определяются другие показатели: машинное время обработки, коэффициент использования режущих свойств инструмента, коэффициент загрузки станка по мощности.

Из приведенного примера следует, что табличный (нормативный) способ расчета дал тот же результат, который получен при аналитическом расчете наиболее выгодного режима резания.

5.3. РАСЧЕТ НАИВЫГОДНЕЙШЕГО РЕЖИМА РЕЗАНИЯ НА ЭВМ

Для решения задачи в том виде, как она поставлена и реализуется в методике, расчетные зависимости должны быть выражены в «машинных» символах (которые обозначены на клавишах машины) и, следовательно, принятые в методике символы величин необходимо заменить на «машинные», составив их список, например в виде таблиц.

Затем применительно к ЭВМ разрабатывается программа. Для учебных целей, как уже отмечалось ранее, целесообразно иметь полную программу работы машины с поэтапным вводом исходных и нормативных данных, с выводом на экран дисплея промежуточных решений и возможностью их корректировки, т.е. программа должна обеспечить работу в режиме диалога. Один из вариантов такой программы и должен быть использован при выполнении домашнего задания.

Для реализации программы применительно к конкретному заданию необходимо выбрать численные значения всех величин, входящих в зависимости, используя для этого исходные, справочные и нормативные данные из задания, прил. 1-7 и рекомендаций, изложенных в методике. По мере выбора величин, они заносятся в таблицу (см. приложение), после заполнения которой можно приступить к работе на машине.

Работа на машине заканчивается выводом результатов расчета на печать.

6. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОФОРМЛЕНИЮ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ

Домашнее задание оформляется в виде пояснительной записки формата А4.

В соответствии с СТП СГАУ 6.1.4-97 записка должна содержать: титульный лист, реферат, содержание, бланк задания, введение, содержание задания (с эскизом), изложение существа выполненной работы, заключение, перечень использованной литературы, рабочий чертеж резца.

ПАСПОРТНЫЕ ДАННЫЕ НЕКОТОРЫХ ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНЫХ СТАНКОВ

I. Станок I Д 6 3

Высота центров, мм	315
Расстояние между центрами, мм	1400
Наибольший диаметр обточки, мм	
прутка	65
над суппортом	340
над станковой	630
Наибольшая длина обточки, мм	1260
Наибольшие размеры державки резца ВхН	40x40
Мощность двигателя, кВт	14
Наибольшее усилие, допускаемое механизмом	
подач, Н	
продольной	19600
поперечной	9800

Частота вращения шпинделя и соответствующий ей
наибольший допустимый крутящий момент

n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м	n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м	n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м
9,6	2481	37	1451	149	363
11,8	2481	46,6	1157	198	286
15,5	2452	61	873	246	219
19,2	2442	78	686	310	175
24,4	2206	91	510	387	139
30,4	1775	128	441	486	111

Продольные подачи, мм/об

0,09	0,11	0,12	0,13	0,15	0,17	0,18	0,21
0,23	0,26	0,29	0,33	0,37	0,41	0,46	0,52
0,58	0,65	0,73	0,82	0,91	1,03	1,15	1,29
1,45	1,63	1,82	2,05	2,28	2,55	2,86	3,20

Поперечная подача равна 0,5 продольной

2. С т а н о к 1 6 3

Высота центров, мм	315
Расстояние между центрами, мм	1400
Наибольший диаметр обточки, мм	
прутка	65
над суппортом	340
над станиной	630
Наибольшая длина обточки, мм	1260
Наибольшие размеры державки резца ВкН	40x40
Мощность двигателя, кВт	14
Наибольшее усилие, допускаемое механизмом	
подач, Н	
продольной	19600
поперечной	9800

Частота вращения шпинделя и соответствующий ей
наибольший допустимый крутящий момент

n , об/мин	$M_{кр}$, Н·м	n , об/мин	$M_{кр}$, Н·м	n , об/мин	$M_{кр}$, Н·м
10	3295	63	1633	315	324
12,5	3295	80	1290	400	262
16	3295	100	1010	500	210
20	3295	125	807	630	164
25	3295	160	632	800	130
31,5	3236	200	504	1000	102
40	2569	250	405	1250	81
50	2020				

Продольная подача, мм/об

0,10	0,11	0,13	0,15	0,16	0,17	0,18	0,20
0,21	0,23	0,26	0,30	0,31	0,33	0,36	0,40
0,43	0,47	0,53	0,60	0,63	0,67	0,73	0,80
0,87	0,94	1,07	1,20	1,27	1,34	1,47	1,60
1,74	1,88	2,14	2,40	2,54	2,68	2,94	3,20

Поперечная подача равна 0,5 продольной

3. С т а н о к Д И П 2 0 - М

Высота центров, мм	200
Расстояние между центрами, мм	1500
Наибольший диаметр обточки, мм	
прутка	37
над суппортом	210
над станиной	410
Наибольшая длина обточки, мм	1400
Наибольшие размеры державки реза ВхН	25х25
Мощность двигателя, кВт	4,5
Наибольшее усилие, допускаемое механизмом подачи, Н	3530

Частота вращения шпинделя и соответствующий ей
наибольший допустимый крутящий момент

n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м	n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м	n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м
11,5	1157	46	677	184	170
14,5	1147	58	539	231	135
19	1138	76	412	304	103
24	1128	96	324	382	81
30	1040	120	261	477	66
37,5	835	150	206	600	52

Продольная подача, мм/об

0,08	0,098	0,10	0,11	0,11	0,13	0,14
0,15	0,16	0,18	0,20	0,23	0,24	0,25
0,28	0,30	0,33	0,35	0,40	0,45	0,48
0,50	0,55	0,60	0,65	0,75	0,80	0,91
0,96	1,06	1,11	1,21	1,28	1,46	1,59

Поперечная подача равна 1/3 продольной

Высота центров, мм	202
Расстояние между центрами, мм	750
Наибольший диаметр обточки, мм	
прутка	36
над суппортом	210
над станиной	400
Наибольшая длина обточки, мм	650
Наибольшие размеры державки резца ВхН	25x25
Мощность двигателя, кВт	7,0
Наибольшее усилие, допускаемое механизмом подачи, Н	3530

Частота вращения шпинделя и соответствующий ей
наибольший допустимый крутящий момент

n , об/мин	$M_{\text{шт}}$, Н·м	n , об/мин	$M_{\text{шт}}$, Н·м	n , об/мин	$M_{\text{шт}}$, Н·м
12	1177	76	735	380	145
15	1157	96	579	460	131
19	1138	120	456	480	118
24	1118	150	373	600	97
30	1079	184	304	610	92
38	1030	230	240	770	69
46	981	305	184	960	52
58	861	370	167	1200	39

Продольная подача, мм/об

0,082	0,088	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14
0,15	0,16	0,18	0,20	0,23	0,24	0,25
0,28	0,30	0,33	0,35	0,40	0,45	0,48
0,50	0,55	0,60	0,65	0,71	0,80	0,91
0,96	1,06	1,11	1,21	1,28	1,46	1,59

Поперечная подача равна 1/3 продольной

5. С т а н о к I K 6 2

Высота центров, мм	215
Расстояние между центрами, мм	710, 1000, 1400
Наибольший диаметр обточка, прутка	36
над суппортом	220
над станной	400
Наибольшая длина обточка, мм	640, 330, 1330
Наибольшие размеры державки резца ВхН	25x25
Мощность двигателя, кВт	10
Наибольшее усилие, допускаемое механизмом подачи, Н	3530

Частота вращения шпинделя и соответствующий ей
наибольший допустимый крутящий момент

n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м	n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м	n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м
12,5	1275	80	957	500	151
16	1275	100	765	630	117
20	1275	125	608	800	91
25	1275	160	481	1000	69
31,5	1255	200	382	1250	53
40	1236	250	304	1600	41
50	1216	315	255	2000	29
63	1177	400	202		

Продольная подача, мм/об

0,070	0,074	0,084	0,097	0,11	0,12	0,13
0,14	0,15	0,17	0,195	0,21	0,23	0,26
0,28	0,30	0,34	0,39	0,43	0,47	0,52
0,57	0,61	0,7	0,78	0,87	0,95	1,04
1,14	1,21	1,4	1,56	1,74	1,9	2,08
2,28	2,42	2,8	3,12	3,48	3,8	4,16

Поперечная подача равна 0,5 продольной

6 Станок К62Ф3С1 (ЧПУ)

Продолжение прил. 1

Высота центров, мм		215
Расстояние между центрами, мм		930
Наибольший диаметр обточки, мм		
прутка		36
над суппортом		220
над станиной		400
Наибольшая длина обточки, мм	640, 930, 1330	
Наибольшие размеры державки резца ВхН		25х25
Мощность двигателя, кВт		7,5
Наибольшее усилие, допускаемое механизмом подачи, Н		

Частота вращения шпинделя и соответствующий ей наибольший допустимый крутящий момент

n , об/мин	$M_{\text{шп}}$, Н·м	n , об/мин	$M_{\text{шп}}$, Н·м	n , об/мин	$M_{\text{шп}}$, Н·м
12,5	1275	80	957	500	151
16	1275	100	765	630	117
20	1275	125	608	800	91
25	1275	160	481	1000	69
31,5	1255	200	382	1250	53
40	1236	250	304	1600	41
50	1216	315	255	2000	29
63	1177	400	202		

Продольная подача с дискретностью 0,01 мм изменяется до 1200 мм/мин.

Поперечная подача с дискретностью 0,005 мм изменяется до 120 м/мин.

7. Станок I 6 2 0

Высота центров, мм	205
Расстояние между центрами, мм	750, 1000
Наибольший диаметр обточка, прутка	36
над суппортом	210
над станиной	400
Наибольшая длина обточка, мм	650, 900
Наибольшие размеры державки резца, ВхН	25х25
Мощность двигателя, кВт	13
Наибольшее усилие, допускаемое механизмом подачи, Н	3630

Частота вращения шпинделя и соответствующий ей
наибольший крутящий момент

Частота вращения шпинделя изменяется бесступенчато в пределах
30-3000 об/мин.

n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м		n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м		n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м	
30-200	$\frac{137290}{n^{1,1}}$		200-790	$\frac{168670}{n^{1,1}}$		790-3000	$\frac{372650}{n^{1,2}}$	
Продольные и поперечные подачи, мм/об								
0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	
0,13	0,14	0,15	0,16	0,18	0,19	0,20	0,21	
0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,30	
0,32	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,44	0,46	
0,48	0,50	0,52	0,55	0,57	0,61	0,63	0,66	
0,70	0,72	0,76	0,78	0,82	0,86	0,92	0,94	
1,00	1,02	1,06	1,10	1,22	1,43	-	-	

8. Станок I 6 K 2 0 (I6K20П, I6K20Г, I6K25)

Высота центров, мм	215 (для I6K25 - 250)
Расстояние между центрами, мм	710 (1000, 1400, 2000)
Наибольший диаметр обточка, прутка	50
над суппортом	220 (для I6K25 - 290)
над станиной	400 (для I6K25 - 500)
Наибольшая длина обточка, мм	645 (935, 1335, 1935)
Наибольшие размеры державки резца ВХН	25x25
Мощность двигателя, кВт	10
Наибольшее усилие, допускаемое механизмом подачи, Н	
продольной	5890
поперечной	3530

Частота вращения шпинделя и соответствующий ей
наибольший допустимый крутящий момент

n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м	n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м	n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м
12,5	1275	80	838	500	143
16	1275	100	657	630	112
20	1275	125	520	500	145
25	1275	160	397	630	114
31,5	1275	200	373	800	88
40	1275	250	294	1000	69
50	1275	315	235	1250	54
63	1069	400	177	1600	41

Продольные подачи, мм/об

0,05	0,06	0,075	0,09	0,1	0,125	0,15	0,175
0,20	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5	0,6	0,7
0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	2,0	2,4	2,8

Поперечная подача равна 0,5 продольной

9. Станок 1616

Высота центров, мм	160
Расстояние между центрами, мм	750
Наибольший диаметр обточки, мм	
прутка	29
над суппортом	175
над станкой	320
Наибольшая длина обточки, мм	700
Наибольшие размеры державки резца ВхН	20x20
Мощность двигателя, кВт	4,5
Наибольшее усилие, допускаемое механизмом подачи, Н	2990

Частота вращения шпинделя и соответствующий ей
наибольший допустимый крутящий момент

n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м	n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м	n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м
44	785	173	186	723	46
63	539	248	125	958	34
91	363	350	98	1380	23
120	275	503	68	1980	14

Продольные и поперечные подачи, мм/об

0,04	0,045	0,05	0,056	0,06	0,07	0,08	0,09
0,10	0,11	0,12	0,14	0,16	0,17	0,19	0,22
0,25	0,27	0,31	0,34	0,39	0,43	0,48	0,54
0,61	0,68	0,76	0,85	0,96	1,07	1,2	1,34

10. Станок I A 6 I 6

Высота центров, мм	165
Расстояние между центрами, мм	710
Наибольший диаметр обточки, мм	
прутка	34
над суппортом	180
над станиной	320
Наибольшая длина обточки, мм	660
Наибольшие размеры державки резца ВхН	20x25
Мощность двигателя, кВт	4
Наибольшее усилие, допускаемое механизмом подачи, Н	3140

Частота вращения шпинделя и соответствующий ей
наибольший допустимый крутящий момент

n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м	n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м	n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м
11,2	608	112	216	560	49
18	598	140	173	710	35
28	588	180	134	900	28
45	569	224	108	1120	21
56	431	280	86	1400	17
71	341	355	77	1800	11
90	269	450	59	2240	8

Продольные и поперечные подачи, мм/об

0,08	0,114	0,13	0,146	0,155	0,16
0,193	0,228	0,26	0,292	0,31	0,32
0,39	0,455	0,52	0,585	0,62	0,65
0,78	0,91	1,04	1,17	1,24	1,56

11. С т а н о к 1 А 6 I 6 П

Высота центров, мм	165
Расстояние между центрами, мм	710
Наибольший диаметр обточка, прутка	34
над суппортом	180
над станиной	320
Наибольшая длина обточка, мм	660
Наибольшие размеры державки резца ВхН	25x25
Мощность двигателя, кВт	4
Наибольшее усилие, допускаемое механизмом подачи, Н	3140

Частота вращения шпинделя и соответствующий ей
наибольший допустимый крутящий момент

n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м	n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м	n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м
11,2	608	112	259	560	55
18	605	140	205	710	41
28	603	180	160	900	31
45	552	224	127	1120	25
56	512	280	102	1400	21
71	404	355	86	1800	15
90	319	450	68	2240	11

Продольные и поперечные подачи, мм/об

0,034	0,037	0,039	0,045	0,047	0,054
0,059	0,065	0,068	0,074	0,078	0,091
0,094	0,11	0,118	0,124	0,136	0,148
0,156	0,18	0,188	0,22	0,236	0,26
0,295	0,312	0,361	0,372	0,372	0,376
0,470	0,472	0,52	-	-	-

12. Станок ИВ616 (класс точности А)

Высота центров, мм	165
Расстояние между центрами, мм	500
Наибольший диаметр обточки, мм	
прутка	29
над суппортом	180
над станиной	320
Наибольшая длина обточки, мм	475
Наибольшие размеры державки резца ВхН	16x20
Мощность двигателя, кВт	4

Частота вращения шпинделя, об/мин

10	40	80	160	315	630	1250
16	50	100	200	400	800	1600
25	63	125	250	500	1000	2000

Продольные подачи, мм/об

0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07
0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14
0,16	0,20	0,23	—	—	—	—

Поперечная подача равна 0,5 продольной

13. Станок 16Б16Т ІСІ (ЧПУ)

Высота центров, мм	160
Расстояние между центрами, мм	750
Наибольший диаметр обточки, мм	
прутка	45
над суппортом	125
над станиной	320
Наибольшая длина обточки, мм	700
Наибольшие размеры державки резца В×Н×L	25×25×150
Мощность двигателя (типа МР132М), кВт	11
Наибольшее усилие, допускаемое механизмом подачи, Н:	
продольной	7500
поперечной	3750
Частота вращения шпинделя изменяется бесступенчато.	
Наибольший крутящий момент и мощность на шпинделе:	

без перебора			с перебором		
п, об/мин.	$M_{шп}, Н \cdot М$	$N_{шп}, кВт$	п, об/мин	$M_{шп}, Н \cdot М$	$N_{шп}, кВт$
80...848	130	$n \cdot 0,0125 + 0,25$	20...212	467	$n \cdot 0,05 + 0,25$
848...2800	$\frac{110240}{n}$	10,85	212...700	$\frac{99000}{n}$	10,85

Продольные подачи с дискретностью 0,01 мм
изменяются до 1200 мм/мин

Поперечные подачи с дискретностью 0,005 мм
изменяются до 600 мм/мин.

14. С т а н о к I 6 I 5 M

Высота центров, мм	155
Расстояние между центрами, мм	750
Наибольший диаметр обточки, мм прутка	34
над суппортом	150
над станиной	320
Наибольшая длина обточки, мм	700
Наибольшие размеры державки резца ВхН	25x20
Мощность двигателя, кВт	2,2
Наибольшее усилие, допускаемое механизмом подач, Н	3140

Частота вращения шпинделя и соответствующий ей
наибольший допустимый крутящий момент

n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м	n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м	n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м
44	319	180	99	613	29
72	248	245	73	1000	18
110	127	400	45	—	—

Продольные подачи, мм/об

0,05	0,057	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11
0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,25	0,28
0,32	0,35	0,39	0,44	0,49	0,55	0,28	0,29
0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,36	0,62	0,70
0,78	0,87	0,98	1,10	1,23	1,38	1,54	1,73
1,94	2,10	2,43	2,72	—	—	—	—

Поперечная подача равна 0,5 продольной

15. Станок И П 6 I

Высота центров, мм	170
Расстояние между центрами, мм	710
Наибольший диаметр обточка, мм	
прутка	32
над суппортом	160
над станиной	320
Наибольшая длина обточка, мм	640
Наибольшие размеры державки резца ВхН	22x35
Мощность двигателя, кВт	2,2
Наибольшее усилие, допускаемое механизмом подачи, Н	2940

Частота вращения шпинделя к соответствующий ей
наибольший допустимый крутящий момент

n , об/мин	$M_{кр}$, Н·м	n , об/мин	$M_{кр}$, Н·м	n , об/мин	$M_{кр}$, Н·м
12,5	1460	63	259	355	48
16	1104	80	195	450	38
20	883	100	156	560	30
25	794	125	119	710	22
28	624	160	107	800	19
35,5	482	200	88	1000	14
45	380	250	69	1250	1,1
56	291	315	54	1600	7

Продольная подача, мм/об

0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,15	0,17
0,18	0,19	0,20	0,21	0,23	0,25	0,26	0,29
0,33	0,35	0,38	0,39	0,42	0,46	0,50	0,52
0,58	0,66	0,72	0,76	0,78	0,84	0,92	1,0
1,05	1,17	1,20	1,32	1,44	1,56	1,9	-

Поперечная подача равна 0,5 продольной

16. С т а н о к 1 Е 6 I M

Высота центров, мм	170
Расстояние между центрами, мм	710
Наибольший диаметр обточки, прутка	32
над суппортом	188
над станной	320
Наибольшая длина обточки, мм	640
Наибольшие размеры державки резца ВхН	12x20
Мощность двигателя, кВт	4,5
Наибольшее усилие, допускаемое механизмом подачи, Н	2940

Частота вращения шпинделя к соответствующий ей
наибольший допустимый крутящий момент

n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м		n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м		n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м
35	838		140	258		560	65
50	716		200	181		800	47
71	504		280	106		1120	33
100	366		400	94		1600	23
Продольные подачи, мм/об							
0,12	0,14	0,15	0,16	0,18	0,20	0,21	0,22
0,23	0,24	0,25	0,26	0,28	0,30	0,32	0,33
0,35	0,37	0,39	0,42	0,44	0,46	0,49	0,51
0,53	0,55	0,57	0,60	0,62	0,64	0,66	0,70
0,74	0,78	0,85	0,90	0,94	1,00	1,06	1,13
1,18	1,25	1,38	1,45	1,50	2,20	2,36	2,50

Поперечная подача равна 0,5 продольной

17. Станок I И 6 I I П

Высота центров, мм	130
Расстояние между центрами, мм	500
Наибольший диаметр обточка, мм	
прутка	24
над суппортом	125
над станиной	250
Наибольшая длина обточка, мм	500
Наибольшие размеры державки резца ВхН	16х16
Мощность двигателя, кВт	3
Наибольшее усилие, допускаемое механизмом подачи, Н	2940

Частота вращения шпинделя и соответствующий ей наибольший допустимый крутящий момент

n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м	n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м	n , об/мин	$M_{шп}$, Н·м
20	373	100	225	500	43
25	373	125	179	630	36
31,5	373	160	137	800	29
40	373	200	102	1000	23
50	373	250	75	1250	18
63	331	315	58	1600	14
80	279	400	48	2000	10
Продольные подачи, мм/об					
0,01	0,015	0,02	0,025	0,03	
0,04	0,045	0,05	0,075	0,125	
0,15	0,220	0,25	0,3	0,375	

Поперечная подача равна 0,5 продольной

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ОСНОВНЫЕ РАЗМЕРЫ
И ГЕОМЕТРИЯ РЕЗЦОВ

I. Инструментальные материалы для токарных резцов

I. Быстрорежущие стали

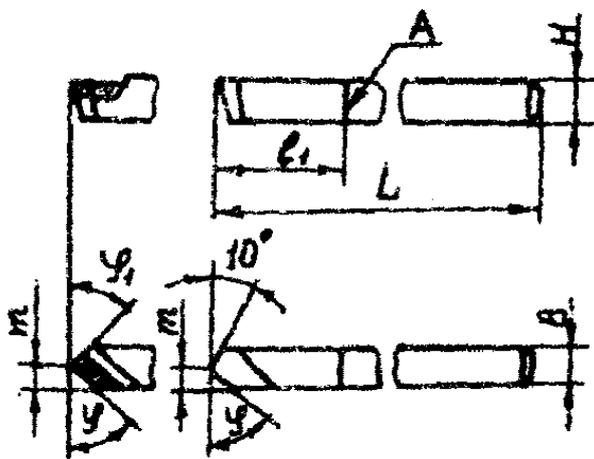
Марка	Примерное назначение и сравнительная характеристика
P9	Обработка мягких и средней твердости сталей, легких сплавов и других легкообрабатываемых материалов
P18	Обработка мягких и средней твердости сталей и чугунов. Обладает несколько большей износостойкостью по сравнению с P9. В связи с высоким содержанием вольфрама целесообразно заменять другими более эффективными марками
P6M5 P6M5K5	Обработка всех нетруднообрабатываемых материалов (конструкционные углеродистые и низколегированные стали, чугун и др.). По режущим свойствам, особенно при чистовой обработке, практически не уступает стали P18. Рекомендуются и при обработке коррозионно-стойких, теплоустойчивых и жаропрочных сталей I-III групп
P9K5 P9K10	Обработка высокопрочных коррозионно-стойких и жароустойчивых сталей и сплавов, титановых сплавов и других твердых материалов. Обладают повышенной теплоустойчивостью, особенно P9K10. Благодаря высокой вязкости сталь P9K5 пригодна для работы с ударами
P9Ф5	Выполнение чистовых операций на сталях средней твердости, бронзе, латуни, жаропрочных и титановых сплавах, а также на материалах, обладающих абразивными свойствами (пластмассы и др.)
P14Ф4	Обработка особо прочных материалов (легированные и коррозионно-стойкие стали, жаропрочные сплавы и др.). Обладает более высокой твердостью, износостойкостью и теплопроводностью

Марка	Примерное назначение и сравнительная характеристика
P18K542 P10K505	Обработка твердых, высокопрочных и труднообрабатываемых материалов (коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы, титановые сплавы и др.). Это стали высокой прокаливаемости
2. Т в е р д н е с п л а в ы	
HK3M	Получистовая и чистовая обработка с малым сечением среза цементированных и закаленных сталей, весьма твердых чугунов, коррозионно-стойких, жаропрочных сталей и сплавов и титановых сплавов
BK4.	Получистовое и чистовое точение при неравномерном сечении среза и непрерывном резании; растачивание, отрезка чугуна, цветных металлов и их сплавов и титановых сплавов
BK6	Черновое точение и растачивание при непрерывном резании; чистовое и получистовое точение при прерывистом резании чугуна и цветных сплавов
BK6M	Чистовая и получистовая обработка жаропрочных и коррозионно-стойких сталей и сплавов, твердых чугунов, цветных сплавов и титановых сплавов
BK6OM	Чистовая и получистовая обработка коррозионно-стойких, жаростойких, жаропрочных сталей и сплавов и титановых сплавов
BK8	Черновая обработка при неравномерном сечении среза и прерывистом резании чугуна, цветных сплавов, труднообрабатываемых специальных сплавов
BK8B	Грубая (тяжелая) обработка коррозионных и жаропрочных сталей и сплавов, а также стального литья
BK10M BK10OM	Черновая и получистовая обработка коррозионно-стойких, жаростойких, жаропрочных сталей и сплавов и титановых сплавов

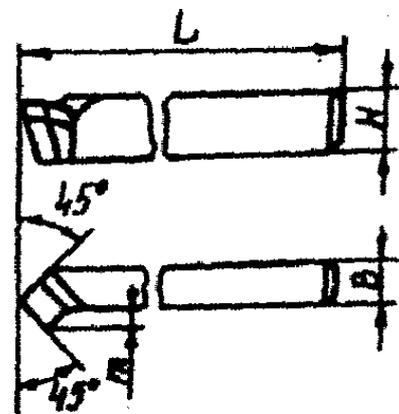
Марка	Примерное назначение и сравнительная характеристика
T30K4	Чистовая обработка с малым сечением среза (типа абразивной обработки) закаленных и не закаленных углеродистых и легированных сталей
T15K6	Получистовая и чистовая обработка при непрерывном резании; чистовая обработка при прерывистом резании углеродистых и легированных сталей
T5K10	Черновая обработка при неравномерном сечении среза и прерывистом резании углеродистых и легированных сталей, преимущественно в виде поволоков, штамповок и отливок по корке и скалпие
T17K12	Грубая обработка при тяжелых режимах резания углеродистых и легированных сталей
TT10KB5	Черновая и получистовая обработка с большим сечением среза углеродистых и легированных сталей, а также некоторых коррозионно-стойких и жаропрочных сталей

II. Основные размеры токарных резцов

1. Проходные прямые резцы с $\varphi = 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$



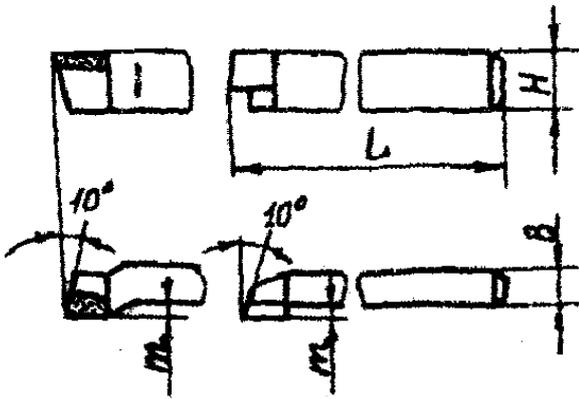
2. Проходные отогнутые резцы



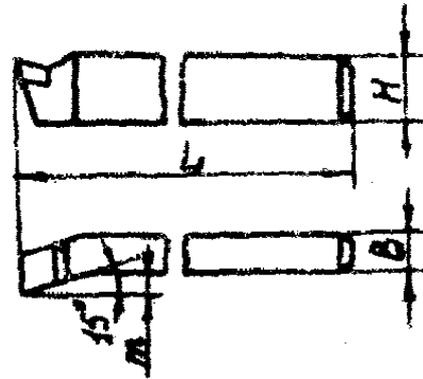
Быстрорежущие резцы изготовляются сваркой встык, либо оснащаются пластиной формы 44 или 45, твердосплавные — 01 или 10

Для быстрорежущих резцов рекомендуется пластины формы 41, для твердосплавных — 01

3. Упорные и подрезные отогнутые
резцы с $\varphi=90^\circ$ и $\varphi=95^\circ$



4. Торцовые упорные и подрезные
отогнутые резцы с $\varphi=90^\circ$ и $\varphi=95^\circ$



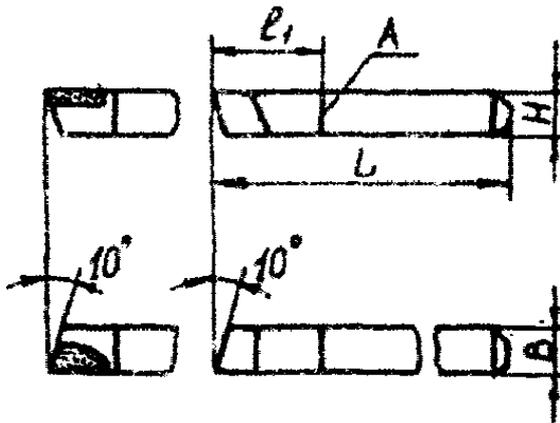
Быстрорежущие резцы изготов-
ляются напайкой пластины форм-
ы 41 на боковую поверхность,
твердосплавные - напайкой
пластины формы 07 сверху

Быстрорежущие резцы осна-
щаются пластинками формы
43, твердосплавные - 07

H	B	L	m				Упорные и подрезные отогнутые
			проходные			отогнутые	
			прямые				
			$\varphi = 45^\circ$	$\varphi = 60^\circ$	$\varphi = 75^\circ$		
16	10	100	6	4,5	3	6	4
	12		7	6	-		
20	12	120			3	8	6
	16		9	7	-		
25	16	140			4	10	8
	20		12	9	-		
32	20	170				12	10
	25		14	10	-		
40	25	200				14	10
	32		18	15	-		

Примечание. H:B = 1,25 только для твердосплавных резцов

5. Упорные подрезные прямые резцы с $\varphi=90^\circ$

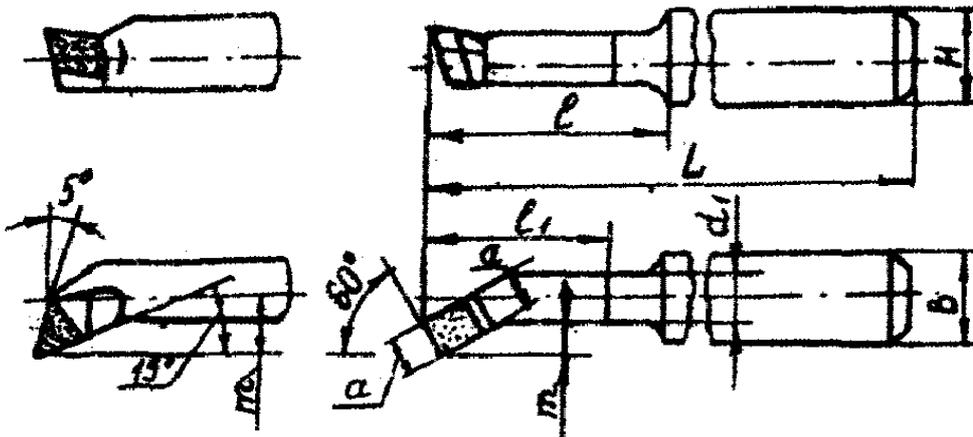


H	B	L
16	16	80
20	20	100
20	12	100
25	16	120
32	20	140

Быстрорежущие резцы изготавливаются сваркой встык $l_1 = 40-50$, либо оснащаются пластинками формы 42, твердосплавные - 07.

6. Расточные проходные и подрезные резцы для сквозных и глухих отверстий

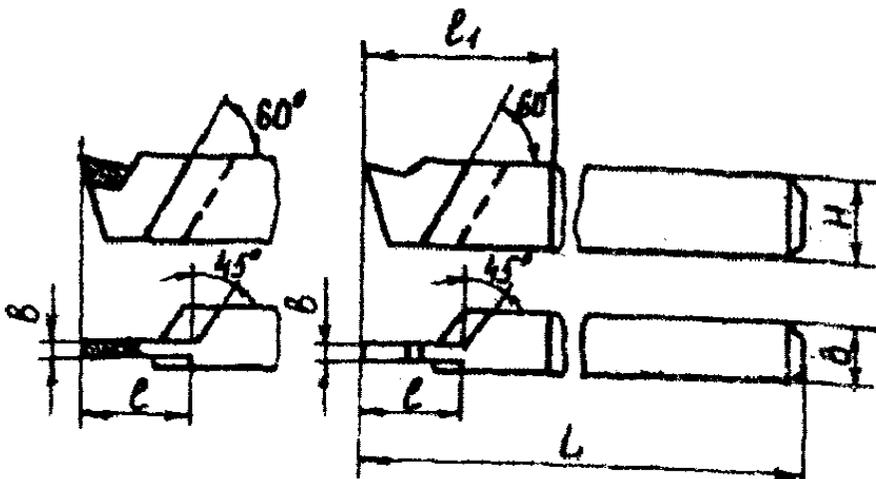
Быстрорежущие резцы свариваются встык на $l_1 = 35$ мм. Твердосплавные резцы оснащаются пластинками формы 02 или 06.



НхВ	L	l	d ₁	d	m	Д, мм
16x16	120	25	9,5	8	3,5	14
	140	35				
	170	40	12,0	10	4,5	18
20x20	140	40	15,0	12	5,5	21
	170	70				
	200	50	17,0	14	6,0	27
25x25	200	70	24,0	19	8,0	34
	240					

7. Отрезные резцы

Выстрелекующие резцы свариваются встык на $l_1 = 30-60$ мм. Твердосплавные оснащаются пластинами формы 13.

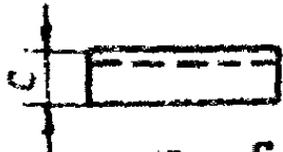
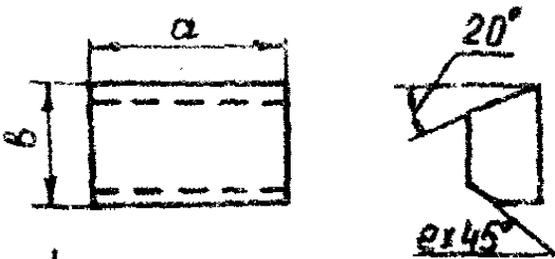


НВ	L	l	b
16x10	100	20	3
20x12	120	20	4
		25	
25x16	140	20	5
		35	
32x20	170	25	6
		40	
40x25	200	45	8

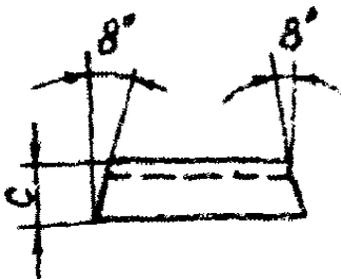
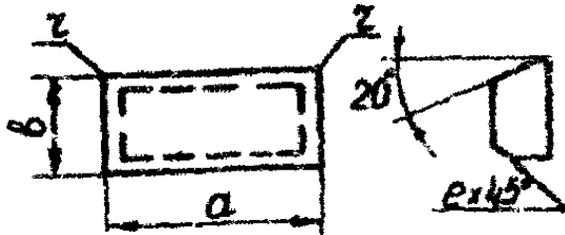
II. Форма и размеры пластинок для оснащения резцов

I. Твердосплавные пластинки
Форма 01 и 02

Тип А



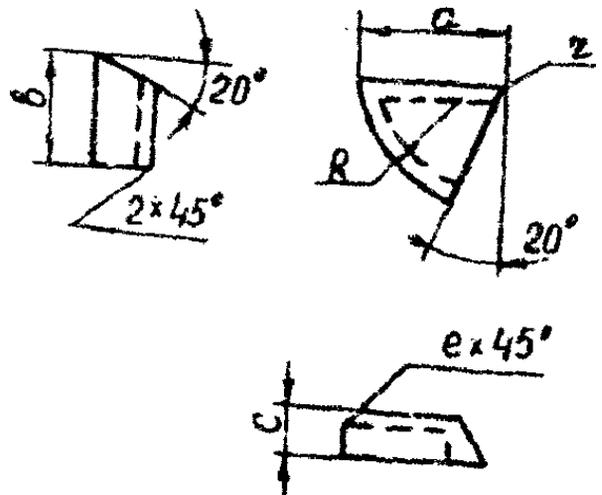
Тип Б



Номер пластин- ки	Размеры, мм				
	a	b	c	z	r
0103	8	6	3,0	0,5	I
0105	10	6	3,5	0,5	I
0107	12	8	4,5	0,5	I
0109	14	10	5,5	0,5	I,5
0111	16	10	5,5	0,5	I,5
0113	18	12	7,0	1,0	I,5
0115	20	12	7,0	1,0	I,5
0117	22	15	8,5	1,0	I,5
0119	25	15	8,5	1,0	I,5
0201	8	7	2,5	0,5	-
0203	10	8	3,0	0,5	I,0
0205	12	10	4,0	0,5	I,0
0223	14	12	4,5	0,5	I,0
0225	14	12	6,0	0,5	I,5
0227	18	16	6,0	0,5	I,5
0229	18	16	8,0	1,5	I,5

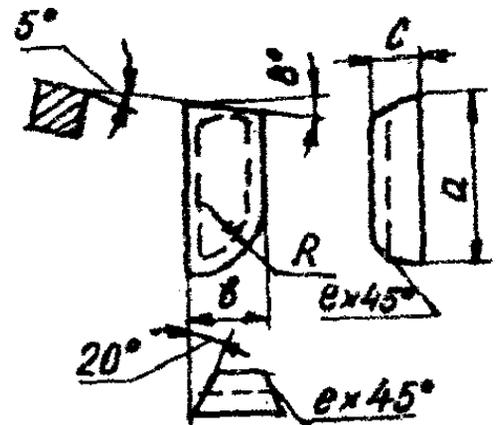
Форма 06

Номер ПЛАС- ТИНКИ	Размер, мм					
	a	b	c	R	z	l
0601	8	7	3	6	0,5	-
0603	10	8	3	6	1,0	1,0
0605	12	10	4	10	1,0	1,0
0607	12	10	5	10	1,0	1,0
0609	16	14	5	14	1,0	1,0
0611	16	14	7	14	1,0	1,5
0613	20	18	6	17	1,0	1,5



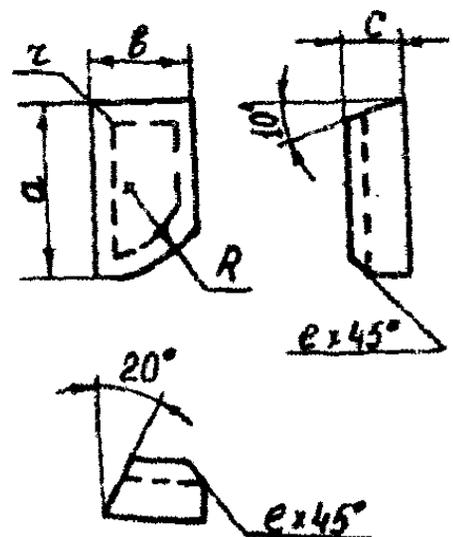
Форма 07

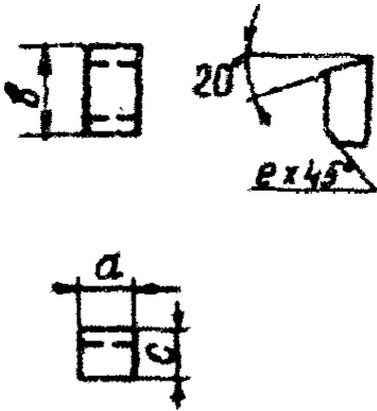
Номер ПЛАС- ТИНКИ	Размер, мм					
	a	b	c	R	z	l
0701	10	6	2,5	6	I	-
0703	12	7	3,0	7	I	1,0
0725	15	9	5,0	9	I	1,0
0729	20	11	6,0	11	I	1,5
0733	25	14	8,0	14	I	1,5



Форма 10

Номер ПЛАС- ТИНКИ	Размер, мм					
	a	b	c	R	z	l
1003	8	6	3,0	6	I	1,0
1005	10	6	3,5	6	I	1,0
1007	12	8	4,5	8	I	1,0
1011	16	10	5,5	10	I	1,5
1015	20	12	7,0	12	I	1,5

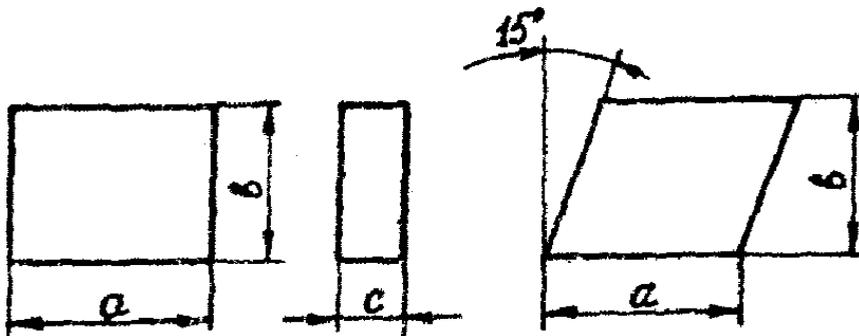




Номер плас- тинки	Размеры, мм			
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>l</i>
1321	3	10	3	1,0
1323	4	12	4	1,0
1325	5	15	5	1,0
1307	6	15	6	1,5
1309	8	18	7	1,5
1311	10	20	8	1,5

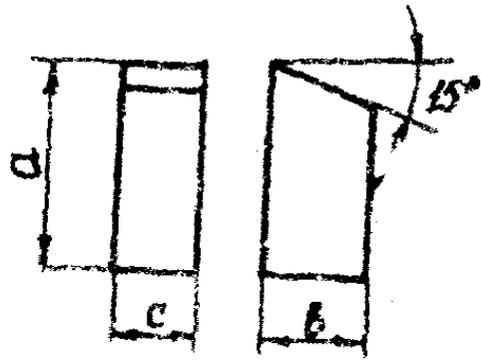
2. Быстрорежущие пластинки

Формы 41 и 43

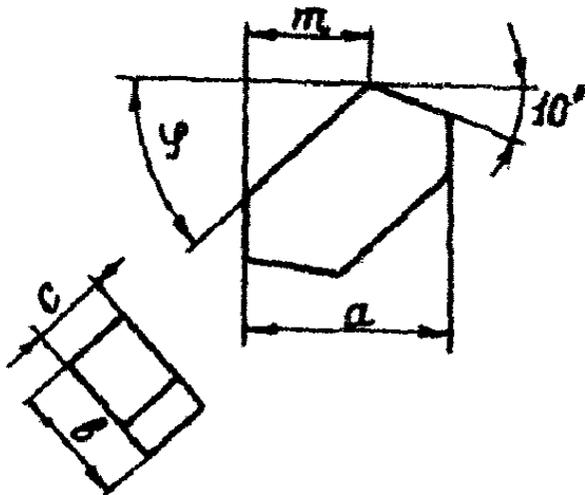


Номер пластинки	Номер пластинки	Размеры, мм		
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
4101	4301	10	10	5
4102	4302	12	10	5
4103	4303	16	12	6
4104	4304	20	16	8

Номер пластины	Размеры, мм		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
4201	10	8	5
4202	16	12	6
4203	20	16	8
4204	25	18	10



Формы 44 и 45 (пластины формы 44 с $\varphi = 45^\circ$;
формы 45 - с $\varphi = 60^\circ$)

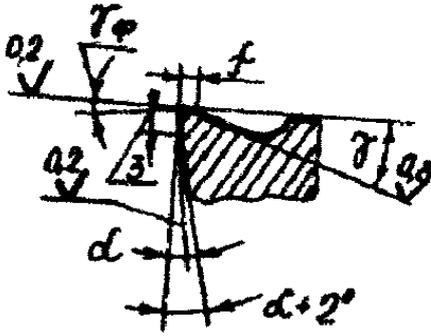
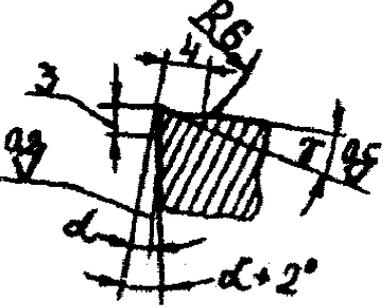
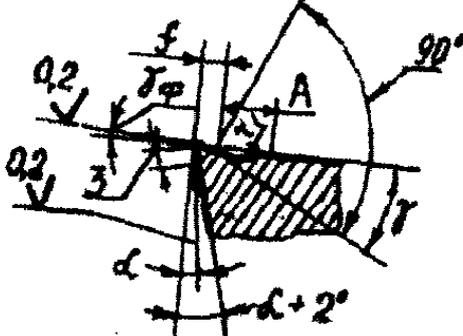


Номер пластины	Номер пластины	Размеры, мм			
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>m</i>
4401	4501	10	10	5	5
4402	4502	12	10	5	7
4403	4503	16	12	6	9
4404	4504	20	16	8	12

IV. Геометрия резов

I. Форма передней поверхности

Обозначение и форма передней поверхности	Эскиз	Область применения
I. Плоская с положительным передним углом		Обработка сталей с $\sigma_b \leq 800$ МПа, чугуна $HB \leq 200$, бронзы и других хрупких материалов

Обозначение и форма передней поверхности	Э о к и з	Область применения
II. Плоская с фаской		<p>Обработка стали с $\sigma_B > 800$ МПа, чугуна $HB > 200$, бронзы и других хрупких материалов</p>
III. Криволинейная		<p>Обработка стали с $\sigma_B \leq 800$ МПа, вязких цветных материалов и легких сплавов при необходимости заживления стружки (для твердосплавных резцов не рекомендуется)</p>
IV. Криволинейная с фаской		<p>Обработка стали с $\sigma_B > 800$ МПа и других вязких материалов при необходимости заживления стружки</p>

В случае черновой обработки заготовок при наличии корки, загрязненной неметаллическими включениями, а также при черновом точении с ударами для твердосплавных резцов рекомендуется применять заточку с отрицательными передними углами $\gamma = -(10-15)^\circ$.

2. Главный угол в плане

φ , град	Условия работы
30	Обточка с малыми глубинами резания в условиях особо жесткой системы СПИД
45	Обточка и расточка сквозных отверстий в условиях жесткой системы СПИД
60-75	Обточка и расточка сквозных отверстий при недостаточно жесткой системе СПИД
90	Обточка в условиях нежесткой системы СПИД, обточка ступенчатых поверхностей в упор. Отрезка
95	Подрезка торцов с подачей от периферии к центру, расточка глухих и ступенчатых поверхностей
100	Отрезка в случае недостаточно высоких требований к торцевой поверхности отрезаемой детали, если затем не предполагается операция подрезки торца

3. Вспомогательный угол в плане

φ_1 , град	Условия работы
1-2	Отрезка
5-10	Чистовая обточка и расточка в условиях особо жесткой системы СПИД
10-15	Обточка, расточка и торцовка в условиях нормальной жесткости
30	Обточка и расточка в условиях пониженной жесткости, а также при работе с подачей в обе стороны без перестановки резца и при работе с радиальным врезанием

4. Радиус закругления вершины резца

r , мм	Область применения
0,025 (H+B)	Резцы для обточки и торцовки
0,04 (H+B)	Расточные резцы
0,05 B	Отрезные

5. Передний и задний углы

Обрабатываемый материал	γ , град		α , град	
	Резцы		Вид обработки	
	твердосплавные	быстрорежущие	черновая	чистовая
Сталь и стальное лезвие $\sigma_s \leq 800$ МПа $\sigma_s > 800$ МПа $\sigma_s > 1000$ МПа а также при работе с ударами	12-15	20-25	8	12
	10	15-20	8	12
	5-10	5-10	8	12
Коррозионно-стойкие, жаропрочные, жаростойкие и титановые стали и сплавы	7-10	15-20	8	10
Чугун серый → ковкий	0-5	0-5	8	10
	8	5-10	8	10
Медные сплавы	12	12	8	12
Алюминиевые, магниевые и цинковые сплавы	15-20	20-30	10	12

6. Задний вспомогательный угол

Типы резцов	α_2 , град
Все резцы, кроме отрезных	$\alpha_2 = \alpha$
Отрезные.	$1 \div 2$

7. Угол наклона главной режущей кромки

Характер обработки	λ , град
Чистовая	$(-2) \div (-4)$
Черновая и получистовая (коррозионно-стойких, жаропрочных и титановых сталей и сплавов)	0 - 5
Черновая	10
Обработка прерывистых поверхностей и с ударами	$12 \div 15$

8. Фаска на передней поверхности

Обозначение и форма передней поверхности	Типы резцов	f , мм; γ , град
П. Плоская с фаской	Все резцы, кроме отрезных	$f = 0,015(H+B)$
	Отрезные	$f = 0,15 \div 0,2$
IV. Криволинейная с фаской	Все быстрорежущие Все твердосплавные	$\gamma_p = 0 \div 5$ $\gamma_\phi = -(5 \div 10)$

9. Параметры криволинейной передней поверхности

Обозначение и форма передней поверхности	Типы резцов	Параметры, мм
IV. Криволинейная с фаской	Все быстрорежущие	$A = \frac{H+B}{5}$ $r_1 = 4A$
	Все твердосплавные	$A = 2 - 2,5$ $r_1 = 2A$ $h = 0,1 - 0,15$

10. Средние величины допустимого износа резцов по задней поверхности

Типы резцов	Материал резца	Обрабатываемый материал	Характер обработки	Допустимый износ h_j , мм	
Все резцы, кроме отрезных	Быстрорежущая сталь	Углеродистые, и легированные стали	Чистовая	1,0	
		Коррозионно-стойкие, жаропрочные, и титановые сплавы	Черновая	1,5-2,0	
	Твердый сплав	Углеродистые и легированные стали	Чистовая	1,0	
			Черновая	1,0	
		Коррозионно-стойкие, жаропрочные и титановые стали и сплавы	Чистовая	1,0-1,4	
			Черновая	0,4-0,6	
		Чугун	Чистовая	0,4-0,5	
			Черновая	1,0	
			Чугун	Чистовая	0,8-1,0
				Черновая	0,6-0,8

Для отрезных и прорезных резцов величина допустимого износа принимается равной износу проходных резцов при чистовой обработке.

НОРМАТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО РЕЖИМАМ РЕЗАНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ
УГЛЕРОДИСТЫХ И ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

I. Механические свойства конструкционных углеродистых
и легированных сталей

Группа сталей	Марка	В состоянии поставки		После термической обработки		Для быстрорежущих резцов	
		вид обработки	НВ, МПа	вид обработки	σ_B , МПа	K_{2p}	R_{2v}
I	2	3	4	5	6	7	8
Углеродистая обыкновенного качества ($C \leq 0,6$)	Ст. 0	Г	380	Ф8 в МПа		1,0	1,0
	Ст. 1	Г	400				
	Ст. 2	Г	340-420				
	Ст. 4	Г	420-520				
	Ст. 5	Г	500-620				
	Ст. 6	Г	600-720				1,75
Углеродистая качественная ($C \leq 0,6$)	0,8	Г	1310	Н	300	1,0	1,0
	10	Г	1370				
	15	Г	1430				
	20	Г	1560				
	25	Г	1700				
	30	Г	1790				
	35	Г	1870				
	40	Г(10)	2170(1870)				
	45	Г(10)	2410(1970)				
	50	Г(10)	2410(2070)				
	55	Г(10)	2550(2170)				
60	Г(10)	2550(2290)					
Авто-матная	A12	Г(X)	1600(2170)			1,2	1,75
	A20	Г(X)	1680(2170)				
	A30	Г(X)	1850(2230)				
	A40Г	Г	2070				
Никелевые	40X					1,0	1,75
	45H						
	50H						
Хромоникелевые	20XH	OH	1970	30	800	0,9	1,5
	40XH	OH	2170				
	45XH	OH	2070				
	50XH	OH	2070				
	13H2XA	OH	2070				
	12XH2	OH	2070				
	12XH3A	OH	2170				
	12XH3A	OH	2690				
	12XH4A	OH	2410				
	20XH3A	OH					

1	2	3	4	5	6	7	8
Хромоникелевая	20X2H4A 30XH3A	ОП ОП	2690 2410	30 30	1300 1000		
Хромистая	15X	ОП	1790	30	700	0,8	1,75
	15XA	ОП	1790	30	600		
	15XP	ОП	1870	30	750		
	15XPA	ОП	1870	30	750		
	20X	ОП	1790	30	800		
	30X	ОП	1870	30	900		
	30XPA	ОП	2410	30	1600		
	35X	ОП	1970	30	950		
	35XPA	ОП	2170	30	950		
	38XA	ОП	2070	30	950		
	40X	ОП	2170	30	1000		
	40XP	ОП	2290	30	1000		
	45X	ОП	2290	30	850		
	45XЦ	ОП	2170	30	850		
50X	ОП	2290	30	900			
Марганцовистая	10Г2	ОП	1970	3	430	0,8	1,75
	35Г2	ОП	2070	3	630		
	40Г2	ОП	2170	3	670		
	50Г2	ОП	2290	3	750		
	15Г	Г	1630	Н	420		
	20Г	Г	1970	Н	460		
	25Г	Г	2070	Н	500		
	30Г	Г(ГО)	2170(1870)	Н	550		
	35Г	Г(ГО)	2290(1970)	Н	570		
	40Г	Г(ГО)	2290(2070)	Н	600		
	45Г	Г(ГО)	2410(2170)	Н	630		
	60Г	Г(ГО)	2690(2290)	Н	710		
	65Г	Г(ГО)	2850(2290)	Н	750		
	70Г	Г(ГО)	2850(2290)	Н	800		
Хромоникелево-фремовая, хромоникелемолибденовая	30XHBA	ОП	2410	30	1000	0,8	1,75
	38XHBA	ОП	2690	30	1100		
	40XHBA	ОП	2690	30	1000- 1100		
	30X2HBA	ОП	2690	30	1000- 1200		
	30XH3BA	ОП	2690	30	1100		
	18X2H4BA	ОП	2690	30	1150		
	25X2H4BA	ОП	2690	30	1100		
40XHMA	ОП	2690	30	1000- 1100			
	15XM	ОП	1790	30	450		
	30XM	ОП	2290	30	950		
	30XMA	ОП	2290	30	950		
	35XM	ОП	2410	30	1000		
	38XBA	ОП	2290	30	1000		

1	2	3	4	5	6	7	8
Хромолитденевая, хро- мовольфрамовая, хромо- ванадиевая, никелемо- литденевая, хромонике- левольфрамованадиевая, хромоникелемолитдено- ванадиевая, хромсали- цициевая	15XГ	ОП	1870	30	750	0,8	1,25
	20XГ	ОП	1970	30	800		
	40XГ	ОП	2410	30	900		
	25XН	ОП	1970	30	850		
	20XН	ОП					
	30XН2ВФА	ОП	2690	30	900		
	30X2НВФА	ОП	2690	30	1050		
	38XН3ВФА	ОП	2690	30	1200		
	20XН4ФА	ОП	2690	30	900		
	38XН3МФА	ОП			1200		
	38XН	ОП	2290	30	900		
	38XМФА	ОП	2290	30	1000		
	38XВФН	ОП	2290	30	1000		
	38XВФФА	ОП	2290	30	1000		
	Хромомарганцевая, хромкремнистая, хроммарганцево- никеле- вая, хромкремнемарганцевая, хромомарганцево- никеле- вая, хромкремниково- никелевая	18XГ	ОП	1870	30		
18XГТ		ОП	2170	30	1000		
20XГР		ОП	1970	30	1000		
30XГТ		ОП	2290	30	1500		
40XГ		ОП	2290	30	1000		
40XГР		ОП	2410	30	1000		
35XГ2		ОП	2290	30	850		
33XС		ОП	2410	30	900		
38XС		ОП	2550	30	950		
40XС		ОП	2550	30	1250		
27СГ		ОП	2170	30	1000		
35СГ		ОП	2290	30	900		
36Г2С		ОП	2290	30	750		
20XГСА		ОП	2070	30	800		
25XГСА		ОП	2170	30	1100		
30XГС		ОП	2290	30	1100		
30XГСА		ОП	2290	30	1100		
30XГСА		ОП	2550	30	1650		
30XГСА		ОП	2410	30	1650		
15XГНТ		ОП	2690	30	950		
15XГНТА		ОП	2690	30	950		
15X2ГН2Т		ОП	2690	30	1000		
15X2ГН2ТА		ОП	2690	30	1000		
15X2ГН2ТРА		ОП	2690	30	1050		
18XН		ОП	2250	30	850		
20XНР		ОП			1300		
25X2ГНТА		ОП	2690	30	1500		
30XГНА		ОП	2290	30	1100		
30XН		ОП	2290	30	900		
30X2ГН2		ОП	2550	30	1500		
16XСН	ОП	1970					
18XСНРА	ОП	1970	30	1300			

Условные обозначения: X - холоднокатаная, Г - горячекатаная,
 ГТ - горячекатаная отожженная, Н - нормализованная, З - закаленная,
 ЗО - закаленная и отпущенная, ОП - отожженная или отпущенная.

Модуль упругости E для углеродистых сталей составляет 200000-220000, для легированных 210000-220000 МПа.

Механические свойства, не указанные в таблице, можно определить из соотношений: для углеродистых конструкционных сталей - $\sigma_e = 0,4HB - 220$; для легированных сталей - $\sigma_e = 0,35HB$.

II. Значение коэффициентов и показателей степени в формулах для сил резания

Касательная сила резания				Радиальная сила резания				Осевая сила резания			
C'_{pz}	X_{pz}	Y_{pz}	Z_{pz}	C'_{py}	X_{py}	Y_{py}	Z_{py}	C'_{px}	X_{px}	Y_{px}	Z_{px}
Обточка твердосплавными резцами											
3000	1,0	0,75	-0,1	2430	0,9	0,6	-0,15	3250	1,0	0,35	-0,2
Обточка быстрорежущими резцами											
2000	1,0	0,75	0	1250	0,9	0,75	0	670	1,2	0,65	0
Отрезка твердосплавными резцами											
4080	0,72	0,8	0	1730	0,7	0,7	0				
Отрезка быстрорежущими резцами											
2470	1,0	1,0	0	1700	0,7	0,85	0				

III. Поправочные коэффициенты на силы резания для измененных условий работы

	φ , град	30	45	60	75	90	
		Для твердосплавных резцов					
1. Главный угол в плане	$K_{\varphi pz}$	1,08	1,0	0,94	0,92	0,89	
	$K_{\varphi py}$	1,3	1,0	0,77	0,62	0,5	
	$K_{\varphi px}$	0,78	1,0	1,11	1,13	1,17	
	Для быстрорежущих резцов						
	$K_{\varphi pz}$	1,08	1,0	0,98	1,03	1,08	
	$K_{\varphi py}$	1,63	1,0	0,71	0,54	0,44	
$K_{\varphi px}$	0,7	1,0	1,27	1,51	1,82		
2. Передний угол	Для твердосплавных резцов						
	$K_{\gamma pz}$	0,83	0,9	0,95	1,0	1,1	1,2
	$K_{\gamma py}$	0,55	0,7	0,85	1,0	1,4	1,8
	$K_{\gamma px}$	0,44	0,7	0,85	1,0	1,4	1,8

2. Передний угол	γ , град	25	20	15	10	0	-10
	Для быстрорежущих резцов в зависимости от σ_B обрабатываемого материала						
	$K_{\gamma p} \leq 800$	1,0	1,06	1,15			
	$K_{\gamma p} > 800$	0,94	1,0	1,1			
	$K_{\gamma p} \leq 800$	1,0	1,25	1,77			
	$K_{\gamma p} > 800$	1,8	1,0	1,42			
	$K_{\gamma p} \leq 800$	1,0	1,28	1,9			
	$K_{\gamma p} > 800$	1,78	1,0	1,48			
3. Угол наклона режущей кромки	λ , град	-5	0	5	10	15	
	$K_{\lambda p}$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
	$K_{\lambda r}$	0,75	1,0	1,25	1,5	1,7	
	$K_{\lambda z}$	1,07	1,0	0,85	0,75	0,65	
4. Радиус при вершине резца	r , мм	0,5	2,0	3,0	4,0	5,0	
	$K_{r p}$	0,87	0,93	1,0	1,04	-	1,10
	$K_{r r}$	0,66	0,82	1,0	1,14	-	1,33
	$K_{r z}$	-	-	1,0	-	-	-
5. Механические свойства и группа обрабатываемого материала	Материал резца	Формула		Значение K_{pr} для			
				R_B	R_y	R_{Σ}	
	Твердый сплав			0,35	1,35	1,0	
	Быстрорежущая сталь	$K_{pr} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^{np}$		при $\sigma_B \leq 800$ 0,35			
			при $\sigma_B > 800$ 0,75	2,0	1,5		
	IM332			0,75	-	-	

**IV. Значения коэффициентов и показателей степени
в формулах для скорости резания**

Вид обработки	Условия обработки		C'_{ν}	x_{ν}	y_{ν}	m
	Материал реза	$S, \text{ мм/об}$				
Обточка	Твердый сплав	$\leq 0,03$	273	0,15	0,2	0,2
		$\leq 0,75$	227		0,35	
		$> 0,75$	221		0,45	
Обточка	Быстрорежущая сталь	$\leq 0,25$	87,5	0,25	0,33	0,125
		$> 0,25$	56		0,66	
		Минералокерамика ПМ332	$\leq 0,5$		530	
≥ 2	750	0,08	0,02	Для легированной ст. - 0,3		
	$S = 0,3, 0,7,$ при $\phi \leq 7$	700	0,08		0,08	
Отрезка	Твердый сплав		47	0	0,8	0,2
		Быстрорежущая сталь		23,7	0	0,66

**V. Поправочные коэффициенты на скорость резания
для различных условий работы**

1. Главный угол в плане	Материал реза	Твердый сплав		Быстрорежущая сталь	
	K_{ϕ_1}	$K_{\phi_1} = \left(\frac{45}{\phi_1}\right)^{0,3}$		$K_{\phi_1} = \left(\frac{45}{\phi_1}\right)^{0,6}$	
2. Вспомогательный угол в плане	Материал реза	Твердый сплав		Быстрорежущая сталь	
	$K_{\phi_{1v}}$	$K_{\phi_{1v}} = \left(\frac{15}{\phi_{1v}}\right)^{0,69}$		$K_{\phi_{1v}} = \left(\frac{10}{\phi_{1v}}\right)^{0,09}$	
3. Форма передней поверхности	Материал реза	Твердый сплав		Быстрорежущая сталь	
	Форма	с отрицательной фаской	плоская отрицательная	с фаской	без фаски
	K_{ϕ_2}	1,0	1,05	1,0	0,95

4. Радиус при вершине	$K_{rv} = 0,94 \cdot r^{0,12}$							
5. Сечение державки или головки	$K_{qv} = (F)^{0,075}$	обточные и торцовые $F=H \times B$ Расточные $F = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$					Отрезные $F=H \times b$	
6. Марка материала резца	Материал резца	Твердый сплав				Быстрорежущая сталь		
		Т5К10	Т14К8	Т15К6	Т30К4	P9	P18	P9K5
	K_{mv}	1,0	1,23	1,54	2,15	0,95	1,0	1,2
7. Состояние стали	Состояние	Поставка		Термообработка				
		прокат горячекатаный	прокат холодной тянутой	нормализация	отжиг	улучшение		
	K_{sv}	1,0	1,1	0,95	0,9	0,8		
8. Состояние поверхности заготовки	Материал резца	Твердый сплав			Быстрорежущая сталь			
		Состояние поверхности	без корки	литейная корка	загрязненная корка	без корки	прокат с коркой	поковка с коркой
	K_{st}	1,0	0,8-0,85	0,5-0,6	1,0	0,9	0,8	
9. Механические свойства и группа обрабатываемого материала	Твердосплавные резцы				Быстрорежущие резцы			
	$K_{mv} = \frac{750}{\sigma_B}$				$K_{mv} = K_{zr} \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{1,2}$ $K_{zr} \text{ и } 1,2 \text{ (см. с. 97-99)}$			
10. Наличие охлаждения	Материал резца	Твердый сплав		Быстрорежущая сталь				
		Охлаждение	без охлаждения	с охлаждением	без охлаждения	с охлаждением		
	K_{ov}	1,0	1,1	0,8	1,0			

НОРМАТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО РЕЖИМАМ РЕЗАНИЯ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ (КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ, ЖАРСТОЙКИХ И ЖАРПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ)

I. Механические свойства труднообрабатываемых материалов

Группа сталей (сплавов)	Марка	Термообработка	σ_B , МПа	K_{MP}	$K_{M\sigma}$	K_D
Тепло-стойкие	34ХН3М	0	600	0,85	1,8	0,5
	34ХН3МФ	30	>900	0,85	1,2	
	20Х3МВФ(ЭИ414, ЭИ579)	30	≥ 900	1,1	1,2	
	Х6СМ(ЭСХ6М)	0	≥ 650		1,8	
Коррозионно-стойкие, нормальные	12Х13(1Х13)	30	≥ 600	0,96	1,4	0,9
	25Х13Н2(ЭИ474)	0	700-1000	0	1,4	
	1Х12Н2ВМФ(ЭИ961)	30	900	1,1	1,3	
	1Х12ВНМ(ЭИ802, ЭИ952)	30	750			
	20Х13(2Х13)	30	≥ 700	1,09	1,3	
	20Х13(3Х13)	30	≥ 850		1,2	
	40Х13(4Х13)	Н0	≥ 950		1,0	
	14Х17Н2(1Х17Н2, ЭИ268)	30	1100	1,26	1,0	
	09Х16Н4Б(ЭИ56)	30	1000-1300	1,12-1,4	1,1-0,6	
	20Х15Н3МА(ДП1)					
	07Х16Н6(Х16Н6, ЭИ288)	Н0	> 1100		1,0	
	23Х13Н1МФА(ЭИ65)	0,30	850-1550	1,1-1,8	1,2-0,5	
ЭИ311(ВНС-6)	30	1750		0,3		
Коррозионно-стойкие, жаростойкие	1Х18Н9Т(Х18Н9Т, ЭИ1Т)					0,6
	12Х18Н10Т(Х18Н10Т)	3	> 550	1,0	1,0	
	20Х23Н18(Х23Н18, ЭИ417)	3		1,48	1,0	
	Х15Н5Д2Т(ЭИ410, ЭИ225, ВНС-2)	3	1000	1,12		
	12Х21Н5Т(1Х21Н5Т, ЭИ811)	3	> 700	1,12	0,85	
	Х15Н90(ЭИ904)	3	850-1100	1,14	0,9	
	Х17Н5М3(ЭИ925, СНЗ)	Н	> 1000	1,17	0,9	
Жаростойкие, жаропрочные	45Х14Н14В2М(4Х14Н14В2М, ЭИ69)	3С	> 700	1,06	0,80	0,7
	13Х14НВФРА(ЭИ736)			1,22		
	08Х15Н24В4ТР(ЭИ64)	С		1,06	0,6	
	ЭИ395	3С	> 800		0,6	

Группа сталей (сплавов)	Марка	Термообработка	σ_B , МПа	K_{MP}	$K_{M\sigma}$	K_S
Мартеновские, марочные	07X2Г7АН5 (ЭП222)	З	1000	1,28	0,60	0,7
	12X25Н16Г7АР (ЭИ835)	ЗС	> 800		0,60	
	37X12Н8Г8МФБ (4X12Н8Г8МФБ, ЭИ481)	ЗС	> 900	1,51	0,60	
	10X1Н20Т3Р (ЭИ696, X12Н20Т3Р, ЭИ696Н)	ЗС	> 900	1,63	0,4	
	10X1Н23Т3Р (ЭИ696М, ЭИ33)		> 900	1,28	0,45	
	15X18Н12С4Т0 (ЭИ654)	З	700-750	1,08	0,45	
0X14Н28В3Т3ОР (ЭИ786)	З0	900	1,2	0,40		
Сплавы на никелевой основе	36НХ10 (ЭИ702)	ЗС	1200	1,36	1,1	0,8-1,0
	ХН60В (ВК98, ЭИ868)	З	800			
	ХН77Т0 (ЭИ497А)					
	ХН77Т0Р (ЭИ37Б)	ЗС	1000	1,0	1,0	
	ХН35ВТ0 (ЭИ787)	ЗС	> 950	0,92	1,0	
	ЭИ99	З	1150-1300	1,36	0,75	
	ХН56ВМТ0 (ЭИ199)	З	900	1,0	0,63	
	ХН67ВМТ0 (ЭИ201)	ЗС	> 1000	1,12	0,62	
	ХН75МВ0 (ЭИ827)	ЗС	> 1000	1,15	0,61	
	ХН72МВК0 (ЭИ867)	ЗС	1250	1,59	0,47	
	ХН60МВТ0 (ЭИ487)	ЗС	1150	1,6	0,55	
	ЭИ698ВД	ЗС	1150	1,6	0,55	
	ХН82Т0МБ (ЭИ460)	ЗС	1350	1,65	0,5	
Литейные сплавы	ВК36-12	ЗС	800	1,08	0,36	0,5
	АНВ-300	ЗС	850			
	ВЛЛ4	ЗС	810-850		0,2	
	КС6К	ЗС	1000		0,31	
	КС3ДК	ЗС	1000		0,2	
	ХН67ВМТ0Л (ЭИ202Л)	ЗС	750		0,53	

Условные обозначения: 0 - отжиг, 30 - закалка и отпуск, Н - нормализация, НО - нормализация и отпуск, С - старение, ЗС - закалка и старение.

Модуль упругости $E = 180000-210000$ МПа.

**II. Значения коэффициентов и показателей степени
в формулах для сил резания**

Вид обработки	Обработанный материал	Силы резания											
		касательная				радиальная				осевая			
		$C'_{р\kappa}$	$\alpha_{р\kappa}$	$\gamma_{р\kappa}$	$\beta_{р\kappa}$	$C'_{р\gamma}$	$\alpha_{р\gamma}$	$\gamma_{р\gamma}$	$\beta_{р\gamma}$	$C'_{р\alpha}$	$\alpha_{р\alpha}$	$\gamma_{р\alpha}$	$\beta_{р\alpha}$
Обточка	Сталь	3400	0,95	0,75	-0,1	2760	0,85	0,52	-0,15	1330	1,2	0,42	-0,2
	Сплав	5000	0,85	0,75	-0,1	2600	0,8	0,5	-0,1	1450	0,9	0,4	-0,1
Отрезка	Сталь	5430	1,1	1,0	-0,1	3390	1,0	0,9	-0,15	-	-	-	-
	Сплав	7360	1,1	0,85	-0,1	8540	1,0	0,9	-0,15	-	-	-	-

**III. Поправочные коэффициенты на силы резания
для измененных условий работы**

I. Главный угол в плане	φ , град	30	45	60	90
		$K_{\alpha р\kappa}$	1,08	1,0	0,95
	$K_{\alpha р\gamma}$	1,3	1,0	0,8	0,5
	$K_{\alpha р\alpha}$	0,9	1,0	1,1	1,15
2. Радиус при вершине резца	r , мм	0,5	1,0	2,0	3,0
	$K_{r р\kappa}$	1,0	1,05	1,13	1,2
	$K_{r р\gamma}$	1,0	1,11	1,2	1,25
	$K_{r р\alpha}$	1,0	-	-	-
3. Износ резца	h_d , мм	0,15	0,3	0,4	0,5
	$K_{h р\kappa}$	1,0	1,03	1,09	1,15
	$K_{h р\gamma}$	1,0	1,2	1,35	1,5
	$K_{h р\alpha}$	1,0	1,3	1,4	1,6
4. Механические свойства (марка) обрабатываемого материала	$K_{m р\kappa}$	$K_{m р\kappa} = K_{m р\gamma} = K_{m р\alpha} = K_m$ (см. с.104-105)			
	$K_{m р\gamma}$				
	$K_{m р\alpha}$				

IV. Значение коэффициентов и поправочной скорости в формулах для скорости резания

Вид обработки	Марка материала	Условия обработки		C_{22}	X_{22}	Y_{22}	m
		Твердый сплав*	S_1 мм/об				
Обточка	Сталь групп I, II, III, IV	Т15К6	$\leq 0,2$	580	0,15	0,15	0,35
			$> 0,2$	360	0,15	0,45	0,35
		ВК6М	$\leq 0,2$	240	0,15	0,15	0,25
			$> 0,2$	150	0,15	0,45	0,25
	Сплавы групп V, VI	$\leq 0,2$	76	0,15	0,15	0,25	
		$> 0,2$	47	0,15	0,45	0,25	
Отрезка	Сталь	ВК6М или $\delta = 4-8$ мм	0,07-0,15	115	0,35	0,42	0,30
	Сплавы			54	0,40	0,30	0,22

* Для быстрорежущих резцов считать так же, как для твердосплавных резцов ВК6М с учетом поправочных коэффициентов K_{22} , приведенных в п. V.

V. Поправочные коэффициенты на скорость резания для различных условий работы

I. Главный угол в плане	Материал резца γ_1 , град	Твердый сплав				Быстрорежущая сталь				
		30	45	60	90	30	45	60	90	
	K_{22}	-	1,0	0,87	0,7	1,25	1,0	0,83	0,63	
2. Вспомогательный угол в плане	Материал резца γ_2 , град	Твердый сплав				Быстрорежущая сталь				
		10	15	25	30	10	15	25	30	
	K_{212}	1,0	0,97	0,94	0,9	1,0	0,96	0,9	0,85	
3. Марка материала резца	Материал резца	Твердый сплав					Быстрорежущая сталь			
		Марка	T5K10	ВК60М	ВК6М	ВК8	ВК8В	P9	P18	P9K5
	K_{211}	0,6	для сталей 1,25 1,0		0,8	0,6	0,32	0,35	0,40	
		-	для сплавов 1,25 1,0		0,8	0,6	0,22	0,25	0,28	

4. Состояние поверхности заготовки	Поверхность	Без корки и ударов	С коркой	Удары с плавным выходом	Удары с резким выходом
	<i>K_{пв}</i>	1,0	0,7	0,9	0,2 Применять быстрорежущие резцы
5. Механические свойства (марка) обрабатываемого материала	<i>K_{мв}</i>	(см. с. 104 - 105)			
6. Охлаждение	Жидкость	Без охлаждения	5% эмульсия	5% эмульсия с 2% сульфобрезола	
	<i>K_{ов}</i>	0,9	1,0	1,07	

Приложение 5

НОРМАТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО РЕЖИМАМ РЕЗАНИЯ
ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

I. Механические свойства титановых сплавов
в отожженном состоянии

Марка сплава	σ_B , МПа	Поправочные коэффициенты для различных способов обработки		
		отрезка и обточка	обточка	отрезка
		<i>K_{мр}</i>	<i>K_{мв}</i>	<i>K_{мв}</i>
BT1	450-600	0,92	2,00	1,34
BT2		1,09	1,26	1,12
BT3	950-1150	1,01	0,96	0,94
BT3-I	950-1200	1,00	1,0	1,0
OT4	700-950	1,10	1,86	1,42
BT5	700-950	0,89	1,47	1,03
BT6	900-1000	0,83	1,10	1,00
BT8	1050-1200	0,92	1,41	1,07
BT9		0,96	1,41	1,28
BT14	900-1100	0,8	1,06	1,18

Марка сплава	σ_B , МПа	Поправочные коэффициенты для различных способов обработки		
		отрезка и обточка	обточка	отрезка
		K_{MP}	K_{MY}	K_{MZ}
BT15 BT20 BT22	1120-1200	1,1 0,7 1,3	1,2 2,04 1,06	1,0 1,44 0,75

Модуль упругости $E = 105000-120000$ МПа.

II. Значения коэффициентов и показателей степени в формулах для сил резания (твердосплавные резцы)

Вид обработки	Силы резания											
	касательная				радиальная				осевая			
	C'_{Pz}	X_{Pz}	Y_{Pz}	Z_{Pz}	C'_{Py}	X_{Py}	Y_{Py}	Z_{Py}	C'_{Pz}	X_{Pz}	Y_{Pz}	Z_{Pz}
Обточка	1950	0,9	0,75	-0,08	780	0,9	0,5	-0,08	380	0,9	0,25	-0,1
Отрезка	2570	1,2	0,85	-0,15	2600	1,1	0,95	-0,1	-	-	-	-

III. Поправочные коэффициенты на силы резания для измененных условий работы

I. Главный угол в плане	φ , град	30	45	60	90
	K_{Pz}		1,08	1,0	0,95
K_{Py}		1,3	1,0	0,8	0,5
K_{Pz}		0,9	1,0	1,1	1,15
2. Радиус при вершине резца	r , мм	0,5	1,0	2,0	3,0
	K_{Pz}	1,0	1,05	1,13	1,2
	K_{Py}	1,0	1,11	1,2	1,25
	K_{Pz}	1,0	-	-	-
3. Износ резца	h_z	0,15	0,3	0,4	0,5
	K_{Pz}	1,0	1,03	1,09	1,15
	K_{Py}	1,0	1,2	1,35	1,5
	K_{Pz}	1,0	1,3	1,4	1,6

4. Механические свойства (марка) обрабатываемого материала	K_{MPZ} K_{MPY} K_{MPX}	$K_{MPZ} = K_{MPY} = K_{MPX} = K_{MP}$ (см. с. 41-43)
--	-------------------------------------	--

IV. Значения коэффициентов и показателей степени в формуле для скорости резания

Вид обработки	Условия обработки (твердый сплав)	C'_v	X_v	Y_v	m
Обточка	$t \leq 4$ мм $S < 0,5$ мм/об	49	0,28	0,65	0,32
Отрезка	$\delta = t = 4 \div 7$ мм $S = 0,07 - 0,15$ мм/об	68	0,16	0,35	0,23

V. Поправочные коэффициенты на скорость резания для измененных условий работы

1. Главный угол в плане	Материал реза	Твердый сплав			
	γ , град	30	45	60	90
	$K_{\gamma v}$	1,3	1,0	0,9	0,75
2. Марка материала реза	Марка материала реза	BK60M	BK6M	BK6	
	$K_{\mu v}$	1,25	1,0	0,94	
3. Состояние заготовки	Состояние	Закаленное	Отожненное	Закаленное и состаренное	
	$K_{\sigma v}$	1,2	1,0	0,8	
4. Состояние поверхности заготовки	Состояние поверхности	Без корки	По корке и сварному шву	Прерывистая поверхность с коркой	
	$K_{\rho v}$	1,0	0,7	0,5	
5. Механические свойства (марка) обрабатываемого материала	K_{Mv} (см. с. 108 и 109)				

6. Наличие охлаждения	Охлаждение	5% пульсирующая в смеси с 2% сульфофрезо- лом	10% пульсирующая под давле- нием	Без охла- ждения
	<i>Кор</i>	1,0	1,25	0,9

Приложение 6

**НОРМАТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО РЕЖИМАМ РЕЗАНИЯ МЕДНЫХ,
АЛЮМИНИЕВЫХ И ЦИНКОВЫХ СПЛАВОВ**

I. Механические свойства медных сплавов

Группа сплавов	Марка	HB [*] , МПа
Гетерогенные высокой твердости	Бр. АМН11-6-6	2500
	Бр. АМН10-4-2Л	1700
Средней твердости	Бр. АМц10-3-1,5	1200
	Бр. АМ9-4	1100-1800
	Бр. АМц9-2Л	800
	ЛМц52-4-1	1000
	Бр. ОС10-2	750
	ЛМ67-2,5	900
	ЛМ80-3Л	1000-1100
	Бр. ОФ10-1	800-900
Свинцовистые при основной гетерогенной структуре	Бр. ОСН10-2-3	750
	Бр. ОС10-10	550
	ЛМ80-22	900-1000
	ЛМцС58-22	700-800
	ЛМцОС58-2-2-2	900-1000
Гомогенные	Бр. ЮМц3-1	700-900
		1700-1900
	Бр. А5	550-650
		1900-2100
	Бр. А7	650-750
		2000-2200

Группа сплавов	Марка	НВ ^ж , МПа
Гомогенные	Бр. ОЧ6,5-0,4	<u>700-900</u> 1600-2000
	Бр. ОЦ4-3	<u>500-700</u> 1500-1700
	Бр. КН1-3	<u>800-1000</u> 1500-2000
С содержанием свинца < 10% при гомогенной структуре	Бр. ОЦС6-6-3	600-750
	Бр. ОЦС4-4-2,5	<u>500-700</u> 1500-1700
Медь	М3, М4	350
С содержанием свинца > 15%	Бр. ОЦС4-4-17	600
	Бр. ОС30	250
	Бр. ОС5-25	500

* Для деформируемых бронз в числителе приведена твердость для мягкого состояния, в знаменателе - для твердого состояния.

Модуль упругости $E = 80000-90000$ МПа.

II. Механические свойства алюминиевых, магниевых и цинковых сплавов

Группа сплавов	Марка	Состояние	Предел прочности σ_B , МПа
Упрочняемые термической обработкой	Д16	З	400-420
	АК8	ЗС	440-460
	Д6	З	400-420
	Д1	З	380-360
	АК6	ЗС	360
	АВ	ЗС	300
Неупрочняемые	АМГ	0	230
	АМЦ	ЗС	< 170
	АЦ	0	110
Высокопрочные алюминиевые	АМг6	0	325
	Д18Т		300
	Д18М		160
	В65		400
	В95		520
	ВД17		440

Группа сплавов	Марка	Состояние	Предел прочности $\sigma_{0.2}$, МПа
Высокопрочные алюминиевые	Д19	З Нагартован	440
	Д20 Д21		540 400 320
Литейные алюминиевые	АЛ2 АЛ4 АЛ5 АЛ8 АЛ9 ВЛ-11-3 АЛ9	Для различных способов литья и термообработ- ки	150-160 150-240 160-200 280 160-200 180-250 300-340
	Магниеые		МАУ МАВ ВМ65-1
Магниеые литейные	МЛ5 МЛ-7-1 МЛ-11	0 0 0	230 280 320
	Цинковые сплавы	ЦАМ4-1	Литье
			150-230 160 120
			250-320

Условные обозначения: З - закаленные и естественно состаренные, ЗС - закаленные и искусственно состаренные, О - отожженные, Г - горячепрессованные, ГС - горячепрессованные и искусственно состаренные.

Модуль упругости для алюминиевых сплавов $E = 70000-90000$ МПа;
для магниевых сплавов $E = 80000-90000$ МПа.

III. Значения коэффициентов и показателей степени в формулах для сил резания

Вид обработ- ки	Обрабатываемый материал	Силы резания											
		касательная				радиальная				осевая			
		C'_{pz}	x_{pz}	y_{pz}	z_{pz}	C'_{py}	x_{py}	y_{py}	z_{py}	C'_{pz}	x_{pz}	y_{pz}	z_{pz}
Обточка	Медные сплавы	550	0,1	0,66	0	430	0,9	0,75	0	180	1,1	0,4	0
	Алюминиевые сплавы	750	0,85	0,8	-0,1	700	0,85	0,6	-0,3	600	0,8	0,4	-0,3

Вид обработки	Обработываемый материал	Силы резания											
		касательная				радиальная				осевая			
		$C'_{рз}$	$X_{рз}$	$Y_{рз}$	$Z_{рз}$	$C'_{ру}$	$X_{ру}$	$Y_{ру}$	$Z_{ру}$	$C'_{рх}$	$X_{рх}$	$Y_{рх}$	$Z_{рх}$
Обточка	Цинковые сплавы	780	0,98	0,72	-0,1	620	0,74	0,13	-0,5	180	0,85	0,2	-0,4
Отрезка	Медные сплавы	500	1,0	1,0	0	280	1,0	1,0	—	—	—	—	—
	Цинковые и алюминиевые сплавы	840	1,0	1,0	0	500	1,0	1,0	—	—	—	—	—

У1. Проверочные коэффициенты на силы резания
для измененных условий работы

1. Главный угол в плане		γ , град	30	45	60	75	90	
		$K_{урз}$	—	1,08	1,0	0,97	1,04	
		$K_{уру}$	—	1,12	1,0	0,65	0,70	
		$K_{урх}$	—	0,91	1,0	1,10	1,19	
2. Радиус при вершине реза		r , мм	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	
		$K_{грз}$	0,91	0,95	1,0	1,03	1,05	
		$K_{гру}$	0,76	0,87	1,0	1,08	1,16	
		$K_{грх}$	—	—	—	—	—	
3. Механические свойства и группа обрабатываемого материала	Медные сплавы	Группа сплавов	Гетерогенные	Свинцовистые при основной гетерогенной структуре	Гомогенные	С содержанием свинца 10% при основной гомогенной структуре	Медь	С содержанием свинца 15%
				$K_{арз}$ $K_{ару}$ $K_{арх}$	1,0 1,0 1,0	0,62	1,8-2,2	0,65-0,7
	Алюминиевые сплавы	σ_B	≤ 250	250-300	350-500			
			$K_{мрз}$ $K_{мру}$ $K_{мрх}$	0,66		0,82	1,0	

У. Значения коэффициентов и показателей степени
в формулах для скорости резания

Вид обработки	Обрабатываемый материал	C_v	x_v	y_v	m
Обточка	Медные сплавы	238	0,12	0,25	0,23
	$s < 0,2$	161	0,12	0,5	0,23
	$s > 0,2$				
	Алюминиевые сплавы	370	0,12	0,26	0,3
	Цинковые сплавы	670	0,2	0,35	0,32
Отрезка	Медные сплавы	65	0	0,5	0,25
	Алюминиевые сплавы	81	0	0,5	0,25
	Цинковые сплавы	168	0	0,4	0,35

VI. Поправочные коэффициенты на скорость резания
для измененных условий работы

1. Главный угол в плане	φ , град	45	60	75	90	
	$K_{\varphi v}$	1,13	1,0	0,9	0,83	
2. Вспомогательный угол в плане	φ_1	10	20	30	45	
	$K_{\varphi_1 v}$	1,0	0,94	0,91	0,87	
3. Радиус при вершине	r , мм	1	2	3	5	
	$K_{r v}$	0,94	1,0	1,08	1,13	
4. Сечение державки резца	ВхН	12x20 16x16	16x25 20x20	20x30 25x25	25x40 30x30	35x45 40x40
	$K_{d v}$	0,97	0,98	1,0	1,02	1,04
5. Марка материала резца	Марка	Быстрорежущая сталь	Твердый сплав			
		P9, P18	BK4, BK6			
	$K_{m v}$	1,0	2,5			
6. Состояние поверхности заготовки	Состояние поверхности	Без корки	С литейной коркой			
			медные и алюминиевые сплавы	цинковые сплавы		
	$K_{p v}$	1,0	0,9	0,3		

7. Механические свойства и группа обрабатываемого материала	Медные сплавы							
	Группа сплавов	Гетерогенные		Свинцовые при основной гетерогенной структуре	Гомогенные	С содержанием свинца < 10% при основной гомогенной структуре	Медь	С содержанием свинца 15%
		Высокой твердости	Средней твердости					
	КМЧ	0,7	1,0	1,7	2,0	4,0	8,0	12,0
	Алюминиевые сплавы							
	σ_B , МПа	<250		250-350	350-500			
	КМЧ	1,5		1,26	1,0			
	Цинковые сплавы							
	σ_B , МПа	<250		250-350	350-500			
	КМЧ	1,25		1,0	0,7			

Приложение 7

НОРМАТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО РЕЖИМАМ РЕЗАНИЯ
СЕРЫХ И КОВКИХ ЧУГУНОВI. Механические свойства серого и ковкого чугуна

Чугун серый		Чугун ковкий	
Марка	Твердость HB, МПа	Марка	Твердость HB, МПа
СЧ00	Не контролир.	КЧ30-6	1630
СЧ12-80	1430-2290	КЧ38-8	1490
СЧ15-32	1630-2290	КЧ35-10	1490
СЧ18-36	1700-2290	КЧ37-12	1490
СЧ21-40	1700-2410	КЧ30-2	2010
СЧ24-44	1700-2410	КЧ35-4	2010
СЧ28-48	1700-2410	КЧ40-3	2010
СЧ35-56	1970-2690	ПКЧ40-2	1630-2290
СЧ38-60	2070-2690	ПКЧ40-5	1630-2290
		ПКЧ45-3	1630-2290

Модуль упругости $E = 90000-160000$ МПа.

В марке серого чугуна число за буквами указывает предел прочности при изгибе σ_{bl} , кгс/мм², второе число — предел прочности при растяжении σ_f , кгс/мм². В марке ковкого чугуна первое число — предел прочности при растяжении σ_f , кгс/мм², второе — относительное удлинение σ , %.

II. Значения коэффициентов и показателей степени
в формулах для сил резания

Вид обработки	Обрабатываемый материал	Материал реза	Силы резания								
			касательная			радиальная			осевая		
			$C'_{рз}$	$x_{рз}$	$У_{рз}$	$C'_{ру}$	$x_{ру}$	$У_{ру}$	$C'_{рзх}$	$x_{рзх}$	$У_{рзх}$
Обточка	Чугун серый	Твердый сплав	920	1,0	0,75	540	0,9	0,75	460	1,0	0,4
		ПМ332	1040	0,9	0,65	710	0,7	0,35	410	1,0	0,35
		Быстрорежущая сталь	1140	1,0	0,75	1190	0,9	0,75	520	1,2	0,65
	Чугун ковкий	Твердый сплав	810	1,0	0,75	430	0,9	0,75	380	1,0	0,4
Быстрорежущая сталь		1000	1,0	0,75	880	0,9	0,75	400	1,2	0,65	
Отрезка	Чугун серый	Твердый сплав	980	1,0	1,0	620	1,2	0,75	—	—	—
		Быстрорежущая сталь	1580	1,0	1,0	750	1,2	0,75	—	—	—
	Чугун ковкий	Твердый сплав	870	1,0	1,0	410	1,2	0,75	—	—	—
		Быстрорежущая сталь	1380	1,0	1,0	560	1,2	0,75	—	—	—

**III. Поправочные коэффициенты на силы резания
для измененных условий работы**

I. Главный угол в плане	Твердосплавные резцы	φ , град	30	45	60	75	90		
		<i>K_{грз}</i>	1,08	1,0	0,94	0,92	0,89		
		<i>K_{гру}</i>	1,3	1,0	0,77	0,62	0,5		
	Быстро-режущие резцы	φ , град	30	45	60	75	90		
		<i>K_{грз}</i>	1,05	1,0	0,96	0,94	0,92		
		<i>K_{гру}</i>	1,23	1,0	0,87	0,77	0,70		
2. Передний угол резца	Твердосплавные резцы	γ , град	+20	+10	0	-10	-20		
		<i>K_{грз}</i>	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3		
		<i>K_{гру}</i>	0,7	1,0	1,4	1,8	2,2		
		<i>K_{грз}</i>	0,7	1,0	1,4	1,8	2,2		
		Быстро-режущие резцы при обработке чугуна с ИВ	< 1500	γ , град	+20	+10	0	-10	-20
				<i>K_{грз}</i>	1,0	1,1	—	—	—
	<i>K_{гру}</i>			1,0	1,4	—	—	—	
	1500-2000		γ , град	+20	+10	0	-10	-20	
			<i>K_{грз}</i>	0,91	1,0	1,10	—	—	
			<i>K_{гру}</i>	0,70	1,0	1,25	—	—	
	2000-2600	γ , град	+20	+10	0	-10	-20		
		<i>K_{грз}</i>	—	0,94	1,0	—	—		
		<i>K_{гру}</i>	—	0,82	1,0	—	—		
	3. Угол наклона режущей кромки	λ , град	-5	0	+15	+10	+15		
			<i>K_{грз}</i>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
<i>K_{гру}</i>			0,75	1,0	1,25	1,5	1,7		
<i>K_{грз}</i>		1,07	1,0	0,85	0,75	0,65			
		4. Радиус при вершине резца	r , мм	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
			<i>K_{грз}</i>	0,91	0,95	1,0	1,03	1,05	1,07
<i>K_{гру}</i>	0,76		0,87	1,0	1,08	1,16	1,20		
<i>K_{грз}</i>	—	—	—	—	—	—			

5. Механические свойства и группа обрабатываемого материала	Обрабатываемый материал	Материал реза	Формула	Значения K_p для			
				P_x	P_y	P_z	
	Чугун серый	Твердый сплав	$K_{M_p} = \left(\frac{HB}{1900} \right)^{0.7}$	0,4	1,0	0,8	
				Быстрорежущая сталь ЦМ332	0,55	1,20	1,1
		0,6			-	-	
	Чугун ковкий	Твердый сплав		$K_{M_p} = \left(\frac{HB}{1900} \right)^{0.7}$	0,4	1,0	0,8
					Быстрорежущая сталь	0,55	1,25

IV. Значения коэффициентов и показателей степени в формулах для скорости резания

Вид обработки	Обрабатываемый материал	Материал реза	Условия обработки	C_v'	x_v	y_v	m
Обточка	Чугун серый	Твердый сплав	$S \leq 0,4$	292	0,15	0,2	0,2
			$S > 0,4$	243		0,4	
		Быстрорежущая сталь	$S \leq 0,25$	27,4	0,15	0,3	0,1
	$S > 0,25$		23,6	0,4			
		ЦМ332	$S \leq 0,5$	1560	0,2	0,2	0,43
	Чугун ковкий	Твердый сплав	$f < 2; S \leq 0,4$	317	0,5	0,2	0,2
$f \geq 2$			215	0,45			
Быстрорежущая сталь		$S \leq 0,25$	65	0,2	0,25	0,125	
	$S > 0,25$	46	0,50				
Отрезка	Чугун серый	Твердый сплав		68,5	0	0,4	0,2
		Быстрорежущая сталь		22,5	0	0,4	0,15
	Чугун ковкий	Твердый сплав		47	0	0,5	0,25
		Быстрорежущая сталь		13,4	0	0,5	0,25

**У. Поправочные коэффициенты на скорость резания
для измененных условий работы**

1. Главный угол в плане	Материал реза	Твердый сплав					Быстрорежущая сталь				
	φ , град	30	45	60	75	90	30	45	60	75	90
	K_{φ}	1,15	1,0	0,9	0,85	0,8	1,23	1,0	0,85	0,76	0,7
2. Вспомогательный угол в плане	Материал	Твердый сплав				Быстрорежущая сталь					
	φ , град	20	25	30	45	10	15	20	25	30	45
	K_{φ}					1,0	0,96	0,94	0,92	0,91	0,87
3. Форма передней поверхности реза	Материал	Твердый сплав			Быстрорежущая сталь						
	Форма	с отрицательной фаской		плоская отрицательная	с фаской		без фаски				
	K_{φ}	1,0		1,05	1,0		0,95				
4. Радиус при вершине	r , мм	0,5	1,0	1,5	2	3	5				
	K_{r}	0,87	0,94	0,98	1,0	1,08	1,13				
5. Сечение державки реза	ВхН	12x12	16x16	16x25	20x30	25x40	35x45				
		10x16	12x20	20x20	25x25	30x30	40x40				
	K_{φ}	0,95	0,97	0,98	1,0	1,02	1,04				
6. Марка материала реза	Материал и марка реза	Твердый сплав					Быстрорежущая сталь				
		ВК2	ВК3	ВК4	ВК6	ВК8	Р9	Р18	Р9К5		
	$K_{\text{мр}}$	1,2	1,15	1,1	1,0	0,83	0,95	0,1	1,2		
7. Состояние поверхности заготовки	Материал реза	Твердый сплав					Быстрорежущая сталь				
	Состояние поверхности	без корки	с коркой	с загрязненной коркой		без корки	с коркой				
	$K_{\text{лр}}$	1,0	0,8-0,85	0,5-0,6		1,0	0,7-0,8				

8. Механические свойства и группа обрабатываемого материала	Материал реза	Твердый сплав	Быстрорежущая сталь
	Чугун серый	$K_{M\sigma} = \left(\frac{1900}{HB}\right)^{1,25}$	$K_{M\sigma} = \left(\frac{1900}{HB}\right)^{1,7}$
	Чугун ковкий	$K_{M\sigma} = \left(\frac{1500}{HB}\right)^{1,25}$	$K_{M\sigma} = \left(\frac{1500}{HB}\right)^{1,7}$
9. Наличие охлаждения	Чугун серый	Без охлаждения $K_{0\sigma} = 1,0$	
	Чугун ковкий	Твердый сплав без охлаждения $K_{0\sigma} = 1,0$	
		Быстрорежущая сталь с охлаждением $K_{0\sigma} = 1,0$	

1. *Лепилин В.И., Зайцев В.М.* Расчет наиболее выгодного режима резания авиационных материалов / Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1980.

2. *Лепилин В.И., Зайцев В.М.* Режимы резания авиационных материалов при точении (Методика расчета) / Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1988.

3. *Лепилин В.И., Зайцев В.М.* Режимы резания авиационных материалов при точении (Исходные и нормативные материалы) / Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1988.

4. *Лепилин В.И., Зайцев В.М.* Режимы резания авиационных материалов при точении (Способы и примеры расчета) / Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1988.

5. *Лепилин В.И.* Режимы резания авиационных материалов при сверлении, зенкерования и развертывании / Самар. гос. аэрокосм. у-т. Самара, 1993.

6. ЦБНТ. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Ч. I. Токарные, карусельные, токарно-револьверные, алмазно-расточные, сверлильные, строгальные долбежные и фрезерные станки. - М.: Машиностроение, 1974.

7. ЦБНТ. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Ч. II. Нормативы режимов резания. - М.: Экономика, 1990.

8. Обработка резанием жаропрочных, высокопрочных и титановых сплавов / *Н.И. Резников, Е.В. Бурмистров, И.Г. Жарков* и др. - М.: Машиностроение, 1972.

9. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: Справочник / *Я.Л. Гуревич, М.В. Горохов, В.И. Захаров* и др. - М.: Машиностроение, 1976.

10. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: Справочник / *Я.Л. Гуревич, М.В. Горохов, В.И. Захаров* и др. - М.: Машиностроение, 1986.

11. *Ординарцев И.А.* Справочник инструментальщика. - Л.: Машиностроение, 1987.

12. ВНИИ инструмент. Металлорежущий инструмент. Каталог. Ч.1. Резцы. - М.: ВНИИТЭМР, 1988.

13. *Великанов К.М., Новожилов В.И.* Экономические режимы резания металлов. - М.: Машиностроение, 1972.
14. *Тишин С.Д., Тишин С.С.* Таблицы возведения в степень. М.: Госстатиздат, 1963.
15. *Горанский К.Г.* Расчет режимов резания при помощи электронно-вычислительных машин. - Минск, 1963.
16. ГОСТ 25751-83. Инструменты режущие. Термины и определения. - М.: Изд-во стандартов, 1983.
17. ГОСТ 25761-83. Обработка резанием. Термины и определения. - М.: Изд-во стандартов, 1983.
18. ГОСТ 10047-62. Резцы из быстрорежущей стали. Технические требования.
19. ГОСТ 10224-62. Резцы. Сечения державок.
20. ГОСТ 18868-73, ГОСТ 18876-73. Резцы токарные из быстрорежущей стали. - М.: Изд-во стандартов, 1973.
21. ГОСТ 2379-77. Пластины к резцам из быстрорежущей стали.
22. ГОСТ 18877-73, ГОСТ 18884-73. Резцы токарные с пластинками из твердого сплава. - М.: Изд-во стандартов, 1973.
23. ГОСТ 2209-69. Твердые сплавы металлокерамические.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
1. Общая методика выбора оптимальной конструкции и геометрии инструмента и расчета наиболее выгодного режима резания	5
1.1. Наиболее выгодный режим резания и порядок выбора его элементов	5
1.2. Исходные данные	8
1.3. Выбор режущего инструмента и его оптимальных характеристик.....	9
1.4. Методика расчета элементов режима резания	11
1.5. Проверка выполнимости выбранного режима резания по станку.....	14
1.6. Основное технологическое (машинное) время обработки	16
1.7. Коэффициенты использования режущих свойств инструмента и загрузка станка по мощности.....	17
2. Методика расчета режима резания для точения	18
2.1. Выбор конструкции и геометрии инструмента	18
2.1.1. Резцы для обтачивания	19
2.1.2. Резцы для обработки торцовых поверхностей	23
2.1.3. Резцы для обработки отверстий	25
2.1.4. Резцы для отрезки	27
2.1.5. Выбор типоразмера резца	27
2.1.6. Выбор марки инструментального материала	30
2.1.7. Выбор геометрии режущей части резца	31
2.1.8. Рабочий чертеж резца	31
2.2. Выбор глубины резания	36
2.3. Выбор подачи	36
2.3.1. Расчет подачи по прочности механизма подачи станка.....	37
2.3.2. Расчет подачи по прочности державки резца	39
2.3.3. Расчет подачи по жесткости системы СПИД в связи с заданной точностью	40
2.3.4. Расчет подачи по заданной шероховатости обработанной поверхности	44
2.3.5. Выбор наибольшей технологически допустимой подачи	45
2.4. Выбор скорости резания (скоростной ступени станка)	46
2.5. Проверка выбранного режима резания по крутя-	

щему моменту (мощности) на шпинделе стан-	
ка.....	48
3. Особенности расчета наиболее выгодного режима реза-	
 ния при различных операциях точения	49
3.1. Продольная обточка	50
3.2. Расточка	51
3.3. Торцовка	51
3.4. Отрезка	52
4. Определение машинного времени обработки и неко-	
 торых экономических показателей	52
5. Способы решения задачи о наиболее выгодном режиме	
 резания	53
5.1. Пример аналитического расчета наиболее выгодного	
режима резания	56
5.2. Пример табличного расчета режима резания	62
5.3. Расчет наиболее выгодного режима резания на ЭВМ....	65
6. Требования, предъявляемые к оформлению домашне-	
 го задания	65
Приложение 1.	
Паспортные данные некоторых токарно-винторезных	
станков.....	66
Приложение 2.	
Инструментальные материалы, основные размеры и	
геометрия резцов.....	83
Приложение 3.	
Нормативные материалы по режимам резания кон-	
струкционных углеродистых и легированных сталей.....	97
Приложение 4.	
Нормативные материалы по режимам резания трудно-	
обрабатываемых материалов (коррозионно-стойких,	
жаростойких и жаропрочных сталей и сплавов).....	104
Приложение 5.	
Нормативные материалы по режимам резания тита-	
новых сплавов.....	108
Приложение 6.	
Нормативные материалы по режимам резания медных,	
алюминиевых и цинковых сплавов.....	111
Приложение 7.	
Нормативные материалы по режимам резания серых и	
ковких чугунов.....	116
Библиографический список.....	122

Учебное издание

Лепилин Василий Иванович

**РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ АВИАЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ ПРИ ТОЧЕНИИ**

Учебное пособие

Редактор Т.К. Крепкинина
Техн. редактор Г.А. Усачева
Корректор Т.И. Щелокова

Лицензия ЛР № 020301 от 30.12.96.

Подписано в печать 20.04.2000. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 7,44. Усл. кр.-отт. 7,56. Уч.-изд. л. 8,00.
Тираж 500 экз. Заказ 50. Арт. С - 6 / 2000.

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королева
443086 Самара, Московское шоссе, 34

ИПО Самарского государственного
аэрокосмического университета.
443001 Самара, ул. Молодогвардейская, 151.