

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

РАСЧЁТ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» для студентов, обучающихся по программам высшего образования, в качестве методических указаний

Составители: М.Б. Сазонов
Л.В. Соловацкая

САМАРА
Издательство Самарского университета
2016

УДК 621.9 (7)

ББК 34.6я7

Составители: *М.Б. Сазонов, Л.В. Соловацкая*

Рецензент д-р техн. наук, проф. В. Н. Г а в р и л о в

Расчёт режимов резания при лезвийной обработке : метод. указания / сост. *М.Б. Сазонов, Л.В. Соловацкая*. – Самара: Изд-во Самар. ун-та, 2016. – 36 с.

В данных методических указаниях рассмотрены вопросы выбора оптимальных режимов резания авиационных материалов при точении, сверлении, зенкерования и развертывании.

Предназначено для студентов, обучающихся по программам подготовки: бакалавров – 13.03.03 Энергетическое машиностроение; 15.03.03 Прикладная механика; 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств; 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика; 24.03.05 Двигатели летательных аппаратов; 27.03.02 Управление качеством; специалистов – 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов; 24.05.02 Проектирование, авиационных и ракетных двигателей; изучающих дисциплины «Обработка конструкционных материалов», «Технология конструкционных материалов», выполняющих домашние задания или курсовые работы.

Выполнено на кафедре технологий производства двигателей Самарского университета.

УДК 621.9 (7)

ББК 34.6я7

СОДЕРЖАНИЕ

1 РАСЧЕТ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ.....	4
1.1 Выбор конструкции и геометрии инструмента.....	4
1.2 Выбор типоразмера резца	9
1.3 Выбор марки инструментального материала	11
1.4 Выбор геометрии режущей части резца	12
1.5 Рабочий чертеж резца.....	12
1.6 Выбор глубины резания	12
1.7 Выбор подачи.....	13
1.8 Выбор скорости резания (скоростной ступени станка).....	17
1.9 Проверка выбранного режима резания по крутящему моменту (мощности) на шпинделе станка	19
1.10 Определение машинного времени обработки и некоторых экономических показателей.....	20
2 РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ДЛЯ СВЕРЛЕНИЯ, ЗЕНКЕРОВАНИЯ И РАЗВЕРТЫВАНИЯ.....	21
2.1 Выбор конструкции и геометрии инструмента.....	21
2.2 Выбор глубины резания	22
2.3 Выбор подачи.....	23
2.4 Выбор скорости резания (скоростной ступени станка).....	27
2.5 Проверка выбранного режима резания по мощности на шпинделе станка	28
2.6 Основное технологическое (машинное) время обработки отверстия.....	28
2.7 Коэффициенты использования режущих свойств инструмента и загрузки станка по мощности	29
3 ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОФОРМЛЕНИЮ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ.....	29
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	30
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	33
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	35

1 РАСЧЕТ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ

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 особенности в расчёте режимов резания материалов.

Ниже рассматривается методика расчета режимов резания применительно к процессу точения.

1.1 Выбор конструкции и геометрии инструмента

Операция точения осуществляется токарными резцами, которые отличаются от других (строгальных, долбежных и т.д.) резцов большим разнообразием конструкций и геометрии.

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 главным углом в плане $\varphi < 90^0$, упорные – с $\varphi = 90^0$ и подрезные с $\varphi > 90^0$) и резцы специального назначения.

К резцам специального назначения относятся резцы, профиль режущих кромок которых или размеры их элементов связаны с соответствующими параметрами обрабатываемых поверхностей, например, резьбовые, канавочные, галтельные и фасонные резцы. Последние отличаются большим разнообразием в зависимости от профиля обрабатываемой поверхности.

Резцы общего и резцы специального назначения могут быть предназначены для черновой (предварительной) и чистовой (окончательной) обработки. Обычно эти резцы, одинаковые по форме и конструкции головки, 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 делятся на *стержневые, призматические и круглые*.

Для работы на токарных универсальных станках используются в основном стержневые резцы.

По форме головки различают резцы *прямые, отогнутые*, ось которых изогнута в горизонтальной плоскости; *изогнутые*, ось которых изогнута в вертикальной плоскости, и *оттянутые* влево, вправо или симметрично. Резцы изогнутые для токарных работ применяются чаще всего как отрезные резцы.

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

Резцы для обтачивания

Для обработки наружных поверхностей в зависимости от их характера и размеров при преимущественно продольной подаче применяют *проходные, упорные и подрезные* резцы. Они выполняются с прямой или с отогнутой головкой.

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, поэтому их следует применять везде, где это возможно и нет каких-либо ограничений по их применению. Такие ограничения обычно возникают в тех случаях, когда резец в конце прохода очень близко подходит к кулачкам патрона или иным элементам приспособлений. Здесь целесообразно использовать отогнутые проходные резцы.

В соответствии со стандартами прямые проходные резцы изготавливаются с главным углом в плане $\varphi = 45^\circ, 60^\circ$ и 75° .

Проходные резцы с отогнутой головкой, также как и проходные прямые резцы, 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. 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 величин 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 применяются при продольном обтачивании ступенчатых поверхностей, сопрягающихся под прямым или близким к нему углом, и когда разность между цилиндрическими поверхностями относительно невелика (не превышает 15–20 мм).

Упорные резцы имеют главный угол в плане $\varphi = 90^\circ$, поэтому их стойкость при обточке цилиндрических поверхностей ниже стойкости проходных резцов. При обточке ступенчатых поверхностей, у которых цилиндрическая часть достаточно длинная, а разница между диаметрами участков невелика, 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 технологической системы, 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° ($\varphi \approx 95 - 105^\circ$), и после прекращения продольной подачи, при достижении необходимой длины цилиндрической части осуществляют поперечную подачу в направлении от центра к периферии.

Подрезные резцы предназначены для того, чтобы обеспечить перпендикулярность уступа (торца) детали к оси или цилиндрической поверхности. Геометрия их формируется с учетом того, что роль режущих кромок (главная и вспомогательная) 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 торцовой поверхности величины углов в плане φ и φ_1 далеки от оптимальных, а следовательно, стойкость резцов невелика.

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

Обычно резцы для чистовой обработки обычно имеют радиус закругления вершины $r = 0,5 \div 2$ мм, а поэтому при глубине резания $t = 0,5 \div 2$ мм (что имеет место при чистовых операциях) работа осуществляется только радиусными участками режущих кромок, в каждой точке которых величина угла в плане определяется из соотношения: $\cos \varphi = l - t_x / r$, и, следовательно, изменяется в пределах от $\varphi_x = 0$ (при $t_x = 0$) до $\varphi_x = 90^\circ$ (при $t_x = r$).

Поэтому, выбрав радиус r , не приходится рассчитывать на оптимальные значения φ и φ_1 .

При выполнении универсальных работ подрезка уступов осуществляется чаще упорными резцами, как это описано выше.

Резцы для обработки торцовых поверхностей

Торцовые поверхности деталей могут обрабатываться *торцовыми проходными* с $\varphi < 90^\circ$, *торцовыми упорными* с $\varphi = 90^\circ$ и *торцовыми подрезными* с $\varphi > 90^\circ$ резцами.

Торцовые резцы предназначены для работы с поперечной подачей в направлении от периферии к оси детали. Они отличаются от резцов для обточки соответствующим расположением главной режущей кромки.

Торцовые резцы изготавливаются только с отогнутой головкой на угол $15 \div 20^\circ$ от оси резца. Это обусловлено тем, что такими резцами часто приходится обрабатывать закрытые торцовые поверхности.

Открытые торцовые поверхности могут обрабатываться резцами, предназначенными для обработки наружных поверхностей с соответ-

ствующим их закреплением в резцедержателе станка и направлением подачи.

При подрезке торцовых поверхностей можно вместо подрезных резцов использовать упорные резцы для обточки, повернув их в сторону обрабатываемой поверхности на угол $5-10^\circ$ и изменив направление подачи на противоположное. Следует сначала обточить цилиндрическую часть с продольной подачей, а затем с помощью поперечной подачи от центра к периферии обработать торец.

Резцы для обработки отверстий

Резцы для обработки отверстий делятся на *расточные проходные*, *расточные упорные* и *расточные подрезные*. Назначение этих резцов то же, что и соответствующих резцов для обработки наружных поверхностей.

В связи с тем, что такие резцы имеют значительно больший вылет l из резцедержателя и меньшее поперечное сечение, характеризующее диаметром d_p оттянутой части, по сравнению с резцами для обработки наружных поверхностей, они имеют низкую жесткость.

Это приводит к необходимости более тщательного выбора конструкции и геометрии резцов, и во многих случаях снижения режима резания.

При выборе расточных резцов следует ориентироваться на резцы с меньшей l_p и большим d_p .

Всё отмеченное ранее о влиянии главного угла в плане φ на работу резцов в этом случае приобретает особое значение. У стандартных расточных проходных резцов главный угол в плане φ увеличен по сравнению с другими проходными резцами и обычно делается равным 60° . В некоторых случаях его целесообразно увеличивать до $\varphi = 90^\circ$, то есть применять упорные резцы даже при обработке сквозных отверстий. Опыт показывает, что увеличение φ до более высоких значений эффекта не даёт. Иначе говоря, применять подрезные резцы с целью уменьшения радиальной составляющей силы резания p_y не имеет смысла. При применении подрезных резцов, у которых $\varphi = 95 \div 105^\circ$, ухудшаются условия стружкообразования, растут силы резания, что приводит к увеличению «отжимов» и возникновению вибраций.

Расточные подрезные резцы с $\varphi > 90^\circ$ следует применять только для чистовой обработки и подрезки уступов в ступенчатых и глухих отверстиях. 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 $\varphi > 90^\circ$) легко трансформируются в упорные.

Резцы для отрезки

Отрезные резцы одной из конструкций имеют оттянутую головку, которая оснащается пластинкой из какого-либо инструментального материала (чаще твердого сплава), при этом головка может быть оттянутой влево, оттянутой вправо и оттянутой симметрично.

Стандартные отрезные резцы имеют головку, оттянутую влево, они чаще всего применяются на практике.

Соотношение размеров головки резца определяется зависимостью: $l_p = 5a + 5$, где l_p – длина головки резца, a – ширина головки, равная длине главной режущей кромки, при этом принято, что $a \approx 0,1D$, где D – диаметр отрезаемой заготовки.

Другая распространенная конструкция резцов предусматривает цельную головку в виде пластины из быстрорежущей стали, приваренную к боковой поверхности державки. Эта конструкция имеет головку, смещенную влево. Соотношение размеров головки резцов с $a = 1,5 \div 3$ мм определяется зависимостью $l_p = 4a$, а для резцов с $a \geq 3$, как и в первой конструкции.

1.2 Выбор типоразмера резца

Размеры головки и державки оказывают большое влияние на жесткость, прочность и стойкость инструмента. Все основные размеры резцов стандартизированы.

Поэтому после выбора типа резца необходимо по приложению 2 [1] выбрать такой из них, который обеспечивает наиболее эффективное выполнение операции. Как правило, 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 [1]. Следует иметь в виду, что резцедержатель каждого станка рассчитан на закрепление в нём резцов, максимальные размеры поперечного сечения которых ограничены и указаны в паспорте станка.

В связи с этим для обработки торцов целесообразно выбирать резцы, у которых высота державки H равна величине, допускаемой резцедержателем станка, или несколько меньше неё. Державки для твердосплавных резцов должны иметь увеличенную ширину B поперечного сечения, для них предусматривается $H/B = 1,0 \dots 1,25$.

Расточные резцы имеют относительно 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 диаметром d стержня) и с меньшей длиной l стержня, несущего головку, но с такими размерами, которые обеспечили бы 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. Подобрать резец по этому параметру, уточняют выбор по глубине растачиваемого отверстия и длине несущего стержня. Остается только проверить, разместится ли резец в резцедержателе станка.

Иногда возникают затруднения, связанные с тем обстоятельством, что стандарты предусматривают резцы для обработки «нормальных» отверстий, т.е. таких, у которых

$$\frac{l_{омс}}{D_{омс}} \leq 3.$$

В том случае, когда

$$\frac{l_{омс}}{D_{омс}} > 3 \dots 4,$$

часто удается использовать стандартные резцы с некоторой их доработкой, заключающейся в увеличении длины l несущего стержня за счёт уменьшения длины квадратного сечения державки обточкой. Естественно, при этом жесткость резца снизится, что приведет к уменьшению допустимой подачи.

В тех же случаях, когда обрабатывается отверстие большого относительного диаметра:

$$\frac{l_{омс}}{D_{омс}} < 1,0,$$

целесообразно использовать резец с максимальным сечением державки (по резцедержателю станка) и укороченной l , несколько большей, чем $l_{омв}$. Применение таких нестандартных резцов может значительно увеличить производительность операции.

Из соотношения между длиной и шириной головки резца видно, что головки отрезных резцов имеют низкую прочность, хотя условия их работы очень тяжелые. Здесь проявляется осложненное резание, при котором к силам, возникающим непосредственно при образовании стружки, добавляются силы защемления стружки в канавке в процессе отвода из зоны резания. Эти силы иногда превышают силы резания. Поэтому отрезание является одной из трудновыполняемых операций резания. Чтобы избежать поломки резца, необходимо прежде всего правильно подобрать его с учётом диаметра отрезаемой заготовки (или детали). Длина головки резца в этом случае 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.

1.3 Выбор марки инструментального материала

Для изготовления режущих инструментов в настоящее время используются быстрорежущие стали, металлокерамические твердые сплавы, эльбор, минералокерамика, алмазы и другие материалы. Минералокерамика и алмазы 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, что 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.

Твердосплавные инструменты обеспечивают значительно большую производительность, поэтому их следует использовать в тех случаях, когда характер резания (работа без резких ударов) и конструкция инструмента позволяет применять твердые сплавы. Статистика пока-

зывает, что в металлообрабатывающей промышленности до 80% токарных резцов оснащаются твердыми сплавами.

Марку инструментального материала в зависимости от условий обработки рекомендуется выбирать по таблицам.

Головки резцов изготавливаются как одно целое с державкой и оснащаются пластинками из выбранного 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 её размеры, при этом толщина пластинок должна быть $C \approx (0,16 \div 0,20)H$.

1.4 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.

За критерий износа резца принимается износ по задней поверхности h_3 , (мм).

1.5 Рабочий чертеж резца

Выбрав тип и основные размеры резца, марку инструментального материала и геометрию режущей части, можно приступить к выполнению рабочего чертежа с соблюдением требований стандартов ЕСКД. Типовые чертежи резцов приведены в приложении А.

1.6 Выбор глубины резания

Количество проходов и доля припуска, снимаемого за каждый проход, зависят от целого ряда факторов: точности размеров, формы, шероховатости обрабатываемой поверхности и других факторов. Расчёт величины операционных припусков является задачей технологии машиностроения и здесь не рассматривается.

Общая величина припуска, подлежащего снятию с помощью механической обработки, указывается в задании на работу (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, что $t = \Delta$.

При *получистовой* обработке с шероховатостью поверхности $R_z = 4 \div 10$ мкм припуск $\Delta \leq 2$ мм также 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 $t_2 = 0,5 \div 1$ мм, а $t_1 = \Delta - t_2$.

При *чистой* обработке с шероховатостью $R_z = 1,0 \div 6,3$ мкм глубина резания для последнего перехода обычно принимается равной $0,1 \div 0,5$ мм.

Если припуск превышает 0,5 мм, то обработку производят в два или в три прохода при $t_3 = 0,1 \div 0,5$ мм, $t_2 = 0,5 \div 1,9$ мм, $t_1 = \Delta - t_2 - t_3$.

1.7 Выбор подачи

Для достижения наибольшей производительности должна быть выбрана наибольшая возможная подача. Величина подачи ограничивается рядом факторов: шероховатостью обработанной поверхности, прочностью и жесткостью державки резца, прочностью механизма подачи и другими. 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. Рассмотрим вопросы выбора подачи более подробно.

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 станков предусматриваются

предохранительные устройства. Величина предельно допустимой силы $Q_{мп}$, на которую рассчитано предохранительное устройство, указывается в паспорте станка.

Суммарная сила сопротивления перемещению суппорта Q не должна превышать $Q_{мп}$:

$$Q < Q_{мп}$$

Значение подачи рассчитывается по формуле:

$$S_1 = y_{pz} \sqrt{\frac{Q_{мп}}{k_1 C_{pz} t^{x_{pz}} v^{z_{pz}}}},$$

где $Q_{мп}$ – величина предельно допустимой силы, Н;

k_1 – коэффициент, отражающий характер нагрузки (в зависимости от геометрии реза для станков с высотой центров 150÷300 мм);

$k_1 = 0,33 \dots 0,45$ при продольной обточке и расточке;

$k_1 = 0,5 \div 0,6$ при торцевой обточке и отрезке; большие значения k_1 следует брать при $\gamma \leq 10^\circ$, меньшие – при $\gamma > 10^\circ$);

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 на силу резания (обрабатываемого материала, материала и геометрии инструмента и других факторов);

t – глубина резания, мм; v – скорость резания, м/мин.

При решении этого выражения следует учитывать, что на этой стадии расчёта скорость резания еще неизвестна, поэтому при обработке твердосплавным инструментом углеродистых, легированных, нержавеющей и жаропрочных сталей $\sigma_s = 500 \div 1000$ МПа предварительно её 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.

Расчет подачи по прочности державки реза

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

Опыт показывает, что с достаточной для практики точностью прочность резца может быть рассчитана по силе P_z с введением в расчётное уравнение коэффициента, учитывающего сложное нагружение.

Подачу определяют по зависимости:

$$S_2 \leq y_{pz} \sqrt{\frac{W[\sigma_u]}{k_2 C_{pz} t^{x_{pz}} v^{z_{pz}}}},$$

где W – момент сопротивления сечения, мм^3 ;

$[\sigma_u]$ – допускаемое напряжение на изгиб материала, державки резца, МПа;

k_2 – коэффициент, учитывающий характер нагрузки резца (при продольной и торцевой обточке $k_2 = 1,3 \div 1,5$; при расточке $k_2 = 1,5 \div 2$; при отрезке $k_2 = 1$).

Расчет подачи по жесткости технологической системы 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 .

Подачу определяют по формуле:

$$S_3 \leq y_{py} \sqrt{\frac{K_5 \delta}{2C_{py} t^{x_{py}} v^{z_{py}} \left[\frac{1}{j_d} + \frac{1}{j_{cm}} + \frac{1}{j_p} \right]}},$$

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

δ – заданный допуск на изготовление, мм;

j_d – жесткость детали, мм/Н;

j_{cm} – жесткость станка, мм/Н;

j_p – жесткость резца, мм/Н.

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 выражению:

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

где C_s , n , x , y , z – коэффициент и показатели степени, зависящие от рода обрабатываемого материала;

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, град.;

γ – передний угол ($\gamma > 0$), град.;

α – задний угол ($\alpha > 0$), град.;

h_3 – величина износа резца по задней поверхности ($h_3 > 0$), мм;

K_s – коэффициент, учитывающий группу труднообрабатываемых материалов.

Выбор наибольшей технологически допустимой подачи

Из найденных значений подачи по ограничивающим факторам выбираем наименьшее. Эту величину сравниваем со значениями подач для данного станка 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 путём 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 расчётов подач по всем ограничи-

вающим факторам. Однако производить расчёты повторно не следует, достаточно убедиться в том, что та из подач, которая была ближайшей большей, не оказалась наименьшей.

1.8 Выбор скорости резания (скоростной ступени станка)

Скорость резания, м/мин, рассчитывается из условия полного использования режущих свойств инструмента:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^{x_v} s_0^{y_v}}.$$

Зная скорость резания, диаметр заготовки, можно определить частоту вращения заготовки по выражению:

$$n = \frac{1000 C_v}{T^m t^{x_v} s_0^{y_v} \pi D},$$

где C_v – коэффициент, характеризующий реальные условия,

$$C_v = C'_v k_{\varphi_v} k_{\varphi_{1v}} k_{\phi_v} k_{r_v} k_{q_v} k_{u_v} k_{c_v} k_{n_v} k_{M_v} k_{0_v};$$

C'_v – коэффициент, характеризующий условия обработки;

$k_{\varphi_v}; k_{\varphi_{1v}}; k_{\phi_v}; k_{r_v}; k_{q_v}; k_{u_v}; k_{c_v}; k_{n_v}; k_{M_v}; k_{0_v}$ – поправочные коэффициенты, учитывающие изменение реальных условий обработки по сравнению с теми, при которых определялся коэффициент C'_v (реальную геометрию резца φ , φ_1 и r , сечение державки q , марку инструментального материала C , состояние поверхностного слоя обрабатываемой заготовки n , марку обрабатываемого материала M и качество смазывающе-охлаждающей жидкости). При отсутствии в нормативных документах 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, m, x_v, y_v – показатели степени, характеризующие влияние T, t и s на скорость резания.

Определив расчетную частоту вращения заготовки, необходимо согласовать её с возможностями станка, т.е. выбрать из имеющихся на заданном станке такую ближайшую к расчётной скоростную ступень

шпинделя, которая будет обеспечивать наиболее полное использование режущих свойств инструмента и, следовательно, наибольшую производительность.

На станке с бесступенчатым регулированием частота вращения шпинделя $n_{\text{шт}}$ принимается равной n . Наивыгоднейшим будет режим при t , s_0 и n . При этом режущие свойства инструмента будут использованы полностью.

Большинство станков имеет ступенчатый ряд частот вращения шпинделя. Поэтому найденная расчётным путём частота вращения будет находиться между двумя 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 выражения 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 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 при n_{x+1} :

$$s' \leq y_v \sqrt[3]{\frac{1000C_v}{T^m t^{x_v} \pi D n_{x+1}}} \quad \text{или} \quad s' \leq s_0 y_v \sqrt[3]{\frac{n}{n_{x+1}}}.$$

Таким образом, на реальном (заданном) станке следует 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 работать на том из них, который обеспечивает большую производительность или, что то же самое, большую минутную подачу. Поэтому сравним $s_{M_x} = n_x s_0$ и $s_{M_{x+1}} = n_{x+1} s'_0$. Степень, 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 частота вращения может оказаться больше, чем наибольшая частота вращения шпинделя станка ($n > n_{\text{шт макс}}$). В этом случае за оптимальную скоростную ступень следует принимать $n_{\text{шт макс}}$. Следовательно, наивыгоднейшим будет режим резания с параметрами t , s_0 , $n_{\text{шт макс}}$. Очевидно, что при этом режущие свойства инструмента будут недоиспользованы.

1.9 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 для каждой скоростной ступени указывается наибольший допустимый крутящий момент или мощность на шпинделе. Следовательно, при проверке режима резания следует убедиться в том, что мощность или крутящий момент на шпинделе при выбранной скоростной ступени достаточны для реализации назначенного режима резания (t , s , и n).

При этом необходимо, чтобы:

$$N_{ун} \geq N_{рез} = \frac{C_{p_z} t^{x_{p_z}} s^{y_{p_z}} v^{1+z_{p_z}}}{60} \quad \text{или} \quad M_{ун} \geq M_{рез} = \frac{C_{p_z} t^{x_{p_z}} s^{y_{p_z}} v^{z_{p_z}} D}{2 \cdot 1000}.$$

Если одно из этих условий выполняется, то расчет заканчивается.

Однако в ряде случаев условия 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. Определяется $M_{рез}$ для t , s_0 и n_x . Найденная величина $M_{рез}$ будет находиться между значениями $M_{ун\ y+1}$ и $M_{ун\ y}$, которым соответствуют скоростные ступени n_{y+1} и n_y , т.е.:

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

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

$$s'' \leq v_{p_z}^{y_{p_z}} \sqrt{\frac{2 \cdot 1000 M_{ун\ y+1}}{D C_{p_z} t^{x_{p_z}} v_{y+1}^{z_{p_z}}}} < s_0.$$

Найденную величину s'' нужно сравнить с паспортными значениями и выбрать из них ближайшую меньшую s'' .

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. На режиме резания (t, s_0, n_y или t, s_0'', n_{y+1}) будут полностью использованы возможности станка, но недоиспользованы режущие свойства инструмента.

1.10 Определение машинного времени обработки и некоторых экономических показателей

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

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

где l – размер обрабатываемой поверхности в направлении подачи, мм;

l_1 – величина врезания резца, мм, $l_1 = t \cdot \text{ctg} \varphi$ (при $\varphi = 90^\circ$ принимают $l_1 = 0,5$ мм);

l_2 – величина перебега резца, зависящая от ряда факторов.

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

Как отмечалось выше, обычно 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. Поэтому реальная производительность станка меньше той, которую может обеспечить режущий инструмент, особенно когда станок оказывается «слабее» режущего инструмента.

Коэффициент использования режущих свойств инструмента может быть определен следующим образом:

$$K_u = \frac{ns}{n_p s_p},$$

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

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 соотношению (2.16), s_p равна той величине подачи, которая подставлялась в это соотношение).

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

Коэффициент использования станка по мощности определяется по соотношению:

$$K_c = \frac{N_{рез}}{N_{ун}} = \frac{M_{рез}}{M_{ун}},$$

где $M_{рез}$ – момент резания,

$M_{ун}$ – момент на шпинделе станка при принятой частоте его вращения.

2 РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ДЛЯ СВЕРЛЕНИЯ, ЗЕНКЕРОВАНИЯ И РАЗВЕРТЫВАНИЯ

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.

2.1 Выбор конструкции и геометрии инструмента

Характеристики инструмента в значительной степени определяют уровень режимов резания, и поэтому расчет их начинается с выбора типа, материала, размеров, конструкции и геометрии инструмента.

При выборе конструкции и основных параметров инструмента рекомендуется использовать указания и рекомендации, приведенные в [2].

Инструмент для обработки отверстий в силу своей специфичности обладает сравнительно низкой жесткостью, и поэтому при выборе типа и всех других параметров нужно ориентироваться на такие, которые повышают жесткость и снижают силы резания. Из стандартных предпочтительно выбирать инструменты цельной конструкции с возможно более короткой и усиленной рабочей и хвостовой частью, с коническим хвостовиком возможно большего номера.

Для обработки отверстий применяют инструменты, рабочая часть которых изготавливается из быстрорежущей стали или оснащается твердым сплавом. При этом следует иметь в виду, что твердые сплавы обеспечивают большую производительность, и поэтому в первую очередь целесообразно ориентироваться на их применение, и 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, особенно при обработке отверстий малого диаметра.

Геометрические параметры инструмента в значительной мере влияют на успех выполнения операции (перехода), а поэтому они должны быть выбраны оптимальными.

После того как выбрана конструкция инструмента, его основные размеры и геометрия, выполняется рабочий чертеж (приложение Б).

2.2 Выбор глубины резания

В соответствии с основными законами наимыгоднейшего резания обработку, в том числе и отверстий, целесообразно проводить в один проход (переход) и глубину резания, мм, назначать равной

$$t = (D - D_1) / 2,$$

где D – диаметр отверстия после обработки на данном переходе или, что то же самое, диаметр инструмента, мм;

D_1 – диаметр отверстия до обработки на данном переходе операции технологического процесса, мм.

Так как при сверлении отверстий в сплошном материале $D_1 = 0$, то при этом $t = D/2$. Однако при сверлении в сплошном материале возникают большие осевые силы, в связи с чем отверстия диаметром более 30–35 мм необходимо сверлить на станках с большей жесткостью и мощностью. На станках нормальной жесткости такие отверстия рекомендуется обрабатывать в два перехода: сначала сверлить сверлом $D_1 \approx (0,3 - 0,5)D$, затем рассверливать отверстие на требуемый размер D . В первом случае глубина резания $t_1 = D_1/2$, во втором – определяется по формуле $t = (D - D_1)/2$.

Глубина резания при зенкерованием и развертывании определяется величиной припуска, которая рассчитывается по соответствующей методике при разработке технологического процесса.

При выполнении работы, прежде чем назначать глубину резания для зенкерования и развертывания, необходимо выбрать маршрут обработки отверстия в зависимости от требований, предъявляемых к готовому отверстию по точности размера и шероховатости поверхности с учетом конструктивных особенностей и диаметра отверстия.

После выбора маршрута обработки отверстия определяется для каждого перехода глубина резания.

В соответствии с выбранными глубинами резания рассчитываются необходимые диаметры инструментов для каждого (или заданного) перехода, начиная с последнего:

$$D_i = D_{i+1} - 2t_{i+1},$$

где D_i – диаметр инструмента для выполнения i -го перехода обработки отверстия, мм;

D_{i+1} – диаметр инструмента, который будет использоваться при выполнении последующего ($i + 1$) перехода, мм;

t_{i+1} – глубина резания, которая выбрана для обработки на последующем ($i + 1$) переходе, мм.

После округления рассчитанных диаметров инструмент выбирается по действующим стандартам и окончательно устанавливается глубина резания (с учетом коррекции диаметра инструмента по ГОСТу).

2.3 Выбор подачи

Для того, чтобы получить наибольшую производительность, необходимо выбрать и наибольшую подачу. Величина подачи может ограничиваться целым рядом факторов, важнейшими из которых являются: прочность механизма подач станка, прочность инструмента, жесткость системы СПИД (станок-приспособление-инструмент-деталь), заданная точность и шероховатость обработанной поверхности.

Подача, допускаемая прочностью механизма подач станка

Механизм подач каждого сверлильного станка имеет определенную прочность. Усилие, допускаемое прочностью механизма подач $P_{МП}$, указывается в паспорте станка. Совершенно очевидно, что усилие подачи, возникающее при обработке (P_O), должно быть меньше допустимого или, в крайнем случае, равно ему, т. е.

$$P_O \leq P_{МП}.$$

Усилие подачи, возникающее при сверлении, рассверливании, зенкерованием и развертывании, можно выразить как

$$P_O = C_P' \cdot D^{z_P} \cdot s^{y_P} \cdot t^{x_P} \cdot K_P,$$

где D – диаметр инструмента, мм;

s – подача, мм/об;

t – глубина резания, мм;

K_P – коэффициент, учитывающий изменение реальных условий обработки по сравнению со «стандартными», для которых найдены C_P' , z_P , y_P и x_P , $K_P = K_{MP}K_{\Phi P}K_{HP}$;

K_{MP} – коэффициент, учитывающий механические свойства обрабатываемого материала;

$K_{\Phi P}$ – коэффициент, учитывающий форму заточки инструмента;

K_{HP} – коэффициент, учитывающий степень износа инструмента;

C_P' – коэффициент для условий, принятых при разработке нормативных материалов;

z_P , y_P , x_P – показатели степени, характеризующие интенсивность влияния соответственно D , s и t на величину P_O .

Решив совместно оба выражения относительно s , получим

$$s_1 \leq \sqrt[y_P]{\frac{P_{МП}}{C_P' \cdot D^{z_P} \cdot t^{x_P} \cdot K_P}}.$$

Подача по прочности инструмента

В процессе сверления, зенкерования и развертывания возникает крутящий момент M и осевая сила P_o , поэтому инструмент (особенно сверло) подвергается сложным деформациям. Расчет этих деформаций хотя и возможен, но является достаточно трудоемким. Анализ показывает, что для расчета режимов резания, допускаемых прочностью инструмента, задачу можно существенно упростить, приняв, что инструмент нагружен только одним крутящим моментом, «эквивалентным» полной нагрузке.

Исследованиями установлено, что сверла, зенкеры и развертки стандартных конструкций ломаются при нагружении крутящим моментом:

$$M_{\text{л}} = C_{M_{\text{л}}} \cdot D^{z_{M_{\text{л}}}},$$

где $C_{M_{\text{л}}}$ – коэффициент, зависящий от конструкции и материала режущего инструмента;

$z_{M_{\text{л}}}$ – показатель степени, характеризующий влияние диаметра инструмента на величину «ломающего» момента.

Момент ($H \cdot m$), который возникает при сверлении, рассверливании, зенкерования и развертывании, может быть выражен как

$$M = C_M' \cdot D^{z_M} \cdot s^{y_M} \cdot t^{x_M} \cdot K_M,$$

где C_M' – коэффициент, характеризующий условия, при которых разрабатывались нормативные материалы;

$K_M = K_{MM}K_{\Phi M}K_{tM}K_{hM}$ – коэффициент, учитывающий реальные условия обработки;

K_{MM} – коэффициент, учитывающий физико-механические свойства обрабатываемого материала;

$K_{\Phi M}$ – коэффициент, учитывающий форму заточки инструмента;

K_{tM} – коэффициент, учитывающий глубину обрабатываемого отверстия;

K_{hM} – коэффициент, учитывающий величину износа инструмента.

Для того, чтобы не произошло поломки инструмента при работе, необходимо выполнить условие:

$$M \cdot K_3 \leq M_{\text{л}},$$

где K_3 – коэффициент запаса прочности.

Решив относительно s , будем иметь

$$s_2 \leq \sqrt[3]{\frac{C_{MЛ} \cdot D^{z_{MЛ}}}{K_3 \cdot C_M \cdot D^{z_M} \cdot t^{x_M} \cdot K_M}}.$$

Эта зависимость и положена в основу расчета рекомендуемых подач в нормативах режимов резания при сверлении отверстий $D \geq 5$ мм.

При сверлении отверстий $D \leq 5$ мм в формулу необходимо вводить поправочный коэффициент $K_d = 0,65$, учитывающий низкую осевую прочность сверл малого диаметра.

Подача по жесткости системы СПИД в связи с заданной точностью и шероховатостью обработанной поверхности

Методы расчета подач по заданной жесткости системы СПИД, точности и шероховатости обработанной поверхности для сверления, рассверливания, зенкерования и развертывания до настоящего времени не разработаны. Но накоплен большой производственный опыт.

Допустимая величина подачи может быть определена как

$$s_3 = s_2 \cdot K_{eps},$$

где K_{eps} – коэффициент, учитывающий жесткости системы СПИД и заданную точность и шероховатость поверхности отверстия.

Выбор наибольшей технологически допустимой подачи

Из найденных расчетом значений подач по ограничивающим факторам (s_1 , s_2 и s_3) необходимо выбрать наименьшую.

При сверлении сквозных отверстий на выходе инструмента из отверстия осевая сила уменьшается и система СПИД упруго возвращается в исходное положение, в связи с чем подача увеличивается, что может привести к поломке инструмента или выкрашиванию режущих кромок. Для предупреждения поломки инструмента перед его выходом из отверстия рекомендуется либо предусматривать выключение автоматической подачи и досверливание производить с ручной подачей, либо назначать автоматическую подачу меньше расчетной при сверлении на полную глубину отверстия.

На основе производственного опыта можно рекомендовать для сквозных отверстий с глубиной $l \leq (1,0 - 1,5)D$ назначать автоматическую подачу на 20–25 % меньше расчетной; для сквозных отверстий с $l > (1,0 - 1,5)D$ применять автоматическую подачу, равную расчетной

до достижения глубины $l - l_1$ (l_1 – величина врезания инструмента), а затем заканчивать сверление с подачей на 20–25 % меньше расчетной.

Так как на станках предусмотрено ступенчатое изменение подач, то расчетную подачу (или уменьшенную, в связи со сказанным выше) необходимо согласовать с паспортными данными станка. При этом из паспортных данных надо выбрать величину, ближайшую меньшую к расчетной. Эта подача и будет являться наибольшей технологически допустимой подачей – s_0 .

2.4 Выбор скорости резания (скоростной ступени станка)

Скорость резания, м/мин, рассчитывается из условия полного использования режущих свойств инструмента по формуле

$$v = \frac{C_v' \cdot D^{z_v} \cdot K_v}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot s_0^{y_v}}.$$

Зная скорость резания и диаметр инструмента, можно определить частоту вращения, соответствующую этой скорости, по известной формуле

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D}.$$

Подставив первую формулу во вторую, получим

$$n = \frac{1000 \cdot C_v' \cdot K_v}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot s_0^{y_v} \cdot \pi \cdot D^{1-z_v}},$$

где n – частота вращения, об/мин;

C_v' – коэффициент, характеризующий условия обработки, для которых разрабатывались нормативные материалы;

K_v – коэффициент, учитывающий реальные условия обработки;

T – оптимальная стойкость инструмента;

m – показатель относительной стойкости;

x_v, y_v, z_v – показатели степени, характеризующие влияние t, s и D на допустимую скорость резания.

При отсутствии в нормативных материалах любого из перечисленных поправочных коэффициентов он принимается равным единице, а при отсутствии показателя он принимается равным нулю.

Определив расчетную частоту вращения заготовки, необходимо согласовать ее с возможностями станка. Формула для сверления, зенкерования и развертывания будет иметь вид

$$s' \leq \sqrt[3]{\frac{1000 \cdot C_v' \cdot K_v}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot \pi \cdot D^{1-z_v} \cdot n_{x+1}}}$$

2.5 Проверка выбранного режима резания по мощности на шпинделе станка

Для того, чтобы выбранный режим резания мог быть выполнен на заданном станке, необходимо $N_{рез} \leq N_{ун}$ или $M_{cp} \leq M_{ун}$.

Момент сопротивления резанию, Н·м, и эффективная мощность резания, Вт, определяются для сверления, зенкерования и развертывания

$$M_{cp} = C_M \cdot D^{z_M} \cdot s^{y_M} \cdot t^{x_M},$$

$$N_{рез} = (2\pi / 60) \cdot M_{cp} \cdot n.$$

Если условие $N_{рез} \leq N_{ун}$ или $M_{cp} \leq M_{ун}$ выполняется, то расчет заканчивается.

Однако в ряде случаев 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.

2.6 Основное технологическое (машинное) время обработки отверстия

Основное технологическое время, мин, определяется по формуле

$$T_{МАШ} = \frac{l_1 + l + l_2}{n \cdot s},$$

где l_1 – величина врезания инструмента, мм;

l_2 – величина перебега инструмента, мм.

При обработке инструментом с одинарным конусом заборной части (форма H) - 2φ

$$l_1 = 0,3D.$$

При сверлении сверлом с двойным конусом заборной части (форма D) - 2φ и $2\varphi_0$

$$l_1 = B \cdot \cos\varphi_0 + (D/2 - B \cdot \sin\varphi_0) \cdot \operatorname{ctg}\varphi,$$

где B – длина переходной режущей кромки с $2\varphi_0$, мм.

Величина перебега инструмента может быть определена по зависимостям:

- а) при сверлении сквозных отверстий на проход $l_2 = 0,1D$;
- б) при рассверливании, зенкерования и развертывании сквозных отверстий $l_2 = 0,06D$;
- в) при обработке глухих отверстий $l_2 = 0$.

2.7 Коэффициенты использования режущих свойств инструмента и загрузки станка по мощности

Коэффициент использования режущих свойств инструмента:

$$K_{II} = \frac{s \cdot n}{s_p \cdot n_p},$$

где $s_p(s_0)$ – величина наибольшей технологически допустимой подачи;
 $n_p(n)$ – частота вращения инструмента, соответствующая оптимальной стойкости T и подаче $s_p(s_0)$;

n и s – частота вращения инструмента и величина подачи, принятые в качестве наивыгоднейших.

Коэффициент загрузки станка по мощности:

$$K_C = \frac{N}{N_{um}},$$

где N – эффективная мощность при обработке, определяемая для оптимальных s и n ;

$N_{um} = N_{06} \cdot \eta$ – мощность на шпинделе станка.

3 ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОФОРМЛЕНИЮ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Контрольное задание оформляется в виде пояснительной записки формата А4.

В соответствии с СТО СГАУ 02068410-004-2007 записка должна содержать:

- 1) титульный лист;

- 2) реферат;
- 3) содержание работы;
- 4) бланк задания;
- 5) введение;
- 6) содержание задания (с эскизом детали);
- 7) изложение результатов выполненной работы;
- 8) заключение;
- 9) перечень использованной литературы;
- 10) приложения – рабочие чертежи токарного резца и спирального сверла.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Режимы резания авиационных материалов при точении [Текст]: учеб. пособие / А.Н. Волков, А.Н. Дружин, М.Б. Сазонов [и др.]. – Самара: СГАУ, 2014. – 130 с.

2. Лепилин, В.И. Режимы резания авиационных материалов при сверлении, зенкеровании и развертывании [Текст]: учеб. пособие / В.И. Лепилин. – Самара: СГАУ, 1993. – 80 с.

Учебное издание

**РАСЧЁТ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ
ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ**

Методические указания

Составители: *Михаил Борисович Сазонов*
Людмила Владимировна Соловацкая

Редактор Ю.Н. Литвинова
Доверстка Т.С. Зинкина

Подписано в печать 25.04.16. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л. 2,25.
Тираж 100 экз. Заказ . Арт. – 46/2016.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА»
443086, САМАРА, МОСКОВСКОЕ ШОССЕ, 34.

ИЗД-ВО САМАРСКОГО УНИВЕРСИТЕТА.
443086, САМАРА, МОСКОВСКОЕ ШОССЕ, 34.