

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»

ОСНОВЫ ТЕОРИИ РЕЗАНИЯ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов специальности 1-40 05 01
«Информационные системы и технологии (по направлениям)»
дневной и заочной форм обучения*

Часть 2



Могилев 2024

УДК 621.9
ББК 34.63
О75

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты»
«12» января 2024 г., протокол № 8

Составители: И. А. Тарадейко;
М. В. Тарадейко

Рецензент канд. техн. наук, доц. А. Е. Науменко

Методические рекомендации к лабораторным работам предназначены для студентов специальности 1-40 05 01 «Информационные системы и технологии (по направлениям)» дневной и заочной форм обучения.

Учебное издание

ОСНОВЫ ТЕОРИИ РЕЗАНИЯ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Часть 2

Ответственный за выпуск	С. Н. Хатетовский
Корректор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	М. М. Дударева

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 50 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2024

Содержание

Меры безопасности при проведении лабораторных работ	4
1 Исследование влияния параметров режима резания на составляющие силы резания, действующие на передней и задней поверхностях инструмента	5
2 Исследование износа и стойкости резцов	10
3 Расчет режимов резания при сверлении	18
4 Исследование влияния различных факторов на величину нароста и шероховатость обработанной поверхности	24
5 Исследование погрешностей установки инструментов с механическим креплением многогранных пластин, настраиваемых на размер вне оборудования	28
6 Изучение конструктивных и геометрических параметров фрез	30
7 Изучение конструктивных и геометрических параметров инструментов для обработки отверстий	33
8 Изучение конструктивных и геометрических параметров зубообра- зующих инструментов	38
9 Изучение параметров абразивного инструмента	41
Список литературы	43

Меры безопасности при проведении лабораторных работ

Перед началом занятий провести проверку знаний с подписью в протоколе. На рабочем месте должны находиться только необходимые для работы на данном оборудовании принадлежности. Перед пуском оборудования необходимо опробовать работу механизмов вручную. При наличии обнаруженных дефектов оборудование не включать и принять меры по устранению неисправностей. Обрабатываемая заготовка и режущий инструмент должны быть надежно закреплены. При работе на оборудовании удерживать заготовку руками категорически запрещается. Проверить исправность предохранительных ограждений, имеющихся на оборудовании. Ограждения должны быть надежно закреплены. Категорически запрещается снимать ограждения во время работы оборудования. При работе на оборудовании не разрешается находиться в плоскости вращающихся частей. Удерживать руками вращающиеся инструменты и изделия запрещается. Перед началом работы на оборудовании необходимо проверить исправность инструментов и принадлежностей. При работе на оборудовании обязательно использовать предохранительные очки.

1 Исследование влияния параметров режима резания на составляющие силы резания, действующие на передней и задней поверхностях инструмента

Цель работы – ознакомиться с методикой измерения составляющих силы резания при точении, используя трехкомпонентный динамометр; исследовать влияния скорости резания, подачи и глубины резания на составляющие силы резания; графоаналитическим методом обработать экспериментальные данные; ознакомиться со способами экспериментального определения сил, действующих на передней и задней поверхностях режущего клина.

Составляющие силы резания при точении

Силы, возникающие при резании, определяют нагрузку в технологической среде, температуру в зоне резания, стойкость режущего инструмента, точность обработки, производительность и потребляемую мощность.

Процесс резания сопровождается возникновением в срезаемом слое сначала упругих, а затем пластических деформаций, трением стружки о переднюю поверхность режущего клина и трением задней поверхности об обработанную поверхность. Работа резания затрачивается на преодоление упругих и пластических деформаций и трения. Очень малой по величине работой диспергирования (образования новых поверхностей) можно пренебречь. Суммарное усилие, затрачиваемое на процесс резания, складывается из следующих величин: усилия, необходимого для упругой деформации; усилия, необходимого для пластической деформации; усилия, необходимого для преодоления сил трения при резании.

В процессе резания металлов возникает некоторая сила сопротивления резанию, которая является результирующей неравномерно распределенной нагрузки на задней и передней поверхностях режущего клина. Закон изменения распределенной нагрузки не известен и не известна точка приложения и направление упомянутой равнодействующей. При исследовании силовой напряженности процесса резания измеряют составляющие силы резания P_z , P_x и P_y .

При продольном точении (рисунок 1.1, *а*) равнодействующая сила резания раскладывается на три, при подрезании торца втулки (рисунок 1.1, *б*) на две и при отрезке (рисунок 1.1, *в*) на две взаимно-перпендикулярные составляющие.

Касательная составляющая силы резания P_z – главная и часто наибольшая по величине, действует в направлении траектории главного рабочего движения. Она создает крутящий момент, нагружает привод главного движения, изгибает резец и заготовку. По этой составляющей проводится прочностной расчет деталей коробки скоростей, шпинделя, суппорта и других ответственных деталей станка.

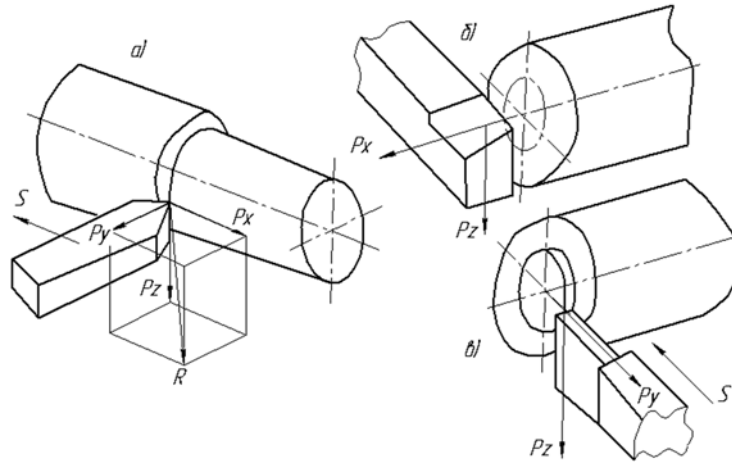


Рисунок 1.1 – Составляющие силы резания, действующие на резец

Осевая составляющая силы резания P_X действует в направлении продольной подачи на механизм подачи станка, на шпиндель и его опоры в осевом направлении. Эта сила преодолевается механизмом подачи станка, по ней рассчитываются детали коробки подач, фартука и упорные подшипники шпинделя.

Радиальная составляющая силы резания P_Y направлена нормально оси заготовки и стремится прогнуть изделие и оттолкнуть от него резец. Она действует на суппорт, станину, шпиндель и заднюю бабку станка. По этой силе производится расчет станка на жесткость и рационального давления на подшипники шпинделя. Знание величины P_Z , P_X и P_Y необходимо для расчета станка и его механизмов, для прогнозирования точности их деталей.

В нормальных условиях принимают

$$P_X = (0,2 \dots 0,3) P_Z ; \quad (1.1)$$

$$P_Y = (0,3 \dots 0,4) P_Z . \quad (1.2)$$

Величины составляющих силы резания зависят от физико-механических свойств обрабатываемого материала; геометрии, материала и степени износа инструмента; глубины резания; подачи и скорости резания; вида используемой смазочно-охлаждающей технологической среды (СОТС). На практике составляющие P_Z , P_X и P_Y определяют по экспериментальным эмпирическим зависимостям, которые представляют в виде степенной зависимости

$$P = C_P \cdot t^{X_p} \cdot S^{Y_p} \cdot V^{Z_p}, \quad (1.3)$$

где C_P – коэффициент, учитывающий конкретные условия резания (обрабатываемый материал, инструментальный материал, геометрию инструмента, условие смазки);

t, S, V – глубина резания, подача и скорость резания;

Z_p, Y_p, X_p – показатели степеней, характеризующие закон изменения составляющих силы резания в зависимости от изменения t, S, V .

Из параметров режима резания наиболее существенное влияние на величину составляющих P_z , P_x и P_y оказывают глубина резания и подача S . С увеличением глубины резания возрастает сечение срезаемого слоя ($f = S \cdot t = a \cdot b$). Коэффициент трения и усадка стружки остаются почти без изменения и ожидается пропорциональный рост составляющих силы резания.

С увеличением подачи сечение срезаемого слоя пропорционально возрастает, ввиду снижения коэффициента трения стружки о переднюю поверхность резца усадка уменьшается, поэтому составляющие силы резания растут не пропорционально росту подачи, а с некоторым отставанием.

Изменение скорости резания влияет на составляющие силы резания, что связано с изменением коэффициента усадки стружки. При резании материалов, не склонных к наростообразованию, коэффициент усадки монотонно убывает при увеличении V . Составляющие силы резания, уменьшающиеся при увеличении V : меняются вначале быстро, а затем более медленно.

При резании материалов, склонных к наростообразованию, кривая $P_z = f(V)$ немонотонна. Сила P_z имеет минимум при максимально развитом наросте (рисунок 1.2). При уменьшении высоты нароста составляющая P_z возрастает. При скорости без образования нароста, P_z при увеличении V непрерывно уменьшается.

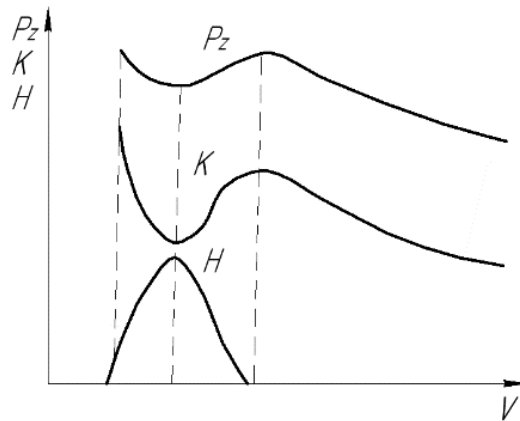


Рисунок 1.2 – Влияние скоростей резания на высоту нароста H , коэффициент усадки стружки K и силу P_z

Оборудование для измерения составляющих силы резания.

Зависимость составляющих силы резания от параметров режима резания устанавливают экспериментально, используя динамометры.

Динамометры УДМ не позволяют определять непосредственно величину составляющих силы резания. Перед работой необходимо тарировка динамометр. При тарировании динамометр нагружают в направлении действия составляющих сил резания сначала возрастающими, а затем убывающими силами, величина которых известна.

На основании этих данных по средней линии нагрузки строится тарировочный график (рисунок 1.3).

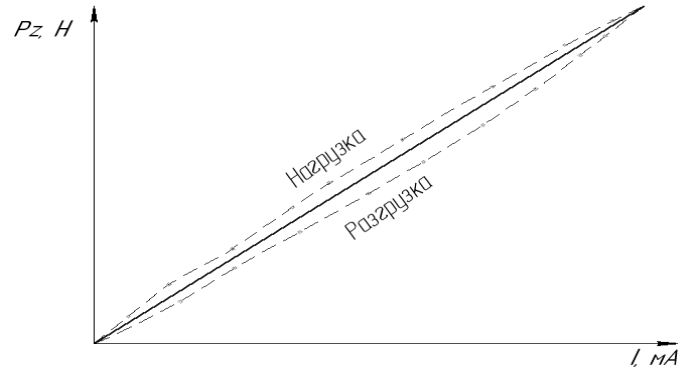


Рисунок 1.3 – Тарировочный график силы резания P_Z

Оборудование, приборы и инструменты: токарно-винторезный станок модели 16К25; заготовку в виде трубы для осуществления свободного продольного течения; токарные резцы с тремя различными передними углами ($\lambda = 0^\circ$, $\lambda = 10^\circ$ и $\lambda = 20^\circ$); динамометр УДМ; тарировочный график для данного динамометра; штангенциркуль; угломеры для измерения геометрии резцов.

Порядок выполнения работы

- 1 Ознакомиться с инструментом, станком и приборами.
- 2 Измерить геометрические параметры резцов.
- 3 Изучить конструкцию и принцип действия динамометра УДМ.
- 4 Провести экспериментальное исследование влияния параметров режима резания на составляющие силы резания P_Z , P_X и P_Y в три этапа, измерить составляющие P_Z , P_X и P_Y при переменной t и постоянных V и S ; при переменной S и постоянных t и V ; при переменной V и постоянных S и t .
- 5 Экспериментальные данные обрабатываются графическим способом. В результате обработки получают следующие уравнения:

$$P_Z = C_{P_Z} \cdot t^{XP_Z} \cdot S^{YP_Z} \cdot V^{ZP_Z}; \quad (1.4)$$

$$P_Y = C_{P_Y} \cdot t^{XP_Y} \cdot S^{YP_Y} \cdot V^{ZP_Y}; \quad (1.5)$$

$$P_X = C_{P_X} \cdot t^{XP_X} \cdot S^{YP_X} \cdot V^{ZP_X}. \quad (1.6)$$

Выполнить подстановки в формулы (1.4)–(1.6) данных конкретного опыта.

- 6 Результаты сравнить с данными литературы и сделать выводы о влиянии режимов резания на составляющие силы резания.

- 7 Провести экспериментальное исследование влияния толщины срезаемого слоя t и переднего угла резца γ на касательную P_Z и радиальную P_Y составляющие силы резания в три этапа, измерить составляющие P_Z и P_Y при переменной S (V и t постоянны) для трех различных значений γ .

8 Построить графические зависимости $P_Z = f_1(a)$ и $P_Y = f_2(a)$ при трех различных передних углах γ .

9 Способом экстраполяции силовых зависимостей $P_Z = f_1(a)$ и $P_Y = -f_2(a)$ на нулевую толщину срезаемого слоя определить величину сил F_1 и N_1 .

10 Оформить отчет по лабораторной работе.

Содержание отчета

1 Цель работы.

2 Схема сил, действующих на резец; экспериментальные данные (таблица 1.1).

3 Графики изменения составляющей силы резания в зависимости от глубины резания, от подачи и скорости резания в логарифмических координатах; определение значений показателей степеней Z , Y , X .

4 Выводы.

Таблица 1.1 – Экспериментальные данные

Номер серии опыта	Номер опыта	Режим резания				Составляющие силы резания, Н		
		Глубина, мм	Подача, мм/об	Частота вращения, мин ⁻¹	Скорость, м/мин	P_Z	P_X	P_Y
Первый	1							
	2							
	3							
	4							
Второй	1							
	2							
	3							
	4							
Третий	1							
	2							
	3							
	4							

Контрольные вопросы

1 Составляющие силы резания.

2 Влияние режимов резания на составляющие силы резания.

3 Влияние геометрических параметров инструмента на составляющие силы резания.

4 Методы измерения сил резания.

5 Нахождение эмпирической формулы для расчета составляющих сил резания.

2 Исследование износа и стойкости резцов

Цель работы – ознакомиться с характером износа резцов, с зависимостью износа резцов от времени работы, со способом определения оптимального износа; получить зависимости стойкости резца от скорости резания; приобрести навыки измерения величины износа резца.

Износ и стойкость резцов

В процессе резания на режущий клин действуют большие удельные силы, высокая температура, сила трения, другие факторы, приводящие к износу. В результате трения стружки о переднюю поверхность инструмента и задней поверхности инструмента о поверхность резания происходит изнашивание, истирание контактных площадок инструмента. На задней поверхности вследствие износа появляется площадка с задним углом, равным нулю; на передней поверхности появляется лунка (рисунок 2.1).

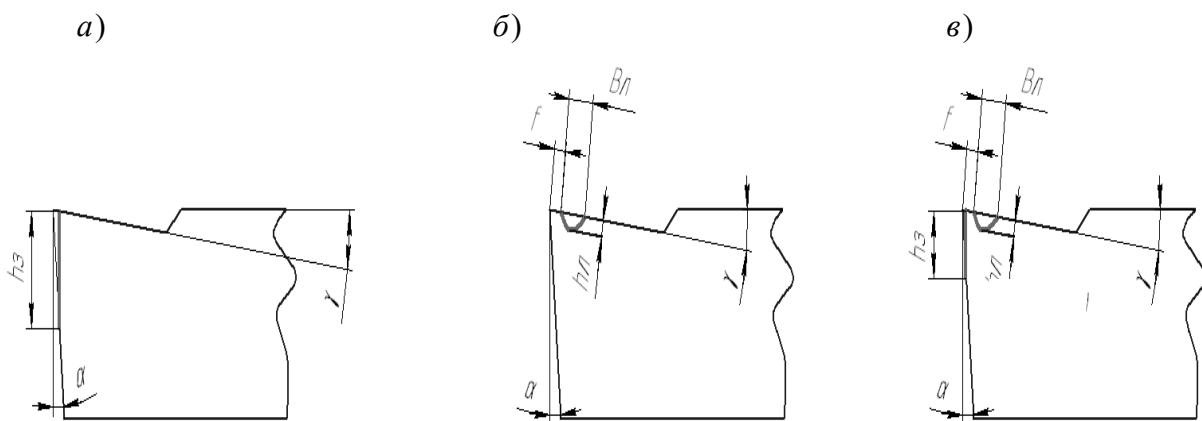


Рисунок 2.1 – Виды износа резцов

Появление площадки износа на задней поверхности инструмента искажает его форму, при этом увеличивается трение, ухудшается условие работы. При значительной величине площадки износа h_z на задней поверхности инструмента возрастает сила резания и температура. Увеличение лунки на передней поверхности опасно только тогда, когда увеличивающаяся лунка и площадка износа по задней поверхности соединяются. В этом случае режущая кромка разрушается, наступает катастрофический износ, до которого доводить инструмент нельзя. Основной мерой величины износа является высота площадки износа h_z на задней поверхности инструмента. Дополнительной мерой величины износа является глубина h_n и ширина b лунки на передней поверхности инструмента. Измеряется расстояние от лунки до режущего лезвия f . Измерение проводится с помощью лупы с делениями или инструментального микроскопа. Глубину лунки измеряют индикатором с игольчатым наконечником. Суммарный износ можно определить, взвешивая инструмент по мере его изнашивания.

Используя способ радиоактивных изотопов, можно сократить продолжительность опытов при исследовании влияния различных факторов на интенсивность износа режущего инструмента.

В любых условиях работы износ происходит по передней и задней поверхности инструмента одновременно. Изменение условий работы может привести к тому, что износ по одной из поверхностей будет проявляться в значительной мере, тогда как на другой поверхности износ будет едва заметен. При низких скоростях резания и малых толщинах среза, а также при обработке хрупких материалов, износ наблюдается только по задней поверхности инструмента. При увеличении скорости резания и толщины среза наблюдается одновременный износ по передней и задней поверхности одновременно. При высоких скоростях и больших толщинах среза, при обработке вязких металлов без охлаждения, когда имеются большое удельное давление на переднюю грань и высокая температура резания, наблюдается износ только передней поверхности. Если в этих условиях использовать охлаждение, то одновременно с износом передней поверхности будет заметен износ задней поверхности инструмента.

Закономерность нарастания величины износа от времени работы инструмента выражается графиком, называемым кривой износа (рисунок 2.2).

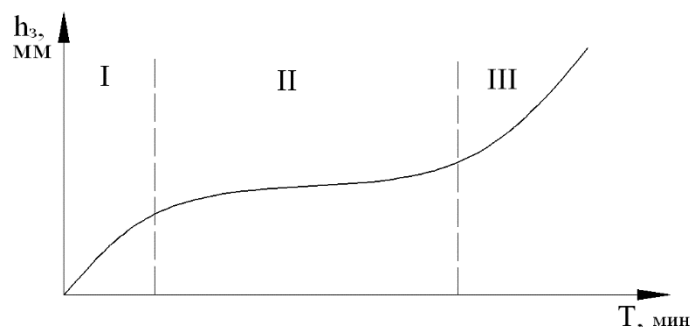


Рисунок 2.2 – Зависимость износа задней поверхности резца от времени его работы

На кривой износа различают три периода.

1 Период приработки (начальный износ). Высота площадки износа по задней поверхности интенсивно нарастает до небольшой величины (из-за истирания неровностей, оставшихся после заточки).

2 Период нормального износа. Износ постепенно увеличивается приблизительно пропорционально времени работы.

3 Период повышенного износа, переходящего в катастрофический. Он наступает при достаточно большой величине износа условия работы инструмента значительно ухудшаются, заметно растут сила и температура резания, что вызывает, в свою очередь, возрастание интенсивности износа и еще большее ухудшение условий резания.

При росте в некоторый момент износ по передней и задней поверхности очень быстро увеличивается в размерах, лунка на передней поверхности и

площадке износа на задней поверхности соединяются, и режущая кромка разрушается. С этого момента начинается катастрофический износ, которого допускать нельзя, т. к. может почти мгновенно наступить полное истирание всей рабочей части резца. На месте режущей кромки остается обожженная поверхность неправильной формы. Кривая износа резцов, оснащенных твердым сплавом, вследствие его высокой твердости и незначительного ее уменьшения с повышением температуры отличается плавным нарастанием износа во времени. На ней почти не наблюдается период повышенного износа. Усиленный износ инструмента с пластинками твердого сплава может проявляться в виде больших сколов (разрушений) режущей кромки.

Для рациональной эксплуатации режущего инструмента и получения деталей заданного качества устанавливают допустимую величину износа, при достижении которой дальнейшая работа инструмента прекращается.

Признаки, по которым можно судить, что инструмент достиг предельно допустимой величины износа, называются критериями износа, или критериями затупления. Существует несколько критериев износа инструментов:

- *критерий блестящей полоски*, при большой величине износа металл на обработанной поверхности детали сминается, образуется блестящая полоска;
- *силовой критерий*, при котором о затуплении резца судят по резкому увеличению сил резания контроль осуществляют, используя динамометры;
- *технологический критерий*, используется при чистовой обработке. Значительное увеличение износа сопровождается ухудшением шероховатости обработанной поверхности, недопустимым изменением размеров детали.

Величине износа по задней поверхности соответствует определенная величина радиального износа деталь получается конусной, и ее размеры могут выходить из поля допуска (рисунок 2.3);

– *оптимальный критерий* (критерий оптимального износа). При черновой обработке для обеспечения наиболее полного и экономичного использования инструмента пользуются критерием оптимального износа. За оптимальную величину износа принимают такую его величину, при которой обеспечивается наибольший полный период стойкости режущего инструмента.

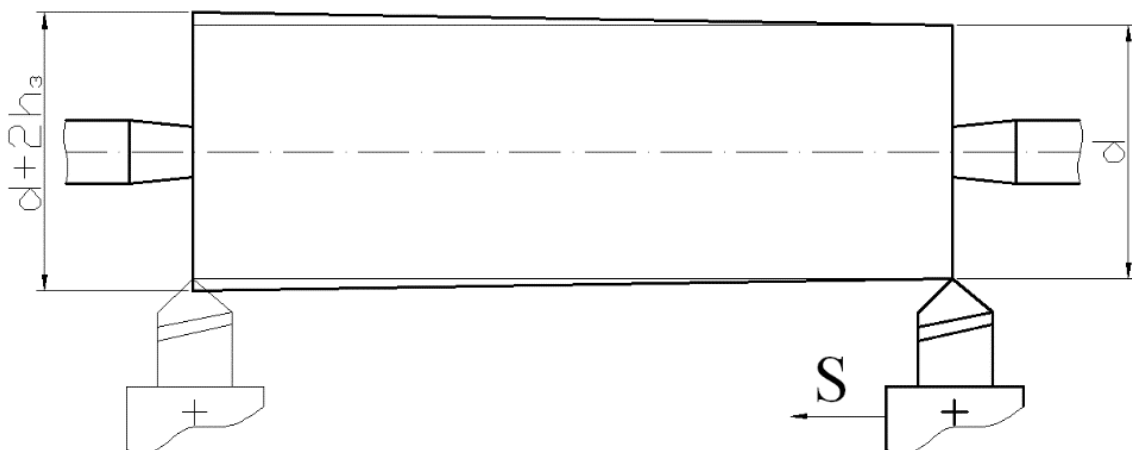


Рисунок 2.3 – Схема влияния износа резца на размер обработанной поверхности

Время резания новым или переточенным режущим инструментом до его отказа, т. е. до достижения предельно допустимой величины износа, называется периодом стойкости или стойкостью. Период стойкости обозначается буквой T и измеряется в минутах. Для выражения технологических возможностей стойкость измеряют в метрах пути резания (линейная стойкость) T_e или в количестве одинаковых деталей, обработанных между двумя переточками.

Стойкость резца, соответствующая определенному радиальному износу, называется размерной стойкостью. Высокая размерная стойкость важна для чистового инструмента, работающего на автоматизированном оборудовании.

Наибольшая суммарная стойкость (общий срок службы или полный период стойкости) инструмента определяется как произведение количества переточек, допустимых для инструмента при данной величине износа, плюс 1, на время работы (стойкость), за которое этот износ образовался:

$$\Sigma T = T(K + 1), \quad (2.1)$$

где T – стойкость инструмента, соответствующая данной величине износа;

K – количество переточек, допустимых резцом при данной величине износа.

Стойкость инструмента и интенсивность его изнашивания связаны между собой. Стойкость инструмента может служить количественным выражением интенсивности изнашивания, которая зависит от температуры резания.

Из всех условий на температуру резания наибольшее влияние оказывает скорость резания, поэтому стойкость в большей степени зависит от изменения скорости резания. Чем выше скорость резания, тем меньше стойкость инструмента. При обработке незакаленной стали резцами, оснащенными твердым сплавом, получают более сложную зависимость (рисунок 2.4).

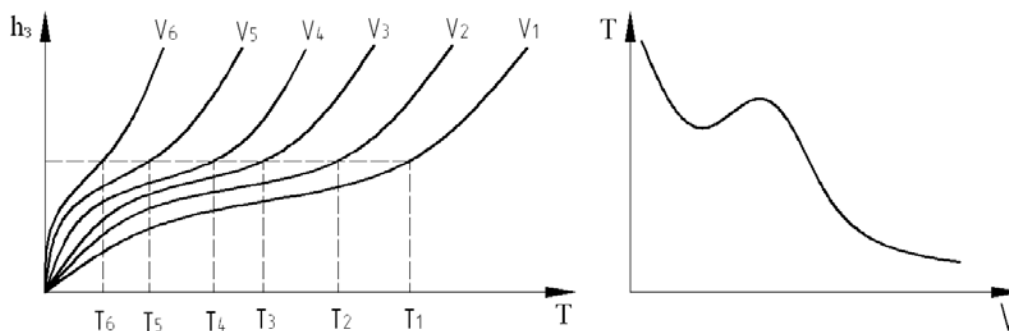


Рисунок 2.4 – Зависимость между скоростью резания и стойкостью резца

При малых скоростях температура резания невысока и интенсивность износа возрастает медленно, по мере увеличения скорости (при невысоких скоростях резания). С увеличением температуры на контактных площадках в каком-то диапазоне температур увеличиваются молекулярное слипание в местах контакта и интенсивность адгезионного износа. При дальнейшем повышении скорости резания и температуры слипание между стружкой и резцом уменьшается, облегчается

относительное скольжение, интенсивность адгезионного износа снижается и стойкость повышается. В этом диапазоне температур (особенно 600 °С...800 °С) также несколько повышается ударная вязкость твердого сплава. При дальнейшем повышении скорости и возрастании при этом температуры резко снижается твердость и прочность твердого сплава, что приводит к резкому повышению интенсивности износа инструмента и к резкому снижению стойкости. Если инструмент имеет при различных скоростях резания одинаковую стойкость, то выгодно работать с более высокими скоростями (с большей производительностью). Поэтому обычно работают со скоростями, соответствующими крайней правой ветви кривой $T = f(u)$. Эта зависимость выражается как

$$T = C_T/V^u; \quad V = C_V/T^m; \quad m = 1/u, \quad (2.2)$$

где m – показатель относительной скорости, характеризующий влияние заданной стойкости на допустимую скорость резания;

C_T, C_V – коэффициенты, характеризующие условия работы.

Если увеличить толщину срезаемого слоя при работе твердосплавными резцами или работать резцами из быстрорежущей стали, наблюдается зависимость стойкости от скорости резания только в виде крайней правой ветви кривой, т. к. уже при невысоких скоростях резания повышение температуры приведет к резкому снижению режущих свойств инструментального материала и снижению стойкости.

Оборудование, приборы и инструменты: токарно-винторезный станок; микроскоп; заготовки диаметрами 80...100 мм и $L = 400...600$ мм из серого чугуна; резцы токарные проходные правые из быстрорежущей стали Р6М5 с углами заточки $\gamma = 120^\circ$, $\alpha = 80^\circ$, $\varphi = 45^\circ$ (не менее 4 шт.); штангенциркуль; угломер; секундомер.

Порядок выполнения работы

1 Ознакомиться с инструментами, приспособлениями и станком.

2 Измерить геометрические параметры резцов.

3 По нормативным материалам для обработки чугуна быстрорежущим резцом с углами заточки $\gamma = 120^\circ$, $\alpha = 80^\circ$, $\varphi = 45^\circ$ и выбранной глубине резания $t = 1,5...2,5$ мм и подаче $S = 0,3...0,5$ мм/об определить скорость резания.

По величине скорости резания определить частоту вращения и назначить частоту вращения по станку.

4 По принятым режимам резания (t, S, V) провести обработку заготовки.

Для определения стойкости необходимо установить предельно допустимую величину износа резца, соответствующую выбранному для данных условий работы критерию затупления (или критерию износа). Принимаем в работе за критерий затупления оптимальный износ, обеспечивающий наибольшую долговечность инструмента или его наибольший срок службы (наибольшую суммарную стойкость) ΣT .

Резание продолжают до полного затупления резца ($h_3 = 1,8 \dots 2,0$ мм). Периодически, через каждые 1,5...3 мин, резец останавливают и, не снимая его, измеряют величину износа, соответствующую времени резания от начала работы до момента остановки резца или времени, за которое образовалась эта площадка износа. Затем резание продолжают дальше; полученные данные заносятся в протокол отчета.

Величину износа измеряют лупой с делениями или с помощью микроскопа. Отсчет величины площадки износа ведется по делениям в окуляре и умножается на поправку на фактическое фокусное расстояние. На основании полученных данных строится кривая износа (см. рисунок 2.2).

Рассматривая полученные результаты износа, принимают поочередно каждое измеренное значение износа как предельно допустимое. Для каждой измеренной величины износа определяется, какое количество переточек было бы возможно для данного резца при его перетачивании через периоды времени, за которое резец достигает этой величины износа.

5 Определить количество переточек, допустимых резцом при определенной величине износа по задней поверхности. Для восстановления геометрии резца при его переточке по задней поверхности надо удалить слой металла, толщина которого, измеренная в направлении передней поверхности, будет равна (см. рисунок 2.1):

$$H = h + a = \frac{h_3}{\cos \gamma / (\operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \gamma)} + a, \quad (2.3)$$

где γ – передний угол резца, град;

α – задний угол резца, град;

a – допуск на переточку (в среднем берется $a = 0,15$ мм).

После всех переточек на резце должна остаться часть пластинки, которая еще прочно удерживается на державке или пластинку по ширине можно использовать примерно на $2/3$. Полезная ширина пластинки определяется по эмпирической формуле

$$l = \frac{2}{3} (b - 2), \quad (2.4)$$

где b – ширина пластинки резца.

Поэтому допустимое количество переточек $K = \frac{l}{H}$.

6 Если измеренные величины износа поочередно считать предельно допустимыми, то продолжительность работы до такой величины износа будет равна стойкости резца T , мин.

Для каждого имеющегося в протоколе значения износа h_3 , мм, определяют число переточек K и умножив его на соответствующую данному износу продолжительность работы резца (если эти замеренные величины износа поочередно считать предельно допустимыми, то продолжительность работы

до такой величины износа будет соответствующей ему стойкостью T , мин), находят для каждого значения h_3 суммарную стойкость:

$$\Sigma T = T(K + 1). \quad (2.5)$$

7 По полученным данным построить график зависимости $\Sigma T = f(h_3)$. Чем больше допустимая величина износа, тем больше время работы до его достижения, тем больший слой металла необходимо срезать с резца при его переточке. Следовательно, тем меньше возможное для этого резца количество переточек. Поэтому суммарная стойкость (срок службы или долговечность) резца с увеличением допустимого износа сначала увеличивается, а затем, когда количество допустимых переточек становится слишком малым, уменьшается (рисунок 2.5).

Износ, соответствующий максимальной ΣT резца, является оптимальным. Откладывая его величину на кривой износа можно найти оптимальную стойкость резца при данной скорости резания (рисунок 2.6).

8 Для определения зависимости стойкости от скорости резания работу проводят при различных скоростях резания. Полученные данные заносятся в протокол отчета. На их основании строятся кривые износа для различных V . Зная предельно допустимую при выбранном критерии затупления величину износа, можно найти по графику стойкость, соответствующую каждой скорости резания (см. рисунок 2.6). Величины стойкости, соответствующие различным скоростям, записываются в таблицу протокола отчета и по ним строится график зависимости стойкости резания $T = f(V)$.

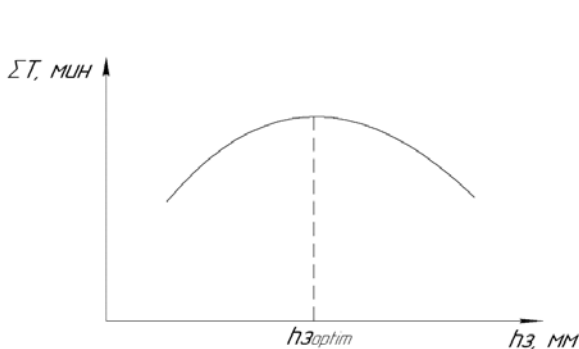


Рисунок 2.5 – Зависимость полного периода стойкости резца от величины износа по задней поверхности

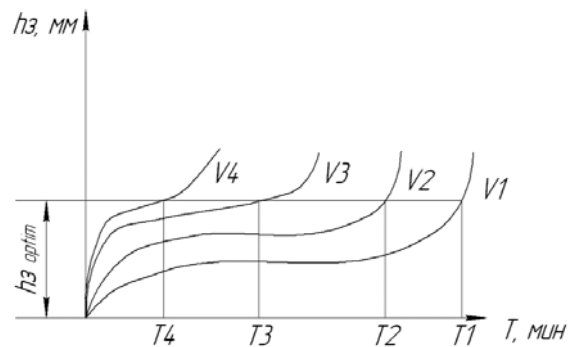


Рисунок 2.6 – Зависимость износа задней поверхности резца от времени его работы при различных скоростях резания

9 Обработывая полученные результаты графоаналитическим способом, получить коэффициенты и показатели степени в формулах

$$T = \frac{C_T}{V^u}; \quad V = \frac{C_V}{T^m}. \quad (2.6)$$

Для этого построить график зависимости $T = f(u)$ в логарифмических координатах.

Записать уравнение полученной прямой:

$$\lg T = \lg C_m + u \lg u. \quad (2.7)$$

Определить коэффициент

$$\mu = \operatorname{tg} \alpha = -\operatorname{tg} \beta. \quad (2.8)$$

Перевести уравнение из логарифмической формы в степенную зависимость (потенцировать):

$$T = \frac{C_T}{V^u}.$$

Определить коэффициент C_T . Он равен ординате при значении скорости резания $V = 1$, но найти его по графику затруднительно, т. к. угол подъема прямой велик. Поэтому C_T определяется расчетом

$$C_T' = T_1 \cdot V_1^u; \quad C_T'' = T_2 \cdot V_2^u; \quad C_T''' = T_3 \cdot V_3^u. \quad (2.9)$$

Коэффициент C_T находится как среднее арифметическое нескольких значений

$$C_T = \frac{C_T' + C_T'' + C_T'''}{3}. \quad (2.10)$$

Выполнение работы заканчивается вписыванием в отчет формул с численными значениями коэффициента и показателя степени:

$$T = \frac{C_T}{V^u}; \quad V = \frac{C_V}{T^m}.$$

Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Результаты измерений (таблица 2.1).
- 3 Результаты вычислений (таблица 2.2).
- 4 Схема затупления рабочих поверхностей.
- 5 Зависимость износа резца от времени его работы (кривая износа).
- 6 Графики зависимости $\Sigma T = f(h_3)$, $h_3 = f(T)$.
- 7 Выводы по работе.

Таблица 2.1 – Экспериментальные данные

Диаметр заготовки, мм	Режим резания				Длина одного прохода L , мм	Износ по передней поверхности h_n , мм
	t , мм	S , мм/об	n , об/мин	V , м/мин		

Таблица 2.2 – Экспериментальные данные

Время резания до замера износа T , мин	Износ по задней поверхности h_z , мм	Величина на передней поверхности резца h_n , мм	Величина на передней поверхности резца H_n , мм	Количество переточек K	Полный период стойкости резца ΣT , мин

3 Расчет режимов резания при сверлении

Цель работы – ознакомиться с методикой нахождения оптимальных режимов резания при сверлении.

Общие сведения

Назначение оптимального режима резания заключается в выборе наиболее выгодного сочетания скорости резания и подачи, обеспечивающих в данных условиях с учетом целесообразного использования режущих свойств инструмента и кинематических возможностей оборудования, наибольшую производительность общественного труда и наименьшую себестоимость операции. При этом должны быть наиболее полно использованы режущая способность инструмента и прочность, динамические возможности станка при соблюдении технических условий на изготовление детали.

Диаметр инструмента выбирается в зависимости от размера обрабатываемого отверстия и характера обработки. Для уменьшения силы подачи при сверлении рекомендуется принять сверла с подточкой перемычки и со срезанной перемычкой.

Длина сверла влияет на период его стойкости. Во всех случаях необходимо стремиться использовать сверла минимальной длины. Длинные сверла подвергаются износу преимущественно по ленточкам с образованием прямой конусности, что лишает возможности их нормальной переточки по задним поверхностям на небольшую длину, вынуждает укорачивать их обрезкой изношенной по ленточкам части, что сокращает полный период стойкости сверла.

Минимальная длина рабочей части (до конца стружечных канавок) сверла, необходимая для данной операции:

$$l_{\min} = l_{св} + l_{вт} + l_{ср}, \quad (3.1)$$

где l_{\min} – необходимая длина стружечных канавок, мм;

$l_{св}$ – длина сверления с учетом входа и выхода сверла, мм;

$l_{вт}$ – длина кондукторной втулки (при сверлении без кондуктора $l_{вт} = 0$), мм;

$l_{ср}$ – длина рабочей части, необходимая для свободного выхода стружки, мм.

Длина сверления с учетом входа и выхода сверла

$$l_{св} = l_{отв} + l_{вх} + l_{вых}, \quad (3.2)$$

где $l_{отв}$ – глубина отверстия, мм;

$l_{вх}$ – глубина врезания (для стандартных сверл $l_{вх} = 0,4d$ (d – диаметр сверла, мм));

$l_{вых}$ – глубина выхода сверла, $l_{вых} = 2...3$ мм (для сверления глухого отверстия $l_{вых} = 0$).

Длина выхода стружечной канавки

$$l_{ср} = 2d. \quad (3.3)$$

Если расчет оптимальных режимов резания производится с помощью ЭВМ, значение l стандартных сверл можно определить с помощью приближенных зависимостей, приведенных в таблице 3.1.

После выбора серии сверла стандартное значение длины рабочей части сверла l учитывается при дальнейших расчетах оптимальных режимов резания и при вычислении количества возможных переточек сверла.

Таблица 3.1 – Зависимости для расчета l_{\min} от типа хвостовика и серии сверла

Тип хвостовика	Цилиндрический				Конический			
	Серия сверла	Короткая ГОСТ	Средняя ГОСТ	Длинная ГОСТ	Длинная ГОСТ	Средняя ГОСТ	Длинная ГОСТ	Удлиненная ГОСТ
	4010–77	10902–77	12122–77	886–77	10903–77	12121–77	2092–77	
l , мм	$6d^{0,8}$	$15d^{0,75}$	$27d^{0,6}$	$37d^{0,5}$	$15d^{0,7}$	$25d^{0,65}$	$58d^{0,45}$	

Определение количества возможных переточек сверла. Длина рабочей части сверла, которая может быть сточена в процессе переточек,

$$l_n = l - l_{\min}. \quad (3.4)$$

Количество возможных переточек

$$i = l_n - \Delta l, \quad (3.5)$$

где Δl – длина стачивания за одну переточку, может быть определена по нормативам или приближенно по следующим формулам:

- 1) $\Delta l = 0,5d^{0,4}$ – для сверл, обрабатывающих сталь;
- 2) $\Delta l = 0,4d^{0,4}$ – для сверл, обрабатывающих чугун.

Вычисленное по формуле (3.5) количество возможных переточек сверла используется в дальнейшем для определения себестоимости сверлильной операции.

Расчет оптимальных параметров режима резания при сверлении. Режимы резания определяются по эмпирическим формулам, в которых отражается влияние параметров сверлильной операции (диаметр d , выбранный период стойкости T , группа обрабатываемого материала и его твердость и т. п.) на значениях рекомендуемой скорости главного движения резания и подачи. Полагается, что использование в формуле для расчета скорости главного движения резания нормативного периода стойкости T дает скорость главного движения резания, обеспечивающую минимальную себестоимость операции сверления. Поскольку при отсутствии других ограничительных факторов наименьшая себестоимость операции должна служить основным критерием оптимальности выбранных режимов, расчет оптимальных режимов резания в первом приближении производится с учетом нормативного периода стойкости.

Определение оптимального значения подачи. Рекомендуемое значение подачи S_o зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала, диаметра сверла, характера операции и некоторых других факторов.

Для обычных условий сверления

$$S_o \approx K_S \cdot K_{HB} \cdot d, \quad (3.6)$$

где S_o – подача, мм/об;

K_S – коэффициент, определяющий группу обрабатываемого материала;

K_{HB} – поправочный коэффициент, учитывающий твердость обрабатываемого материала l_{\min} ;

d – диаметр сверла, мм.

После определения по формуле (3.6) значение подачи уточняется по паспортным данным сверлильного станка или принимается ближайшее паспортное значение подачи S_o .

Если условия операции сверления значительно отличаются от обычных, значение подачи S_o выбирается соответствующим ближайшему или меньшему паспортному значению по сравнению с тем, что определено по формуле (3.6). Выбор уменьшенного или увеличенного значения подачи определяется с учетом следующих условий:

– меньшее значение подачи следует использовать при сложных условиях работы (сверление наклонного отверстия, отверстия повышенной точности (выше Н12) перед развертыванием, при сверлении под резьбу или деталей пониженной жесткости, отверстия глубиной более 10 диаметров и т. п.);

– большее значение подачи можно использовать при работе сверлами короткой серии, при глубине отверстия менее трех диаметров и т. п.

Определение оптимального значения скорости главного движения резания.

Скорость главного движения резания:

– для обработки стали

$$v = \frac{C_v \cdot d^y}{T^m \cdot S_o^z} \cdot \left(\frac{A_v}{HB} \right)^x \cdot K_{MV} \cdot K_{общ} ; \quad (3.7)$$

– для обработки чугуна

$$v = \frac{C_v \cdot d^y}{T^m \cdot S_o^z} \cdot \left(\frac{A_v}{HB} \right)^x \cdot K_{общ} , \quad (3.8)$$

где d – диаметр сверла, мм;

T – принятый период стойкости сверла (нормативные значения периода стойкости определяются по [3]; приближенные значения можно определить по эмпирическим зависимостям $T = C_T \cdot d^{0,5}$ – для сверл, обрабатывающих сталь; $T = C_T \cdot d^{0,5}$ – для сверл, обрабатывающих чугун);

S_o – подача на оборот сверла;

HB – значение твердости обрабатываемого материала в единицу Бриннеля;

K_{MV} – поправочный коэффициент, учитывающий группу обрабатываемого материала;

$K_{общ}$ – поправочный коэффициент, учитывающий конкретные условия сверления.

Значения коэффициентов и показателей степеней в формулах (3.7) и (3.8) можно определить из таблицы 3.2.

Таблица 3.2 – Показатели степеней в формулах (3.7) и (3.8)

Коэффициент или показатель степени	При обработке стали	При обработке чугуна
A_v	200	190
Z	0,5	0,475
C_T	10	17
C_v	9,8	8,3
Y	0,4	0,35
m	0,2	0,125
X	0,9	1,3

Определение частоты вращения шпинделя для рекомендуемой скорости главного движения резания в общем случае:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d} . \quad (3.9)$$

Окончательно выбираем ближайшее паспортное значения $n_{см}$.

Далее определяется уточненная скорость главного движения резания

$$V_{cm} = \frac{\pi \cdot d \cdot n_{cm}}{1000}. \quad (3.10)$$

Установленные значения параметров режима резания S_o и n_{cm} являются в первом приближении оптимальными для данных условий сверлильной операции. Для принятия решения об использовании того или иного режима резания следует проанализировать основные технологические показатели сверлильной операции при использовании ближайших паспортных значений S_o и n_{cm} . При расчете оптимальных режимов резания с помощью ЭВМ такой анализ должен производиться в обязательном порядке. При этом анализируются показатели операции для одного соседнего большего и одного соседнего меньшего паспортного значения S_o и n_{cm} . Анализируются девять возможных вариантов режима резания, охватывающих практически весь разумный диапазон режимов резания.

Паспортные данные основных типов вертикально-сверлильных станков приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Паспортные данные станков

Модель станка	2Н118	2Н125	2Н135	2Н150
Максимальный диаметр сверла d_m , мм	18	25	35	50
Допустимая сила подачи станка P_x , Н	5600	9000	15000	23500
Мощность двигателя станка N_{cm} , кВт	1,5	2,8	4,0	7,5

Определение осевой составляющей силы резания P_x и мощности резания N_p .

Осевая составляющая силы резания (в ньютонах):

– для сверления стали

$$P_x = 904 \cdot d \cdot S_o^{0,7} \left(\frac{HB}{200} \right)^{0,75} \cdot K_{MP}; \quad (3.11)$$

– для сверления чугуна

$$P_x = 568 \cdot d \cdot S_o^{0,8} \left(\frac{HB}{190} \right)^{0,6}. \quad (3.12)$$

Коэффициент K_{MP} характеризует группу обрабатываемой стали.

Мощность резания (в киловаттах):

– для сверления стали

$$N_p = 0,0114 \cdot v_{cm} \cdot d \cdot S_o^{0,71} \left(\frac{HB}{200} \right)^{0,75} \cdot K_{MP}; \quad (3.13)$$

– для сверления чугуна

$$N_p = 0,0069 \cdot v_{cm} \cdot d \cdot S_o^{0,8} \left(\frac{HB}{190} \right)^{0,6}. \quad (3.14)$$

Необходимая мощность двигателя станка определяется как N_p/η (где η – КПД станка, $\eta = 0,8$).

Для выбора модели сверлильного станка необходимо обеспечить следующие условия: $D_m > d$; $P_{x\ cm} > P_x$; $N_{cm} > N_p / \eta$.

Порядок выполнения работы

- 1 Рассчитать минимальную длину рабочей части сверла.
- 2 Подобрать длину рабочей части сверла.
- 3 Рассчитать возможное количество переточек.
- 4 Рассчитать скорость резания.
- 5 Рассчитать частоту вращения шпинделя.
- 6 Определить n_{cm} .
- 7 Определить v_{cm} .
- 8 Ознакомиться с оптимизацией режимов резания с помощью ЭВМ.
- 9 Определить осевую составляющую силы резания.
- 10 Определить мощность резания.
- 11 Подобрать станок.
- 12 Написать вывод по работе.

Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Результаты расчетов режимов резания при сверлении.
- 3 Выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Назначение оптимального режима резания при сверлении.
- 2 Выбор длины сверла.
- 3 Определение количества возможных переточек сверла.
- 4 Расчет силы резания и мощности при сверлении.
- 5 Выбор станка для сверления.

4 Исследование влияния различных факторов на величину нароста и шероховатость обработанной поверхности

Цель работы – ознакомиться с условиями возникновения нароста; исследовать влияния скорости резания, подачи и величины переднего угла резца на величину нароста; ознакомиться путем визуального наблюдения с характером влияния нароста на шероховатость обработанной поверхности.

Общие сведения

В процессе резания металлов при определенных условиях возможен процесс наростообразования, сопровождаемый образованием на передней поверхности инструмента слоя металла клиновидной формы, строение которого отличается от строения стружки (рисунок 4.1), который называется наростом. Твердость его в 2,5–3,5 раза превосходит твердость обрабатываемого материала, поэтому он способен выполнять функции режущего инструмента.

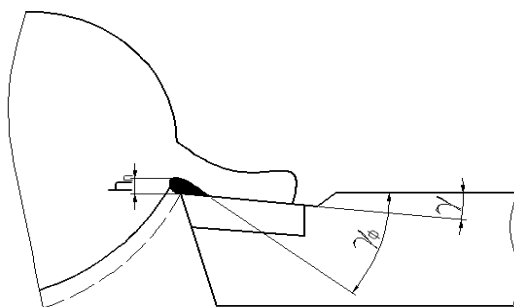


Рисунок 4.1 – Схема образования нароста

Нарост образуется когда резание сопровождается наличием сильно деформированной зоны вторичных пластических деформаций и высокого значения коэффициента трения на контактной площадке передней поверхности инструмента; в результате высокого трения стружка оказывается настолько сильно сцепленной с инструментом, что разрушение происходит не по поверхности их раздела, а на некотором расстоянии от нее. Оторвавшиеся слои стружки при этом перестают двигаться и, накладываясь друг на друга, образуют клинообразное относительно неподвижное тело на передней поверхности – нарост. Накопление отстающих от общего потока стружки контактных слоев вызывает увеличение высоты нароста.

Это происходит до определенного предела, после происходит частичный или полный срыв нароста. При этом одна его часть уносится стружкой, а другая – обработанной поверхностью. После этого процесс повторяется.

Нарост практически не образуется при передних углах инструмента более 45° и при коэффициентах трения менее 0,5, при резании серого чугуна и хрупких материалов, при прерывистом резании, так как в этом случае нарост

не успевает образоваться. При повышении температуры до значений, при которых уменьшается сопротивление обрабатываемого материала сдвигу, размеры нароста уменьшаются. Величина, форма и устойчивость нароста наиболее сильно зависят от скорости резания (рисунок 4.2). При очень малых скоростях резания ($V < 1$ м/мин, зона I) нарост отсутствует, образуется элементная стружка. При повышении V до 15...30 м/мин (зона II – появляется нарост, высота которого растет при увеличении V) стружка образуется сливная. Дальнейшее повышение V до 80...100 м/мин (зона III) характеризуется уменьшением высоты нароста. Верхней границей этой зоны является отсутствие нароста. В зоне IV отсутствует нарост. Увеличение подачи (рисунок 4.3) сдвигает кривую в зону низких скоростей резания и увеличивает максимум на ней. Увеличение переднего угла (рисунок 4.4) сдвигает кривую в зону более высоких скоростей резания и уменьшает максимум на ней.

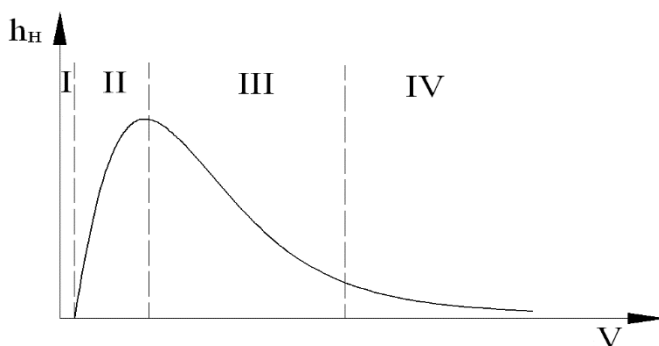


Рисунок 4.2 – Зависимость величины нароста от скорости резания

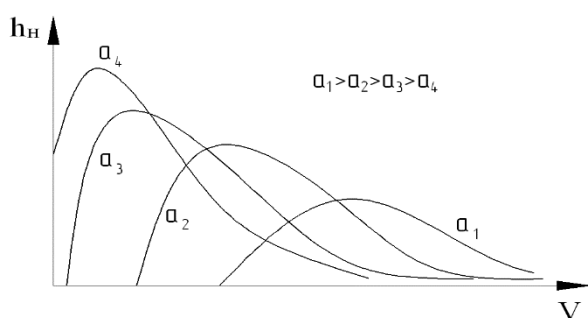


Рисунок 4.3 – Влияние скорости резания на высоту нароста при увеличении подачи

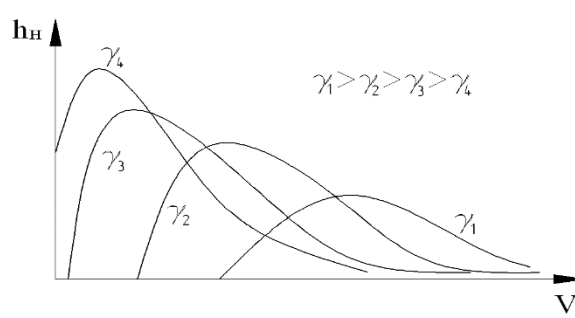


Рисунок 4.4 – Влияние скорости резания на высоту нароста при увеличении переднего угла

Наростообразование меняет условия работы инструмента. Возникая на передней поверхности инструмента, нарост меняет направление схода стружки, выполняет функции режущего клина, увеличивает фактически передний угол (см. рисунок 4.1). Это способствует уменьшению степени деформации срезаемого слоя и силы резания или более легкому отделению стружки.

При определенных скоростях резания нарост выполняет защитные функции по отношению к инструменту, препятствует изнашиванию контактных

поверхностей инструмента. Тепло при резании воспринимается в первую очередь наростом. Наряду с этим, наростообразование имеет отрицательные стороны.

При образовании нароста меняются размеры детали (см. рисунок 4.1). При скорости резания, соответствующей максимальной высоте нароста, наблюдается увеличение шероховатости обработанной поверхности. При разрушении нароста на обработанной поверхности образуются надрывы и борозды, а часть нароста внедряется в обработанную поверхность. Зоны II и III скоростей резания наименее благоприятны для чистовой обработки. При росте нароста, его разрушении и последующем возрастании происходит периодическое изменение γ_{ϕ} , а следовательно, и силы резания.

При черновой обработке нарост полезен, а при чистовой вреден.

Для борьбы с наростообразованием, особенно при чистовой обработке, необходимо:

- оптимизировать выбор параметров режима резания и геометрические параметры инструмента;
- осуществлять доводку поверхности инструмента;
- использовать СОТС.

Оборудование, приборы, инструменты: токарно-винторезный станок; заготовку из алюминия или мягкой стали; резцы подрезные с одинаковыми задними углами и передними: $\gamma = 0^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\gamma = 20^\circ$, $\gamma = 30^\circ$; угломеры для измерения геометрии резцов; инструментальный микроскоп; штангенциркуль.

Порядок выполнения работы

1 Ознакомиться с инструментами, приспособлениями и станком.

2 Измерить геометрические параметры резцов.

3 Провести три серии опытов по определению величины нароста:

- при переменном значении переднего угла (γ равен 0° , 10° , 20° и 30° ; $V = 40$ м/мин; $S = 0,15$ мм/об);
- при переменном значении подачи. При этом продольная подача меняется от 0,11 до 1 мм/об ($\gamma = 0^\circ$; $V = 40$ м/мин);
- при переменном значении скорости резания V , равной 10, 30, 60 и 100 м/мин ($\gamma = 0^\circ$; $S = 0,15$ мм/об).

Остальные условия опытов сохраняются постоянными.

Для трех серий опытов:

- проводится резание с рассчитанными скоростями; срезание проводится в течение 10...20 с, после чего резец быстро отводится от образца и выключается продольная подача. Состояние передней поверхности резца и прирезцовой стороны стружки после каждого опыта изучается на инструментальном микроскопе. Если на резце образовался нарост, то измеряют его высоту h_H , мм.

4 Все результаты измерений и сведения об условиях проведения опытов занести в отчет.

5 На основании полученных данных построить графики зависимости $h_H = f(\gamma, s, v)$.

6 Согласно таблице экспериментальных данных установить связь между величиной нароста и шероховатостью обработанной поверхности.

7 Полученные графические зависимости сравнить с данными литературы и сделать выводы о влиянии γ , s , v на величину нароста.

8 Оформить отчет по лабораторной работе.

Содержание отчета

1 Цель работы.

2 Схема обработки с указанием размеров заготовки.

3 Схема образования нароста.

4 Экспериментальные данные (таблица 4.1).

5 Графики зависимости величины нароста h_H от γ , s , v .

6 Выводы по работе.

Таблица 4.1 – Экспериментальные данные

Номер серии опытов	Номер отчета	Передний угол резца, град	Подача, мм/об	Скорость, м/мин	Частота вращения, мин ⁻¹	Высота нароста, мм
Первый	1	0	0,15	40		
	2	10				
	3	20				
	4	30				
Второй	1	0		40		
	2					
	3					
	4					
Третий	1	0	0,15	10		
	2			30		
	3			80		
	4			100		

Контрольные вопросы

1 Причины образования нароста.

2 Влияние режимов резания на величину нароста.

3 Влияние геометрических параметров инструмента на величину нароста.

4 Положительные и отрицательные стороны нароста.

5 Борьба с наростом.

5 Исследование погрешностей установки инструментов с механическим креплением многогранных пластин, настраиваемых на размер вне оборудования

Цель работы – исследовать конструкции и точности позиционирования быстросменных инструментов, настраиваемых на размер вне оборудования.

Общие сведения

На токарном оборудовании быстросменность обеспечивается использованием резцовых вставок с регулировочными винтами, резцедержателей с цилиндрической или базовой призмой для оборудования с ЧПУ, в гнездах которых устанавливают резцы или другие инструменты (рисунок 5.1). Приспособление для настройки на размер вне оборудования представлено на рисунке 5.3. Индикатор приспособления настраивают по эталону (рисунок 5.2).

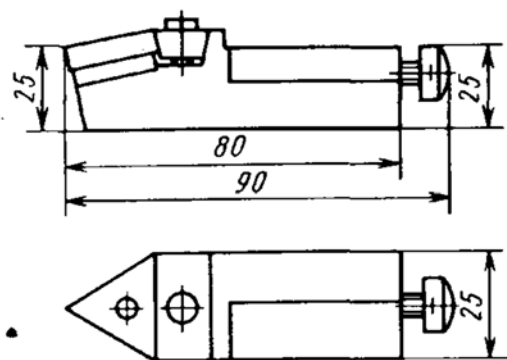


Рисунок 5.1 – Резцовая вставка

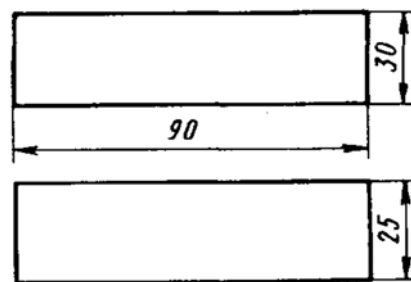
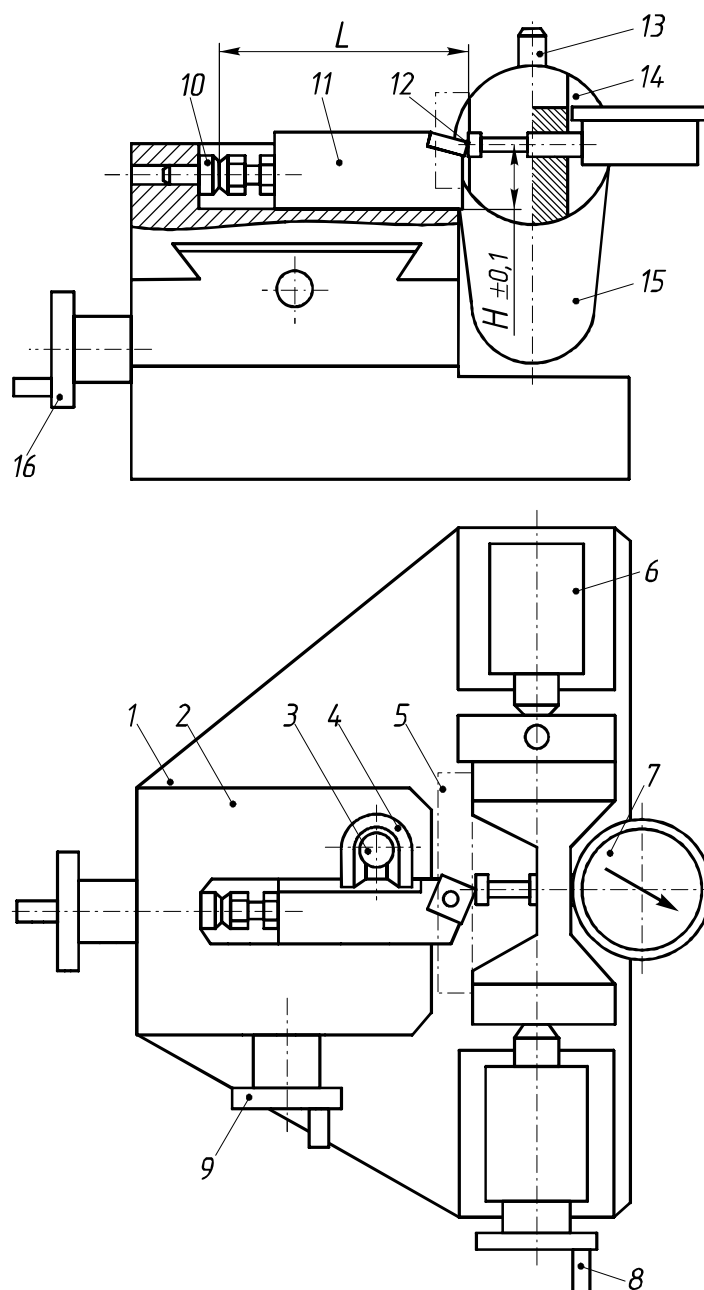


Рисунок 5.2 – Эталон

Перечень используемого оборудования: приспособления для настройки инструментов. Эталон для установки нулевого показания индикатора с маркировкой номинального и фактического размера длины. Приспособление для измерения точности позиционирования. Резцовая вставка с винтом для настройки длины L , оснащенная многогранной твердосплавной пластиной.

Порядок выполнения работы

Настраивают длину L резцовой вставки в приспособлении для настройки вне оборудования. Нулевое показание индикатора устанавливают по эталону с длиной L . Фактическую длину эталона L маркируют на боковой стороне. Эталон изготавливают из стали 40Х с твердостью HRC 50...55 и точностью $\pm 0,01$ мм. Рекомендуемое сечение эталона 25×30 мм. Устанавливают нулевое показание шкалы индикатора приспособления с натягом около 1 мм. Записывают фактический размер эталона и показание индикатора. Затем устанавливают в приспособление резцовую вставку и настраивают ее на длину L с точностью $\pm 0,01$ мм. Записывают действительный размер.



1 – плита; 2 – резцедержатель; 3 – винт; 4 – клин; 5 – планка; 6 – центровые бабки; 7 – индикатор; 8, 13 – рукоятка; 9 – рукоятка продольного перемещения; 10 – упор; 11 – резцовая вставка; 12 – вершина резца; 14 – оправка; 15 – противовес

Рисунок 5.3 – Схема индикаторного приспособления для исследования точности позиционирования резцов

Погрешность установки резцовой вставки определяют специальным контрольным индикаторным приспособлением (см. рисунок 5.3).

Запись и обработку полученных данных проводят в соответствии с таблицей 5.1. По данным таблицы 5.1 определяют точность обработки (калитет) детали, например, диаметром 40 мм при данном способе крепления (без учета жесткости технологической системы и влияния на точность обработки режимов резания).

Таблица 5.1 – Данные измерений и расчетов

Измеряемый или рассчитываемый параметр, формула для расчета	Получаемое значение параметра, мм
Погрешность эталона, $\delta_{\Sigma} = L - L_{\phi}$	
Показание индикатора приспособления после настройки резца на размер δ_p	
Показания индикатора контрольного приспособления при повторных установках и закреплениях резца $\delta_{y1}, \delta_{y2}, \dots, \delta_{y10}$	
Погрешность позиционирования (настройки), $\delta_H = 1,2 \cdot \sqrt{\delta_{\Sigma}^2 + \delta_p^2 + \delta_y^2}$	

Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Таблица 5.1.
- 3 Выводы по лабораторной работе.

Контрольные вопросы

- 1 Как на станках обеспечивается быстросменность?
- 2 Назначение приспособления.
- 3 Как определяется точность размерной настройки инструментов?

6 Изучение конструктивных и геометрических параметров фрез

Цель работы – закрепить теоретические знания о назначении, применении и конструкции фрез.

Перечень используемого оборудования: режущие инструменты: фреза цилиндрическая, торцовая, концевая, дисковая, шпоночная, фасонная.

Измерительные инструменты и приборы: штангенциркуль, угломер 2УРИ для измерения углов заточки многолезвийных инструментов.

Общие сведения

Фреза – многолезвийный инструмент, на образующей поверхности которого или на торце и образующей имеются режущие зубья. Главное движение при фрезеровании – вращательное, осуществляется фрезой, движение подачи может иметь как заготовка, так и инструмент. К конструктивным элементам относятся: наружный диаметр фрезы, посадочные размеры, число зубьев, форма зубьев, стружколоматели и т. д. С увеличением диаметра фрезы уменьшаются

толщина среза и нагрузка на каждое режущее лезвие, улучшается отвод тепла, а следовательно, увеличивается стойкость.

Крепление фрез. Крепление осуществляется различными способами в зависимости от конструкции выходной части шпинделя, конструкции фрезы, а также технологических требований. Цилиндрические, дисковые, торцовые насадные, угловые и фасонные фрезы закрепляются на фрезерных оправках (рисунок 6.1).

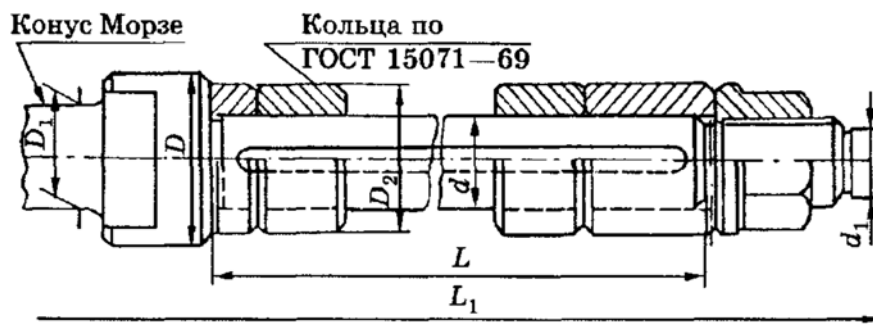


Рисунок 6.1 – Оправка для крепления дисковых и цилиндрических фрез с передачей крутящего момента при помощи продольной шпонки

У прорезных фрез в некоторых случаях шпоночный паз отсутствует, и передача крутящего момента осуществляется силами трения. Торцовые фрезы могут крепиться непосредственно на шпинделе четырьмя винтами. Крутящий момент на фрезу передается с помощью двух диаметрально расположенных шпонок, закрепленных в пазах на торце шпинделя, силами трения на конической поверхности хвостовика фрезы или силами трения плюс шпонками. Концевые, торцовые и шпоночные фрезы диаметром свыше 20 мм, у которых базой крепления является конический хвостовик, устанавливаются в шпинделе с помощью переходных конусных втулок (рисунок 6.2). Затяжка конического хвостовика в коническое гнездо шпинделя проводится шомполом.

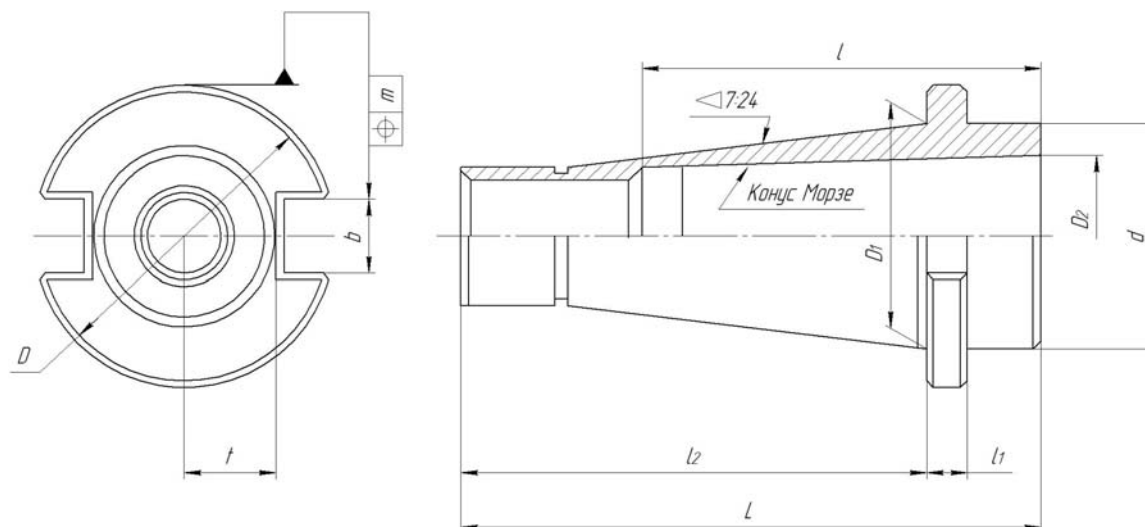


Рисунок 6.2 – Переходная втулка с конусностью 7:24 для концевых фрез с коническим хвостовиком

Порядок выполнения работы

Изучить инструкции по технике безопасности и выполнению работы. Получить у лаборанта или преподавателя методические материалы и инструменты. Ознакомиться с назначением, технологическими возможностями, конструкцией и геометрией фрез. Измерить линейные и угловые параметры инструментов. Результаты измерений занести в таблицы 6.1 и 6.2.

Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Таблицы 6.1 и 6.2.
- 3 Выводы.

Таблица 6.1 – Конструктивные параметры фрезы (указать какой)

Диаметр D , мм	Длина или ширина B , мм	Диаметр посадочного отверстия (номер конуса Морзе) d , мм	Длина хвостовика (для хвостовых фрез) l_{XB} , мм	Число зубьев Z

Таблица 6.2 – Геометрические параметры фрезы (указать какой)

Перед- ний угол γ , град	Задний угол α , град (K , мм)	Вспомога- тельный задний угол α_1 , град	Главный угол в плане φ , град	Вспомога- тельный угол в плане φ_1 , град	Угол наклона стружеч- ной канав- ки ω , град	Угол накло- на главной режущей кромки λ , град

Контрольные вопросы

- 1 Области использования фрез.
- 2 Конструктивные и геометрические параметры фрез.
- 3 Назовите способы закрепления фрез.

7 Изучение конструктивных и геометрических параметров инструментов для обработки отверстий

Цель работы – изучить конструктивные элементы и геометрические параметры различных видов сверл, зенкеров, разверток; составить эскизы сверл, зенкеров, разверток.

Перечень используемого оборудования: комплекты сверл, зенкеров, разверток. Угломеры: 2УРИ, универсальный, транспортир для контроля геометрических параметров сверла, зенкера и развертки. Линейка, штангенциркуль, микрометр для контроля конструктивных параметров сверла, зенкера и развертки.

Общие сведения

Технологические возможности инструментов.

Сверление – способ получения глухих и сквозных отверстий в сплошном материале по качеству точности 11...14 и с шероховатостью обработанной поверхности $Ra = 12,5...6,3$ мкм.

Зенкерование – полустовая обработка, предназначенная для повышения точности формы отверстия, полученного после сверления, отливки,ковки, штамповки, а также для обработки торцовых поверхностей бабышек, выступов, углублений под головки винтов и другие по качествам точности 11...9 и с шероховатостью обработанной поверхности $Ra = 6,3...3,2$ мкм.

Развертывание – чистовая операция, предназначенная для повышения точности формы и размеров отверстия с полями допуска по качествам точности 8...6 с шероховатостью обработанной поверхности $Ra = 1,6...0,4$ мкм.

Схемы процессов при указанных видах обработки представлены на рисунке 7.1. Геометрия сверла характеризуется углом наклона винтовых стружечных канавок, углом 2ϕ при вершине, углом обратного конуса, образуемого за счет уменьшения диаметра сверла по направлению к хвостовику, углом ψ наклона поперечной режущей кромки, передним и задним углами, переменными вдоль главных режущих кромок.

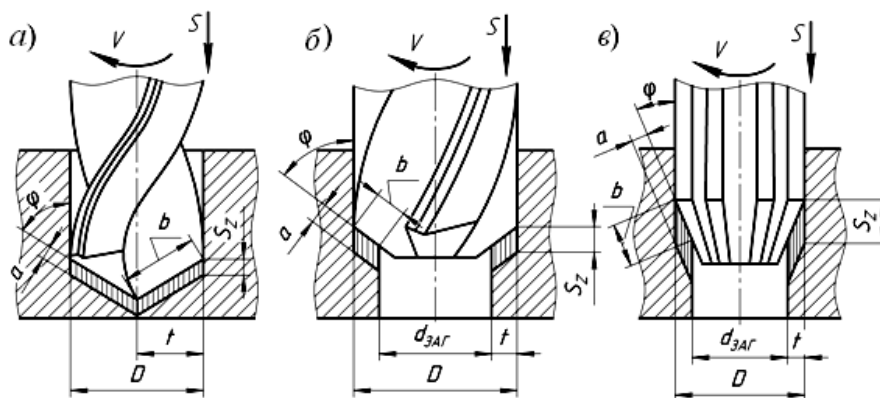


Рисунок 7.1 – Схемы процессов сверления (а), зенкерования (б) и развертывания (в)

Сверла. Конструктивные и геометрические параметры спиральных сверл показаны на рисунке 7.2. Угол обратного конуса определяется уменьшением диаметра сверла на 100 мм длины рабочей части. Угол ω – это угол между осью сверла и касательной к винтовой линии канавки сверла.

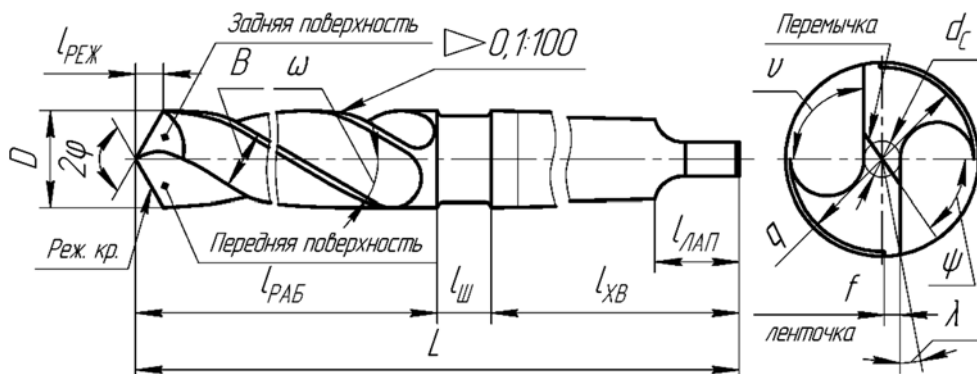


Рисунок 7.2 – Конструктивные и геометрические параметры спирального сверла

$$\operatorname{tg} \omega_x = \frac{\pi \cdot D_x}{H}, \quad (7.1)$$

где D_x – диаметр сверла, на котором определяется ω_x ;
 H – шаг винтовых канавок.

Передний угол γ измеряется в главной секущей плоскости $N-N$, перпендикулярной проекции главной режущей кромки на основную (диаметральную) плоскость, проходящую через рассматриваемую точку режущей кромки и ось сверла (рисунок 7.3). Угол γ образуется передней поверхностью и основной плоскостью. Этот угол связан с углом ω и изменяется вдоль кромки сверла (от периферии к оси сверла уменьшается, т. к. уменьшается ω).

$$\operatorname{tg} \gamma_x = \frac{D_x}{D} \cdot \operatorname{tg} \omega \cdot \sin \varphi. \quad (7.2)$$

Задний угол – угол между задней поверхностью и плоскостью резания, измеряемый в рабочей плоскости. От периферии к оси сверла он увеличивается для винтовых или конических задних поверхностей.

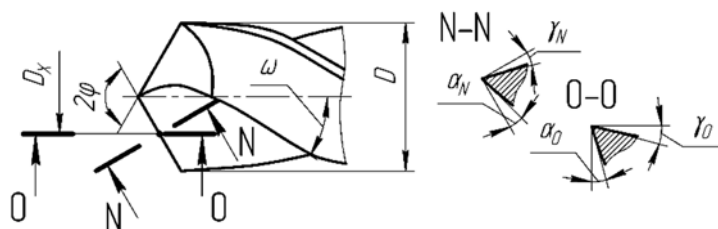


Рисунок 7.3 – Геометрические параметры спирального сверла

Зенкеры. Зенкеры используются на сверлильном, токарном, револьверном, расточном оборудовании, токарных автоматах и полуавтоматах. Есть различные классификации этих инструментов, где учтены способ крепления (хвостовые, насадные); конструктивные особенности (цельные, сборные, с напайными или вставными ножами); инструментальные материалы (легированные, быстрорежущие, твердосплавные); характер работы (для снятия припусков различной величины, комбинированные, ступенчатые и др.). Зенкеры подразделяются и по назначению, например, цилиндрические зенкеры (рисунок 7.4, а, б) – для обработки цилиндрических отверстий, зенковки (рисунок 7.4, в) – для обработки конических отверстий, цековки (рисунок 7.4, г) – для обработки плоских поверхностей бобышек и др.

Зенкеры служат для увеличения диаметра предварительно подготовленного отверстия, повышения его точности и уменьшения шероховатости поверхности. На рисунке 7.5 представлен концевой зенкер. В отличие от сверла, зенкер не имеет поперечной режущей кромки и число зубьев $Z = 3 \dots 4$. Насадные цельные зенкеры (рисунок 7.6) проектируются с винтовыми канавками, имеющими угол наклона $\omega = 15^\circ \dots 20^\circ$, профиль которых криволинейный. Число зубьев у таких зенкеров $Z = 4$, их диаметр $D = 32 \dots 80$ мм.

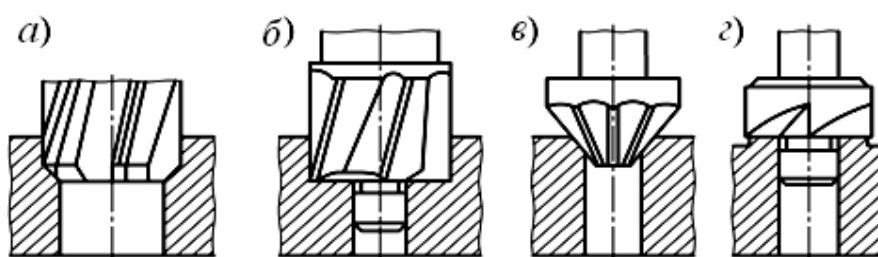


Рисунок 7.4 – Типы зенкеров

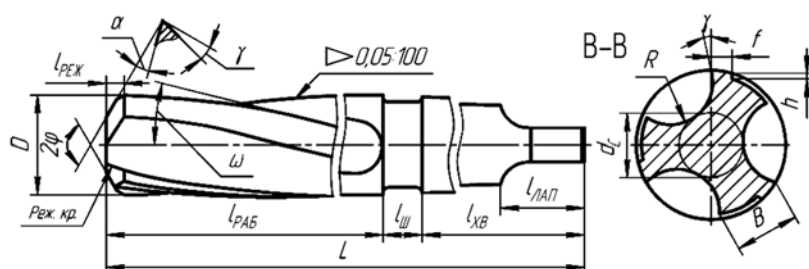


Рисунок 7.5 – Концевой цилиндрический зенкер

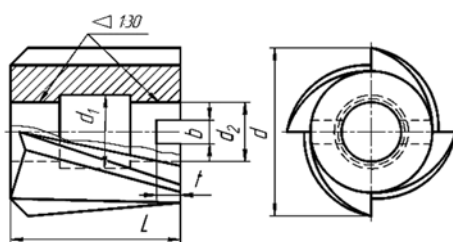


Рисунок 7.6 – Насадной цельный зенкер

На рисунке 7.7 представлен насадной зенкер сборной конструкции диаметром 40...120 мм. Зубья крепятся с помощью рифлений (рисунок 7.8, а), клина (рисунок 7.8, б) или без клина (рисунок 7.8, в). Зубья могут быть из быстрорежущей стали или с напаянными твердосплавными пластинками. Передняя поверхность плоская; зубья имеют наклон вдоль оси под углом $\omega = 10^\circ \dots 15^\circ$. Для образования переднего угла зубья в торцовой плоскости устанавливают в корпусе зенкера под соответствующим углом. Число зубьев у зенкеров $Z = 4 \dots 6$.

На рисунке 7.9 показан насадной зенкер, у которого пластинки из твердого сплава непосредственно припаяны к корпусу. Обычно их делают диаметром 34...80 мм с числом зубьев $Z = 2 \dots 4$.

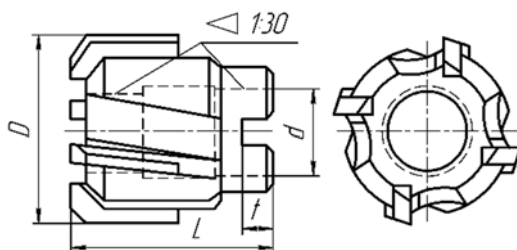


Рисунок 7.7 – Насадной зенкер сборной конструкции

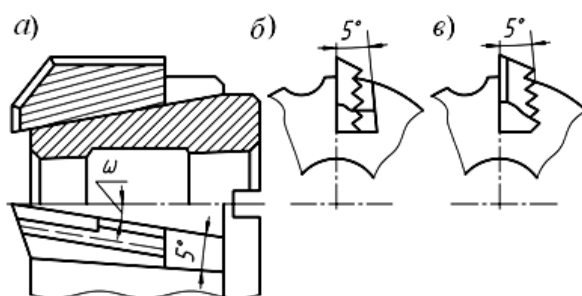


Рисунок 7.8 – Крепление ножей сборных зенкеров рифлениями

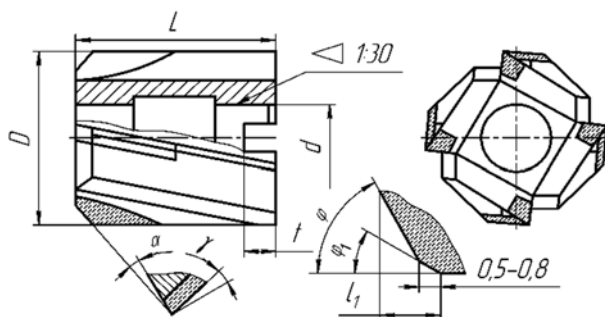


Рисунок 7.9 – Насадной зенкер с напаянными пластинками твердого сплава

Для обработки стальных деталей главный угол в плане двойной $\varphi = 60^\circ$ и $\varphi_1 = 30^\circ$. Это упрочняет режущую часть, повышает массивность периферийных участков режущей части и стойкость инструмента. Угол наклона зубьев у них $10^\circ \dots 15^\circ$.

Порядок выполнения работы

Получить у преподавателя методические материалы и инструменты. Изучить инструкции по охране труда. Ознакомиться с конструкцией и геометрией сверл, зенкеров, разверток разного назначения. Составить эскизы выданных инструментов и нанести обозначения параметров, элементов конструкции и геометрии (длина, диаметр, углы и т. д.). На эскизах показать: контур обрабатываемой поверхности детали; направление векторов скорости главного движения и подачи; поверхности, по которым выполняют переточку зубьев инструмента. Измерить линейные размеры и геометрические параметры инструментов. Результаты измерений занести в таблицу 7.1.

Таблица 7.1 – Результаты измерения параметров инструментов

Параметры инструмента	Вид инструмента		
	Сверло	Зенкер	Развертка
Диаметр d , мм			
Общая длина инструмента L , мм			
Длина рабочей части $l_{РАБ}$, мм			
Длина режущей части $l_{РЕЖ}$, мм			
Длина хвостовика $l_{ХВ}$, мм			
Толщина (диаметр) сердцевины d_C , мм			
Ширина ленточки f , мм			
Главный угол в плане ϕ , град			
Угол наклона стружечной канавки ω , град			
Передний угол γ , град			
Задний угол α , град			

Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Эскиз осевого инструмента.
- 3 Результаты измерения параметров инструментов (см. таблицу 7.1).
- 4 Выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Назначение сверл, зенкеров, разверток и обеспечиваемые ими параметры точности и качества обработанных поверхностей.
- 2 Основные части сверл, зенкеров, разверток; элементы их конструкции и угловые параметры.
- 3 Приборы и способы измерения угловых и линейных параметров инструментов.

8 Изучение конструктивных и геометрических параметров зубообразующих инструментов

Цель работы – закрепить теоретические знания о назначении, применении и конструкции зубообразующих инструментов; приобрести навыки их эскизирования и измерения.

Перечень используемого оборудования: режущие инструменты: резбовые резцы, метчики, плашки, резбовые фрезы, резбонарезные и резбонакатные головки.

Измерительные инструменты и приборы: маятниковый угломер, штангенрейсмас или угломер 2УРИ, универсальный угломер УМ, штангенциркуль, масштабная линейка, микрометр, контрольная плита, центра с индикатором и делительной головкой для измерения затылования; резбомер.

Общие сведения

В зависимости от типа производства, вида резьбы, ее размера, точности, качества обработанных поверхностей, а также методов получения все используемые зубообразующие инструменты можно разделить на следующие группы: резбонарезные инструменты: резбовые односточные и гребенчатые резцы, фрезы, метчики, резбонарезные плашки и головки, вихревые скоростные головки и т. д.; инструменты для получения резьбы методом пластической деформации: резбонакатные головки, ролики, плашки и др.; резбошлифовальные круги: односточные и многосточные.

Резбовые резцы. Предназначены для нарезания наружной и внутренней резьбы различных профилей: трапецеидального, круглого, треугольного и т. д. По конструкции они разделяются на стержневые (рисунок 8.1, а, з), призматические (рисунок 8.1, б, д) и круглые (рисунок 8.1, в, е). Они могут быть односточными (см. рисунок 8.1, а–в) и многосточными (см. рисунок 8.1, з–е).

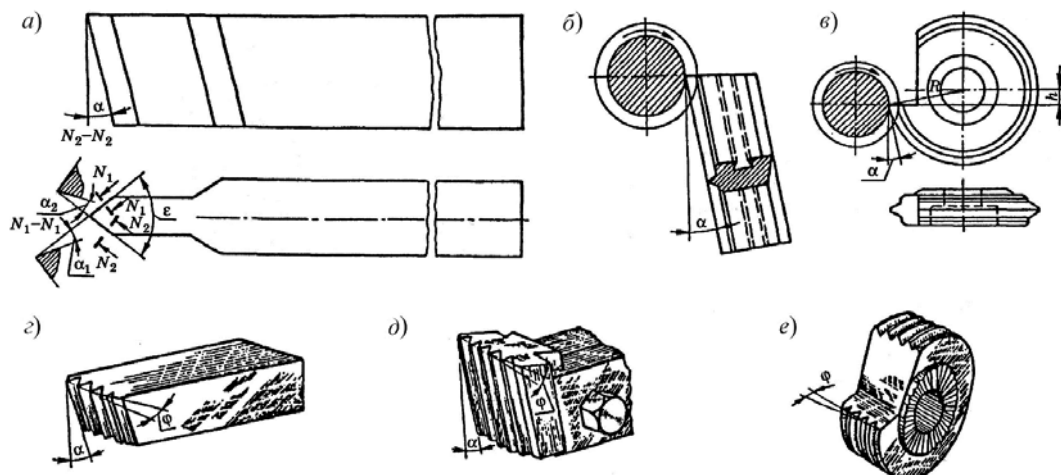


Рисунок 8.1 – Резцы резбовые

Передние углы у черновых резбовых резцов принимаются в зависимости от свойств обрабатываемого материала. У чистовых резцов для меньшего искажения профиля резьбы передняя поверхность часто выполняется с $\gamma = 0^\circ$.

Задние углы назначаются в зависимости от типа резца и толщины среза: для стержневых $\alpha = 15^\circ \dots 20^\circ$, для призматических $\alpha = 15^\circ$ и круглых $\alpha = 10^\circ \dots 20^\circ$.

Метчики. Предназначены для образования резьбы в отверстиях. По принципу работы их подразделяют на режущие (просто метчики), образующие профиль резьбы путем снятия стружки, и деформирующие (бесстружечные), образующие профиль резьбы без снятия стружки, а также метчики с режущими и выглаживающими зубьями, образующие резьбу комбинированным способом (резанием и пластическим деформированием).

Плашки. Предназначаются для нарезания или калибрования наружной резьбы. По типу нарезаемой резьбы их подразделяют на плашки для метрической, конической и специальных резьбы. По конструкции и применению плашки различают на: круглые (рисунок 8.2, а) и их разновидности: квадратные (рисунок 8.2, в) и шестигранные (рисунок 8.2, г); трубчатые (рисунок 8.2, д); призматические к слесарным клуппам (вороткам). Основными конструктивными элементами круглых плашек (см. рисунок 8.2, а) являются режущая часть с каждого торца длиной, калибрующая часть, число, диаметр и расположение стружечных отверстий, наружный диаметр, ширина плашки, элементы крепления.

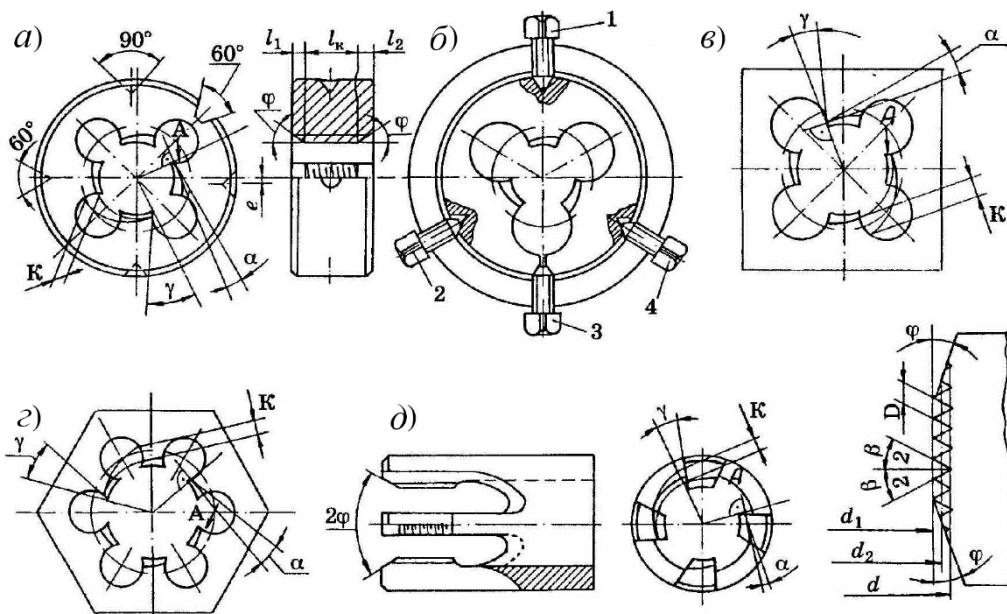


Рисунок 8.2 – Резьбонарезные плашки (а, в, г, д) и их крепление в плашкодержателе (б)

Резбовые фрезы. Относятся к многозубым инструментам, благодаря чему фрезерование резьбы более производительное, чем нарезание резцами.

По конструкции резбовые фрезы подразделяют на следующие типы: гребенчатые цилиндрические для нарезания резьбы неглубокого профиля

с шагом 0,5...6 мм сразу на всей длине (рисунок 8.3, а, з); дисковые для нарезания резьбы крупного профиля (рисунок 8.3, б, д); дисковые сборные охватывающие головки для скоростного фрезерования резьбы с крупным шагом (рисунок 8.3, в, е). Основными конструктивными элементами фрез являются: диаметр фрезы, диаметр посадочного отверстия, длина фрезы, число зубьев, форма зуба и впадины, направление стружечных канавок, размеры профиля резьбы.

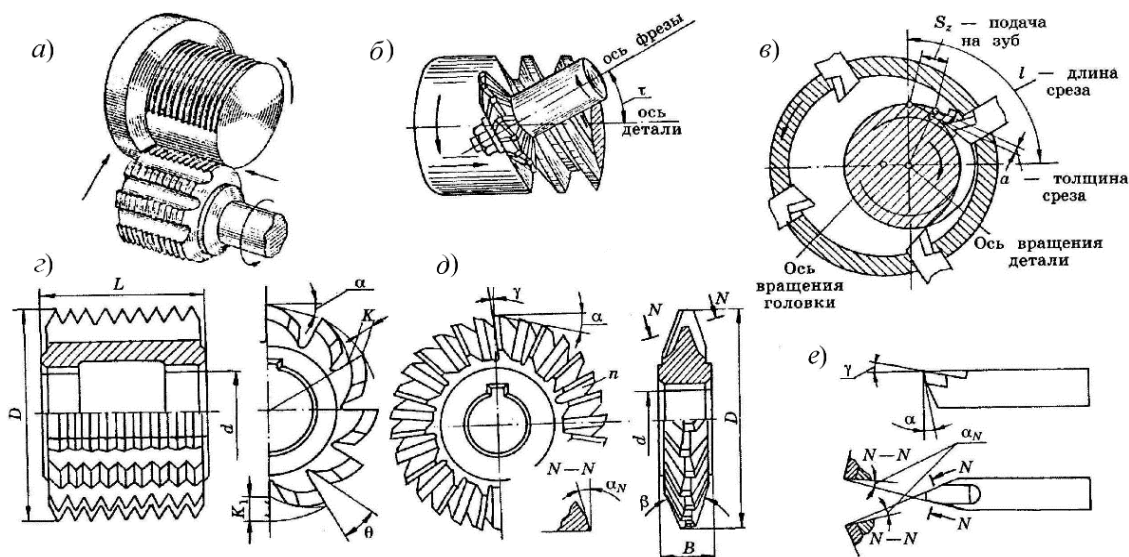


Рисунок 8.3 – Схемы резьбофрезерования и соответствующие им инструменты

Порядок выполнения работы

Ознакомиться с конструкцией и геометрией резьбообразующих инструментов, представленных на планшетах с натурными образцами и плакатах. Составить эскизы выданных инструментов на эскизах показать: контур обрабатываемой поверхности детали; направление векторов скорости главного движения и подачи; поверхности, по которым перетачивают зубья инструментов. Измерить линейные размеры и геометрические параметры инструментов. Результаты измерений свести в прилагаемые таблицы (таблицы 8.1 и 8.2).

Таблица 8.1 – Конструктивные параметры инструмента

Наименование инструмента	Наружный диаметр d , мм	Шаг резьбы S , мм	Число стружечных канавок Z	Общая длина или толщина L , мм	Длина режущей части $l_{РЕЖ}$, мм	Длина рабочей части $l_{РАБ}$, мм

Таблица 8.2 – Основные геометрические параметры инструмента

Наименование инструмента	Передний угол γ , град	Задний угол α , град	Угол в плане φ , град	Угол наклона стружечной канавки ω , град

Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Эскиз резьбового инструмента.
- 3 Таблицы 8.1 и 8.2.
- 4 Выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Какие существуют способы образования резьбы?
- 2 Перечислите типы метчиков.
- 3 Перечислите типы плашек.
- 4 Конструктивные элементы метчика.

9 Изучение параметров абразивного инструмента

Цель работы – ознакомиться с различными типами кругов и их характеристиками; изучить способы крепления кругов.

Общие сведения

К основным видам абразивной обработки относятся: шлифование, хонингование, суперфиниш, полирование, притирка. Шлифовальные материалы (ГОСТ 3647–80) обозначаются маркой абразивного зерна и зернистостью, указываемой цифрой, в 10 раз меньшей размера ячейки нижнего сита, с добавлением буквы, обозначающей содержание основной фракции (*Д* – допустимое, *Н* – нормальное, *П* – повышенное, *В* – высокое). В обозначении микропорошков перед зернистостью указывают букву *М*, а цифра зернистости определяет размер ячейки сита.

Примеры: *шлифпорошок 24А 16-П* – шлифпорошок из белого электрокорунда зернистостью 16 (размер ячейки 160 мкм) с повышенным содержанием основной фракции; *микропорошок 63С М20-Д* – микропорошок карбида кремния зеленого зернистостью 20 (размер ячейки 20 мкм) с допустимым содержанием основной фракции.

Выбор марки абразивного материала определяется характером обработки, видом инструмента и материалом обрабатываемой заготовки. Зернистость и частично уровень режима резания непосредственно влияют на размеры «царапин» на обработанной поверхности, совокупность которых определяет остаточную шероховатость поверхности. Обозначение инструмента включает обозначение формы инструмента, его основные размеры, так называемую характеристику (первые пять из перечисленных выше параметров) и точность изготовления; для вращающегося инструмента – еще и класс неуравновешенности, а для алмазного и эльборового – концентрацию зерен в рабочем слое. Под твердостью абразивного инструмента понимается способность связки удерживать зерна при

резании. Классификация инструмента по этому признаку приведена в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Классификация абразивных инструментов по твердости

Группа твердости	Весьма мягкий	Мягкий	Средне-мягкий	Средний	Средне-твердый	Твердый
ГОСТ 3647–80	<i>BM1, BM2</i>	<i>M1, M2, M3</i>	<i>CM1, CM2</i>	<i>C1, C2</i>	<i>CT1, CT2, CT3</i>	<i>T1, T2</i>
Стандарт ISO	<i>F, G</i>	<i>H, I, J</i>	<i>K, L</i>	<i>M, N</i>	<i>O, P, Q</i>	<i>R, S</i>

Имеются еще две градации твердости для обозначения наиболее твердого инструмента: весьма твердый (*BT* и *TU* по ГОСТ и ISO соответственно) и чрезвычайно твердый (*CT* и *V, W, Y, Z*).

Твердость инструмента определяет самозатачиваемость и сохранение исходной формы. Под самозатачиваемостью понимают способность инструмента обновлять зерна на рабочей поверхности по мере их затупления или засаливания под действием сил резания. Засаливание – это процесс налипания удаляемых частиц обрабатываемого материала на поверхности работающих зерен и заполнение пор шламом.

Структура абразивного инструмента обозначается номером группы (с 1 до 12) и представляет собой объемное соотношение зерен и связки с порами. Чем выше номер, тем меньше доля зерен и больше удельный объем пор и связки. Структуры 1...4 относятся к закрытым, 5...8 – средним, 9...12 – открытым. Для инструмента на керамической связке предусмотрены дополнительные группы 13...18 с размерами пор до 3 мм. На выбор структуры инструмента влияют материал заготовки, требования к качеству поверхности, вид обработки и инструмента.

Абразивные круги выпускают трех классов точности (в порядке снижения требований): *AA, A* и *B*. Остальной инструмент – двух классов: *A* и *B*. Связка предназначена для закрепления абразивных зерен в инструменте и придания ему необходимой формы. Основой связки могут быть неорганические или органические материалы. Маркировка шлифовальных кругов рассмотрена на рисунке 9.1.

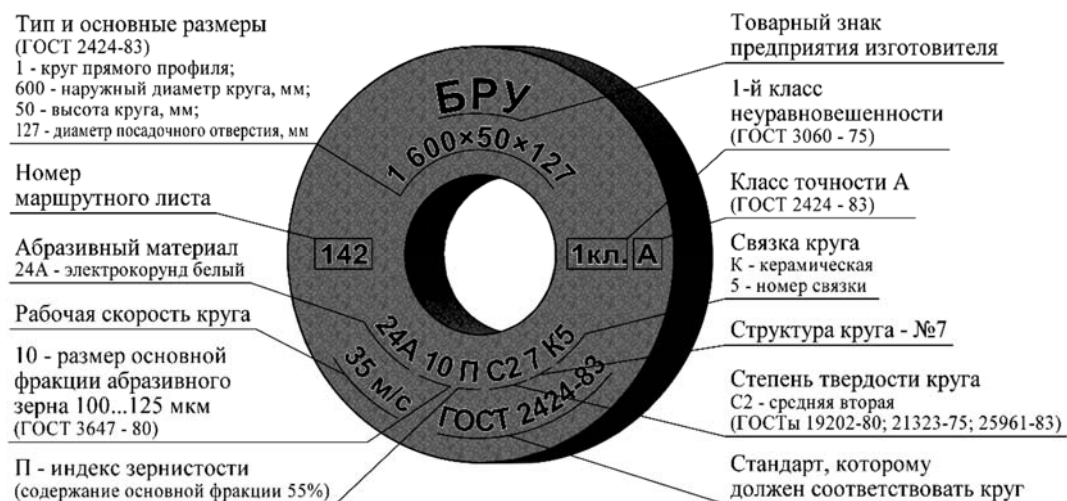


Рисунок 9.1 – Маркировка шлифовальных кругов

Перечень используемого оборудования: комплекты абразивных инструментов. Линейка, штангенциркуль, для контроля конструктивных параметров абразивных инструментов.

Порядок выполнения работы

Получить у лаборанта или преподавателя методические материалы и инструменты. Изучить инструкции по технике безопасности и выполнению работы. По натурным образцам ознакомиться с абразивными инструментами. Составить эскизы выданных инструментов. Провести расшифровку маркировки абразивного инструмента.

Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Эскизы предложенных преподавателем инструментов.
- 3 Выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Какие существуют виды абразивных материалов?
- 2 Что такое твердость круга?
- 3 Что понимается под структурой круга?

Список литературы

- 1 **Металлорежущие станки: учебник / В. Д. Ефремов [и др.]; под ред. П. И. Ящерицына.** – Старый Оскол: ТНТ, 2012. – 696 с.
- 2 **Основы технологии механической обработки в машиностроении: учебное пособие / Под ред. В. К. Шелега, М. Л. Хейфеца.** – Новополоцк: ПГУ, 2008. – 244 с.
- 3 **Ящерицын, П. И.** **Металлорежущие станки: учебник / П. И. Ящерицын, В. Д. Ефремов; под общ. ред. А. И. Кочергина.** – Минск: БГАТУ, 2001. – 446 с.
- 4 **Черпаков, Б. И.** **Металлорежущие станки: учебник / Б. И. Черпаков.** – Москва: Академия, 2004. – 368 с.
- 5 **Данильчик, С. С.** **Металлорежущие станки: лабораторный практикум: в 2 ч. / С. С. Данильчик.** – Минск: БНТУ, 2006. – Ч. 1. – 74 с.
- 6 **Сибкин, М. Ю.** **Технологическое оборудование: учебник / М. Ю. Сибкин.** – Москва: ФОРУМ; ИНФРА-М, 2005. – 400 с.
- 7 **Технологическое обеспечение машиностроительного производства: Учебное пособие / В. А. Логвин [и др.]; под ред. Ж. А. Мрочека.** – Минск: РИВШ, 2021. – 560 с.
- 8 **Основы инженерного образования: учебное пособие / В. А. Логвин, [и др.]; под ред. Ж. А. Мрочека.** – Минск: РИВШ, 2020. – 488 с.