МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»

ТЕХНОЛОГИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Методические рекомендации к лабораторным работам для студентов специальности 6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» дневной формы обучения



Могилев 2026

УДК 621.9.02
ББК 34.5
Т38

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты» «31» августа 2026 г., протокол № 1

Составитель канд. техн. наук, доц. В. А. Логвин

Рецензент канд. техн. наук, доц. Е. В. Ильюшина

Методические рекомендации к лабораторным работам предназначены для студентов специальности 6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» дневной формы обучения.

Учебное издание

ТЕХНОЛОГИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

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

Подписано в печать 27.10.2026. Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 2,33. Уч.-изд. л. 2,38. Тираж 26 экз. Заказ № 781.

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, 2026

Содержание

Введение…….. 4
1 Лабораторная работа № 1. Исследование метода крепления и базирования многогранных пластин на точность их установки в корпусе резца..... 5
2 Лабораторная работа № 2. Фрезерование канавок сверл, разверток и метчиков……... 8
3 Лабораторная работа № 3. Затылование зубьев червячных модульных фрез и контроль их параметров……. 14
4 Лабораторная работа № 4. Получение и исследование фасонного профиля шлифовального круга……. 22
5 Лабораторная работа № 5. Испытание работоспособности инструмента……. 25
6 Лабораторная работа № 6. Образование прямых зубьев дисковых фрез на цилиндрических, конических, торцовых поверхностях……. 28
7 Лабораторная работа № 7. Припаивание пластин твердого сплава и контроль прочности соединения…… 33
8 Лабораторная работа № 8. Затачивание фрез и контроль их параметров……... 35
Список литературы……. 38

Введение

Для обеспечения профессиональной подготовки инженер, оканчивающий высшее учебное заведение, должен получить правильное понятие об эффективности металлообработки. Несмотря на кажущуюся незначительность и дешевизну по сравнению с современным металлорежущим станком, режущий инструмент во многом определяет возможности современного машиностроительного производства, особенно автоматизированного. Основные параметры режущих инструментов определяются их назначением и должны обеспечивать надежность, производительность, экономичность обработки.

В методических рекомендациях изложены материалы, необходимые для проведения лабораторных занятий по дисциплине «Технология и автоматизация инструментального производства» для студентов специальности 6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» дневной формы обучения.

1 Лабораторная работа № 1. Исследование метода крепления и базирования многогранных пластин на точность их установки в корпусе резца

Цель работы: исследовать влияние метода крепления и базирования многогранных твердосплавных пластин на размеры резца по длине и определить схему крепления, обеспечивающую возможность бесподналадочной замены многогранных пластин на инструментах.

1.1 Общие сведения

Одним из путей реализации быстросменной бесподналадочной замены инструмента на станках-автоматах и автоматических линиях является бесподналадочная замена многогранных твердосплавных пластин. Она осуществляется на резцах, торцовых фрезах, расточных инструментах.

Достоинством данного пути является относительно небольшая затрата времени на замену изношенной и установку новой пластины. Так, по существующим нормативам время на замену многогранной пластины на инструменте составляет 0,5…1 мин, тогда как аналогичное время для замены резца в 2–4 раза больше, причем в последнем случае требуются затраты времени в 1…2 мин на настройку инструмента на размер вне станка.

Для осуществления бесподналадочной замены необходимо применять многогранные пластины точного исполнения классов допусков A и F по ГОСТ 19042–80 и методы крепления пластин, обеспечивающие их точную установку в гнезде корпуса, с базированием по боковым поверхностям и опорной поверхности. Этим условиям удовлетворяют две схемы крепления пластин, устанавливаемые в точные пазы корпуса резца – с упором на базу (рисунок 1.1, *а*), например, с помощью качающегося штифта, и креплением прихватом (рисунок 1.1, *б*).

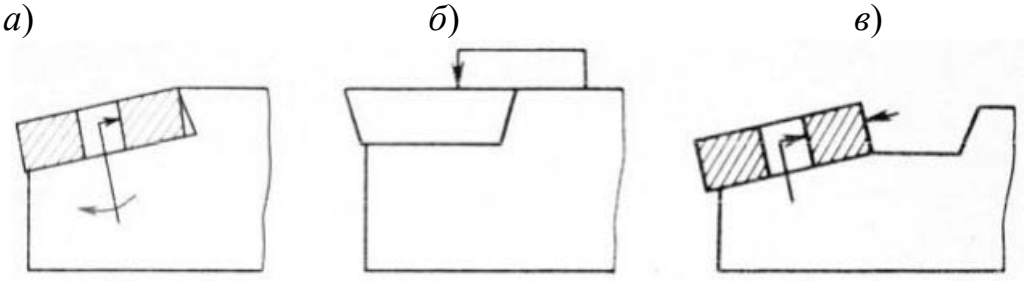


Рисунок 1.1 – Схемы крепления и базирования многогранных пластин на резцах

Однако в ряде случаев применяют крепления пластин с помощью клина (рисунок 1.1, *в*, ГОСТ21151–75). Данная конструкция не обеспечивает точного базирования пластин и не может использоваться для их бесподналадочной замены.

Перечень используемого оборудования

Приспособление для размерной настройки резцов вне станка с эталоном; резцы, оснащенные квадратными пластинами твердого сплава с базированием пластин по схемам, показанным на рисунке 1.1, *а*, *в* одинакового размера, с одинаковыми углами в плане и регулировочными винтами; две многогранные твердосплавные пластины классов допусков А или F по ГОСТ 19042–80, указанные на рисунке 1.2.

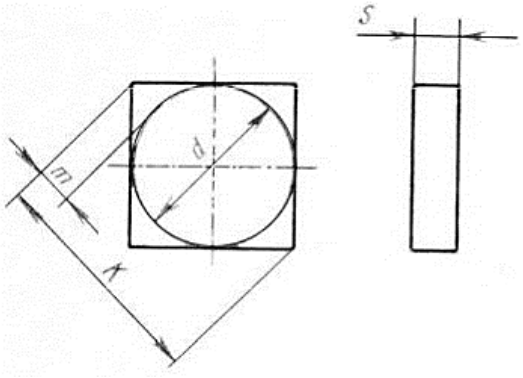


Рисунок 1.2 – Основные размеры квадратной многогранной пластины

Методика выполнения работы

1 Многогранные пластины измеряют микрометром по ширине квадрата *d*, толщине *S* и диагонали *K* (см. рисунок 1.2). Результаты измерений записывают. Допустимые предельные отклонения конструктивных параметров рассматриваемых пластин приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Допустимые предельные отклонения конструктивных параметров рассматриваемых пластин

Класс допуска	Предельное отклонение, мм, для параметров		
	K	*d*	*S*
A	±0,005	±0,025	±0,025
F	±0,005	±0,013	±0,025
M	±0,08…0,18	±0,05…0,13	±0,13
U	±0,13…0,38	±0,08…0,25	±0,13

2 По эталону устанавливают нулевое показание индикатора приспособления для размерной настройки резцов.

3 Резец *1* с креплением пластины по рисунку 1.1, *а* с первой пластиной настраивают в приспособлении на размер *L* с точностью ± 0,01 мм. Показание индикатора записывают.

4 На резце *1* первую пластину поворачивают и закрепляют 3 раза. После каждого поворота измеряют на приспособлении размер резца и записывают показания индикатора (при неизменной настройке резца и приспособления). Разность показаний индикатора представляет собой погрешность размерной настройки после поворота пластины.

Таблица 1.2 – Полученное значение после измерения пластины

Измеряемый или рассчитываемый параметр. Формула для расчета	Полученное значение параметра, мм
1 Размеры первой пластины (см. рисунок 1.2): d_1, K_1, S_1; $m_1 = \frac{K_1 \cdot d_1}{2}$	
2 Размеры первой пластины (см. рисунок 1.2): d_2, K_2, S_2; $m_2 = \frac{K_2 \cdot d_2}{2}$	
3 Погрешность эталона $\delta Э = L - L_ф$	
4 Показание индикатора настроечного приспособления для резца *1* с первой пластиной δ111	
5 То же после поворота и закрепления пластины δ112; δ113; δ114	
6 Показание индикатора настроечного приспособления для резца *1* со второй пластиной δ121	
7 То же после поворота и закрепления пластины: δ122; δ123; δ124	
8 Параметры, аналогичные п. 4–6 для резца *2*: δ211; δ212; δ213; δ214; δ221; δ222; δ223; δ224	
9 Погрешность длины резца *1* после поворота первой пластины: $\delta 1п = \delta ll_{max} \delta 11_{min}$	
10 Погрешность длины резца *1* после замены первой пластины на вторую $\delta 13 = \delta 12_{max} - \delta ll_{min}$	
11 Погрешность длины резца *2* после поворота первой пластины: $\delta 2п = \delta\ 21_{max} - \delta\ 21_{min}$	
12 Погрешность длины резца *2* после замены первой пластины на вторую: $\delta 23 = \delta 22_{max} - \delta 21_{min}$	

5 На резец *1* устанавливают и закрепляют вторую пластину. При неизменной настройке приспособления и резца записывают показания индикатора. Индикатор покажет погрешность размерной настройки при замене пластин классов допусков A или F.

6 Действия, аналогичные п. 3–5, повторяют для резца *2*, оснащенного последовательно обеими пластинами. Индикатор приспособления показывает погрешности, возникающие при повороте и замене пластин при схеме их крепления, показанной на рисунке 1.1, *а*. Результаты работы и расчеты записывают в таблицу 1.2.

7 С использованием данных лабораторной работы рассчитывают точности позиционирования для каждой из конструкций резцов.

Содержание отчета

В отчете указывают цель и содержание работы, эскизы инструмента и приспособлений, методику выполнения работы, запись результатов измерений (см. таблицу 1.2) и выводы, подкрепленные расчетными и экспериментальными данными.

Контрольные вопросы

1 Способы крепления и базирования многогранных пластин.

2 Влияние метода крепления и базирования многогранных пластин на точность установки.

2 Лабораторная работа № 2. Фрезерование канавок сверл, разверток и метчиков

Цель работы: получить практические навыки фрезерования стружечных канавок у разверток и метчиков.

2.1 Фрезерование стружечных канавок

Конструктивной особенностью цельных многолезвийных режущих инструментов является наличие канавок для размещения стружки, образующих режущие лезвия. В зависимости от типа и размеров инструментов обработка стружечных канавок может производиться способом пластического деформирования, фрезерованием, точением, протягиванием, шлифованием и другими методами. Шлифование является чистовым процессом и применяется только для получения стружечных канавок у стержневых инструментов малого диаметра, при изготовлении резьбовых с мелкой резьбой и зуборезных инструментов весьма небольшого модуля. У инструментов средних и больших размеров канавки получаются фрезерованием.

Фрезерование стружечных канавок в зависимости от расположения их относительно оси изготовляемого инструмента и типа производства производится на горизонтально- и универсально-фрезерных станках с использованием универсальных или специальных делительных головок. В серийном производстве применяют многошпиндельные делительные головки. Стружечные канавки в зависимости от их формы обрабатывают фасонными или угловыми фрезами. Угловые фрезы имеют остроконечные (не затылованные) зубья, а фасонные фрезы выполняют с затылованными или с остроконечными зубьями. Остроконечные фрезы более производительны и обеспечивают меньшую шероховатость поверхности.

Прямые стружечные канавки зубьев на цилиндрической поверхности фрезеруют одноугловыми, двухугловыми или фасонными фрезами. Двухугловые фрезы обеспечивают лучшее качество поверхности и имеют большую стойкость. Профиль дисковой фрезы совпадает с профилем канавки, а установка фрезы по отношению к оси заготовки осуществляется с помощью параметров настройки E и H, где E – горизонтальное смещение от оси заготовки, H – вертикальное смещение.

На рабочем чертеже инструмента профиль канавки задается размерами фаски, высотой h, величиной переднего угла и радиусом у основания зуба.

При фрезеровании прямых стружечных канавок одноугловой фрезой (рисунок 2.1) параметры *E* и *H* вычисляют по формулам

$$E = \frac{D}{2} \cdot \sin\gamma - r; \tag{2.1}$$

$$H = h + \frac{D}{2} \cdot \left(1 - \cos\gamma\right). \tag{2.2}$$

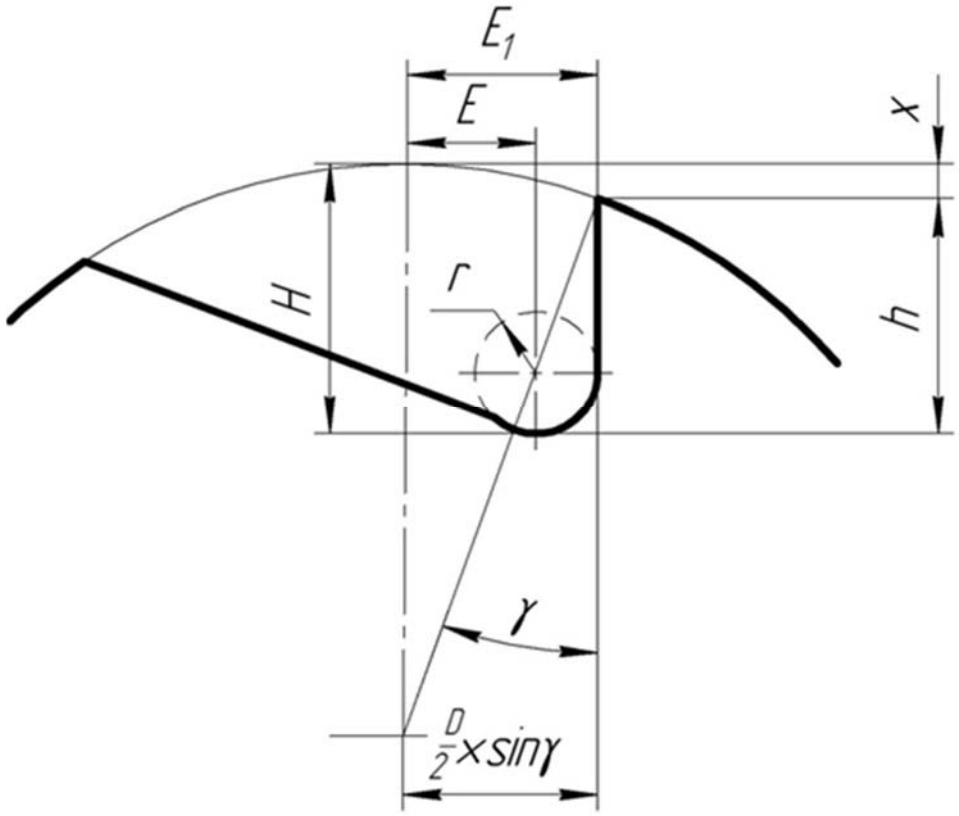


Рисунок 2.1 – Схема расчета при фрезеровании прямых стружечных канавок

При фрезеровании двухугловой фрезой (рисунок 2.2)

$$E = \frac{D}{2} \cdot \sin(\theta + \gamma) - h\sin\theta - r\sqrt{2}\sin(45° - \theta); \tag{2.3}$$

$$H = \frac{D}{2} - \left(\frac{D}{2}\cos(\theta + \gamma) - h\cos\theta\right) - r(\sqrt{2}\cos(45° - \theta) - 1), \tag{2.4}$$

где θ принимаем 10°…15°.

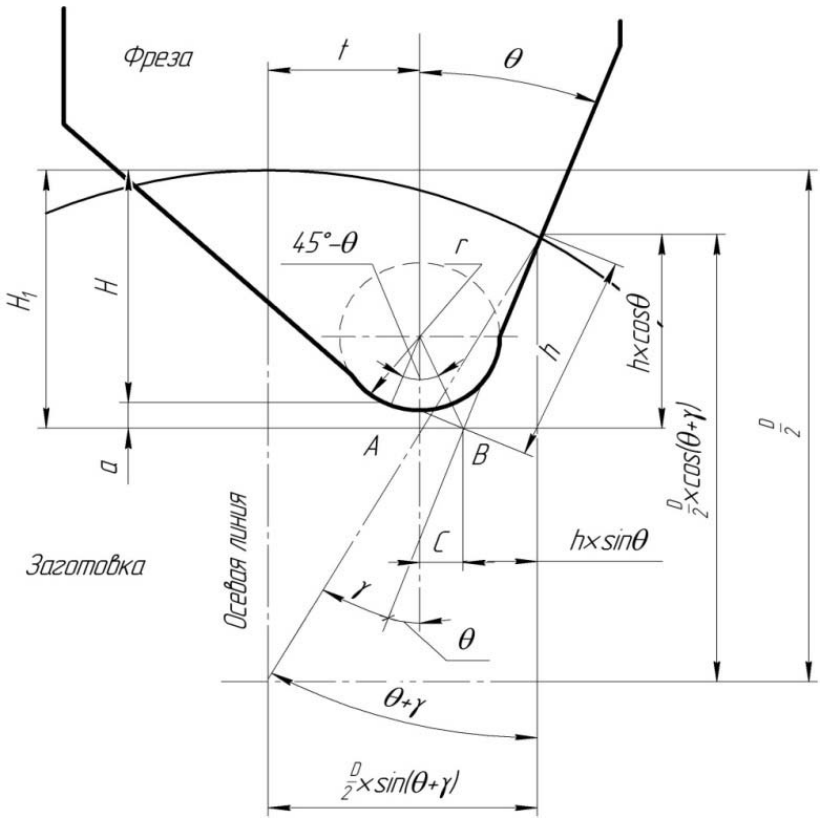


Рисунок 2.2 – Схема расчета при фрезеровании прямых стружечных канавок двухугловой фрезой

2.2 Стружечные канавки у метчика

Метчик представляет собой винт, сопряженный с нарезаемой резьбой, превращенный в режущий инструмент. Для преобразования винта у метчика необходимо прорезать стружечные канавки, т. е. создать переднюю поверхность и пространство для схода стружки и срезать на конце резьбу. Инструмент в форме винта с продольными канавками и срезанной на конус резьбой обладает такими эксплуатационными качествами и такой работоспособностью, которая во многом зависит от принятых размеров и формы стружечных канавок. При установлении формы и размеров стружечной канавки необходимо, чтобы она:

– была радиусной формы и достаточных размеров для обеспечения нормального размещения срезаемой стружки;

– обеспечивала сравнительно одинаковые положительные передние углы по всей высоте профиля резьбы;

– препятствовала резанию задним лезвием при обратном вывинчивании метчика из детали;

– способствовала увеличению диаметра сердцевины;

– обеспечивала оптимальное количество переточек зубьев метчика и достаточную прочность зуба при относительно небольших значениях сил трения на задних поверхностях зуба.

Наиболее рациональной и распространенной формой стружечной канавки является такая, когда передняя поверхность зуба метчика представляет собой плоскость а спинка выполнена радиусной с плавным сопряжением с передней поверхностью. При этом диаметр сердцевины составляет 0,5d, а ширина пера b = (0,25…0,35)d. Внешний угол η = 70°…80° предотвращает срезание стружки задним лезвием при вывинчивании метчика.

Направление стружечных канавок метчика определяется требованиями отвода стружки в определенную сторону. При нарезании резьбы в глухих отверстиях праворежущими метчиками для отвода стружки в сторону хвостовика стружечные канавки делаются винтовыми правого направления (рисунок 2.3, *б*), а при нарезании резьбы в сквозных отверстиях, когда желательно стружку отводить по направлению движения метчика, – левого направления (рисунок 2.3, *в*). В последнем случае также применять метчики с прямыми канавками, но с заточкой зубьев под углом 7°…10° на длине до 1,5l_1 (рисунок 2.3, *г*). При обработке особо мягких и вязких материалов угол наклона стружечных канавок увеличивается до ω = 30°…40°. Винтовые стружечные канавки приводят к некоторому уравновешиванию осевых усилий резания, облегчают вывод стружки и подвод смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) в зону резания, создают более благоприятные геометрические параметры на режущей части, способствуют повышению стойкости метчиков.

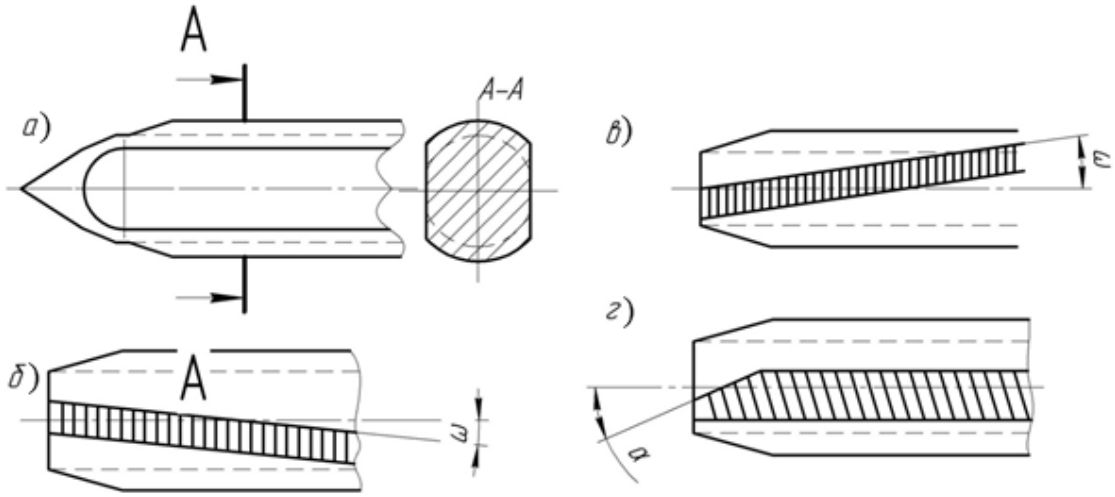


Рисунок 2.3 – Форма и направление стружечных канавок у метчиков

2.3 Стружечные канавки у разверток

Развертывание представляет собой процесс обработки отверстий с целью повышения чистоты и точности. Развертка – это многозубый инструмент, который в процессе резания вращается вокруг своей оси и перемещается вдоль оси, совершая движение подачи. Развертки разделяются на цилиндрические и конические, машинные и ручные, цельные и сборные, хвостовые и насадные.

Число зубьев развертки выбираются в зависимости от обрабатываемого материала, диаметра и конструкции разверток. С увеличением числа зубьев чистота

обработки отверстий повышается, однако уменьшается поперечное сечение стружечных канавок и они могут оказаться недостаточными для свободного размещения и отвода стружки. Развертки имеют обычно четное число зубьев.

Обработка стружечных канавок разверток производится одноугловыми или двухугловыми фрезами с углом профиля с очертанием стенки зуба по радиусу, что облегчает размещение стружки в канавках.

При фрезеровании стружечных канавок разверток с неравномерным шагом для обеспечения на зубьях одинаковой ширины фасок необходимо менять глубину канавки и расстояние между осями развертки и фрезы. При фрезеровании одноугловыми фрезами при установке на глубину стол станка перемещают только в вертикальном направлении на величину H. При обработке двухугловыми фрезами стол смещают в вертикальном направлении на величину $H_{ив}$, в горизонтальном направлении – на величину E:

$$H = \frac{D}{2}\left(1 - \frac{\sin(\delta + \varphi + \omega)\cos\varphi_1}{\sin\varphi}\right) - r\left(\frac{\cos\frac{\varphi}{2} - \varphi_1}{\sin\frac{\varphi}{2}} - 1\right); \qquad (2.5)$$

$$E = \frac{D}{2}\left(\frac{\sin(\delta + \varphi + \omega)\cos\varphi_2}{\sin\varphi}\right) - r\left(\frac{\cos\frac{\varphi}{2} - \varphi_2}{\sin\frac{\varphi}{2}} - 1\right), \qquad (2.6)$$

где D – диаметр заготовки после токарной обработки;

ω – центральный угол между зубьями;

φ – угол впадины между зубьями;

φ_1, φ_2 – углы фрезы;

δ – угол, соответствующий ширине фаски.

При фрезеровании прямозубых разверток рекомендуются специальные фрезы, обрабатывающие не канавку, а профиль зуба развертки.

Применяется и другая схема обработки, когда канавки обрабатывают в два перехода (рисунок 2.4). В этой схеме вначале фрезеруются все канавки с наименьшим центральным углом. Ширина ленточки при этом получается самая разнообразная. Затем на втором переходе осуществляется дополнительная обработка стружечных канавок, при этом центральный угол превышает первоначальный.

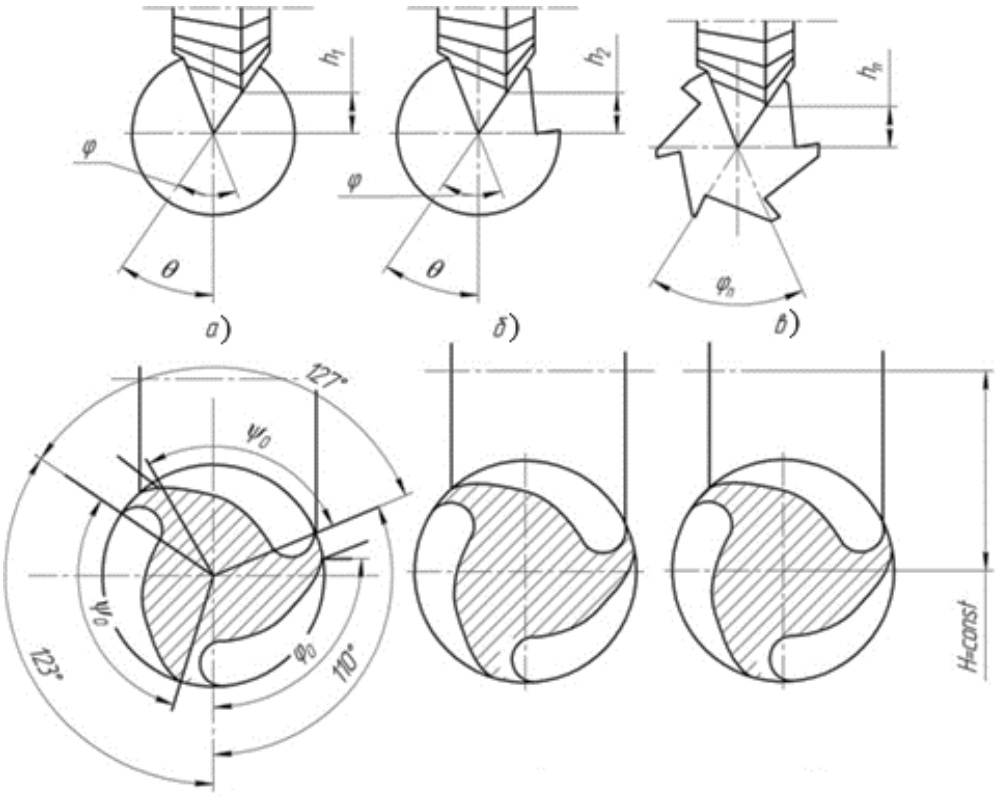


Рисунок 2.4 – Схема обработки стружечных канавок развертки в два прохода

Порядок выполнения работы

1 Изучить общие вопросы фрезерования стружечных канавок.

2 Изучить вопросы конструктивных особенностей стружечных канавок метчиков и разверток.

3 Изучить последовательность настройки станка при фрезеровании винтовых стружечных канавок.

4 Изучить наладку станка на обработку стружечных канавок, настроить станок и обработать стружечные канавки на заготовке.

5 Составить отчет по выполненной работе.

Контрольные вопросы

1 Порядок настройки оборудования на фрезерования канавок свёрл.

2 Порядок настройки оборудования на фрезерования канавок развёрток.

3 Порядок настройки оборудования на фрезерования канавок метчиков.

3 Лабораторная работа № 3. Затылование зубьев червячных модульных фрез и контроль их параметров

Цель работы: изучить способы формирования зубьев червячной фрезы; приобрести практические навыки проектирования операций, настройки оборудования и работы на нем при затыловании и контроле зубьев червячной модульной фрезы.

3.1 Технология изготовления червячно-модульных фрез цельной конструкции

Технологический процесс изготовления цельных червячно-модульных фрез в серийном производстве начинается с заготовительных операций: отрезка штучной заготовки, ковка, отжиг и очистка песком от окалины.

Этап образования формы начинается с револьверной обработки (рисунок 3.1, *а*): центрование, сверление отверстия, зенкерование, подрезание торца I, расточка выточки и проточка фаски на токарно-револьверном станке типа 1П365. Затем обрабатывают базовую поверхность – отверстие. Дальнейшая обработка фрезы будет выполняться при базировании заготовки по отверстию, т. е. на оправке, поэтому обработку отверстия ведут с точностью, обеспечивающей выполнение всех последующих операций. Для фрез шириной более 40…50 мм отверстия целесообразно обрабатывать на протяжных станках (типа 7А510), а затем протягивать шпоночный паз с одновременным снятием фасок (рисунок 3.1, *б*). После межоперационного контроля производится токарная операция на токарно-винторезном станке типа 16К20: обточка по наружному диаметру, подрезка торца II, подрезка буртика, проточка фаски на буртике торца II и те же операции дна торца I (рисунок 3.1, *в*). После зенкерования фаски в отверстии на вертикально-сверлильном станке типа 2135 заготовку насаживают на оправку и дальнейшую обработку ведут на токарно-винторезном станке (нарезание профиля зубьев фрезы) либо при крупносерийном производстве нарезают резьбу обкаткой на специальном станке Е3-1ОЛ. Для фрез m = 6…12 мм применяют наиболее производительный метод – резьбофрезерование на резьбофрезерном станке ГФ 812.

Фрезерование стружечных канавок осуществляют на универсально-фрезерном станке 6Н8О с применением делительной головки УДГ-200 (рисунок 3.1, *г*).

После промежуточного операционного контроля осуществляют затылование профиля зубьев (рисунок 3.2) на токарно-затыловочном станке 1811. Припуск на затылование по наружному диаметру после токарной обработки оставляют для червячно-модульных фрез до модуля 5,5 мм в размере 0,5 мм и для фрез m = 6…20 мм – 0,8 мм. Припуск на шлифование профиля зуба устанавливают по общему шаблону на профиль таким образом, чтобы остались зазоры n и m.

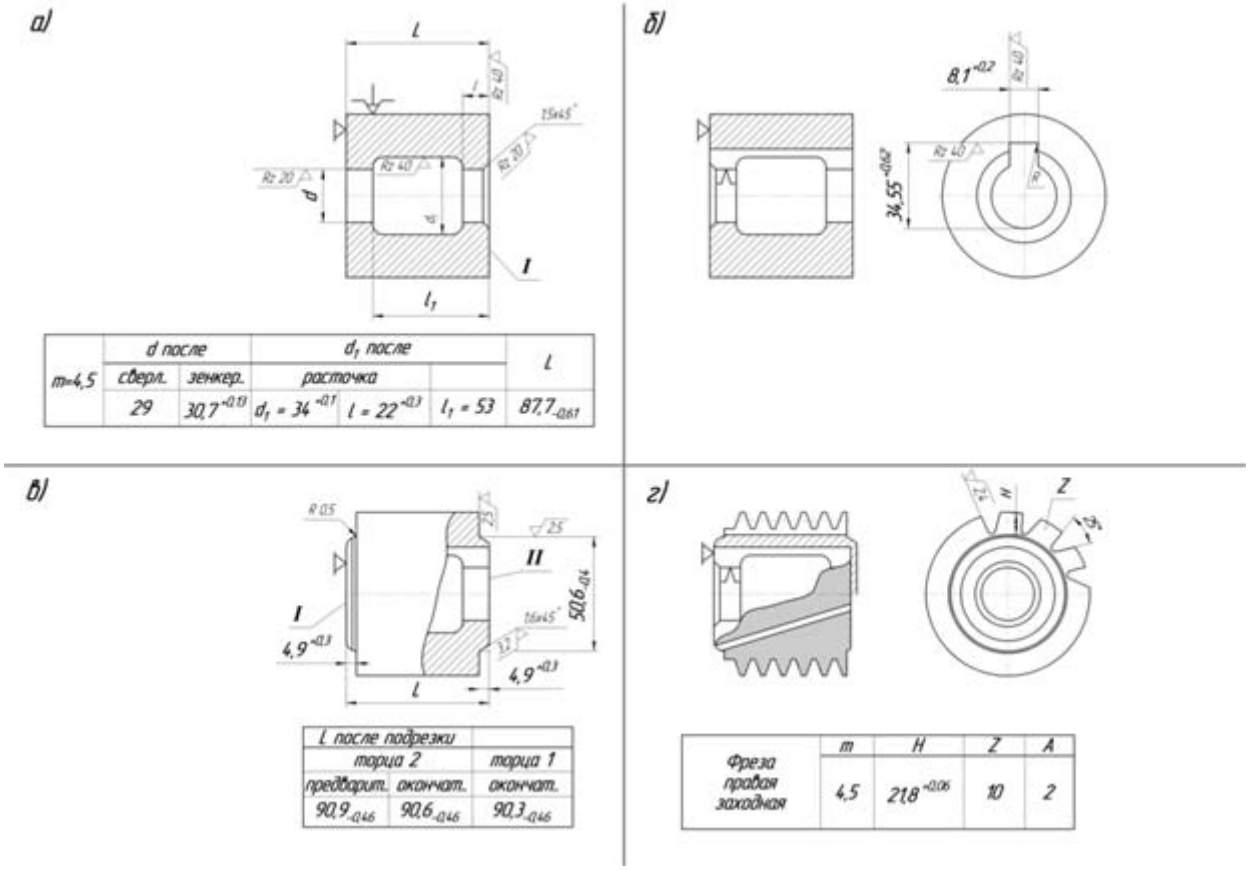


Рисунок 3.1 – Эскизы обработки червячной модульной фрезы

Винторезное движение связывает вращение шпинделя с перемещением суппорта от ходового винта. Передача движения от шпинделя на ходовой винт осуществляется через трензель и двухпарную гитару. Передача возможна напрямую или через звено увеличения шага, дающее увеличение в 4 и 16 раз. Уравнение баланса винторезной цепи следующее:

$$I_{об.шп.} \ldots t_y \ldots t_{xB} = t_H, \qquad (3.1)$$

где t_H – шаг нарезаемой (затылуемой) резьбы.

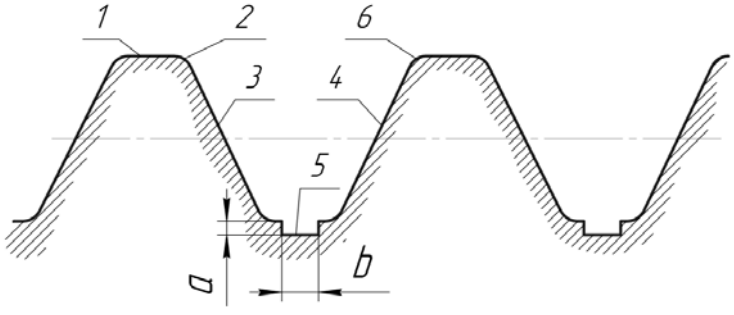


Рисунок 3.2 – Профиль червячно-модульной фрезы

При затылковании модульных резьб $t_H = \pi m$ наладка станка производится по формулам

$$i_y = \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} = \frac{m}{12}\pi; \tag{3.2}$$

$$i_y = \frac{m}{48}\pi; \quad i_y = \frac{c_2}{d_2} = \frac{m}{192}\pi, \tag{3.3}$$

соответственно, без звена увеличения шага и при звене увеличения шага 4:1 и 16:1. Можно принять следующие значения π:

$\frac{5 \cdot 71}{113}$, получаемая ошибка будет 0,0000002 мм;

$\frac{13 \cdot 29}{4 \cdot 30}$, получаемая ошибка будет 0,0000789 мм;

$\frac{25 \cdot 47}{22 \cdot 17}$, получаемая ошибка будет 0,0001185 мм;

$\frac{32 \cdot 27}{25 \cdot 11}$, получаемая ошибка будет 0,0002254 мм.

При подборе сменных шестерен гитары следует выдержать соотношения:

$$a_2 + b_2 \geq c_2 + 24;$$

$$c_2 + d_2 \geq b_2 + 28;$$

$$a_2 + b_2 + c_2 + d_2 \geq 260.$$

Дифференциальное движение необходимо при затылковании фрез со спиральными стружечными канавками. Оно обеспечивает дополнительный поворот кулака затылования для того, чтобы резец каждый раз попадал на вершины зубьев обрабатываемой фрезы. При передаче движения на суппорт через механизм ходовой винт – гайка уравнение баланса дифференциальной цепи имеет вид

$$t_H / 12 \ldots i_\varphi \ldots i_{g2} \ldots = I\, t_H\, Z / T, \tag{3.4}$$

где i_φ – передаточное отношение гитары дифференциала;

i_{g2} – передаточное отношение конического дифференциала.

Настройка станка производится по формуле

$$i_\varphi = \frac{a_3}{b_3} \cdot \frac{c_3}{d_3} = 76\frac{Z}{T}, \tag{3.5}$$

где Z – число зубьев затылуемой фрезы;

T – шаг спирали канавок, мм.

При подборе сменных шестерен необходимо выдержать следующие соотношения:

$$c_3 + d_3 \geq b_3 + 28;$$

$$a_3 + b_3 + c_3 + d_3 \geq 150.$$

При обработке правых спиралей в гитару необходимо устанавливать паразитную шестерню.

Посла затылования выполняются операции снятия неполных витков на вертикально-фрезерном станке, клеймение, термическая обработка, дробеструйная очистка и контрольная.

3.2 Контроль червячных фрез

Червячные фрезы для нарезания цилиндрических колес (с прямыми и косыми зубьями) согласно ГОСТ 9324–80 изготовляют четырех классов точности: АА, А, В и С.

Фрезы контролируют для оценки их качества, характеризуемого степенью отклонения режущих кромок от поверхности основного эвольвентного червяка, и для выявления технологических причин, вызывающих погрешности в расположении режущих кромок.

По ГОСТ 9324–80 контроль точности червячных фрез рекомендуется производить по какой-либо одной из имеющихся трех групп проверок.

Обязательно для всех трех групп контролируют отклонение диаметра посадочного отверстия f_d, радиальное и торцовое биения буртиков f_y и f_t, радиальное биение по вершинам зубьев f_{rda}, отключение профиля передней поверхности f_γ, разность соседних окружных шагов f_{no}, накопленную погрешность окружного шага стружечных канавок F_{po}, направление стружечных канавок f_x, отклонение толщины зуба T_{SO}.

Кроме названных параметров, контролируют также для первой группы проверок: погрешность зацепления от зуба к зубу F_{PB1O}, погрешность зацепления F_{PBO}, для второй группы проверок: профиль зуба f_{fo}, винтовую линию фрезы от зуба к зубу f_{h1o}, винтовую линию фрезы на одном обороте f_{ho}, винтовую линию фрезы на трех оборотах f_{h3o}, для третьей группы проверок: профиль зуба f_{fo}, осевой шаг (или проекцию нормального шага на осевую плоскость) f_{pxo}, накопленное отклонение шага на длине любых трех шагов f_{px3o}.

Ниже рассмотрена методика контроля следующих отклонений: f_γ, f_{ho}, F_{po}, f_x, f_{fo}, f_{pxo}.

1 Рассчитывают параметры, характеризующие конструкцию фрезы и используемые при её контроле.

Размеры профиля зубьев фрезы в нормальном сечении витков соответствует размерам исходного контура инструментальной рейки. В большинстве случаев высота профиля $h_o = 2{,}5\ m$, высота головки и ножки зуба $h_{ao} = h_{fo} = 1{,}25\ m$. Толщина зуба по средней линии $S_o = P_{ho} - S_1$, где нормальный шаг зубьев $P_{ho} = \pi m$ а величина соответствует толщине зуба нарезаемого колеса по делительному диаметру.

Средний расчетный диаметр фрезы в расчетном сечении, отстоящим от передней поверхности на 0,1…0,25 окружного шага P_{to} зубьев фрезы, определяют по формуле

$$d_{mo} = d_{ao} - 2h_{ao} - 2\sigma k, \tag{3.6}$$

где d_{ao} – наружный диаметр фрезы;

h_{ao} – высота головки зуба фрезы;

σ – коэффициент, учитывающий перекачивание фрезы по передней поверхности; обычно $\sigma = 0{,}1\ldots0{,}25$ (по ГОСТ 9324–80 для новой фрезы $\sigma = 0{,}15$);

k – величина затылования шлифовальной части зуба.

Осевой шаг зубьев фрезы

$$P_{XO} = \frac{P_{no}}{\cos\gamma_{mo}} = \frac{\pi m_{no}}{\cos\gamma_{mo}}. \tag{3.7}$$

Угол подъема витков фрезы

$$\mathrm{tg}\gamma_{mo} = \frac{P_{XO}}{\pi d_{mo}}, \tag{3.8}$$

где d_{mo} – средний расчетный диаметр фрезы,
или

$$\sin\gamma_{mo} = \frac{P_{no}}{\pi d_{mo}} = \frac{m_n}{d_{mo}}. \tag{3.9}$$

Обычно винтовые стружечные канавки выполняются перпендикулярно к направлению витков червячной нарезки фрезы, поэтому угол наклона передней поверхности винтовой канавки принимают равным углу γ_{mo}.

Шаг винтовых стружечных канавок

$$P_z = \pi d_{mo} \cdot \mathrm{ctg}\lambda_{mo}, \tag{3.10}$$

или для фрез с малыми углами γ_{mo} и λ_{mo}

$$P_z = P_{ho} \cdot \mathrm{ctg}^2\lambda_{mo}. \tag{3.11}$$

Проекция нормального шага зубьев фрезы на ее шов

$$P_{пр} = P_{ho} \cdot \mathrm{ctg}\gamma_{то} . \qquad (3.12)$$

Для фрез с большими углами $\gamma_{то}$ величину $P_{пр}$ следует рассчитывать по более точной формуле

$$P_{пр} = \frac{P_{хо} \cdot P_z}{P_{хо} + P_z} . \qquad (3.13)$$

Углы α профиля зуба правозаходной фрезы при архимедовом основном червяке определяются как

$$\mathrm{ctg}\alpha_{о\,прав,лев} = \mathrm{ctg}\alpha_{черв} \pm \frac{K_{zo}}{P_z}, \qquad (3.14)$$

знак «–» принимается для правой стороны зуба; знак «+» – для левой стороны.

Для левозаходных фрез знаки перед вторым членом меняются на обратные.

Угол профиля основного архимедового червяка

$$dg\alpha_{черв} = \mathrm{ctg}\alpha_{по} \cdot \cos\gamma_{то}, \qquad (3.15)$$

где $\alpha_{по}$ – угол профиля инструментальной рейки фрезы.

2 Профиль передней поверхности червячной фрезы характеризуют ее прямолинейностью и значением заданного переднего угла.

При контроле профиля передней поверхности фрезы с $\gamma = 0$ сначала измерительный наконечник настраивают по блоку концевых мер на высоту центров прибора. При этом индикатору *I* дается натяг в один-два оборота и его стрелка устанавливается на нуль.

Затем вершину зуба фрезы располагают в горизонтальной осевой плоскости. Для этого фрезу поворачивают в центрах так, чтобы стрелка индикатора *I* заняла ранее установленное нулевое положение. Измерительный наконечник перемещают в радиальном направлении на длину рабочей части передней поверхности зуба. Индикатор *I* покажет отклонение передней поверхности от ее прямолинейности и радиального расположения, т. е. величину f_γ.

Действительное значение переднего угла

$$\mathrm{tg}\gamma = \frac{f_\gamma}{h},$$

где f_γ – показания индикатора *I*;

h – величина перемещения измерительного наконечника, фиксируемая индикатором *2*.

3 Измерение разности соседних окружных шагов f_{no} и накопленной погрешности окружного шага F_{po} стружечных канавок на универсальном приборе осуществляют с помощью делительного диска в соответствии со схемой. Поворотом фрезы вокруг ее оси создают натяг на индикаторе *I* и его стрелку устанавливают на нуль. Радиальное положение измерительного наконечника фиксируют индикатором *2*.

4 Измерение отклонения f_x передней поверхности от ее номинального расположения (направления стружечных канавок) сводится к сравнению теоретической и фактической винтовых передних поверхностей фрезы. Отклонение f_x передней поверхности относится к 100 мм длины рабочей части фреза.

$$L = L_0 \pm 100, \tag{3.16}$$

где 100 – радиус (длина) плеча поворота рычага, мм.

5 Погрешность профиля f_{fo} измеряют следующим образом. Поворотная плита поворачивается на расчетный угол профиля. Для этого между упором и пальцем $x_з$ измерительной каретки закладывают блок концевых мер:

$$L = 53 \text{ мм} = 100 \sin\alpha_0. \tag{3.17}$$

Знак «+» или «–» выбирают в зависимости от того, какая сторона профиля контролируется.

После поворота плита крепится рукояткой. Измерительный наконечник поворотом штока настраивается на промер в горизонтальной плоскости. Продольную каретку крепят от перемещения винтом, далее дают натяг индикатору и его стрелку устанавливают на нуль, и перемещают измерительную каретку на длину образующей профиля. Длину образующей *l* измеряют по линейке. Отклонение α стрелки индикатора от нулевого положения при движении измерительного наконечника по боковой поверхности зуба укажет на наличие погрешности профиля зуба фрезы. Погрешность профиля

$$f_{fo} = \alpha\cos\alpha_{0\ прав,\ лев}. \tag{3.18}$$

Величину $\Delta\alpha$ отклонения угла $\alpha_{0\ прав,\ лев}$ профиля от заданного значения определяют по отношению $\frac{a}{l}$, например, если *a* измерено в микрометрах, *l* – в миллиметрах, то для получения $\Delta\alpha$ в минутах, её можно вычислить по формуле

$$\Delta\alpha = \frac{a}{l} \cdot 3{,}438. \tag{3.19}$$

7 Проверка проекции нормального шага на осевую плоскость производится при раздельных движениях: продольном перемещении измерительного наконечника вдоль оси фрезы и повороте фрезы вокруг своей оси. Измерительный наконечник после установки по боковой поверхности зуба перемещается вдоль оси фрезы на величину проекции нормального шага на ось, а фреза поворачивается на соответствующий угол

$$\beta = 360° \cdot \frac{P_{np}}{P_z}. \qquad (3.20)$$

Измерительный наконечник поворотом штока устанавливается для промера в горизонтальной плоскости. Измерение ведется по двум точкам профиля зубьев. Фреза фиксируется в определенном положении установкой на столик набора плиток $L_1 = 82$ мм.

Измерительный наконечник устанавливается на боковой поверхности зуба, при этом дают натяг индикатору и устанавливают на нуль шкалу. Это положение фиксируется установочным индикатором (в радиальном направлении). Затем выводят наконечник из впадины зуба и перемещают вдоль оси фрезы на величину проекции нормального шага на ось с помощью блока концевых мер и индикатора. После этого поворачивают фрезу путем смены блока измерительных плиток L на

$$L_1 = L - 100\beta. \qquad (3.21)$$

Измерительную каретку перемещают в прежнее положение относительно оси центров и устанавливают по установочному индикатору (в радиальном направлении).

Разность между показаниями измерительного индикатора укажет на погрешность проекции нормального шага на ось.

8 Измерение накопленного отклонения шага на длине любых трех шагов f_{PX_3O} выполняют аналогично описанному выше измерению отклонения проекции нормального шага на осевую плоскость. При этом перемещение измерительного наконечника вдоль оси центров осуществляют на длину трех шагов P_{X_3}.

Порядок выполнения работы

1 Ознакомиться с технологическим процессом изготовления червячно-модульных фрез.

2 Ознакомиться с особенностями затылования червячно-модульных фрез.

3 В соответствии с заданием преподавателя спроектировать операцию затылования зубьев червячно-модульной фрезы (припуски на шлифование, инструмент, режимы резания, гитара отбоя, подъем кулачка, гитара резьб, гитара дифференциала).

4 Произвести наладку станка и выполнить операцию затылования.

5 Проанализировать полученные результаты.

6 Ознакомиться с методикой контроля червячных фрез и конструкций прибора для контроля червячных фрез КЗФ-270.

Контрольные вопросы

1 Способы затылования.
2 Порядок настройки оборудования для затылования.
3 Инструменты, используемые при затыловании.

4 Лабораторная работа № 4. Получение и исследование фасонного профиля шлифовального круга

Цель работы: ознакомиться с различными типами шлифовальных кругов, их характеристиками, способами получения фасонного профиля, крепления кругов, видами балансировки, способами правки кругов.

4.1 Характеристика круга

Режущий инструмент, рабочая часть которого содержит классификационные частицы абразивного материала, называют абразивным. Измельченный, обогащенный и классифицированный абразивный материал, твердость которого превышает твердость обрабатываемого материала и который способен в измельченном состоянии осуществлять обработку резанием, называют шлифовальным.

Шлифовальные материалы из искусственных и природных абразивных материалов делят на группы в зависимости от размера зерен. ГОСТ 3647–80 устанавливает четыре группы шлифовальных материалов: шлифзерно (2000…160 мкм); шлифпорошки (125…40 мкм); микрошлифпорошки (63…14 мкм) и тонкие микрошлифпорошки (10…3 мкм).

Шлифовальные круги классифицируются по зернистости, твердости, геометрической форме (ГОСТ 2424–83).

Характеристику конкретной совокупности абразивных зерен, выраженную размерами зерен основной фракции, называют зернистостью.

Зерновой состав шлифовальных материалов по ГОСТ 3647–80.

С индексами: В и П – для кругов класса АА; В, П и Н – для кругов класса А; В, П, Н и Д – для кругов класса Б. В зависимости от зернового состава шлифовальных материалов по ГОСТ 3647–80 обозначение зернистости дополняется буквенным индексом: Н, П, В и Д.

Твердостью абразивного инструмента называют величину, характеризующую свойство абразивного инструмента сопротивляться нарушению сцепления между зернами и связкой при сохранении характеристик инструментов в пределах установленных норм.

Установлены степени твердости абразивных инструментов по ГОСТ 21323–75 (рисунок 4.1). По геометрической форме круги подразделяются на виды (рисунок 4.2).

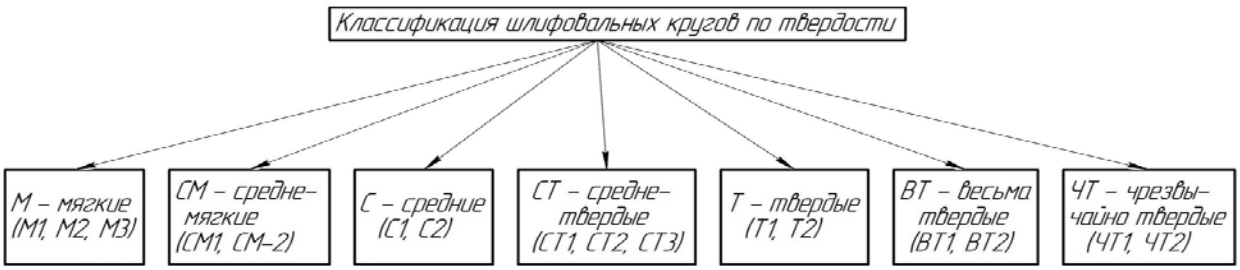


Рисунок 4.1 – Классификация шлифовальных кругов по твердости

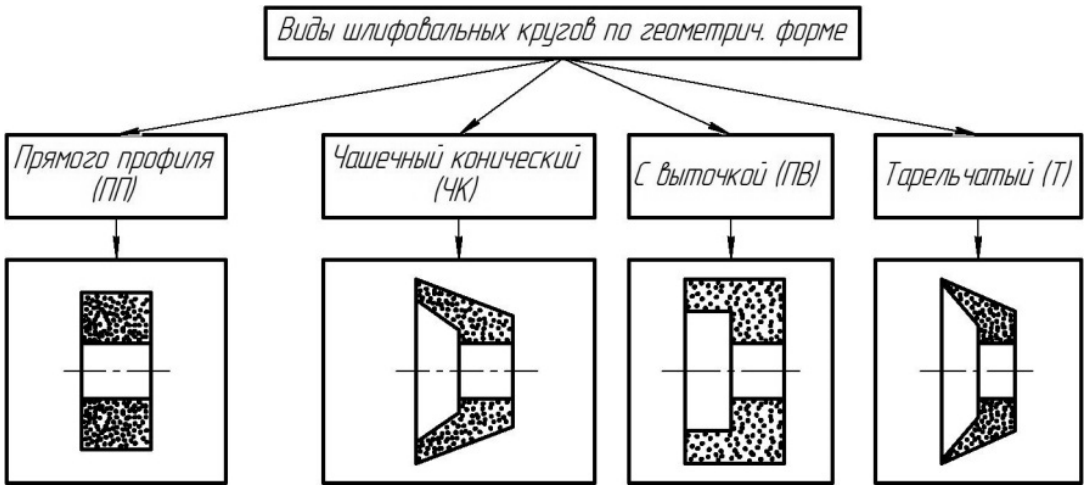


Рисунок 4.2 – Виды шлифовальных кругов по геометрической форме

Вещество или совокупность веществ, применяемых для закрепления зерен шлифовального материала и наполнителя в абразивном инструменте, называют связкой.

Наполнитель в связке предназначен для придания инструменту необходимых физико-механических, технологических и эксплуатационных свойств. Связка влияет на геометрию рельефа рабочей поверхности инструмента, износ абразивного инструмента и параметры шероховатости обработанной поверхности.

Керамические связки (К1, К2, К3, К4, К5, К6, К8, К10) применяют для всех основных видов шлифования.

Бакелитовые связки (Б, Б1, В2, Б3, Б4, БУ, Б156, БП2) применяют для изготовления кругов с упрочненными элементами для шлифования при скоростях круга 65, 80 и 100 м/с.

Вулканитовые связки (В, В1, В2, В3, В5, ГФ, ПФ, Э5, Э6) применяют для изготовления ведущих кругов при бесцентровом шлифовании.

Металлические связки применяются для изготовления алмазных кругов повышенной износостойкости для обработки твердых сплавов, а также круги для электрохимической абразивной обработки.

Органические связки с металлическим наполнителем (Е156, БП2, Т02) применяются для изготовления кругов, предназначенных для заточки твердосплавного инструмента, профильного шлифования, получистового и чистового шлифования твердосплавных и керамических деталей.

Органические связки с минеральным наполнителем (Б1, О1) применяют для изготовления кругов, предназначенных для чистовой заточки твердосплавного инструмента без СОЖ, для чистового шлифования твердосплавных деталей.

Соотношение объемов шлифовального материала, связки и пор в абразивном инструменте определяет структуру инструмента. Принято обозначить структуры поморами.

Изменение объемной концентрации шлифовального материала на 2 % в инструменте соответствует переходу от одного номера структуры к другому.

Номера структуры: плотная – 1; 2; 3; 4 – для обработки заготовок из твердых материалов при доводочных и чистовых работах с получением малой шероховатости поверхности.

Средняя – 5; 6; 7; 8 – для обработка заготовок из металлов с высоким сопротивлением разрыву; открытая – 9; 10; 11; 12 – для обработки заготовок из вязких материалов с низким сопротивлением разрыву, дает высокую шероховатость поверхности и большой износ инструмента, обеспечивает лучший отвод снимаемой стружки и лучшие условия для охлаждения при обработке металла.

4.2 Крепление шлифовальных кругов

При установке и закреплении кругов на станках необходимо соблюдать следующие правила:

1) надевать круг на шпиндель или оправку со значительным усилием недопустимо. Отверстие круга должно быть больше диаметра шпинделя или буртика фланцев. При малом диаметре отверстия круга его следует расточить. Если отверстие круга велико, то на шпиндель или буртик фланца навертывается лента из бумаги, картона или резины шириной 0,8…0,9 ширины круга;

2) диаметр крепежных фланцев должен составлять примерно 1/2…2/3 диаметра круга. Для малых кругов допускается фланец диаметром до 1/3 диаметра круга;

3) между фланцами и кругом располагаются прокладки толщиной 0,5…1,5 мм с наружным диаметром, который на 4…6 мм больше диаметра фланцев;

4) при насаживании круга на шпиндель разрешается слегка ударять по фланцу рукой или деревянным молотком;

5) после установки на шпинделе или оправке круг закрепляют, затягивая ключом гайку или винт;

6) при радиальном биении шпинделя более 0,03…0,05 мм установка круга на шпиндель не допускается.

4.3 Статическая и динамическая балансировка кругов

Статической балансировке подвергаются круги диаметров от 250 мм, а динамической – диаметром от 300 мм и выше.

Причины появления неуравновешенности круга следующие: неправильное центрирование, возникающее вследствие того, что отверстие круга имеет несколько больший диаметр, чем посадочное место; неравномерная плотность в структуре круга по мере его износа; нарушение цилиндрической формы из-за

неравномерного износа; неравномерное осаждение в порах круга абразивной пыли и мельчайшей стружки.

Балансировка круга производится каждый раз перед установкой его на станок.

При статической балансировке необходимо: собрать круг с рабочими фланцами; насадить круг на балансировочную оправку (рабочие фланцы и балансировочная оправка должны быть предварительно отбалансированы); установить круг с оправкой на балансировочном станке; перемененным сухариком фланца привести круг в статическое равновесие.

Круг считается уравновешенным когда, будучи выведенным из состояния равновесия на балансировочном станке, он занимает в покое различные положения.

Если веса сухариков недостаточно для устранения дисбаланса, то круг передают в переточку.

Для определения требуемого числа оборотов шпинделя по окружной скорости и диаметру шлифовального круга пользуются номограммой на крышке шлифовальной головки.

Порядок выполнения работы

1 Снять размеры круга и расшифровать маркировку шлифовального круга.

2 Сделать эскиз крепления круга во фланцах и на стенке.

3 Произвести балансировку круга.

4 Настроить станок на режим правки.

5 Произвести правку круга, сделать эскиз приспособления для правки круга и схему правки с указанием режима правки.

6 Снять размеры круга после правки.

Контрольные вопросы

1 Порядок получения фасонного профиля шлифовального круга.

2 Способы получения фасонного профиля шлифовального круга.

3 Способы правки фасонного профиля шлифовального круга.

5 Лабораторная работа № 5. Испытание работоспособности инструмента

Цель занятия: изучить методику оценки износостойкости связок алмазного инструмента с применением стандартного оборудования.

5.1 Общие сведения

Существует несколько видов алмазного инструмента, классифицируемого по типу распределения алмазных зёрен в алмазном слое: однослойный, многослойный и импрегнированный. Для первых двух видов связка имеет в основном

подчиненное значение. Её цель состоит в сопротивлении механическому воздействию, передаваемому на неё алмазным зерном. Износостойкость связки не влияет на работоспособность инструмента в целом, т. к. при затуплении или при обработке очередного алмазного слоя производят их принудительное вскрытие специальным абразивным инструментом. В импрегнированном алмазном инструменте, с хаотичным распределением алмазных зёрен, роль связки значительно возрастает. Её назначение, связанное с восприятием механических усилий, передаваемых алмазным зерном, дополняется сопротивлением абразивному истиранию образующимся высокоабразивным шлаком.

Поэтому возможно несколько вариантов поведения связки.

1 Связка истирается быстрее алмазных зёрен. Алмазные зерна, не выработав свой ресурс, выкрашиваются. Такое поведение связки приводит к улучшению условий резанья, но резко сокращает срок службы инструмента. При обработке очень сложных и дорогих материалов этот режим является предпочтительным.

2 Связка истирается одновременно с алмазными зёрнами. Данный режим работы алмазного инструмента является наиболее оптимальным, поскольку идет постоянное удаление отработанных алмазных зёрен и вскрытие новых. Высокая стойкость алмазного инструмента сочетается с удовлетворительными условиями резания. Такое сочетание является оптимальным с точки зрения экономической эффективности.

3 Связка истирается медленнее алмазных зёрен. В процессе резания происходит отработка алмазных зёрен и прекращение процесса резания. При этом необходимо либо увеличивать нагрузку на инструмент для разрушения связки и вскрытия новых алмазных зёрен, либо производить удаление связки специальным абразивным инструментом. Это приводит к повышенному расходу алмазных зёрен, что нежелательно при массовом производстве, особенно с применением автоматических линий. Таким образом, стойкость и работоспособность алмазного инструмента зависит от качества применяемых алмазов, механических свойств связки, механических и физико-химических свойств обрабатываемого материала и условий его эксплуатации.

Механическим, физическим и физико-химическим свойствам алмазных материалов, являющихся абразивным наполнителем алмазного инструмента, можно оценить эксплуатационные характеристики любого алмазного материала, исходя из известных его физических свойств. Твёрдость не может служить ориентиром ни механических свойств, ни износостойкости связок, изготовленных из материалов с различным химическим, фазовым и гранулометрическим составом.

5.2 Износостойкость связок алмазного инструмента

В реальных условиях работы алмазного инструмента происходит постоянное вскрытие обрабатываемого материала и образование нового абразивного шлама вместо удалённого. Продолжительность начальной стадии зависит от механических свойств связок.

В процессе испытаний связок алмазного инструмента на абразивную способность экспериментально установлено, что скорость потери массы образцов

уменьшается с увеличением времени испытания. Это связано со снижением абразивной способности алмазного порошка из-за разрушения алмазных зёрен. Уменьшение массы образцов связок полностью заканчивается через 60…150 мин испытания. На первом этапе убыль массы образцов связок от времени хорошо описывается линейной зависимостью.

Порядок проведения работы

В работе используется два типовых образца связок. Образцы связки № 1 (М6-02, на основе композиции «твердый сплав ВК15 – медь») изготовлены инфильтрацией прессовки с твёрдого сплава ВК15 медью при температуре 12500 °С в восстановительной атмосфере. Образцы связки № 2 (М6-25, на основе кобальта) были изготовлены горячим прессованием в графитовой пресс-форме при давлении 30…50 МПа и температуре 7500 °С.

Для определения абразивной стойкости образцов связок проводятся их испытания на истирание. Для испытаний используется по одному образцу от каждой партии размерами 40×7×5 мм. Для этого используется установка УАС-2М со следующими характеристиками: частота вращения планшайбы – (100 ± 8) мин$^{-1}$; число двойных ходов блока с образцами по планшайбе в минуту – (59 ± 5); длина хода – (50 ± 2) мм; суммарная масса груза, прижимающего образцы в планшайбе, – (2 ± 0,05) кг.

Планшайба изготовлена из керамики 22ХС. В качестве абразивного порошка используется алмазный шлиф-порошок АС6 50/40. Исходный алмазный порошок обладает стабильными механическим и гранулометрическим свойствами и наибольшей абразивной способностью. Эти преимущества алмазного порошка приводят к повышению точности и надежности получаемых результатов.

Испытания на абразивную стойкость проводятся по следующей методике. Навеска алмазного шлиф-порошка АС6 50/40 массой 0,1 г помещается в середину планшайбы, добавляется 10 капель индустриального масла и размешивается металлическим шпателем до образования равномерной суспензии. Блок с тремя приклеенными и пришлифованными образцами вставляется в обойму и опускается на планшайбу. Затем на обойму устанавливается груз и включается установку. Измерения массы образцов проводятся взвешиванием на аналитических весах через каждые 5 мин в течение 150 мин и строится график уменьшения образцов от времени обработки.

Абразивная стойкость определяется по формуле

$$\Delta M = M_1 - M_2, \qquad (5.1)$$

где M_1 – масса блока с опытными образцами до испытания;

M_2 – масса блока после испытания.

Результаты испытаний заносятся в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Результаты испытаний образцов

Время испытания, мин	Масса образца 1, мг	Масса образца 2, мг	Примечание
0			
5			
10			
…			

Порядок выполнения работы

1 Сделать эскиз крепления круга во фланцах и на стенке.
2 Произвести балансировку круга.
3 Настроить станок на режим.
4 Снять размеры круга после правки.

Контрольные вопросы

1 Порядок проведения испытаний работоспособности инструмента.
2 С какой целью проводится испытание работоспособности инструмента?

6 Лабораторная работа № 6. Образование прямых зубьев дисковых фрез на цилиндрических, конических, торцовых поверхностях

Цель работы: ознакомиться с методами обработки стружечных канавок фрез; проектирование операций, настройка оборудования и практическая работа по образованию зубьев дисковых фрез.

6.1 Образование зубьев фрез

Стружечные канавки на фрезах образовывают фрезерованием или вышлифовывают. Прямые канавки фрезеруют на горизонтально-фрезерных станках, винтовые – на универсально-фрезерных или специальных станках. При фрезеровании используют делительные головки и делительные приспособления.

Стружечные канавки в зависимости от их формы обрабатывают фасонными или угловыми фрезами. Остроконечные фрезы более производительные и обеспечивают меньшую шероховатость поверхности, однако для переточки фасонных остроконечных фрез требуются специальные приспособления к заточным станкам, в связи с чем их целесообразно применять в крупносерийном производстве.

Прямые стружечные канавки зубьев на цилиндрической поверхности фрезеруют одноугловыми, двухугловыми и фасонными фрезами. Двухугловые фрезы обеспечивают лучшее качество поверхности и большую стойкость. Профиль дисковой фрезы совладает с профилем канавки, а установка фрезы по отношению к оси заготовки осуществляется с помощью параметров настройки

E и *H*; параметр *E* – горизонтальное смещение от оси заготовки, а параметр *H* – вертикальное смещение.

На рабочем чертеже инструмента профиль канавки задается размерами фаски, высотой *h*, величиной переднего угла γ и радиусом у основания зуба *r*. При фрезеровании прямых зубьев одноугловой фрезой с углом профиля *v* (рисунок 6.1, *а*) параметры *E* и *H* вычисляют по формулам

$$E = \frac{D}{2}\sin\gamma - r; \tag{6.1}$$

$$H = \frac{h}{\cos\gamma} + \frac{D}{2}(1-\cos\gamma) - r\left(\operatorname{ctg}\frac{v}{2} - 1\right). \tag{6.2}$$

При фрезеровании двухугловой фрезой (рисунок 6.1, *б*) расчетная схема установочных параметров при фрезеровании прямых зубьев следующая:

$$E = \frac{D}{2}\sin(\theta+\gamma) - \frac{h\sin\theta}{\cos\gamma} - \frac{r\sin\left(\frac{v}{2}-\theta\right)}{\sin\frac{v}{2}}; \tag{6.3}$$

$$E = \frac{D}{2} - \left(\frac{D}{2}\sin(\theta+\gamma) - \frac{h\sin\theta}{\cos\gamma}\right) - r\left(\frac{\sin\left(\frac{v}{2}-\theta\right)}{\sin\frac{v}{2}} - 1\right), \tag{6.4}$$

где *Q* – угол профиля той стороны рабочей фрезы, которая обрабатывает переднюю поверхность заготовки.

Фрезы устанавливают с помощью контрольных валиков и шаблонов. Одноугловые фрезы можно устанавливать по центру изделия с помощью угольника и срезанного до оси валика, по оправке с нанесенной по оси риской, с помощью специального шаблона или специального приспособления. После установки фрезы по оси в центрах устанавливают заготовку инструмента, подводят до касания с фрезой и по лимбам смещают стол в горизонтальной плоскости на величину *E* и поднимают его в вертикальной плоскости на величину *H*.

Двухугловые фрезы устанавливают по центру с помощью валика и шаблона или приспособления.

а) *б*)

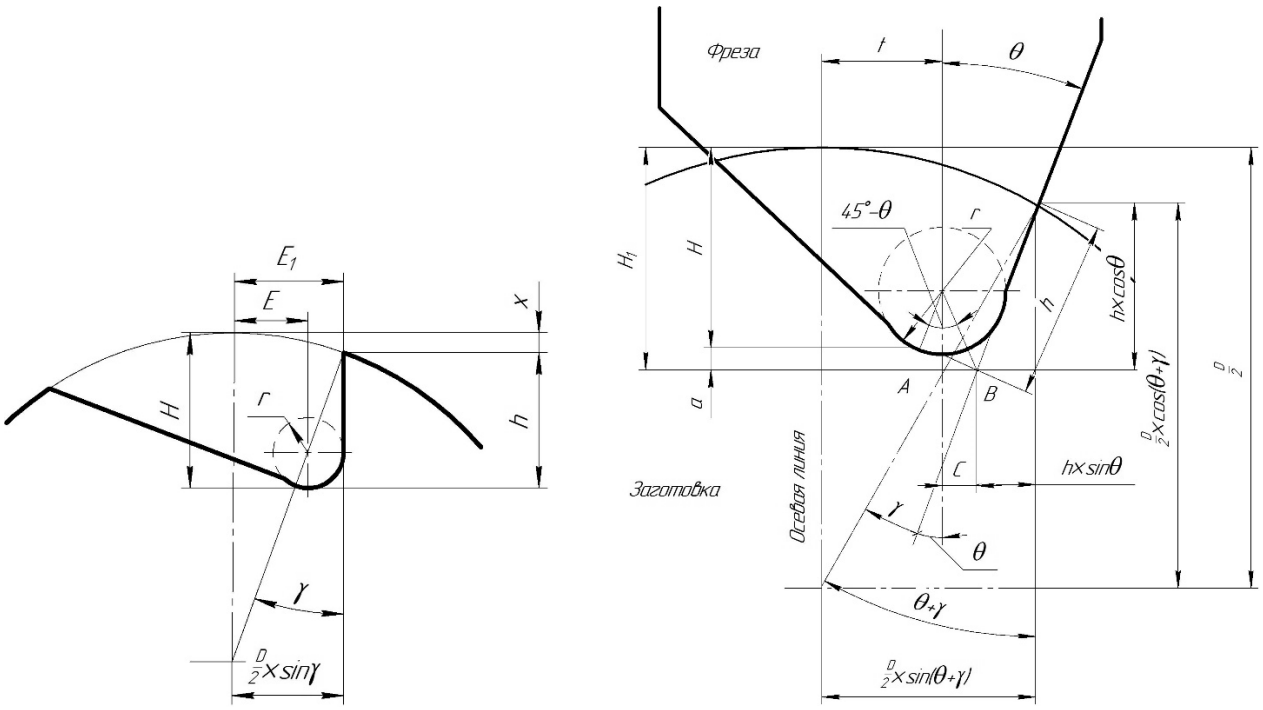


Рисунок 6.1 – Фрезерование одноугловой фрезой (*а*), фрезерование двухугловой фрезой (*б*)

При фрезеровании винтовых канавок профиль фрезы и ее положение относительно заготовки определяется в процессе профилирования. Фрезы, предназначенные для обработки винтовых канавок теоретически должны иметь криволинейный профиль. Профиль такой фрезы с достаточной для практики точностью часто заменяют прямолинейным профилем и обработку ведут двухугловыми фрезами. В этом случае установка фрезы относительно заготовки характеризуется не только величиной E и H, но и углом поворота стола

$$\mathrm{tg}\omega_1 = \mathrm{tg}\omega \cdot \cos(\theta + \gamma), \tag{6.5}$$

где ω – угол наклона винтовой канавки;

θ – угол профиля той стороны фрезы, которая обрабатывает переднюю поверхность заготовки.

Величины E и H при обработке винтовых канавок можно рассчитать по формулам (6.3) и (6.4), вводя в расчетные формулы приведенную величину диаметра заготовки

$$D' = \frac{D}{\cos^2 \omega_1}. \tag{6.6}$$

Порядок настройки станка.

Поворотом стола универсально-фрезерного станка поворачивают заготовку на угол ω_1. Поперечным движением стола смещают рабочую фрезу по отношению к оси заготовки на величину E. Вертикальным смещением стола с помощью специальных блоков устанавливают фрезу на глубину H под углом ω.

При фрезеровании канавок на торцовых и конических поверхностях режущего инструмента (торцовые, дисковые и угловые фрезы) для получения фаски одинаковой ширины по всей длине зуба ось заготовки располагают под некоторым углом, величину, которого определяют расчетом. При фрезеровании зубьев на конической поверхности углы установки делительной головки определяются следующим образом:

$$\varphi_1 = \varphi - \gamma; \tag{6.7}$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \cos\alpha \cdot \cos\beta; \tag{6.8}$$

$$\sin\gamma = \sin\varphi \cdot \operatorname{tg}\alpha \cdot \operatorname{ctg}\upsilon, \tag{6.9}$$

где φ – половина угла при вершине конуса заготовки;

γ – вспомогательный угол;

υ – угол профиля рабочей фрезы;

α – центральный угол между зубьями изготавливаемой фрезы, $\alpha = 360° / z$;

z – число зубьев изготавливаемой фрезы;

β – угол конуса обрабатываемой фрезы.

Наибольшая глубина фрезерования

$$h = \frac{D\cos(\beta + \varphi_1)}{2\cos\beta}. \tag{6.10}$$

Высота зуба по торцу

$$h = \frac{D\cos(\beta + \varphi_1)}{2\cos\beta\cos\varphi_1}. \tag{6.11}$$

Приведение формулы выведены в предположении, что ширина фаски на режущих кромках обрабатываемой фрезы $F_T = 0$. Наличие фаски не изменяет угла установки φ_1, а поэтому выражения (6.7)–(6.9) остаются в силе, изменяются только выражения, в которые необходимо внести соответствующие поправки:

$$h' = \left(\frac{D}{2}\sin\alpha - \frac{F_T}{\cos\alpha}\right)\operatorname{ctg}\nu; \tag{6.12}$$

$$h' = \left(\frac{D}{2}\sin\alpha - \frac{F_T}{\cos\alpha}\right)\frac{\operatorname{ctg}\nu}{\cos\varphi_1}. \tag{6.13}$$

Поправка на установку рабочей фрезы по высоте в связи с округлением её профиля определяется по формуле

$$\Delta h' = r\left(\operatorname{ctg}\frac{v}{2} - 1\right). \tag{6.14}$$

При фрезеровании зубьев на торцовой поверхности угол установки делительной головки вычисляется по формуле

$$\cos\varphi_1 = \operatorname{tg}\alpha \cdot \operatorname{ctg} v. \tag{6.15}$$

Глубина установки рабочей фрезы для получения заданного размера фаски находится по формуле

$$t = \frac{\frac{D}{2}\sin\alpha - F_T}{\operatorname{tg} v \cdot \cos\alpha}, \tag{6.16}$$

а для учета радиуса r округления рабочей фрезы вводится поправка (6.14).

Порядок выполнения работы

1 Ознакомиться с технологическим процессом изготовления фрез.

2 Ознакомиться с особенностями затачивания фрез.

3 В соответствии с заданием преподавателя спроектировать операцию затачивания зубьев фрезы.

4 Проанализировать полученные результаты.

Контрольные вопросы

1 Порядок настройки оборудования на образование прямых зубьев дисковых фрез на цилиндрических поверхностях.

2 Порядок настройки оборудования на образование прямых зубьев дисковых фрез на конических поверхностях.

3 Порядок настройки оборудования на образование прямых зубьев дисковых фрез на торцовых поверхностях.

7 Лабораторная работа № 7. Припаивание пластин твердого сплава и контроль прочности соединения

Цель работы: изучить оборудование, материалы, технологию пайки, получить навыки в работе по пайке пластинок твердого сплава.

7.1 Исследовать метод напайки пластинок на зубья пил

Применение инструментов с пластинками из твердых сплавов является главным и самым эффективным средством повышения износостойкости.

Крепление пластин твердого сплава осуществляется тугоплавкими припоями. Относительная простота и скорость процесса паяния, а также применение его для всех типов и разновидностей режущего инструмента сделали этот способ крепления пластин наиболее распространенным. Прочность и качество паяного соединения зависит от правильности выбора материала для корпуса инструмента, подготовки корпуса и пластин твердого сплава к паянию; от выбора припоев и флюсов, метода, режима и условий нагрева.

Обязательным свойством припоя, позволяющим осуществлять надежное паяное соединение, является его способность к смачиванию основных металлов, т. е. свойство атомов припоя вступать в энергетический контакт с поверхностными атомами основного металла.

В обычном состоянии основной металл и припой покрыты пленкой окислов и загрязнениями, которые препятствуют смачиванию основного металла, поэтому должны быть удалены перед пайкой механически (шлифовальным кругом, напильником и т. д.) с последующим обезжириванием в органических растворителях (ацетон, чистый бензин и т. д.). Процесс соединения пайкой включает следующие стадии: разогрев основного металла, расплавление флюса и растекание его по поверхностям, подлежащим пайке; растворение (восстановление) окисных пленок; расплавление припоя и заполнение им капиллярного зазора с вытеснением жидкого флюса с растворами пленок загрязнения; охлаждение паяного соединения; кристаллизация припоя с возникновением энергетического взаимодействия поверхностных атомов припоя и основного металла.

Технологический процесс пайки включает следующие операции: подготовка флюса и припоя, подготовка корпуса инструмента и пластинок твердого сплава, собственно пайку, отпуск корпуса зуба и контроль качества пайки.

Подготовка флюса заключается в подборе компонентов и обезвоживания их. Для припаивания пластин твердого сплава применяют в основном трехкомпонентный флюс следующего состава: бура – 69 %…73 %; борная кислота – 21 %…22 %; фтористый кальций – 5 %…10 %. Полученную смесь расплавляют в электропечи при температуре 800 °С …8500 °С для удаления кристаллической воды во избежание пенистости в процессе паяния. Расплав охлаждают и размалывают в порошок. Хранят готовый флюс в стеклянных сосудах с притертыми пробками.

Подготовка корпуса инструмента заключается в создании паза для пластинки твердого сплава. Форма паза должна строго соответствовать форме пластинки, не допускаются зазоры (рисунок 7.1).

Пластинку твердого сплава надо располагать так, чтобы силы, возникающие при резании, прижимали пластинку к корпусу инструмента. Паз формируется, как правило, шлифовальными кругами на заточных станках или фрезерованием.

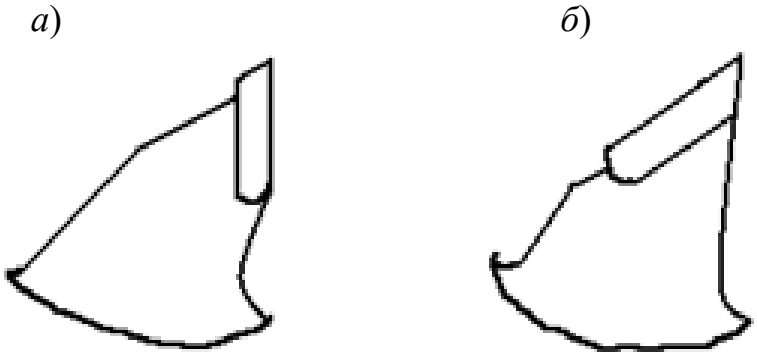


Рисунок 7.1 – Примеры припоя твердосплавной пластины

Пайка пластинок твердого сплава производится следующим образом: корпус инструмента устанавливается на приспособление с нагревом электроконтактным способом; к корпусу зуба прижимается пластинка твердого сплава с усилием 1 кг, на место соединения насыпается флюс; включают трансформатор и производят разогрев паяного соединения до температуры плавления припоя. После расплавления флюса в зону соединения подводят полоску припоя, пластинка твердого сплава прижимается к корпусу и в этом положении выдерживается до затвердевания припоя. Затем производят отпуск корпуса при температуре 5000 °С, после чего процесс пайки заканчивается. Контроль качества паяного шва визуально: по всему периметру должна образоваться плавная галтель припоя.

Порядок выполнения работы

1 Ознакомиться с принципом работы приспособления для пайки пластинок твердого сплава.

2 Произвести подготовку инструмента для пайки; пластинок твердого сплава, флюса, припоя.

3 Произвести пайку трех-пяти образцов.

4 Оторвать пластинки путем сдвига и записать усилие сдвига.

5 Определить фактическую площадь паяного шва и прочность на обрез.

6 Результаты наблюдений занести в таблицу 7.1 и проанализировать.

Таблица 7.1 – Результаты наблюдений

Номер пайки	Режим пайки		Состав флюса, %			Марка припоя	Площадь пайки, мм^2
	Напряжение во вторичной обмотке, В	Сила тока при пайке	Бура	Борная кислота	Фтор, кальций		

Контрольные вопросы

1 Способы пайки твердосплавных пластин на инструменте.
2 Порядок подготовки поверхностей под пайку.
3 Способы крепления пластин во время пайки.

8 Лабораторная работа № 8. Затачивание фрез и контроль их параметров

Цель работы: ознакомиться с видами затачивания фрез; проектирование операций, настройка оборудования и практическая работа по затачиванию фрез.

8.1 Основные элементы конструкции зубьев фрез

Фрезы являются одним из самых распространенных инструментов и отличаются большим разнообразием типов. Классификацию фрез производят по различным показателям:

– по конструкции инструмента: цельные и сборные фрезы;

– по расположению зубьев относительно оси: цилиндрические, торцовые, угловые, фасонные, дисковые двух- и трехсторонние;

– по направлению зубьев: прямозубые, с наклонным или винтовым зубом. Два последних типа зубьев обеспечивают более плавное фрезерование;

– по способу крепления на станке: насадные с отверстием под оправку и концевые с коническим или цилиндрическим хвостовиком;

– по конструкции зубьев: с острозаточенными (остроконечными) и затылованными зубьями.

8.2 Заточка и доводка режущих поверхностей фрез

Качественная заточка фрез, в том числе оснащенных твердым сплавом и сверхтвердым инструментальным металлом (СТМ), является важнейшим условием, обеспечивающим повышение стойкости инструмента, рост производительности труда и улучшение качества выпускаемой продукции. Поэтому необходимо применять такие способы заточки и переточки инструмента, которые

позволяют обеспечивать соответствующие требования по качеству при известной производительности и минимальной себестоимости операции заточки.

Процесс заточки в основном характеризуется тремя показателями:

1) физико-механическими свойствами поверхностных слоев заточенных поверхностей;

2) шероховатостью затачиваемых рабочих поверхностей и режущей кромки;

3) точностью соблюдения геометрических параметров затачиваемых режущих кромок.

Переточка фрез может производиться по передней и задней поверхности. При переточках должны быть полностью сняты все следы износа, скола и притупления на зубьях фрезы.

Величина необходимого стачиваемого слоя может быть определена по формуле

$$h = \frac{\mu \cdot \mathrm{tg}\alpha + u}{\cos(\alpha+\gamma)} \cdot \cos\gamma, \qquad (8.1)$$

где μ – величина износа по задней поверхности;

γ, α – передний и задний углы фрезы;

u – дополнительный слой, снимаемый при затачивании, равный 0,05...0,1 мм.

Толщина слоя, снимаемого за одну переточку, для быстрорежущих фрез примерно равна 0,1...0,5 мм. Величина допустимого съема металла зависит от высоты зубьев, величины выдвижения ножей у сборных фрез и конструкции фрез. Величина допустимого съема не должна превышать $B = 0{,}5 \cdot H$.

Количество переточек n определяется по формуле

$$n = \frac{B}{h}, \qquad (8.2)$$

где B – величина припуска, снимаемого при заточке фрезы, мм.

Заточка задних поверхностей острозаточенных фрез производится двумя способами (рисунок 8.1), которые получили наибольшее распространение: это способ заточки торцом чашечного или тарельчатого шлифовального круга и метод шлифования периферией круга прямого профиля. Заточка фасонных фрез производится с применением копиров.

Затачивание фрез с остроконечными зубьями производится на универсально-заточных станках, оснащенных универсальными приспособлениями, – центрами, упорами, поворотной бабкой и др.

Все характеристики кругов: форма, размеры, связка, неуравновешенность, зернистость, твердость и др. Для заточки цилиндрических фрез с прямыми зубьями необходимо устанавливать их на оправку в центрах универсально-заточных станков 3А64М, 3Д64Е или WS 54. Для обеспечения заднего угла на станке устанавливается упор на величину e, расположенный ниже центра фрезы или круга:

$$e = \frac{D}{2}\sin\alpha_m; \quad e = \frac{D_k}{2}\sin\alpha_m, \tag{8.3}$$

где α_m – торцевой задний угол (при $\beta = 0^\circ$ $\alpha_m = \alpha$), подсчитываемый по формуле $\operatorname{tg}\alpha_m = \operatorname{tg}\alpha / \cos\beta$;

D и D_k – диаметры фрезы и круга соответственно, мм.

а) *б*)

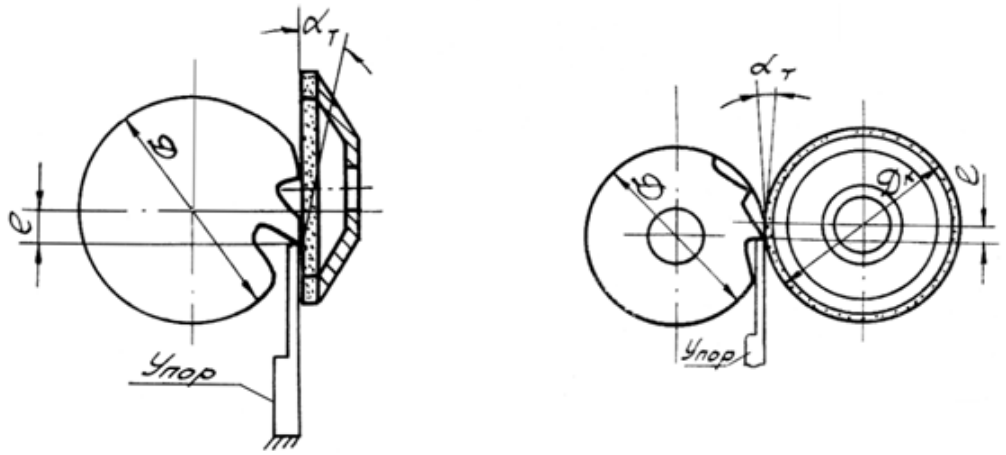


Рисунок 8.1 – Схема заточки фрез с острозаточенными зубьями шлифовальными кругами чашечной формы (*а*) и прямого профиля (*б*)

Затачивание цилиндрических фрез с косыми или винтовыми зубьями производится аналогично заточке фрез с прямыми зубьями. При затачивании вручную фреза прижимается зубом к упору и при продольном движении стола поворачивается вокруг своей оси, копируя переднюю поверхность канавки по упору.

Скорость круга $V_к$ выбирается в зависимости от ограничивающих факторов. Оптимальными скоростями следует считать: для заточки кругами на металлической и керамической связке $V_к$ = 20…25 м/с, для доводки $V_к$ = 25…35 м/с. Глубину шлифования рекомендуется выбирать в зависимости от зернистости по приближенной формуле

$$t = k \cdot h_з, \tag{8.4}$$

где k – коэффициент, учитывающий величину вылета зерна из связки, k = 0,2…0,3;

$h_з$ – максимальный размер зерна в сотых долях, мм.

Величина продольной скорости стола V_u зависит от величины съема металла. Чем больше снимаемый припуск за один двойной ход, тем меньше продольное перемещение фрезы относительно круга. Рекомендуется V_u = 0,3…1,5 м/мин. Определять режимы заточки и доводки фрез следует по методике расчета наиболее выгодных режимов резания при шлифовании, где учитываются многие ограничивающие факторы.

Порядок выполнения работы

1 Описать основные элементы конструкции и формы зубьев фрез.
2 Указать критерии износа фрез.
3 Описать технологию заточки фрез.
4 Описать контроль геометрических параметров фрез.
5 Сделать выводы.

Контрольные вопросы

1 Порядок заточки зубьев фрез.
2 Способы контроля фрез после заточки.

Список литературы

1 Технологическое обеспечение машиностроительного производства : учеб. пособие / В. А. Логвин, Ж. А. Мрочек, Е. В. Банковская [и др.] ; под ред. Ж. А. Мрочека. – Мн. : РИВШ, 2021. – 560 с.

2 **Логвин, В. А.** Технологическое оборудование и инструментальные системы : учеб. пособие: в 2 ч. / В. А. Логвин, Ж. А. Мрочек, С. А. Шептунов ; под ред. Ж. А. Мрочека. – Мн. : РИВШ, 2023. – Ч. 1. – 656 с.

3 **Логвин, В. А.** Технологическое оборудование и инструментальные системы : учеб. пособие: в 2 ч. / В. А. Логвин, Ж. А. Мрочек, С. А. Шептунов ; под ред. Ж. А. Мрочека. – Мн. : РИВШ, 2025. – Ч. 2. – 580 с.

4 **Палей, М. М.** Технология производства металлорежущих инструментов: учеб. пособие / М. М. Палей. – М.: Машиностроение, 1982. – 256 с.