

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

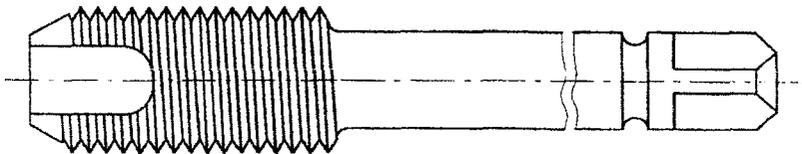
КАФЕДРА «ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ»

СБОРНИК МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ

к лабораторно-практическим занятиям
по дисциплине

«Режущий инструмент»

для студентов специальности 1-36 01 01
«Технология машиностроения»



Брест 2007

УДК 621.9

Методические указания предназначены для выполнения лабораторно – практических работ по дисциплине «Режущий инструмент» для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения». Дается область применения и достоинства проектируемых инструментов, способов их измерения и расчёта. Содержание работ соответствует учебной программе по дисциплине «Режущий инструмент». Методические указания предназначены для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения» дневной и заочной форм обучения.

Составитель: А.М. Левданский, ст. преподаватель

Рецензент: С.С. Меркушевич, начальник конструкторско-технологического бюро
ОАО «Брестсельмаш».

I. ИССЛЕДОВАНИЕ СБОРНЫХ РЕЗЦОВ

Режущая часть резца любой конструкции ограничена передней и задними (главной и вспомогательной) поверхностями, в результате пересечения которых образуются главная и вспомогательная режущие кромки.

Переднюю поверхность у цельных и составных резцов, в зависимости от условий обработки, назначения и марки инструментального материала выполняют в виде плоскости, уступа, лунки, ломаной поверхности, что обеспечивает лучшие условия для ломания и завивания стружки и способствует безопасности рабочего. Формообразование передних и задних поверхностей этих резцов осуществляют затачиванием шлифовальными кругами.

Основные преимущества сборных резцов с многогранными неперетачиваемыми пластинами по отношению к цельным и паяным конструкциям:

1 Повышение прочности лезвия из-за отсутствия внутренних напряжений, возникающих при пайке.

2 Повышение надежности и долговечности, так как опорная поверхность под пластиной в корпусе резца имеет высокую твердость. В этом случае в корпусе может быть использовано до 100 пластин. Для увеличения долговечности корпуса под режущей пластиной устанавливают опорную твердосплавную пластину, в результате корпус может выдержать до 150 пластин.

3 Как следствие экономия конструкционной стали, из-за многократного использования корпуса резца.

4 Отсутствие операции затачивания резцов. После изнашивания достаточно либо повернуть пластину, либо заменить полностью изношенную.

5 Большинство типоразмеров пластин имеют фасонную форму передней поверхности, обеспечивающую ломание или завивание стружки. Для пластин с плоской передней поверхностью предусмотрены многогранные пластины-стружколомы, которые применяют в тех случаях, когда диаметр вписанной окружности пластины равен 6,35 или 9,525 мм.

6 Изношенные пластины перерабатывают, извлекая вольфрам и другие дорогостоящие элементы.

У сборных резцов с механическим креплением многогранных пластинок форму передней поверхности получают прессованием при изготовлении пластинок. Формы и конструктивные особенности некоторых типов пластинок приведены в табл.1. Пластинки изготовляют как с задними углами, так и без них. При использовании последних (табл.1.) требуемые значения задних углов обеспечиваются конструктивно, за счет специальной установки пластинки в державке резца. Конструкция узла крепления многогранной пластинки во многом определяет работоспособность резцов. Наиболее распространенные схемы крепления многогранных пластинок показаны на рисунке 1.1.

Крепление пластинки плоским клином имеет ряд недостатков, обусловленных неудовлетворительной схемой приложения сил зажима, направленных навстречу действующей силе резания, и неопределенностью ее базирования на опорной поверхности.

В значительной степени исключить недостатки крепления плоским клином позволяют конструкции резцов, в которых пластинки закрепляют с помощью углового рычага, качающегося штифта и косой тяги. Во всех этих конструкциях сила зажима пластинки по направлению совпадает с силой резания, что улучшает условия базирования и повышает надежность крепления пластинки.

Повышенной надежностью обладает конструкция крепления пластинки с помощью прихвата, расположенного над ней и обеспечивающего прижим пластинки к опорной поверхности гнезда державки. К недостаткам конструкции следует отнести громоздкость узла крепления.

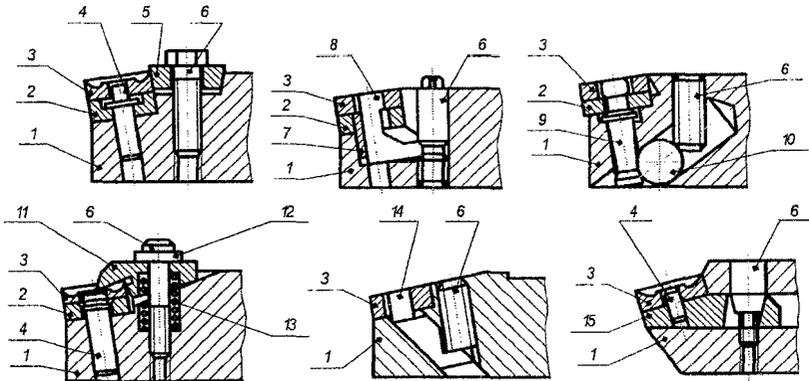


Рисунок 1.1 - Схемы узлов крепления многогранных пластинок:

а - плоским клином; б - угловым рычагом; в - качающимся штифтом, г - прихватом сверху; д - косой тягой; е - подвижной опорой; 1 - корпус; 2 - подкладка; 3 - пластинка; 4 - штифт; 5 - клин; 6 - винт; 7 - втулка; 8 - рычаг; 9 - качающийся штифт; 10 - шарик; 11 - прихват; 12 - шайба; 13 - пружина; 14 - цапфа; 15 - подвижная опора.

Для расточных резцов используют более компактные крепления многогранных пластинок, например, с подвижной опорой, что позволяет использовать их для обработки отверстий диаметром свыше 20 мм.

Все типы резцов, несмотря на многообразие их конструктивного оформления и специфические особенности, имеют общие геометрические параметры (рисунок 1.2).

На режущей кромке резцов с плоской передней углом γ_{ϕ} (рисунок 1.2). У твердосплавных резцов угол фаски γ_{ϕ} , как правило, принимают $0...-10^{\circ}$; у резцов из быстрорежущей стали $0...+8^{\circ}$. При отсутствии фаски кромку резца рекомендуется притуплять. Для конкретных условий эксплуатации углы резания выбирают по справочной литературе. Наиболее употребляемые пределы значений углов и их допустимые отклонения приведены в табл.1.2.

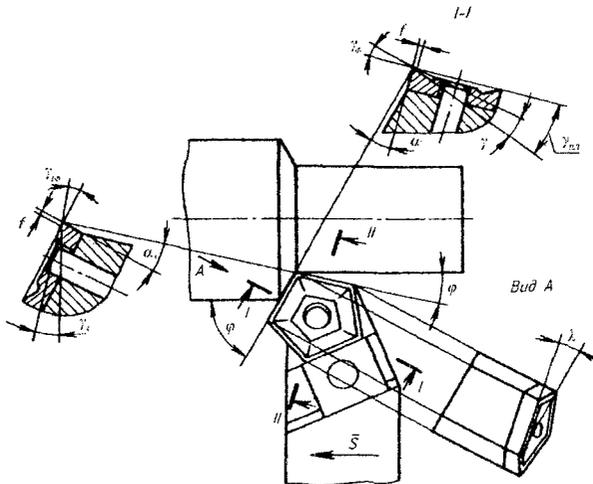


Рисунок 1.2 - Геометрические параметры резца.

Таблица 1.1 - Схемы крепления многогранных пластинок.

Многогранные пластинки с $\alpha=0$	d1	d2	S
	мм		
	9,525	3,81	3,18
	12,7	5,16	4,76
	15,875	6,35	4,76
	19,05	7,93	6,35
	15,875	6,35	4,76
	19,05	7,93	4,76
	15,875	6,35	4,76
	19,05	7,93	4,76
	22,2	7,93	6,35

Примечание. У пластинок с $d=9,525\text{мм}$ $\gamma=25^\circ$, у остальных $\gamma=20^\circ$.

Полный ресурс работы реза определяется числом его периодов стойкости. Средние значения допустимого износа режущей части резцов даны в справочной литературе.

Восстановление режущей способности у цельных и составных резцов при их затуплении производится затачиванием, которое обеспечивает также и формообразование режущей части инструментов. У резцов с механическим креплением многогранных пластинок число периодов стойкости определяется числом рабочих вершин пластинок.

Таблица 1.2 - Допустимые отклонения значений углов реза.

Параметры реза	Углы, °					
	α	α	γ	λ	φ	φ_1
Углы реза: твердосплавного из быстрорежущей стали.	6...15	1...15	-20...+16 5...30	-20...+20	30...100	0...45
Допускаемые отклонения углов	1	$\pm 0,5$ при $\alpha < 2$ ± 1 при $\alpha > 2$	± 1	± 1	± 2	$\pm 0,5$ при $\varphi < 2$; ± 1 при $\varphi = 2...5$; ± 2 при $\varphi > 5$

Схемы установки реза в двухповоротных тисках при формообразовании передней, главной задней и вспомогательной задней поверхностей показаны на рисунке 1.3, 1.4 и 1.5.

Углы поворота тисков при обработке:

передней поверхности (углы γ_1' и γ_2)

$$tg \gamma_2 = tg \gamma \sin \varphi + tg \lambda \cos \varphi, \quad (1.1)$$

$$tg \gamma_1' = \frac{\sin(\gamma_2 - \lambda')}{\cos \lambda'} ctg \varphi, \quad (1.2)$$

где

$$tg \lambda' = tg \lambda / \cos \varphi \quad (1.3)$$

углы главной задней поверхности (углы α_2 и φ')

$$ctg \alpha_2 = ctg \alpha \sin \varphi + tg \lambda \cos \varphi \quad (1.4)$$

$$tg \varphi' = \frac{tg \varphi \cos \lambda'}{\cos(\lambda' + \alpha_2)} \quad (1.5)$$

$$ctg \alpha_2' = ctg \alpha_1 \sin \varphi_1 - tg \lambda_1 \cos \varphi_1, \quad (1.6)$$

$$tg \varphi_1' = \frac{tg \varphi_1 \cos \lambda_1'}{\cos(\alpha_2' - \lambda_1')} \quad (1.7)$$

где

$$tg \lambda_1' = tg \lambda_1 / \cos \varphi_1 \quad (1.8)$$

$$tg \lambda' = tg \gamma \sin(\varphi + \varphi_1) + tg \lambda \cos(\varphi + \varphi_1) \quad (1.9)$$

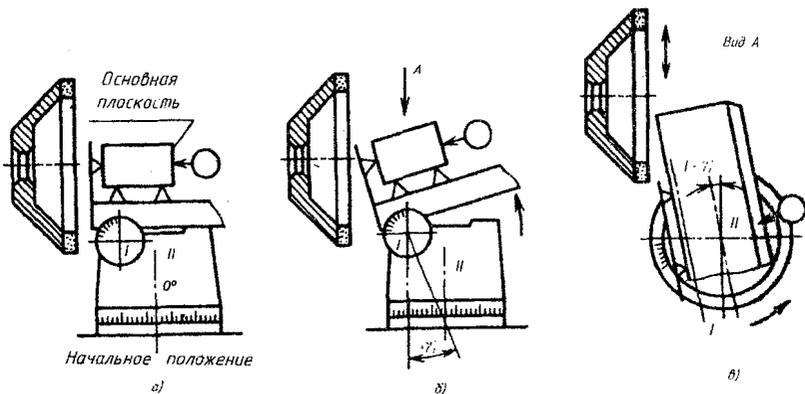


Рисунок 1.3 - Настройка тисков для заточки передней поверхности реза.
а) – начальное положение; б) – поворот на угол γ_2 ; в) – поворот на угол γ_1'

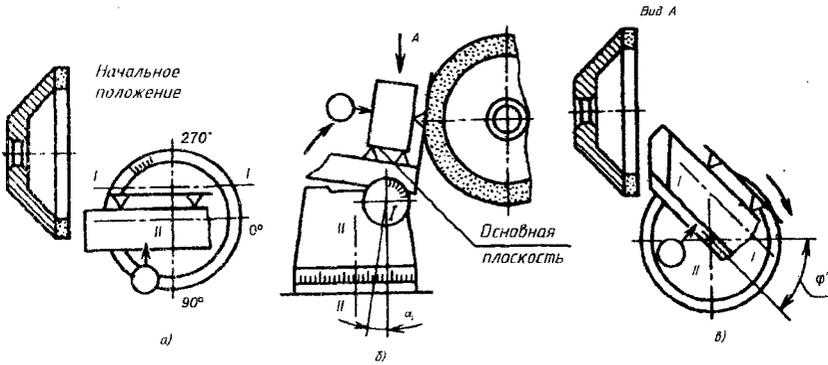


Рисунок 1.4 - Настройка тисков для заточки главной задней поверхности резца.
 а) – начальное положение; б) – поворот на угол α_2 ; в) – поворот на угол ϕ_1

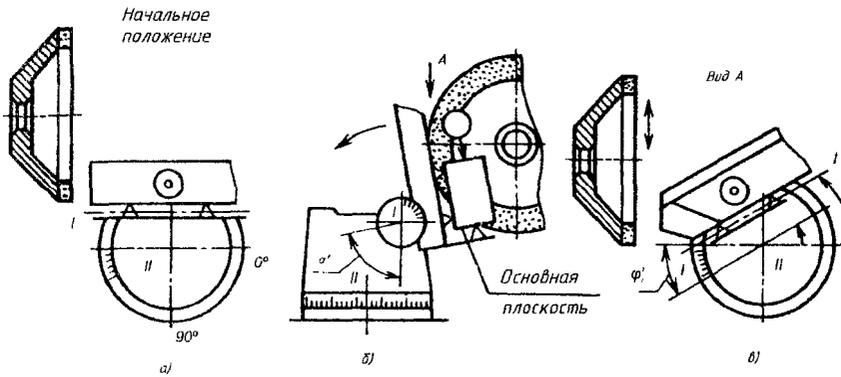


Рисунок 1.5 - Настройка тисков для заточки вспомогательной задней поверхности резца.
 а) – начальное положение; б) – поворот на угол α_2' ; в) – поворот на угол ϕ_1'

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Исследование способов задания геометрии сборного резца с механическим креплением многогранных пластинок

Цель и задачи работы: изучение способа установки в державке резца многогранных пластинок, не имеющих задних углов в статическом положении.

В работе необходимо обосновать выбор исходных конструктивных и геометрических параметров резца, выполнить теоретический расчет элементов ориентации многогранной пластинки в корпусе инструмента, определить основные параметры настройки приспособления для выполнения операции формообразования опорной поверхности гнезда под пластинку, произвести практическую проверку и анализ полученных геометрических параметров резца.

Необходимое оборудование, инструменты и приборы. Практическую часть лабораторной работы выполняют на универсально-заточном или вертикально-фрезерном станках.

В качестве объекта исследования используют проходные токарные резцы с механическим креплением многогранных пластинок. Для снижения трудоемкости механической обработки опорной поверхности под пластинку рекомендуется применять макет державки из легкообрабатываемого материала (алюминия, дерева).

Формообразование основных элементов гнезда под пластинку выполняют в двух или трех поворотных тисках с использованием специальной державки.

Контроль полученных геометрических параметров режущей части выполняется с помощью настольного угломера для контроля углов резца в плане, настольного или инклинометрического угломера конструкции ВНИИ.

Методика выполнения работы

1. В соответствии с заданными условиями обработки выбирают форму многогранной пластинки. Число граней пластинки

$$n = 360 / (\varphi + \varphi_1) \quad (1.10)$$

где φ и φ_1 - соответственно главный и вспомогательный углы резца в плане.

В случаях когда число граней получается дробным, его округляют до целого числа. При этом сохраняют заданное значение главного угла в плане φ , а фактическое значение вспомогательного угла в плане φ_1 определяют расчетом, используя формулу (1.10).

При выборе многогранной пластинки необходимо пользоваться приведенными рекомендациями (см. табл. 1.1) и справочной литературой.

2. Для создания задних углов на главной α и вспомогательной α_1 режущих кромках резца пластинка (если она не имеет задних углов) должна быть установлена в державке с наклоном в сторону вершины резца. В резце с многогранными пластинками нельзя задавать независимо друг от друга все шесть основных геометрических параметров режущей части (углы φ , φ_1 , α , α_1 , λ) как в цельных резцах, так как они связаны как с формой пластинки, так и между собой.

Геометрические параметры резца с многогранной пластинкой определяются углами φ , α и α_1 , значения которых могут быть заданы независимо друг от друга. Значения углов φ_1 , λ , γ будут производными от этих углов, числа граней и формы пластинки.

На практике пользуются приближенными выражениями для определения ориентации многогранной пластинки без задних углов. Схема ее установки показана на рисунке 1.6. После выбора числа граней пластинки (формула (1.10)) по заданным углам (φ и φ_1) и

определения фактического угла φ_1 , задают требуемые значения углов α и α_1 и определяют угол поворота ψ опорной поверхности пластинки относительно основной плоскости резца, а также положение оси поворота Т-Т относительно главной режущей кромки резца (угол $90^\circ - \theta$). Угол θ определяет положение плоскости поворота пластинки. Значение этих параметров находят по приближенным формулам:

$$\operatorname{tg} \psi = \operatorname{tg} \alpha / \sin \theta, \quad (1.11)$$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\operatorname{tg} \alpha \sin \eta}{\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha \cos \eta}, \quad (1.12)$$

где η - угол при вершине многогранной пластинки:

$$\eta = [180(n - 2)] / n \quad (1.13)$$

Угол λ определяют по формуле:

$$\operatorname{tg} \lambda = \operatorname{tg} \alpha \operatorname{ctg} \theta \quad (1.14)$$

Передний угол:

$$\gamma = \gamma_{\text{нл}} - \alpha, \quad (1.15)$$

где $\gamma_{\text{нл}}$ - передний угол пластинки в статическом положении.

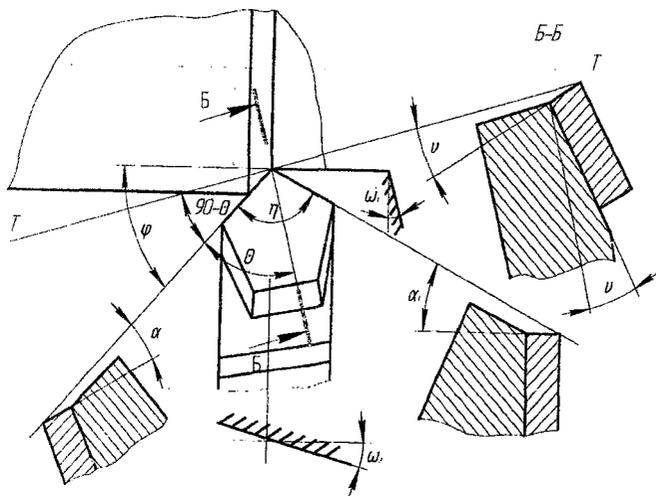


Рисунок 1.6 - Схема расположения опорной поверхности пластины на державке резца.

При использовании пластинок с плоской передней поверхностью (без лунок) резец будет иметь отрицательный передний угол, равный по абсолютной величине заднему углу.

3. Для проверки выполненных расчетов опорную поверхность гнезда державки обрабатывают на макете резца (рисунок 1.7). Обработку осуществляют на вертикально-фрезерном станке концевой фрезы или на универсально-заточном станке шлифовальным кругом.

Установку державок на станке производят в трехворотных тисках. Для настройки тисков необходимо определить углы поворота их отдельных частей вокруг соответствующих осей, после настройки на которые опорная плоскость гнезда под пластинку займет требуемое положение.

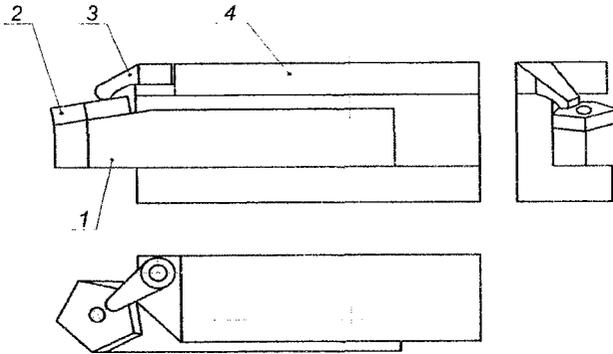


Рисунок 1.7 - Схема закрепления многогранной пластинки на макете державки резца:
1 – державка; 2 – пластинка; 3 – прихват; 4 – обойма.

Для этой цели опорную плоскость гнезда под пластинку задают двумя прямыми, расположенными в поперечном сечении корпуса под углом ω_2 и в продольном сечении под углом ω_1 (см. рисунок 1.6). Углы ω_2 и ω_1 определяют по формулам:

$$\operatorname{tg} \omega_1 = (\operatorname{tg} \alpha / \cos \lambda) \cos \varphi + \operatorname{tg} \lambda \sin \varphi \quad (1.16)$$

$$\operatorname{tg} \omega_2 = (\operatorname{tg} \alpha / \cos \lambda) \sin \varphi - \operatorname{tg} \lambda \cos \varphi \quad (1.17)$$

Угол λ определяют по формуле (1.14).

При фрезеровании (рисунок 1.8) державку резца устанавливают основной плоскостью на опорную поверхность тисков, и после двух последовательных поворотов вокруг горизонтальной оси, параллельной направлению подачи, на угол ω_1 и горизонтальной оси, перпендикулярной к направлению подачи, на угол ω_2 , опорная поверхность гнезда под пластинку займет положение, параллельное плоскости фрезерования.

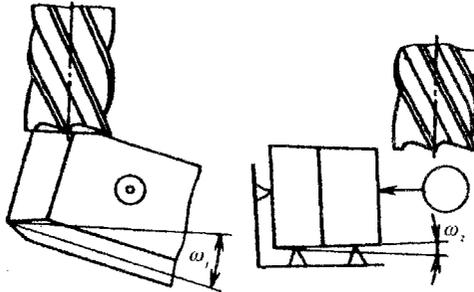


Рисунок 1.8 - Установка державки при фрезеровании опорной поверхности гнезда под пластинку.

Настройку приспособления при шлифовании опорной поверхности под пластинку на заточном станке (рисунок 1.9) выполняют относительно вертикального положения основной плоскости резца. Установку угла ω_1 производят по шкале лимба горизонтальной оси, параллельной направлению подачи, а угла ω_2 - по шкале оси, перпендикулярной основанию стола станка. Поверхность шлифуют торцом круга.

4. После обработки опорной поверхности державку устанавливают в обойме (рисунок 1.7) и на ней закрепляют многогранную пластинку.

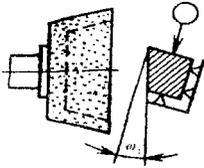
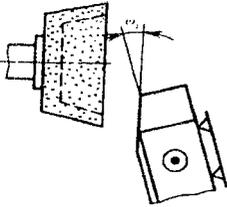


Рисунок 1.9 - Установка державки резца при шлифовании опорной поверхности гнезда под пластинку на универсально - заточном станке.



Ориентацию пластинки в державке производят по главному углу в плане φ (рисунок 1.10,а). После закрепления пластинки измеряют, как показано на рисунке 1.10, и анализируют величины фактических значений геометрических параметров резца α , α_1 , φ , λ , γ . При их отклонениях, превышающих допустимые значения (см. табл.1.2), проверяют расчеты и работу повторяют.

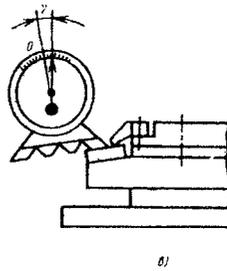
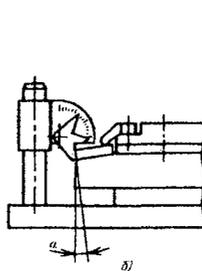
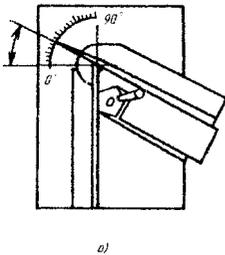


Рисунок 1.10 - Схемы контроля геометрических параметров резца:
а) углов в плане с помощью специального угломера; б) задних углов с помощью настольного прибора; в) переднего угла с помощью маятникового угломера.

Содержание отчета

Отчет должен содержать формулировку задания, обоснование выбора формы многогранной пластинки и геометрических параметров резца, эскиз режущей части резца и пластинки, расчет геометрических параметров резца и расположения опорной поверхности гнезда под пластинку, схему обработки опорной поверхности, анализ полученных данных и заключение по работе.

Вопросы для контроля

1. Определите форму твердосплавной пластинки для резца с углами в плане: $\varphi = 60^\circ$ и $\varphi_1 = 12^\circ$.

Варианты ответов:

1) трехгранная; 2) четырехгранная; 3) пятигранная; 4) шестигранная; 5) круглая.

2. Укажите, каким образом у резцов с механическим креплением многогранных пластинок без задних углов обеспечивается получение главного заднего угла.

Варианты ответов:

1) затачиванием; 2) установкой вершины резца ниже оси заготовки; 3) поворотом пластинки вокруг оси штифта; 4) специальной геометрией опорной поверхности гнезда под пластинку на державке резца; 5) иным образом.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Исследование методов крепления многогранных неперетачиваемых пластин (МНП) и конструктивных особенностей резцов с механическим креплением.

Цель: Изучение конструктивных особенностей резцов с многогранными твердосплавными пластинами, а также достоинств и недостатков различных способов установки в державке резца многогранных сменных пластинок.

Оборудование и объекты изучения: различные конструкции резцов, штангенциркули, угломеры, ключи крепежные, прихват фрезерный, индикаторная стойка.

Содержание работы: необходимо описать достоинства и недостатки предложенных для изучения преподавателем конструкций сборных резцов. Проанализировать область их применения. Выполнить эскизы резцов. На стенде (рисунок 1.1) измерить возможные погрешности у резцов при повороте пластины на новую грань, результаты измерений представить в виде таблицы. Сделать выводы основанные на рекомендациях к области применения данной конструкции резца.

Пример описания достоинств и недостатков некоторых распространенных способов установки пластины в державке резца:

Крепление прихватом сверху (рисунок 1.11). Применяют для пластин без отверстий, в том числе из керамических материалов. Пластины устанавливают в закрытый боковой паз (это увеличивает точность установки) и базируют по опорной и боковым поверхностям. При этом обеспечивается высокая точность базирования и высокая надежность крепления. На резцах для обработки заготовок из стали можно применять стружколом. Данную конструкцию можно применять как на универсальном оборудовании, так и на станках с ЧПУ при условии использования пластин повышенной точности. Пластин повышенной точности в сочетании с креплением, обеспечивающим точную установку пластины при их повороте, или замене позволяют избежать повторной настройки резца на размер. Конструкция резца не трудоемка, и учитывая небольшой размер передней поверхности рекомендуется к применению на чистовых операциях.

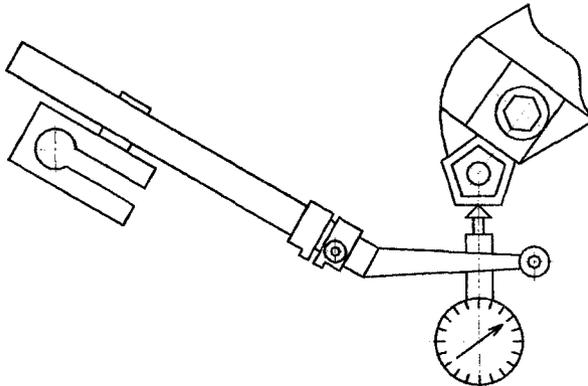


Рисунок 1.11 – Схема измерения установочных размеров

Установочный размер – размер, на который устанавливается резец при наладке вне станка.

Результаты измерений заносим в таблицу.

Таблица 1.3 Образец протокола измерений установочных размеров

Измерение	1	2	3	Среднее суммарное отклонение
	Резец			
L-образный рычаг (трехгранная МНП)				
Модернизированный клин (четырёхгранная МНП)				
Прихватом сверху (четырёхгранная МНП)				

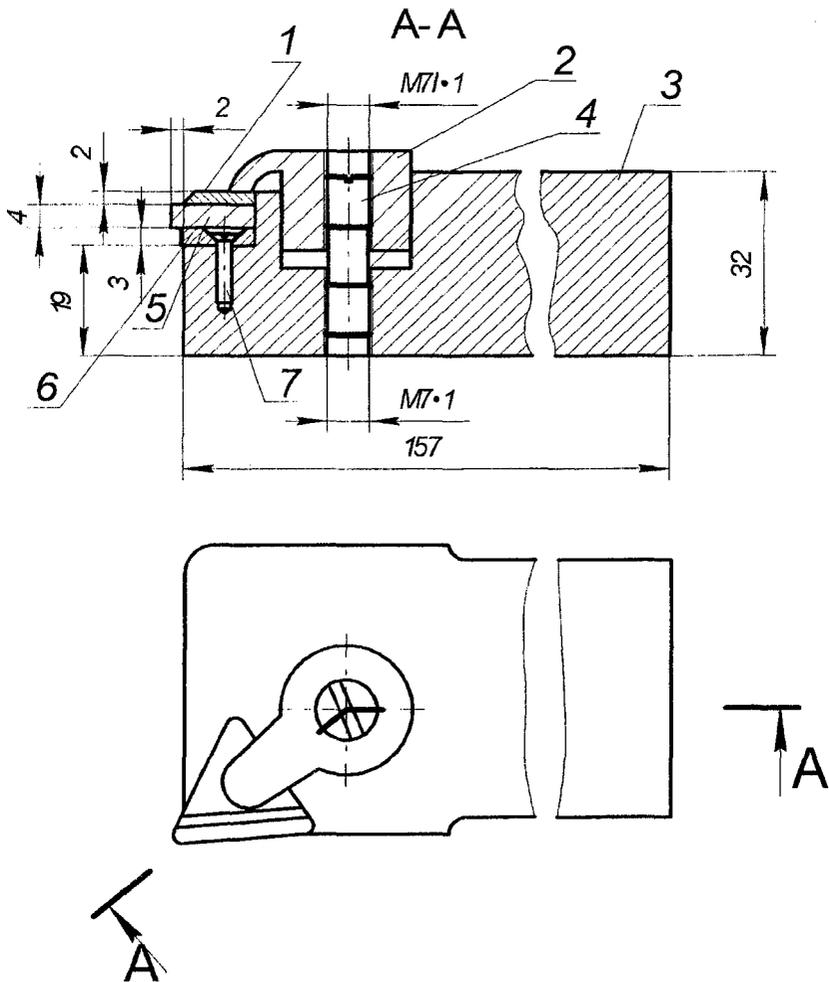


Рисунок 1.12 – Пример выполнения эскиза резца с МНП:
 1 – накладной стружколом; 2 – прихват; 3 – корпус; 4 – винт; 5 – МНП;
 6 – нижняя опорная пластина; 7 – винт.

II. ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ СПИРАЛЬНЫХ СВЕРЛ

Из широкой номенклатуры режущих инструментов, применяемых для обработки отверстий, спиральные сверла являются наиболее распространенным видом. Спиральные сверла – основной инструмент для образования отверстий в сплошном материале (рисунок 2.1).

Геометрия режущей части сверла (рисунок 2.2) характеризуется углами: передним γ , задним α , режущей части 2φ , наклона поперечной режущей кромки ψ , наклона винтовой стружечной канавки ω . Значения этих углов и конструктивные элементы сверла выбираются в зависимости от назначения инструмента и условий обработки.

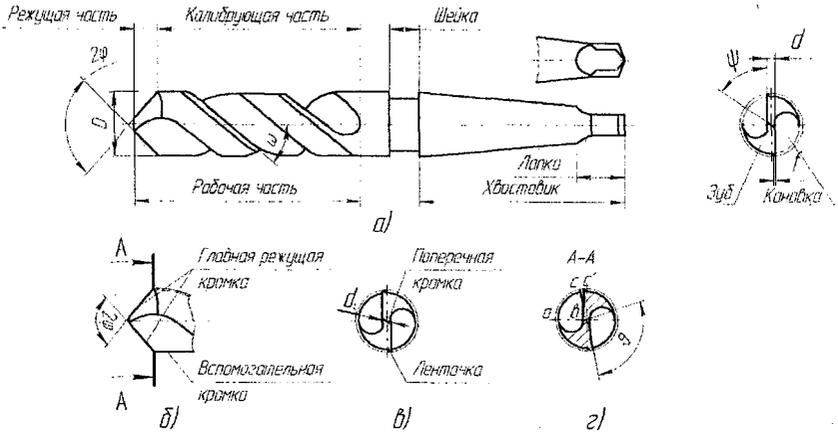


Рисунок 2.1- Спиральное сверло

Сверло имеет сложную геометрию передних и задних углов, которые переменны для различных точек режущих кромок. В цилиндрическом сечении радиусом R_x передний угол:

$$\operatorname{tg} \gamma_{\omega x} = \operatorname{tg} \omega_x = \frac{R_x}{R} \operatorname{tg} \omega, \quad (2.1)$$

где ω_x – угол наклона винтовой канавки на цилиндре радиусом R_x .

При известном шаге T стружечной канавки:

$$\operatorname{tg} \omega_x = \frac{2\pi R_x}{T} \quad (2.2)$$

Нормальный передний угол γ_n на периферии сверла:

$$\operatorname{tg} \gamma_n = \frac{\operatorname{tg} \omega}{\sin \varphi} \quad (2.3)$$

Нормальный задний угол α_n на периферии сверла:

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \operatorname{tg} \alpha_0 \cdot \sin \varphi \quad (2.4)$$

На эксплуатационные показатели спиральных сверл в большой степени влияет их жесткость, которая во многом зависит от формы поперечного сечения стружечных канавок. Стружечные канавки сверла образуют передние поверхности, которые в пересечении с его задними поверхностями формируют главные режущие кромки. Сверла могут иметь задние поверхности различных форм. Наиболее часто на практике применяют коническую, винтовую, одно- и двухплоскостную форму задних поверхностей.

При конической форме (рисунок 2.3) задняя поверхность каждого пера оформляется как часть конуса с углом при вершине Q и углом скрещивания осей конуса и сверла δ .

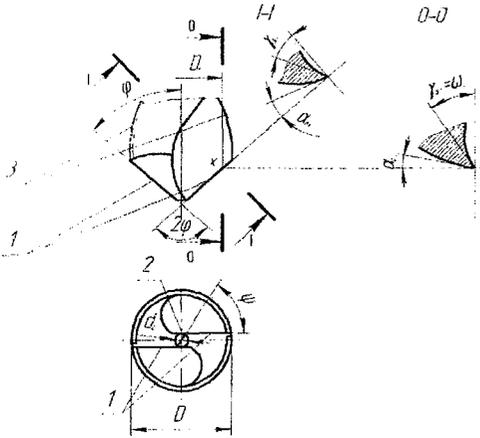


Рисунок 2.2 - Геометрические параметры режущей части сверла

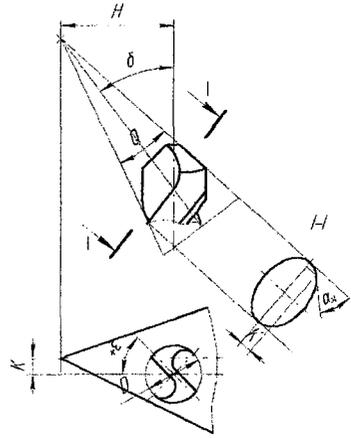


Рисунок 2.3 - Коническая форма задней поверхности спирального сверла

Винтовая форма задней поверхности обеспечивает по сравнению с конической более рациональное распределение задних углов, а поперечная кромка получается более выпуклой, что способствует лучшему самоцентрированию сверла в работе. Двухплоскостная форма обеспечивает хорошее центрирование сверла при врезании и рекомендуется для сверл, применяемых на станках с ЧПУ. Одноплоскостную форму применяют для мелких сверл.

При работе сверла изнашиваются по задней и передней поверхностям, ленточке, углу, образуемому пересечением режущей кромки и ленточки, и по перемычке (рисунок 2.4). Восстановление формы режущей части сверла и его режущих свойств производится затачиванием по задней поверхности.

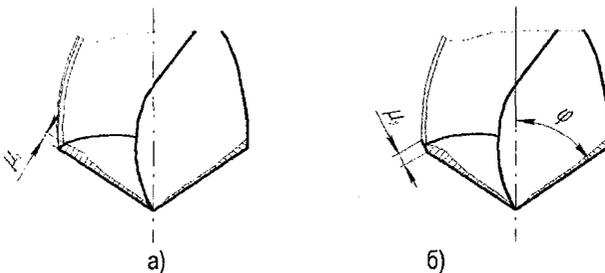


Рисунок 2.4 - Схемы изнашивания спиральных сверл: а) при работе по стали; б) при работе по чугуну.

Оптимальный износ сверл устанавливается в зависимости от обрабатываемого материала и диаметра сверла. За критерий затупления быстрорежущего сверла при обработке чугуна принимают величину износа по уголку μ_{α} . При обработке сталей за критерий затупления принимают износ по задней поверхности μ_{δ} . Оптимальные износ и стачивание сверл в осевом направлении за одну переточку приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.1 – Оптимальный износ и стачивание свёрл.

Диаметр сверла, мм	Обрабатываемый материал					
	Легкие сплавы		Серый чугун, бронза		Сталь, ковкий чугун	
	Износ μ_s , мм	Стачивание q , мм	Износ μ_s , мм	Стачивание q , мм	Износ μ_s , мм	Стачивание q , мм
До 6 мм	0,4	0,7	0,5	0,8	0,6	1,0
Св. 6 до 10	0,5	0,8	0,6	0,9	0,8	1,1
Св. 10 до 15	0,6	0,9	0,7	1,0	0,9	1,3
Св. 15 до 20	0,7	1,0	0,8	1,2	1,0	1,5
Св. 20 до 25	0,8	1,2	0,9	1,4	1,2	1,7
Св. 25	0,9	1,4	1,0	1,6	1,4	2,0

Допустимое стачивание M для коротких сверл из быстрорежущей стали принимается $(0,5 - 0,7)L$, а для длинных – $0,7L$, где L – длина рабочей части сверла.

Для сверл, оснащенных твердым сплавом:

$$M = b - 0,4D \quad (2.5)$$

где b – длина пластинки, мм; D – диаметр сверла, мм.

Число возможных повторных заточек сверла

$$n = \frac{M}{q} \quad (2.6)$$

где q – величина стачивания за одну повторную заточку.

Параметр шероховатости задних поверхностей и поверхностей ленточек сверл из быстрорежущей стали не должен превышать $Ra = 0,63$ мкм (для сверл точного исполнения) и $Ra = 1,25$ мкм (для сверл общего назначения).

Осевое биение режущих кромок, измеренное по их середине, не должно превышать:

- 0,05/0,12 мм – для сверл диаметром до 6 мм,
- 0,10/0,18 мм – диаметром 6 – 10 мм,
- 0,20/0,30 мм – диаметром свыше 10 мм.

В числителе приведено осевое биение для сверл точного исполнения, в знаменателе – для сверл общего назначения.

Радиальное биение (мм) режущих кромок и ленточек не должно превышать значений, приведенных в таблице 2.3

Главные режущие кромки должны быть симметрично расположены относительно оси сверла, их длина должна быть одинакова.

Таблица 2.2 – Значения радиального биения режущих кромок и ленточек.

Диаметр сверла, мм	Сверла с цилиндрическим хвостовиком				Сверло с коническим хвостовиком	
	Короткая серия		Средняя и длинная серии		точного исполнения	общего назначения
	точного исполнения	общего назначения	точного исполнения	общего назначения		
3-10	0,04	0,06	0,06	0,08	0,08	0,12
Св. 10	0,06	0,08	0,08	0,12	0,12	0,16

Отклонения угла при вершине сверла 2ϕ не должны превышать $\pm 2^\circ$, задних углов $\alpha - \pm 1^\circ$, угла поперечной кромки $\psi - \pm 5^\circ$.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

Исследование формообразования винтовых стружечных канавок спиральных сверл

Цель и задачи работы: изучение и исследование взаимосвязи факторов, влияющих на формирование профиля стружечных канавок сверл. В задачи работы входит освоение методики построения поперечного профиля сверла по заданным параметрам режущей части, практическое получение стружечных канавок, проверка соответствия полученного фактического профиля теоретическому, исследование причин отклонений профиля.

Необходимое оборудование, инструменты и приборы. Практическую часть лабораторной работы выполняют на универсально-фрезерном станке с применением универсальных делительных головок Н-100, Н-135 или Н-160 с характеристикой 40.

Для выполнения работы используют заготовки сверл диаметром 25–30 мм и длиной 150 мм, инструментальный микроскоп, штангенрейсмус, дисковые острогатованные фрезы для фрезерования канавок сверл.

Методика выполнения работы

1. По заданному диаметру сверла D , диаметру сердцевинки d_c , углу при вершине 2φ и углу наклона стружечных канавок ω строят торцовое сечение (поперечный профиль) стружечных канавок.

Для построения торцового сечения сверла на режущей кромке задают несколько точек (их число зависит от размера сверла и требуемой точности построения профиля), положение которых определяется радиусом r_1 и углом μ (рисунок 2.5). Винтовое проектирование этих точек на плоскость OXY определяет профиль канавки в торцовом сечении.

Например, если радиус окружности, на которой лежит выбранная точка режущей кромки, равен r_3 , то

$$\sin \mu_3 = \frac{r_c}{r_3}, \quad (2.7)$$

где r_c – радиус сердцевинки сверла.

Ордината и абсцисса каждой выбранной точки

$$y_3 = \frac{r_c}{\operatorname{tg} \mu_3}, \quad (2.8)$$

$$z_3 = y_3 \cdot \operatorname{ctg} \varphi, \quad (2.9)$$

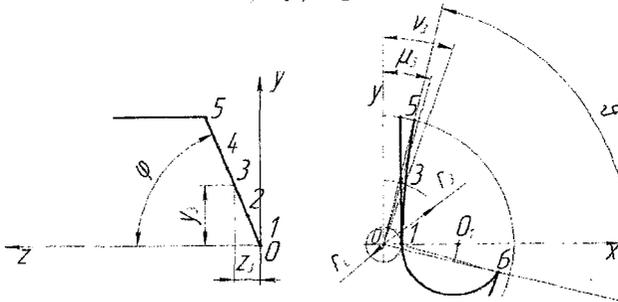


Рисунок 2.5 - Метод построения торцового сечения спирального сверла

Угол поворота при винтовом проецировании, определяющий положение точки для торцового сечения на заданном радиусе,

$$v_3 = \frac{z_3}{p} + \mu_3, \quad (2.10)$$

где $p = T/2\pi$ – параметр винтовой поверхности (T – шаг винтовой канавки).

Для определения координат рабочего участка торцового сечения составляют таблицу 2.4.

Таблица 2.4 – Данные для построения торцового сечения сверла на режущей кромке.

Номер точки	Расчетные значения координат точек				
	r	μ	y	Z	v
1					
2					
3					
4					
...					

По данным таблицы в масштабе 10:1 вычерчивают расчетный теоретический профиль канавки, обеспечивающий прямолинейные режущие кромки сверла.

Профиль нерабочего участка стружечной канавки в торцовом сечении строят следующим образом. Через точки 0 и 5 (рисунок 2.5, б) проводят прямую, от которой откладывают угол $v = 90 - 92^\circ$. Отрезок 1–6 делят пополам и из его середины восстанавливают перпендикуляр до пересечения с осью OX.

Профиль нерабочего участка канавки получают, проведя окружность с центром в точке O1 через точки 1 и 6.

2. Выбирают дисковую острозаточенную фрезу с профилем зубьев, соответствующим параметрам данного сверла. Из-за винтовой поверхности стружечной канавки осевой профиль фрезы не совпадает с торцовым профилем сверла. Профиль фрезы определяют аналитическими, графическими или графоаналитическими способами.

Форма получаемой стружечной канавки зависит не только от профиля фрезы, но и от ее расположения относительно заготовки. Положение фрезы определяется углом ее

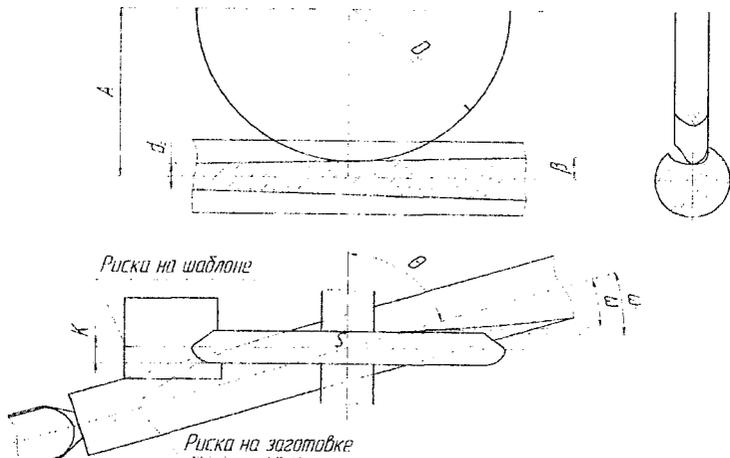


Рисунок 2.6 - Взаимное расположение заготовки сверла и канавочной фрезы при образовании стружечных канавок (шаблон условно показан в плоскости, параллельной оси заготовки)

установки к оси сверла и расстоянием K от базового торца фрезы до точки скрещивания S осей сверла и оправки фрезы (рисунок 2.6). Величину K обычно устанавливают с помощью шаблона.

3. Фрезеруют стружечные канавки на заготовке сверла. Для получения на сверле утолщения сердцевинки по направлению к хвостовику на столе закрепляют чугунную плиту, наклоненную с помощью клиньев на угол β относительно плоскости стола:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\Delta d_c}{200}, \quad (2.11)$$

где Δd_c – утолщение сердцевинки;
 $\Delta d_c = 1,4 - 1,8$ мм на 100 мм длины.

К плите приворачивают болтами делительную головку и заднюю бабку. В лабораторных условиях наклон оси заготовки можно получить подъемом центра задней бабки на необходимую величину.

Для получения винтового движения заготовки шпиндель делительной головки связывают с помощью гитары с ходовым винтом продольного перемещения стола.

Стол фрезерного станка поворачивают на угол ω_1 (рисунок 2.7):

$$\omega_1 = \omega + 1 \dots 2, \quad (2.12)$$

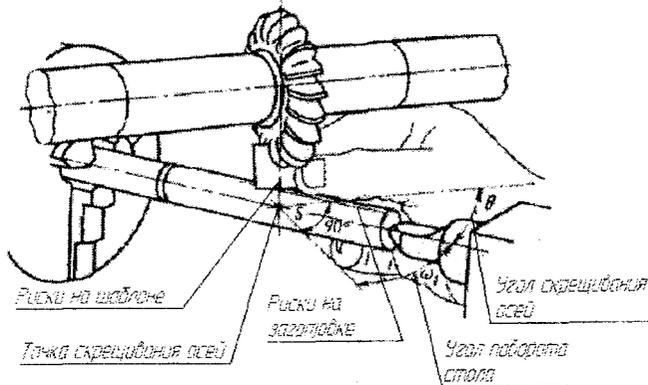


Рисунок 2.7 - Схема установки канавочной фрезы

Для правых винтовых канавок стол поворачивают против часовой стрелки (если смотреть на стол сверху), для левых – по часовой.

На цилиндрической поверхности заготовки сверла вблизи торца рабочей части по высоте оси заготовки штангенрейсмусом наносят горизонтальную риску. После этого заготовку поворачивают вокруг оси с помощью делительной головки на 90° так, чтобы риска оказалась сверху заготовки.

Затем устанавливают заготовку относительно фрезы в исходное положение. Для этого шаблон, охватывающий зуб фрезы, удерживают в прижатом к зубу положении, а заготовку перемещениями стола станка подводят к шаблону так, чтобы риска на шаблоне совпала с риской на заготовке (рисунок 2.7). Производят фрезерование двух канавок.

4. Контроль профиля канавок в торцовом сечении сверла проводят либо на заготовках длиной 15 – 20 мм, либо на отфрезерованных при данной настройке станка коротких валиках, которые устанавливают при обработке вместо заготовки в центрах станка. Валик может быть сделан из легкообрабатываемого материала.

Параметры профиля канавок в торцовом сечении после фрезерования определяют по координатам на инструментальном микроскопе. Полученные данные заносят в таблицу 2.5.

Таблица 2.5 – Параметры профиля канавок.

Точка	Первая канавка		Вторая канавка	
	X	У	X	У
1				
2				
3				
...				
n				

По данным таблицы на чертежах теоретического профиля сверла наносят фактический профиль, полученный при фрезеровании. Сравнивая их форму, оценивают возможность получения прямолинейных режущих кромок при фактическом профиле канавки.

Содержание отчета

В отчете по работе должны быть приведены: формулировка задания, исходные данные, расчет и построение торцового сечения заданного сверла, выбор канавочной фрезы и схема ее установки, необходимые данные для настройки станка и режимы обработки, результаты контроля полученного профиля канавок сверла в торцовом сечении, сравнение заданного и полученного профилей, их анализ и заключение по работе.

Вопросы для контроля

1. Что определяет форму поперечного сечения канавок сверла?

Варианты ответов:

1) угол в плане, диаметр сердцевины, задний угол; 2) угол наклона канавок, диаметр сердцевины, угол в плане; 3) передние и задние углы; 4) угол наклона поперечной режущей кромки; 5) шаг стружечных канавок и задний угол.

2. На какой угол поворачивают стол универсального горизонтально-фрезерного станка при фрезеровании канавок сверл с углом наклона 25°?

Варианты ответов:

1) 23°; 2) 25°; 3) 26°; 4) 64°; 5) 66°.

Дополнительный вариант выполнения лабораторной работы

Погрешности установки и деформации системы станок – приспособление – инструмент – заготовка при фрезеровании приводят к погрешностям формообразования профиля винтовых канавок. Основные из них можно проанализировать, изменяя отдельные параметры настройки.

Отклонения угла поворота стола ω_1 и расстояния К от расчетных значений влияют на подрез профиля на участке b_c в рабочей точке с (см. рисунок 2.7) форму режущей кромки и угол канавки u .

Выполняя работу по исследованию влияния параметров установки на указанные характеристики профиля, стружечные канавки фрезеруют:

а) с заданными параметрами установки;

б) с углами поворота стола $\omega'_1 = \omega_1 + 5^\circ$ и $\omega''_1 = \omega_1 - 5^\circ$;

в) с расстояниями $K' = K + 0,15D$ и $K'' = K - 0,15D$, где D - диаметр заготовки.

Определив координаты профиля канавки на инструментальном микроскопе для каждого варианта и построив в увеличенном масштабе совмещенные профили, делают анализ влияния изменения параметров установки на результаты фрезерования. Анализ должен содержать контроль профиля стружечных канавок и определение формы и положения режущей кромки сверла, а также оценку изменения жесткости и прочности сверла, расчет площади канавки для размещения стружки и другие вопросы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Изучение и исследование формообразования режущей части спиральных сверл

Цель и задачи работы: изучение конструкции спирального сверла и методов формообразования его задней поверхности. В задачи работы входит изучение кинематики образования конических и винтовых задних поверхностей сверл на различном оборудовании, получение заданных параметров и исследование их взаимосвязи, сравнение форм задних поверхностей сверл, определение числа периодов стойкости, контроль точности и геометрии сверла.

Необходимое оборудование и приборы. Работу можно выполнять на станках для затачивания сверл модели ЗБ653 (для образования конических задних поверхностей), ЗБ659М или ЗГ653 (для образования винтовых задних поверхностей), а также на других подобных станках. Для выполнения работы требуются: спиральные сверла диаметром 20 – 30 мм, шпиндельная головка со шкалой углов поворота сверла, индикатор часового типа со стойкой, универсальный угломер.

Методика выполнения работы

1. Выбирают два одинаковых спиральных сверла, одно из которых предназначено для образования конической формы задних поверхностей, а второе – для винтовой. Задают исходные геометрические параметры: задний угол α , угол при вершине 2φ .

2. Осуществляют формообразование конических задних поверхностей первого сверла. По заданным параметрам (углам α и 2φ) для выбранного сверла производят наладку станка ЗБ653. При обработке на этом станке ось конуса, образующего заднюю поверхность (см. рисунок 2.8) наклонена по отношению к оси сверла под углом $\delta = 45^\circ$, а вершина конуса расположена выше вершины сверла и смещена относительно ее на расстояние $H = (1,8 \div 1,9)D$. В торцовой плоскости вершина сверла смещена на расстояние K , от значения которого зависит значение заднего угла. Если $K = 0$, то задние углы на всей длине режущей кромки будут отрицательными. Если K равно радиусу сердцевины сверла, то задние углы на всей длине режущей кромки будут равны нулю. В обоих случаях резание сверлом будет невозможно, поэтому расстояние K выбирают обычно $(0,5 \div 0,7)D$. Значение задних углов будет тем больше, чем больше величина смещения K . Значение задних углов на длине режущей кромки будет переменное, наименьшее значение находится на периферийной части сверла ($\alpha = 8 \div 9^\circ$), наибольшее – на участке, прилегающем к сердцевине сверла ($\alpha = 20 \div 25^\circ$).

Для обработки задних поверхностей в сверлодержателе (рисунок 2.8) устанавливают сменную подвижную

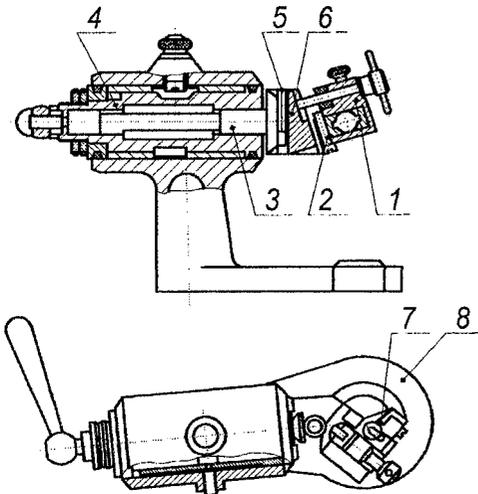


Рисунок 2.8 - Сверлодержатель станка для заточки спиральных сверл ЗБ653

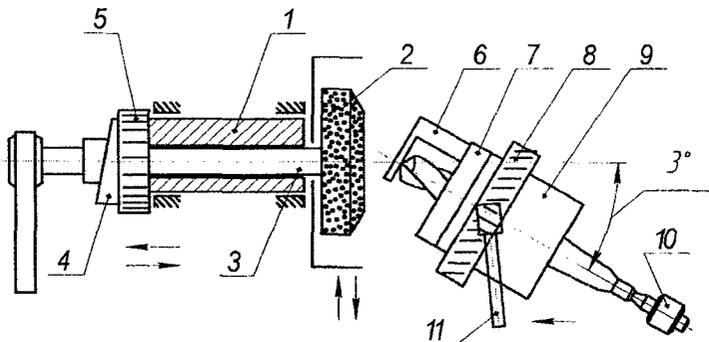


Рисунок 2.9 - Схема формообразования задней поверхности сверла на станке 3659М

губку, соответствующую диаметру данного сверла. Губку фиксируют скобой 1 с помощью винта 2. Продольный упор 8 устанавливают на шкале, нанесенной на держателе, в соответствии с диаметром обрабатываемого инструмента. Сверлодержатель разворачивают на оппорте в соответствии с заданным углом при вершине сверла.

Сверло устанавливают в призму и ориентируют по продольному 8 и боковому 7 упорам. Коническую заднюю поверхность образуют качением сверлодержателя вместе со сверлом при вращении оси 3 во втулке 4. Режимы обработки даны в приведенных выше общих рекомендациях. Для обработки используют шлифовальный круг ПП125×16×32 24А25НС17К5.

В том случае, если угол наклона перемычки не соответствует заданному, для его увеличения боковой упор 7 необходимо приподнять, а для уменьшения – опустить.

Регулировку значения заднего угла производят перемещением в вертикальном направлении держателя 6 по торцу паза оси 3 с помощью установочного винта 5. При необходимости увеличения заднего угла держатель, перемещается вниз, для уменьшения – вверх.

3. Формообразуют винтовые задние поверхности второго сверла. Винтовая форма задних поверхностей может быть получена с использованием различных сочетаний движений сверла и шлифовального круга на различном оборудовании, в частности, на станках 3659М и 3Г653.

А. При обработке винтовых задних поверхностей сверла на станке 3659М (рисунок 2.9) для образования заданных геометрических параметров служат пять движений:

1. Возвратно-поступательное движение гильзы 1 шпиндельной бабки и шлифовального круга 2 в направлении, параллельном его оси, осуществляемое с помощью кулачков 4, расположенных на торце гильзы 1 и служащих для образования задних поверхностей.

2. Планетарное движение шпинделя с кругом в плоскости, перпендикулярной к его оси, обеспечивающее перемещение рабочей поверхности шлифовального круга вдоль режущей кромки сверла, а также в вертикальном направлении. При этом образуется заострение поперечной режущей кромки сверла. Планетарное движение шлифовального круга 2 осуществляется за счет эксцентричного расположения оси 3 шпинделя шлифовального круга по отношению к оси гильзы 1 при вращении последней в подшипниках шпиндельной бабки. Вращение гильзы осуществляется через шестерню 5.

3. Вращение патрона с зажатым инструментом вокруг его оси, кинематически связанное (через передачу 8 – 11) с вращением гильзы, планетарным движением гильзы и планетарным движением круга.

4. Перемещение к кругу на величину подачи патрона 7 с обрабатываемым инструментом.

5. Вращение шлифовального круга вокруг своей оси с заданной скоростью резания.

Первые три движения связаны между собой кинематически и служат для формообразования задней поверхности на инструменте. Кроме того, первое движение обеспечивает равномерный характер изнашивания круга.

Перед обработкой производят установку сверла. Каретку станка, несущую патрон и сверло, разворачивают около вертикальной оси по шкале на требуемый угол при вершине сверла 2φ . Сверло в патроне устанавливают по специальной откидной упорке δ , закрепленной шарнирно на торце патрона. При настройке упорку устанавливают перпендикулярно торцу патрона. Для установки сверла в корпусе упорки предусмотрена подвижная планка, перемещающаяся по шкале. Планку устанавливают относительно шкалы с помощью винта на размер, равный диаметру сердцевины затачиваемого сверла. Закрепленное сверло упирают вершиной во внутреннюю поверхность упорки, а режущую кромку устанавливают на поверхность планки. С помощью такой установки обеспечивают постоянный заданный вылет сверла и заданную угловую ориентацию в патроне, при которых формообразующие движения круга будут согласованы с расположением зубьев сверла. После окончания установки упорку ставят на прежнее место. Шлифование производят кругом ПВ 300×200×75 25A40НСМ27К5, на торце которого заправлен конический участок с углом 156° . Ось сверла наклонена в вертикальной плоскости под углом 3° к оси круга. Обработку осуществляют в полуавтоматическом режиме в соответствии с инструкцией к станку.

Задние углы сверла в нормальном α_n и осевом α_o сечениях:

$$\operatorname{tg} \alpha_o = \frac{2k \cdot \cos 12^\circ}{\pi r \cdot \sin \varphi \cdot \cos \tau}, \quad (2.13)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \frac{2k \cdot \cos 12^\circ}{\pi r}, \quad (2.14)$$

где k – одно из трех положений кулачков, указанных на станине станка;

r – расстояние от оси сверла до точки, для которой определяется задний угол;

$\tau = 3^\circ$ – угол наклона оси сверла к горизонтальной плоскости.

Задаваясь величиной заднего угла α_n или α_o , определяют ход кулачка, округляя его до величины, указанной на станине станка.

Б. При обработке на станке-полуавтомате ЗГ653 формообразование винтовой поверхности обеспечивается следующими движениями (рисунок 10): вращением шлифовального круга вокруг своей оси; осцилляцией круга вдоль своей оси; вращением затачиваемого инструмента вдоль своей оси; качанием затачиваемого инструмента перпендикулярно своей оси (осцилляцией); возвратно-поступательным движением затачиваемого инструмента вдоль своей оси; перемещением шлифовальной бабки на обрабатываемый инструмент перпендикулярно оси шпинделя шлифовального круга.

Настройку затачиваемого сверла, заключающуюся в установке его вылета и угловой ориентации, производят в ориентирующем устройстве в соответствии с инструкцией к станку. Затем устанавливают время выхаживания, величину снимаемого припуска, направление винтовой канавки и обрабатывают заднюю поверхность сверла.

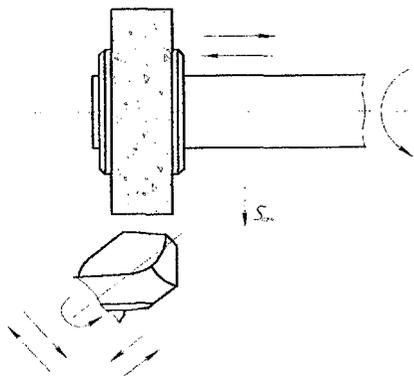


Рисунок 2.10 – Схема формообразования задней поверхности сверла на станке ЗГ653

4. Производят контроль задних углов, осевого биения режущих кромок, угла при вершине и угла наклона поперечной режущей кромки сверл с конической и винтовой формой задних поверхностей.

Контроль угла при вершине сверла 2φ и угла наклона поперечной режущей кромки φ осуществляют универсальным угломером (рисунок 2.11) или шаблоном (рисунок 2.12).

Задний угол и биение режущих кромок контролируют с помощью индикатора при вращении сверла, устанавливаемого в шпиндельную головку, с фиксированием угла поворота шпинделя.

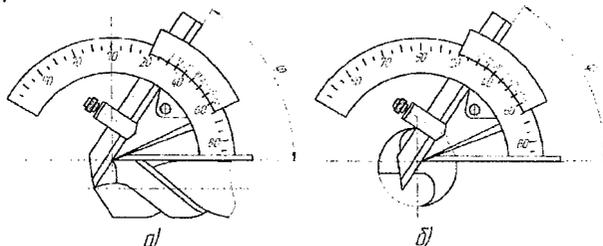


Рисунок 2.11 - Контроль геометрических параметров спиральных сверл с помощью универсального угломера: а) угла в плане б) угла наклона поперечной режущей кромки φ .

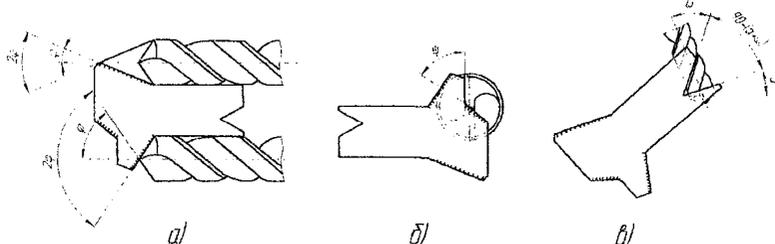


Рисунок 2.12 - Контроль геометрических параметров спирального сверла с помощью комбинированного шаблона: а) угла при вершине; б) угла наклона поперечной кромки; в) угла заострения.

При контроле заднего угла в нормальном сечении измерительную ножку индикатора устанавливают с натягом вблизи режущей кромки в точке М на расстоянии ρ от оси сверла (рисунок 3.5). Ось ножки располагают перпендикулярно к задней поверхности сверла. В положении I шкалу индикатора ставят на нуль. На заднем торце шпинделя имеется лимб отсчета углов поворота сверла. В установленном положении записывается показание лимба. Затем сверло поворачивают вокруг его оси на угол $\eta = 8-10^\circ$ в положение II и фиксируют величину a . После поворота сверла на угол η ножка индикатора займет положение в точке М2.

Задний нормальный угол

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \frac{a \cdot 180}{\pi \rho \eta} \quad (2.15)$$

Задний угол в цилиндрическом сечении

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{\operatorname{tg} \alpha_n}{\sin \varphi} \quad (2.16)$$

Задний угол контролируют в трех – четырех точках на режущей кромке для сверл с конической и винтовой формой задних поверхностей. На основе полученных данных строят график зависимости $\alpha=f(\rho)$ для каждого сверла.

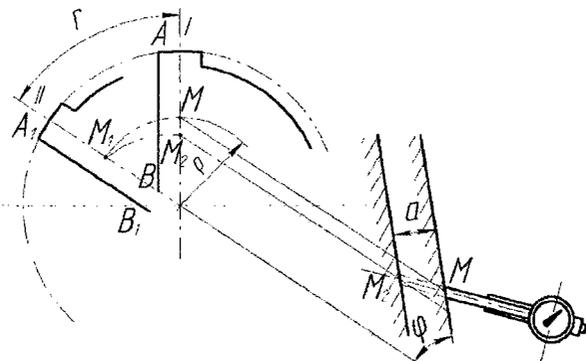


Рисунок 2.13 - Схема контроля заднего угла сверла

5. Рассчитывают число периодов стойкости сверл, принимая их износ равным критерию затупления (см. таблицу 2.6).

Таблица 2.6 – Оптимальный износ и стачивание сверл.

Диаметр сверла, мм	Обрабатываемый материал					
	Легкие сплавы		Серый чугун, бронза		Сталь, ковкий чугун	
	Износ μ_z , мм	Стачивание q , мм	Износ μ_z , мм	Стачивание q , мм	Износ μ_z , мм	Стачивание q , мм
До 6 мм	0,4	0,7	0,5	0,8	0,6	1,0
Св. 6 до 10	0,5	0,8	0,6	0,9	0,8	1,1
Св. 10 до 15	0,6	0,9	0,7	1,0	0,9	1,3
Св. 15 до 20	0,7	1,0	0,8	1,2	1,0	1,5
Св. 20 до 25	0,8	1,2	0,9	1,4	1,2	1,7
Св. 25	0,9	1,4	1,0	1,6	1,4	2,0

6. На основании полученных данных анализируют особенности геометрии сверл с конической и винтовой формой задних поверхностей. По биению и отклонениям углов определяют точность сверл и их соответствие техническим требованиям.

Содержание отчета

Отчет должен содержать формулировку цели и задач работы, исходные данные, эскиз режущей части сверла, схемы формообразования конических и винтовых задних поверхностей, расчетные и установочные данные, результаты контроля, график изменения задних углов, результаты анализа и заключение по выполненной работе.

Вопросы для контроля

1. На каком расстоянии от оси сверла находятся главные режущие кромки, если диаметр сердцевины сверла $d_c = 2,8$ мм?

Варианты ответов:

1) 0,4; 2) 0,6; 3) 0,8; 4) 1,4; 5) 1,6.

2. По какой поверхности затачивают спиральные сверла?

Варианты ответов:

1) по задней; 2) по спинке зуба; 3) по передней; 4) по уголкам; 5) по передней и задней.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

Исследование конструкций спиральных сверл

Цель работы:

1. Изучить конструкцию и геометрию спирального сверла.
2. Приобрести навыки измерения конструктивных элементов и основных углов сверла.

Назначение спиральных сверл

Спиральное сверло представляет собой многолезвийный режущий инструмент, предназначенный для образования отверстий в сплошном материале или для увеличения (рассверливания) диаметра предварительно изготовленного (сверлением, литьем, ковкой, штамповкой и др.) отверстия.

При сверлении получают 5-4 класс точности поверхности отверстий.

Процесс сверления отверстий осуществляется при двух совместных движениях:

- а) вращательном сверла или детали (иногда одновременно детали и сверла);
- б) поступательном сверла вдоль оси обрабатываемого отверстия.

Конструктивные элементы спирального сверла

Сверло состоит из двух основных частей: рабочая часть и крепежная часть (рисунок 2.14).

I. РАБОЧАЯ ЧАСТЬ включает в себя режущую и направляющую части.

а) Режущая часть сверла (заборный конус) выполняет основную работу резания.

б) Направляющая часть обеспечивает направление сверла в отверстии при сверлении.

II. КРЕПЕЖНАЯ ЧАСТЬ предназначена для закрепления сверла и для передачи крутящего момента от шпинделя станка.

Она состоит из конического хвостовика и лапки или цилиндрического хвостовика и поводка (рисунок 2.14).

Конический хвостовик служит для установки и закрепления сверла в коническом отверстии шпинделя станка. (При не совпадении размеров конуса хвостовика с размерами отверстия в шпинделе станка применяют переходные конические втулки).

Лапка является упором при выбивании сверла из шпинделя станка.

Цилиндрический хвостовик предназначен для закрепления сверла в специальном патроне, укрепленном на шпинделе станка.

Поводок исключает поворот сверла в патроне.

Промежуточную часть между рабочей и крепежной называют шейкой. Она служит для выхода шлифовального круга при шлифовании сверла.

Основные элементы рабочей части сверла (рисунок 2.14, 2.15).

Передняя поверхность (рисунок 2.15, I) - часть поверхности винтовой канавки, по которой сходит стружка.

Задняя поверхность (рисунок 2.15, II) - торцовая поверхность зуба сверла. Задняя поверхность, в зависимости от способа заточки, может быть конической, винтовой, цилиндрической или плоской.

Ленточка (рисунок 2.14, 2.15) - узкая полоска на зубе сверла, расположенная вдоль винтовой канавки, служит для направления сверла и уменьшения трения сверла об обрабатываемую поверхность.

Спинка (загылок) зуба (рисунок 2.15, III).

Сердцевина (диаметр d_s , рисунок 2.15)

Режущие лезвия сверла:

а) главное режущее лезвие - линия пересечения передней и задней поверхностей, у сверла два главных режущих лезвия (2-3 и 4-5, рисунок 2.15);

б) поперечное режущее лезвие (перемычка) – линия пересечения обеих задних поверхностей (3 - 4, рисунок 2.15);

в) вспомогательное режущее лезвие – пересечение передней поверхности с поверхностью ленточки. У сверла два вспомогательных лезвия (по числу ленточек, 2-1; 5-6, рисунок 2.15);

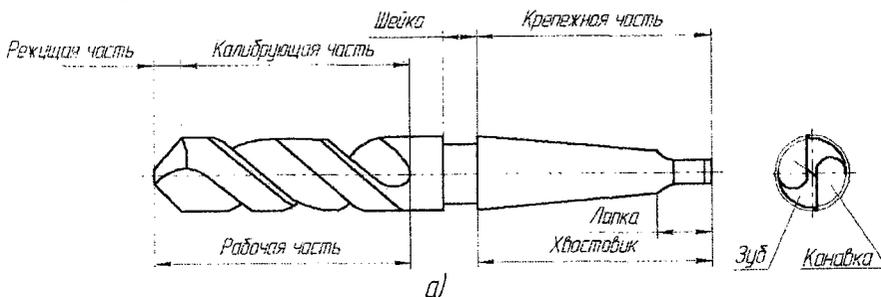


Рисунок 2.14 - Основные элементы рабочей части сверла.

Углы рабочей части сверла (рисунок 2.15)

Угол наклона винтовой канавки ω - между направлением оси сверла и касательной к ленточке.

В зависимости от диаметра сверла $\omega = 18-30^\circ$, меньшие значения угла ω соответствуют меньшим диаметрам сверла.

Угол наклона поперечного режущего лезвия ψ – между проекциями поперечного и главного режущего лезвия на плоскость, перпендикулярную оси сверла. Угол ψ обычно равен 55° .

Угол при вершине сверла 2ϕ между главными режущими лезвиями. У сверл, предназначенных для сверления стали и чугуна $2\phi = 116 - 120^\circ$.

Передний угол γ – между касательной к передней поверхности в рассматриваемой точке режущего лезвия и нормалью в той же точке к поверхности вращения главного режущего лезвия вокруг оси сверла.

Угол γ рассматривается в плоскости N-N, перпендикулярной к главному режущему лезвию. В каждой точке режущего лезвия угол γ является величиной переменной. Наибольшее значение угол γ имеет на периферии сверла, где в плоскости, параллельной оси сверла он равен углу наклона винтовой канавки (в т. 2 и в т. 5 $\gamma_2 = \gamma_5 = \omega$).

Задний угол α – между касательной к задней поверхности в рассматриваемой точке режущего лезвия и касательной в той же точке к окружности ее вращения вокруг оси сверла. Угол α рассматривается в плоскости 0-0, параллельной оси сверла.

Величина угла α , так же как и угла γ , переменна в каждой точке режущего лезвия. В отличие от угла γ , наибольшие значения α находятся в точках лезвия, расположенных у сердцевин ($\alpha = 20^\circ - 27^\circ$), наименьшие значения – на периферии ($\alpha = 8^\circ - 14^\circ$) сверла.

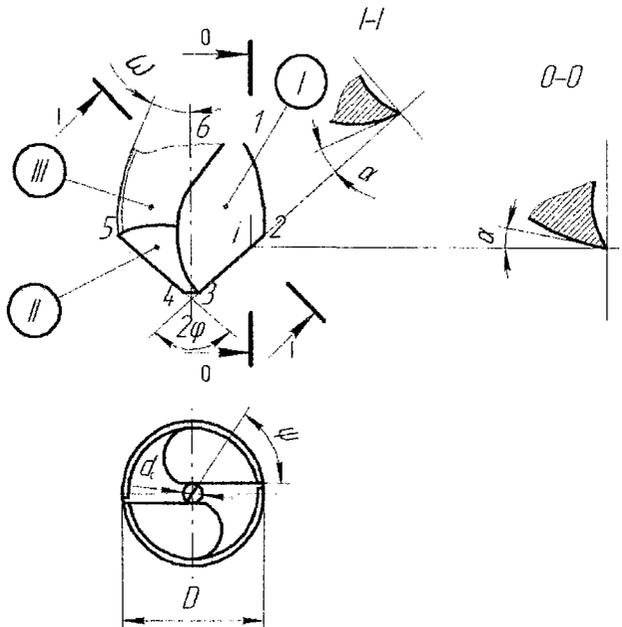


Рисунок 2.15 – Углы рабочей части сверла.

Измерение конструктивных элементов и углов сверла

1. Диаметр сверла (D) измеряют штангенциркулем или микрометром между ленточками непосредственно вблизи режущей части.

Измеряют также диаметр сверла около хвостовика (D_1) с целью определения угла обратного конуса ϕ_1

Угол ϕ_1 определяют по формуле:

$$\phi_1 = \arctg\left(\frac{D - D_1}{2 \cdot l}\right); \quad (2.17)$$

где $(D - D_1)/2$ – полуразность диаметров сверла, измеряемых на расстоянии l от вершины (для упрощения расчетов значение l выбирают равным 100 мм).

2. Длину всего сверла (L) и рабочей части (L_p) измеряют линейкой или штангенциркулем.

3. Диаметр сердцевин (d_c) измеряют кронциркулем непосредственно у самой вершины сверла, а также около хвостовика (d_c'). Для увеличения прочности сверла $d_c' > d_c$.

4. Угол наклона винтовой канавки ω измеряют по отпечатку, полученному при прокатывании сверла по листу бумаги через копировальную бумагу.

Значения "а" и "в" получают" непосредственно замером на бумаге, для простоты подсчета следует брать в = 100 мм.

$$\omega = \arctg \left(\frac{a}{\hat{a}} \right) \quad (2.18)$$

5. Угол наклона поперечного режущего лезвия ψ измеряют универсальным угломером или по отпечатку на листе бумаги главного и поперечного режущих лезвий.

6. Угол при вершине сверла 2ϕ измеряют универсальным угломером.

7. Задний угол α измеряется в различных точках режущего лезвия на специальном приборе.

Прибор состоит из плиты 1, на которой укреплен патрон 2 с лимбом 3. Индикатор 4, установленный на суппорте 5, имеет возможность перемещаться в горизонтальной плоскости по двум взаимно перпендикулярным направлениям при помощи маховиков с лимбами 6 и 7.

Для измерения угла α сверло 8 устанавливают в патроне 2. Штифт индикатора 4 выводят на ось сверла при помощи маховика 7. Задавшись определенным диаметром, например d_1 (рисунок 2.16), перемещают штифт индикатора на величину $d_1/2$ от оси сверла при помощи маховика 7 (отсчет величины $d_1/2$ ведется по лимбу маховика 7). Затем при помощи маховика 6 подводят штифт индикатора до контакта с главным режущим лезвием в точке 1 (рисунок 2.16) и дают небольшое натяжение индикатору.

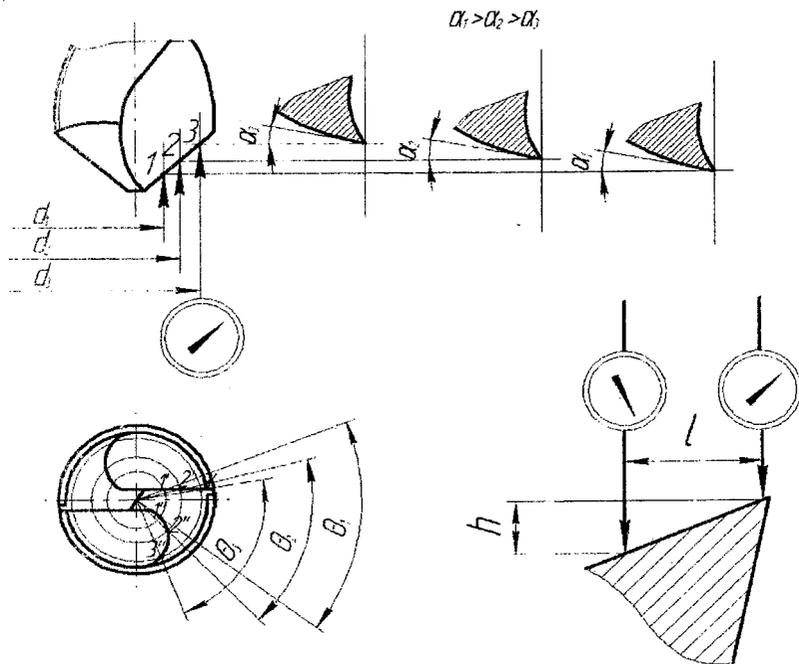


Рисунок 2.16 – Углы рабочей части сверла.

При повороте сверла на угол θ_1 (величина θ_1 фиксируется по лимбу 3) регистрируют по индикатору 4 величину падения затылки h_1 .

По данным опыта подсчитывают длину дуги l_1 , соответствующей повороту сверла на угол θ_1 :

$$l_1 = \frac{\pi \cdot d \cdot \theta_1}{360}; \quad (2.18)$$

где l_1 - длина дуги на диаметре d_1 ;

θ_1 - угол поворота сверла при контакте штифта индикатора в точке 1.

Задний угол сверла в т. 1 режущего лезвия может быть приближенно определен по формуле:

$$\alpha_1 = \arctg\left(\frac{h_1}{l_1}\right); \quad (2.19)$$

где h_1 - показания индикатора при повороте сверла на угол θ_1 .

Аналогично поступают при измерении заднего угла в других точках режущего лезвия сверла (например, 2, 3, ...).

В общем случае для любой точки i на главном режущем лезвии угол α_1 может быть определен по формуле:

$$\alpha_1 = \arctg \frac{360 \cdot h_i}{\pi \cdot d_i \cdot \theta_i} \quad (2.20)$$

Передний угол γ в различных точках лезвия подсчитывают по формуле:

$$\gamma_i = \arctg \frac{d_i \cdot \operatorname{tg} \omega}{D \cdot \sin \varphi_i}; \quad (2.21)$$

где d_i - диаметр сверла, на котором расположена точка i ;

D - наружный диаметр сверла.

Порядок проведения работы

Изучить конструктивные элементы и геометрию сверла.

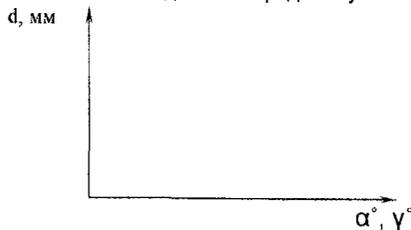
Начертить в отчете эскиз сверла и эскиз геометрии сверла (рисунок 2.14,а и рисунок 27).

Произвести обмер спирального сверла. Результаты обмера занести в таблицу следующей формы.

Таблица 2.7 – Результаты обмера спирального сверла.

Конструктивные элементы сверла									
Диаметр, мм		Длина, мм				Диаметр сердцевины, мм			
D	D_1	L	L_p			d_c	d_c'		
Углы сверла									
$2\varphi^\circ$	ω°	ψ°	φ_1°	$d(1,2,3...), \text{мм}$	$\theta^\circ(1,2...)$	$h(1,2...), \text{мм}$	$\alpha^\circ=f(d)$	$\gamma^\circ=f(d)$	

Построить графики зависимости заднего и переднего углов от диаметра сверла.



III. ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ЗЕНКЕРОВ И РАЗВЕРТОК

Зенкеры и развертки относятся к режущим инструментам для получистовой и чистой обработки отверстий, которые предварительно получены в детали тем или иным способом.

Зенкеры применяют для обработки отверстий с допусками Н11, Н12. В зависимости от назначения и условий обработки зенкеры имеют различные конструкции. На рисунок 4.1 показан хвостовой зенкер из быстрорежущей стали, имеющий винтовые передние и задние поверхности. Главный угол в плане у зенкера $\varphi = 60^\circ$. Для повышения стойкости при обработке стали зенкер часто снабжают переходной кромкой, расположенной под углом 30° . Передний и задний углы зенкера задают в точке, наиболее удаленной от оси зенкера. Передний угол для обработки стали и чугуна $\gamma = 6-12^\circ$, для обработки цветных металлов и сплавов $\gamma = 20-30^\circ$. Задний угол зенкера $\alpha = 6-10^\circ$. Твердосплавные зенкеры имеют обычно двухплоскостную форму задней поверхности.

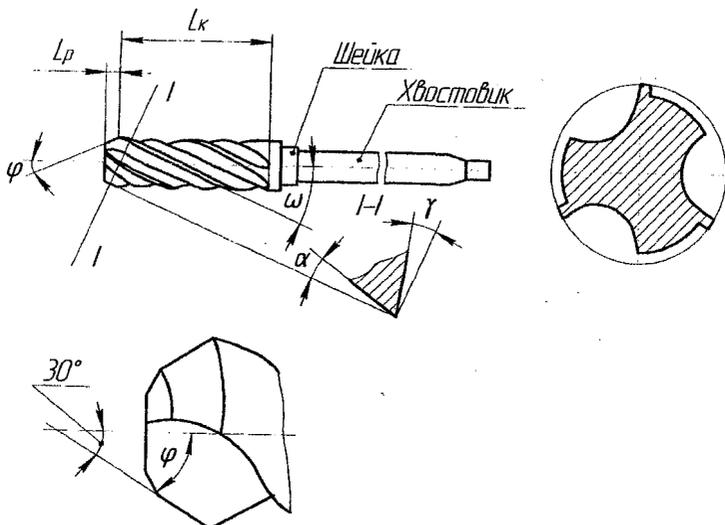


Рисунок 3.1 - Зенкер с коническим хвостовиком.

Характер изнашивания зенкеров зависит от обрабатываемого материала. При обработке деталей из чугуна для зенкеров из инструментальной стали лимитирующим является износ μ_γ по уголкам. При обработке деталей из стали лимитирующим износом является износ по ленточке μ_n (рисунок 3.2)

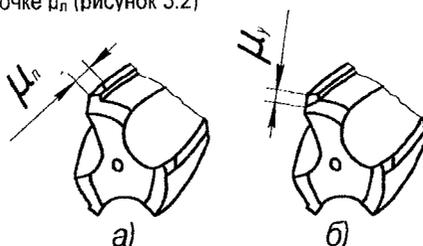


Рисунок 3.2— Характер лимитирующего износа зенкеров:
а – при обработке стали; б – при обработке чугуна.

Средние величины износа зенкеров при обработке стали $\mu_z = 1,0-1,2$ мм, а при обработке чугуна $\mu_y = 0,8-1,5$ мм. Твердосплавные зенкеры изнашиваются главным образом по задней поверхности и уголкам. Допустимые величины износа по задней поверхности для зенкеров диаметром до 20 мм $\mu_z = 1,0$ мм; св. 20 до 40 мм $\mu_z = 1,2$ мм; св. 40 до 60 мм $\mu_z = 1,4$ мм; св. 60 мм $\mu_z = 1,6$ мм.

Для восстановления режущей способности зенкеры необходимо затачивать по задней поверхности перьев (зубьев). При затачивании снимается весь затупленный участок и для полной гарантии качества заточки – дополнительный слой толщиной 0,2мм.

Развертки (рисунок 3.3) предназначены для чистовой обработки отверстий после сверления, зенкерования или растачивания и обеспечивают допуски Н6 – Н11 и параметры шероховатости поверхности $R_a = 2,5-0,16$ мм. Передний угол у разверток обычно $\gamma = 0^\circ$, а задний угол $\alpha = 6-10^\circ$. Главный угол в плане у машинных разверток выбирается в пределах от 5 до 45° , наиболее распространен $\gamma = 15^\circ$, у ручных разверток $\gamma = 1-1,5^\circ$.

При изготовлении разверток окончательное формообразование режущих и калибрующих частей проводят заточкой по передней и задней поверхностям. В процессе резания развертка изнашивается по задней поверхности в месте перехода режущей части в калибрующую (рисунок 3.4). Допустимая величина износа у быстрорежущих разверток $\mu_z = 0,3-0,8$ мм, у твердосплавных разверток $\mu_z = 0,1-0,3$ мм.

При восстановлении режущих свойств разверток обычно их затачивают по задней поверхности.

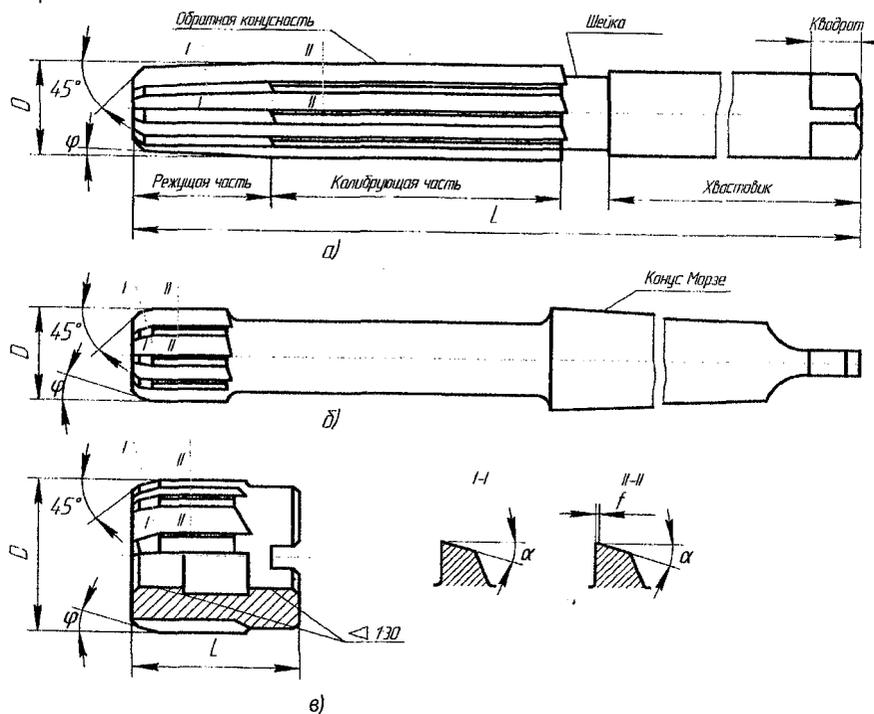


Рисунок 3.3 - Развертки: а – ручная; б – машинная хвостовая; в – машинная насадная

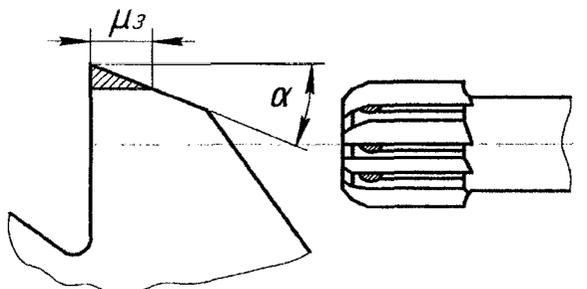


Рисунок 3.4 - Характер изнашивания разверток.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Изучение формообразования и исследование геометрических параметров режущей части зенкеров

Цель и задачи работы: практическое изучение основных конструктивных параметров зенкеров. В задачи работы входят изучение методов и средств формирования и контроля винтовых задних поверхностей зенкеров и исследование их геометрических параметров.

Необходимое оборудование, инструменты и приборы. Лабораторную работу выполняют на универсально-заточном станке с использованием шлифовального круга соответствующей характеристики. Для выполнения работы требуются зенкеры диаметром 20-30 мм, специальное приспособление для затачивания винтовых задних поверхностей с набором кулачков к нему, специальное приспособление для контроля, стойка с индикатором, штангенциркуль.

Методика выполнения работы

1. Для формообразования винтовой задней поверхности и получения необходимых задних углов зенкер устанавливают и закрепляют в шпинделе специальное приспособления (рисунок 3.5).

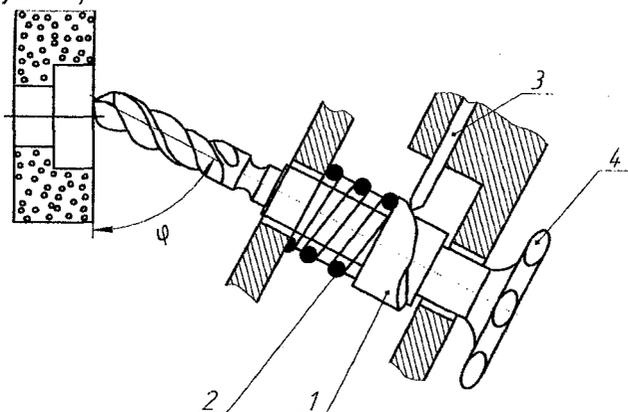


Рисунок 3.5 – Схема формообразования винтовых задних поверхностей зенкера

Зенкер, установленный в этом приспособлении, совершает относительно шлифовального круга винтовое движение, создаваемое кулачком 1, имеющим торцовую винтовую поверхность определенного шага.

При повороте маховичка 4 зенкер начинает вращаться. Упор 3, закрепленный в корпусе приспособления, скользя по винтовой поверхности кулачка, заставляет зенкер, преодолевая сопротивление пружины 2, перемещаться в осевом направлении. В результате сочетания этих движений (вращательного и поступательного) задние поверхности зенкера приобретают винтовую форму.

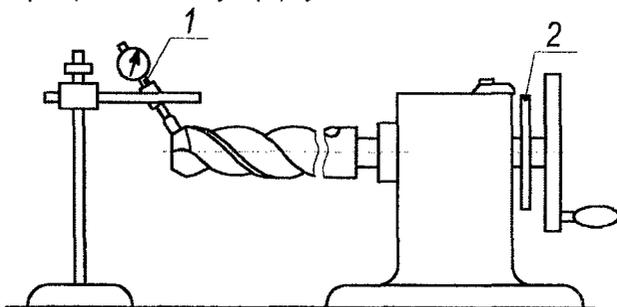


Рисунок 3.6 – Схема измерения заднего угла зенкера:
1 – индикатор; 2 – диск для отсчета угла поворота

Приспособление снабжено комплектом сменных кулачков. Шаги винтовых поверхностей кулачков равны 5, 7, 9, 13 и 17 мм. Кулачки позволяют после затачивания получать необходимые задние углы у зенкеров с различными диаметрами.

2. Необходимый шаг винтовой поверхности кулачка, мм,

$$P = \pi \cdot D \cdot \operatorname{tg} \alpha_0, \quad (3.1)$$

где D – диаметр зенкера; α_0 – задний угол зенкера в осевом сечении.

По полученному результату выбирают кулачок с шагом винтовой поверхности, наиболее близким к расчетному и устанавливают его в приспособлении. Если задний угол зенкера α_n задан в нормальном сечении, то находят его значение в осевом сечении по формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{\operatorname{tg} \alpha_n}{\sin \varphi_0} \quad (3.2)$$

3. Зенкер устанавливают относительно круга (рисунок 3.1), закрепляют стол станка от продольного перемещения и затачивают зубья. Деление на зуб производят с помощью делительного диска приспособления. Поперечную подачу осуществляют поперечным перемещением стола. Обработку ведут на режимах и с применением кругов, указанных в общих рекомендациях.

4. Исходя из выбранной допустимой величины износа и размеров зенкера, определяют число периодов его стойкости. Величина допустимого стачивания хвостовых зенкеров равна 0,7 от длины рабочей части. Число периодов стойкости у хвостовых и насадных зенкеров определяют так же, как и у сверл, а у твердосплавных – как у торцовых твердосплавных фрез.

5. После образования задних поверхностей измеряют задние углы, биение главных режущих кромок и главный угол в плане.

Для измерения заднего угла зенкер закрепляют в приспособлении для контроля, затем перпендикулярно к его задней поверхности устанавливают с натягом измерительный наконечник индикатора (рисунок 3.6). Точку контакта измерительного наконечника располагают как можно ближе к режущей кромке зенкера. В этом положении зенкер поворачивают вокруг оси на угол $\tau = 10 - 15^\circ$; отмечая показания a индикатора. Задний угол зенкера в осевом сечении

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{a}{\rho \cdot \tau \cdot \sin \varphi \cdot 0,01745} \quad (3.3)$$

где a – показание индикатора, мм;

ρ – радиус, мм, определяющий сечение, в котором измеряется задний угол;

τ – угол поворота зенкера, $^\circ$;

φ – главный угол в плане, $^\circ$.

Допустимое отклонение заднего угла от заданного значения $\pm 2^\circ$.

С целью изучения характера изменения задних углов их значения определяют в трех-четырех точках режущей кромки. По полученным данным строят график, по оси ординат которого откладывают величины радиусов точек, в которых измерялся задний угол, а по оси абсцисс – измеренные задние углы.

Главный угол в плане измеряют универсальным угломером.

Биение режущих кромок, измеренное перпендикулярно к ним, не должно превышать: для зенкеров диаметром до 18 мм – 0,05 мм; св. 18 до 30 мм – 0,06 мм; св. 30 мм – 0,07 мм.

6. Проводят анализ полученных значений углов и биения режущих кромок. Дают заключение о соответствии зенкера предъявляемым техническим требованиям.

Содержание отчета

Отчет должен содержать формулировку задания, схему формообразования винтовых задних поверхностей, расчет шага кулачка, режимы обработки с расчетом периодов стойкости, схему измерения задних углов и расчет их полученных значений, график изменения задних углов вдоль режущей кромки, анализ полученных результатов и заключение о соответствии обработанного зенкера техническим требованиям.

Вопросы для контроля

Каким образом изменяются геометрические параметры, если поставить в приспособление кулачок с шагом винтовой поверхности больше расчетного?

Варианты ответов:

1) φ увеличится, α увеличится; 2) φ не изменится, α увеличится; 3) φ уменьшится, α увеличится; 4) φ уменьшится, α не изменится; 5) φ не изменится, α уменьшится.

Какая форма задней поверхности образуется у зенкера при затачивании его в приспособлении со сменными кулачками?

Варианты ответов:

1) звольвентная; 2) архимедова; 3) коническая; 4) винтовая; 5) цилиндрическая.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

Исследование формообразования режущей части разверток

Цель и задачи работы: изучение конструктивных элементов и формообразования режущей части разверток. В задачи работы входит практическое освоение методов формообразования режущих и калибрующих частей у машинных или ручных разверток с прямым зубом для получения заданных значений геометрических параметров и необходимого качества рабочих поверхностей.

Необходимое оборудование, инструменты и приборы. Работу выполняют на универсально-заточном станке. Объектом исследования являются машинные или ручные развертки с прямым зубом диаметром 15—50 мм.

Для выполнения работы требуется шлифовальный круг соответствующей характеристики, центровые бабки с центрами, упорка, центрирующее приспособление, штангенрейсмус, штангенциркуль, поводок, шаблон-центроискатель для установки развертки при формообразовании передней поверхности.

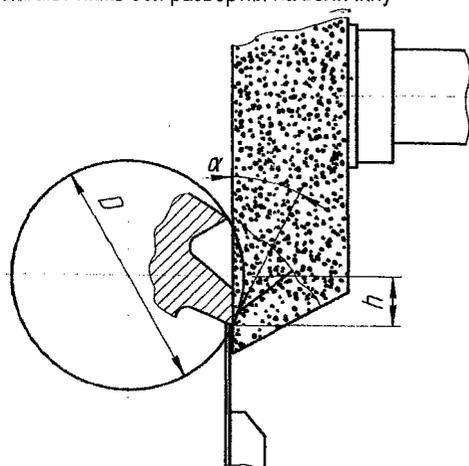
Для контроля разверток требуется прибор для определения биения, индикатор с точностью 0,01 мм с плоским наконечником, прибор для контроля геометрических параметров режущей части многолезвийного инструмента (УР-2), универсальный угломер, эталоны для определения шероховатости поверхности.

Методика выполнения работы

А. Формообразование задних поверхностей развертки

1. Выбирают характеристику шлифовального круга и режимы обработки для образования задних поверхностей конкретного инструмента в соответствии с приведенными выше общими рекомендациями.

2. При формообразовании задней поверхности зубьев на режущей части развертки стол станка поворачивают на величину главного угла в плане φ . При формообразовании задней поверхности зубьев на калибрующей части стол ставят в нулевое положение. Для получения требуемого заднего угла α режущую кромку затачиваемого зуба располагают ниже оси развертки на величину



$$h = \frac{D}{2} \sin \alpha \quad (3.4)$$

где D - диаметр развертки (рисунок 3.7)

Развертку устанавливают в необходимое положение с помощью упорки, к которой прижимают переднюю поверхность обрабатываемого зуба. Упорка показана на рисунке 3.9.

Установку упорки производят с помощью штангенрейсмуса, высоту ножи H_{yc} которого, определяют по формуле 3.5:

Рисунок 3.7 Установка развертки для образования заднего угла.

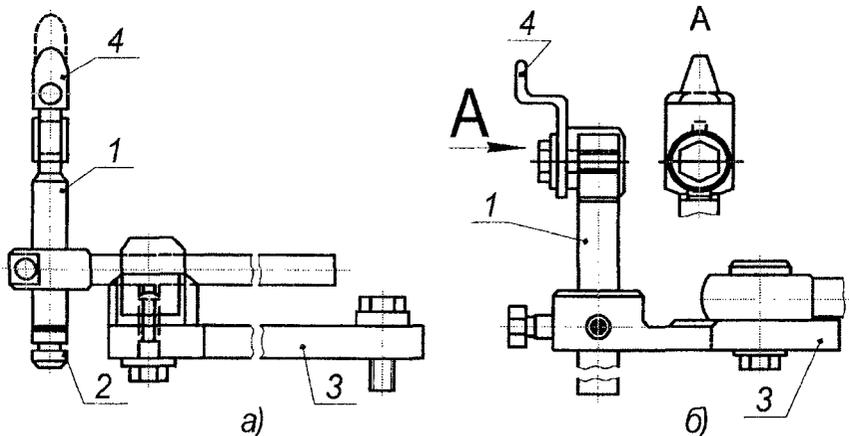


Рисунок 3.8 - Упорки: а – микрометрическая; б – жесткая; 1 – стержень упорки; 2 – винт микрометрической подачи; 3 – державка; 4 – опорная пластина

$$H_{yc} = h_{из} - \left(\frac{D_0}{2} + h\right), \quad (3.5)$$

где $h_{из}$ – расстояние от поверхности стола станка до верхней точки оправки или цилиндрического хвостовика;

D_0 – диаметр контрольной оправки или цилиндрического хвостовика.

3. Определяют толщину слоя Δ , снимаемого за одну переточку в зависимости от износа μ_z по задней поверхности и заданного значения заднего угла (рисунок 3.10,а):

$$\Delta = \mu_z \cdot \sin \alpha + (0,05 \dots 0,1) \text{ мм}. \quad (3.6)$$

Расчетное число переточек (рисунок 3.10,б)

$$n = \frac{M}{q} = \frac{l_k}{3q}, \quad (3.7)$$

Величина стачивания за одну переточку

$$q = \frac{\Delta}{\sin \varphi}, \quad (3.8)$$

Из-за изнашивания калибрующей части развертки на практике выдерживают три-пять переточек по задней поверхности. Установка разверток при формообразовании задней поверхности на калибрующей части та же, что и при формообразовании режущей части, только без разворота стола станка.

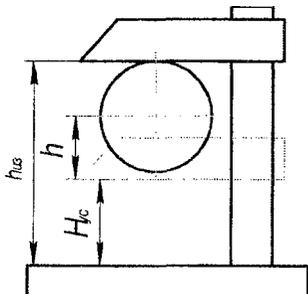


Рисунок 3.9 - Способ установки упорки для образования заднего угла развертки с помощью штангенрейсмуса.

4. Производят контроль режущих элементов развертки, полученных в процессе их окончательного формообразования.

Радиальное биение режущих зубьев должно быть не более 0,03 мм, калибрующих – не более 0,01-0,02 мм. Отклонения величин передних, задних углов и угла режущей части от заданных значений не должны превышать $\pm 2^\circ$.

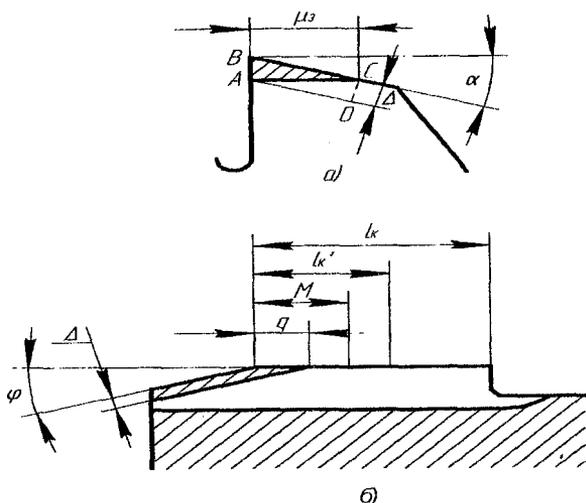


Рисунок 3.10 – Схема к определению периодов стойкости развертки:
 а – толщина снимаемого слоя; б – допустимая величина стачивания.

Радиальное биение контролируют индикатором при установке развертки в центрах. Значения передних и задних углов проверяют приборы для контроля геометрических параметров режущей части многолезвийного инструмента (рисунок 3.11)

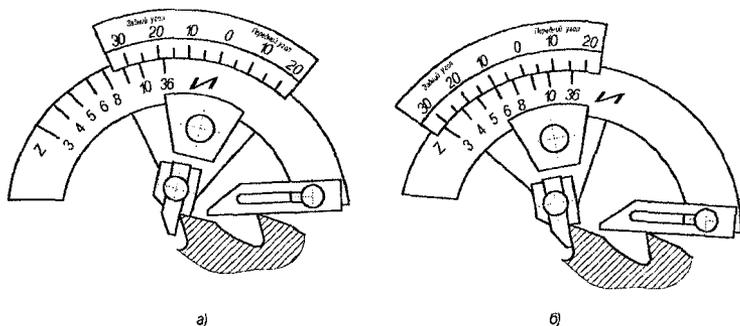


Рисунок 3.11 - Определение геометрических параметров с помощью прибора для контроля углов многолезвийного инструмента: а – заднего угла; б – переднего угла

Главный угол в плане режущей части контролируют универсальным угломером, параметры шероховатости – сравнением заточенных поверхностей с эталоном.

5. Анализируют полученные результаты. Делают заключение о соответствии развертки предъявляемым техническим требованиям. При получении недопустимых отклонений анализируют их причины и лабораторную работу повторяют.

Б. Формообразование передней поверхности развертки

1. Формообразование передней поверхности развертки производят при ее изготовлении и в процессе эксплуатации обычно не повторяют.

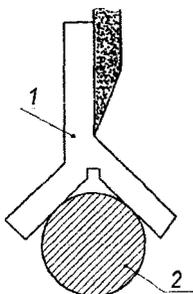


Рисунок 3.12 – Установка шлифовального круга при формообразовании передней поверхности развертки:

1 – шаблон-центроискатель; 2 – цилиндрическая часть развертки

2. Окончательное формообразование передней поверхности разверток с прямым зубом производят торцом тарельчатого или чашечного шлифовального круга, характеристики которого выбирают в соответствии с приведенными выше общими рекомендациями. При $\gamma = 0^\circ$ установку круга в необходимое положение по отношению к обрабатываемой развертке производят с помощью шаблона-центроискателя. Развертку устанавливают в центрах бабок станка, шаблон-центроискатель ставят на шейку развертки и по его стороне, проходящей через ось развертки, устанавливают торец абразивного круга (рисунок 3.6).

При $\gamma > 0^\circ$ после установки круга по центроискателю стол станка смещают на величину

$$h = \frac{D}{2} \sin \gamma, \quad (3.9)$$

Формообразование передней поверхности винтовых зубьев производят конической поверхностью тарельчатого круга формы 1Т. Шпиндельную головку станка при этом разворачивают на угол наклона винтовых зубьев.

Затем выполняют работу по формообразованию задних поверхностей зубьев, как было указано выше.

Содержание отчета

Отчет должен содержать формулировку задания, краткие характеристики изучаемого инструмента, оборудования и приборов; характеристику шлифовального круга и режимы обработки; эскиз установки и расчетные данные для формообразования заданных поверхностей; определение слоя, снимаемого при переточке и число периодов стойкости; схему контроля развертки (для соответствующей поверхности) и данные, полученные при контроле; заключение о соответствии развертки техническим требованиям.

Вопросы для контроля

Укажите наиболее рациональный способ заточки развертки после ее затупления.

Варианты ответов:

1) по передней поверхности; 2) по задней поверхности на режущей части; 3) по задней поверхности на калибрующей части; 4) по передней и задней поверхностям на калибрующей части; 5) по задней поверхности на режущей и калибрующей части.

Как установить упорку по отношению к линии центров станка для получения заднего угла?

Варианты ответов:

1) поднять выше центра; 2) опустить ниже центра; 3) установить по центру; 4) развернуть на угол α в горизонтальной плоскости; 5) развернуть на угол α в вертикальной плоскости.

IV. ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ МЕТЧИКОВ

Метчик – режущий инструмент, применяемый для нарезания внутренней резьбы в различных деталях. По своему служебному назначению метчики делятся на ручные, машинно-ручные, гаечные с прямыми и изогнутыми хвостовиками и целый ряд других конструкций. Метчиками нарезают резьбу со степенями точности 4Н5Н, 5Н6Н, 6Н, 7Н.

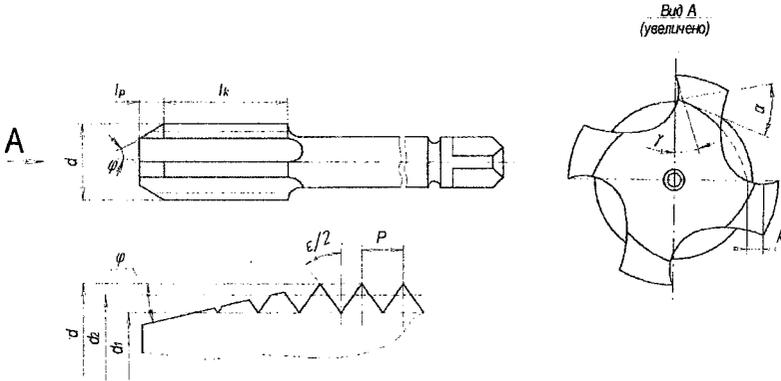


Рисунок 4.1 – Машинно-ручной метчик

Режущая часть метчика представляет собой коническую поверхность с витками резьбы, профиль которых постепенно увеличивается до полной высоты на калибрующей части (рисунок 4.1).

Главный угол в плане φ метчика зависит от назначения инструмента, толщины среза a_z , числа перьев z и шага резьбы P . Угол φ можно определить по формуле:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{(a_z \cdot z)}{P} \quad (4.1)$$

Передний угол метчиков выбирают в зависимости от обрабатываемого материала от 0 до 25°; для стали средней твердости угол $\gamma = 10^\circ$. Задний угол на режущей части обычно 6-10°. Его получают с помощью затылования режущей части шлифовальным кругом.

Метчики для метрической резьбы изготавливают классов точности 1, 2, 3 и 4. В зависимости от степени точности устанавливают допуски на наружный, средний и внутренний диаметры резьбы метчика, шаг и половину угла профиля резьбы.

Для уменьшения усилий при резбонарезании, повышения качества получаемой резьбы, а также при нарезании резьбы в глухих отверстиях применяют комплекты метчиков, состоящие из двух или трех штук.

Наиболее изнашивается у метчиков задняя поверхность перьев в зоне перехода режущей части в калибрующую (рисунок 4.2). За критерий износа принимается такая величина, превышение которой вызывает ухудшение качества нарезаемой резьбы, главным образом, увеличение параметра шероховатости ее поверхности.

Допустимый износ по передней и задней поверхностям метчиков приведен в таблице 4.1.

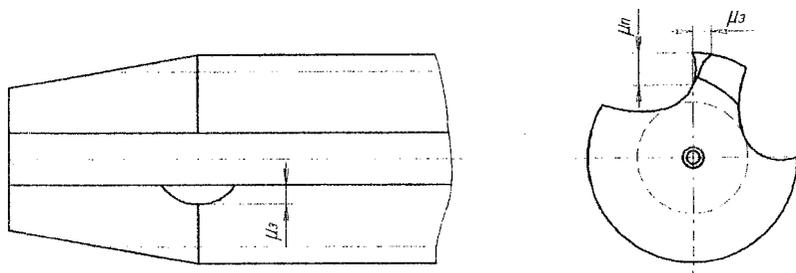


Рисунок 4.2 – Характер изнашивания метчиков

Таблица 4.1 - Допустимый износ по передней и задней поверхностям метчиков.

Основные размеры метчиков					Допустимый износ по поверхностям, мм	
Номинальный диаметр резьбы, мм	Шаг резьбы, мм	Длина калибрующей части, мм	Число перьев	Ширина пера, мм	μз	μп
6	1	17	3	2,3	0,25	0,17
8	1,25	21,5	3	3,1	0,25	0,17
10	1,5	20,5	3	3,7	0,3	0,2
12	1,75	25	3	4,9	0,3	0,2
14	2	29	4	5,5	0,4	0,25
16	2	29	4	4,6	0,4	0,25
20	2,5	32,5	4	5,9	0,4	0,25
24	3	36	4	7,0	0,5	0,3
27	3	36	4	7,9	0,5	0,3
30	3,5	39,5	4	9,0	0,5	0,3

Число переточек метчика по задней поверхности:

$$n_z = \frac{M}{q} = \frac{(l_k - 3P)}{q}, \quad (4.2)$$

где M – величина допускаемого стачивания;

q – величина стачивания за одну повторную заточку;

l_k – длина калибрующей части;

P – шаг резьбы.

Величина стачивания q за одну переточку зависит от величины износа μ_п

$$q = \frac{\Delta}{\sin \varphi}, \quad (4.3)$$

где φ – главный угол в плане метчика;

$$\Delta = \mu_p + (0,05 - 0,1) \text{ мм.}$$

Число переточек метчика по передней поверхности :

$$n_1 = \frac{M_1}{q_1} = \frac{(0,5 - 0,7)B}{q_1}, \quad (4.4)$$

где B – ширина пера метчика;

q₁ – величина стачивания за одну переточку;

$$q_1 = \mu_s + (0,05 - 0,1) \text{ мм.} \quad (4.5)$$

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

Изучение конструкции и геометрических параметров метчиков

Цель работы:

1. Изучить конструкцию и геометрию метчиков;
2. Выбрать и обосновать конструкцию метчика;
3. Приобрести навыки измерения конструктивных элементов и основных углов метчика.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Назначение метчиков.

Метчик – резбонарезной инструмент, применяемый для нарезания правых и левых резьб в сквозных и глухих отверстиях малых и средних диаметров.

По назначению метчики делят на: машинные; машинно-ручные; гаечные; плашечные для конической резьбы; специальные.

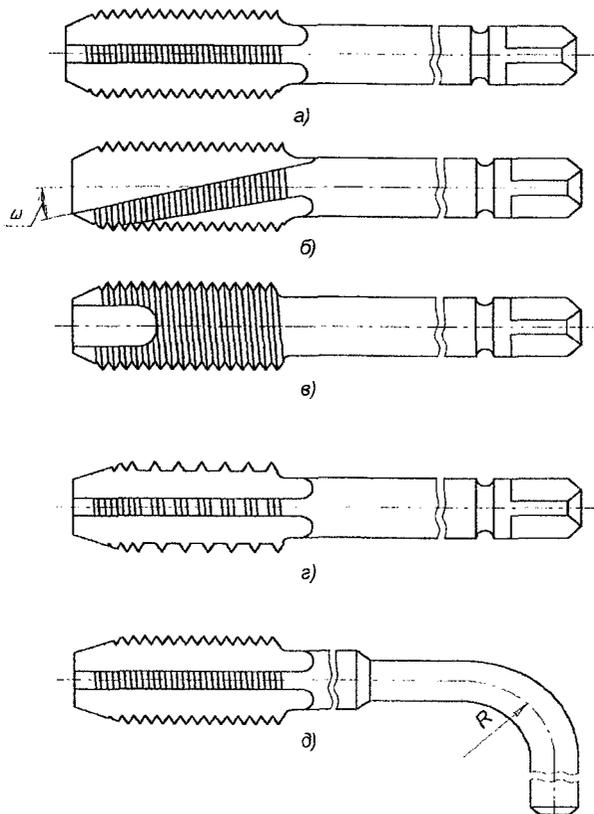


Рисунок 4.3 – Виды метчиков: а) метчик с прямыми стружечными канавками; б) метчик машинно-ручной с винтовыми канавками; в) метчик с укороченными стружечными канавками; г) метчик с вырезанной ниткой; д) гаечный метчик с изогнутым хвостовиком.

Различают следующие кинематические схемы нарезания резьбы:

1) С реверсированием работают машинно-ручные метчики на универсальном оборудовании, когда необходимо вывинчивание метчика из отверстия (например резьбонарезание в глухом отверстии);

2) С непрерывным вращением производится на гайконарезных автоматах метчиками с изогнутыми хвостовиками (рисунок 4.3,д), (по мере заполнения хвостовика гайка сходит с него в накопитель);

3) С периодическим вращением работают гаечные метчики с прямыми удлиненными хвостовиками, и при заполнении хвостовика гайками процесс резьбонарезания прекращается для их изъятия.

Резьбы с шагом до 3 мм экономически предпочтительней нарезать за один проход инструмента.

Для уменьшения усилий, повышения качества резьбы, а также при работе в глухих отверстиях применяют комплекты метчиков из 2-3 шт.

В машиностроении, из-за технологичности, наибольшее распространение получили метчики с прямыми стружечными канавками (рисунок 4.3,а). Метчики с винтовыми канавками применяют для вязких материалов (облегчается вывод стружки) и при работе с прерывистой поверхностью (рисунок 4.3,б).

Метчики с укороченными канавками («бесканавочные») применяют для нарезания резьбы в деталях, штампованных из листа, в сквозных отверстиях длиной до $1,6d$ и при нарезании резьбы в деталях с косым торцом со стороны выхода метчика (рисунок 4.3,в). Достоинства бесканавочных метчиков: высокая прочность, хорошее центрирование и базирование в отверстии. Их недостатки: более высокий крутящий момент, затруднен подвод СОЖ.

Метчики с вырезанной ниткой применяют при работе с вязкими материалами, (рисунок 4.3,г). Имеют достоинства: лучше условия стружкообразования, уменьшается сила трения, облегчается доступ СОЖ в зону резания.

Конструкция метчиков.

Метчик состоит из двух основных частей: рабочей и крепежной (рисунок 4.5).

1. Рабочая часть состоит из режущей и направляющей частей. Формирование впадины резьбового профиля может происходить по генераторной, профильной или прогрессивной схеме. Основная схема – генераторная, а другие используются в специальном инструменте.

а) Режущая часть (заборный конус) метчика формирует резьбовой профиль у крепежных резьб по генераторной схеме, срезая стружку определенного вида и сечения и одинаковой толщины a_z (рисунок 4.4). Задается a_z углом φ . С уменьшением угла φ стойкость метчиков увеличивается, но увеличивается крутящий момент M_p .

На практике колебания угла φ незначительны, обычно его принимают постоянным для различных значений метчиков одного вида. Так, у гаечных метчиков угол φ равен $3^\circ 30'$ для диаметров резьбы 2-30 мм.

На величину угла φ и длину режущей части оказывают влияние конструктивные особенности обрабатываемого отверстия, так, если отверстие глухое, то сбег резьбы определит длину режущей части метчика.

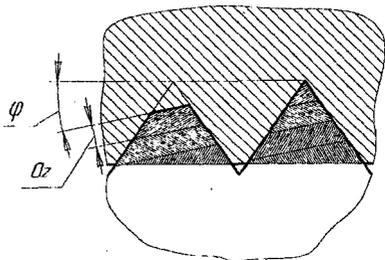


Рисунок 4.4 - Генераторная схема работы метчика

Рекомендуемая толщина срезаемого слоя az в пределах:
 для чугуна 0,04-0,07 мм.;
 для стали 0,03-0,05 мм.;
 для труднообрабатываемых материалов 0,025-0,03 мм.

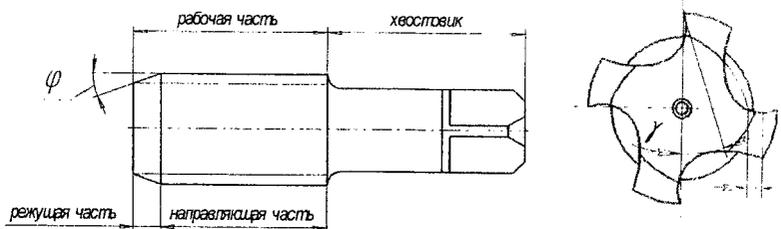


Рисунок 4.5 – Метчик ручной

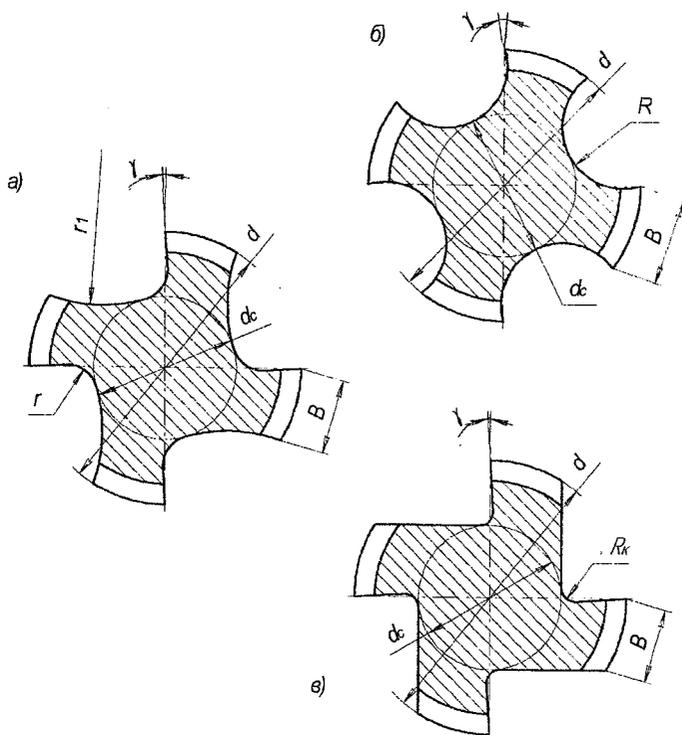


Рисунок 4.6 – Профили стружечных канавок:
 а) двухрадиусный; б) однорадиусный; в) прямолинейный.

б) Направляющая (калибрующая) часть обеспечивает направление и самоподачу метчика в отверстие, является резервом для переточек, калибрует профиль резьбы. Минимальная длина направляющей части l_{2min} 0,5 диаметра резьбы.

Длина направляющей части определяется из формулы:

$$l_2 = l_{2 \min} + i \Delta l_2, \quad (4.6)$$

где i – число переточек;

Δl_2 – величина, стачиваемая при одной переточке.

На направляющей части метчика, в целях уменьшения трения между метчиком и нарезаемой резьбой изготавливается обратная конусность. Падение диаметра в общем случае равно 0,05-0,1 мм на 100 мм условной длины.

Наибольший износ у метчиков происходит по задней поверхности перьев в зоне перехода режущей части в направляющую.

Передний угол γ метчика выбирается в зависимости от обрабатываемого материала и приведен в таблице 4.3. Задний угол на режущей части метчика получается при радиальном затыловании по наружному диаметру. Величина заднего угла α зависит от обрабатываемого материала, вида отверстий, а также от вида и размеров метчика (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Зависимость величины заднего угла α от обрабатываемого материала, вида отверстий, а также от вида и размеров метчика.

Материал заготовки	$\gamma, ^\circ$	Вид метчика	$\alpha, ^\circ$
Сталь $\sigma < 600$ МПа	15		
600 $< \sigma < 900$ МПа	10	машинные	8-10
$\sigma > 900$ МПа	5	ручные	6-8
Чугун	5	гаечные и машинные со шлифованным профилем	8-12
Бронза	0	калибровочные	3-4
Латунь	10	для легких сплавов	4-8
Алюминий и его сплавы	20-30		

По направляющей части угол α , как правило равен 0.

Стружечные канавки метчиков различны по своему профилю и количеству. Количество стружечных канавок зависит от вида инструмента, обрабатываемого материала и размеров резьбы.

К профилю стружечных канавок предъявляются следующие основные требования:

- обеспечение лучшего отвода стружки, ее свободного размещения;
- сохранение прочности рабочей части метчика;
- сохранение устойчивого центрирования;
- обеспечение простоты и технологичности конструкции метчика.

Типовые профили стружечных канавок изображены на рисунке 3.

2. Крепежная часть (хвостовая) служит для крепления метчиков в патроне станка и передачи крутящего момента от шпинделя к станку. Хвостовая часть имеет различные конструктивные решения в зависимости от вида метчика. Диаметр хвостовика изготавливают меньше внутреннего диаметра резьбы на 0,25-1,5 мм для свободного прохода хвостовика метчика через сквозное отверстие детали.

Порядок выполнения работы

1. Изучить конструкцию и геометрию метчика.
2. Обосновать конструкцию и вычертить эскиз заданного инструмента.
3. Провести измерения, результаты свести в таблицу.
4. Сделать выводы по работе.
5. Отчет должен содержать: содержание задания; перечень необходимого оборудования и приспособлений; обоснование конструкции и эскиз метчика; таблицу с результатами произведенных измерений; заключение по работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

Исследование точности и распределения нагрузки метчиков в комплекте

Цель и задачи работы: изучение и исследование элементов резьбы комплекта машинно-ручных метчиков со шлифованным профилем по ГОСТ 17039-71, их точности и распределения нагрузки.

На основании полученных результатов измерений определяют степень точности метчиков, сравнивая полученные при измерении результаты с допусками на резьбу метчиков по ГОСТ 16925-71 и исполнительными размерами метчиков по ГОСТ 17039-71, устанавливают, для резьбы какой степени точности они предназначаются, рассчитывают распределение нагрузки между метчиками комплекта, толщину слоя, снимаемого одним зубом режущей части метчика, и вычерчивают эскиз рабочей части метчика с нанесением всех найденных размеров.

Необходимое оборудование, инструменты и приборы. Работу выполняют с использованием большого или малого инструментальных микроскопов (БМИ и ММИ). В промышленности для измерения элементов резьбы применяют также и другие средства измерения, которые в данной лабораторной работе не используются, так как инструментальный микроскоп обеспечивает измерение всех необходимых параметров.

Объектами исследований являются машинно-ручные метчики диаметрами 8 – 24 мм в комплекте из двух или трех штук, со шлифованным профилем, с четным или нечетным числом перьев.

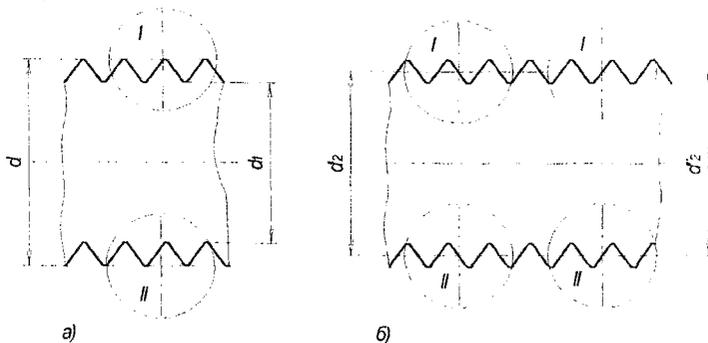


Рисунок 4.7 – Схема измерения диаметров резьбы метчика:
а) наружного и внутреннего; б) среднего

Методика выполнения работы

1. Для измерения наружного внутреннего и среднего диаметров резьбы метчика на инструментальном микроскопе метчик устанавливают в центрах на накладном столике микроскопа. Измерения выполняют в соответствии с инструкцией к прибору. Величины наружного d , внутреннего d_1 и среднего d_2 диаметров определяют по разнице показаний лимба микроскопического винта микроскопа для двух положений I и II окулярной сетки (рисунок 4.7).

2. При измерении шага резьбы P окулярную сетку располагают относительно профиля резьбы так, как показано на рисунке 4.8. Разница отсчетов для положений I и II сетки даст величину шага. Измерения проводят для двух сторон профиля и принимают среднее значение.

3. Измерение угла профиля резьбы метчика производят отдельно по двум его половинам для того, чтобы проверить не только правильность самого угла, но и перпендикулярность биссектрисы угла к оси резьбы. Отсчеты проводят с помощью окуляра угловой окулярной головки (рисунок 4.9). Угол профиля проверяют в начале и конце калибрующей части.

Все измерения проводят 2-3 раза, за истинное значение принимают среднее арифметическое из полученных значений.

Сравнивают полученные значения измеренных элементов резьбы для чистового метчика с данными ГОСТ 17039-71* на исполнительные размеры метчиков и ГОСТ 16925-71* на допуски резьбы метчиков. Определяют степень точности данного комплекта метчиков.

4. Диаметр режущей части на торце d_r , ее длина l_p и угол конуса φ определяют измерением на инструментальном микроскопе координат двух точек, в начале и конце режущей части (рисунок 4.10) и последующим расчетом значений:

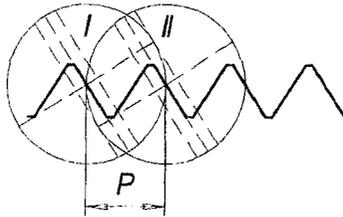


Рисунок 4.8 – Схема измерения шага резьбы

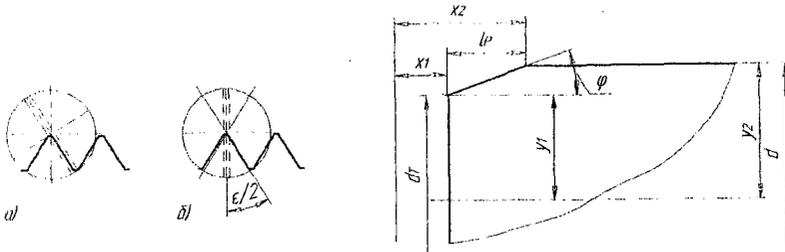


Рисунок 4.9 - Схема измерения угла профиля резьбы: а) начальное положение шкалы окулярной головки; б) конечное положение шкалы.

Рисунок 4.10 – Схема измерения режущей части метчика

$$d_0 = d - 2l_p \operatorname{tg} \varphi = d - 2(x_2 - x_1) \operatorname{tg} \varphi, \quad (4.7)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)}, \quad (4.8)$$

откуда

$$\varphi = \operatorname{arctg} \left| \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \right|, \quad (4.9)$$

Угол конуса режущей части можно также измерить непосредственно с помощью окулярной головки микроскопа.

Обратную конусность у метчиков по наружному, среднему и внутреннему диаметрам определяют соответственно как разность значений наружных, средних и внутренних диаметров в начале и конце калибрующей части. Она должна быть в пределах 0,05-0,10 мм на 100 мм длины.

Величину затылования резьбы на калибрующей части по наружному и среднему диаметрам измеряют на ширине пера метчика. Измерение проводят на двух-трех витках по длине метчика. За истинный размер берут среднее арифметическое из полученных значений.

5. На основании выполненных измерений делают расчет распределения нагрузки между метчиками в комплекте.

Нагрузка на каждый метчик в комплекте определяется вырезаемой им частью площади обрабатываемого профиля резьбы, считая от диаметра отверстия d_c , просверленного под резьбу (рисунок 4.11, а).

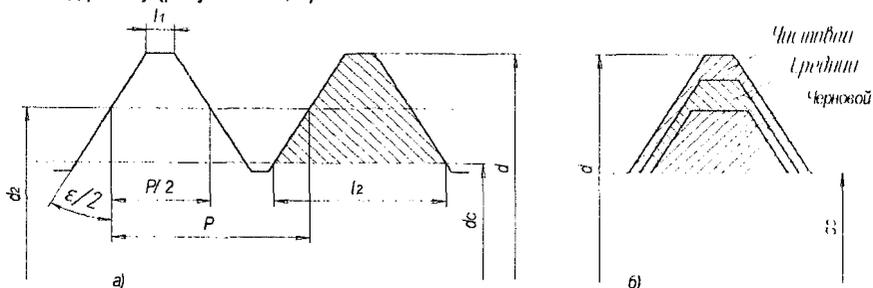


Рисунок 4.11– Схема определения нагрузки метчиков:

а) расчетные размеры профиля; б) распределение нагрузки.

Площадь рабочего профиля резьбы каждого метчика комплекта:

$$S = \frac{l_1 + l_2}{2} \cdot \frac{d - d_c}{2} \quad (4.10)$$

где l_1 и l_2 – ширина профиля резьбы метчика соответственно на диаметрах d и d_c ;

d_c – диаметр отверстия под нарезание резьбы.

Диаметр отверстия под резьбу d_c выбирают по таблице 4.4

Таблица 4.4 – Значения диаметров отверстия под резьбу.

d, мм	P, мм	Диаметр отверстия под резьбу d_c , мм, со степенью точности		Диаметр сверла $d_{св}$, мм
		4H5H; 5H; 6H; 5H6H; 7H	6G; 7G	
8	1,25	6,70	6,75	6,80
9		7,70	7,75	7,80
10	1,5	8,43	8,50	8,50
11		9,43	9,50	9,50
12	1,75	10,20	10,25	10,20
14	2	11,90	11,95	12,00
16		13,90	13,95	14,00
18	2,5	15,35	15,40	15,50
20		17,35	17,40	17,50
22	3	19,35	19,40	19,50
24		20,85	20,90	21,00

Ширина вершины профиля резцы:

$$l_1 = \frac{P}{2} - 2 \cdot (d - d_2) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\varepsilon}{2}\right) \quad (4.11)$$

Ширина основания профиля резцы:

$$l_2 = \frac{P}{2} - 2 \cdot (d_2 - d_c) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\varepsilon}{2}\right) \quad (4.12)$$

Распределение нагрузки между метчиками комплекта определяют следующим образом (рисунок 6.12, б):

$$\frac{S_{\text{черн}}}{S_{\text{чист}}} \cdot 100\%$$

для среднего метчика:

$$\frac{S_{\text{сред}} - S_{\text{черн}}}{S_{\text{чист}}} \cdot 100\%$$

для чистового метчика:

$$\frac{S_{\text{чист}} - S_{\text{сред}}}{S_{\text{чист}}} \cdot 100\% \quad (4.15)$$

где $S_{\text{черн}}$, $S_{\text{сред}}$, $S_{\text{чист}}$ – площадь рабочего профиля резцы черного, среднего и чистового метчиков.

Полученные значения нагрузок сравнивают с их рекомендуемым распределением, приведенным в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Рекомендуемые значения нагрузок.

Метчик в комплекте	Распределение нагрузки, %, в комплектах из метчиков	
	из трех	из двух
Черновой	56 – 60	75
Средний	28 – 30	-
Чистовой	16 – 10	25

Расчитывают толщину среза, снимаемого одной режущей кромкой метчика (рисунок 4.12). Толщину среза a_z измеряют в направлении перпендикулярном к оси метчика.

Толщина снимаемой стружки на всей длине режущей части метчика одинакова:

$$a_z = \left(\frac{P}{Z}\right) \cdot \operatorname{tg} \phi \quad (4.16)$$

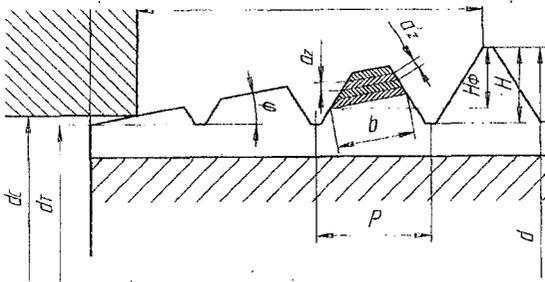


Рисунок 4.12 – Схема расчета толщины среза при работе метчика

Пользуясь этой формулой, определяют для всех метчиков комплекта толщину снимаемого слоя каждым зубом и делают заключение о том, могут ли исследуемые метчики обеспечить нарезание резьбы с требуемым параметром шероховатости поверхности ($R_z = 20$ мкм, $R_a = 2,5$ мкм). Такие параметры шероховатости обеспечиваются при толщине среза $a_z = 0,02 - 0,12$ мм.

7. Результаты измерений и расчетов заносят в протокол согласно таблице 4.5 и оформляют чертеж метчика (рисунок 4.13).

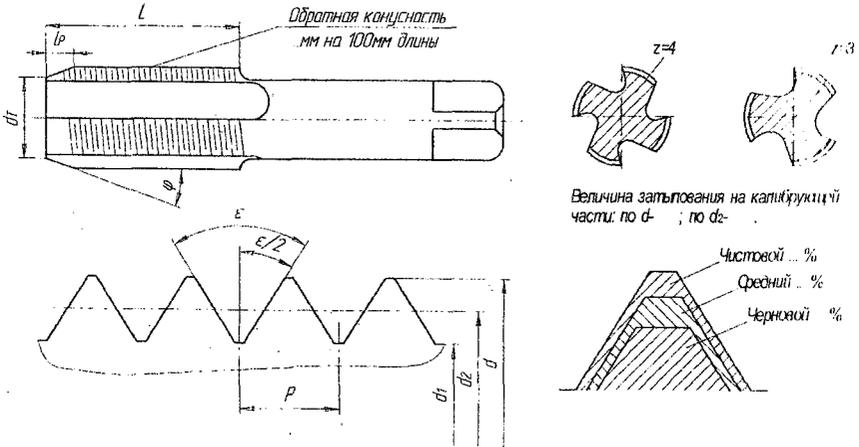


Рисунок 4.13 – Оформление материалов к отчету по лабораторной работе

Таблица 4.5 – Протокол результатов исследования.

Метчик	d	d ₂	d ₁	φ	l	Отклонение шага	Распределение нагрузки, %	Толщина снимаемой стружки
Черновой								
Средний								
Чистовой								

Полученные данные анализируют и определяют соответствие требованиям по рассмотренным параметрам.

Содержание отчета

В отчете приводят следующие данные:

Формулировку задания и характеристику комплекта метчиков, подлежащих измерению (тип, диаметр и шаг метчиков в комплекте).

Краткую характеристику оборудования, используемого для измерений.

Результаты каждого измерения контролируемых элементов резьбы, расчет среднего значения из полученных результатов, сравнение с допусками, предусмотренными ГОСТами, определение класса точности метчика.

Расчет площади профиля резьбы, снимаемой каждым метчиком комплекта, определение площади, снимаемой каждым метчиком в процентах (нагрузки).

Протокол результатов исследования (см. таблицу 6.4) и чертеж метчика (см. рисунок 6.14).

Заключение о точности и работоспособности метчика.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

Проектирование фасонной дисковой фрезы

Фрезы классифицируют: по назначению (для плоскостей, пазов, фасонных поверхностей, зубьев, ...); по способу крепления (хвостовые, насадные); по конструкции (цельные, сборные); по способу получения задней поверхности (острозаточенные, затылованные).

Цель затылования – получение положительного заднего угла и обеспечение неизменности параметров профиля при переточках по передней поверхности. В качестве кривой затылования используют спираль Архимеда, которая является наиболее технологичной для изготовления за счет двух простых движений её образующих: вращения заготовки фрезы и поступательного движения затыловочного резца на токарно-затыловочных станках. Фасонные фрезы широко используются для обработки разнообразных профилей. Они имеют простую конструкцию и технологичны при изготовлении, а эксплуатируются без специального оборудования.

Дисковые фрезы с затылованными зубьями рассчитывают аналитическим и графическим методами. Первый наиболее точный и поэтому основной, а второй более наглядный (проверочный).

Аналитический расчет конструктивных параметров производится в следующей последовательности. Диаметр посадочного отверстия определяется из условия обеспечения достаточной прочности и жесткости фрезы по формуле:

$$D_0 = 5.28h^{0.48}b^{0.15} \quad (1.1)$$

где h и b - соответственно максимальные глубина и ширина профиля обрабатываемой детали.

Полученные результаты округляют в большую сторону до ближайшего значения из нормального ряда диаметров (ГОСТ 9472 - 90): 8, 10, 13, 16, 19, 22, 27, 32, 40, 50, 60, 70, 80, 100 (мм).

Приближенное значение наружного диаметра из формулы: $d_a = 2.5d_0$ (1.2)

Высота профиля зуба фрезы $h_1 = h + (1 \dots 3)$ мм.

Число зубьев фрезы $z = \pi * d_a / (A * h_k)$, (1.3)

где A - коэффициент, равный 1.8...2.5 для черновых фрез, 1.3...1.8 – для чистовых.

Полученный результат округляют до целого числа. Число зубьев целесообразно выбирать четным.

Значение переднего угла γ выбирают положительным в зависимости от обрабатываемого материала детали, что способствует улучшению процесса резания. При этом для чистового фрезерования необходим коррекционный расчет размеров профиля фрезы. Обычные фасонные фрезы делают с $\gamma = 0$. Значение заднего угла выбирают в пределах 8...150, в точке при вершине профиля фрезы задний угол ав обычно берут равным 10...150 - для сталей и чугунов; 200 – для цветных сплавов.

Задние углы α_n в сечениях, нормальных к боковым сторонам профиля фрезы, определяют для любой точки I_p профиля фрезы по формуле

$$tg^* \alpha_n = \frac{R}{R_1} tg \alpha_n \sin \tau \quad (1.4)$$

где τ – угол между касательной к профилю фрезы в рассматриваемой точке I_p и плоскостью, перпендикулярной к ее оси;

R_1 – радиус рассматриваемой точки; R – наружный радиус фрезы.

Величина затылования: $k = \frac{\pi * d_a}{z} * tg \alpha_n$ (1.5)

Значение k округляют до ближайшего из ряда 1,5; 2; 2,5 и т.д. через 0,5мм. Центральный угол канавки, необходимый для выхода затывловочного инструмента:

$$\psi_1 = 360^\circ / 6 \cdot z, \text{ если } h_1 < 15\text{мм} \quad (1.6)$$

$$\psi_1 = 360^\circ / 4 \cdot z, \text{ если } h_1 > 15\text{мм} \quad (1.7)$$

Радиус закругления дна впадины между зубьями фрезы

$$r = \left(\frac{d_a}{2} - h_1 - k \right) \sin \psi / 2 \quad (1.8)$$

Высота зуба фрезы $H = h_1 + k + r$. Толщина фрезы $m = (0,3/0,5) d_0$; здесь меньший коэффициент принимается для большего диаметра.

$$\text{Уточненный наружный диаметр фрезы: } d_a = d_0 + 2m + 2H \quad (1.9)$$

Фасонные фрезы изготавливают с $d_a = 40 \dots 120$ мм через каждые 5мм и $d_a = 120 \dots 230$ мм через 10-15мм. Ширина фрезы $B = b + (0,5/1)$ мм. Угол впадины θ выбирают равным 18, 22, 25 или 300. Окончательные значения конструктивных параметров проверяют прочерчиванием фрезы.

Если передний угол $\gamma = 0$, то профиль зубьев в плоскости передней поверхности совпадает с профилем осевого сечения исходной инструментальной поверхности фрезы. При $\gamma \neq 0$ высотные размеры профиля фрезы необходимо корректировать, размеры профиля вдоль оси не изменяются. При этом высотные размеры h_{in} профиля зуба в плоскости передней поверхности, необходимые для контроля:

$$m = R \sin \gamma \quad (1.10) \quad R_i = R - h_i \quad (1.11)$$

$$\gamma_i = \arcsin m / R_i \quad (1.12) \quad N = R \cos \gamma \quad (1.13)$$

$$n = R \cos \gamma \quad (1.14) \quad h_{in} = N - n_i \quad (1.15)$$

Высотные размеры h_p профиля зуба в осевом сечении фрезы, нужные для ее изготовления:

$$m = R \sin \gamma \quad (1.16) \quad R_i = R - h_i \quad (1.17)$$

$$\gamma_i = \arcsin m / R_i \quad (1.18) \quad \psi_1 = \gamma_1 - \gamma \quad (1.19)$$

$$\Delta h_i = \frac{kz}{360} \psi_i^0 \quad (1.20) \quad h_{ip} = h_i - \Delta h_i \quad (1.21)$$

По рассчитанным конструктивным параметрам оформляют рабочий чертеж фрезы, а также прочерчивают профили зубьев в осевом сечении и по передней поверхности с указанием их размеров и допусков на них.

Возможно несовпадение базовых участков фрезы и детали. Тогда производят постановку высотных размеров профиля фрезы от вновь выбранной базы. То же делается на профиле детали, после чего делается расчет полей допусков.

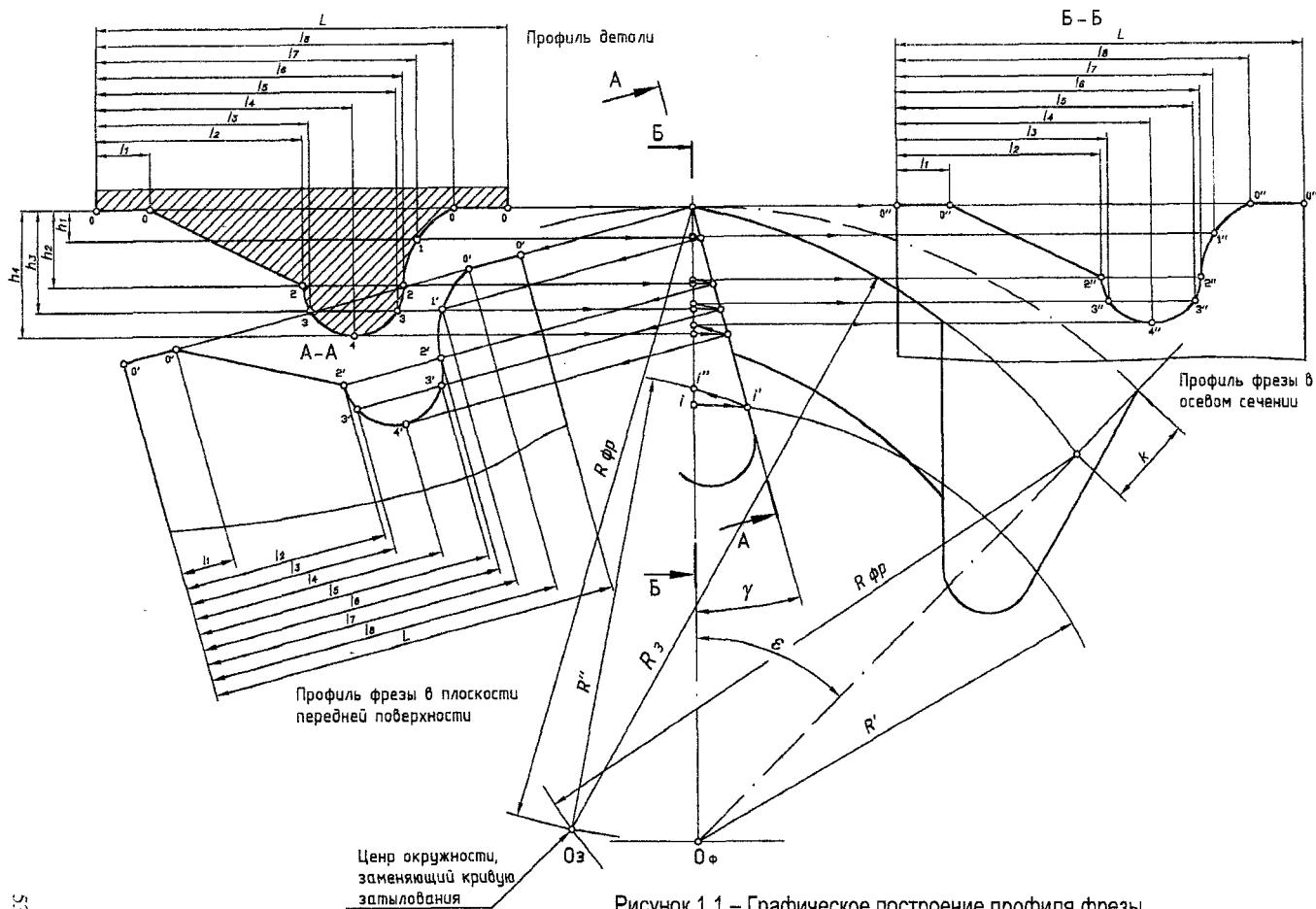
После расчета конструкции фрезы рассчитывают скорость и мощность резания, динамические характеристики шпиндельного узла (прецессионные отклонения оси шпинделя), виброустойчивость шпиндельного узла с оправкой.

Таблица 1.1 - Выбор инструментального материала

Обрабатываемый материал	Характер обработки	
	черновая	чистовая
Сталь конструкционная	T5K10, P6M5	T15K6, P6M5
Сталь коррозионностойкая	BK8, P6M5K5	BK6, P9K5
Чугуны	BK8, P6M5	BK6, P6M5
Цветные сплавы	BK8, P6M5	P6M5

Задания: рисунки 1.3...1.7

Графическое построение – рисунок 1.1. Пример чертежа фрезы – рисунок 1.2.



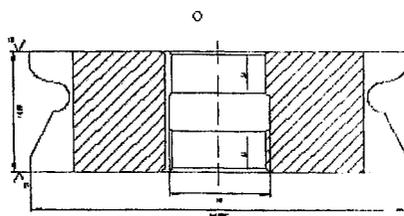
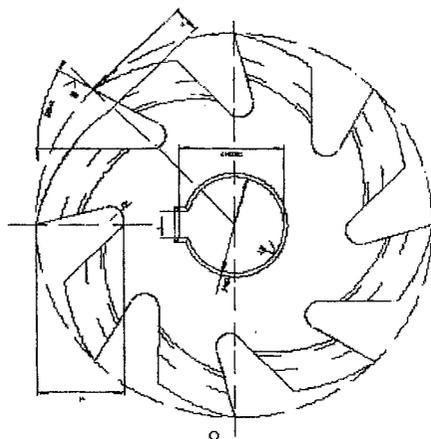


Рисунок 1.2 – Пример чертежа фрезы

Приложение

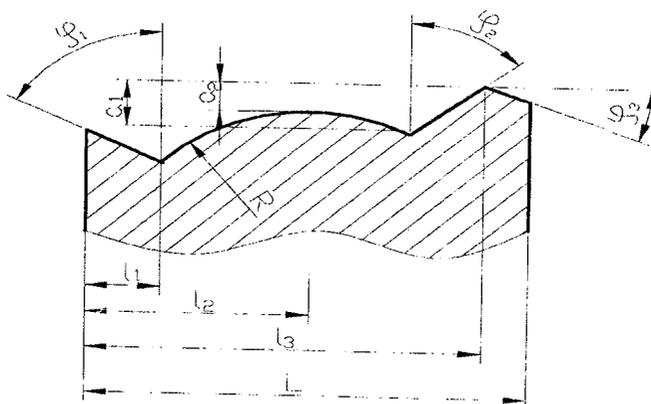


Рисунок 1.3

№ вар	L	l ₁	l ₂	l ₃	R	a ₁	a ₂	φ ₁	φ ₂	φ ₃
1	51,17	16,62	26,93	43,99	12,75	2,6	7,24	81	45	13
2	50,59	8,57	25,76	45,43	23,15	4,13	6,46	63	50	22
3	45,52	8,05	18,59	37,61	15,21	5,86	6,85	61	63	45
4	52,14	14,34	25,39	45,53	21,29	1,22	5,38	81	55	19
5	46,53	11,53	22,25	40,01	16,65	3,32	4,72	65	67	41
6	43,99	10,2	20,37	37,2	18,63	2,74	4,69	79	61	25
7	27,6	8,72	14,93	25,75	7,78	0,97	3,96	75	50	67
8	34,16	6,24	14,19	27,93	15,32	2,45	4,24	64	57	34
9	46,03	13,05	23,59	38,31	14,11	2,91	7,29	77	32	40
10	51,2	12,47	23,4	40,63	12,94	1,13	3,52	77	71	17

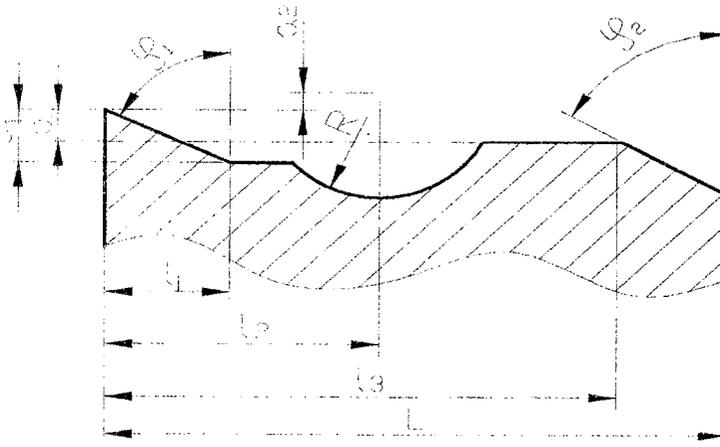


Рисунок 1.4

№ вар	L	l ₁	l ₂	l ₃	R	a	a ₁	a ₂	φ ₁	φ ₂
1	76,58	19,07	36,32	68,16	14,25	3,33	6,35	2,72	720	620
2	95,63	23,4	44,87	89,49	15,5	1,17	5,97	0,69	760	500
3	103,38	25,29	48,5	96,74	16,76	1,26	6,45	0,75	760	500
4	56,3	11,33	24,79	46,29	10,56	3,18	5,31	1,77	650	610
5	117,68	23,68	57,35	108,48	22,51	5,25	9,9	4,3	670	390
6	61,19	11,35	27,51	51,38	11,72	3,53	5,89	1,96	630	580
7	77,24	16,2	31,67	59,09	13,48	4,06	6,77	2,26	670	690
8	75,4	24,02	37,97	70,91	16,17	4,87	8,13	2,71	710	220
9	111,9	8,85	49,36	92,18	21,03	6,33	10,57	3,52	400	770
10	98,37	29,75	48,17	91,13	18,91	4,41	8,31	3,61	740	340

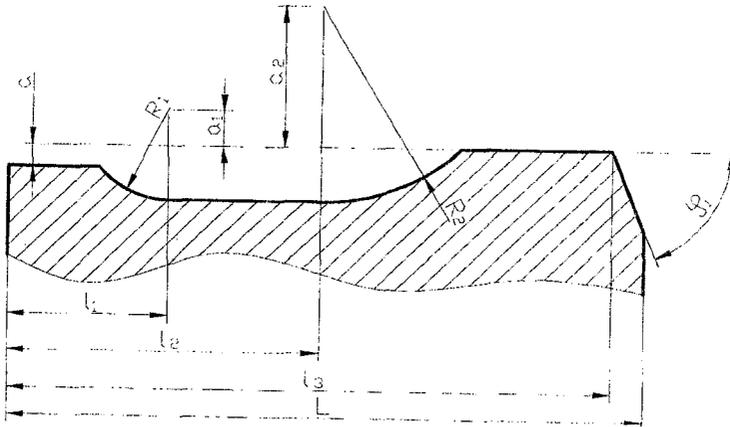


Рисунок 1.5

№ вар	L	l_1	l_2	l_3	R_1	R_2	a	a_1	a_2	φ_1
1	90,53	21,75	41,78	80,46	12,4	19,43	3,02	4,98	19,43	270
2	107,65	25,02	48,05	92,53	14,26	31	3,47	5,73	22,35	110
3	105,65	27,52	52,86	101,78	15,69	34,1	3,82	6,3	24,59	560
4	100,06	24,49	47,04	90,59	13,96	30,34	3,4	5,61	21,88	240
5	122,58	31,84	61,15	117,76	18,15	39,45	4,41	7,29	28,45	760
6	82,24	21,33	40,97	78,9	12,16	26,43	2,96	4,89	19,06	560
7	121,16	30,5	58,59	112,83	17,39	37,8	4,23	6,99	27,25	210
8	107,83	27,15	52,15	100,42	15,48	33,64	3,76	6,22	24,26	250
9	121,97	31,22	59,97	115,48	17,8	38,68	4,33	7,15	27,89	470
10	94,97	24,35	46,78	90,07	13,88	30,17	3,38	5,58	21,76	680

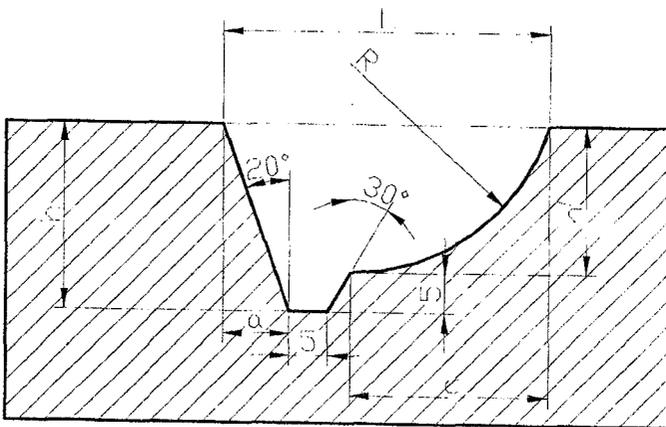


Рисунок 1.6

№ вар	R	h'	h	c	a	l
1	22,61	16,12	21,12	21,66	7,69	37,23
2	24,87	17,73	22,73	23,82	8,27	39,89
3	27,36	19,5	24,5	26,21	8,92	43,01
4	30,1	21,45	26,45	28,83	9,63	46,34
5	33,11	23,6	28,6	31,71	10,41	50,01
6	34,76	24,78	29,78	33,3	10,84	52,02
7	39,97	28,49	33,49	38,29	12,19	58,37
8	26,38	18,81	23,81	25,27	8,66	41,82
9	22,95	16,36	21,36	21,99	7,77	37,65
10	37,87	27	32	36,28	11,65	55,81

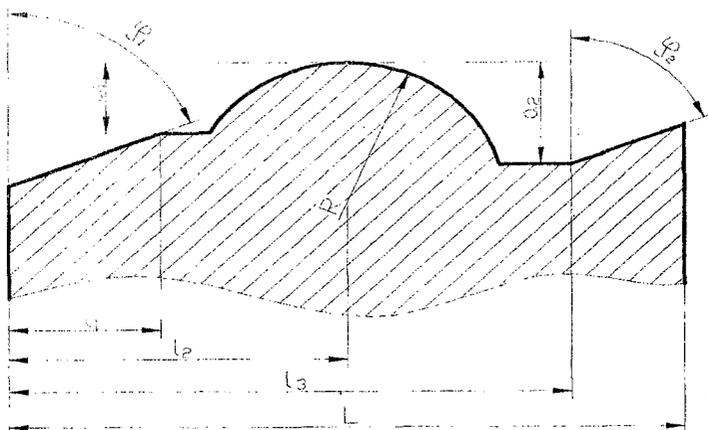


Рисунок 1.7

№ вар	L	l ₁	l ₂	l ₃	R	a ₁	a ₂	φ ₁	φ ₂
1	78,16	11,46	42,34	70,36	19,74	10,04	14,49	570	540
2	74,59	5,56	38,11	63,33	17,77	9,03	13,04	400	650
3	67,13	7,21	34,3	56,99	15,99	8,13	11,73	480	770
4	54,35	7,68	30,87	51,29	14,39	7,32	10,56	530	540
5	81,53	11,53	46,3	76,94	21,58	10,98	15,84	590	670
6	89,68	12,68	50,93	84,63	23,74	12,07	17,43	670	800
7	40,36	5,71	22,92	38,09	10,68	5,43	7,84	630	740
8	50,71	6,44	27,5	45,7	12,82	6,52	9,41	530	810
9	55,78	9,4	30,25	50,27	14,1	7,17	10,35	600	670
10	90,78	20,4	45,38	75,41	21,16	10,76	15,53	690	690

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2

Выбор шлифовальных кругов

1 Функциональные свойства металлорежущего инструмента (качество и точность получаемых после обработки поверхностей, производительность инструмента и его стойкость) зависят в основном от способности материала режущей части инструмента сопротивляться изнашиванию и разрушению, соответствия геометрических параметров инструмента условиям его работы, а также качества и точности поверхностей, образующих режущие кромки инструмента.

Способность инструментального материала сопротивляться изнашиванию и разрушению зависит от правильности его выбора, зависящего от условий работы, а также от правильности выполнения при изготовлении инструмента таких процессов, как термическая обработка, сварка, пайка, упрочнение и т.п. Работоспособность твердосплавных инструментов с механическим креплением пластинок во многом зависит и от выбранного способа крепления режущих элементов.

Режущие кромки инструмента не только срезают припуск с обрабатываемой заготовки, но и образуют форму ее поверхности. Конфигурация режущих кромок получается в результате пересечения передних и задних поверхностей инструмента и зависит от пространственной формы последних. Формообразование режущих кромок является одной из основных задач проектирования и изготовления режущих инструментов. Причем для сложных инструментов, имеющих фасонные и винтовые передние и задние поверхности, точное формообразование режущих кромок затруднительно.

Геометрические параметры, точность и качество режущей части инструмента, указанные на чертеже и в технических требованиях, обеспечиваются при окончательном формообразовании выбором требуемого оборудования, оснастки, характеристик шлифовальных кругов, режимов обработки и установкой инструмента на станке в необходимое положение. Заточкой обеспечивают не только режущие свойства инструмента, но и запрограммированную форму режущей части. Изучение и практическое освоение этого процесса является также эффективным средством для понимания основных принципов конструирования режущих инструментов.

Геометрические и точностные параметры у инструментов с многогранными твердосплавными пластинками обеспечиваются за счет формы, точности изготовления и установки пластинок в корпусе инструмента.

В процессе эксплуатации режущие свойства изношенных инструментов восстанавливаются заточкой. Инструменты с многогранными пластинками переточке не подвергаются. Восстановление режущих свойств этих инструментов осуществляют поворотом или сменой многогранных пластинок. Окончательное формообразование режущей части инструмента производят на универсально-заточных или специальных станках шлифовальными кругами. Типы используемых станков приведены в описаниях ниже приведенных лабораторных работ, а их модели и технические характеристики - в книге [1].

Шлифовальные круги, используемые для окончательного формообразования режущих кромок инструментов, характеризуются следующими основными признаками: видом абразивного материала, зернистостью, типом связки, твердостью, структурой, формой и размерами. В качестве абразивного материала для заточки и доводки режущих инструментов из углеродистых, легированных и быстрорежущих сталей применяют материалы на основе кристаллической окиси алюминия Al_2O_3 : электрокорунд нормальный (16А...12А), электрокорунд белый (25А...22А), монокорунд (45А...43А), электрокорунд титанистый (37А), электрокорунд хромистый (34А, 33А, 32А), электрокорунд хромтитанистый (92А, 91А). Электрокорунд белый рационально применять для чистовой обработки.

Для предварительной черновой заточки твердосплавных инструментов с большими припусками применяют круги из карбида кремния SiC (карбид кремния зеленый – 64С).

Зернистость по ГОСТ 3647-80 определяет размер зерен. Классификация шлифовальных материалов и обозначение зернистости приведены в табл. 2.1 Размеры шлифзерна и шлифпорошков выражаются в сотых долях миллиметра, микропорошков и тонких микропорошков – в микрометрах.

В зависимости от процентного содержания зерен основной фракции номер зернистости абразивных кругов дополнительно обозначается буквенным индексом. Для заточки применяют круги с индексом П, содержащие 55-50 % зерен основной фракции, и Н, содержащие 45-40 %.

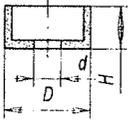
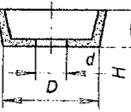
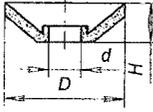
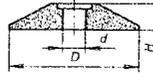
Таблица 2.1 – Классификация шлифовальных материалов и обозначение зернистости

Группа шлифовального материала	Обозначение зернистости (номера зернистости)
Шлифзерно	200, 160, 125, 100, 80, 63, 50, 40, 32, 25, 20, 16
Шлифпорошки	12, 10, 8, 6, 5, 4, 3
Микропорошки	M63, M50, M40, M28, M20, M14
Тонкие микропорошки	M10, M7, M3, M2, M1

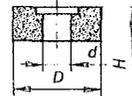
Для заточки режущего инструмента преимущественно применяют круги следующих зернистостей: для предварительной заточки – 63, 50, 40, для окончательной 25, 20, 16, для доводки – от 12- 10 и ниже.

Связка является связующим (цементирующим) веществом для соединения абразивных зерен в одно целое.

Таблица 2.2 – Формы и размеры абразивных кругов.

Круг		Размеры круга, мм			Основное назначение	
Тип	Наименование	Диаметр круга D	Высота H	Диаметр отверстия d		
ЧЦ	Чашечные цилиндрические		100	50	20	Для обработки задних поверхностей острозаточенных фрез, разверток, зенкеров; передних и задних поверхностей резцов
			125	63	32;51	
			150	80	32;51	
			200	63	32;51	
			250	100	76;127	
ЧК	Чашечные конические		100	25;40	20	То же
			125	40;45	32	
			150	40;50	32	
Т 1Т	Тарельчатые		100	10	20	Для обработки передних поверхностей фрез, разверток, метчиков, протяжек
			125	13	32	
			150	16	32	
			100	10	20	
			150	16	32	
ЗП	С коническим профилем		100	6	20	Для обработки передних поверхностей инструментов с винтовыми канавками и др.
			125	8	32	
			150	8	32	

Продолжение таблицы 2.2

ПВ	С выточкой		150	25;32	32	Для заточки сверл, резцов
			200	40;63	76	
			300	40;50	127	
ПП	Прямого профиля		125	20	32	Для заточки резцов, протяжек, затылования метчиков, шлифования поверхности долбяков и др.
			150	20;25	32	
			25;32;40	25;32	32	
			200		32	

Для изготовления абразивных кругов применяют керамическую К, бакелитовую Б, и вулканитовую В связки. Для заточки и доводки режущего инструмента главным образом применяют круги на керамической К и бакелитовой В связках.

За твердость абразивного инструмента принимают сопротивление связки вырыванию абразивных зерен в процессе его работы. Степени твердости абразивных инструментов, применяемых при заточке, приведены ниже.

Таблица 2.3 – Характеристики кругов.

Твердость инструмента	Степень твердости
Мягкий	M1, M2, M3
Средне-мягкий	CM1, CM2
Средний	C1, C2
Средне-твердый	CT1, CT2, CT3
Твердый	T1, T2

Структура характеризует соотношение объемов шлифовального материала, связки и пор в абразивном инструменте. Абразивные круги имеют 12 номеров структуры и делятся на три группы: закрытые или плотные (1-4), средние (5-8), и открытые (9-12). Структуры 5-7 рекомендуются для заточки инструмента, изготовленного из стали, структуры 8-10 из твердого сплава.

Формы и размеры абразивных кругов, рекомендуемые для заточки основных видов инструментов, по ГОСТ 2424-83, приведены в табл. 2.2.

Выбор характеристик кругов приведен в табл. 2.3.

При маркировке на поверхность абразивного круга несмываемой краской наносят марку завода-изготовителя, абразивный материал, зернистость, индекс, указывающий содержание зерен основной фракции, твердость круга, связку, структуру, форму круга, наружный диаметр, высоту, диаметр посадочного отверстия, максимальную окружную скорость при работе круга. Например, ЧА324А25НСММ26К55 ПП90×16×20×23 м/с.

Для чистой заточки и доводки твердосплавных инструментов, а также заточки твердосплавных инструментов, имеющих малые припуски на заточку, рекомендуется использовать алмазные круги.

Рекомендации по выбору форм алмазных кругов для заточки и доводки твердосплавных инструментов приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4 – Рекомендации по выбору форм алмазных кругов.

Форма круга	Круг	Область применения
1	2	3
1А1	Плоский прямого профиля	Заточка и доводка передней поверхности у резцов. Круглое наружное шлифование инструментов

Продолжение таблицы 2.4.

1	2	3
A8	Плоский прямого профиля без корпуса	Обработка цилиндрических и плоских поверхностей
6A2	Плоский с выточкой	Заточка и доводка резцов на специальных станках для заточки резцов
9A3	Плоский с двусторонней выточкой	
12A2 с углом 45	Чашечный конический с углом 45	Заточка и доводка передних и задних поверхностей резцов, задних поверхностей сверл, зенкеров, разверток, концевых, цилиндрических, торцовых фрез и т.д.
12A2 с углом 20	Тарельчатый с коническим углом 20	Заточка и доводка передней поверхности фрез, разверток, зенкеров, протяжек и т.п.
12R4	Тарельчатый	
12V5 с углом 20	Тарельчатый с углом 20	Заточка и доводка передней и задней поверхностей многолезвийного инструмента с винтовым зубом-концевых и цилиндрических фрез, зенкеров и т.п.
12D9	Тарельчатый	Заточка и доводка червячных фрез

Рекомендации по выбору зернистости и связки алмазных кругов в зависимости от требований к параметрам шероховатости обработанной поверхности при заточке твердосплавного инструмента даны в табл. 2.5.

Таблица 2.5 – Рекомендации по выбору зернистости и связки алмазных кругов.

Обработка	Параметр шероховатости Ra, мкм	Связка	Зернистость
1	2	3	4
Заточка твердосплавных пластинок	0,32-0,63	Металлическая М1, М5, МО13, МВ1	АС4, АС6, 200/160-100/80
	0,16-0,32	Органическая Б1, Б156, ТО2	АС2 160/125-63/50
Заточка твердосплавных пластинок совместно с державкой	0,63-1,25	Керамическая К1	АС4 250/200-125/100
Образование стружколомающих лунок, порожков, канавок	0,08-0,16	Металлическая М1, М5, МВ1	АС6 М60/40- М14/10
Доводка твердосплавных пластинок	0,08-0,16	Органическая Б1, КБ	АС2 63/50-АСМ 60/40

Круги на органической связке применяют 50 и 100 %-ой концентрации, круги на металлической связке – 100 %-ой концентрации.

При маркировке на корпусе алмазного круга с наружным диаметром 60 мм и более наносятся: товарный знак предприятия-изготовителя, обозначение круга, марка и зернистость алмазного порошка, концентрация алмазов в алмазном слое, марка связки, номер круга по системе нумерации предприятия-изготовителя.

Например, ТЗАИ АЧК 125×10×3×32:

АС2 100/63 Б1 100 % 1200

На корпусах кругов с наружным диаметром до 60 мм проставляется только номер

круга и товарный знак завода-изготовителя. Полностью маркируют эти круги на бирках.

Для чистовой заточки и доводки режущих инструментов из быстрорежущих и инструментальных сталей, кроме кругов из электрокорунда, применяют эльборовые круги.

Для чистовой заточки и доводки инструментов из инструментальных сталей применяют круги из эльбора на керамической (С10) и органической (Б1.КБ, Б156) связках. Для доводки рекомендуется в основном применять круги на органической связке.

Форму кругов из эльбора выбирают по ГОСТ 17123-79.

Режимы резания при заточке и доводке выбирают с условием, что на обработанной поверхности не должно получаться прожигов, трещин, микротрещин и других дефектов; скорость круга не должна превышать максимальной скорости, допускаемой механической прочностью абразивного круга; в результате обработки должны обеспечиваться заданные параметры шероховатости обработанных поверхностей и необходимое качество режущих лезвий.

Рекомендуемые режимы при заточке и доводке кругами из электрокорунда и карбида кремния приведены в табл. 2.6

Рекомендуемые режимы резания при заточке и доводке твердосплавного режущего инструмента алмазными кругами приведены в табл. 2.7.

Рекомендации по режимам заточки и доводки режущих инструментов кругами из эльбора приведены в табл. 2.8.

Таблица 2.6 – Рекомендуемые режимы при заточке и доводке кругами из электрокорунда и карбида кремния.

Материал режущей части инструмента	Обработка	Материал круга	Скорость круга, м/с	Режимы резания	
				Продольная подача, м/мин	Поперечная подача, мм/дв.ход
Быстрорежущая и инструментальная стали	Заточка	Электрокорунд	20-25	3-6	0,03-0,05
	Доводка			1-2,5	0,005-0,01
Твердый сплав: ВК ТК	Заточка	Карбид кремния	11-18	2-5	0,02-0,04
				10-12	0,02-0,05

Шлифовальные круги крепят на специальных оправках. Для предохранения кругов от повреждений и для более равномерного зажима абразивные круги закрепляют между двумя картонными прокладками толщиной 1-2 мм. При креплении кругов металлическим корпусом прокладок не применяют. При установке шлифовального круга диаметром свыше 100 мм оправка вместе со шлифовальным кругом должна быть отбалансирована грузами, расположенными в кольцевых канавках, на торце фланца оправки. Для защиты работающего от травм, которые могут быть вызваны разрывом круга, необходимо применять защитные устройства - кожухи, ограждающие круг.

Таблица 2.7 – Рекомендуемые режимы резания при заточке и доводке твердосплавного режущего инструмента алмазными кругами

Операция	Связка круга	Режимы резания		
		Скорость круга, м/с	Поперечная подача, мм/дв.ход	Продольная подача, м/мин
Заточка по пластинке из твердого сплава	Органическая	25-30	0,01-0,02	1,0-2,0
	Металлическая	16-22	0,05-0,08	2,0-3,0
Заточка совместно с державкой	Керамическая	25-40	0,03-0,05	0,5-1,5
Доводка	Органическая	25-30	0,005-0,01	0,5-1,5

Таблица 2.8 – Рекомендации по режимам заточки и доводки режущих инструментов кругами из эльбора

Связка	Скорость круга, м/с	Подача	
		продольная, м/мин	Поперечная, мм/дв.ход
Органическая	20-30	0,5-1,5	0,01-0,03
Керамическая	35-40	1-2	0,03-0,08

Правку шлифовальных кругов производят для придания кругу требуемой геометрической формы, для устранения биения и восстановления его режущей способности.

После выбора, закрепления и правки шлифовального круга, установки и настройки положения обрабатываемого инструмента в приспособлении, установленном на столе станка, а также наладки станка включают станок и производят пробное касание вращающимся кругом обрабатываемой поверхности зуба инструмента. При работе на универсально-заточных станках предварительно устанавливают упоры, ограничивающие зону продольного перемещения стола.

При обработке многолезвийного инструмента (разверток, метчиков, фрез и т.п.) осуществляют пробный проход всех зубьев инструмента с целью определения наиболее выступающего зуба, с которого и следует начинать обработку. Затем перемещают стол в поперечном направлении на величину выбранной поперечной подачи и обрабатывают все зубья инструмента. Каждый зуб обрабатывают при двойном возвратно-поступательном перемещении стола. Следующую подачу на глубину резания осуществляют после полного оборота инструмента. На универсально-заточных станках съем припуска производят при продольных возвратно-поступательных перемещениях стола. Обработку заканчивают выхаживанием без поперечной подачи. Последовательность обработки зависит от вида обрабатываемого инструмента, типа станка, способа формообразования, конструкции приспособления и т.д. В каждом конкретном случае при выполнении лабораторной работы необходимо использовать рекомендации, приводимые в руководствах по эксплуатации применяемого оборудования.

Контроль точности заданных геометрических параметров, нормы и расположения режущих кромок инструментов производят различными измерительными приборами и инструментами, описанными ниже.

Таблица 2. 9 – Рекомендуемые характеристики круга

Инструмент	Затачиваемые поверхности	Материал инструмента	Характеристика круга				
			Тип	Марка шлифовального материала	Зернистость	Степень твердости	Связка
Резец	Передние и задние	Быстрорежущая сталь	ЧК	16А-12А 25А-22А	63-40	С1-СМ2	К
		Твердый сплав	ЧЦ	64С-62С	40-25	М3-М2	К,Б
Сверло	Задние	Быстрорежущая и инструментальная стали	ПВ	16А-12А 25А-23А	40-25	СМ1-СМ2	К
Зенкер, развертка, фреза	Задние	Быстрорежущие и инструментальные стали	ЧК ЧЦ	24А-23А	40-25	СМ1-СМ2	К
Развертка, фреза, метчик, протяжка	Передние	Быстрорежущая и инструментальная стали	4Т	16А-14А 24А-23А	40-25	СМ1-СМ2	К
			1Т				
Червячная фреза	Передние	Быстрорежущая сталь	Т 1Т		25	СМ1-СМ2	К
Метчик	Задние (затылованные)	Быстрорежущая и легированная инструментальная стали	ПП	16А-14А 24А-23А	25-16	СМ1-СМ2	К

Учебное издание

Составитель: Левданский Алексей Маратович

СБОРНИК МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ

к лабораторно-практическим занятиям
по дисциплине

«Режущий инструмент»

для студентов специальности 1-36 01 01
«Технология машиностроения»

Ответственный за выпуск: Левданский А.М.

Редактор: Строкач Т.В.

Компьютерная вёрстка: Кармаш Е.Л.

Корректор: Никитчик Е.В.

Подписано к печати 31.05. 2007. Формат 60x84 1/16. Бумага «Снегурочка». Усл. п. л. 3,72.
Уч. изд. 4. Тираж 100 экз. Заказ №549. Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Брестский государственный технический университет». 224017, Брест, ул. Московская, 267