

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»

ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ

Кафедра материаловедения и технологии машиностроения

ФРЕЗЫ И ФРЕЗЕРОВАНИЕ

Методические указания
к лабораторной работе по технологии
конструкционных материалов

Санкт-Петербург
2017

УДК 678-036(07)

Фрезы и фрезерование: методические указания к лабораторной работе по технологии конструкционных материалов/ сост.: А.В. Гропянов, Н. Н. Ситов, М.Н. Жукова; ВШТЭ СПбГУПТД. - СПб., 2017. -14 с., ил. 14.

В настоящем издании приведены типы фрез, дана их классификация и анализ геометрических параметров. Описаны способы фрезерования.

Методические указания позволят студентам самостоятельно подготовиться к лабораторной работе. Предназначены для бакалавров направления 15.03.02 «Технологические машины и оборудование».

Рецензент: зам. директора института безотрывных форм обучения ВШТЭ СПбГУПТД, канд. техн. наук, доцент В.О. Варганов.

Подготовлены и рекомендованы к печати кафедрой материаловедения и технологии машиностроения Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна (протокол №8 от 25.05.2017).

Утверждены к изданию методической комиссией института технологии ВШТЭ СПбГУПТД (протокол №6 от 01.06.2017).

© Высшая школа технологии
и энергетики СПбГУПТД, 2017

Антон Васильевич Гропянов
Николай Николаевич Ситов
Мария Николаевна Жукова

ФРЕЗЫ И ФРЕЗЕРОВАНИЕ

Методические указания к лабораторной работе
по технологии конструкционных материалов

Редактор и корректор В.А.Басова
Техн. редактор Л.Я. Титова
Компьютерный набор и верстка М.С. Локтевой

Темплан 2017г., поз. 83

Подп. к печати 29.05.17. Формат 60x84/16. Бумага тип. № 1.
Печать офсетная. Объем 1,0 печ. л.; 1,0 уч. — изд. л.
Тираж 200 экз. Изд. № 83. Цена "С". Заказ №

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД.
198095, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4.

ВВЕДЕНИЕ

Фрезерование – высокопроизводительный и распространенный метод обработки поверхностей: горизонтальных, вертикальных и наклонных плоскостей, уступов и пазов различного профиля. Фрезерование осуществляется многолезвийным режущим инструментом – *фрезой* на горизонтально-, вертикально-, универсально-фрезерных станках, а также на карусельно-, барабанно- и зубофрезерных.

При фрезеровании главное (вращательное) движение совершает фреза, движение подачи – заготовка.

Фрезы классифицируются по способу крепления: осевые и концевые.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Практическое ознакомление с конструкцией и типами фрез, их элементами, геометрией, а также способами установки фрез на станках.

ОСЕВЫЕ ФРЕЗЫ

Осевые фрезы крепятся на оси горизонтально- и универсально-фрезерных станков.

Осевые фрезы делятся на *цилиндрические* и *дисковые* (пазовые) (рис. 1). У цилиндрических фрез длина больше диаметра.

Осевые фрезы могут иметь режущие кромки только на цилиндрической поверхности – односторонние (рис. 1, б), на цилиндрической поверхности и одной из торцевых – двухсторонние, на цилиндрической и двух торцевых – *трехсторонние* фрезы (рис. 1, в). Они также могут быть *прямозубыми* и *косозубыми*. Косозубые фрезы сложнее в изготовлении, но они работают с меньшей вибрацией, поэтому достигается большая точность обработки поверхности и повышается стойкость инструмента.

По форме зуба различают *острозубые* и *затылованные* осевые фрезы (рис. 2). Острый зуб затачивается по задней поверхности.

Задняя поверхность затылованного зуба имеет форму спирали Архимеда, и при перезаточке по передней поверхности профиль зуба не изменяется. Зуб такой формы имеют обычно *фасонные* и *модульные* фрезы (рис. 3).

На горизонтально – фрезерных станках используются также *торцевые* фрезы (рис. 4), с помощью которых обрабатываются вертикальные плоские поверхности, и угловые (дисковые) (рис. 5) для обработки наклонных поверхностей.

Среди осевых фрез особое место занимают *фасонные* фрезы, используемые для обработки фасонных поверхностей (рис. 3). К ним относятся *модульные* фрезы, используемые для прорезания впадин между

зубьями шестерен. Модульные фрезы могут быть *пальцевыми* (рис. 6), *дисковыми* (рис. 3, б), *червячными* (рис. 7). Дисковые и пальцевые фрезы используются для обработки зубьев шестерен методом копирования на фрезерных станках, червячные – методом обкатки на зубофрезерных станках.

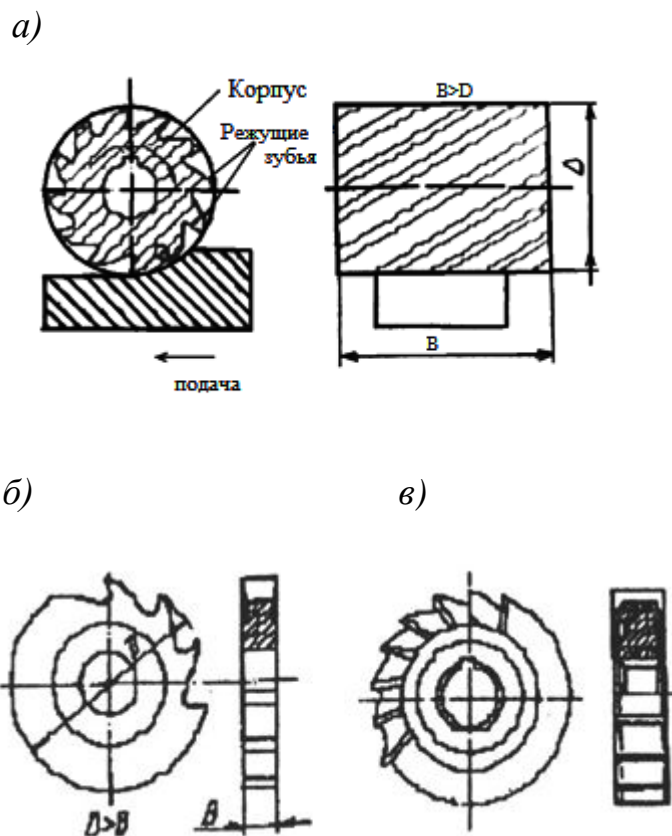


Рис. 1. Осевые фрезы: а – цилиндрическая фреза; б – дисковая односторонняя фреза; в – дисковая трехсторонняя фреза

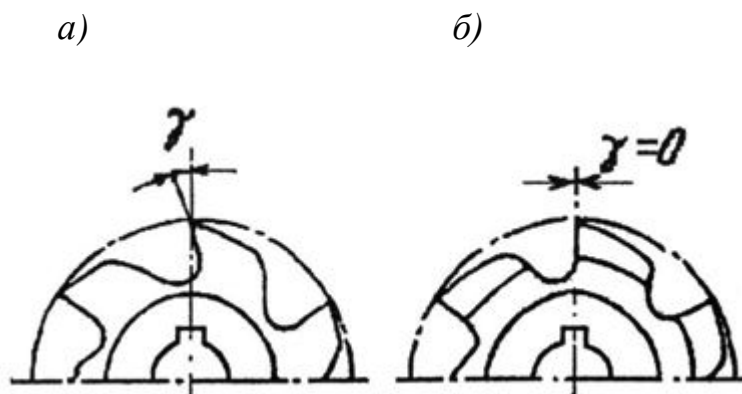
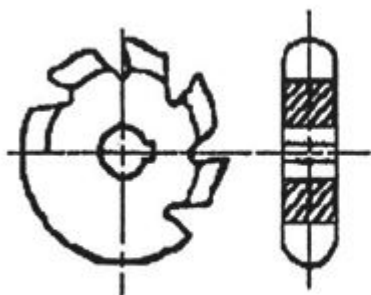


Рис. 2. Форма зуба фрезы: а – острый зуб; б – затылованный зуб

а)



б)

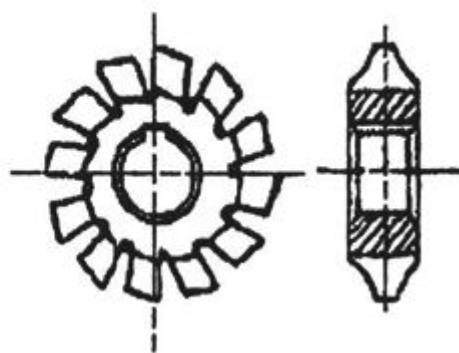


Рис. 3. Фасонная фреза для обработки фасонных поверхностей и канавок (а); модульная фреза для прорезания впадин между зубьями шестерен (б)

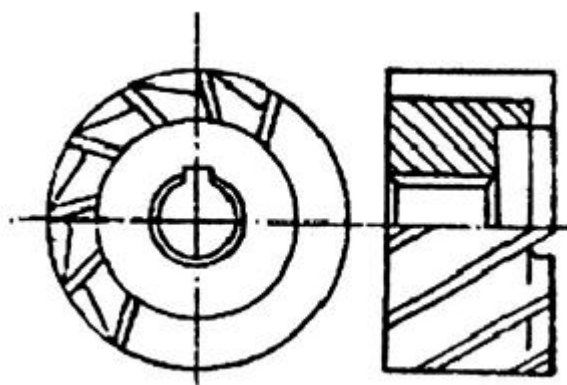


Рис. 4. Торцевая фреза

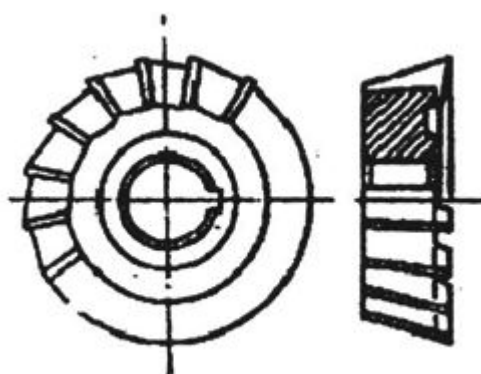


Рис. 5. Угловая фреза

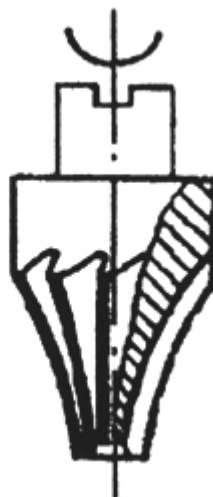


Рис. 6. Пальцевая фреза

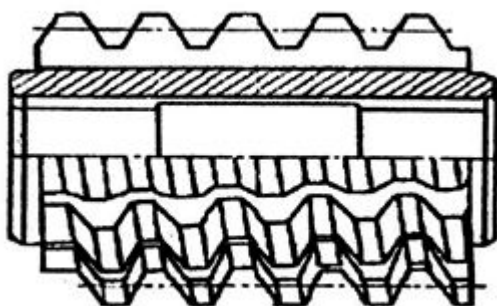


Рис. 7. Червячная фреза

КОНЦЕВЫЕ ФРЕЗЫ

Концевые хвостовые фрезы закрепляются вертикально в шпинделе вертикально-фрезерного станка. Они имеют режущие кромки как на торцевой, так и на цилиндрической поверхности и используются для получения уступов и прямоугольных пазов. К концевым фрезам относятся *шпоночные* фрезы (рис. 8), предназначенные для обработки шпоночных пазов (рис. 9, б).

Как осевые, так и концевые фрезы по конструкции могут быть *цельными* или *сборными* с напаянными и вставными (с механическим креплением) зубцами. Для обработки плоских поверхностей большой площади используются *фрезерные головки* – концевые фрезы большого диаметра с механическим креплением сменяемых зубцов (рис. 10).

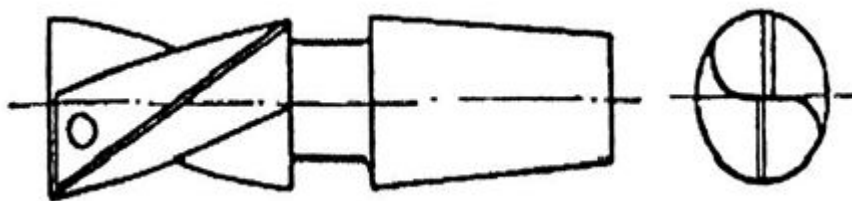


Рис. 8. Шпоночная фреза

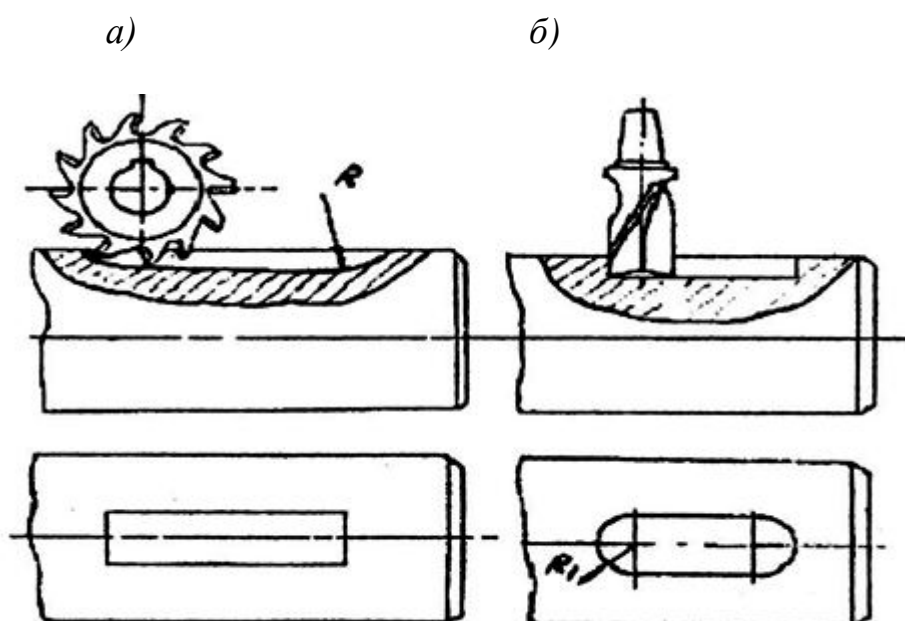


Рис. 9. Изготовление шпоночной канавки дисковой (а) и шпоночной (б) фрезой

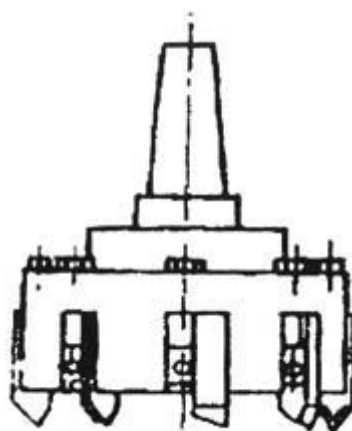


Рис. 10. Фрезерная головка

РЕЖИМ РЕЗАНИЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ

К режиму резания при фрезеровании относятся скорость резания V , подача S , глубина резания t и ширина фрезерования B . *Скорость резания* $V = \pi Dn/1000$ – это окружная скорость вращения фрезы. D – диаметр фрезы, мм; n – частота вращения фрезы, об/мин.

Подача – величина перемещения обрабатываемой заготовки относительно вращающейся фрезы.

Различают три различные подачи:

- подача на один зуб фрезы S_z (мм/зуб) – величина перемещения заготовки относительно фрезы за время ее углового поворота на один зуб;
- подача на один оборот фрезы S_o – величина перемещения заготовки относительно фрезы за один ее оборот;
- минутная подача S_m – величина перемещения заготовки в минуту.

Эти подачи связаны между собой следующими зависимостями:

$$S_m = S_o n = S_z Z n$$

Z – число зубьев фрезы.

Глубина резания t определяется в мм.

Ширина фрезерования B (мм) – величина обрабатываемой поверхности, измеренная в направлении, параллельном оси фрезы при цилиндрическом фрезеровании и перпендикулярном к направлению подачи при торцевом фрезеровании.

СПОСОБЫ ФРЕЗЕРОВАНИЯ

Фрезерование характеризуется рядом особенностей. Каждый зуб фрезы находится в контакте с заготовкой небольшую часть своего оборота, а остальную часть пути проходит без обработки. «Холостой» поворот зуба фрезы способствует лучшему ее охлаждению и повышению режущих свойств, поэтому стойкость фрезы достигает сотен минут (обычно 300 мин), что значительно больше стойкости, например, токарных резцов (60 мин).

Последовательное врезание зубьев фрезы в заготовку сопровождается ударами, вибрациями. Кроме того, из-за изменения толщины срезаемого слоя (стружка при фрезеровании имеет форму запятой) и числа зубьев, одновременно находящихся в работе, усилие резания колеблется. Все это приводит к неравномерности процесса фрезерования, вибрациям, что может отрицательно сказаться на точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей при недостаточной жесткости и виброустойчивости станков.

Большое влияние на процесс резания оказывает также направление подачи заготовки по отношению к направлению вращения фрезы. Различают фрезерование «против подачи» – *встречное*, если направления вращения фрезы и подачи противоположны (рис. 11, а) и «по подаче» – *попутное*, если направления совпадают (рис. 11, б).

При встречном фрезеровании зуб фрезы, имеющий очень малый, но определенный радиус закругления на режущем лезвии (рис. 11, а), начинает работать с нулевой глубины резания. Поэтому он сразу в металл не врезается, а скользит по наклепанной поверхности, полученной после обработки предыдущим зубом, пока высота валика металла перед работающим зубом не окажется примерно равной радиусу закругления. Такое скольжение зуба приводит к повышенному износу, уменьшению стойкости фрезы и увеличению шероховатости. Нагрузка на зуб, возрастающая по мере поворота фрезы, отрывает заготовку от стола и способствует возникновению вибрации.

Встречное фрезерование применяют часто для обработки заготовок с твердой коркой на поверхности (чугуны – отбеленная корка), так как здесь зуб фрезы подходит к поверхностному слою снизу и отламывает хрупкую корку.

При попутном фрезеровании (рис. 11, б) зуб фрезы начинает с максимальной толщины. Проскальзывание зуба отсутствует. Силы резания прижимают заготовку к столу станка, что уменьшает вибрацию.

Станки для попутного фрезерования должны быть специально оборудованы для уменьшения зазоров винтовой пары механизма подачи заготовки. Когда зуб фрезы входит в работу, возникающее усилие резания перемещает заготовку по ходу движения, пока зазоры в винтовой паре между витками винта и гайки не будут выбраны по правым сторонам витков винта (рис. 11, в). По выходе зуба фрезы сила резания уменьшается, и зазор оказывается выбранным уже по левым сторонам витков винта (рис. 11, г).

Такое осциллирующее перемещение заготовок создает вибрацию и отрицательно сказывается на качестве обработанной поверхности. Для исключения этого явления применяют гидравлический поджим стола или используют устройство из двух гаек, соединяемых резьбовой стяжкой, которую периодически поворачивают для перемещения гаек и выборки зазоров. Используют также практически беззазорные шариковые винтовые пары.

ГЕОМЕТРИЯ ФРЕЗ

Геометрия фрез будет рассмотрена на примере цилиндрической фрезы (рис. 1, а) и фрезерной головки (рис. 10).

Зуб цилиндрической фрезы представлен на рис. 12.

γ – *передний угол* – угол между касательной к передней поверхности и направлением радиуса окружности вращения точки на режущей кромке. Передний угол измеряется в плоскости А – А перпендикулярно к режущей кромке. Он облегчает образование и сход стружки и составляет обычно 10 - 20°. У фрез с пластинками из твердых сплавов передний угол может быть отрицательным и достигать $\gamma = -10 - -15^\circ$.

α – главный задний угол – угол между касательной к задней поверхности в точке режущей кромки и касательной к траектории вращения точки. Главный задний угол измеряется в плоскости, перпендикулярной оси фрезы, и обеспечивает благоприятные условия перемещения задней поверхности зуба относительно поверхности резания, а также уменьшает трение на этих поверхностях. Обычно он составляет $10 - 40^\circ$.

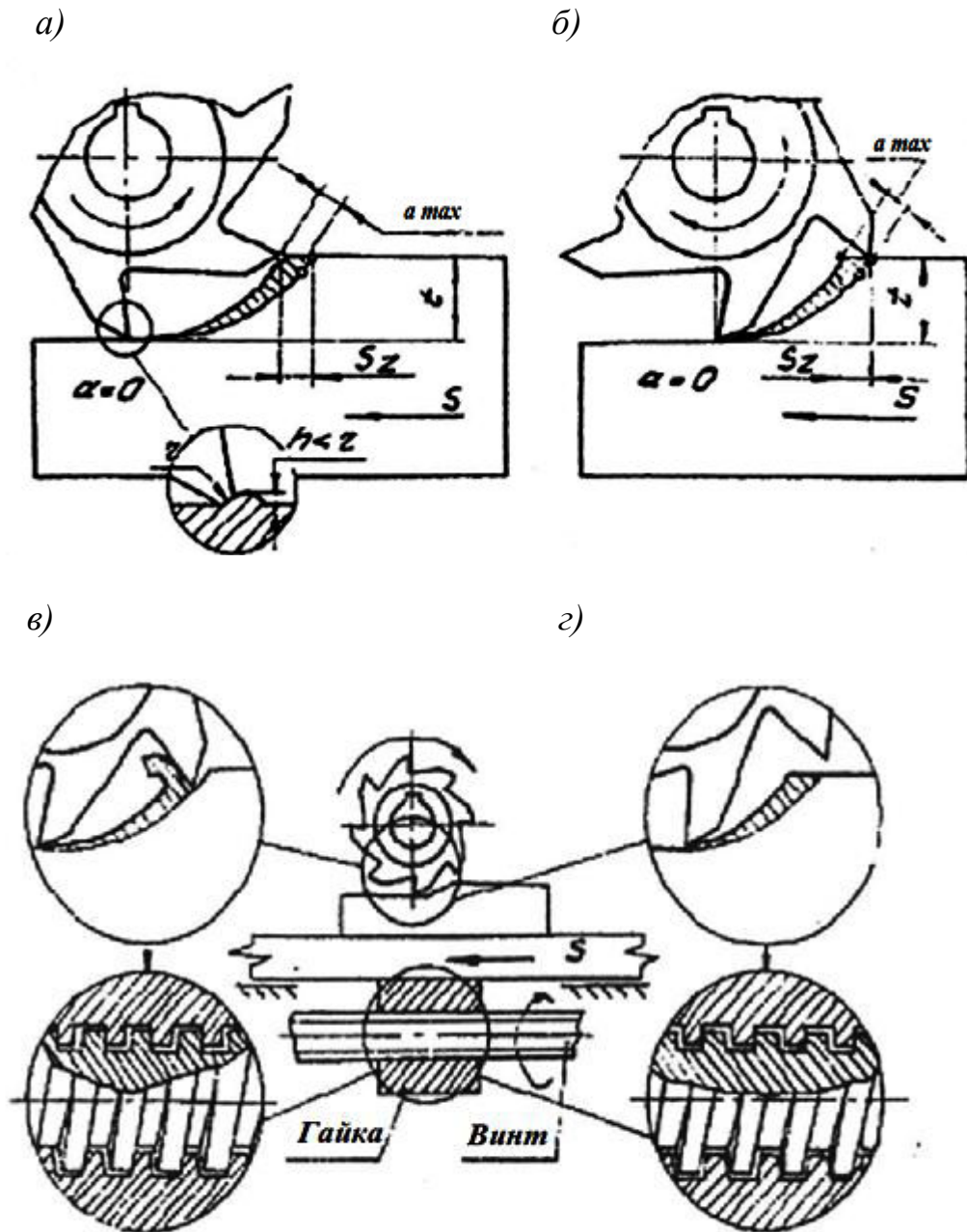


Рис. 11. Виды фрезерования

α – угол наклона зубьев, обеспечивает более спокойные условия резания по сравнению с прямым зубом и задает направление схода стружки. У торцевой фрезы зуб имеет более сложную форму (рис. 13);

ϕ – главный угол в плане, измеряемый в осевой плоскости фрезы. Угол между проекцией главной режущей кромки на осевую плоскость и направлением подачи;

ϕ_1 – вспомогательный угол в плане, угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на осевую плоскость и направлением подачи.

Обычно вспомогательный угол в плане составляет $5 - 10^\circ$. Чем он меньше, тем ниже шероховатость обрабатываемой поверхности.

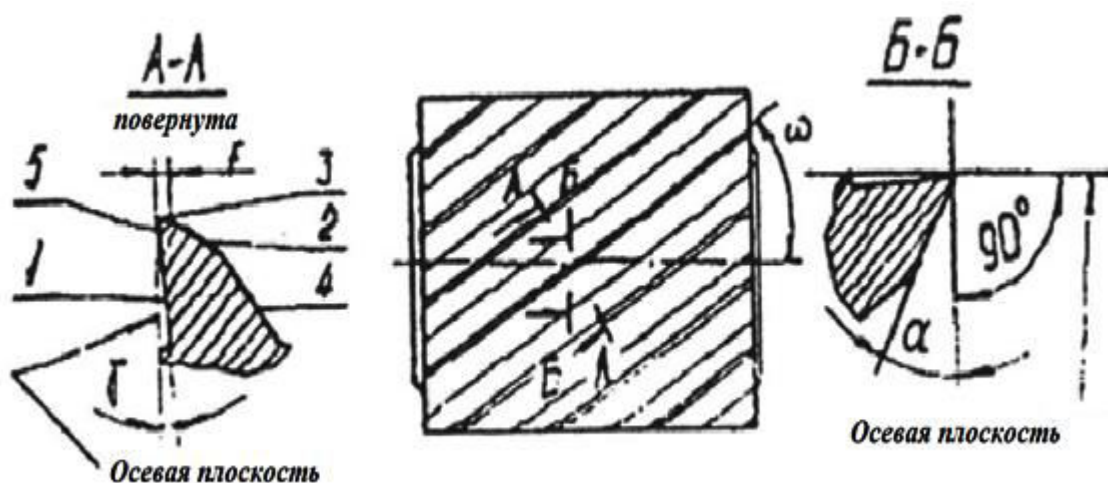


Рис. 12. Геометрия зуба цилиндрической фрезы:
1 – передняя поверхность; 2 – задняя поверхность;
3 – фаска (ленточка); 4 – спинка зуба;
5 – режущая кромка (лезвие)

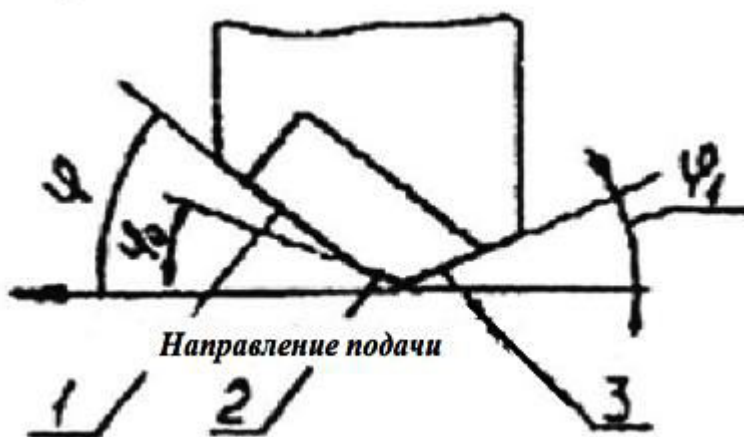


Рис. 13. Геометрия зуба торцевой фрезы:
1 – главная режущая кромка; 2 – переходная режущая кромка;
3 – вспомогательная режущая кромка

φ_0 – угол в плане на переходной режущей кромке, $\varphi_0 = \varphi/2$. Наличие переходной режущей кромки (переходного лезвия) повышает прочность зуба.

Конструкция, типы, размеры фрез регламентируются ГОСТами.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с основными типами фрез, их классификацией, конструкцией и геометрией, способами фрезерования и режимом резания при фрезеровании.

2. Получить у преподавателя две фрезы и определить для них назначение и основные элементы: поверхности, режущие кромки и т.д.

3. По маркировке определить материалы, из которого изготовлены фрезы (или их режущие части) и расшифровать состав материалов (задание выполняется с использованием Приложения).

4. Выполнить эскиз фрез с указанием их размеров, необходимых проекций и сечений.

5. На эскизе показать главный задний угол α , передний угол γ , угол наклона зубьев ω и углы φ , φ_1 , φ_0 .

ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- название лабораторной работы;
- цель работы;
- краткие сведения о фрезах, их назначении, типах, конструкции и геометрии, а также о процессе фрезерования;
- эскизы выданных инструментов с обозначением их частей, необходимых сечений и всех углов;
- результаты расшифровки состава материала, из которого изготовлены фрезы.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Инструментальные материалы

Быстрорежущие стали. Наиболее широко применяются при изготовлении осевого инструмента: сверла, зенкеров, разверток, метчиков и для резьбовых и сложнопрофильных резцов и фасонного инструмента.

1. Стали нормальной производительности (пониженной теплостойкости – 615 – 620° С). К ним относятся: вольфрамовые – Р9, Р12, Р18; вольфрамомолибденовые – Р6М5, Р6М3; безвольфрамовые – 9Х6М3ФЗАГСТ. Скорость резания этих сталей $V_p = 35 - 40$ м/мин.

2. Стали повышенной производительности (дополнительно легированы кобальтом и ванадием, их теплостойкость – 625 – 640° С). К ним относятся: вольфрамокобальтовые – Р9К5, Р9К10, вольфрамованадиевые – Р9Ф5, Р12Ф3, вольфрамомолибденовые с кобальтом и ванадием – Р6М5К5, Р6М5Ф2К8.

Порошковые быстрорежущие стали. Их получают методом порошковой металлургии. Они имеют неоднородность по карбидной фазе по 1 – му и 2-му баллам, имеют повышенные шлифуемость и пластичность при холодной и горячей деформации, повышенную прочность на изгиб (500 – 700 МПа), превосходят по стойкости быстрорежущие стали обычной производительности в 1,5 – 2 раза. В маркировке добавляются две буквы МП (Р10М6К8 – МП).

Стали высокой производительности. Теплостойкость 700 – 725° С, твердость после закалки и отпуска 69 – 70 HRC (В11М7К23, В24М12К23, В18К25Х4 и др.). При обработке жаропрочных сталей и титановых сплавов их производительность в 30 раз выше по сравнению с инструментом из стали Р18 и в 10 раз выше производительности инструмента из твердого сплава ВК8. К этим сталям относятся *карбидостали*. Инструмент из этих сталей изготавливается методами порошковой металлургии. Карбидостали – это композиционный материал, в котором зерна тугоплавких карбидов (в основном TiC) равномерно распределены в связке из легированной стали. В них сочетается твердость и износостойкость твердых сплавов с прочностью и вязкостью легированных сталей. Они занимают промежуточное положение между быстрорежущими сталями и твердыми сплавами, подвергаются механической обработке в отожженном состоянии. Эти стали термостойки, легче быстрорежущих сталей на 13 % и твердых сплавов на 50 %. Карбидостали производятся на основе двух сталей Р6М5 – КТ20 (массовая доля карбида титана – 20 %). Теплостойкость этих сталей 650 – 690° С, твердость HRC₃=70 – 72, предел прочности на изгиб $\sigma_{\text{и}}=2000 - 2500$ МПа. Стойкость инструмента из этих сталей выше, чем инструмента из быстрорежущей стали Р18 в 10 раз, из порошковых сталей – в 2 раза.

Твердые сплавы. Производятся на основе карбидов вольфрама, титана и тантала на кобальтовой связке. Скорость обработки инструментом из твердых сплавов в несколько раз превышает скорость обработки инструментом из быстрорежущих сталей. Твердые сплавы делятся на три группы, различающиеся составом карбидной основы и, как следствие, физико-механическими и эксплуатационными свойствами:

а) *вольфрамовые твердые сплавы – ВК;*

б) *титановольфрамовые – ТК;*

в) *титанотанталовольфрамовые – ТТК.*

Вольфрамовые сплавы типа ВК различаются размером зерна карбидной составляющей. При размере карбидных частиц 3 – 5 мкм

структура считается крупнозернистой; 0,5– 1,5 – мелкозернистой; когда 70 % частиц имеют диаметр меньше 1мкм – особо мелкозернистая структура.

С увеличением содержания кобальта повышается предел прочности на изгиб, сопротивляемость ударным и циклическим нагрузкам, но снижаются твердость и температура, при которой наблюдается схватывание с обрабатываемым материалом, что приводит к увеличению износа инструмента. С уменьшением размера зерна снижается прочность, но увеличивается износостойкость.

Крупнозернистые сплавы применяют для черновой обработки, мелко- и особомелкозернистые – для чистовой обработки резанием.

Маркировка: В – крупнозернистые (ВК8В); М – мелкозернистые (ВК6М); ОМ – особо мелкозернистые (ВК6 – ОМ).

Стойкость инструмента с особо мелким зерном в 3 раза выше, чем с мелким зерном. Сплавы с особо мелкозернистой структурой легируют карбидом хрома (ВК10ХОМ).

Титановольфрамовые твердые сплавы *ТК* – более твердые, теплостойкие и износостойкие, чем сплавы типа ВК, но менее прочные. Плохо выдерживают ударные и переменные нагрузки. В связи с этим сплавы группы ТК с меньшим содержанием карбида титана применяются при черновой обработке (Т5К10; Т5К12), а с большим содержанием TiC (Т15К6, Т30К4) – для чистовой обработки.

Титанотанталовольфрамовые сплавы *ТТК* – занимают промежуточное положение по своим механическим свойствам между сплавами ВК и ТК. Для них характерна высокая износостойкость и сопротивляемость ударным и вибрационным нагрузкам, что позволяет их использовать при черновой обработке (сплав ТТ8К6 обладает стойкостью в 2 – 2,5 раза большей, чем сплав ВК6М).

Безвольфрамовые твердые сплавы – на основе карбида и нитрида титана, сцементированные никельмолибденовой связкой. Они имеют меньшую прочность на изгиб, чем вольфрамовые, но повышенную жаростойкость (до 1000° С) и низкую схватываемость с обрабатываемым материалом. Они обладают высокой плотностью, это позволяет получать при заточке острую режущую кромку, что необходимо при чистовой обработке. При этом снижается шероховатость поверхности, это позволяет заменить шлифование точением и повышает производительность в 2 – 2,5 раза. Безвольфрамовые твердые сплавы обладают износостойкостью в 1,5 раза выше, чем у сплавов группы ТК (маркировка ТН30; КРТ16).

Минералокерамические материалы. В настоящее время используются два вида этих материалов;

- оксидная белая керамика (содержит 99,7 % оксида алюминия);
- оксидно-карбидная черная керамика (содержит в качестве добавки карбид титана).

На основе нитрида кремния разработан материал силитин – Р (Si₃N₄), который обладает высокой стабильностью физико-механических свойств и

структуры при высоких температурах. Инструмент из этого материала используется для чистовой обработки.

На основе оксидной керамики разработаны материалы ОНТ-20 (картинит, ВЗ, ВОК-60), которые имеют стойкость в 5 – 10 раз большую, чем у твердых сплавов. Одна режущая пластина из этих материалов заменяет 6 – 8 твердосплавных пластин.

Сверхтвердые материалы – материалы разработанные на основе модификаций углерода и нитрида бора. Из них изготавливается в основном инструмент для гибких автоматических линий и станков с ЧПУ.

Эльбор – Р (композит 1) и бельбор (композит 2) – материалы на основе гексагонального нитрида бора.

Материал на основе кубического нитрида бора с легирующими добавками (композит 0,5) – имеет предел прочности на изгиб 500 – 1000 Мпа и теплостойкость 1100 – 1300° С.

Наибольшее распространение в настоящее время получили эльбор – Р4, гексанитР.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Материаловедение и технология металлов/ Г.П. Фетисов, М.Г. Каримак, В.М. Матюник и др./; под. ред. Г.П. Фетисова. – М.: Высшая школа, 2000.

Никифоров В.М. Технология металлов и других конструкционных материалов. – СПб.: Политехника, 2000.

Технология конструкционных материалов/ И.А. Арумюнова, А.М. Дальский, Т.М. Барсукова и др./ под. ред. А.М. Дальского. – М.: Машиностроение, 1985.

Содержание

Введение.....	3
Цель работы.....	-
Осевые фрезы.....	-
Концевые фрезы.....	6
Режим резания при фрезеровании.....	8
Способы фрезерования.....	-
Геометрия фрез.....	9
Порядок выполнения работы.....	12
Требования к отчету.....	-
Приложение.....	-
Библиографический список.....	16