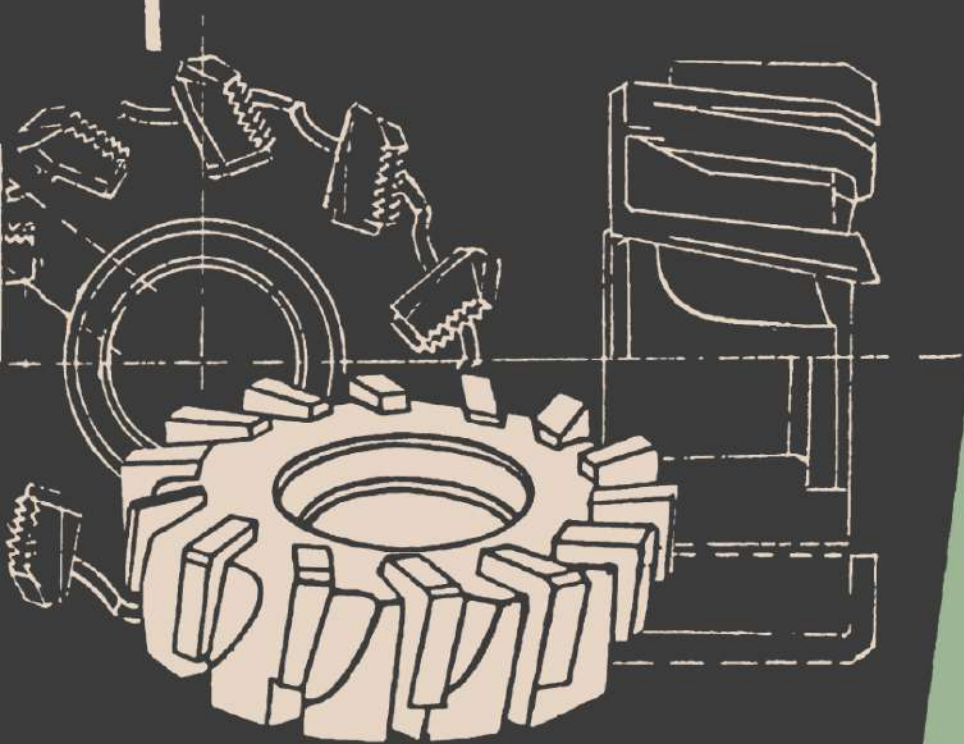


Д.М.КОРЫТНЫЙ

ФРЕЗЫ



Д. М. КОРЫТНЫЙ

ФРЕЗЫ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва 1963

6П4.6.08
К-66

КОРЫТНЫЙ Д. М.
Фрезы. М., Машгиз, 1963 г.
120 стр. с илл.

В брошюре помещены сведения о различных видах фрезерных работ, типах фрез, схемах резания и области применения фрез. Приведены необходимые данные по фрезерным станкам различных типов, способам закрепления обрабатываемых заготовок, наиболее распространенным принадлежностям и приспособлениям к фрезерным станкам.

Книга предназначена для рабочих-фрезеровщиков механических и инструментальных цехов машиностроительных заводов.

Рецензент канд. техн. наук А. А. Зорохович

Редакция литературы по холодной обработке металлов и станкостроению
И. о. зав. редакцией инж. С. Л. МАРТЕНС

ПРЕДИСЛОВИЕ

В программе КПСС, принятой XXII съездом, четко сформулированы задачи дальнейшего развития народного хозяйства СССР.

Машиностроительная промышленность, создающая средства производства, должна быть перевооружена в первую очередь что является необходимым условием обеспечения технического прогресса во всех остальных отраслях народного хозяйства.

Развитие машиностроения требует соответствующего роста выпуска металлорежущих станков. Общее количество фрезерных станков в парке металлорежущего оборудования в 1965 году значительно возрастет (вместе с ростом всего парка станков).

Фрезерование является одним из самых распространенных и производительных методов обработки металлов резанием. Контингент работников, занимающихся фрезерованием, производством фрезерных станков и фрез, расширяется. Рабочим, мастерам, контролерам, технологам предстоит приложить еще больше усилий и знаний для обеспечения роста производительности труда, повышения качества продукции и снижения ее себестоимости. Режущий инструмент и, в частности, фрезы приобретает большое значение для решения указанных задач.

Предлагаемая книга содержит основные сведения по фрезерованию и фрезам, ориентированные главным образом на рабочих-фрезеровщиков механических и инструментальных цехов машиностроительных заводов. В книге помещены также данные справочного характера.

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ФРЕЗЕРОВАНИИ

Форма деталей машин, приборов и различных металлических изделий представляет собой, как правило, сочетание простых поверхностей, чаще всего цилиндрических, конических и плоских. Комбинации простых поверхностей положены в основу существующего большого многообразия форм деталей.

Для образования цилиндрических, конических и плоских поверхностей применяются менее сложные станки, приспособления и инструменты, чем для поверхностей других форм, очерченных по каким-либо сложным кривым.

Для обработки на металлорежущих станках деталей, имеющих плоские и фасонные поверхности, чаще всего применяется процесс фрезерования.

Фасонные поверхности, представляющие собой тела вращения, выполняются методами токарной обработки. Фрезерование тел вращения применяется в редких случаях.

ФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ

Фрезерование является высокопроизводительным процессом обработки деталей на металлорежущих станках и имеет многообразное и широкое применение в машиностроении и приборостроении.

Станкостроительной промышленностью выпускается значительное количество фрезерных станков различных типов и размеров. Встречаются фрезерные станки, предназначенные для обработки небольших деталей. Эти станки устанавливают на верстаках (столах) и называют настольными. На крупных фрезерных станках обрабатываются детали весом в десятки тонн, длиной свыше 10 м, шириной и высотой 4—5 м.

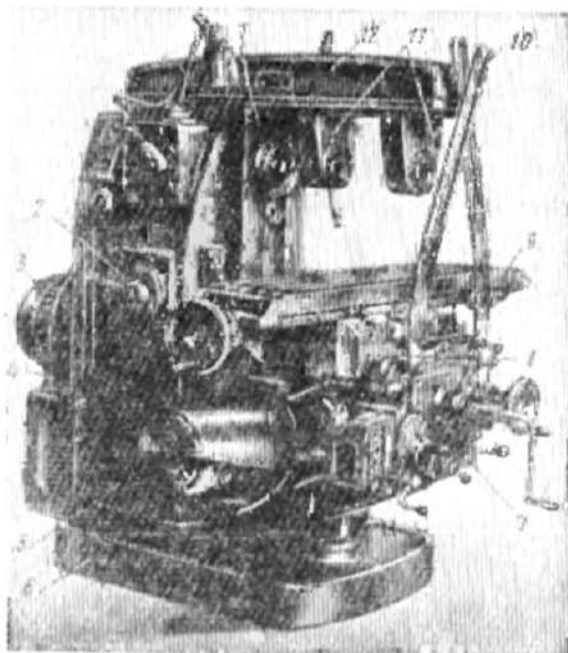
Для обработки плоских и фасонных поверхностей наибольшее применение имеют горизонтальные и вертикальные консольно-фрезерные, бесконсольно-фрезерные и продольно-фрезерные станки, а также карусельно-фрезерные и барабанны-фрезерные станки.

Применяются также станки более узкого назначения: зубофрезерные, резьбофрезерные, копировально-фрезерные, шпоночно-фрезерные, шлицепрорезные и др.

У консольного горизонтально-фрезерного станка (фиг. 1)

шпиндель 1, расположенный горизонтально, получает вращение от индивидуального электродвигателя 3. Для изменения скорости вращения шпинделя служит коробка скоростей 2, помещенная внутри станины 4 станка.

Обрабатываемая деталь закрепляется на столе 9 станка (непосредственно или в приспособлении). Продольная подача осуществляется при движении стола по салазкам 8, поперечная при



Фиг. 1. Консольный горизонтально-фрезерный станок.

перемещении салазок 8 по консоли 7, вертикальная — при перемещении консоли 7 по станине. Все подачи осуществляются через коробку подач от второго индивидуального электродвигателя 5.

Хобот 12 станка соединен ножницами 10 с консолью 7 для увеличения жесткости станка при выполнении тяжелых работ с продольной подачей.

Серьги 11 служат для поддержания оправки с фрезами, установленной хвостовиком в гнезде шпинделя.

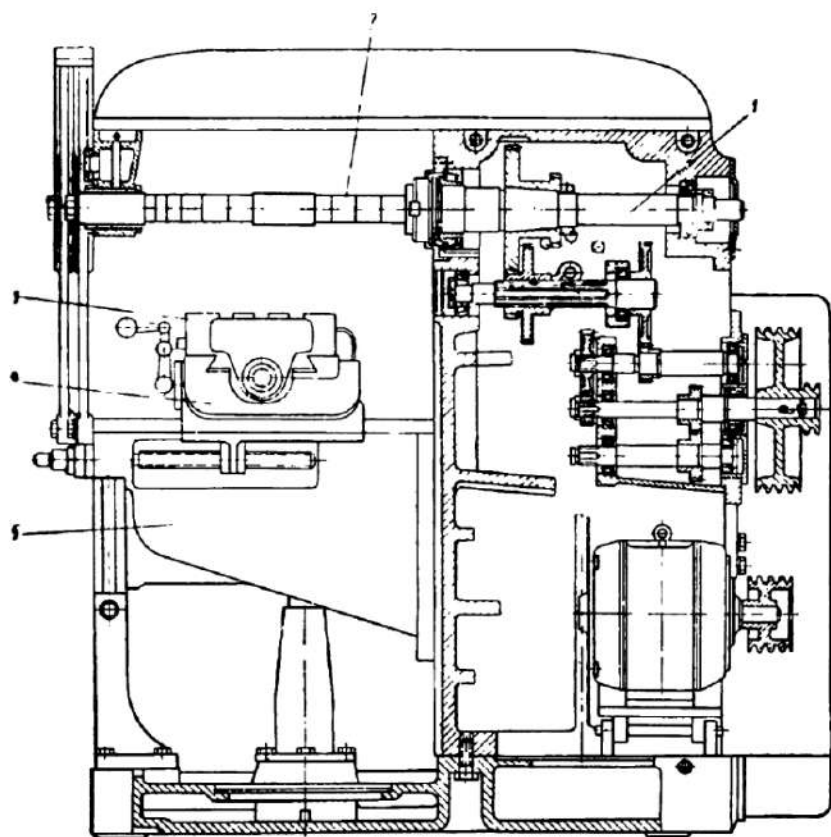
Данный станок называется консольным, потому что стол станка установлен на консоли, перемещающейся по вертикальным направляющим станины.

Станина станка со всеми смонтированными механизмами установлена на основании 6.

На фиг. 2 показан поперечный разрез консольного горизонтально-фрезерного станка.

Станок предназначен для фрезерования плоских и фасонных поверхностей цилиндрическими, дисковыми, угловыми и фасонными фрезами.

У консольного универсально-фрезерного станка стол может поворачиваться вокруг вертикальной оси, что расширяет возможности станка. На нем можно фрезеровать винтовые канавки.



Фиг. 2. Поперечный разрез консольного горизонтально-фрезерного станка:
1 — шпиндель, 2 — оправка, 3 — стол, 4 — салазки, 5 — консоль.

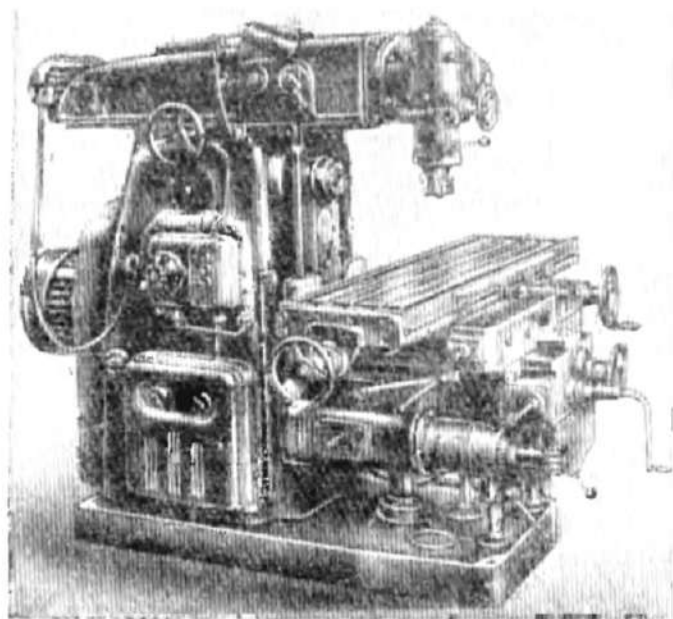
косые зубья зубчатых колес и т. п., что не выполнимо на горизонтально-фрезерном станке.

Консольный вертикально-фрезерный станок (фиг. 3) имеет шпиндель, расположенный вертикально. В отличие от горизонтального вертикально-фрезерный станок не имеет хобота и ножиц. Вертикально-фрезерный станок имеет такие же подачи, что и горизонтальный.

Станок предназначен для фрезерования плоских и фасонных поверхностей торцовыми, концевыми и специальными фрезами.

Показанный на фиг. 3 вертикально-фрезерный станок снабжен поворотной шпиндельной головкой.

Бесконсольный вертикально-фрезерный станок (фиг. 4) представляет собой более жесткую конструкцию, чем консольный, так как вместо консоли в нем предусмотрена массивная горизонтальная станина, по направляющим которой перемещаются салазки. Станки этого типа используются для скоростного фрезерования плоскостей различных деталей торцовыми фрезами.

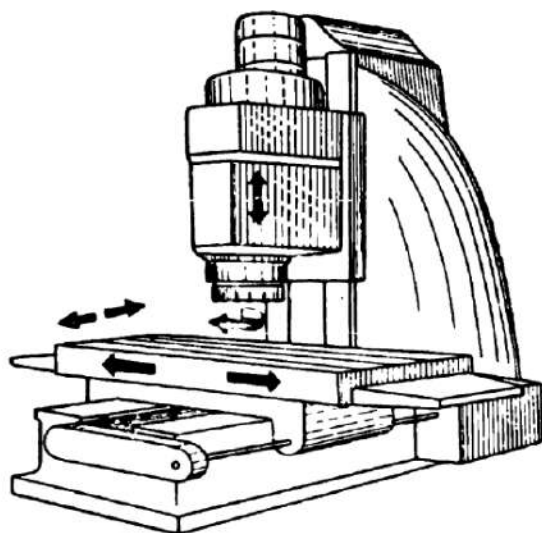


Фиг. 3. Консольный вертикально-фрезерный станок.

Консольные широкоуниверсальные фрезерные станки применяются, в основном, в инструментальном производстве для фрезерования деталей штампов, пресс-форм и приспособлений и обработки деталей сложной формы в серийном производстве.

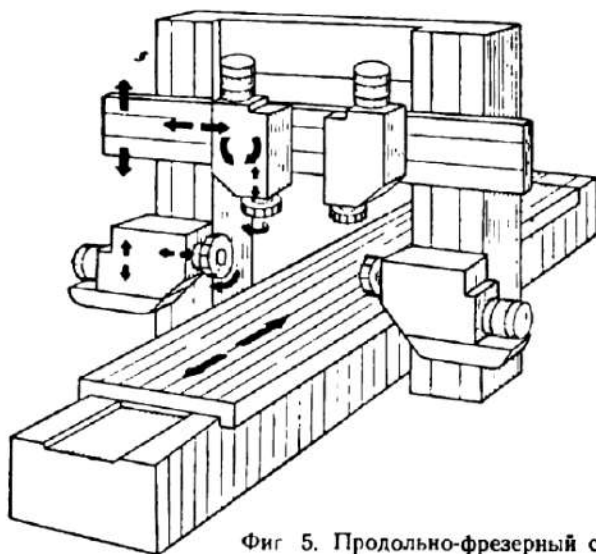
Станки имеют горизонтальный и вертикальный шпиндели и могут быть снабжены универсальным поворотным угловым столом, обеспечивающим возможность фрезерования и растачивания деталей под любым углом.

Продольно-фрезерные станки (фиг. 5) получают все большее распространение, вытесняя продольно-строгальные станки. На продольно-фрезерных станках детали можно обрабатывать одновременно с трех сторон несколькими торцовыми фре-



Фиг. 4. Бесконсольный вертикально-фрезерный станок.

зами или головками. Головки станка механически устанавливаются в требуемом положении на колоннах или траверсе



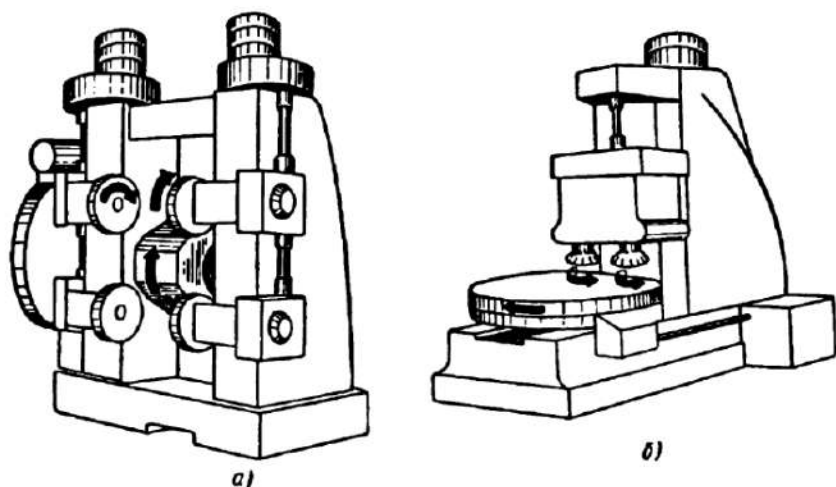
Фиг. 5. Продольно-фрезерный станок

(поперечине) станка в процессе наладки. Каждая головки имеет свой электродвигатель.

Станок имеет только продольную подачу стола.

В массовом и крупносерийном производствах для обработки плоскостей нашли применение барабанно-фрезерные и карусельно-фрезерные станки.

Барабанно-фрезерный станок (фиг. 6, а) представляет собой две стойки, жестко соединенные внизу и вверху, на которых устанавливаются шпиндельные головки с индивидуальными электродвигателями. Между колоннами размещен барабан, медленно вращающийся вокруг горизонтальной оси. Барабан получает вращение от отдельного электродвигателя.



Фиг. 6. Станок для непрерывного фрезерования:
а — барабанно-фрезерный. б — карусельно-фрезерный.

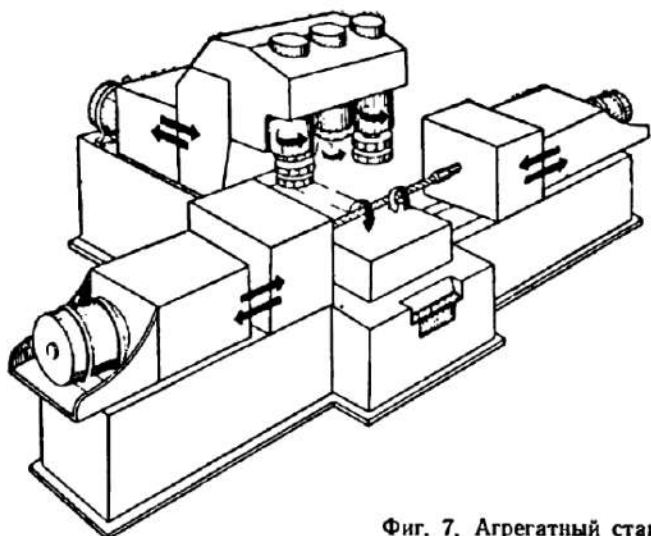
Обрабатываемые детали закрепляются на барабане и проходят между двумя рядами торцовых фрез. Таким образом, детали фрезеруются одновременно с двух сторон. Верхние фрезы можно настраивать на черновое, а нижние — на чистовое фрезерование. Станок работает непрерывно; детали устанавливаются и снимаются без остановки станка.

На карусельно-фрезерном станке (фиг. 6, б) фрезерование также производится непрерывно. Детали устанавливаются на непрерывно вращающийся стол и подаются под одну или две торцовые фрезы. Если работают две фрезы, то одна производит черновую, а другая чистовую обработку. Здесь, как и на барабанно-фрезерном станке, подача круговая, но вокруг вертикальной оси.

При наладке станка стол можно перемещать по горизонтальным направляющим, а шпиндельную головку с фрезами по вертикальным направляющим станины станка.

В современном массовом и крупносерийном производствах все большее распространение находят агрегатные станки. Такие

станки собираются из нормализованных узлов (агрегатов) и небольшого числа специальных деталей. Агрегатные станки служат для выполнения какой-либо определенной операции или одновременно производимых нескольких операций. Силовые (шпиндельные) головки с механизмами вращения и подачи, станины и другие элементы нормализованы с расчетом комплектования станков различного назначения.



Фиг. 7. Агрегатный станок.

На фиг. 7 в качестве примера показан агрегатный станок для обработки детали с трех сторон. На агрегатных станках могут одновременно работать различные режущие инструменты, например фрезы, сверла, зенкеры, борштанги с расточными резцами.

ТИПЫ ФРЕЗ И СПОСОБЫ ИХ КРЕПЛЕНИЯ НА СТАНКАХ

Для повышения эффективности процесса фрезерования, уменьшения затрат времени на обработку, обеспечения необходимой стойкости, снижения себестоимости, уменьшения расхода электроэнергии разработаны и нашли применение разные типы и конструкции фрез.

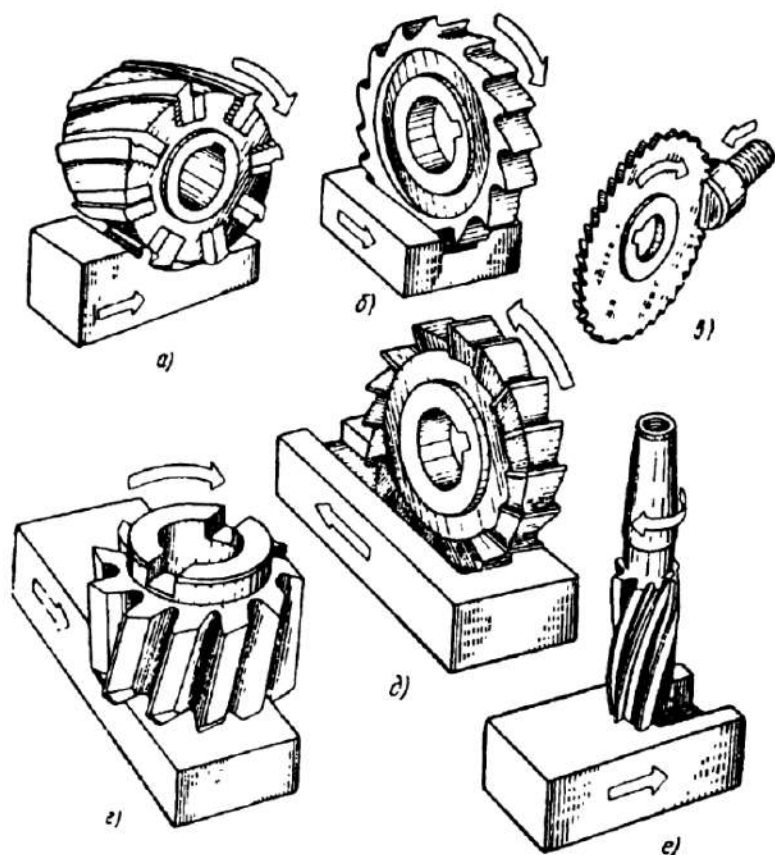
На фиг. 8 представлены основные, наиболее употребительные, типы фрез. Стрелки указывают направление вращения фрез и подачи обрабатываемых заготовок.

Цилиндрическая фреза (фиг. 8,а) широко применяется для обработки плоскостей, а в наборах с фрезами других типов для фрезерования поверхностей сложного профиля. Фреза имеет зубья с режущими кромками на цилиндрической поверхности.

Пазовая фреза на фиг. 8,б предназначена для фрезерования пазов, шлицевая (прорезная) фреза (фиг. 8,в) для фрезерова-

ния шлицев, например, в головках винтов. Шлицевые фрезы небольшой толщины могут быть применены для разрезания с незначительной потерей металла в стружку.

Торцовая фреза (фиг. 8,з) применяется для обработки плоскостей. В отличие от цилиндрической торцовая фреза имеет



Фиг. 8. Основные типы фрез:

а — цилиндрическая, б — дисковая пазовая, в — шлицевая (прорезная),
 г — торцовая, д — дисковая трехсторонняя, е — концевая.

зубья с режущими кромками не только на цилиндрической, но и на торцовой поверхности.

Дисковая трехсторонняя фреза (фиг. 8,г) имеет зубья с режущими кромками на цилиндрической и двух торцовых поверхностях. Дисковая двухсторонняя фреза (не показанная на фигуре) имеет зубья с режущими кромками на цилиндрической и одной торцовой поверхностях.

Трехсторонние дисковые фрезы служат для фрезерования пазов, уступов и боковых плоскостей. При обработке пазов трех-

сторонние фрезы дают более чистую поверхность, чем пазовые фрезы.

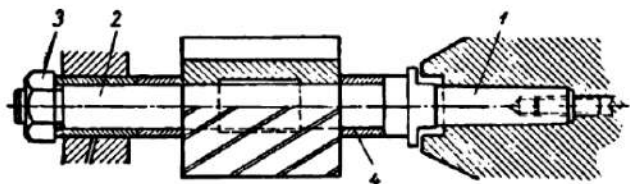
Двухсторонние фрезы используются только для фрезерования уступов и боковых плоскостей.

Концевая фреза (фиг. 8,е) снабжена зубьями с режущими кромками на цилиндрической и торцовой поверхностях. Концевые фрезы широко применяются, например, для фрезерования канавок, узких площадок, пазов, различных работ по копиям.

Применяются также фрезы: одно- и двухугловые, полукруглые (выпуклые и вогнутые), для образования Т-образных пазов и гнезд под сегментные шпонки, а также фасонные, резьбовые и зуборезные.

В дальнейшем будут описаны все типы фрез, имеющих достаточно широкое применение для фрезерования металла, за исключением зуборезных.

Фрезы с отверстиями называются насадными. Отверстия служат для насаживания фрез на оправки.



Фиг. 9. Крепление оправки с фрезой в шпинделе станка.

У концевых фрез хвостовик служит для крепления фрезы в шпинделе станка непосредственно или через переходную втулку.

Для фрез диаметром 14—60 мм применяются конические хвостовики с конусом Морзе 2, 3, 4 и 5, а для фрез диаметром 2—20 мм — цилиндрические, диаметром 3—20 мм.

Чем больше диаметр фрезы, тем большие усилия возникают в процессе ее работы. Поэтому фрезы больших диаметров снабжаются коническими хвостовиками, обеспечивающими более точное и надежное крепление фрез на станках.

От качества закрепления фрезы в значительной степени зависят производительность фрезерования и точность обработанной поверхности.

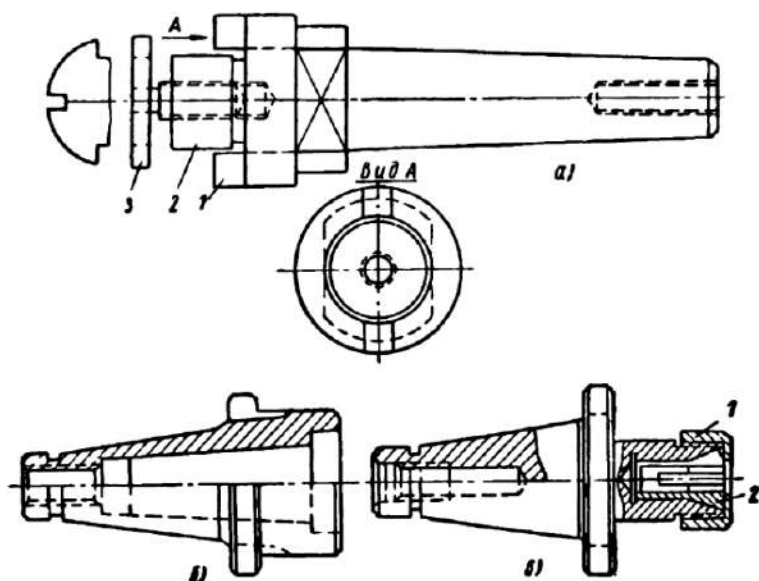
На фиг. 9 представлен один из способов крепления фрезы на оправке, имеющей конический хвостовик, соответствующий коническому гнезду переднего конца шпинделя станка. Размеры гнезд шпинделей фрезерных станков стандартизованы. Размеры хвостовиков оправок принимаются соответственно стандартным гнездам шпинделей.

Оправка центрируется коническим хвостовиком 1 в гнезде шпинделя, а другим концом 2 опирается на подшипник подве-

ски хобота. Такой способ крепления применяется для цилиндрических, дисковых и фасонных фрез.

Благодаря кольцам 4 фреза может быть установлена на любом месте рабочей части оправки.

При затягивании гайки 3 между торцами фрезы и кольцами 4 возникает трение, достаточное для того чтобы удержать фрезу от проворачивания во время фрезерования, если фреза небольшого диаметра и работает при небольших усилиях. Во всех других случаях на рабочей части оправки делается шпоночный паз и фреза соединяется с оправкой посредством шпонки. Таким же образом соединяются с оправкой и установочные кольца.

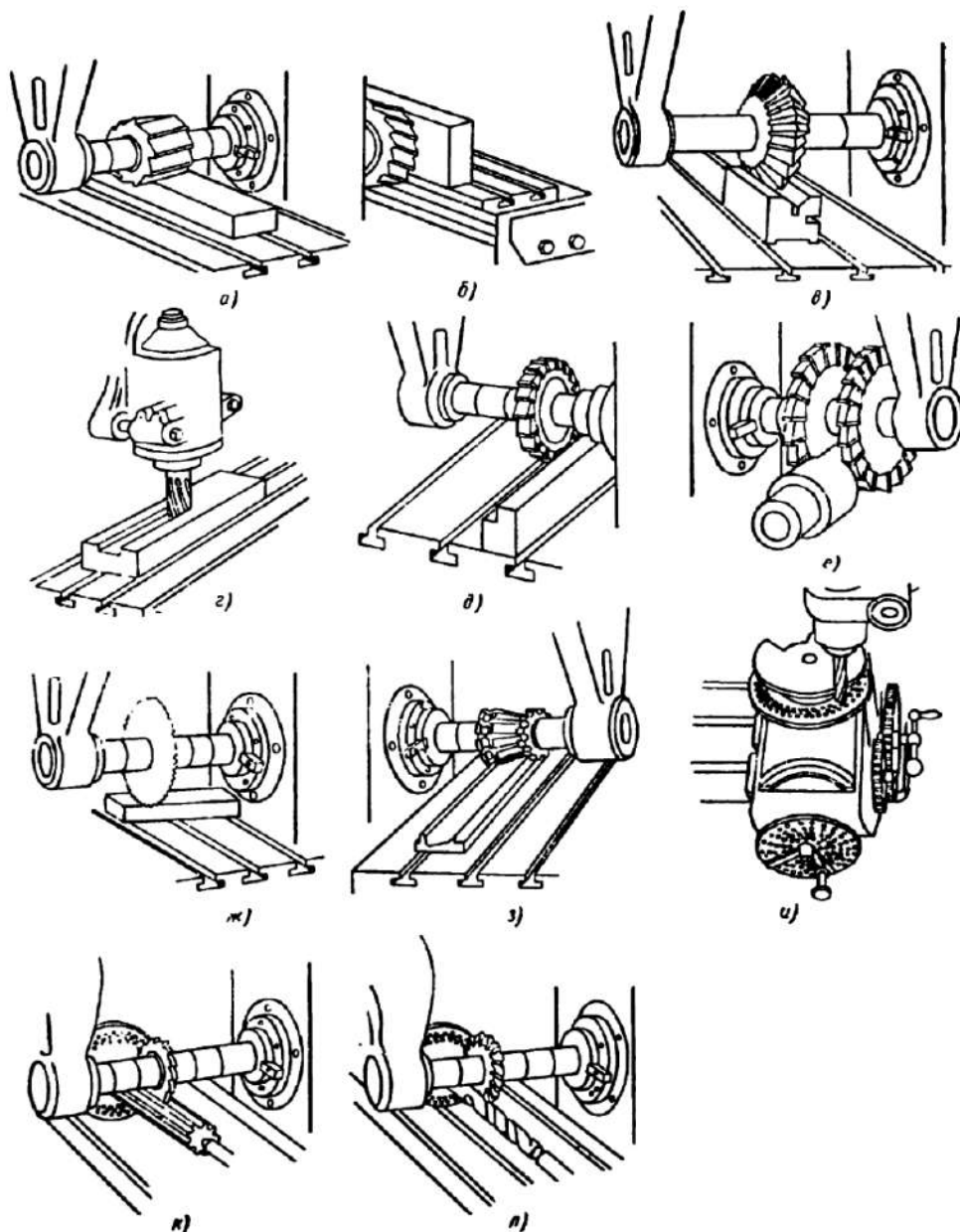


Фиг. 10. Консольное крепление фрез:
а — оправка для торцевой фрезы, б — переходная втулка, в — патрон для концевой фрезы.

Диаметры отверстий и размеры шпонок и шпоночных пазов оправок, фрез и установочных колец стандартизованы. На заводах СССР применяются оправки диаметром 10, 13, 16, 22, 27, 32, 40, 50 и 60 мм.

Фрезы необходимо располагать на оправке как можно ближе к шпинделю станка, чтобы не было прогиба оправки под действием сил резания во время работы фрезы. При тяжелых условиях работы следует добавить опору — подвесной подшипник хобота станка.

Фрезы, работающие зубьями, расположенными на их торцах, закрепляются на концевых оправках (фиг. 10,а), имеющих



Фиг. 11. Примеры работ, выполняемых на консольно-фрезерном станке:

а — фрезерование плоскости цилиндрической фрезой, б — фрезерование плоскости торцевой фрезой, в — фрезерование наклонных плоскостей угловой фрезой, г — фрезерование паза концевой фрезой, д — фрезерование уступа дисковой двухсторонней фрезой, е — фрезерование набором из двух дисковых трехсторонних фрез, ж — разрезка пилкой (отрезной фрезой), з — фрезерование поверхности фасонной фрезой, и — фрезерование криволинейного контура концевой фрезой, к — фрезерование шлицевых канавок на валке, л — фрезерование винтовой канавки.

конический хвостовик, соответствующий коническому гнезду переднего конца шпинделя станка.

Оправка, имеющая только одну опору (хвостовик), работает как консоль и должна быть возможно короче, иначе она будет прогибаться под действием сил, возникающих в процессе резания.

Оправка на фиг. 10,а предназначена для насадной торцевой фрезы. На торце заплечика оправки предусмотрены выступы 1 (шпонки), соответствующие пазам на торцах фрез. При помощи этих выступов вращение передается от оправки фрезе. Винт 3 с прорезями под ключ служит для закрепления фрезы на цилиндрической части 2 оправки.

Оправки со шпонками, расположенными параллельно оси фрезы, применяются для фрез с соответствующими шпоночными пазами.

Концевые фрезы, имеющие конические хвостовики, закрепляются непосредственно в гнезде шпинделя станка. Если размер хвостовика меньше размера гнезда шпинделя, применяется переходная втулка (фиг. 10,б), наружный конус которой соответствует размерам гнезда шпинделя, а внутренний — размерам хвостовика.

На фиг. 10,в представлен патрон, предназначенный для крепления фрез с цилиндрическим хвостовиком. Хвостовик фрезы вставляется в отверстие патрона, на конец которого накручена гайка 1. Втулка 2 выполнена разрезной (цанга). При затягивании гайка 1 нажимает на втулку и та перемещается на небольшую величину в глубь гнезда. При этом коническая поверхность втулки упирается в конус гнезда патрона и благодаря разрезам, втулка зажимает хвостовик фрезы.

Патрон устанавливается в шпинделе станка.

Резьбовые отверстия в торцах описанных оправок так же, как и у концевых фрез с коническим хвостовиком, служат для затягивания (закрепления) их посредством затяжного винта (шомпола) в шпинделе станка.

На фиг. 11 показаны примеры работ, выполняемых на консольно-фрезерном станке фрезами различных типов.

ПРОЦЕСС ФРЕЗЕРОВАНИЯ

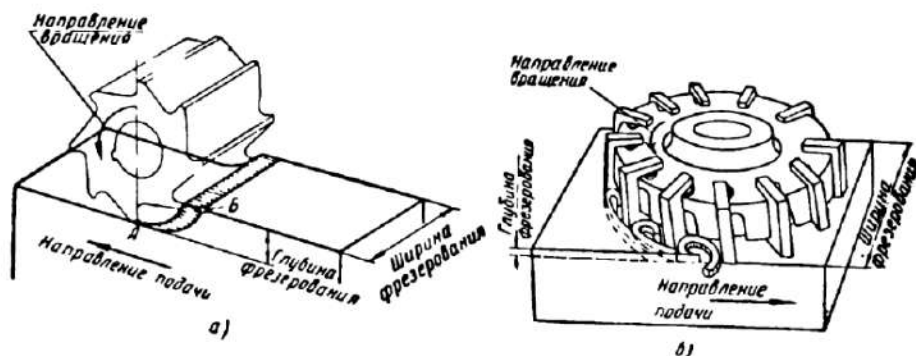
Схема резания на фиг. 12,а для случая фрезерования цилиндрической фрезой, относится ко всем фрезам, работающим зубьями, расположенными на их цилиндрической поверхности.

Зуб фрезы снимает слой металла, имеющего форму завитка переменной толщины, сечение которого напоминает запяточку. Наименьшая толщина снимаемого слоя при входе зуба фрезы в металл (точка А), а наибольшая при выходе зуба из металла (точка Б).

При фрезеровании торцевой фрезой сечение стружки имеет форму четырехугольника (фиг. 12,б). Зуб фрезы снимает слой

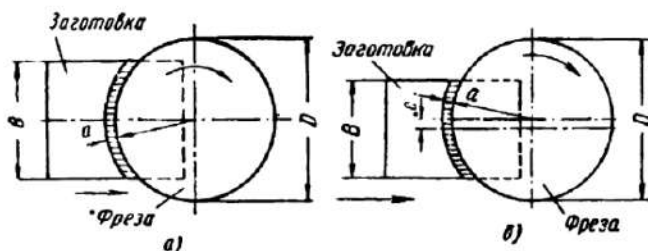
металла почти равномерной толщины, благодаря чему величина усилия резания колеблется меньше, чем в ранее рассмотренном случае, где усилие резания меняется при работе каждого зуба от нуля до максимума.

Схема резания торцевой фрезой приемлема и для случая резания концевой фрезой с торцовыми зубьями.



Фиг. 12. Схемы резания:
а — цилиндрической фрезой, б — торцевой фрезой

Фрезерование торцевой фрезой может быть симметричным (фиг. 13,а) и несимметричным (фиг. 13,б). В первом случае ось фрезы лежит в плоскости симметрии обрабатываемой заготовки, а во втором — ось фрезы смещена.



Фиг. 13. Схемы резания торцевой фрезой:
а — при симметричном фрезеровании, б — при несимметричном фрезеровании.

Смещение фрезы облегчает врезание зубьев. Наиболее выгодные условия создаются при величине смещения $c = (0,03 - 0,05)D$, где D — диаметр фрезы.

Рассмотрим на примере прямозубой цилиндрической фрезы силы, действующие на нее.

Для прямозубой цилиндрической фрезы равнодействующую R — силу сопротивления срезаанию слоя от всех одновременно работающих зубьев фрезы — можно разложить на следующие силы (фиг. 14): касательную P_z и радиальную P_y , или горизон-

тальную P_H и вертикальную P_V (см. P_Z , P_Y , P_H , P_V — сплошными линиями).

Сила P_Z с плечом, равным радиусу фрезы, образует момент сопротивления резанию

$$M = \frac{P_Z D}{2} \text{ кгмм.}$$

Чтобы преодолеть сопротивление резанию требуется приложить противоположно направленный момент сил, равный моменту сопротивления M . Таким моментом сил является крутящий момент, развиваемый электродвигателем станка.

Следовательно, расчет электродвигателя и механизма, передающего движение от электродвигателя к шпинделю станка, надо вести по силе P_Z .

Сила P_Z , приложенная в точке O , и радиальная сила P_Y воздействуют на оправку и оказывают давление на подшипники шпинделя станка. Оправка рассчитывается на изгиб от сил P_Z и P_Y и на кручение от момента M .

Рассмотрим вариант разложения равнодействующей силы R на горизонтальную составляющую P_H и вертикальную P_V .

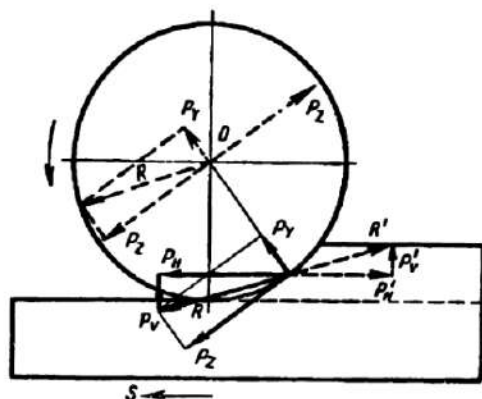
Горизонтальная сила P_H представляет собой силу подачи и по ней рассчитываются механизм подачи станка и детали приспособления, в котором закреплена обрабатываемая заготовка.

Вертикальная сила P_V прижимает фрезу к заготовке (затягивает фрезу).

Каждой из рассмотренных сил сопротивления резанию, воздействующих со стороны заготовки на фрезу, соответствуют равные им, но противоположно направленные силы, воздействия фрезы на заготовку (силы реакции P'_H и P'_V).

Сила реакции P'_V направлена вверх и стремится оторвать заготовку от стола. Но так как заготовка закреплена на столе, то эти же силы стремятся поднять стол станка.

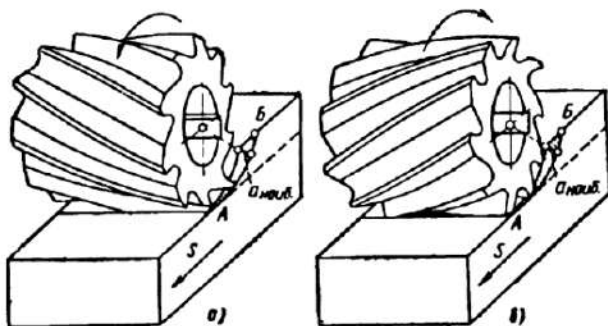
Так получается при встречном фрезеровании. При попутном фрезеровании сила P_V направлена вверх и будет отжимать фрезу от заготовки. А сила реакции P'_V будет прижимать заготовку к столу, а стол — к направляющим станины.



Фиг. 14. Силы, действующие на цилиндрическую фрезу и заготовку при фрезеровании.

Горизонтальная сила реакции R'_x стремится сдвинуть последнюю, чему препятствует приспособление, в котором она зажата (или детали закрепления заготовки к столу).

Таким образом, приспособление или другие средства закрепления заготовки на столе станка должны обеспечивать надежное сопротивление силам реакции фрезы, действующим на заготовку. В противном случае возможны вредные вибрации, понижающие стойкость фрезы, а также поломка зубьев фрезы при сдвиге заготовки с места.



Фиг. 15. Цилиндрическая фреза в процессе резания:

а — против подачи (встречное фрезерование), б — по подаче (попутное фрезерование).

Нами рассмотрен простейший случай действия сил резания для цилиндрической фрезы с прямыми зубьями, но в принципе все изложенное может быть отнесено с некоторыми изменениями к фрезам с винтовыми и наклонными (вставные ножи) зубьями и фрезам других типов.

Фрезерование может быть произведено при противоположных или совпадающих направлениях перемещения заготовки и фрезы. В первом случае имеет место фрезерование против подачи (фиг. 15, а) или встречное, а во втором — по подаче (фиг. 15, б) или попутное.

При встречном фрезеровании сечение стружки, снимаемой зубом фрезы, постепенно увеличивается от точки А до точки В, достигая максимума в момент выхода зуба из обрабатываемого металла. Резание происходит под коркой. При попутном фрезеровании максимальное сечение стружки имеет место с самого начала врезания зуба фрезы в обрабатываемый металл (точка В). Резание происходит по корке.

Если у обрабатываемой заготовки имеется твердая корка или загрязненная поверхность, например окалина на прокате и поковках, или пригоревший песок на отливках, то лучше применять встречное фрезерование, так как резание в этом случае происходит под коркой, что способствует большей стойкости фрез, но зуб фрезы, не являющийся абсолютно острым, прохо-

дит часть пути, не срезая стружки, и сильно трется о наклепанную предыдущим зубом поверхность металла, что несколько снижает стойкость фрез.

При отсутствии твердой корки или загрязненной поверхности лучше применять попутное фрезерование. Стойкость инструмента в этом случае выше, так как трение зуба об обрабатываемый металл меньше из-за отсутствия скольжения в начале резания.

Обрабатываемая поверхность при попутном фрезеровании получается чище благодаря более спокойной работе станка, так как заготовка прижимается фрезой к столу станка, а стол к направляющим станины, и зазоры между ними при этом выбираются. При встречном фрезеровании фреза стремится поднять заготовку, зазоры между столом и направляющими станины увеличиваются, станок дрожит и качество обрабатываемой поверхности ухудшается.

Для равномерности фрезерования большое значение имеет расположение зубьев относительно оси фрезы. Если у фрезы зубья прямые, то каждый из них входит в обрабатываемую заготовку и выходит из нее сразу по всей ширине фрезерования. Пока зуб находится под стружкой, площадь ее поперечного сечения увеличивается постепенно от нуля до максимума (при встречном фрезеровании). Но выход зуба фрезы из-под стружки вызывает толчок, так как нагрузка на зуб изменяется сразу от максимума до нуля в соответствии с уменьшением площади поперечного сечения стружки. Таким образом, обработка фрезой с прямыми зубьями протекает беспокойно, с резкими колебаниями нагрузки на инструмент, станок и обрабатываемую заготовку, что приводит к сокращению длительности службы станка и инструмента, ухудшает качество обработанной поверхности и снижает производительность труда.

Если в работе при достаточной глубине фрезерования одновременно находятся два-три прямых зуба, то процесс фрезерования протекает более спокойно, так как при выходе одного зуба из-под стружки другие продолжают работать, благодаря чему толчки получаются слабее. Однако и при одновременной работе нескольких зубьев прямозубой фрезы нельзя получить достаточно равномерной работы, так как суммарная площадь поперечных сечений стружек изменяется, хотя и не так резко, как при работе одного зуба.

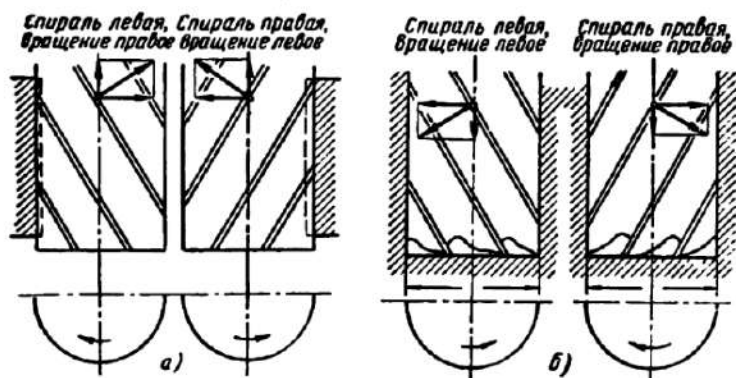
Применяя фрезы с винтовыми или наклонными зубьями, можно получить равномерное фрезерование. Режущая кромка каждого винтового или наклонного зуба расположена под углом к оси фрезы и входит в заготовку не сразу по всей длине, а постепенно и также постепенно выходит из заготовки. При этом площадь поперечного сечения стружки изменяется менее резко, а следовательно, и силы, действующие на заготовку, инструмент и станок, также изменяются менее резко.

Еще более спокойное фрезерование получается, когда в работе одновременно находится несколько винтовых или наклонных зубьев.

Суммарная площадь поперечных сечений снимаемых стружек близка к постоянной величине, чем достигается довольно спокойное равномерное фрезерование.

Фрезы с винтовыми и наклонными зубьями ведут себя в момент врезания; спокойней, чем фрезы с прямыми зубьями. Канавки фрез с винтовыми и наклонными зубьями служат также для отвода стружки в желаемом направлении.

Фрезы с прямыми зубьями применяются для фрезерования нешироких пазов и фасонных поверхностей. Во всех остальных



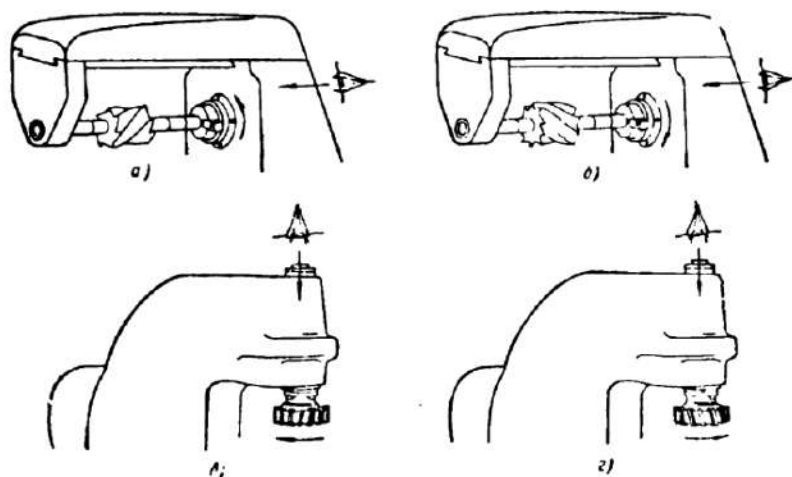
Фиг. 16. Концевые фрезы с винтовыми канавками, транспортирующими стружку:
а — вверх, б — вниз.

случаях, как правило, используются фрезы с винтовыми и наклонными зубьями. Наклон зубьев у цельных фрез получается за счет винтовой линии, по которой производится фрезерование зубьев при изготовлении фрез. У сборных фрез наклон зубьев обеспечивается соответствующим положением вставных ножей.

В зависимости от направления подъема винтовых и наклонных зубьев фрезы подразделяются на правые и левые. Чтобы определить какая фреза, ее следует поставить на торец (фиг. 16) и посмотреть, в какую сторону поднимается зуб — слева направо или справа налево. В первом случае фреза правая, а во втором — левая.

Необходимо также различать направление вращения фрезы, при котором возможно срезание стружки. Представим фрезу надетой на оправку или вставленной хвостовиком в отверстие шпинделя (фиг. 17) и посмотрим на нее со стороны привода. Если резание происходит при вращении фрезы по часовой стрелке, то эта фреза правого вращения, если же против часовой стрелки, то левого вращения.

При работе фрезами с винтовыми или наклонными зубьями необходимо следить за соответствием направления зубьев и вращения фрез. Необходимость в этом вызывается тем, что сила резания, приложенная перпендикулярно кромке зуба фрезы, ввиду его наклонного положения, дает составляющую силу, направленную вдоль оси (фиг. 16).



Фиг. 17. Направление вращения шпинделя и фрезы:

а — праворежущая цилиндрическая фреза, б — леворежущая цилиндрическая фреза, в — праворежущая торцовая фреза, г — леворежущая торцовая фреза.

На горизонтально-фрезерных станках следует применять цилиндрические фрезы с левым направлением зубьев при правом вращении или с правым направлением зубьев при левом вращении.

Если применить правую фрезу при правом вращении или левую фрезу при левом вращении, возникает осевая сила, стремящаяся вытолкнуть оправку из шпинделя. Указанная сила действует на задний подшипник, установленный в кронштейне хобота, который не рассчитан на восприятие этой нагрузки. В результате могут возникнуть вибрации, приводящие к поломке фрезы.

При правильном выборе фрезы и направления вращения, возникающая осевая сила направлена в сторону переднего подшипника шпинделя и стремится втолкнуть оправку в шпиндель станка. При этом сила передается на передний подшипник, рассчитанный на эту нагрузку.

При работе торцовыми фрезами на вертикально-фрезерных станках соответствие направления зубьев и вращения фрезы должно также соблюдаться.

При обработке плоскостей концевыми фрезами на вертикально-фрезерных станках стружка отводится вниз, для этого необходимо применять правые фрезы при левом вращении или левые фрезы при правом вращении (см. фиг. 16, а).

Если фрезеруется уступ или паз, то стружку следует отводить вверх, что обеспечивается применением правых фрез при правом вращении или левых фрез при левом вращении (см. фиг. 16, б). Возникающая при этом осевая сила стремится вытолкнуть фрезу из шпинделя. Чтобы предотвратить выталкивание фрезы, необходимо предусматривать соответствующее надежное крепление хвостовика фрезы в гнезде шпинделя станка.

При вращении фрезы зубья ее один за другим врезаются в обрабатываемый металл с определенной скоростью. Скорость наиболее удаленной от оси фрезы точки режущей кромки называется скоростью резания при фрезеровании.

Скорость резания прямо пропорциональна числу оборотов фрезы и определяется по формуле

$$v = \pi D n \text{ мм'/мин},$$

где v — скорость резания в мм/мин;

D — наибольший диаметр фрезы в мм;

n — число оборотов фрезы в минуту.

Формула $v = \pi D n$ получается путем следующих рассуждений. Если бы фреза делала только один оборот в минуту, то путь, пройденный кромкой любого из ее зубьев, был бы равен окружности диаметром D . Так как длина окружности равна произведению ее диаметра на число π (3,14), то путь кромки зуба фрезы за один ее оборот равен πD . Фактически фреза делает n об/мин, и, следовательно, кромка зуба проходит $\pi D n$ мм/мин, что является скоростью резания v .

Принято скорость резания выражать в м/мин, для чего необходимо полученное выражение перевести из миллиметров в метры, т. е. разделить на 1000.

$$v = \frac{\pi D n}{1000} \text{ м/мин}.$$

Чтобы осуществить процесс фрезерования, требуется, кроме главного движения фрезы, дать перемещение обрабатываемой заготовке, называемое подачей.

Подачей за один оборот фрезы называется величина перемещения обрабатываемой заготовки за период полного оборота фрезы. Она обозначается s_0 и выражается в миллиметрах на один оборот.

Подачей в одну минуту называют величину перемещения заготовки в течение одной минуты. Она обозначается s_m и выражается в мм/мин.

Подачей на один зуб фрезы называют величину перемещения заготовки за время поворота фрезы на один шаг, т. е. на величину расстояния между двумя соседними зубьями. Подача на один зуб обозначается s_z и выражается в мм/зуб.

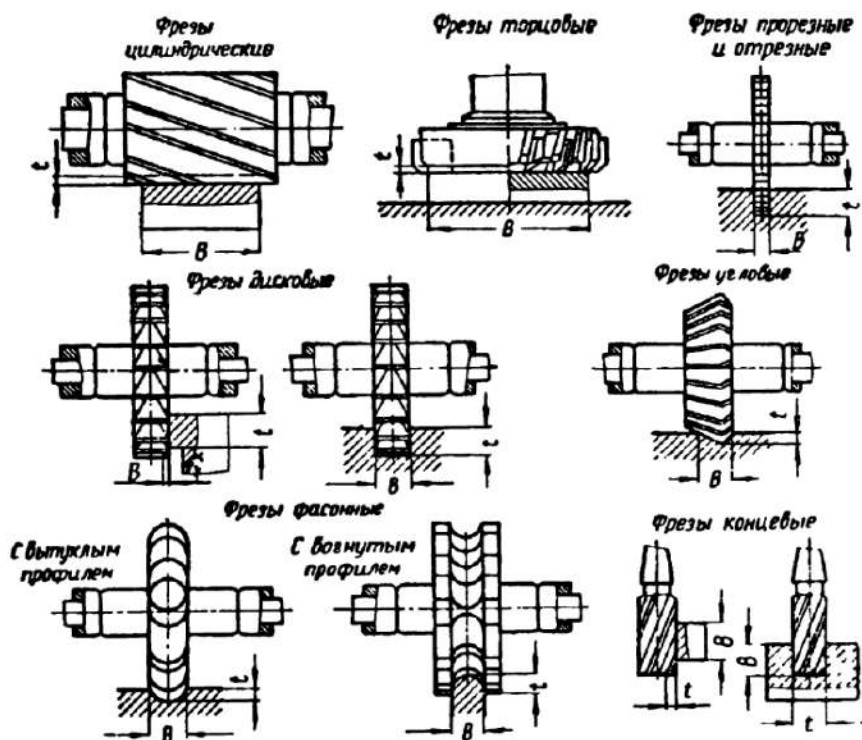
Рассмотренные величины подач находятся в определенной зависимости между собой.

$$s_0 = s_z z \text{ мм/об};$$

$$s_m = s_0 n \text{ мм/мин};$$

$$s_z = \frac{s_0}{z} = \frac{s_m}{n z} \text{ мм/зуб}.$$

Шириной фрезерования B (фиг. 18) называют ширину обрабатываемой поверхности в направлении, параллельном оси фрезы.



Фиг. 18. Ширина и глубина фрезерования для основных типов фрез.

Глубиной фрезерования t называется толщина слоя металла, снимаемого за один проход фрезы.

Углом контакта Ψ называется центральный угол, соответствующий дуге соприкосновения фрезы с обрабатываемой заготовкой, измеряемый в плоскости, перпендикулярной к оси

фрезы (фиг. 19). Иначе говоря, это центральный угол, образованный радиусами, проведенными в точку входа и точку выхода зуба фрезы.

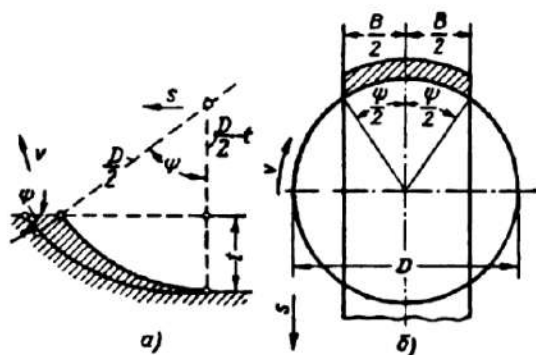
Для цилиндрических, дисковых, фасонных, концевых и других фрез, работающих периферией (например, цилиндрической

поверхностью), угол контакта зависит от диаметра фрезы и глубины фрезерования

$$\cos \psi = \frac{D - 2t}{D}.$$

Для торцовых фрез, при симметричном резании, угол контакта зависит от диаметра фрезы и ширины фрезерования.

$$\sin \frac{\psi}{2} = \frac{B}{D}.$$



Фиг. 19. Углы контакта при фрезеровании: а — цилиндрической фрезой, б — торцовой фрезой.

Сечением стружки называется площадь поперечного сечения слоя металла, снимаемого режущей кромкой зуба фрезы в каждый данный момент.

Указанная площадь определяется, как произведение толщины стружки на ширину фрезерования.

При цилиндрическом фрезеровании толщина стружки меняется от нуля до максимума (при встречном фрезеровании) или, наоборот, от максимума до нуля (при попутном фрезеровании), вследствие чего изменяется и величина площади поперечного сечения стружки.

Среднее поперечное сечение стружки равно половине наибольшего, так как наименьшее поперечное сечение равно нулю.

При торцовом симметричном фрезеровании среднее поперечное сечение стружки постоянно, а при торцовом несимметричном фрезеровании составляет 0,5—0,7 от наибольшего поперечного сечения.

Изложенные выше сведения о поперечном сечении стружки при работе цилиндрической фрезой с прямыми зубьями даны для первоначального ознакомления. Более подробно определение величины поперечного сечения стружки изложено в работе [2]

2. ЭЛЕМЕНТЫ РАБОЧЕЙ ЧАСТИ ФРЕЗЫ

Процесс резания при фрезеровании осуществляется зубьями, расположенными на рабочей части фрезы. Зубья фрез с режущими кромками представляют собой клинья, врезающиеся в обрабатываемый металл под воздействием сил, передаваемых механизмами станка фрезе и столу, на котором закреплена обрабатываемая заготовка.

Зуб фрезы можно рассматривать как резец, имеющий угол заострения β (фиг. 20). Чем угол заострения меньше, тем легче происходит проникновение зуба фрезы в обрабатываемый металл.

Однако с уменьшением угла β понижается прочность зуба фрезы, так как он становится тоньше и при обработке твердого металла зуб может сломаться.

Угол β выбирается в зависимости от свойств материалов, из которых изготовлены инструмент и обрабатываемая заготовка.

При срезании слоя металла толщиной t острая кромка зуба фрезы подрезает, а передняя поверхность зуба фрезы сжимает, отклоняя вверх, образующуюся стружку, и затем отламывает ее. В этом, собственно, и заключается процесс резания, а в данном случае, фрезерования. Работа резания происходит благодаря действию сил, передаваемых механизмами станка фрезе и закрепленной на столе обрабатываемой заготовке.

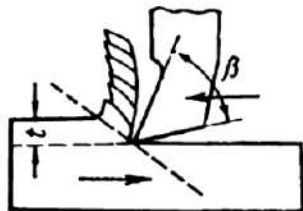
Чтобы обеспечить наилучшие условия резания, необходимо правильно выбрать геометрические параметры зуба.

На фиг. 21 представлена цилиндрическая фреза.

Режущие кромки δ фрезы расположены на цилиндрической поверхности под углом ω к оси фрезы.

Поверхность l зуба, по которой сходит в процессе резания стружка, называется передней поверхностью.

Угол γ между касательной к следу передней поверхности и следом осевой плоскости, проходящих через какую-либо точку



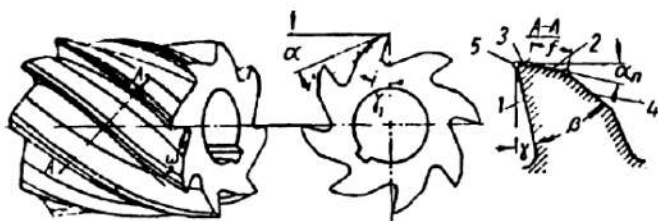
Фиг. 20. Образование стружки при вклинивании реза в металл.

кромки зуба, называется передним углом. Угол γ измеряется в плоскости, перпендикулярной к режущей кромке зуба.

Поперечный передний угол γ_1 отличается от угла γ тем, что измеряется в плоскости, перпендикулярной к оси фрезы (например, в плоскости торца).

Поверхность 2 зуба, обращенная в процессе резания к обработанной поверхности заготовки, называется задней поверхностью. Ширина задней поверхности зуба f .

Угол α между касательной к следу задней поверхности в какой-либо точке кромки зуба и касательной к окружности вращения точки называется задним углом.



Фиг. 21. Основные геометрические параметры зуба цилиндрической фрезы.

Задний угол измеряется в плоскости, перпендикулярной к оси фрезы (например, в плоскости торца).

Нормальный задний угол α_n отличается от угла α тем, что измеряется в плоскости, перпендикулярной к режущей кромке зуба.

Поверхность 3 обычно шириной 0,05—0,1 мм называется ленточкой. Наличие ленточки дает возможность контролировать concentricity расположения зубьев фрезы по отношению к ее оси.

Поверхность 4 называется затылочной. Она дает постепенный переход от задней поверхности зуба к его ножке, что важно для прочности зуба.

На фиг. 22 показана торцовая фреза, которая имеет режущие кромки на цилиндрической и торцовой поверхностях.

Режущие кромки, расположенные на цилиндрической поверхности, называются главными, а на торцовых поверхностях — вспомогательными.

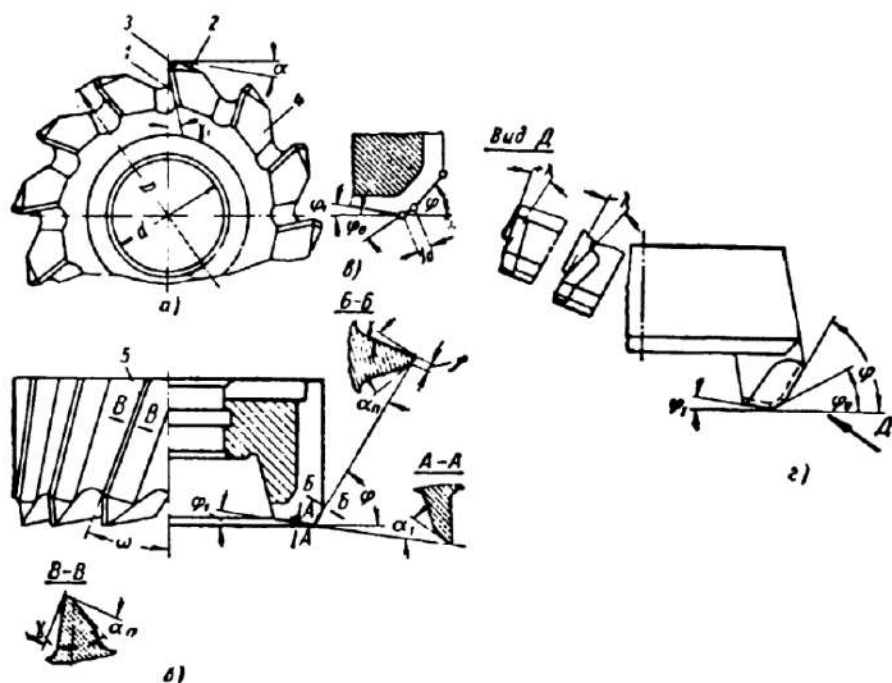
На цилиндрической поверхности режущие кромки могут быть расположены: прямолинейно, по образующей цилиндра, наклонно (у сборных фрез) и по винтовой линии.

Часть главной кромки, обработанная под углом $\varphi < 90^\circ$, называется угловой режущей кромкой (фиг. 22, в). Угол φ называется главным углом в плане или главным углом в плане угловой кромки. Этот угол имеет большое значение у торцовых и дисковых двусторонних фрез. Вдоль главной режущей кромки имеется ленточка шириной f .

На стыке главных и вспомогательных режущих кромок (фиг. 22, в) под углом φ_0 расположена переходная режущая кромка, имеющая ширину f_0 . Переходная режущая кромка предназначена для сглаживания сопряжения главной и вспомогательной кромок.

Угол φ_0 называется вспомогательным углом в плане переходной кромки.

Переходная кромка может быть выполнена криволинейной или прямолинейной. Криволинейная переходная кромка дает



Фиг. 22. Основные геометрические параметры зубьев торцевой фрезы.

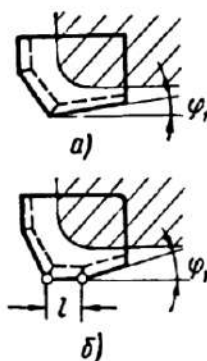
более чистую обработанную поверхность, но она сложнее в изготовлении.

На фиг. 22, б вспомогательный угол в плане φ_1 . Для фрез, выполняющих чистовую обработку, часть длины l вспомогательной режущей кромки делают с углом $\varphi_1=0$ (фиг. 23, б),

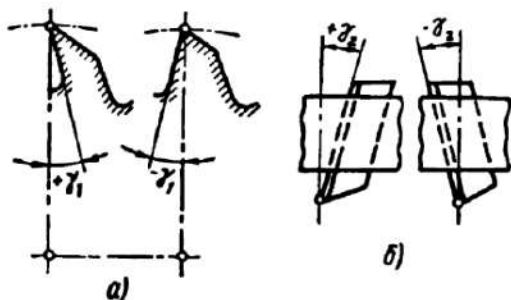
Аналогично режущей кромке цилиндрической фрезы у главной режущей кромки 5 торцевой фрезы имеются следующие элементы (фиг. 22, а и б): передняя 1 и задняя 2 поверхности, ленточка 3 , затылочная поверхность 4 , задний угол α , нормальный задний угол α_n (сечения BB , VV), передний угол γ , поперечный передний угол γ_1 , угол наклона ω режущей кромки к оси фрезы.

Кроме описанных поверхностей и углов, характеризующих зубья, расположенные на цилиндрической поверхности цилиндрических и торцовых фрез, рассмотрим элементы зуба вспомогательной режущей кромки торцевой фрезы.

Продольный передний угол γ_2 (фиг. 24) вспомогательной режущей кромки в отличие от поперечного переднего угла γ_1 измеряется в продольной плоскости. Продольный передний угол γ_2 совпадает с углом наклона ω винтового или наклонного зуба.



Фиг. 23. Вспомогательный угол в плане: а — для обычного фрезерования, б — для чистового фрезерования.



Фиг. 24. Передние углы зубьев фрез: а — поперечный, б — продольный.

Угол α_1 (фиг. 22, сечение АА) называется задним углом на вспомогательной режущей кромке или торцовым задним углом. Угол α_1 измеряется в плоскости, перпендикулярной к вспомогательной режущей кромке.

Угол λ между главной режущей кромкой и ее проекцией на осевую плоскость, проходящую через вершину угла между главной и вспомогательной режущими кромками (фиг. 22, г, вид D), называется углом наклона режущей кромки. Угол λ может быть положительным и отрицательным. Для цилиндрических, концевых и дисковых (кроме двусторонних) фрез, не имеющих угловой режущей кромки, угол λ совпадает с углом наклона ω винтового или наклонного зуба. Величина угла λ определяется в зависимости от величины поперечного и продольного передних углов и угла в плане по формуле

$$\operatorname{tg} \lambda = \operatorname{tg} \gamma_2 \sin \varphi \mp \operatorname{tg} \gamma_1 \cos \varphi.$$

Знак — для положительного угла λ , знак + для отрицательного угла λ .

Описанные элементы режущих кромок зубьев цилиндрических и торцовых фрез встречаются и у фрез других типов. Пра-

вильный выбор величин геометрических параметров зубьев определяет стойкость фрезы, т. е. длительность работы ее без переточек.

От правильного выбора геометрических параметров зависит также чистота обрабатываемой поверхности.

Рассмотрим значения основных элементов режущей кромки фрезы и рекомендуемые величины их в зависимости от материала рабочей части фрезы и обрабатываемого металла.

ПЕРЕДНИЕ УГЛЫ

От переднего угла γ зависят плавность процесса резания и величина усилия резания. При правильно выбранном угле γ фрезерование протекает спокойно, затупление режущей кромки получается наименьшим, т. е. стойкость увеличивается. Правильный выбор угла γ влияет также на чистоту обрабатываемой поверхности.

Для обработки стали и чугуна фрезами, не армированными твердым сплавом, рекомендуются следующие передние углы γ , измеряемые в плоскости, перпендикулярной режущей кромке фрезы (табл. 1). Материал фрезы — быстрорежущая сталь.

Таблица 1

Передние углы γ

Обрабатываемый материал	Сталь			Чугун	
	мягкая	средняя	твердая	мягкий	твердый
γ в град	20	15	10	15	10

Таким образом, чем тверже обрабатываемый металл, тем меньший требуется передний угол γ .

Приведенные значения угла γ рекомендованы для фрез цилиндрических, торцовых, концевых, дисковых пазовых остроугольных двухсторонних и трехсторонних, шпоночных и для пил с приклепанными сегментами.

Для фрез, изготавливаемых инструментальными заводами и предназначенных для обработки различных материалов, рекомендуется $\gamma = 15^\circ$, а для пил с приклепанными сегментами 20° .

Передний угол для шлицевых (прорезных) фрез, круглых пил (отрезных фрез) принимается в зависимости от их ширины в пределах $0-10^\circ$.

У фрез для пазов сегментных шпонок и Т-образных угол γ принимается в зависимости от их ширины в пределах $5-10^\circ$.

Для угловых и прямоугольных фасонных фрез передний угол $5-10^\circ$.

Допускаемые отклонения от заданных углов $\pm 2^\circ$.

ЗАДНИЕ УГЛЫ

Основное назначение заднего угла заключается в обеспечении свободного перемещения задней поверхности зуба фрезы по отношению к обрабатываемой поверхности и в уменьшении трения, а следовательно, износа задней поверхности зуба. Отсутствие достаточного заднего угла вызывает вибрации системы станок — инструмент — деталь. Слишком большой задний угол снижает прочность режущей кромки.

Для обработки стали и чугуна фрезами, не армированными твердым сплавом, рекомендуются следующие задние углы α , измеряемые в плоскости, перпендикулярной к оси фрезы (табл. 2).

Таблица 2

Задние углы α

Фрезы	α в град
Цилиндрические и торцовые:	
с мелкими зубьями	16
с крупными зубьями или со вставными ножами	12
Дисковые двухсторонние и трехсторонние:	
с прямыми мелкими зубьями	20
с прямыми крупными и наклонными мелкими зубьями	16
с наклонными крупными зубьями или с наклонными вставными ножами	12
Концевые и угловые с цилиндрическим или коническим хвостом	14
Концевые шпоночные диаметром:	
до 16 мм	20
св. 16 мм	16
Дисковые пазовые острозубые и отрезные	20
Шлифовые (прорезные)	30
Пилы с прикрепленными сегментами	16
Т-образные (для станочных пазов, для сегментных шпонок и др.) диаметром:	
до 32 мм	20
св. 32 мм	15
Угловые насадные и фасонные:	
незатылованные	16
затылованные	12

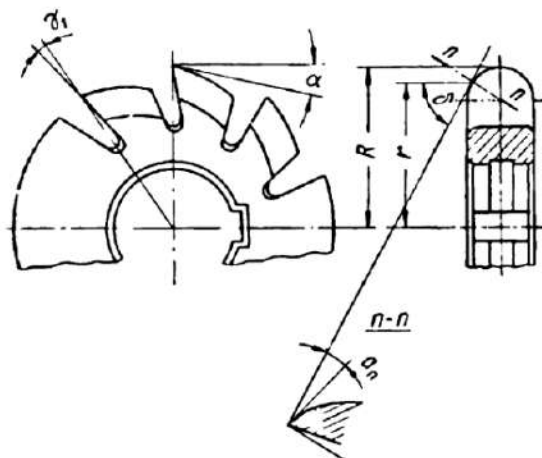
Не рекомендуется применять задние углы меньше 10° , так как это приводит к большому износу задней поверхности зуба.

Величина нормального заднего угла α_n , измеряемого в плоскости, перпендикулярной режущей кромке зуба, определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \omega},$$

где α — задний угол, измеряемый в плоскости, перпендикулярной оси фрезы;

ω — угол наклона винтового зуба или вставного ножа.



Фиг. 25. Геометрические параметры фасонной фрезы.

Нормальный задний угол α_n для угловой режущей кромки зуба находится из выражения

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \varphi,$$

где φ — главный угол в плане.

Нормальный задний угол α_n для фасонных фрез (фиг. 25) в любой точке режущей кромки зуба выражается зависимостью

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \delta \frac{R}{r},$$

где δ — угол наклона касательной к профилю в данной точке;

R — радиус фрезы;

r — расстояние данной точки от оси.

У затываемых фасонных фрез задний угол α должен быть соответственно увеличен, если это необходимо для обеспечения угла α_n не менее 3° , по всему профилю.

Для заднего угла на вспомогательной режущей кромке (торцовый задний угол) α_1 рекомендуются следующие величины:

Фрезы	α_1 в град
Торцовые, концевые, шпоночные и одноугловые	6—8
Дисковые двухсторонние и трехсторонние	6
Т-образные с торцовыми зубьями	6

Предельные отклонения задних углов $\pm 2^\circ$.

УГЛЫ В ПЛАНЕ

От величины главного угла в плане φ в большой степени зависит производительность торцовых и дисковых двухсторонних фрез с угловой режущей кромкой. Чем меньше угол φ , тем меньше толщина срезаемого слоя и нагрузка на единицу длины режущей кромки. Следовательно, с уменьшением угла φ повышаются стойкость фрезы и чистота обрабатываемой поверхности, но при этом увеличивается осевая составляющая силы резания. Поэтому применение торцово-конических фрез, у которых значения угла φ небольшие ($10-30^\circ$), ограничивается условиями большой жесткости системы станок — инструмент — приспособление — заготовка. Кроме того, при малых углах φ получается соответственно малая глубина резания и для обеспечения большей глубины требуется увеличивать длину угловой режущей кромки. Поэтому рекомендуется применять фрезы с углом $\varphi < 30^\circ$ для глубины резания не более 3—4 мм.

При фрезеровании на проход чаще всего применяют фрезы с углом $\varphi = 60^\circ$. Изменяя величину главного угла в плане, можно управлять процессом резания, т. е. выбирать определенное соотношение составляющих сил резания, наиболее выгодное распределение напряжений у режущей кромки.

В табл. 3 приведены величины главного угла в плане φ и главного угла в плане переходной режущей кромки φ_0 для торцовых и дисковых двухсторонних фрез, не оснащенных твердым сплавом, предназначенных для обработки плоскостей стальных и чугунных заготовок.

У концевых, дисковых трехсторонних и пазовых фрез, а также у круглых пил шириной свыше 3 мм переходные кромки (фаски) рекомендуется выполнять с углом $\varphi_0 = 45^\circ$.

Высота h угловой кромки (фиг. 26) должна быть не менее, чем на 0,5—1 мм больше глубины t фрезерования.

Для фрез с углом $\varphi = 60^\circ$ высота угловой кромки рекомендуется:

t в мм	< 2	2—6
h в мм	3	7

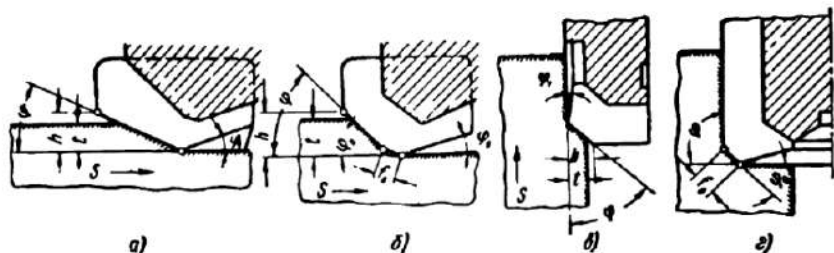
Переходные кромки f_0 служат для устранения резкого перехода от цилиндрических к торцовым кромкам.

Углы в плане и переходные кромки
(по М. Н. Ларину)

Область применения	φ в град.	φ_0 в град.	f_0 в мм
Торцово-конические фрезы с $D=150$ мм в крупносерийном и массовом производствах при обработке жестких деталей на продольно-фрезерных станках и глубине снимаемого слоя 2—4 мм (фиг. 26, а)	20	—	—
Торцовые и дисковые двухсторонние фрезы при обработке на проход с глубиной снимаемого слоя t^* : для торцовых фрез до 6 мм для дисковых фрез до 3 мм	30—45	$\varphi/2$	1—1,5
Торцовые и дисковые двухсторонние фрезы при обработке взаимно-перпендикулярных плоскостей и уступов (фиг. 26, в)	90	45	0,5—1,5

* При увеличении снимаемого слоя угол φ принимается до 60°.

При централизованном производстве на специализированных инструментальных заводах переходная кромка (фаска) у концевых и дисковых фрез не затачивается. Данная операция выполняется заводом-потребителем инструмента в соответствии с требованиями чертежей деталей, обрабатываемых этими фрезами.



Фиг. 26. Углы в плане:

а — торцово-конической фрезы, б — торцовой фрезы, в — двухсторонней дисковой фрезы, г — торцовой и двухсторонней дисковой фрез при обработке взаимно-перпендикулярных плоскостей.

Угол в плане φ_1 служит для уменьшения трения задней поверхности торцового зуба, а также для беспрепятственного перемещения торцовой кромки по поверхности обрабатываемой заготовки.

Вспомогательные углы в плане φ_1 для фрез, не оснащенных твердым сплавом, предназначенных для обработки стали и чугуна, рекомендуются следующие: для шлицевых (прорезных) фрез и круглых (отрезных) пил $\varphi_1 = 5'—1^\circ$; для торцовых и концевых фрез с торцовыми зубьями, дисковых двухсторонних и

трехсторонних фрез $\varphi_1 = 1-2^\circ$; для концевых фрез без торцовых зубьев $\varphi_1 = 8-10^\circ$; для шпоночных фрез $\varphi_1 = 6^\circ$; для пил с приклепанными сегментами $\varphi_1 = 2-3^\circ$.

УГЛЫ НАКЛОНА ЗУБЬЕВ И РЕЖУЩИХ КРОМОК

От угла наклона зуба фрезы зависит степень равномерности фрезерования и возможность отвода стружки в требуемом направлении.

Углы наклона винтовых и наклонных зубьев фрез, не оснащенных твердым сплавом, применяют следующие: для цилиндрических фрез: крупнозубых $\omega = 40^\circ$, мелкозубых $\omega = 30-35^\circ$; для концевых фрез $\omega = 30-45^\circ$; для шпоночных фрез $\omega = 15-25^\circ$; для дисковых фрез: двухсторонних $\omega = 15^\circ$, трехсторонних $\omega = 8-15^\circ$; трехсторонних сборных $\omega = 8-15^\circ$, трехсторонних сдвоенных $\omega = 15^\circ$; для торцовых фрез: с цельными зубьями $\omega = 25-40^\circ$, со вставными ножами из быстрорежущей стали $\omega = 10^\circ$.

Угол наклона режущей кромки λ оказывает значительное влияние на прочность и стойкость зуба с угловой кромкой особенно при использовании фрез, оснащенных твердым сплавом. При положительном значении угла λ рабочая часть зуба получается массивной и место, которым зуб ударяется при входе в металл, смещается дальше от вершины зуба; имеет место также более плавный вход и выход зуба при фрезеровании. Но с увеличением угла λ уменьшается продольный передний угол γ_2 , вследствие чего возрастают силы резания и потребная мощность.

Величины углов λ приведены ниже при рассмотрении геометрических параметров при скоростном резании.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРИ СКОРОСТНОМ РЕЗАНИИ

При работе с высокими скоростями резания количество выделяемого тепла возрастает, а время, в течение которого образовавшееся тепло может рассеяться (через тело фрезы, заготовку и дальше), сокращается. Это приводит к повышению температуры в зоне резания до 800°C , а иногда и более. Под влиянием высокой температуры обрабатываемый металл размягчается, для резания его требуется меньшее усилие и стойкость режущей кромки могла бы возрасти. Для этого требуется, чтобы материал режущей кромки мог сохранять режущую способность в условиях более высокой температуры. Но быстрорежущая сталь теряет твердость при 600°C , а углеродистая при температуре 250°C .

Скоростное резание возможно при применении твердых сплавов. Режущие элементы из твердых сплавов сохраняют твердость при нагреве до температуры $900-1200^\circ\text{C}$.

Геометрические параметры зуба фрезы, оснащенной твердым сплавом, отличаются от рассмотренных ранее.

При резании твердыми сплавами стремятся к повышению температуры в зоне резания с целью размягчения обрабатываемого металла и снижения силы, потребной для резания, что достигается увеличением угла заострения β , которое влечет за собой уменьшение переднего угла γ , так как задний угол α стремятся сохранить, чтобы не увеличивать трения зуба фрезы об обрабатываемый металл. Угол γ может стать при этом отрицательной величиной (фиг. 27).

При отрицательном переднем угле γ прочность режущей части фрезы увеличивается, что очень важно, так как твердые сплавы обладают значительной хрупкостью.

В табл. 4 приведены рекомендуемые величины геометрических параметров режущей части фрез, оснащенных твердым сплавом, применительно к торцовым и дисковым двух- и трехсторонним фрезам, для которых применение твердых сплавов нашло большее распространение по сравнению с другими типами фрез (углы в плане ϕ относятся только к торцовым и двухсторонним фрезам).

Таблица 4

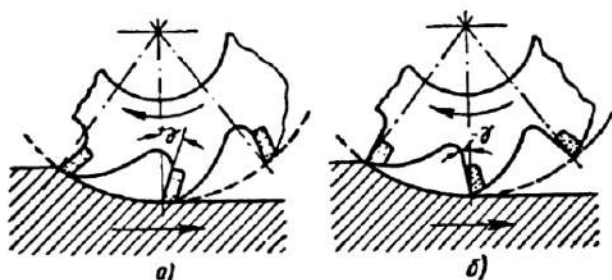
Геометрические параметры режущей части фрез, оснащенных твердыми сплавами (углы в градусах)

Обрабатываемый материал	Задний угол α	Торцовый задний угол α_1	Передний угол γ для фрез (углы в градусах)		Угол наклона ω для фрез		Углы в плане		Ширина передних кромок в мм
			торцовых	дисковых	торцовых	дисковых	γ_1	ϕ	
Сталь конструкционная	12+20	4+10	+15+—10	+15+—10	0+—20	0+ +5	60+75	3—5	30+35
Чугун			+7+ +3	+5+0	+10+ +20	+5+ +10	45+60	3+5	20+35
Легкие сплавы			+7+ +15	—	+7+ +15	—	—	—	—
Латунь			+5	+5+ +10	+15	+5	60+70	3+5	5
Бронза			+3	—	+5	+10	—	—	—

Угол наклона режущей кромки λ для твердосплавных фрез: при обработке стали $5 \div 15^\circ$, чугуна $-5 \div +15^\circ$.

Геометрические параметры стандартных фрез предусмотрены соответствующими ГОСТами с учетом наиболее часто встречающихся условий работы, например обработка стали средней твердости фрезами из быстрорежущей стали.

Основная масса стандартного режущего инструмента выпускается в централизованном порядке специализированными заводами на рынок. Следовательно, заводу-изготовителю неизвестно точно, какой именно материал будет обрабатываться и какие



Фиг. 27. Дисковые твердосплавные фрезы:

а — с положительным передним углом, б — с отрицательным передним углом.

другие условия будут иметь место, а инструмент, изготавливаемый каким-либо машиностроительным заводом для своих нужд, может иметь геометрические параметры, отличающиеся от рекомендуемых ГОСТами, но рассчитанные на совершенно конкретные условия работы.

Геометрические параметры, принятые для определенных условий работы, обеспечивают более высокие стойкость инструмента и качество обработки.

КОНСТРУКЦИИ ЗУБЬЕВ

Фрезы могут иметь остроконечные или затывованные зубья.

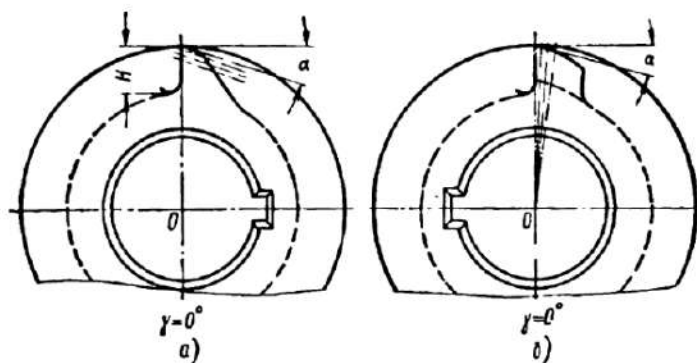
На фиг. 28, а показана фреза с остроконечными зубьями, напоминающими зубья круглой пилы. Достаточная простота изготовления таких фрез послужила причиной их распространения.

На фигуре штрихпунктиром показаны слои, снимаемые при затачивании с задней стороны зубьев; при этом высота H зубьев, а следовательно, и промежутки между зубьями уменьшаются.

Таким образом, сокращается место для выхода стружки, что является существенным недостатком остроконечных фрез.

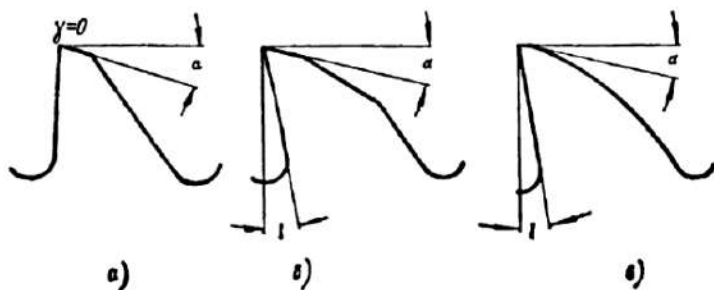
На фиг. 29 представлены различные конструкции остроконечных зубьев фрез. При форме зуба, показанной на фиг. 29, а прочность его меньше, чем при двух других конструкциях. Криволинейная форма зуба (фиг. 29, в) усложняет их изготовле-

ние. Наиболее выгодной является конструкция, изображенная на фиг. 29, б в которой сочетаются прочность с простой формой зуба и достаточно емким пространством для выхода образующейся стружки. Имеются также необходимое поднутрение передней поверхности под углом γ и задний угол α .



Фиг. 28. Фрезы с зубьями:
а — остроконечными, б — затылованными

Фрезы с остроконечными зубьями находят применение главным образом для обработки плоскостей, уступов, пазов и для других работ, как правило, не требующих сохранения профиля при переточках, так как для сохранения профиля при переточке требуются специальные устройства, которые окупаются только



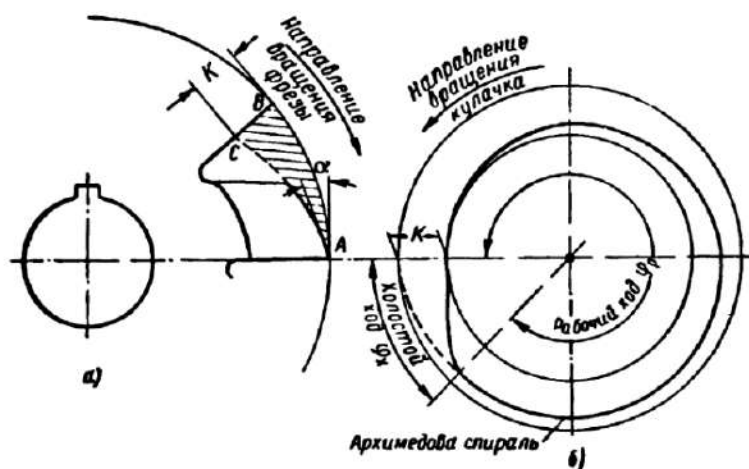
Фиг. 29. Конструкции остроконечных зубьев фрез

при большом количестве обрабатываемых деталей. В тех случаях, когда необходимо сохранение профиля фрезы после переточек чаще всего применяют фрезы с затылованными зубьями, которые в отличие от остроконечных зубьев имеют заднюю поверхность не плоскую, а очерченную по кривой.

Простейшим способом сохранения профиля при переточках является метод заточки по передней поверхности с углом $\gamma = 0^\circ$ (фиг. 28, б).

Во многих случаях допустимо незначительное искажение профиля; тогда для улучшения условий резания принимают передний угол $\gamma = 5^\circ$.

Для сочетания точности профиля с передним углом больше нуля профиль корректируют, а именно, при построении профиль заведомо искажается по направлению и величине так, что в процессе резания компенсируется ошибка, вносимая заточкой под углом больше нуля. При выборе кривой для затылка зубьев фрез необходимо учесть сочетание неизменности заднего угла и профиля зуба инструмента с простотой выполнения затыловочных и заточных операций.



Фиг. 30. Затылованный зуб и кулачок для затылования:
а — фреза, б — кулачок.

Логарифмическая спираль обладает свойством постоянства угла α в любой точке. Зуб, затылованный по этой кривой и заточенный по передней поверхности, лежащей в плоскости оси фрезы, сохраняет профиль при переточках. Но ввиду сложности изготовления кулачков для затылования по логарифмической спирали на практике пользуются архимедовой спиралью.

Затылок зуба фрезы, обработанный по архимедовой спирали, имеет небольшие, практически допустимые, колебания величины заднего угла. Величины задних углов получаются меньше желательных для наилучших условий резания, что является причиной создания в ряде случаев конструкций фрез с затылком, очерченным по прямой. Архимедова спираль может быть получена сочетанием вращательного и поступательного движений.

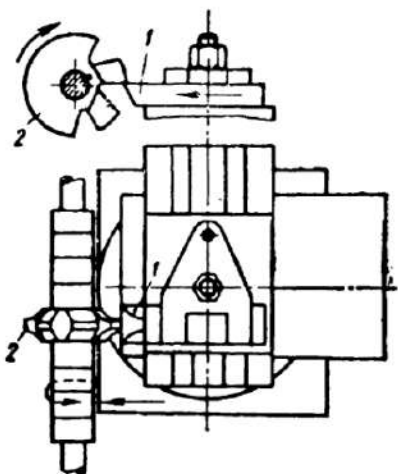
Кулачки для затылования архимедовой спирали просты в изготовлении. Один и тот же кулачок для затылования по архимедовой спирали может быть использован для фрез разных диаметров.

Затылование производится на затыловочном станке или на токарном станке с затыловочным приспособлением.

В любом случае основным элементом является кулачок, управляющий движением суппорта, на котором закреплен затыловочный резец.

Профиль кулачка выполняется по архимедовой спирали и рассчитывается так, чтобы при подаче суппорта на фрезу во время хода затылок снимался на заданную величину и получал форму архимедовой спирали.

На фиг. 30 изображен кулачок и схема затылования зуба фрезы. Порядок работы при затыловании следующий (фиг. 31). Фреза 2, зубья которой подлежат затылованию, закрепляется на оправке в центрах станка. Одновременно с равномерным вращением фрезы затыловочный резец 1 движется равномерно-поступательно по направлению к ней и снимает затылок на величину K (фиг. 30). Затем суппорт возвращается в исходное положение (холостой ход).



Фиг. 31. Схема установки для затылования зубьев фрезы.

Для определения величины затылования K представим себе криволинейный треугольник ABC как прямоугольный, с прямым углом у вершины B . Тогда

$$AB = \frac{\pi D}{z},$$

где D — наружный диаметр фрезы;
 z — число зубьев фрезы.

Зная задний угол α , можно написать

$$BC = AB \operatorname{tg} \alpha$$

или

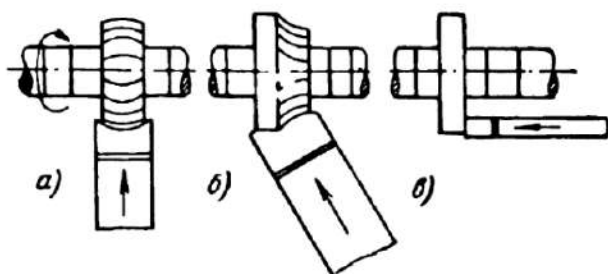
$$K = \frac{\pi D}{z} \operatorname{tg} \alpha.$$

Отсюда следует, что кулачок, выполненный для снятия затылка на величину K , может быть использован при разных числах зубьев, диаметрах фрез и углах α при условии соблюдения указанного соотношения.

Для нормальных условий резания важно, чтобы не только у вершины зуба фрезы, но и по всему его профилю соблюдался необходимый задний угол.

Особенно необходимы для резания углы в плоскостях, перпендикулярных к боковому профилю в разных его точках, поэтому в зависимости от назначения и профиля фрез применяют и другие способы затылования зуба (фиг. 32).

При радиальном способе затылования зубьев резец, производящий снятие затылка, перемещается на станке перпендикулярно оси фрезы, зубья которой затылуются; при угловом способе (наиболее употребительном) резец перемещается под углом к оси, при осевом способе — параллельно оси.



Фиг. 32. Способы затылования:
а — радиальный, б — угловой, в — осевой.

Затылование фрезы небольшой длины (например, дисковая фреза) выполняется фасонным резцом, если же требуется затыловать фрезу большей длины (например, цилиндрическую фрезу), то резец, кроме поступательно-возвратного движения перемещается вдоль оси фрезы.

Затылованные фрезы имеют ряд недостатков:

1) пониженную стойкость, так как на задней поверхности зубьев, после термической обработки обезуглероженный слой не снимается (затачивание производится по передней поверхности);

2) неблагоприятное расположение задних углов на боковых участках профиля зуба, особенно, когда угол профиля зуба менее 20° ;

3) недостаточную чистоту поверхности обрабатываемой детали вследствие наличия нешлифованной задней поверхности зубьев и недостаточной точности фрезы для обработки сопрягаемых фасонных поверхностей; этот недостаток может быть устранен шлифованием на затыловочном станке, но это сложно, особенно для фрез диаметром свыше 100 мм;

4) малое количество зубьев по сравнению с незатылованными фрезами, что приводит к снижению производительности и ухудшению качества обработанной поверхности;

5) небольшое число возможных переточек до допустимого снижения стойкости фрез, вызываемое стачиванием большого слоя металла с передней поверхности зубьев при наличии износа в процессе работы по задней поверхности.

По причине указанных недостатков в крупносерийном и массовом производствах применяют незатылованные (остроконечные) фрезы, заточенные по задней поверхности, хотя при этом необходимо применение специальных копировальных устройств, обеспечивающих получение точного контура режущих кромок при изготовлении и затачивании фрез.

При большом выпуске одинаковых деталей расходы на обслуживание дорогими специальными устройствами окупятся, так как затраты распределяются на большее количество деталей, чем при серийном производстве.

В зависимости от назначения применяются фрезы с мелкими и крупными зубьями. Для чистовых и получистовых работ, при которых образуется сравнительно небольшой объем стружки (фрезерование производится при малых глубинах резания), используются фрезы с мелкими зубьями. Для обдирочных и черновых работ, где объем снимаемой стружки значительно больше, применяются фрезы с крупными зубьями. При одинаковом диаметре фрез количество мелких зубьев намного больше, чем крупных зубьев.

Правильный выбор количества зубьев фрезы является важным обстоятельством, от которого зависит производительность фрезерования. При всех прочих равных условиях с увеличением количества зубьев растет и производительность фрезерования.

Количество зубьев фрезы зависит от требуемого объема канавок между зубьями для размещения и отвода стружки, наибольшего допустимого числа переточек зубьев при условии сохранения равномерности фрезерования и некоторых других факторов (тип и размер фрезы, мощность станка, форма и расположение режущих кромок зубьев фрезы). У затылованных фрез необходимо, кроме того, предусматривать достаточную толщину зуба, допускающую значительное число переточек без ослабления зуба.

Для обдирочных фрез важнейшим условием является обеспечение удаления стружки, что приводит к меньшему числу зубьев при более емких стружечных канавках. Для чистовых фрез важнейшим фактором является качество обрабатываемой поверхности.

Поэтому необходимы фрезы, обеспечивающие равномерность фрезерования (одновременная работа не менее двух зубьев) при достаточном числе возможных переточек зубьев. При чистовом фрезеровании стружка образуется в сравнительно небольшом количестве. Вопрос отвода стружки играет второстепенную роль.

Число вставных зубьев фрез, помимо изложенных выше соображений, определяется еще конструктивной возможностью их размещения и закрепления в корпусе сборной фрезы.

В последние годы все большее распространение начали получать фрезы с неравномерным окружным шагом зубьев¹.

Многочисленными опытами в лабораторных и цеховых условиях подтверждена целесообразность применения неравномерного расположения зубьев не только у концевых, но и у цилиндрических, торцовых и дисковых трехсторонних фрез.

Установлено, что фрезы с неравномерным шагом зубьев дают возможность повысить производительность фрезерования почти в 2 раза, а в отдельных случаях и больше.

Государственными стандартами предусмотрены концевые и цилиндрические фрезы с неравномерным окружным шагом зубьев.

Основным достоинством фрез с неравномерным окружным шагом зубьев является уменьшение вибраций, что способствует увеличению стойкости режущего инструмента, долговечности станка и улучшению качества обрабатываемой поверхности.

Уменьшение вибраций при использовании фрез с неравномерным окружным шагом зубьев объясняется следующим образом. Величина стружки не одинакова у смежных зубьев (после большего шага — большая стружка). Следовательно, силы резания соответственно различаются по величине. Сила резания вызывает колебания системы станок — заготовка — инструмент (возмущающая сила). Указанные колебания при неравномерном шаге зубьев происходят с неравномерной амплитудой. Следующие одно за другим колебания не совпадают по фазе, поэтому наибольшие величины колебаний, возникшие от разных зубьев, не складываются, как это имеет место у обычных фрез.

Таким образом, колебания (вибрации) при работе фрезами с неравномерным шагом зубьев не достигают такой большой величины, как при работе обычными фрезами.

Стружечные канавки фрез с неравномерным шагом имеют открытый плавный профиль, что способствует легкому отводу стружки, а следовательно, позволяет увеличивать толщину среза. Благодаря улучшению условий отвода стружки можно в ряде случаев обойтись без трудоемкой операции полирования стружечных канавок, так как целью полирования является уменьшение трения стружки о фрезу.

Одним из средств уменьшения вибраций является устройство стружкоразделительных канавок (см. фиг. 33). Канавки, пересекающие режущие кромки, служат для уменьшения ширины стружки. Более узкие стружки легче деформируются под влиянием режущего инструмента, завиваются и без задержки отво-

¹ Начало принципу конструирования таких фрез было положено новатором токарем-наладчиком В. Я. Карасевым применительно к концевым фрезам.

дятся из промежутка между зубьями фрезы, а также лучше вымываются оттуда охлаждающе-смазывающей жидкостью, что имеет важное значение при обработке нехрупких, пластичных материалов (мягкая сталь, некоторые медные сплавы и др.).

Стружкоразделительные канавки способствуют также уменьшению силы резания и потребной мощности, но искажают геометрию режущей части фрезы, что приводит к преждевременному износу и потере стойкости фрезы.

Кукурузные фрезы не имеют указанных недостатков благодаря специальному способу образования стружкоразделительных канавок.

3. КОНСТРУКЦИЯ ОСНОВНЫХ ТИПОВ ФРЕЗ

В производстве применяются различные конструкции фрез. Из них основными являются:

- 1) цельные с фрезерованными зубьями;
- 2) сборные со вставными зубьями из быстрорежущей стали;
- 3) сборные со вставными зубьями, оснащенными твердым сплавом;
- 4) с напаянными пластинками твердого сплава;
- 5) сборные из нескольких фрез.

Цельные фрезы изготавливаются из одного куска. После ряда переточек зубья изнашиваются и фрезы становятся непригодными к дальнейшей эксплуатации. Фрезы также выходят из строя из-за поломок зубьев.

Поскольку резание производится только зубьями, нет необходимости делать всю фрезу из дорогостоящего материала, например, из быстрорежущей стали. Поэтому возникли конструкции сборных фрез со вставными зубьями. Но такое решение не всегда реально, так как фрезы небольших размеров не всегда удастся выполнить сборными, из-за невозможности обеспечения надежного крепления вставных зубьев при малых размерах деталей, служащих для крепления.

Применение твердых сплавов также вызвало появление сборных конструкций.

Вначале пластинки твердого сплава напаялись на зубья фрез (в основном торцовых и трехсторонних дисковых). Так делается во многих случаях и в настоящее время. Но такой способ крепления пластинок имеет ряд недостатков, в том числе и невозможность регулирования положения зубьев; например, для трехсторонних фрез важно регулирование положения зубьев при переточках по ширине, если же это невозможно, нельзя получить высокой точности фрезерования пазов по ширине.

Трехсторонние дисковые фрезы с напаянными пластинками из твердого сплава применяются главным образом для обработки узких пазов, когда недостаточно большая ширина фрез исключает возможность применения какого-либо из способов механического крепления вставных зубьев.

У фрез со вставными зубьями (ножами) корпус изготавливается из какой-либо недорогой стали (марки 45, 40Х и близкие к ним), а зубья делаются из быстрорежущей или из углероди-

стой стали с напайкой пластинок твердых сплавов. Все большее применение находят минералокерамические зубья. Корпусы фрез наиболее крупных диаметров (600—800 мм), применяемых для обработки легких сплавов, исполняются литыми из легких сплавов.

По мере износа зубья заменяются, а корпус и детали крепления служат довольно долго. Помимо собранных фрез со вставными ножами, выпускаются запасные ножи к ним.

Несмотря на более высокую себестоимость изготовления сборных фрез, применение их более выгодно чем цельных, так как сборные фрезы обеспечивают значительную экономию за период эксплуатации их.

Наибольшее применение вставные зубья нашли в торцовых, дисковых и цилиндрических фрезах.

Существует много способов крепления вставных зубьев в корпусе фрезы, например: запрессовка ножей клиновидной формы непосредственно в корпус, крепление клиньями (плоскими, круглыми или коническими), крепление эксцентриками и винтами или специальными болтами.

При любом способе крепления вставных зубьев должно быть простым по конструкции, надежным, жестким, обеспечивать удобную замену зубьев и возможно большое число переточек.

Наиболее распространенным способом крепления вставных зубьев является крепление плоским клином. Этот способ применен в стандартных цилиндрических, торцовых и двухсторонних дисковых фрезах со вставными ножами.

Крепление ножей в корпусе сборной цилиндрической фрезы показано на фиг. 34. Ножи из быстрорежущей стали выполнены с рифлением. Пазы корпуса — клиновидной формы с рифлением на одной стороне, которое не допускает смещения ножей в процессе фрезерования под действием сил резания; оно используется также для перестановки ножей на один или несколько зубьев для увеличения числа переточек фрезы. Закрепление каждого ножа в пазе корпуса фрезы производится плоским клином.

Ниже даны описания конструкций наиболее употребительных или перспективных фрез.

Общие технические требования для фрез различных типов приведены в разделе 4.

ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ФРЕЗЫ

Цилиндрические фрезы служат для обработки плоскостей, не имеющих выступов, мешающих врезанию фрезы в начале и выходу ее в конце обработки.

Государственными стандартами предусмотрены цилиндрические фрезы: цельные (ГОСТ 3752-59), сборные со вставными ножами (ГОСТ 9926-61), одинарные и составные и оснащенные винтовыми пластинками из твердого сплава (ГОСТ 8721-58).

Стандартные цельные цилиндрические фрезы изготавливаются двух типов: с мелким и крупным зубом. В табл. 5 приведены основные размеры этих фрез.

Таблица 5

Основные размеры фрез в мм

С мелким зубом				С крупным зубом			
D	d	L	Число зубьев z	D	d	L	Число зубьев z
50	22	50 63 80 —	12	63	27	50 63 80 100	8
63	27	50 63 80 100	14	80	32	63 80 100 125	10
80	32	63 80 100 125	16	100	40	80 100 125 160	12

Цилиндрические фрезы с крупными зубьями отличаются меньшим числом их, большим углом наклона, неравномерностью окружного шага зубьев и измененным профилем стружечных канавок и спинки зубьев.

Для фрез, изготавливаемых в централизованном порядке, устанавливаются:

а) равномерный окружной шаг зубьев для фрез с мелким зубом;

б) неравномерный окружной шаг зубьев для фрез с крупным зубом;

в) угол наклона стружечных канавок ω для фрез с мелким зубом $30-35^\circ$, а для фрез с крупным зубом 40° (направление стружечных канавок левое; правое только для работы в комплекте);

г) передний угол резания в нормальном сечении к режущей кромке $\gamma = 15^\circ$;

д) задний угол резания в плоскости, перпендикулярной оси фрезы, $\alpha = 16^\circ$;

Для уменьшения вибраций, возникающих при работе крупнозубыми цилиндрическими фрезами, окружной шаг фрез выполняют неравномерным. Разбивку окружного шага рекомендуется выполнять согласно табл. 6.

Таблица 6

Рекомендуемая разбивка окружного шага в градусах

Д фрезы в мм	Число зубьев z	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5	φ_6	φ_7	φ_8	φ_9	φ_{10}	φ_{11}	φ_{12}
50	6	57	63	57	63	57	63	—	—	—	—	—	—
63	8	42	48	42	48	42	48	42	48	—	—	—	—
80	10	33	39	33	39	33	39	33	39	33	39	—	—
100	12	27	33	27	33	27	33	27	33	27	33	27	33

Как видно из табл. 6 разница между двумя соседними шагами составляет 6° .

Фрезерование при различных режимах резания показало, что использование цилиндрических фрез с неравномерным шагом зубьев дает возможность применять подачи в 2—3 раза больше, чем при обработке фрезами с мелкими зубьями, и в 3—5 раз больше, чем при обработке фрезами со вставными ножами.

Экспериментальные исследования показали значительные преимущества фрез с крупными зубьями и неравномерным шагом при обработке черных и цветных металлов.

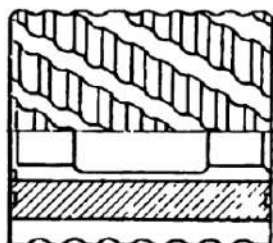
Радиальное биение режущих кромок зубьев относительно оси отверстия не должно превышать 0,03 мм для двух смежных зубьев и 0,06 мм — для двух противоположных зубьев. Биение опорных торцов при проверке на оправке не должно превышать 0,02 мм. Конусность цилиндрической части фрез не должна превышать 0,02 мм для фрез длиной до 50 мм и 0,03 мм для фрез длиной более 50 мм.

Остальные требования к точности стандартных фрез, состоянию их поверхностей, а также к материалам для их изготовления изложены ниже (раздел 4).

Испытание стандартных цилиндрических фрез производится по стали марок 45 или Ст. 6 с охлаждающе-смазывающей жидкостью. Расход жидкости не менее 20 л/мин.

Ширина фрезерования при испытании фрез должна быть не менее $\frac{2}{3}$ рабочей длины фрезы. Суммарная длина фрезерования для каждой испытываемой фрезы 1000 мм. В табл. 7 указаны режимы резания, применяемые при испытании фрез.

На фиг. 33 изображена кукурузная¹ цилиндрическая фреза, предназначенная для тяжелых обдирочных работ с большой



Фиг. 33. Кукурузная цилиндрическая фреза.

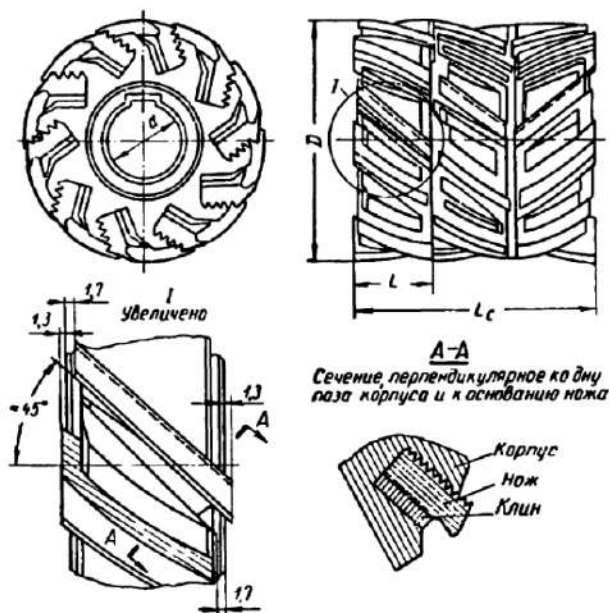
¹ Такие фрезы часто называют кукурузными вследствие их внешнего сходства с початком кукурузы.

глубиной фрезерования. При этих условиях особенно важно облегчение образования стружки и отвода ее.

Таблица 7

Режимы резания при испытании стандартных цельных, цилиндрических фрез

Тип фрезы	Диаметр фрезы в мм	Поддача на зуб в мм	Глубина фрезе- рования в мм	Скорость реза- ния в м/мин, не менее
С мелким зубом	40	0,06	1	45
	50	0,06	1	45
	63	0,08	2	40
	80	0,08	2	40
	100	0,1	3	40
С крупным зубом	50	0,15	3	35
	63	0,15	3	35
	80	0,20	3	30
	100	0,20	5	30



Фиг. 34. Цилиндрическая фреза со вставными ножами.

На фиг. 34 изображена стандартная цилиндрическая фреза со вставными ножами. Основные размеры указанных фрез приведены в табл. 8.

На фиг. 34 в сечении AA показано крепление вставного ножа в корпусе фрезы и изображено рифление, по которому устанавли-

Таблица 8

Основные размеры стандартных, одинарных и составных, цилиндрических фрез со вставными ножами

D в мм	L _c в мм	L в мм	d в мм	Число ножей z нап.	Количество фрез в комплекте		
					правых	левых	всего
100	80	40	32	8	1	1	2
	120				2	1	3
	160				2	2	4
	200				3	2	5
125	100	50	40	8	1	1	2
	150				2	1	3
	200				2	2	4
	250				3	2	5
	300				3	3	6
160	150	50	50	10	2	1	3
	200				2	2	4
	250				3	2	5
	300				3	3	6
200	200	50	60	12	2	2	4
	250				3	2	5
	300				3	3	6
250	260	65	60	12	2	2	4
	325				3	2	5
	380				3	3	6

Примечание. L — означает длину отдельной фрезы, а L_c — длину набора фрез.

ваются ножи в корпусе. Закрепление ножей в корпусе производится посредством клиньев.

Ножи обрабатываются со стороны передней поверхности по спирали, а со стороны задней — по цилиндру. Окончательная обработка передней и задней поверхностей производится в собранном виде.

Размеры 1,3 и 1,7 указывают величину смещения в целях перекрытия места стыка фрез.

Радиальное биение режущих кромок фрез относительно оси отверстия не должно превышать (в мм):

Диаметр фрезы в мм	Двух смежных зубьев	На всей фрезе
От 100 до 125	0,06	0,12
Св. 125	0,08	0,15

Биение опорных торцов ступицы фрезы не должно превышать 0,03 мм. Конусность цилиндрической поверхности по наружному диаметру фрезы не должна превышать 0,04 мм на 100 мм длины.

Испытание фрез производится на фрезерных станках по стали марок 45 или Ст. 6 с охлаждающе-смазывающей жидкостью. Расход жидкости не менее 8—10 л/мин.

Глубина фрезерования должна быть 5 мм.

Скорость резания не менее 30 м/мин, подача на зуб 0,2 мм. Суммарная длина фрезерования — не менее 500 мм.

На фиг. 35 показана стандартная цилиндрическая фреза, оснащенная винтовыми пластинками из твердого сплава. В табл. 9 приведены основные размеры фрез этого типа.

Таблица 9

Основные размеры стандартных цилиндрических фрез, оснащенных винтовыми пластинками из твердого сплава

D в мм	L в мм	L ₁ в мм	d в мм	Число зубьев z	Угол наклона зубьев фре- зы (по наружному диаметру) φ в град	Количество пластинок на фрезе	
						длинных	коротких
62	45	50	27	8	24	8	8
	75	80				16	8
	100	105				24	8
80	45	50	32	8	30	8	8
	70	75				16	8
	100	105				24	8
100	45	50	40	10	25	10	10
	75	80				20	10
	100	105				30	10
125	70	75	50	12	30	24	12
	100	105				36	12

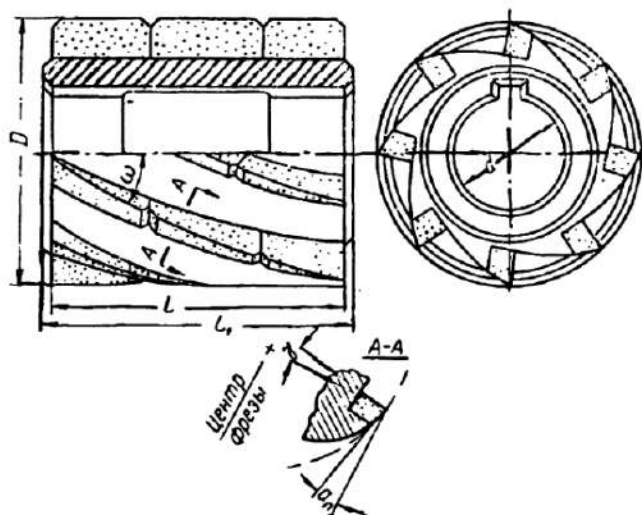
При централизованном производстве такие фрезы выпускаются только праворежущими с углами резания $\gamma = -5^\circ$ и $\alpha_n = 18^\circ$. Леворежущие фрезы изготавливаются по соглашению с потребителем.

В качестве режущей части фрез применяются винтовые пластинки из твердого сплава.

Стыки пластинок на смежных зубьях располагаются в шахматном порядке.

Испытание цилиндрических фрез, оснащенных винтовыми пластинками из твердого сплава марок Т5К10, Т14К6 и Т15К6, производится при фрезеровании по стали марок 45 или Ст. 6. а фрез, оснащенных сплавом марок ВК6 и ВК8 — по серому чугуна твердостью *HV* 180—220.

Ширина фрезерования должна быть не меньше 40—45 мм при глубине не менее 2 мм.



Фиг. 35. Цилиндрическая фреза, оснащенная винтовыми пластинками твердого сплава.

Подача на зуб для фрез, оснащенных сплавом типа ТК, 0,1—0,15 мм, а для фрез, оснащенных сплавом типа ВК, 0,15—0,30 мм.

Скорость резания для фрез, оснащенных сплавом типа ТК, 120—130 м/мин, а сплавом типа ВК 60—80 м/мин.

Суммарная длина фрезерования 500 мм.

ТОРЦОВЫЕ ФРЕЗЫ

Торцовые фрезы применяются для обработки плоскостей на одном или нескольких уровнях, т. е. торцовыми фрезами можно обрабатывать и ступенчатые плоские поверхности, имеющие свободный вход и выход для фрезы.

Торцовые фрезы имеют ряд преимуществ по сравнению с цилиндрическими фрезами. Они обеспечивают равномерное фрезерование даже при небольших припусках на обработку, так как угол контакта зависит только от диаметра фрезы и ширины заготовки. Длина дуги контакта значительно больше, чем при фрезеровании цилиндрическими фрезами.

Для оснащения сборных торцовых фрез требуется меньше быстрорежущей стали или твердого сплава по сравнению с цы-

линдрическими фрезами. Легче осуществить удобное размещение и надежное крепление вставных зубьев.

Торцовые фрезы могут быть оснащены минералокерамическими пластинками.

Основную работу при фрезеровании выполняют зубья, расположенные на цилиндрической поверхности (угловая режущая кромка). Торцовые зубья служат для зачистки обработанной поверхности.

Государственными стандартами предусмотрены насадные торцовые фрезы: с мелким и крупным зубом (ГОСТ 9304-59), со вставными ножами из быстрорежущей стали (ГОСТ 1092-57 и ГОСТ 3876-55) и со вставными ножами, оснащенными твердым сплавом (ГОСТ 9473-60).

На фиг. 36 и 37 представлены стандартные торцовые насадные фрезы с мелкими и крупными зубьями.

В табл. 10 приведены основные размеры этих фрез.

Таблица 10

Основные размеры в мм стандартных торцовых насадных фрез

С мелкими зубьями				С крупными зубьями			
D	d	L	Число зубьев z	D	d	L	Число зубьев z
40	16	32	10	63	27	40	8
50	22	36	12	80	32	45	10
63	27	40	14				12
80	32	45	16	100	32	50	
100	32	50	18				

Указанные фрезы изготавливаются праворежущими. Рекомендуемые углы резания: $\gamma = 15^\circ$, $\gamma_1 = 12^\circ$; $\alpha = 14^\circ$, $\alpha_1 = 8^\circ$. Угол наклона стружечных канавок ω для фрез с мелким зубом $25-30^\circ$, для фрез с крупным зубом $35-40^\circ$.

Как видно из фиг. 36 и 37 (АА и ББ) форма зубьев фрез весьма проста и не представляет каких-либо затруднений при изготовлении.

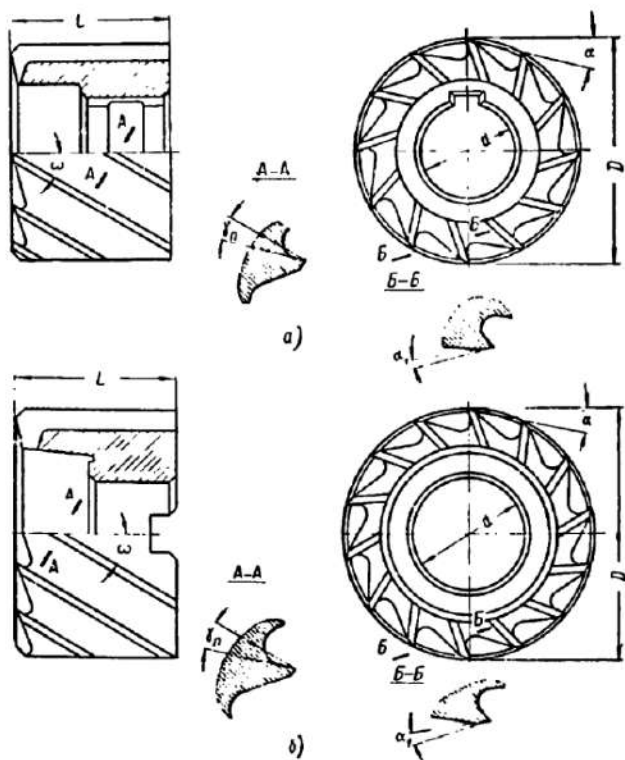
Количество зубьев у фрез с крупным зубом значительно меньше, чем у фрез с мелким зубом, благодаря чему пространство между зубьями у них больше, что благоприятно для удаления стружки. Фрезы с крупными зубьями применяются, в основном, для снятия больших припусков.

Как на главных, так и на вспомогательных режущих кромках предусматривается ленточка.

Фрезы диаметром 40—50 мм снабжаются канавками для крепления на продольной шпонке; а фрезы диаметром 63—100 мм — изготавливаются с канавками для крепления на торцовой шпонке.

Биение опорных торцов при проверке на оправке не должно превышать 0,02 мм. Торцовое биение режущих кромок торцовых зубьев (вспомогательные режущие кромки) не должно превышать 0,03—0,04 мм.

Испытание цельных насадных торцовых фрез производится фрезерованием по стали марки 40 или Ст. 6 твердостью HB 160—190 с охлаждающе-смазывающей жидкостью. Расход жидкости не менее 5 л/м.



Фиг. 36. Торцовая насадная фреза с мелкими зубьями:

а — с креплением на продольной шпонке, б — с креплением на торцовой шпонке

Суммарная длина фрезерования для каждой испытываемой фрезы 1000 мм.

В табл. 11 приведены режимы резания при испытании стандартных фрез.

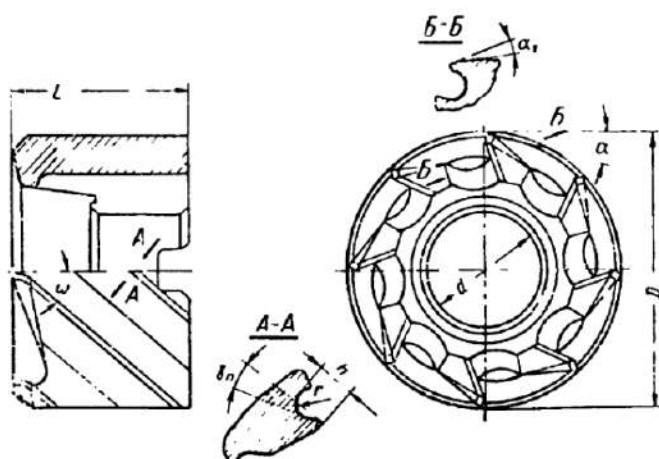
На фиг. 38 представлены конструкция и внешний вид стандартной насадной торцовой фрезы со вставными ножами из быстрорежущей стали, предназначенной для обработки чугуна и стали по широким плоскостям с большими припусками. В табл. 12 приведены основные размеры этих фрез.

Указанные фрезы изготавливаются праворежущими и леворежущими.

Таблица 11

Режимы резания при испытании стандартных насадных торцовых фрез

С мелкими зубьями			С крупными зубьями	
Диаметр фрезы в мм	Глубина фрезерования $t = 3$ мм		Глубина фрезерования $t = 4$ мм	
	Подача на один зуб в мм	Скорость резания в м/мин	Подача на один зуб в мм	Скорость резания в м/мин
40	0,05	44	—	—
50	0,08	40	—	—
63	0,08	40	—	36
80	0,10	40	0,12	38
100	0,10	39	—	38



Фиг. 37. Торцовая насадка фрезы с крупными зубьями.

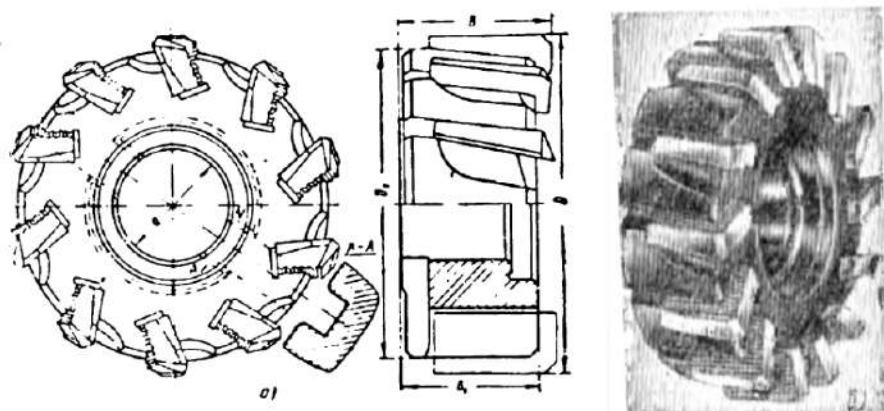
Таблица 12

Основные размеры в мм стандартных торцовых насадных фрез со вставными ножами из быстрорежущей стали

D	D_1	d	B	B_1	Число ножей (наименьшее)
80	70	27	36	30	10
100	90	32	—	—	10
125	115	40	40	34	14
160	150	—	—	—	16
200	186	50	45	37	20
250	236	—	—	—	26

Аналогичные фрезы, несколько измененной конструкции (другая форма корпуса и прямое расположение зубьев), изготавливаются диаметрами 250, 320, 400, 500 и 630 мм.

На фиг. 39 показаны правый и левый ножи. Они имеют клиновидную форму (угол клина 5°) с рифлением и запрессовываются непосредственно в корпус фрезы. В праворежущие фрезы вставляются левые ножи, а в леворежущие — правые.



Фиг. 38. Торцовая насадная фреза со вставными ножами из быстрорежущей стали:

а — конструкция фрезы, б — внешний вид фрезы.

Торцовые фрезы таких же размеров могут быть изготовлены с различными видами крепления ножей в корпусе.

Для увеличения срока службы фрез и увеличения места для стружки возле зубьев делаются выкружки.

Износ фрезы по диаметру компенсируется перестановкой ножей на последующие рифления, нанесенные в пазах корпуса.

После каждой перестановки или замены изношенных ножей новым комплектом фрезы шлифуются по диаметру и торцам, а затем затачиваются.

В сечении АА показан паз, которым фреза устанавливается на выступ (шпонку) шпинделя станка.

При централизованном производстве описываемых фрез принимаются углы резания: $\gamma = 15^\circ$, $\alpha_n = 12^\circ$.

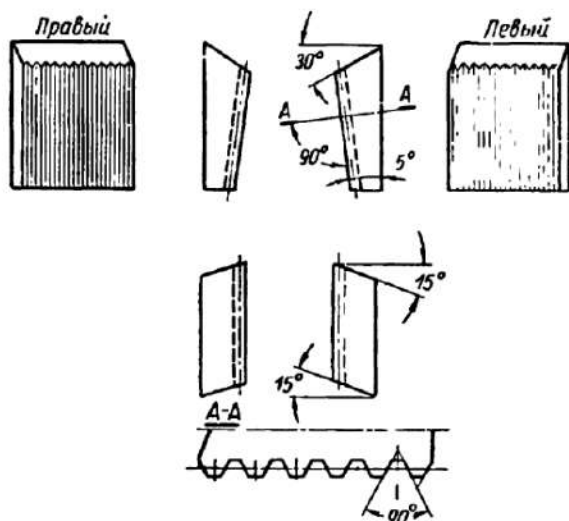
Радиальное биение главных режущих кромок относительно оси отверстия не должно превышать следующих пределов (в мм):

Диаметр фрезы в мм	Двух смежных зубьев	На всей фрезе
До 90	0,05	0,10
Св. 90 до 150	0,06	0,12
Св. 150	0,08	0,15

Торцовое биение режущих кромок торцовых зубьев (вспомогательные режущие кромки) должно быть в пределах 0,04—0,06 мм для фрез тех же диаметров.

На задней поверхности зубьев вдоль режущих кромок допускается ленточка шириной не более 0,1 мм.

Испытание стандартных торцовых насадных фрез со вставными ножами из быстрорежущей стали производится фрезерованием по стали марок 40 или Ст. 6 твердостью *HV* 160—190 с охлаждающе-смазывающей жидкостью. Расход жидкости не менее 5 л/мин.



Фиг. 39. Ножи из быстрорежущей стали.

Глубина фрезерования 4 мм для фрез диаметром до 150 мм и 6 мм для фрез диаметром свыше 150 мм.

Ширина фрезерования при симметричной установке фрезы должна быть 0,4—0,5 диаметра фрезы.

Скорость резания 26—30 м/мин при подаче на зуб 0,08—0,1 мм. Общая длина фрезерования 500 мм.

На фиг. 40 изображена стандартная торцовая насадная фреза со вставными ножами, оснащенными твердым сплавом, предназначенная для обработки стали и чугуна с припуском, примерно 6—10 мм.

В табл. 13 приведены основные размеры фрез этого типа диаметрами до 200 мм и близких по конструкции фрез диаметрами 250 и 630 мм.

На фиг. 40, б показан корпус фрезы, в котором крепятся ножи, оснащенные твердым сплавом. Угол клиньев 5°. Пазы для крепления ножей выполнены без рифлений с углом 5°, соответствующим углу клиньев, и с углом 3°, соответствующим углу одной из боковых поверхностей ножа.

Таблица 13

Основные размеры в мм стандартных торцовых насадных фрез со вставными ножами, оснащенными твердым сплавом

Фрезы диаметром 100—250 мм				Фрезы диаметром 250—630 мм				
D	B	d	Число ножей z	D	B	Исполнение I	Исполнение II	Число ножей z
100	50	32	8	250	75	128,57	221,44	14
125	55	40		320				18
160	60	50	10	400	85			20
200			12	500				
				630				

Правые и левые вставные ножи, оснащенные пластинками из твердых сплавов, изображены на фиг. 40, в. Форма рабочей части зубьев различается для фрез с углом $\varphi=45, 60$ и 75° и с углом $\varphi=90$. Клин на фиг. 40, г служит для крепления ножей в корпусе.

Биеение режущих кромок, измеренное перпендикулярно им, относительно оси посадочного отверстия не должно превышать величин, указанных в табл. 14.

Таблица 14

Биеение главных и вспомогательных режущих кромок

Размеры в мм

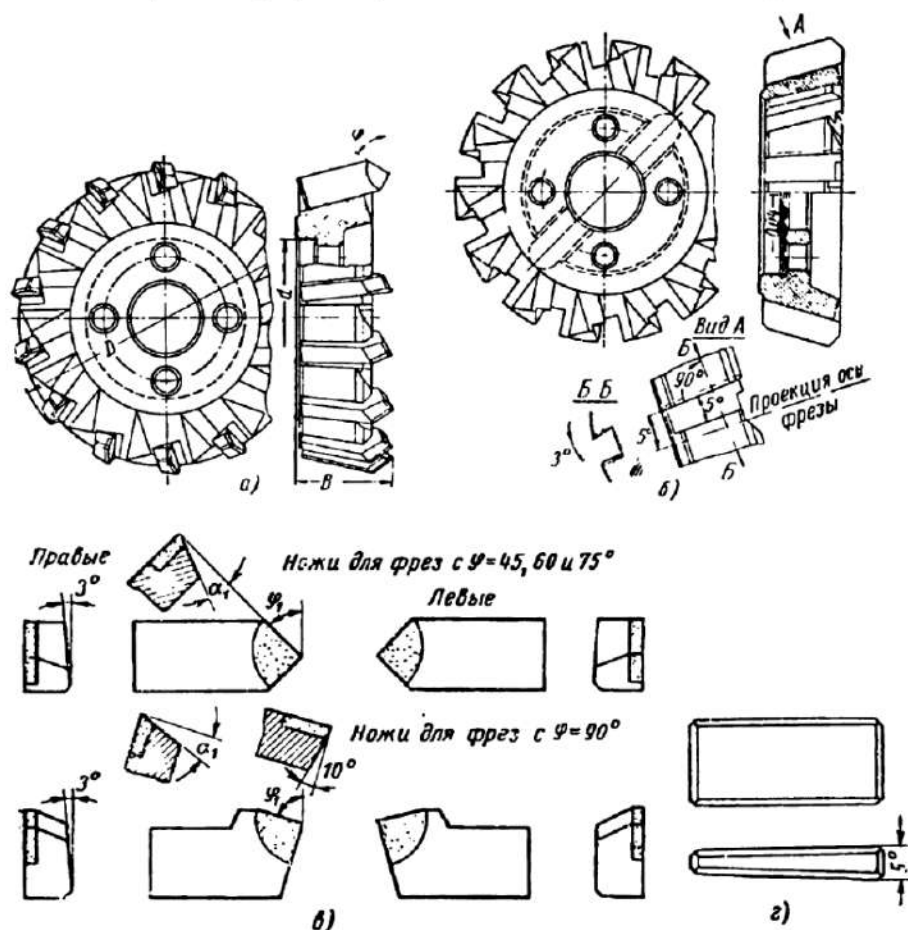
Диаметр фрезы	Допускаемое биеение двух зубьев по главной режущей кромке		Торцовое биеение по вспомогательным режущим кромкам
	смежных	противоположных	
До 160	0,04	0,08	0,05
Св. 160 до 250	0,05	0,10	0,06
» 250 » 400	0,06	0,12	0,08
» 400 » 630	0,08	0,12	0,1

Испытания стандартных торцовых насадных фрез со вставными ножами, оснащенными твердым сплавом марок ВК6 и ВК8, производятся фрезерованием по серому чугуно твердостью HB 180—220, а фрез, оснащенных твердым сплавом марок Т5К10, Т14К8, Т15К6, — по стали марок 45 или Ст. 6.

Глубина фрезерования в зависимости от диаметра фрезы должна быть: 4 мм для фрез диаметром 160 мм, 6 мм для фрез диаметром св. 160 до 400 мм, 8 мм для фрез диаметром св. 400 мм.

Ширина фрезерования при симметричной установке фрезы 0,4—0,6 диаметра фрезы.

Скорость резания при испытании фрез, оснащенных твердым сплавом марок ВК6 и ВК8, должна быть не менее 125 м/мин, а сплавом марок Т5К10, Т14К8 и Т15К6 — не менее 175 м/мин.



Фиг. 40. Торцовая насадная фреза со ставными ножами, оснащенными твердым сплавом:

а — фреза в собранном виде, б — корпус фрезы, в — ножи, г — клин.

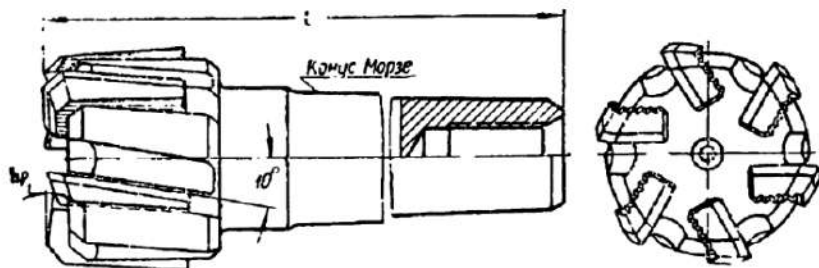
Подача на зуб должна быть для чугуна 0,20 мм, а для стали 0,12 мм.

Суммарная длина фрезерования 1000 мм.

Кроме описанных торцовых фрез со вставными ножами, оснащенными твердым сплавом, находят применение торцовые насадные фрезы с напаянными винтовыми пластинками твердого сплава. Наружные диаметры этих фрез 63, 80, 100 и 125 мм.

Помимо насадных торцовых фрез имеют распространение торцовые фрезы с хвостовиками (фиг. 41).). Они изготавливаются обычно диаметрами от 35 до 60 мм. Принцип работы тот же, что и у насадных торцовых фрез, т. е. основная работа резания производится зубьями, расположенными на цилиндрической поверхности фрезы (угловая кромка), а торцовые зубья производят зачистку обрабатываемой поверхности.

В последнее время проведены экспериментальные работы по исследованию торцовых насадных фрез со вставными ножами из быстрорежущей стали и оснащенных твердым сплавом, с неравномерным шагом зубьев.



Фиг. 41. Торцовая фреза с хвостовиком.

Неравномерность шага зубьев составляла 6° . При такой величине неравномерности шага зубьев наблюдалось наибольшее снижение вибраций при достаточной прочности ослабленных мест корпуса (стенки между пазами для ножей).

Применение фрез с неравномерным шагом зубьев вследствие снижения вибраций дает возможность вести обработку с величинами среза большими, чем при обычных фрезах, что достигается не только увеличением подачи на зуб (для твердосплавных фрез во многих случаях подача на зуб ограничивается прочностью твердого сплава), а главным образом за счет увеличения глубины резания.

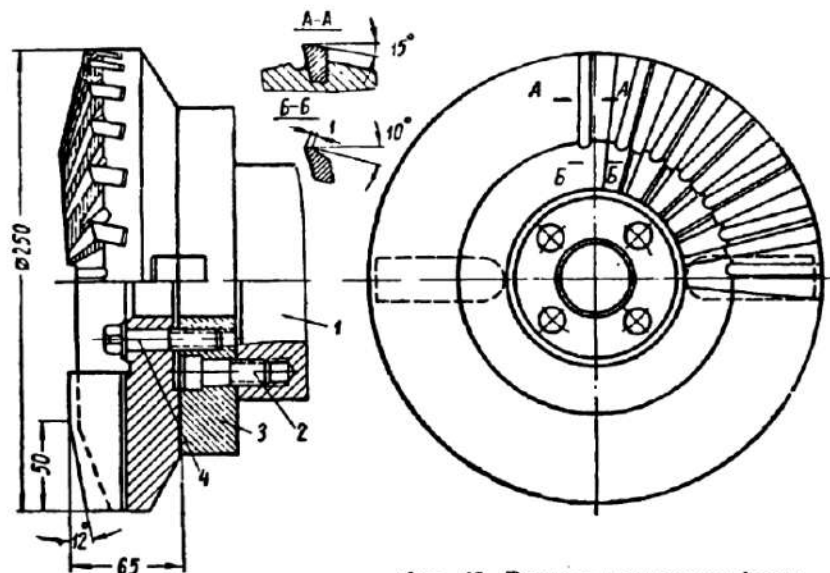
На фиг. 42 изображена торцово-коническая фреза конструкции автомобильного завода им. Лихачева. Фрезы подобного типа характеризуются, прежде всего, малым главным углом в плане ϕ (в данном случае $\phi = 12^\circ$). Торцово-конические фрезы дают высокую производительность фрезерования плоскостей в условиях массового и крупносерийного производства, когда припуск на обработку не более 4 мм.

Конструкция фрезы выполнена со вставными зубьями из быстрорежущей стали, имеющими рифление. У режущих кромок предусмотрены ленточки шириной 1 мм. Задние углы: главной режущей кромки 15° , вспомогательной (на торце) 10° .

Головка фрезы соединена винтами 4 с переходной шайбой 3, которая прикрепляется винтами 2 к шпинделю 1 станка.

Фрезы со ступенчатыми зубьями по характеру работы сходны с торцово-коническими. Фрезами со ступенчатыми зубьями обрабатываются широкие плоскости (более 100 мм) в условиях массового производства при снятии припуска не более 4 мм.

На фиг. 43 показана схема резания ступенчатой фрезы. Ступени расположены на каждом зубе и имеют длину 5—10 мм. Высота ступени равна толщине среза a . Для черновых зубьев $a = 0,2 \div 0,3$ мм, а для чистовых 0,05 мм.



Фиг. 42. Торцово-коническая фреза.

На фиг. 43, а дана схема резания при направлении подачи по стрелке S . Распределение снимаемого припуска (3,35 мм) по ступеням черновой фрезы показано на фиг. 43, б. Последние три ступени по 0,05 мм предназначены для зачистки грубых следов фрезерования.

На фиг. 43, в дана разбивка снимаемого припуска (0,25 мм) по ступеням чистовой фрезы.

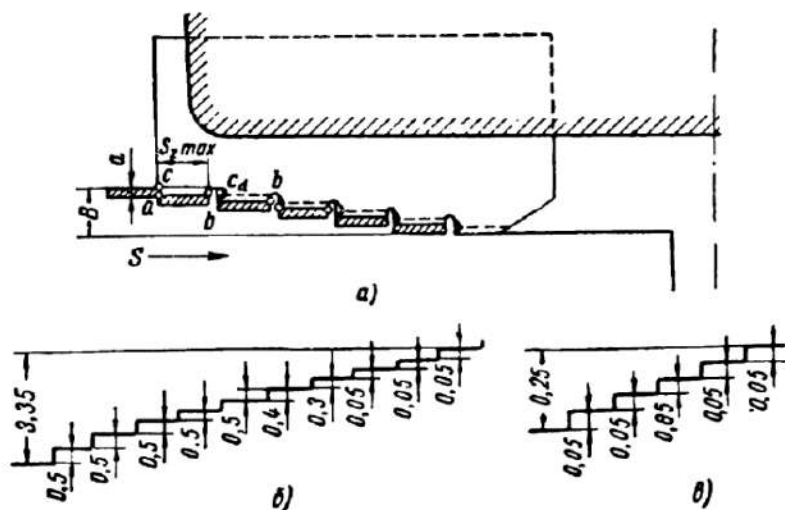
Разделение стружки по ширине путем образования ступеней, способствует снижению вибраций.

На фиг. 44 представлена оригинальная конструкция ступенчатой торцовой фрезы, оснащенной круглыми минералокерамическими пластинками — ножами МК-4, для обработки чугуна.

В отверстия корпуса 1 вставляются державки 5, на которых закрепляются минералокерамические пластинки. Размеры пластинки, имеющей форму диска с отверстием в центре (фиг. 44, в), следующие: наружный диаметр 33 мм, диаметр отверстия 14,5 мм, толщина 8 мм. Пластика 12 помещается между двумя шайбами 10 и 13 и закрепляется болтом 9. Пластика

притирается на чугунной плите с пастой из карбида бора и притертым торцом опирается на торец шайбы 10, закаленной до твердости $HRC\ 50-55$. Прокладки 11 из медной фольги толщиной $0,1-0,15\text{ мм}$ закладываются по обоим торцам пластинки для обеспечения равномерного зажима.

Державка 5 может устанавливаться в корпусе 1 с регулировкой по высоте, что необходимо для распределения по глубине снимаемого припуска между пластинками. Регулирование производится с помощью гайки 8. Установленная на требуемой высоте державка закрепляется контргайкой 6 и шайбой 7.



Фиг. 43. Схема резания ступенчатой фрезы:

а — схема резания, б — распределение припуска по ступеням черновой фрезы, в — распределение припуска по ступеням чистовой фрезы

Шайба 7 имеет отверстие, соответствующее по форме концу державки, на котором снята лыска. При повороте шайба вращается вместе с ней. Стопорный винт 4 служит для предотвращения проворачивания державки.

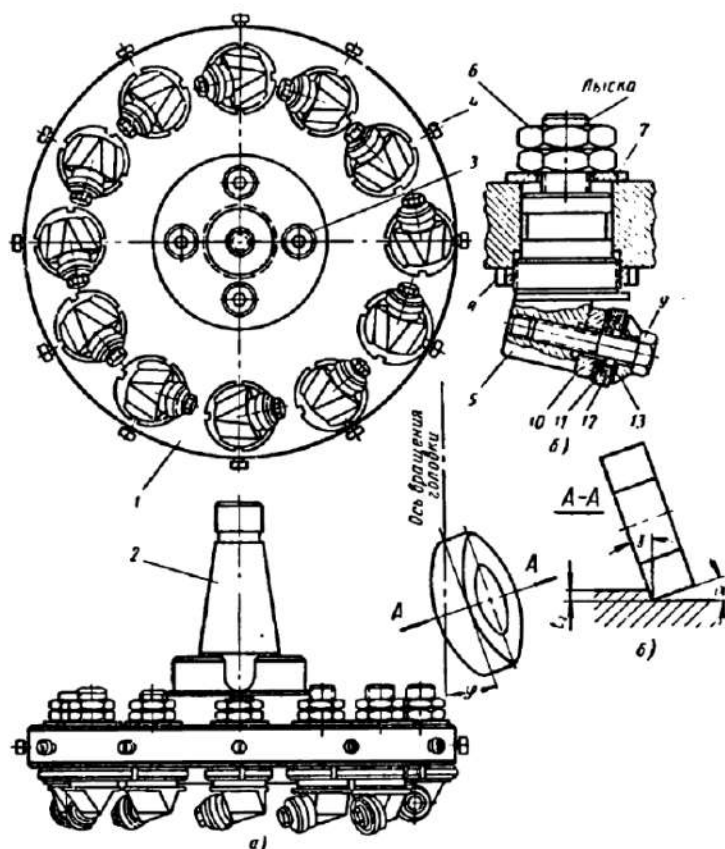
Отверстия в корпусе под державки располагаются на различных расстояниях R от оси фрезы, чтобы в сочетании с различной высотой установки державок образовать ступенчатость пластинок. Ниже даны величины R , соответствующие каждому зубу фрезы при снятии припуска 12 мм .

№ зуба	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$R\text{ мм}$	152	150,5	149	147,5	146	144,5	143	141,5	140	138,5	137	135,5

У этой же фрезы высота установки державок выдержана с таким расчетом, чтобы каждая пластинка снимала 1 мм при-

пуска. Таким образом, 12 пластинок снимают в сумме 12 мм, т. е. весь припуск.

Рассматриваемая фреза представляет собой как бы сочетание 12 однозубых торцовых фрез с последовательно уменьшающимися диаметрами.



Фиг. 44. Торцовая ступенчатая фреза, оснащенная минералокерамическими пластинками:

а — конструкция фрезы, б — державка, в — пластинка.

Описанная разбивка припуска свойственна фрезе для черновой обработки. При чистовом фрезеровании с более или менее точными допусками пластинки устанавливаются так, что ближайшие к оси фрезы и расположенные наиболее низко три пластинки находятся на одной высоте. Они являются зачистными.

Первая из трех пластинок работает до тех пор, пока на ней не появится легкое выкрашивание, тогда в работу автоматически вступает вторая пластинка, а затем третья.

Для установки фрезы в шпиндель станка служит конический хвостовик 2, соединенный с корпусом 1 резьбой и четырьмя винтами 3. Резьбовое соединение корпуса и хвостовика является более надежным чем шпоночное соединение у фрез обычной конструкции, но несколько более трудоемким в изготовлении.

На фиг. 44, в показаны схема установки и геометрические параметры круглой минералокерамической пластинки. Передний угол $\gamma = -12^\circ$, задний угол $\alpha = 12^\circ$. Угол в плане $\varphi = 10-12^\circ$. Углы γ и α предусмотрены самой конструкцией фрезы (углом наклона нижней части державки). Угол φ получается путем поворота державки до совмещения риски, нанесенной на шайбе 7, с риской на корпусе 1. Такие риски сделаны возле всех отверстий корпуса и на всех шайбах.

Ряд опытов, произведенных с пластинками МК-4 марки ЦМ-332, показал, что пластинки должны использоваться при фрезеровании с глубиной резания не более 1 мм на каждую пластинку.

Наилучшие результаты (наибольшая стойкость) получались при глубине резания 0,5—0,7 мм на пластинку.

Основные преимущества фрез с минералокерамическими пластинками по сравнению с фрезами, оснащенными твердым сплавом, заключаются в следующем.

При фрезеровании серого чугуна достигается экономия твердого сплава при росте производительности труда на 30—40%.

Отпадает необходимость в снятии со станка фрезы для заточки, а затем установки ее на станок, на что при использовании тяжелых фрез, оснащенных твердым сплавом, затрачиваются большие физические усилия и время.

Круглые минералокерамические пластинки можно, по мере заступления, поворачивать до полного использования всей длины одной круглой кромки, а затем, перевернув пластинку, и другой кромки. Полностью использованную пластинку легко заменить другой. Снимать фрезу приходится только в случае перехода к другой работе на данном станке, что в крупносерийном и особенно в массовом производствах происходит довольно редко.

Конструкция фрезы обеспечивает быстрое и удобное регулирование положения зубьев фрезы (пластинок) по высоте и периферии, а также съем и закрепление их в державках фрезы.

Фреза может работать и как чистовая, если предусмотреть соответствующие зачистные зубья.

Державки и другие детали фрезы унифицированы и могут быть применены для разных фрез данного типа, рассчитанных на снятие припусков различной величины.

Нет необходимости выдерживать определенные допуски на биение зубьев по торцу и диаметру, как у обычных фрез, оснащенных твердым сплавом.

Сильно затупленные или расколовшиеся на части пластинки МК-4 используются для токарной обработки стали и чугуна с применением специальных державок.

Ряд конструкций торцовых фрез (фрезерных головок), нашедших широкое применение при скоростном фрезеровании, предусматривает возможность раздельного затачивания вставных ножей с последующей установкой их в корпусе фрезы, который, в некоторых случаях, может и не сниматься со станка.

Необходимость в раздельной заточке ножей торцовых фрез вызывается отсутствием соответствующих заточных станков. Поэтому в практике на заводах применяются конструкции торцовых фрез, предусматривающих раздельную заточку ножей.

По мере обеспечения изготовителей и потребителей фрез специальными заточными станками, потребность в раздельной заточке ножей отпадает.

На фиг. 45 изображены фрезерные головки, получившие широкое распространение при скоростном фрезеровании плоскостей с применением твердого сплава. Надежное крепление ножей в этих головках производится винтами с головкой под ключ (существуют конструкции с клиновым креплением). Ножи можно затачивать индивидуально с последующей установкой их в корпусе с помощью простого приспособления.

Тело ножа (державка) имеет точную призматическую форму. Опорная и противоположная ей плоскости протрагиваются. Длина резцовой державки должна быть такой, чтобы она не выступала из корпуса. Ножи крепятся в корпусе головки не менее чем двумя винтами.

Высота корпуса принимается такой, чтобы обеспечивалась достаточная опорная поверхность для ножей и размещения необходимого количества винтов для их крепления. Концы и головки болтов заклиниваются.

На фиг. 45, а показана головка открытого типа, у которой ножи могут вставляться и выниматься в радиальном и осевом направлениях.

У головки закрытого типа на фиг. 45, б выпнуть и вставить ножи возможно только в осевом направлении.

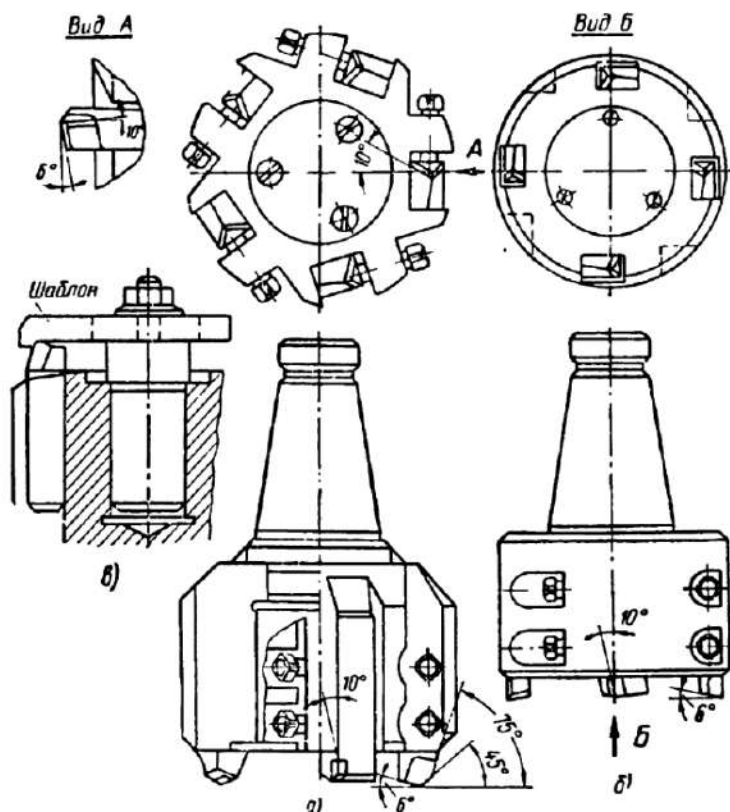
На фиг. 46 изображена фреза, конструкция которой также предусматривает возможность затачивания вставных ножей вне корпуса с последующей регулируемой установкой их. Конструкция данной фрезы предложена Всесоюзным научно-исследовательским инструментальным институтом (ВНИИ).

Благодаря возможности регулирования и более точному изготовлению некоторых деталей фрезы режущая кромка ножа занимает правильное положение относительно оси фрезы.

Дно и одна сторона паза в корпусе 2 и соответствующие плоскости ножа 1 должны быть выполнены достаточно точно. Плоскость опорного кольца 3, прикрепленного винтами 4 к корпусу фрезы, должна быть строго перпендикулярна оси фрезы.

С этой целью плоскость кольца и прилегающая к ней плоскость корпуса фрезы шлифуются.

В торце ножа сделано резьбовое отверстие для винта 5 со сферической головкой, упирающейся в опорное кольцо 3. Вращением винта 5 нож устанавливается в нужном положении вдоль своей оси, а гайкой 6 винт фиксируется в этом положении.



Фиг. 45. Фрезерные головки с раздельной заточкой вставных резцов:
а — открытого типа, б — закрытого типа, в — шаблон для установки резцов.

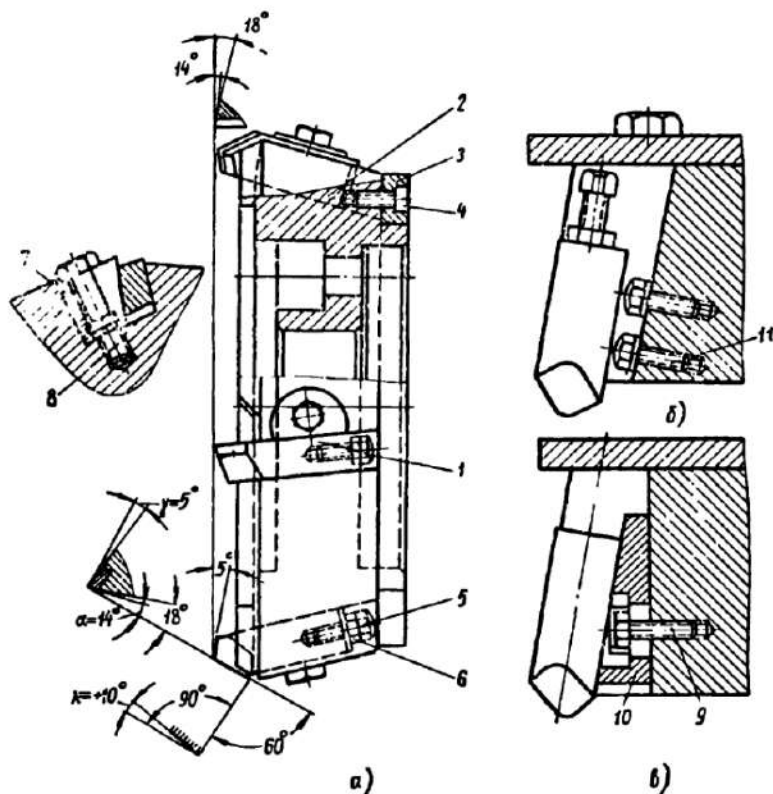
Для упрощения изготовления корпуса фрезы вводится мерная подкладка 10 (фиг. 46, в), на которую переносится базовая плоскость (дно паза). Подкладка крепится к дну паза винтом 9.

Мерная подкладка может быть заменена регулировочными винтами 11 со сферическими головками (фиг. 46, б), на которые опирается базовая (задняя) плоскость ножа.

Таким образом, нож опирается на три базовые поверхности, плоскость дна паза корпуса (или его заменителя), боковую плоскость паза и плоскость опорного кольца и занимает правильное положение по отношению к оси фрезы, а также выдвинут вдоль своей оси на требуемую величину. Нож закрепляется после

установки посредством втулки 7 со срезом под углом 5° . При завертывании винта 8 втулка опускается и, воздействуя срезом на нож, прижимает его к задней и боковой базовым поверхностям.

Ножи затачиваются в специальном приспособлении, обеспечивающем требуемое положение режущей кромки относительно двух взаимно-перпендикулярных базовых плоскостей ножа.



Фиг. 46. Фрезерная головка с отдельной заточкой вставных ножей конструкции ВНИИ:

а — конструкция головки, б — нож опирается на регулировочные винты, в — нож опирается на подкладку.

Правильное положение ножа относительно третьей базы (плоскость опорного кольца) достигается применением другого приспособления с подвертыванием винта 5 и фиксацией гайкой 6.

Описываемая конструкция фрезы обеспечивает величину биения по угловой режущей кромке не более 0,06 мм, а по торцу не более 0,08 мм, что соответствует техническим требованиям к торцовым фрезам со вставными ножами, оснащенными твердым сплавом.

Установку ножей вдоль их осей можно производить с помощью шаблона, используя отверстия в корпусе фрезы, предназначенные для крепления оси шаблона аналогично показанному на фиг. 45, а.

Если ножи устанавливаются не снимая корпуса фрезы со станка, то пользуются «следом», образуемым первым закрепленным ножом на обрабатываемой заготовке.

При применении установки «по следу» нет необходимости, например, во фрезе конструкции ВНИИ в регулировочном винте 5, гайке 6, опорном кольце 3 и крепящих его к корпусу винтах 4. Конструкция значительно упрощается.

КОНЦЕВЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ФРЕЗЫ

Цилиндрические и торцовые фрезы малых диаметров (обычно до 5 мм) изготавливают с хвостовиками (концевыми). Конструкции фрез с хвостовиками встречаются и в других случаях. Применение концевых фрез весьма разнообразно.

Концевые фрезы служат для обработки взаимно-перпендикулярных плоскостей, уступов, пазов и различных контуров по разметке и по копиру.

Для обработки глубоких пазов в стальных и чугунных отливках применяются концевые фрезы диаметрами до 100 мм и длиной 200 мм и выше.

Зубья на цилиндрической части концевых цилиндрических фрез по своей конструкции в общем аналогичны зубьям цилиндрических фрез, а зубья на торцовой части — зубьям торцовых фрез.

Государственными стандартами предусмотрены концевые фрезы: с режущими кромками на цилиндрической и торцовой поверхностях (ГОСТ 8237-57); обдирочные с затылованным зубом и с коническим хвостовиком (ГОСТ 4675-59), оснащенные коронками и винтовыми пластинками из твердого сплава (ГОСТ 8720-58); шпоночные (ГОСТ 9140-59); шпоночные, оснащенные твердым сплавом (ГОСТ 6396-59); для пазов сегментных шпонок (ГОСТ 6648-59); для Т-образных станочных пазов (ГОСТ 7063-54).

На фиг. 47 изображены стандартные концевые фрезы с цилиндрическим и коническим хвостовиками, имеющие режущие кромки на цилиндрической и торцовой поверхностях. Они изготавливаются с нормальным и крупным зубом. В табл. 15 приведены основные размеры рассматриваемых фрез.

Фрезы с нормальными зубьями предназначаются для обработки стали различных марок. Фрезы с крупными зубьями, имеющие больший объем стружечных канавок, в основном, предназначаются для легко обрабатываемых металлов (алюминий, медь и другие цветные металлы и сплавы) при снятии толстой стружки. Зубья этих фрез обладают большей толщиной, что

Основные размеры в мм стандартных концевых фрез

С цилиндрическим хвостовиком						С коническим хвостовиком					
D	L	l	d	Число зубьев z		D	L	l	Конус Морзе	Число зубьев z	
				нормальных	крупных					нормальных	крупных
3	36	8	3			16	120	36	2	4	
4	40	10	4	4		20	145	44	3	5	3
5	45	12	5		3	25	150	50			
6	50	16	6			32	180	55	4		
8	55	20	8	5		40	190	65			
10	60	20	10								
12	70	25	12								
16	80	32	16	6	4						
20	100	45	20			50	195	70	4	6	4
							225		5		

обеспечивает большую их прочность и виброустойчивость, и большей высотой, благодаря которой возможно большее число переточек. Фрезы диаметром 3 и 4 мм изготавливаются без торцовых зубьев.

Концевые фрезы с крупными зубьями отличаются меньшим числом их и большим углом наклона стружечных канавок: для фрез с нормальными зубьями $\omega=30^\circ$, для фрез с крупными зубьями $\omega=45^\circ$.

Концевые фрезы изготавливаются с неравномерным окружным шагом зубьев. Для фрез диаметром меньше 14 мм допускается изготовление с равномерным окружным шагом зубьев, так как при работе на фрезерных станках средних размеров фрезами небольших размеров сильных вибраций не возникает. Но при работе на мелких фрезерных станках теми же фрезами стойкость последних понижается из-за сильных вибраций.

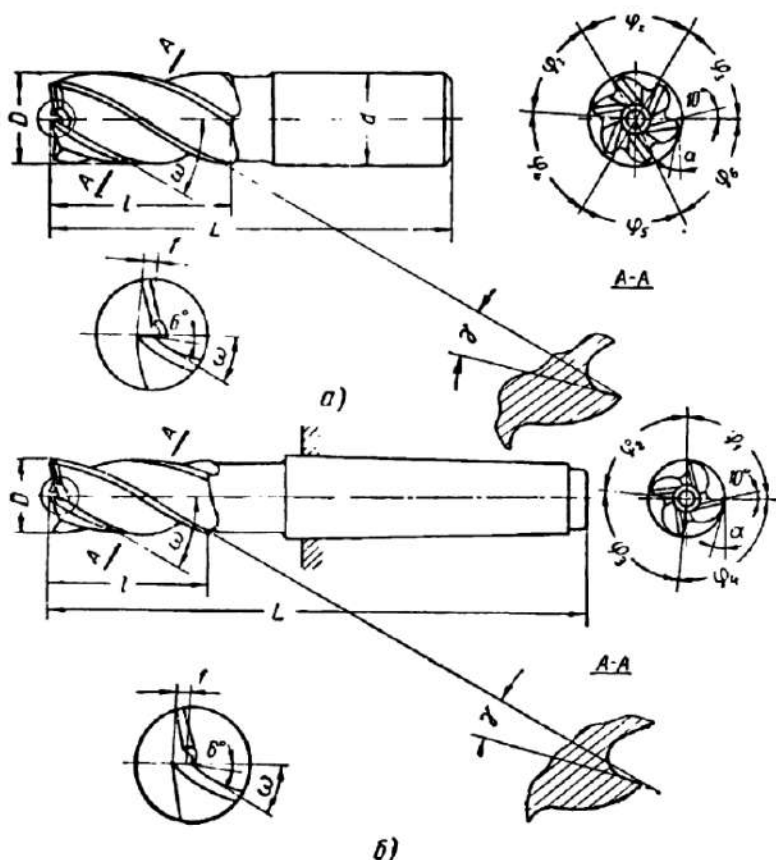
Для фрез, изготавливаемых в централизованном порядке, величины окружных шагов ϕ установлены в зависимости от числа зубьев фрезы (табл. 16).

Данные проведенных исследований показывают, что, например, при обработке уступов на стали марок 45 и X18H9T (1X18H9T) производительность фрез с неравномерным окружным шагом в большинстве случаев в 2—3 раза выше, чем при работе обычными фрезами. При одинаковом режиме резания вибрации фрез с неравномерным окружным шагом в 2 раза меньше.

Таблица 16

Окружной шаг зубьев стандартных концевых фрез
(в градусах)

Число зубьев z	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5	φ_6
3	110	123	127	—	—	—
4	90	85	90	95	—	—
5	68	72	76	68	76	—
6	57	63	57	63	57	63



Фиг. 47. Концевые фрезы:

а — с цилиндрическим хвостовиком, б — с коническим хвостовиком.

Фрезерование пазов в стали марки 45 показало, что производительность фрез с неравномерным окружным шагом выше производительности обычных фрез в 3—4 раза при снижении вибраций в 2—5 раз.

При выполнении тяжелых работ, например фрезеровании глубоких пазов, фрезы старой конструкции часто ломаются из-за плохого отвода стружки.

Фрезы новой конструкции в этих же условиях работают легко даже при повышенных режимах резания и допускают большее число переточек.

Углы режущей части принимаются следующие: передний угол в нормальном сечении к режущей кромке $\gamma = 15^\circ$; задний угол в плоскости, перпендикулярной к оси фрезы, $\alpha = 14^\circ$; передний угол на торцовом зубе $\gamma = 6^\circ$ образуется подточкой фаски f шириной от 1 до 2,5 мм в зависимости от диаметра фрезы.

При централизованном изготовлении фрезы выпускаются праворежущими.

Фрезы диаметром 10 мм и выше изготавливаются сварными: рабочая часть — из быстрорежущей стали, а хвостовик — из стали марки 45 или 50.

Радиальное биение режущих кромок зубьев относительно оси хвостовика не должно превышать 0,03 мм для двух смежных зубьев и 0,06 мм — для двух противоположных зубьев.

Торцовое биение режущих кромок не должно превышать 0,03 мм для фрез диаметром до 16 мм и 0,04 мм для фрез диаметром св. 16 мм.

Конусность цилиндрической рабочей части фрез не должна превышать 0,02 мм на всей длине рабочей части в ту или другую сторону.

Испытание фрез в работе должно производиться фрезерованием по стали марок 40 или Ст. 6 с режимами резания, указанными в табл. 17.

Суммарная длина фрезерования в зависимости от диаметра фрезы следующая:

Диаметры фрезы в мм	Длина фрезерования в мм
3—6	400
8—12	600
Св. 12	1000

В усовершенствование конструкций концевых фрез большой вклад сделан новаторами т.т. Карасевым В. Я., Леоновым И. Д. и др.

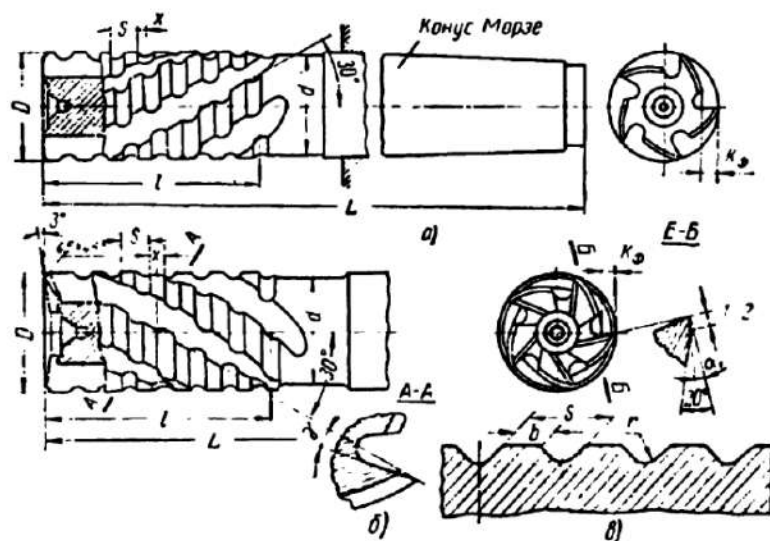
За счет увеличения угла наклона стружечных канавок и изменения их профиля, уменьшения количества зубьев и применения неравномерного окружного шага расположения их было достигнуто значительное снижение вибраций при одновременном увеличении подачи.

При разработке нового Государственного стандарта на концевые фрезы были учтены предложения и опыт работы упомянутых новаторов по созданию конструкций высокопроизводительных концевых фрез.

Режимы резания при испытании стандартных концевых фрез

Диаметр фрезы в мм	Подача на зуб в мм	Ширина фрезеро- вания в мм	Глубина фрезе- рования в мм	Скорость резания в м/мин. не менее
3—4	0,04	5	0,3	15
5—6	0,05	8	0,5	
8—14	0,06	10	1	
16—22	0,08	20	2	
25—28	0,1	25	4	20
32—50	0,14	30	6	

Примечание. Для фрез диаметром до 14 мм с равномерным окружным шагом зубьев подача на зуб должна быть уменьшена вдвое.



Фиг. 48. Концевые обдирочные фрезы:

а — без торцевых зубьев, б — с торцевыми зубьями, в — стружкоразделительные канавки.

На фиг. 48 изображены стандартные концевые обдирочные фрезы (ГОСТ 4675-59).

Кукурузные фрезы характеризуются наличием стружкоразделительных канавок и затылованными зубьями. Они предназначены для тяжелых обдирочных работ с большой глубиной фрезерования, когда проблема отвода стружки имеет решающее значение.

На фиг. 48, в показан профиль стружкоразделительных канавок. Выступы расположены в плоскостях, перпендикулярных оси фрезы, т. е. они представляют собой участки колец, перерезанных винтовыми канавками под углом 30°. Каждый выступ

смещен относительно соседнего на величину $x = -\frac{s}{z}$, где s — шаг винтовой линии (спирали) режущей кромки, а z — число зубьев фрезы.

Стружкоразделительные канавки выполняются с размерами: $s=6-15$ мм; $b=3-5$ мм; $r=1-2,5$ мм в зависимости от диаметра фрезы.

Кромка каждого выступа, лежащая на винтовой линии, снимает стружку шириной b .

Задняя поверхность зубьев затылована по архимедовой спирали. Затылование выполняется так, чтобы по боковым сторонам выступов были достаточные задние углы. С этой целью затылование производится перпендикулярно оси фрезы.

Основные размеры рассматриваемых фрез приведены в табл. 18.

Описываемый тип фрезы изготавливается в двух исполнениях: без торцовых зубьев (фиг. 48, а) и с торцовыми зубьями (фиг. 48, б).

Недостатком данной конструкции фрез является увеличение толщины стружки, снимаемой каждым выступом, из-за наличия впадин.

Этот недостаток может быть устранен путем значительного усложнения процесса изготовления.

Для кукурузных фрез, изготавливаемых в централизованном порядке: передний угол в сечении, перпендикулярном к режущей кромке, $\gamma=15^\circ$; задний угол в сечении, перпендикулярном оси фрезы, принимается в соответствии с величиной затылования K_ϕ , приведенной в табл. 18; задний угол на торцовых зубьях для фрез диаметром 25—32 мм $\alpha_1=6^\circ$, для фрез диаметром 40—80 мм $\alpha_1=8^\circ$.

Фрезы изготавливаются праворежущими.

Направление винтовых стружечных канавок: левое — для фрез без торцовых зубьев и правое — для фрез с торцовыми зубьями.

Фрезы изготавливаются сварными: режущая часть — из быстрорежущей стали, хвостовик — из стали марки 45 или 50.

Радиальное биение режущих кромок зубьев относительно оси хвостовика не должно превышать 0,04 мм для двух смежных зубьев и 0,07 мм для двух противоположных зубьев.

Торцовое биение режущих кромок не должно превышать 0,05 мм.

Конусность цилиндрической рабочей части фрез не должна превышать 0,08 мм на 100 мм длины.

Испытание фрез в работе производится фрезерованием по стали марки 40 или Ст. 6 с режимами, указанными в табл. 19.

Кроме стандартных концевых фрез с рабочей частью, изготовленной из быстрорежущей стали, применяются стандартные (ГОСТ 8720-58) концевые фрезы, оснащенные твердым

Таблица 18

Основные размеры в мм стандартных концевых обдирочных фрез
с затылованным зубом

D	L	l	d	Конус Може	Число зубьев z	K_{ϕ} на фрезе	Шаг стружко- разделитель- ной канавки s	x
25	150	50	23,5	3	5	4,3	6	1,2
	180	80						
32	180	55	29	4		5,3	8	1,6
	210	85						
	255	130	30,5			5,8	9	1,5
40	190	65			6			
	225	100						
	285	160				6,3	10	1,67
50	225	70	44	5				
	270	115						
	335	180			8	6,9		1,25
63	235	80						
	280	125						
	355	200						
80	300	90	60	6	10		15	1,5
	350	140						
	435	224						

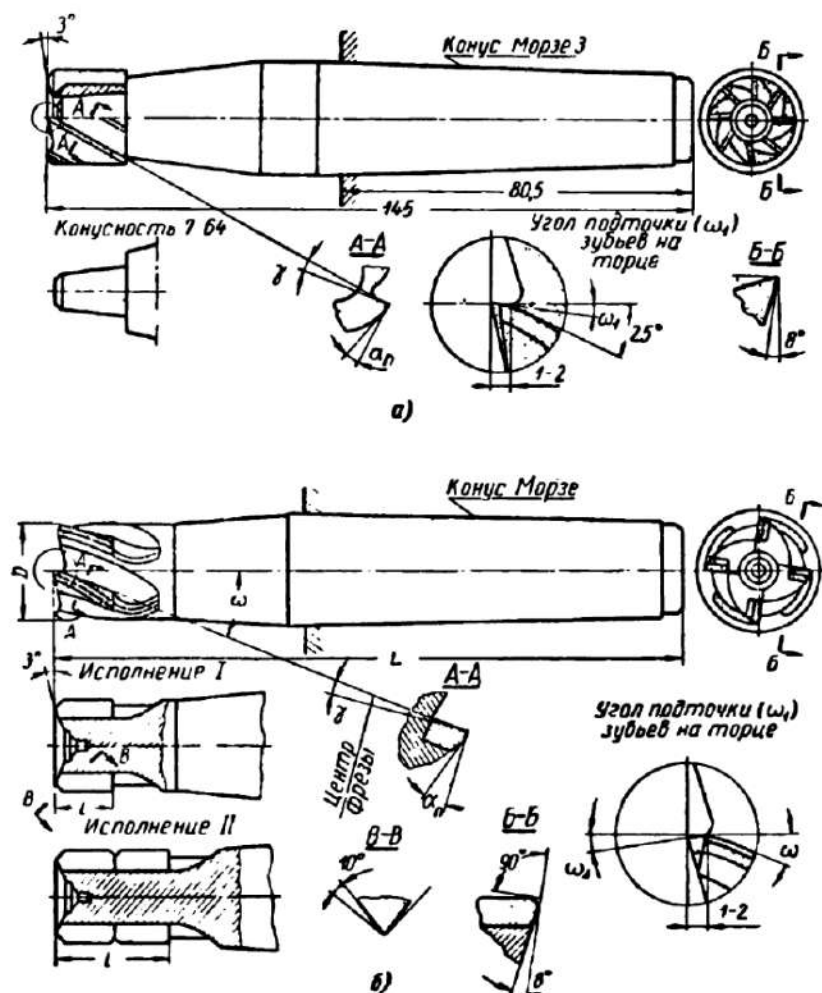
сплавом в виде коронок (фиг. 49, а) или винтовых пластинок (фиг. 49, б).

Фрезы с коронками выпускаются диаметрами 10, 12 и 16 мм с 6 зубьями и диаметром 20 мм с 8 зубьями.

Применение коронок, прессованных из твердого сплава, имеет большие преимущества. Из них основным является воз-

Режимы резания при испытании стандартных концевых обдирочных фрез
(кукурузных)

Диаметр фрезы в мм	Поддача на зуб в мм	Ширина фрезерования в мм	Глубина фрезерования в мм	Скорость резания в м/мин, не менее
До 32	0,1	25	4	20
Св. 32 до 63	0,14	30	6	30
Св. 63	0,2	50	8	



Фиг. 49. Концевые фрезы, оснащенные твердым сплавом:
а — с коронками, б — с винтовыми пластинками.

возможность применения твердых сплавов для фрез малых размеров с большим числом зубьев. Никким другим способом этого достигнуть нельзя.

Фрезы с винтовыми пластинками диаметром 16 мм изготовляются с 3 зубьями; диаметром 20, 25 и 32 мм — с 4 зубьями; диаметром 40 и 50 мм — с 6 зубьями.

Коронки и пластинки закрепляются припоем.

В централизованном порядке изготавливаются только праворежущие фрезы. Углы резания установлены следующие: для фрез с коронками $\gamma=0^\circ$; $\alpha_n=20^\circ$ и $\omega_1=5^\circ$; для фрез с винтовыми пластинками $\gamma=-5^\circ$; $\alpha_n=18^\circ$ и $\omega_1=5^\circ$.

Требования к точности изготовления концевых фрез, оснащенных твердым сплавом, несколько более строгие, чем для концевых фрез, не оснащенных твердым сплавом.

Испытание фрез, оснащенных твердым сплавом типа ТК, должно производиться по стали марок 45 или Ст. 6, а фрез, оснащенных сплавом типа ВК, по серому чугуна твердостью HB 180—220.

Режимы резания при испытаниях фрез должны соответствовать указанным в табл. 20 и 21.

Таблица 20

Режимы резания при испытании стандартных концевых фрез, оснащенных коронками из твердого сплава

Марка твердого сплава	Подача на зуб s_z в мм	Скорость резания v в м/мин
ВК6 и ВК8	0,06—0,1	40—50
Т5К10	0,03—0,06	60—100
Т15К6		80—140

Таблица 21

Режимы резания при испытании стандартных концевых фрез, оснащенных винтовыми пластинками из твердого сплава

Диаметры фрез D в мм	Подача на зуб s_z в мм	Скорость резания v в м/мин для фрез, оснащенных твердым сплавом, марки		
		Т15К6	Т5К10	ВК6 и ВК8
До 25	0,03—0,1	60—90	45—70	30—45
Св. 25	0,06—0,1	126—187	95—140	60—90

При испытании фрез, оснащенных винтовыми пластинками из твердого сплава, должны быть выполнены условия, указанные в табл. 22.

заточке торцовых зубьев размер цилиндрической части почти не изменяется.

Фрезерование паза шпоночной фрезой происходит в несколько проходов. Фреза делает проход в одну сторону, затем в обратную и так до тех пор, пока не будет образован паз требуемой глубины.

В целях упрочнения зубьев и увеличения места для стружки у шпоночных фрез делается только два зуба.

Стандартные шпоночные фрезы из быстрорежущей стали диаметром 2—20 мм выпускают с цилиндрическим хвостовиком при длине рабочей части 4—32 мм, а диаметром 16—40 мм с коническим хвостовиком — при длине рабочей части 25—63 мм.

При централизованном производстве стандартные шпоночные фрезы изготавливаются праворежущими с правой винтовой канавкой со следующими углами режущей части. В плоскости, нормальной к главной режущей кромке (на торцовом зубе): передний угол $\gamma=20^\circ$; задний угол α ; для фрез диаметром до 16 мм — 20° , а для фрез диаметром свыше 16 мм — 16° .

Задний угол вспомогательной режущей кромки (на цилиндрической поверхности) в плоскости, нормальной к оси фрезы, $\alpha=8^\circ$.

Угол наклона винтовых канавок $\omega=20^\circ$.

Фрезы диаметром свыше 10 мм изготавливаются сварными: рабочая часть из стали марки P18, а хвостовик из стали марки 45 или 50.

Биение цилиндрической поверхности рабочей части фрезы относительно оси фрезы, измененное у торца, не должно превышать 0,02 мм.

Биение торцовых кромок, измеренное на расстоянии радиуса фрезы от ее оси, не должно превышать 0,03 мм на фрезах диаметром до 18 мм и 0,04 мм на фрезах диаметром свыше 18 мм.

Стандартные шпоночные фрезы испытываются фрезерованием шпоночных пазов общей длиной 500 мм по стали марок 45 или Ст. 6 со скоростью резания не менее 15 м/мин.

Глубина паза должна быть 1—11 мм в зависимости от диаметра фрезы в пределах 2—40 мм.

Вертикальная подача при врезании на полную глубину паза в зависимости от диаметра фрезы в пределах 0,01—0,03 мм.

Продольная подача на один оборот фрезы принимается 0,02—0,06 мм в зависимости от диаметра фрезы.

На фиг. 50, б показана стандартная шпоночная фреза с напаянными пластинками твердого сплава. Одна из пластинок заходит за центр фрезы, а другая отстоит от него на некотором расстоянии.

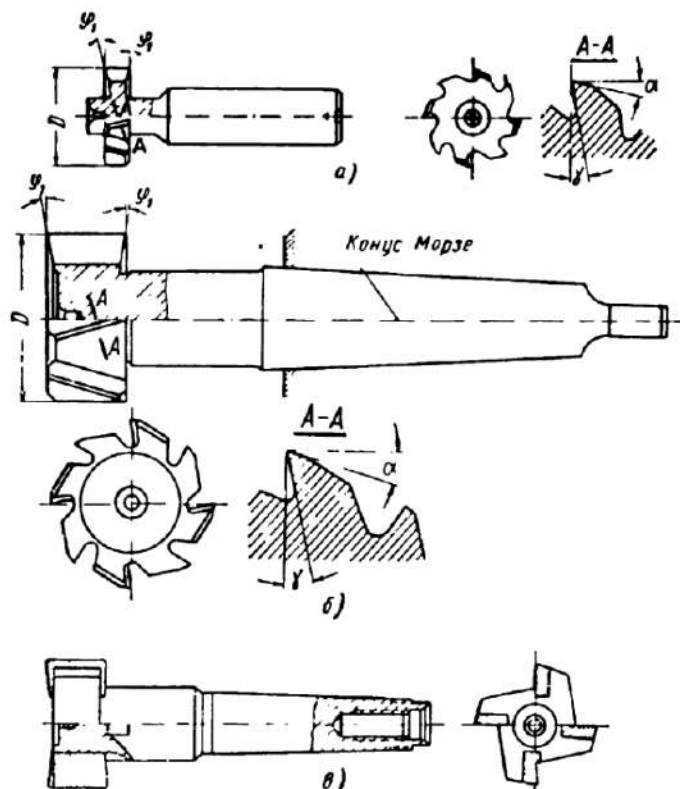
Такая конструкция упрощает изготовление и облегчает резание в самой трудной зоне, возле центра.

Фрезы с цилиндрическим хвостовиком выпускаются диаметрами 8—16 мм при длине рабочей части 12—20 мм, а с кониче-

ским хвостовиком диаметрами 12—40 мм при длине рабочей части 15—30 мм.

При изготовлении в централизованном порядке стандартные твердосплавные шпоночные фрезы выполняются праворежущими со следующими углами режущей части.

В плоскости, нормальной к режущей кромке (на торцевом зубе): передний угол $\gamma=0$; задний угол $\alpha_1=15^\circ$.



Фиг. 51. Фрезы для пазов сегментных шпонок и Т-образных пазов:
 а — для пазов сегментных шпонок, б — для Т-образных пазов, в — для Т-образных пазов, оснащенная твердым сплавом.

Задний угол вспомогательной режущей кромки (на цилиндрической поверхности) в плоскости, нормальной к оси фрезы. $\alpha=8^\circ$.

Требования к точности изготовления и условия испытания аналогичны фрезам из быстрорежущей стали с той лишь разницей, что в данном случае скорость резания должна быть 45 м/мин, а продольная подача на один оборот фрезы 0,06—0,08 мм в зависимости от диаметра фрезы.

На фиг. 51 показаны стандартные фрезы для пазов сегментных шпонок и Т-образных пазов. По конструкции рабочей части

они близки к дисковым пазовым фрезам. Фрезы указанных типов работают в тяжелых условиях и часто ломаются из-за вибраций, большого врезания и забивания стружкой, особенно, когда зубья прямые. Рекомендуется применять винтовые разнонаправленные зубья.

Стандартные фрезы для пазов сегментных шпонок (фиг. 51, а) выпускаются с прямыми зубьями диаметром в пределах 4,3—30,2 мм и с винтовыми зубьями диаметром 23,8—48,6 мм. Кроме того, Государственным стандартом предусмотрены насадные фрезы для пазов сегментных шпонок с винтовыми зубьями диаметром в пределах 55—80 мм.

Для фрез, изготавливаемых в централизованном порядке, установлены следующие углы режущей части.

Для фрез шириной до 3 мм передний угол $\gamma=5^\circ$; для фрез шириной свыше 3 мм $\gamma=10^\circ$.

Для фрез диаметром до 32 мм задний угол $\alpha=20^\circ$, а для фрез диаметром свыше 32 мм $\alpha=15^\circ$.

Вспомогательный угол в плане $\varphi_1=15-30^\circ$.

Стандартные фрезы для станочных Т-образных пазов (фиг. 51, б) выпускаются с винтовыми зубьями диаметром 17,5—93 мм.

Для фрез, изготавливаемых в централизованном порядке диаметром до 32 мм, задний угол $\alpha=20^\circ$, а диаметром свыше 32 мм $\alpha=15^\circ$; передний угол $\gamma=10^\circ$; вспомогательный угол в плане $\varphi_1=1^\circ30'-2^\circ$.

Так как фрезерование Т-образных пазов малопродуктивно, а иногда и невозможно из-за малой вместимости стружечных канавок, в последнее время внедрена в производство Т-образная фреза, оснащенная пластинками твердого сплава (фиг. 51, в).

Особенностью данной фрезы является малое число зубьев (3—4 для фрез диаметром 30—80 мм) благодаря чему повышается их прочность и увеличивается объем стружечных канавок.

По имеющимся данным стойкость такой фрезы в 8—10 раз выше быстрорежущей. Твердосплавная фреза использовалась при скорости резания 61 м/мин и подаче 120 мм/мин. При тех же условиях для быстрорежущей фрезы была установлена скорость резания 18,3 м/мин и подача 11,4 мм/мин.

ДИСКОВЫЕ ФРЕЗЫ

Дисковые фрезы предназначены для обработки пазов, уступов и боковых плоскостей, а также для разрезания. Государственными стандартами предусмотрены дисковые фрезы следующих типов: пазовые острозубые (ГОСТ 3964-59) и заточенные (ГОСТ 8543-57); трехсторонние цельные с параллельными (ГОСТ 3755-59) и разнонаправленными (ГОСТ 9474-60) зубьями; сборные со вставными ножами из быстрорежущей стали (ГОСТ 1669-59) и оснащенными твердым сплавом (ГОСТ

5348-60); двухсторонние сборные со вставными ножами, оснащенными твердым сплавом (ГОСТ 6469-60); отрезные и прорезные (ГОСТ 2679-61) и пилы круглые сегментные (ГОСТ 4047-52).

В производстве применяются двухсторонние дисковые фрезы цельные и со вставными ножами из быстрорежущей стали. Упомянутые фрезы не стандартизованы и изготавливаются по различным нормалам.

Пазовые дисковые фрезы служат для фрезерования неглубоких пазов. Трехсторонние дисковые фрезы применяются для фрезерования глубоких пазов, так как они более приспособлены для этой цели благодаря наличию зубьев на обоих торцах. Кроме того, трехсторонние фрезы применяются для обработки уступов и боковых плоскостей.

Основным элементом конструкции пазовых и трехсторонних фрез является их ширина. Точность выполнения размера ширины фрезеруемого паза зависит от точности изготовления фрезы по ее ширине.

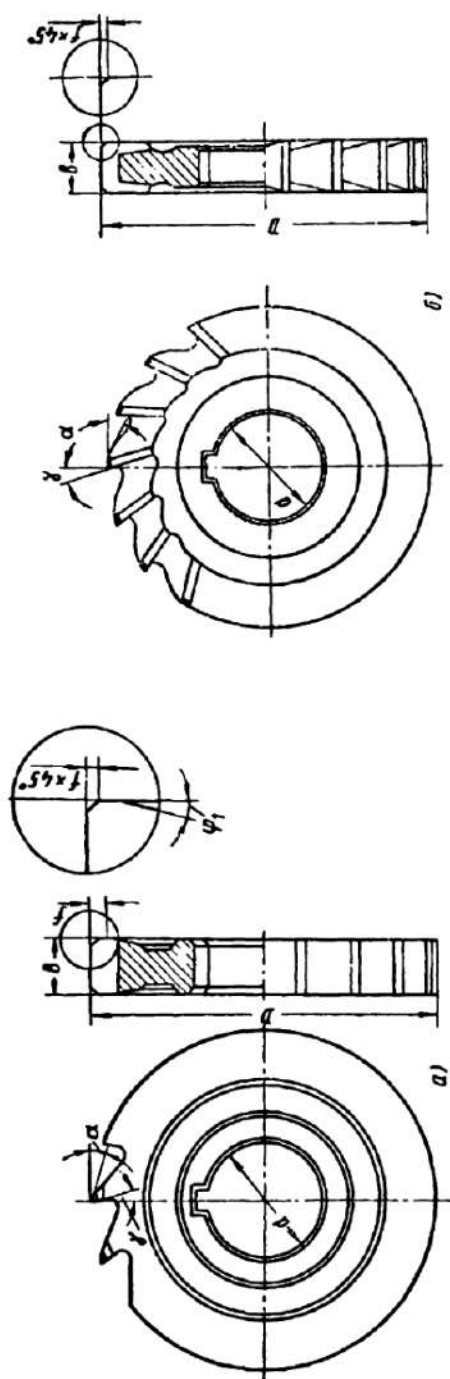
На фиг. 52 изображены стандартные цельные — пазовая остро-зубая (фиг. 52,а) и трехсторонняя (фиг. 52,б) фрезы.

В табл. 23 приведены их основные размеры.

Таблица 23

Основные размеры в мм стандартных пазовых остро-зубых и трехсторонних фрез

D	B пазовых фрез	B трехсторонних фрез	d	Число зубьев z
50	3	5	16	14
	4	5		
	5	6		
	6	6		
63	5	6	22	16
	6	8		
	8	10		
	—	12		
80	—	8	27	18
	8	10		
	10	12		
	12	14		
100	10	10	32	20
	12	12		
	14	14		
	16	16		

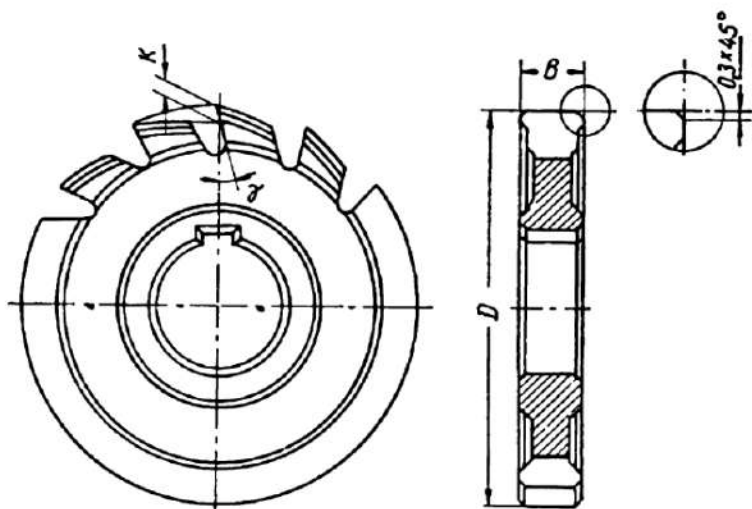


Фиг. 52. Дисковые фрезы:
 а — пазовая, б — трехсторонняя.

Для дисковых пазовых и трехсторонних фрез, изготавливаемых в централизованном порядке, передний угол $\gamma = 15^\circ$, задний угол $\alpha = 20^\circ$.

Для пазовых фрез вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 1-2^\circ$; для трехсторонних фрез вспомогательный задний угол по торцовой режущей кромке $\alpha_1 \geq 6^\circ$.

Величина f для фрез диаметром до 63 мм не более 0,2 мм, а для остальных — не более 0,3 мм.



Фиг. 53. Пазовая фреза с затылованными зубьями.

Для фрезерования пазов по 3а классу точности допускаемые отклонения ширины фрезы B должны быть в пределах:

B в мм	Допуск в мм
4—6	0,030
7—10	0,040
12—16	0,050

Допускаемое радиальное биение зубьев 0,04 мм относительно оси фрезы диаметром до 63 мм и 0,05 мм для фрезы диаметром св. 63 мм.

На фиг. 53 показана стандартная пазовая фреза с затылованными зубьями. Такие фрезы изготавливаются почти тех же размеров, что и острозубые с наружным диаметром 50—100 мм и шириной 4—16 мм, но с числом зубьев 12—16.

Для пазовых затылованных фрез передний угол $\gamma = 10^\circ$, а задний угол α принимается в соответствии с величиной затылования K , изменяющейся в пределах 2,5—4 мм.

Для фрезерования пазов по 3-му классу точности допускаемые отклонения ширины B должны быть в пределах:

B в мм	Допуск в мм
4—6	+0,015
7—10	+0,020
10—16	+0,025

Допускаемое радиальное биение зубьев 0,04 мм относительно фрезы диаметром до 62 мм и 0,05 мм для фрезы диаметром св. 62 мм.

Испытание стандартных цельных пазовых и трехсторонних фрез производится фрезерованием по стали марок 40 или Ст. 6 твердостью HV 160—190 с расходом охлаждающей смазывающей жидкости не менее 5 л/мин.

Применяемые при испытании режимы резания приведены в табл. 24. Общая длина фрезерования 1000 мм.

Таблица 24

Режимы резания, применяемые при испытании стандартных пазовых и трехсторонних фрез

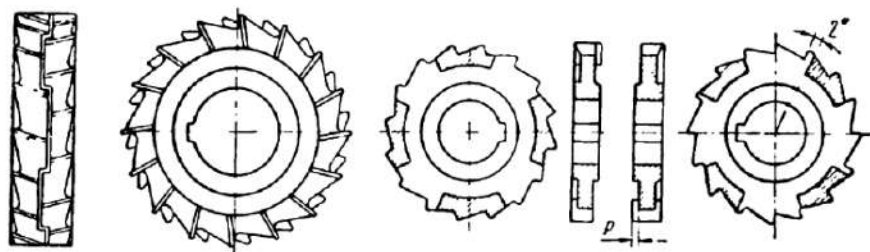
Диаметр фрезы в мм		Глубина фрезерования $t = 10$ мм			
		Подача на один зуб в мм		Скорость резания в м/мин	
I	II	I	II	I	II
50	50	0,06	0,06	32	32
63	62	0,06	0,06	35	35
80	80	0,08	0,08	39	30
100	100	0,08	0,10	40	28

Примечание. В колонках I приведены данные для пазовых остроугольных и трехсторонних фрез, а в колонках II—для пазовых затупленных фрез.

Находят применение нестандартные трехсторонние дисковые фрезы с разнонаправленными зубьями. Благодаря разным направлениям зубьев осевые силы взаимно уравниваются и фреза работает спокойнее. Кроме того, имеет значение то, что условия резания у торцовых зубьев гораздо менее благоприятны, чем у зубьев, расположенных на цилиндрической поверхности. Впадины между торцовыми зубьями имеют небольшую глубину, что не дает возможности получить необходимые задние и передние углы. У фрез с разнонаправленными зубьями часть торцовых зубьев получается с тупым углом резания и их срезают. Таким образом, на каждом торце остается только половина зубьев, т. е. в 2 раза меньше, чем на цилиндрической поверхности; благодаря этому фреза работает спокойнее и обеспечивает более высокую чистоту боковых поверхностей обрабатываемого паза.

По мере стачивания зубьев ширина пазовой фрезы из-за поднутрения уменьшается на незначительную величину, что отчасти компенсируется разбивкой паза при фрезеровании. Обычно пазовая фреза с уменьшенной шириной дает паз с размером ширины в пределах допуска (плюсового).

Хуже обстоит дело у трехсторонних фрез, быстро теряющих размер при переточке. С целью устранения указанного недостатка применяются регулируемые трехсторонние фрезы (фиг. 54). Они состоят из двух половин одинаковой толщины с зубьями переменного направления на цилиндрической поверхности и на одном из торцов. Между половинками фрезы закладывается



Фиг. 54. Регулируемая трехсторонняя фреза.

кольцо требуемой толщины и они соединяются посредством замка, состоящего из впадин и выступов высотой p . Обычно делают четыре выступа и четыре впадины. В месте стыка впадин и выступов дается зазор 2° , между половинками — зазор 0,5 мм. Зубья, расположенные на цилиндрической поверхности, перекрывают друг друга, чем обеспечивается отсутствие рисок на обрабатываемой поверхности. В остальном регулируемые трехсторонние фрезы не отличаются от обычных.

На фиг. 55 показана стандартная дисковая трехсторонняя фреза со вставными ножами из быстрорежущей стали. В табл. 25 приведены основные размеры указанных фрез.

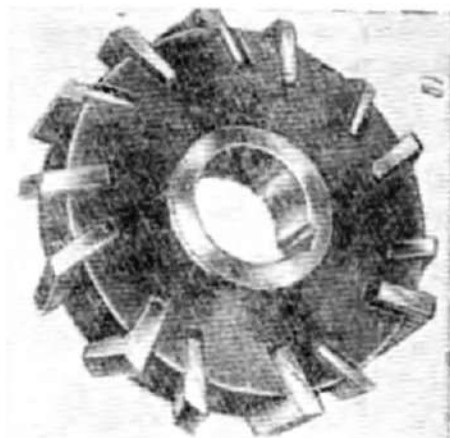
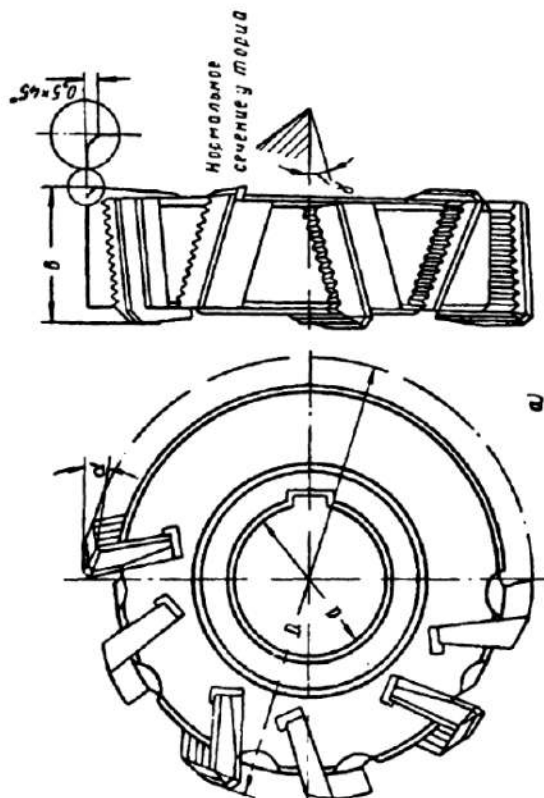
Ножи клиновидные рифленные, такие же как у торцовых фрез, запрессовываются непосредственно в пазы корпуса аналогично стандартным торцовым насадным фрезам.

Рифление в пазах корпуса нанесено радиально, что дает возможность переставлять ножи на одно рифление и компенсировать их износ по торцу, т. е. сохранять необходимую ширину фрезы.

После каждой перестановки ножей или замены изношенных ножей новым комплектом, фрезы шлифуются со стороны обоих торцов и затачиваются.

Фрезы изготавливаются с разнонаправленными зубьями.

Для фрез, изготавливаемых в централизованном порядке, принимаются следующие углы режущей части: передний угол $\gamma = 15^\circ$ и задний угол $\alpha = 12^\circ$.



Фиг. 55 Дискная трехсторонняя фреза со вставными ножами из быстрорежущей стали:
 а — конструкция, б — внешний вид.

Таблица 25

Основные размеры в мм стандартных трехсторонних фрез
со вставными ножами из быстрорежущей стали

<i>D</i>	<i>B</i>	<i>d</i>	Число зубьев <i>z</i>
80	12; 14; 16—25	27	12 10
100	14; 18 22; 28		12 10
125	12 16 20; 25 32	32	16 14 12 10
160	14 18; 22 28; 36	40	20 18 16
200	12 16; 20; 25 32 40	50	24 20 18 16
250	18 22 28 36; 45		26 24 24 20
315	20 25; 32 40 50		30 28 26 22

Точность изготовления фрез:

1) по наружному диаметру ± 2 мм; 2) по ширине 0,3 мм (в случае необходимости допуски по ширине принимаются более жесткие).

Радиальное биение главных режущих кромок относительно оси отверстия не должно превышать (в мм):

Диаметр фрезы	Биение двух смежных зубьев	Биение на всей фрезе
До 100	0,05	0,10
Св. 100 д 160	0,06	0,12
160	0,08	0,16

Разность расстояний вспомогательных режущих кромок от опорной торцовой плоскости (торцовое биение) не должна превышать (в мм):

Диаметр фрезы	Биение
До 100	0,04
Св. 100 до 160	0,05
« 160	0,05

Несимметричность расположения ножей в корпусе фрезы допускается в зависимости от разницы между шириной корпуса и шириной фрезы в сборе, но не более 1,4 мм при самой большой допускаемой разнице.

Испытание фрезы производится фрезерованием по стали чарки 40 или Ст. 6 твердостью *HV* 160—190, с расходом охлаждающе-смазывающей жидкости не менее 5 л/мин.

Глубина фрезерования должна быть 0,75 ширины для фрез шириной до 18 мм и 0,5 ширины для фрез шириной св. 18 мм.

Скорость резания 26—30 м/мин, подача на один зуб 0,08—0,1 мм, общая длина фрезерования 500 мм.

На фиг. 56 показаны стандартные дисковые фрезы со вставными ножами, оснащенными твердым сплавом: трехсторонняя (фиг. 56, а) и двухсторонняя (фиг. 56, б).

Двухсторонние фрезы применяются только для обработки плоскостей и уступов. В табл. 26 приведены основные размеры этих фрез.

Таблица 26

Основные размеры в мм стандартных трехсторонних и двухсторонних фрез, оснащенных твердым сплавом

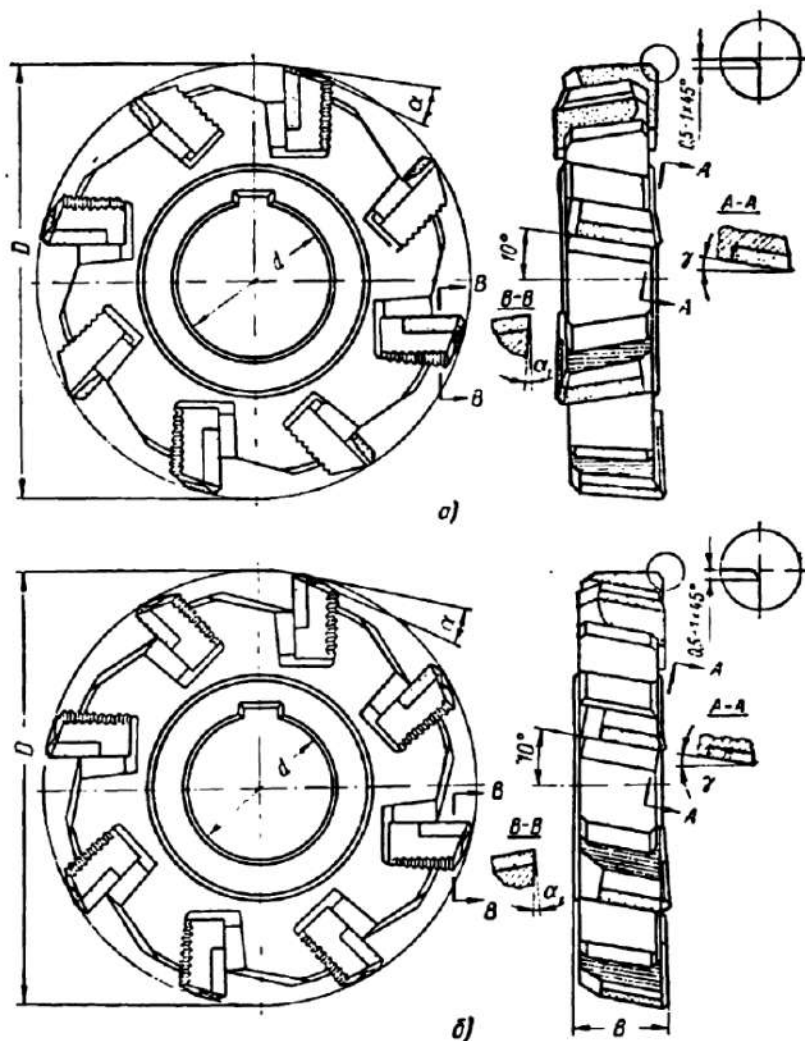
<i>D</i>	<i>B</i>		<i>d</i>	Число зубьев <i>z</i> наименьшее
	трехсторонних фрез	двухсторонних фрез		
100	14; 18; 22	18	32	8
125	12; 16; 20; 25	20	40	10
160	14; 18; 22; 28	22	50	12
200	12; 16; 20; 25; 32	25	60	14
250	14; 18; 22; 28; 36	28	60	18
315	16; 20; 25; 32; 40	32	60	20

Двухсторонние фрезы выпускаются праворежущими и леворежущими.

Закрепление рифленых ножей с припаянными к ним пластинками твердого сплава в корпусах двухсторонних фрез производится с помощью клиньев.

Для дисковых фрез с ножами, оснащенными твердым сплавом, выпускаемых в централизованном порядке, установлены следующие углы режущей части:

Фрезы	γ в град	α в град
Двухсторонние	5	15
Трехсторонние	5	15



Фиг. 56. Дисковые фрезы со вставными ножами, оснащенными твердым сплавом:
а — трехсторонняя, б — двухсторонняя.

На задних поверхностях главной и вспомогательной режущих кромок допускается ленточка вдоль кромки шириной не более 0,1 мм.

Точность изготовления фрез по наружному диаметру $\pm_{-1}^{+2}$ мм, по ширине: двухсторонних — удвоенный допуск по 9-му классу точности с симметричным расположением поля допуска, трехсторонних — $^{+0,3}_{+0,2}$ мм.

Радиальное биение зубьев по наружному диаметру фрезы, при проверке на оправке, не должно превышать (в мм):

	На фрезях диаметром	
	до 200 мм	св. 200
Для двух противоположных зубьев	0,05	0,10
Для двух смежных зубьев .	0,04	0,05

Торцовое биение режущих кромок торцовых зубьев на радиусе наружной окружности фрезы при проверке на оправке с буртом не должно превышать 0,05 мм на фрезях диаметром до 200 мм и 0,06 мм на фрезях диаметром свыше 200 мм.

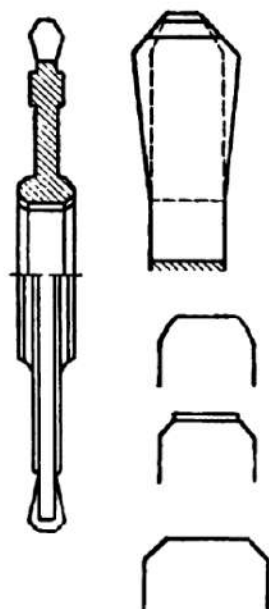
Несимметричность положения ножей в корпусе фрезы допускается в зависимости от разности между шириной корпуса и шириной фрезы в сборе, но не более 1 мм при самой большой допускаемой разнице (9 мм).

Испытание фрез, оснащенных твердым сплавом типа ВК, должно производиться фрезерованием серого чугуна твердостью HB 180—220, а оснащенных твердым сплавом типа ТК — фрезерованием стали марок 40 или Ст. 6 со следующими режимами резания: подача на один зуб фрезы, оснащенной сплавом типа ВК 0,12—0,15 мм, оснащенной сплавом типа ТК 0,08—0,10 мм.

Глубина фрезерования в зависимости от ширины фрезы принимается 0,75 размера ширины, если последняя менее 18 мм и 0,5 — если она более 18 мм.

Общая длина фрезерования 500 мм.

При обработке глубоких пазов и уступов за один проход на фрезерных станках небольшой мощности применяют ступенчатые дисковые фрезы. Режущими элементами таких фрез являются пластинки твердого сплава, отличающиеся по ширине, с режущими кромками на цилиндрической поверхности, расположенными на разных расстояниях от оси фрезы (фиг. 57). Пластинки напаяны на зубья фрезы.

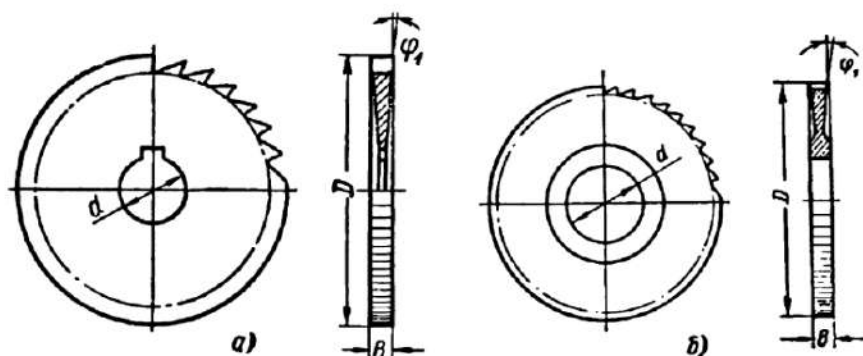


Фиг. 57. Дисковая ступенчатая фреза.

Таким образом, при вращении фрезы первая пластинка прорезает паз меньшей ширины и глубины, оставляя часть работы второй и третьей пластинкам; причем на одной части окружности фрезы чередуются только первая и вторая пластинки, а на другой части — первая, вторая и третья пластинки. Третья пластинка является зачистной.

Благодаря ступенчатости фрезы при заданных размерах паза возникает меньшая сила резания и соответственно требуется станок меньшей мощности (снимаемый слой металла распределяется на 2—3 зуба вместо одного).

На фиг. 58 изображены стандартные отрезные и прорезные фрезы.



Фиг. 58. Отрезные и прорезные фрезы:

а — отрезная фреза (круглая пила), б — прорезная фреза (шлицевая).

При централизованном производстве эти фрезы изготавливаются без центрирующего утолщения (фиг. 58, а), но по соглашению с потребителем их делают и с утолщением (фиг. 58, б). Основное различие между отрезными фрезами (круглые пилы) и прорезными фрезами (шлицевые) заключается в величине зубьев: отрезные фрезы выполняются с более крупными зубьями.

Резка металла (особенно при большой его толщине) сопровождается образованием стружки, удаление которой обычно затруднено, поэтому и приходится предусматривать большие места между зубьями, для чего они делаются более крупными. При прорезке шлиц удаление стружки не представляет собой трудной задачи и можно ограничиться более мелкими зубьями. Прорезные фрезы выполняются меньших диаметров, чем отрезные, без всякой потери на производительности фрезерования.

В табл. 27 приведены предельные значения основных размеров и геометрические параметры зубьев стандартных отрезных и прорезных фрез.

Для обработки стали и чугуна применяются фрезы с большим числом зубьев, чем для обработки алюминия и легких сплавов. Наибольшее число зубьев (до 140) имеют фрезы типа I. Наименьшее число зубьев (от 16) — у фрез типа III.

Таблица 27

Предельные значения основных размеров и геометрические параметры зубьев стандартных отрезных и прорезных фрез

Тип	Величина зубьев	D в мм	d в мм	B в мм	γ в град	α в град	φ_1 в град
I	Мелкие	32—250	8—32	0,2—5,0	0—10	—	
II	Средние (нормальные)	50—250	13—32	0,5—5,0	0—10	—	5'—1°
III	Крупные	50—250	13—32	1,0—5,0	5—10	20	

Прорезные фрезы с мелкими зубьями служат для прорезания неглубоких шлицев, разрезки тонких изделий и тонкостенных трубок, а с несколько более крупными зубьями — для прорезания глубоких пазов (неточных по ширине).

Предельные отклонения ширины фрез следующие: для отрезных фрез шириной до 3 мм $\pm 0,08$ мм, шириной свыше 3 мм $\pm 0,1$ мм; для прорезных фрез шириной до 0,5 мм $+0,04$ мм, шириной 0,5—1 мм $+0,07$ мм, шириной 1—3 мм $+0,09$ мм, шириной свыше 3 мм $+0,12$ мм.

Радиальное биение режущих кромок зубьев относительно оси отверстия фрезы не должно превышать величин, указанных в табл. 28.

Таблица 28

Чем больше диаметр фрезы, тем допускается большее торцовое биение; чем фреза шире, при том же диаметре, допускаемая величина биения меньше.

Допускаемые величины радиального биения отрезных и прорезных фрез

Размеры в мм

Диаметр фрезы	Допускаемое биение двух зубьев	
	смежных	противоположных
32—40	0,05	0,08
50—125	0,06	0,10
160—250	0,08	0,12

Требования к прорезным фрезам общего назначения выше чем к отрезным фрезам, но ниже чем к фрезам повышенной точности тех же размеров. В общем, допускаемые величины торцового биения колеблются в пределах 0,04—0,28 мм.

Испытание в работе отрезных и прорезных фрез производится по стали марок 40, 45 или Ст. 6 твердостью *HV* 160—190.

Расход охлаждающе-смазывающей жидкости должен быть не менее 5 л/мин.

В табл. 29 сведены предельные значения элементов режимов резания, при которых должны вестись испытания.

Для прорезания узких и глубоких пазов фрезеровщик-новатор ленинградского Кировского завода И. Д. Леонов предложил

Режимы резания, применяемые при испытании стандартных отрезных и прорезных фрез с нормальным зубом

Диаметр фрезы в мм	Ширина фрезы в мм	Число зубьев фрезы z	Глубина фрезерования в мм	Подача на 1 зуб фрезы в мм	Скорость резания в м/мин	Суммарная длина фрезерования в мм
50	0,5—3,0	50—32	4	0,004—0,008	80—65	250
63	0,5—3,0	56—36	6	0,005—0,015	60—40	250
80	1,0—4,0	56—40	8	0,003—0,020	80—40	250
100	1,0—4,0	63—45	16	0,005—0,010	70—50	250
125	1,6—4,0	63—50	22	0,010	50	600
160	1,6—4,0	71—56	25	0,015	45—50	600
200	2,0—5,0	71—56	30	0,015	45—50	600
250	2,5—5,0	80—63	40	0,015	45	600

Примечание. Пределы, указанные в таблице в виде крайних значений например, ширина фрез 2—5 мм и скорость резания 45—50 м/мин, следует понимать так, что ширине 2 мм соответствует скорость резания 45 м/мин, а ширине 4 мм — 50 м/мин.

применить трехстороннюю дисковую фрезу своей конструкции. Зубья на торцах фрезы облегчают резание металла и служат для отвода стружки, что при фрезеровании глубоких и узких пазов имеет большое значение.

Фреза оснащена пластинками твердого сплава, припаянными к корпусу фрезы.

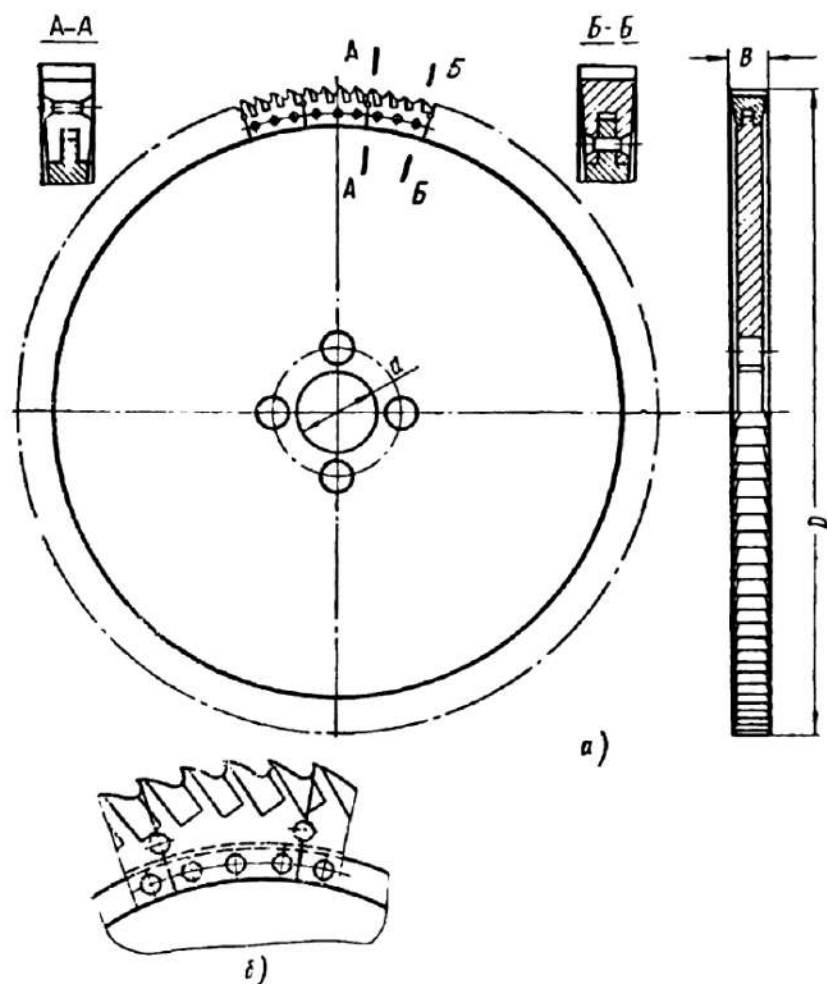
Для повышения прочности зубьев передний угол γ принят -14° . Зубья расположены с наклоном режущих кромок к оси фрезы под углом $\omega=5^\circ$, причем зубья наклонены через один в разные стороны.

Применение данной фрезы дало значительный рост производительности за счет повышения режимов резания. Так например, при разрезании цилиндров, изготовленных из стали марки 5ХНМ, диаметром 100—300 мм и высотой до 200 мм на Кировском заводе применялись фрезы из быстрорежущей стали, работавшие с подачей 5 мм/мин и скоростью резания 60 м/мин. За один проход прорезался паз глубиной 15 мм. Применение фрез, предложенных И. Д. Леоновым, позволило увеличить подачу до 70 мм/мин, а скорость резания до 390 м/мин. При этом за один проход прорезался паз глубиной до 100 мм. Стойкость фрезы при работе на данном режиме оказалась около 4 ч.

Большое распространение для разрезки сплошного металла больших размеров по сечению, а также различных профилей (балки, трубы и т. п.) получили круглые сегментные пилы (фиг. 59).

Государственным стандартом (ГОСТ 4047-52) предусмотрены круглые сегментные пилы диаметрами 275, 350, 510, 710, 1010, 1430 и 2000 мм, толщиной соответственно от 5 до 14,5 мм, с числом сегментов от 14 до 44.

Сегменты своими пазами насаживаются на кольцевую выточку диска и скрепляются с диском и друг с другом заклепками (разрезы *АА* и *ББ*). На каждом сегменте имеется 4; 6 или 8 зубьев. Меньшее число зубьев применяется для разрезки



Фиг. 59. Круглая сегментная пила:
а — конструкция пилы, б — сегмент.

сплошного металла большого сечения. Для меньших сечений сплошного металла и различных профилей применяются сегменты с 6 и 8 зубьями.

Для уменьшения трения сегменты выполняются с толщиной, уменьшающейся от периферии к центру. Допуск на толщину
 $\begin{matrix} +0.1 \\ -0.2 \end{matrix}$ мм.

Выпускаются также незаточенные запасные сегменты с припуском не менее 0,5 мм.

Радиальное биение пилы для диаметров 275—2000 мм должно быть соответственно в пределах 0,2—0,8 мм. Торцовое биение для тех же диаметров 0,3—2,3 мм.

Диски пил изготавливаются из стали марок 50Г или 65Г с твердостью *HB* 228—321.

Сегменты изготавливаются из быстрорежущей стали марки Р18 или, по соглашению с заказчиком, марки Р9. Твердость рабочей части сегментов *HRC* 62—65, т. е. как у обычных фрез, а нерабочей части — не более *HRC* 45.

Заклепки должны изготавливаться из стали марок 08, 10 или 15.

Испытание пил в работе производится по стали марки 40 или Ст. 6 твердостью *HB* 160—190 с охлаждающей жидкостью (расход не менее 30 л/мин).

Режимы испытаний установлены следующие.

Для пил диаметрами 275—2000 мм диаметры разрезаемого металла соответственно должны быть 50—175 мм.

Подача на зуб принимается в зависимости от шага зубьев пилы, а именно:

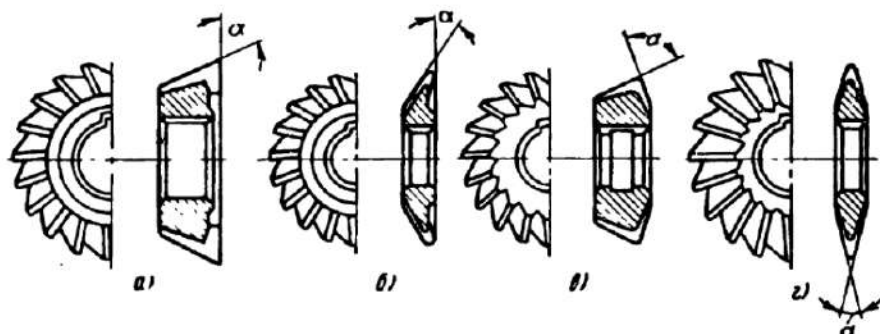
Шаг зубьев в мм	Подача на зуб в мм	Шаг зубьев в мм	Подача на зуб в мм
7,5—10,5	0,05—0,06	17,5—19,5	0,10—0,12
10,5—13,5	0,06—0,08	20,5—24	0,12—0,15
13,5—16	0,08—0,10	26,5—35,5	0,15—0,18

Сумма диаметров разрезаемого металла не менее 500 мм.

УГЛОВЫЕ ФРЕЗЫ

Угловые фрезы (фиг. 60) применяются, в основном, для фрезерования стружечных канавок инструментов.

Одноугловые фрезы (фиг. 60, а) выполняются с углом конуса



Фиг. 60. Угловые фрезы:

а и б — одноугловые, в — двухугловые несимметричные, г — двухугловые симметричные.

α в пределах $55-90^\circ$ через каждые 5° . Они служат для фрезерования прямых канавок. Для фрезерования канавок у затылованных фрез с прямыми зубьями применяются одноугловые фрезы с углами конуса α , равными 18, 22, 25 и 30° (фиг. 60, б).

Для фрезерования винтовых канавок у затылованных фрез используются симметричные двухугловые фрезы с теми же углами α (фиг. 60, г).

Двухугловые фрезы (фиг. 60, в) имеют общий угол в пределах $55-100^\circ$ через каждые 5° , причем меньший угол принимается в пределах $15-25^\circ$ в зависимости от величины общего угла. Несимметричные двухугловые фрезы применяются для фрезерования прямых и винтовых канавок.

Угловые фрезы малых диаметров выполняются с цилиндрическим или коническим хвостовиком.

Государственный стандарт на угловые фрезы не разработан. В инструментальном производстве находят применение фрезы одноугловые диаметрами 35, 45 и 60, несимметричные двухугловые диаметрами 35, 45, 60, 76, 90, одно- и двухугловые симметричные для канавок затылованных фрез диаметрами 60, 75, 90 мм.

ФАСОННЫЕ ФРЕЗЫ

Фасонные фрезы применяются для образования фасонных поверхностей. Чем длиннее поверхность, имеющая в сечении фасонный профиль, тем выгоднее изготовление специальных фасонных фрез для ее обработки.

Некоторые часто встречающиеся поверхности фасонного профиля выполняются не специальными, а стандартными фасонными фрезами. К таким можно, например, отнести полукруглые выпуклые и вогнутые фрезы (ГОСТ 9305-59).

Имеют большое распространение также нормализованные фрезы с профилем, соответствующим профилю канавок режущего инструмента: сверл, зенкеров, разверток, метчиков, фрез.

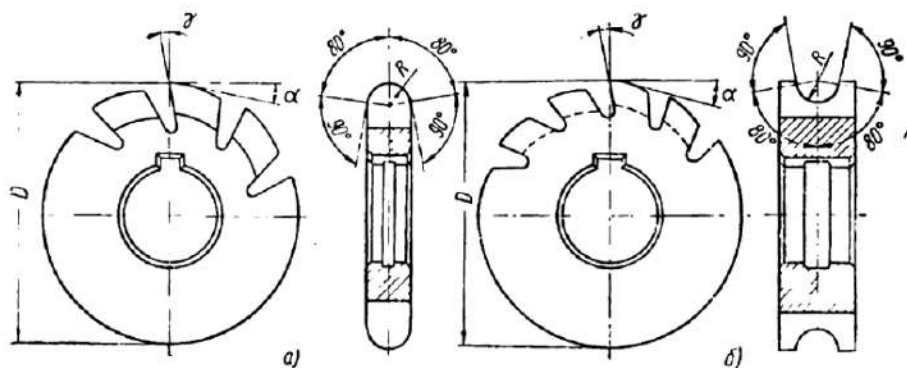
Несмотря на то, что изготовление фасонных фрез обходится дорого, затраты окупаются, так как благодаря их применению сокращается количество операций фрезерования и нет необходимости в рабочих высокой квалификации. Взаимное расположение элементов профиля поверхности определяется правильностью изготовления фасонной фрезы, а не умением рабочего наладить работу при переходе от обработки одной части профиля к другой. Это относится и к наиболее сложным и точным фасонным поверхностям. Следует иметь в виду, что во многих случаях образование требуемого профиля возможно только одним способом — фасонной фрезой.

Фасонные фрезы применяются затылованные и остроконечные.

Затылованные фасонные фрезы применяются главным образом в серийном производстве, так как затылование на специально предназначенных для этой цели станках не представляет за-

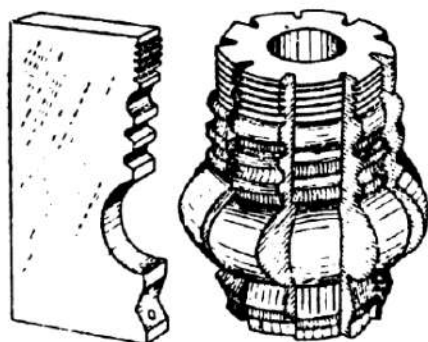
труднений так же, как и заточка на универсально-заточных станках.

Но в крупносерийном и массовом производствах все большее распространение находят остроконечные фрезы, заточенные по задней поверхности. Фрезы такой конструкции лишены недо-

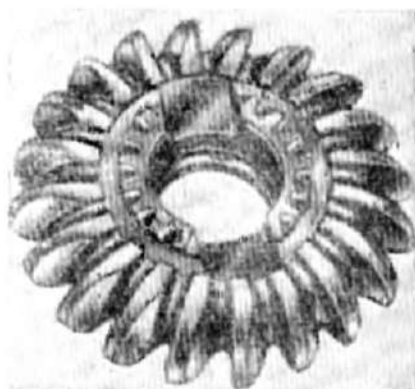


Фиг. 61. Затылованные полукруглые фасонные фрезы:
а — выпуклые, б — вогнутые.

статков фрез с затылованными зубьями, а повышенные расходы на оснастку окупаются благодаря большому количеству обрабатываемых деталей.



Фиг. 62. Фасонная фреза для сложного профиля.



Фиг. 63. Острозаточенная фасонная фреза.

На фиг. 61 изображены стандартные полукруглые выпуклые и вогнутые фасонные фрезы, применяемые для фрезерования полукруглых канавок и выступов с радиусами от 1,5 до 16 мм. Фрезы затылованы.

Полукруглый профиль обеспечивается в пределах 160° , т. е. несколько меньше полуокружности по соображениям облегчения резания боками профиля фрезы.

Описываемые фрезы выпускаются в централизованном порядке диаметрами 50—125 мм и с числом зубьев соответственно 14—10.

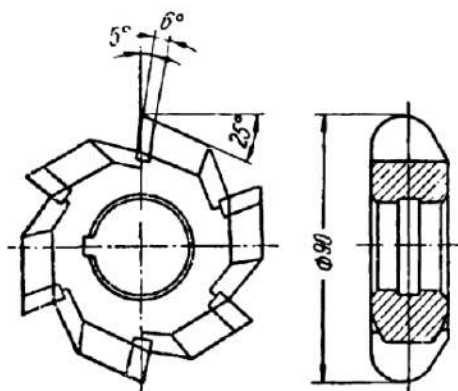
Передний угол γ и задний угол α рекомендуется принимать 10° .

На фиг. 62 показан пример фасонной фрезы сложного профиля и соответствующая обработанная поверхность.

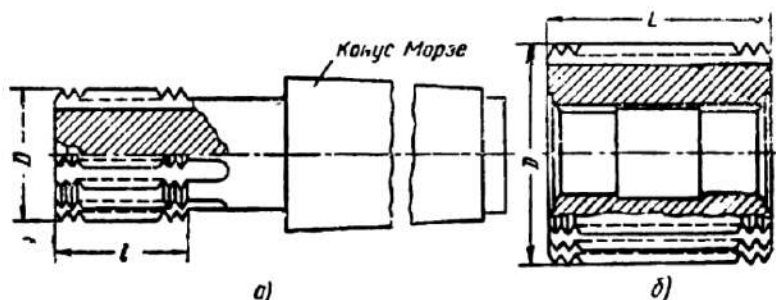
Внешний вид острогатованной фасонной фрезы, заглаживаемой по задней поверхности, представлен на фиг. 63.

Значительное количество фасонных фрез находит применение для фрезерования канавок режущего инструмента. На фиг. 64 показана фреза для фрезерования канавок метчиков с зубьями, напаянными пластинками из твердого сплава или пластинками из быстрорежущей стали.

Оснащение фасонных фрез пластинками твердых сплавов, напаяемых или закрепляемых механическими способами, имеет ограниченное применение из-за сложности изготовления и затачивания.



Фиг. 64. Фреза для фрезерования канавок метчиков.



Фиг. 65. Гребенчатые фрезы для нарезания остроугельных резьб:

а — концевая, б — насадная.

На фиг. 65 представлены стандартные резьбовые гребенчатые фрезы (ГОСТ 1336-62), предназначенные для нарезания метрических резьб по ГОСТу 9150-59. Концевые фрезы изготавливаются сварными, с коническим хвостовиком. Насадные фрезы изготавливаются в разных исполнениях — с выточками у обоих торцов (фиг. 65, б). с выточкой у одного торца и без выточек.

Существуют два метода фрезерования резьб: дисковой фрезой и гребенчатой цилиндрической фрезой. В том и другом случае зубья фрезы имеют профиль, соответствующий профилю нарезаемой резьбы. Для сохранения профиля при переточках зубья затылованы. При работе дисковой фрезой заготовка имеет вращательное и поступательное движение, а фреза — только вращательное движение. При работе гребенчатой фрезой поступательное движение в зависимости от конструкции станка может иметь либо заготовка, либо фреза.

Гребенчатые фрезы, в основном, применяются для нарезания остроугольной резьбы, а дисковые для нарезания трапецидальной резьбы и червяков, так как остроугольную резьбу выгодней нарезать гребенчатой фрезой, представляющей собой как бы набор дисковых фрез.

Дисковые резьбовые фрезы применяются большей частью для нарезания резьб с крупным шагом, многоходовых, имеющих большую длину. Гребенчатые фрезы применяются главным образом для нарезания коротких резьб, так как ими резьба нарезается сразу по всей длине.

Гребенчатыми фрезами можно нарезать наружную и внутреннюю резьбу, а дисковыми только наружную.

Резьбовые фрезы изготавливаются праворежущими и леворежущими, с прямыми или винтовыми канавками.

При использовании фрез с винтовыми канавками уменьшаются вибрации, так как врезание и выход зубьев происходит постепенно, а не толчками, как у фрез с прямыми зубьями. Однако следует иметь в виду, что винтовые канавки усложняют изготовление и не обеспечивают одинаковых условий резания для всех кромок. В связи с указанными недостатками углы подчема канавок не должны превышать 7° (ГОСТ 1336-62).

Стандартные концевые гребенчатые фрезы изготавливаются диаметрами $D=10-32$ мм при длине рабочей части $l=10-50$ мм, а насадные $D=32-100$ мм при $L=16-100$ мм.

Передний угол γ рекомендуется принимать, в зависимости от обрабатываемого материала, $0,5$ или 10° .

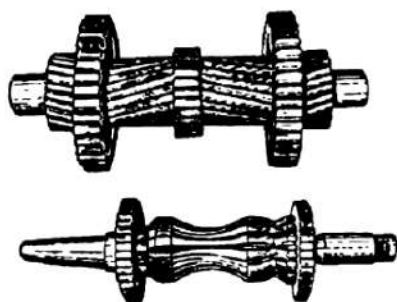
Фрезерование резьбы гребенчатой фрезой в несколько раз производительней чем нарезание резцом, так как фреза захватывает одновременно большую ширину и для образования резьбы требуется только $1\frac{1}{4}$ оборота заготовки. Резьба оформляется сразу на полный профиль и нет необходимости в обратных ходах.

НАБОРЫ ФРЕЗ

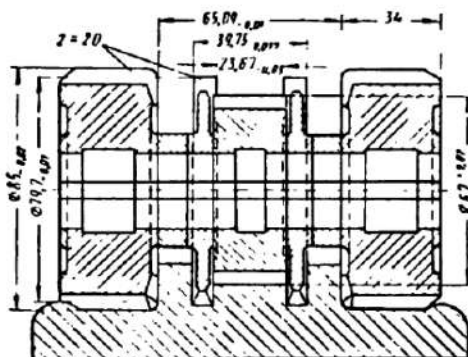
Во многих случаях бывает целесообразно применение наборных фрез, состоящих из нескольких одинаковых или различных фрез, посаженных на общую оправку.

Наборные фрезы обычно используются при обработке одновременно нескольких поверхностей, принадлежащих одной или нескольким деталям.

На фиг. 66 показан внешний вид набора фрез для обработки ступенчатой и фасонной поверхностей, а на фиг. 67 — набор из пяти фрез, обрабатывающих одновременно пазы, уступы (с боков) и площадки (в центре) одной детали.



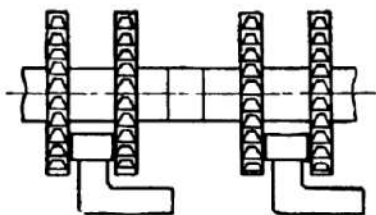
Фиг. 66. Наборы фрез для обработки ступенчатой и фасонной поверхностей.



Фиг. 67. Набор фрез для обработки пазов, уступов (сбоку) и площадки.

На фиг. 68 показан набор из четырех фрез для обработки двух пар торцовых поверхностей, принадлежащих двум деталям.

Применение наборов фрез сокращает время обработки и повышает производительность труда. Одновременность выполнения нескольких операций или переходов дает снижение машинного вспомогательного и подготовительно-заключительного времени. При этом точность обработки также возрастает, так как исключаются многие отклонения во взаимном расположении поверхностей, имеющие место при обработке каждой поверхности в отдельности. Степень использования станков при работе наборами фрез повышается.



Фиг. 68. Наборы фрез для обработки двух торцовых деталей.

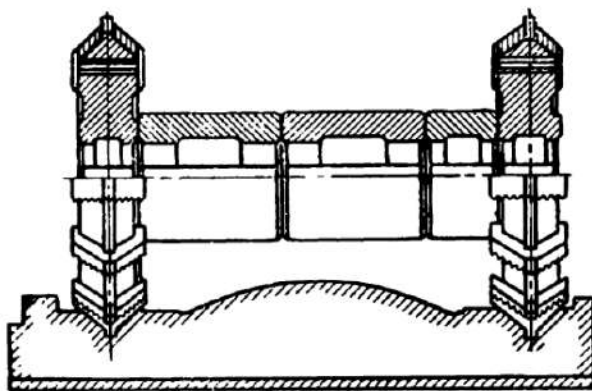
Необходимо отметить, что указанные положительные стороны применения наборов фрез могут быть получены при использовании рабочих более низкой квалификации, чем при работе обычным способом.

Применение наборов фрез вызывает некоторое увеличение затрат на комплектование набора и затачивание, так как необходимо выдерживать размеры фрез набора такими, чтобы обеспечивались размеры обрабатываемой заготовки, заданные чертежом (см. фиг. 67).

Допуски на размерах диаметров фрез, входящих в набор, проставлены для обеспечения правильной глубины пазов и высоты центральной площадки.

Взаиморасположение фрез по ширине обработки определяется остальными размерами.

При наличии в наборе фрез различных диаметров скорость резания устанавливается по наибольшей фрезе, следовательно, остальные фрезы, входящие в набор, работают с меньшими, чем полагается, скоростями резания.



Фиг. 69. Набор угловых фрез для обработки салазок суппорта

Набор фрез не обязательно должен быть сплошным. На фиг. 69 показан набор угловых фрез для обработки пазов салазок суппорта, где поверхности между пазами не обрабатываются, а между фрезами поставлены кольца.

Для закрепления набора фрез на оправке, установки требуемых размеров расстояний между фрезами, компенсации неточности изготовления фрез по ширине и изменения их размеров после переточек применяются кольца.

Изготовление точных по длине колец представляет известные трудности. Поэтому в тех случаях, когда необходимо применение точных колец, их заменяют набором тонких компенсационных колец.

Компенсационные кольца изготавливаются из целлофана толщиной 0,01—0,02 мм или из калиброванной листовой стали при толщине более 0,02 мм. Толщина колец находится в пределах 0,01—0,9 мм.

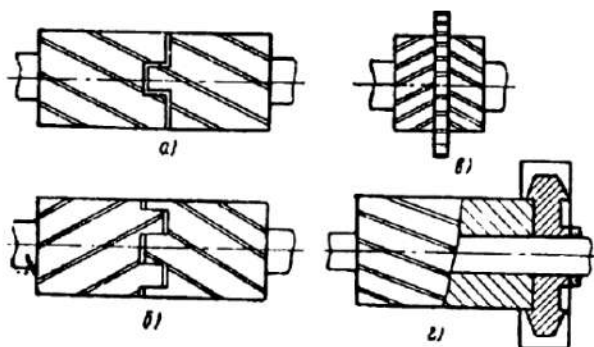
Наборы для обработки прерывистого профиля комплектуются из нормальных фрез без особой подготовки.

Наборы для обработки сплошного профиля комплектуются из фрез, специально предназначенных для работы в наборах. Необходимо предусматривать перекрытие зубьев двух соседних фрез во избежание образования заусенцев и рисок в месте их

стыкования. Требуется также восстановление после заточки взаимосвязанных размеров зубьев, образующих режущий профиль.

Фрезы одинаковых диаметров соединяются с помощью замка (фиг. 70, а), где выступ на торце одной фрезы входит в паз другой, или несколько выступов (фиг. 70, б), соответственно соединяются между собой. На каждой фрезе 3—4 таких сектора.

Несколько сложнее соединение фрез с помощью режущих зубьев, выступающих на одном торце фрезы и входящих в соответствующие впадины другой. При наличии вставных зубьев пе-



Фиг. 70. Способы соединения наборов фрез.

рекрытие образуется аналогично предыдущему: выступающие вставные зубья одной фрезы входят в промежутки между зубьями другой.

Если фрезы, входящие в набор, имеют разные диаметры, то соединение их осуществляется одним из изложенных ниже способов.

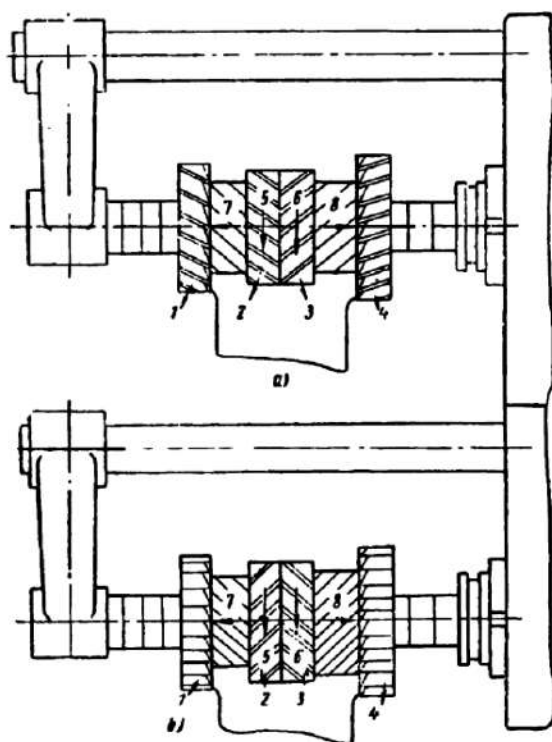
При наличии в наборе узкой фрезы большого диаметра, расположенной между фрезами меньшего диаметра (фиг. 70, в), для перекрытия зубьев используется поднутрение на боковых поверхностях фрезы большого диаметра. Делают также специальные выточки на боковой поверхности фрезы большого диаметра (фиг. 70, г) и перекрытие обеспечивается аналогично предыдущему случаю.

При применении в наборах двухсторонних и трехсторонних фрез в выточках помещают установочные компенсационные кольца для восстановления осевых (т. е. вдоль оси оправки) размеров набора фрез, изменившихся в результате переточек.

При конструировании наборов фрез необходимо избегать большой разницы в диаметрах фрез одного набора. Рекомендуется, чтобы соотношение диаметров наибольшей и наименьшей фрез набора не превосходило 1,5.

В целях уменьшения сил резания и вибраций, а также, когда требуется большая точность и высокая степень чистоты обра-

батываемых поверхностей, прибегают к разделению обработки на черновую и чистовую. Кроме того, не следует увлекаться слишком большой шириной фрезерования, так как это может служить причиной возникновения вибраций.



Фиг. 71. Направления осевых сил и отвода стружки.

При конструировании наборов фрез имеет значение правильный выбор направления винтовых или наклонных зубьев фрез, входящих в набор.

Необходимо стремиться к тому, чтобы осевая составляющая силы резания, образующаяся в процессе фрезерования, была наименьшей. Для этого применяют фрезы с различным направлением зубьев и располагают их так, чтобы осевые силы взаимно уравновешивались (фиг. 71). Стрелки 5 и 6 показывают направления вращения фрез, а 7 и 8 — направления осевых сил. Если полного равновесия достигнуть нельзя (например, при несимметричности обрабатываемого профиля поверхности), необходимо обеспечить направление осевой силы в сторону шпиндельной бабки фрезерного станка, рассчитанной на восприятие подобной нагрузки.

При конструировании набора фрез следует предусматривать правильный отвод стружки. Стружка сходит с зуба фрезы, примерно, перпендикулярно режущей кромке. Стрелками 1, 2, 3, 4 показаны направления отхода стружки. Но на фиг. 71, а стрелки дают представление о движении стружки в разные стороны, т. е. набор выполнен правильно. А на фиг. 71, б стружки будут встречаться и мешать друг другу, что приводит к застреванию стружек между зубьями фрез.

Для повышения равномерности фрезерования производят относительное смещение зубьев (фиг. 72). Такие фрезы, изготавливаемые с крупными зубьями, благодаря смещению последних, имеют в работе одновременно большое число зубьев, что, как известно, способствует равномерности фрезерования.

Наборами фрез обрабатываются в различных сочетаниях горизонтальные плоскости, расположенные на одном и разных уровнях, наклонные плоскости, уступы (поверху и с боков), пазы, торцы бобышек.



Фиг. 72. Смещение зубьев фрезы для равномерности фрезерования.

4. ПРОИЗВОДСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ФРЕЗ

Любая фреза, изготовленная инструментальным заводом или инструментальным цехом завода, должна соответствовать определенным техническим условиям. Без выполнения этих условий фреза может оказаться недостаточно хорошего качества или вовсе непригодной для работы.

Техническими условиями предусматриваются ряд требований, касающихся материала фрезы (или ее частей), состояния ее поверхностей и точности изготовления, значения геометрических параметров режущей части фрез и условия, с соблюдением которых должны производиться их испытания, маркировка и упаковка.

Такие многосторонние подробные технические условия разработаны, в основном, для стандартных фрез, изготавливаемых в централизованном порядке.

Многие требования, предъявляемые к фрезам различных типов, совпадают или же весьма близки между собой; например, требования к состоянию поверхностей. Но имеется также много условий, вызванных спецификой конструкции фрез, связанной с характером работы, для которой они предназначены. Сюда могут быть отнесены требования к геометрии режущей части, точности изготовления и условиям испытания.

Требования, относящиеся к определенному типу фрез, были рассмотрены при описании соответствующих конструкций.

Ниже изложены требования, имеющие общий характер для фрез различных типов.

Материалы для изготовления фрез. Важнейшими требованиями, предъявляемыми к материалам для изготовления фрез являются: высокая твердость, износоустойчивость и механическая прочность.

Твердость материала фрезы должна быть выше твердости обрабатываемого материала. Сопротивление износу должно быть достаточно высоким при трении в условиях резания с большими скоростями и усилиями. Механическая прочность должна обеспечивать работу фрез без поломок. Кроме того, имеет значение — насколько хорошо материал поддается шлифованию.

В производстве фрез применяются инструментальные стали: углеродистые, легированные и быстрорежущие, а также твердые металлокерамические сплавы и минералокерамика.

Свойства углеродистых сталей определяются содержанием углерода. Чем больший процент углерода содержится в стали, тем она тверже, износоустойчивей и хрупче.

Углеродистые стали обладают низкой теплостойкостью. Их можно применять для изготовления фрез, если температура в зоне резания не превышает 200—225 °С, так как при нагреве выше данной температуры эти стали резко теряют свою твердость. Углеродистые стали (марки У7, У8), как правило, применяются для изготовления второстепенных частей сборных фрез. Иногда фрезы могут быть изготовлены из высококачественной стали У12А, но они должны работать со скоростями резания до 30 м/мин или с подачами до 0,05 мм/зуб. Из этой марки стали могут быть изготовлены прорезные, фасонные и концевые фрезы малых диаметров, предназначенные для обработки сталей мягкой и средней твердости.

Углеродистые качественные стали обозначаются буквой У и цифрой, указывающей на количество десятых долей процента содержания углерода (С). Добавление буквы А означает, что это марка высококачественной углеродистой стали, отличающейся меньшим содержанием марганца (Mn) и вредных примесей серы (S) и фосфора (P).

Легированные стали отличаются от углеродистых небольшими добавлениями легирующих, т. е. облагораживающих элементов: хрома (Cr), вольфрама (W), молибдена (Mo), ванадия (V), кремния (Si) и марганца (Mn). Добавлением легирующих элементов достигается большая износоустойчивость и стойкость против отпуска при нагреве в процессе резания и некоторые другие качества в зависимости от легирующего элемента.

Легированные стали марок ХГ, ХВ5, 9ХС или ХВГ могут быть использованы для изготовления прорезных, фасонных и концевых фрез малых диаметров, работающих в тех же условиях, какие указаны выше для стали марки У12А. В табл. 30 приведен химический состав упомянутых марок легированной стали.

Таблица 30

Химический состав легированных и быстрорежущих сталей в %

Марки сталей	Углерод	Марганец	Кремний	Хром	Вольфрам	Ванадий
P18	0,70—0,80	≤ 0,40	≤ 0,40	3,80—4,40	17,5—19,0	1,00—1,40
P9	0,85—0,95	≤ 0,40	≤ 0,40	3,80—4,40	8,5—10,0	2,00—2,60
ХВ5	1,25—1,50	≤ 0,30	≤ 0,30	0,40—0,70	4,50—5,50	0,15—0,30*
9ХС	0,85—0,95	0,30—0,60	1,20—1,60	0,95—1,25	—	—
ХВГ	0,90—1,05	0,80—1,10	0,15—0,35	0,90—1,20	1,20—1,60	—
ХГ	1,30—1,50	0,45—0,70	≤ 0,35	1,30—1,60	—	—

* Обязательное содержание ванадия в стали марки ХВ5 оговаривается при заказе стали.

Из указанных марок легированных сталей наибольшее распространение получила сталь марки 9ХС. Она хорошо закаливается и прокаливается. Закалку можно производить в масле, чем достигается уменьшение деформаций и коробления инструмента. Недостатками стали марки 9ХС являются: пониженные обрабатываемость и качество обработанных поверхностей, особенно при затыловании, и повышенная склонность к обезуглероживанию.

В обозначении марки стали 9 означает приблизительное количество десятых долей процента углерода; Х — означает хром — главный легирующий элемент; С — указывает, что вторым по значению легирующим элементом является кремний (силиций)¹.

Сталь марки ХВГ обладает примерно теми же достоинствами, что и сталь марки 9ХС. Но большим недостатком ее является склонность к выкрашиванию режущих кромок, поэтому она не годится для работы в тяжелых условиях.

В обозначении стали ХВГ: Х — означает, что главным легирующим элементом служит хром, а за ним В — вольфрам и Г — марганец.

Сталь марки ХВ5 обладает небольшой прокаливаемостью по сравнению с марками 9ХС и ХВГ. Главными легирующими элементами являются хром и вольфрам. Цифра 5 справа от буквы В означает, что среднее содержание вольфрама 5%.

Быстрорежущие стали характеризуются высоким содержанием вольфрама (см. табл. 30). Наличие вольфрама в сочетании с другими элементами обеспечивает высокую красностойкость быстрорежущей стали. Из быстрорежущей стали изготовляют цилиндрические, торцовые, дисковые, концевые и фасонные фрезы, предназначенные для работы с повышенными скоростями резания и подачами, когда температура в зоне резания не превышает 560 °С.

Обе марки стали обладают почти одинаковыми режущими свойствами, но марка Р18 лучше обрабатывается при шлифовании и имеет большую износостойкость. Кроме того, термическая обработка стали марки Р9 более сложна, чем марки Р18.

Цифры в обозначениях марок быстрорежущей стали означают средний процент содержания главного легирующего элемента — вольфрама.

Углеродистые, легированные и быстрорежущие стали обеспечивают после соответствующей термической обработки необходимую твердость инструмента в пределах *HRC* 61—64.

Металлокерамические твердые сплавы изготавливаются спеканием и состоят в основном (без учета примесей) из карбидов вольфрама, титана и тантала (в зависимости от марки сплава), а также из кобальта, служащего связующим

¹ Эти обозначения приняты независимо от обозначений, применяемых в химии.

материалом для указанных карбидов, которые представляют собой соединения вольфрама, титана и тантала (соответственно) с углеродом. В результате процесса образуются пластинки различной формы. Основные типы пластинок, применяемых в производстве инструмента, стандартизованы.

В табл. 31 приведены данные, характеризующие твердые сплавы некоторых марок, рекомендуемых Государственным стандартом (ГОСТ 3882-61).

Таблица 31

Химический состав и физико-механические свойства металлоребрамических твердых сплавов

Группы	Марки	Ориентировочный состав смеси (без учета примесей) в %				Физико-механические свойства		
		Карбид вольфрама	Карбид титана	Карбид тантала	Кобальт	Средний предел прочности при изгибе в кг/мм ² , не менее	Удельный вес	Твердость HRA не менее
Вольфрамовая	BK4	96	—	—	4	130	14,9—15,1	89,5
	BK6	94	—	—	6	135	14,6—15,0	88,5
	BK8	92	—	—	8	140	14,4—14,8	87,5
Титано-вольфрамовая	T15K6	79	15	—	6	110	11,0—11,7	90,0
	T14K8	78	14	—	8	115	11,2—12,0	89,5
	T5K10	85	6	—	9	130	12,3—13,2	88,5
Титано-тантало-вольфрамовая	TT7K12	81	4	3	12	155	13,0—13,3	87,0

Твердость твердых сплавов примерно на 50% выше твердости инструментальных сталей после термической обработки. Твердые сплавы обладают также высоким сопротивлением износу. Ударным нагрузкам они противостоят хуже чем инструментальные стали.

Прочность твердых сплавов характеризуется средним пределом прочности при изгибе в кг/мм² и составляет примерно 25—30% прочности на изгиб быстрорежущей стали (370 кг/мм²).

Твердые сплавы предназначены для оснащения фрез, работающих с высокими скоростями резания при температуре в зоне резания около 1000°.

Сплав марки BK4 сравнительно хорошо сопротивляется ударам, вибрациям и выкрашиванию. Стойкость его при эксплуатации в 1,5—2,5 раза выше, чем у сплава марки BK6 и в 2—4 раза выше, чем у сплава марки BK8, скорость резания на 30—

70% больше, чем допускает сплав марки ВК8; сплав обладает высокой износостойкостью. Рекомендуется применять при черновом и чистовом фрезеровании.

Сплав марки ВК6 несколько хуже по своим эксплуатационным качествам, чем сплав марки ВК4. Рекомендуется для менее трудных работ таких, как получистовое и чистовое фрезерование.

Сплав марки ВК8 занимает по своим качествам среднее место между марками ВК4 и ВК6, но хуже сопротивляется износу и допускает меньшие скорости резания, чем сплав марки ВК6. Рекомендуется для чернового фрезерования.

Сплав марки Т15К6 рекомендуется для получистового и чистового фрезерования. Уступает сплаву Т14К8 в прочности, сопротивлению ударам и выкрашиванию, но более износостоек и допускает более высокие скорости резания.

Сплав марки Т5К10 превосходит марки Т15К6 и Т14К8 по прочности, сопротивлению ударам, вибрациям и выкрашиванию при меньшей износостойкости и допустимой скорости резания. Рекомендуется для чернового фрезерования прерывистых поверхностей.

Сплав марки ТТ7К12 по своим свойствам значительно выше ранее рассмотренных марок за исключением износостойкости и допускаемой скорости резания, по которым он уступает сплаву марки Т5К10. По сравнению с быстрорежущей сталью допускает большую скорость резания (в 2 раза). Рекомендуется для тяжелого чернового фрезерования.

Обозначения марок твердых сплавов расшифровываются следующим образом. В — означает принадлежность к группе вольфрамовых сплавов, Т — к группе титановольфрамовых сплавов, ТТ — к группе титанотанталовольфрамовых сплавов.

Цифры означают процентное содержание кобальта (справа от буквы К), карбидов титана или титана и тантала (справа от букв Т и ТТ).

Твердые сплавы типа ВК применяются в основном для обработки чугунов, цветных металлов и сплавов и неметаллических материалов. Сплавы типа ТК и ТТ применяются, в основном, для обработки углеродистых и легированных сталей.

Минералокерамика представляет собой окись алюминия (Al_2O_3) и аналогично металлокерамическим твердым сплавам изготавливается спеканием порошкообразной массы.

По сравнению с твердыми сплавами минералокерамика имеет следующие основные преимущества: более высокую красностойкость (1100—1200°), повышенную износостойкость, дешевый исходный материал (глиноземные породы — бокситы). Твердость минералокерамики примерно та же, что и у твердых сплавов (HRA 90).

Главным недостатком минералокерамики является низкая пластичность даже по сравнению с твердыми сплавами. По этой

причине минералокерамика не нашла достаточно широкого применения и используется для чистовой и получистовой обработки.

В настоящее время для изготовления фрез применяются пластинки из минералокерамики марки ПМ332.

Ниже помещены рекомендации по выбору материалов и другие технические требования, предусмотренные Государственными стандартами, охватывающими наиболее распространенные в машиностроении типы фрез.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СТАНДАРТНЫМ ФРЕЗАМ

Материалы для изготовления стандартных фрез. Цельные фрезы и ножи сборных фрез изготавливаются из быстрорежущей стали марки Р18. По соглашению с потребителем допускается изготовление ножей из быстрорежущей стали марки Р9.

Твердость цельных фрез и ножей должна быть *HRC* 62—65, корпусов фрез *HRC* 30—40, клиньев *HRC* 40—50.

Корпусы сборных фрез должны быть изготовлены из стали марок 40Х, 40 или 45, а клинья из сталей марок 40Х, У7, У8 или 45.

У фрез со вставными ножами, оснащенными твердым сплавом, ножи должны изготавливаться из углеродистой У8 или другой, подобной ей стали. Применяются следующие марки твердого сплава: Т5К10, Т14К8, Т15К6, ВК6, ВК8 (новые марки ВК4, ТТ7К12 еще не вошли в ГОСТы на фрезы).

В качестве припоя должна применяться медь марки М1 или латунь марки Л68.

Хвостовики концевых фрез должны изготавливаться из стали марок 45 или 50.

Твердость цилиндрического хвостовика и торцевой части конического хвостовика должна быть *HRC* 30—40.

Требования к состоянию поверхностей. К состоянию поверхностей цельных стандартных фрез предъявляются, как правило, следующие требования.

На рабочей поверхности фрез не должно быть обезуглерожженных мест и мест с пониженной твердостью.

На поверхности фрез не должно быть забоин, трещин, заусенцев, черновин, выкрошенных мест, прижогов, а также следов коррозии.

Нережущие кромки фрез должны быть притуплены.

Завалы у режущих кромок зубьев фрез не допускаются.

Центровые отверстия фрез не должны иметь забоин и разработанных мест.

Чистота поверхности фрез должна быть:

а) для передних и задних поверхностей зубьев не ниже 7 или 8-го классов;

б) для поверхностей посадочных отверстий и опорных торцов не ниже 7-го класса;

в) для поверхностей (сопрягаемых) хвостовиков не ниже 8-го класса;

г) для конических поверхностей центровых отверстий не ниже 7-го класса;

д) для задних поверхностей затылованных зубьев и поверхностей винтовых стружечных канавок не ниже 6-го класса;

е) для остальных поверхностей не ниже 5-го класса.

Для сборных конструкций стандартных фрез со вставными ножами действуют, как правило, следующие требования к состоянию поверхностей.

На рабочей части ножей не должно быть обезуглероженных мест и мест с пониженной твердостью.

Передняя и задняя поверхности режущей части, а также поверхности торцов и посадочного отверстия фрез должны быть шлифованы.

Чистота поверхностей фрез должна быть:

а) для передних и задних поверхностей режущей части не ниже 7 или 8-го классов, поверхностей опорных торцов и поверхности посадочного отверстия не ниже 7-го класса;

б) для опорных поверхностей пазов корпуса и клиньев, а также задней и опорной поверхности запасных ножей не ниже 6 или 7-го классов.

На ножах, клиньях и корпусах фрез не допускаются поверхностные трещины, выкрошенные места, заусенцы, прижоги, следы коррозии, а на шлифованных поверхностях также черноты и цвета побежалости.

Нережущие кромки ножей и корпусов должны быть притуплены.

Завалы режущих кромок ножей фрез в собранном виде не допускаются.

Поверхности деталей фрез, не обработанные шлифованием, должны быть после термической обработки очищены.

Потребитель имеет право производить контрольную проверку качества поступающих к нему фрез и соответствия их показателей требованиям стандартов, применяя установленные методы испытаний.

Испытание фрез в работе должно производиться на фрезерных станках, соответствующих установленным для этих станков нормам точности.

Применяемые для крепления фрез в шпинделе станка переходные втулки не должны иметь взаимного биения конусов более 0,02 мм.

В качестве охлаждающе-смазывающей жидкости при испытании фрез в работе применяется 5%-ный (по весу) раствор эмульсола в воде.

На режущих кромках фрез, подвергнутых испытанию, не должно быть изломов, выкрашивания, вмятин и следов притупления. У сборных фрез не должно наблюдаться после испыта-

ния смещения ножей. Фрезы после испытания должны быть пригодны для дальнейшей работы.

Требования к точности изготовления. Эти требования сводятся, в основном, к ограничению отклонений по размерам: наружных диаметров, ширины, общей длины, диаметров посадочных отверстий и хвостовиков фрез. Кроме того, большое внимание уделяется допускаемым величинам биения режущих кромок и опорных торцов.

Как правило, для наружных диаметров фрез (за исключением фрез, размеры которых определяют собой размеры обрабатываемой поверхности, например, шпоночных фрез) установлен 8-й класс точности (B_8), для общей длины 9-й класс (B_9), для внутренних диаметров посадочных отверстий 2-й класс (A_2), для диаметров цилиндрических хвостовиков 3-й класс (C_3).

Что касается допускаемых величин биения, то здесь сильно сказываются различные обстоятельства; поэтому имеет место большое разнообразие требований по биению. Конкретные величины допусков на биение были приведены при описании основных типов фрез.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ЗАТАЧИВАНИЕ ФРЕЗ

Цельные цилиндрические фрезы с остrokонечными зубьями при изготовлении проходят следующие операции:

1. Получение заготовки (резка из прутка или ковка) или то и другое для улучшения качества.
2. Токарная обработка наружных и внутренних поверхностей.
3. Образование шпоночной канавки долблением или протягиванием.
4. Клеймение.
5. Фрезерование зубьев.
6. Термическая обработка и очистка.
7. Шлифование отверстия и торцов.
8. Заточка зубьев.

Фрезерование зубьев является наиболее сложной операцией.

Работа производится на фрезерных станках общего назначения по принципу копирования профиля одноугловой или двухугловой фрезы. При большом выпуске фрез применяют зубофрезерные станки, на которых работают методом обкатывания.

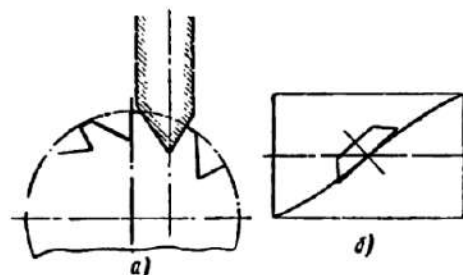
Заготовки надеваются по одной или по несколько штук на оправку и устанавливаются в делительную головку станка.

Расположение фрезы по отношению к заготовке показано на фиг. 73. При фрезеровании винтовых канавок могут применяться только двухугловые фрезы (фиг. 73, а), так как передняя поверхность фрезеруемого зуба представляет собой винтовую поверхность, в которую одноугловая фреза будет врезаться (фиг. 73, б).

В зависимости от конструкции фрезеруемого зуба может понадобиться операция фрезерования затылочной стороны зуба.

После установки заготовки в центрах стол станка поворачивается на угол, соответствующий углу наклона фрезеруемой канавки, и устанавливается в требуемом положении в поперечном и вертикальном направлениях.

Фрезерование происходит при вертикальном движении фрезы, продольном перемещении стола и вращении заготовки, что обеспечивает получение винтовой канавки. По окончании фрезерования одной канавки возвращают стол в исходную позицию и с помощью делительной головки поворачивают заготовку в положение, соответствующее началу фрезерования следующей канавки.



Фиг. 73. Расположение фрезы относительно заготовки.

Термическая обработка фрезы заключается, в основном, в закалке и отпуске ее, после чего фреза очищается от окалины и передается на шлифовальный станок для обработки отверстия и торцов.

Далее следует шлифование зубьев фрезы по передним поверхностям, шлифование по наружной поверхности и затачивание зубьев со стороны затылка для создания заднего угла.

Заточные операции выполняются обычно на универсально-заточных станках. Фреза, установленная на таком станке, может перемещаться относительно шлифовального круга в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. Универсально-заточный станок имеет переднюю и заднюю бабки и универсальную головку. Станку придается ряд приспособлений, в их числе: для заточки фасонных фрез с затылованными зубьями, фрезерных головок и наборов фрез, а также универсальные тиски и упоры.

На фиг. 74 показано положение шлифовального круга относительно затачиваемой фрезы. Для получения требуемого угла α центр шлифовального круга (при шлифовании периферией круга) должен быть расположен выше центра фрезы на величину

$$H = \frac{D}{2} \sin \alpha,$$

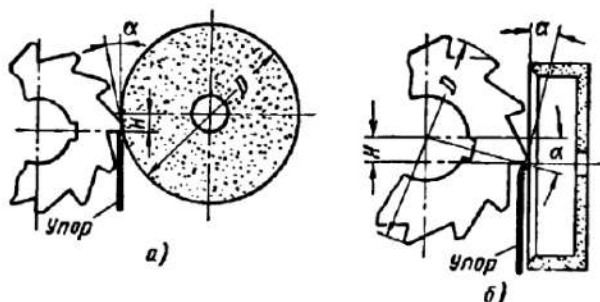
где D — диаметр круга в мм.

Упор служит для фиксации положения затачиваемого зуба и для направления при затачивании фрез с винтовыми зубьями.

В случае шлифования торцом круга упор должен быть поставлен ниже центра фрезы, на ту же величину.

В целях получения плоской, а не вогнутой формы задней поверхности зубьев, предпочитают затачивание торцом чашечного круга. Ось чашечного круга устанавливается под углом $1-2^\circ$ по отношению к оси фрезы с тем, чтобы круг касался затачиваемой фрезы только одной стороной.

Общий ход технологического процесса изготовления торцовых, дисковых и других типов фрез сходен с рассмотренным процессом изготовления цилиндрических фрез. Главные отличия заключаются в применении одноугловых фрез при фрезеровании зубьев дисковых и других прямозубых фрез и торцовых



Фиг. 74. Положение шлифовального круга относительно затачиваемой фрезы: а — при заточке периферией круга, б — при заточке торцом круга.

зубьев, а также в операциях заднего обтачивания и затачивания фрез с затылованными зубьями. Способы затылования описаны в разделе 2.

Рассмотрим как производится заточка затылованных фрез. Как известно, в этом случае заточка должна производиться путем шлифования передних поверхностей.

На фиг. 75, а показано положение шлифовального круга по отношению к затачиваемому зубу, когда передний угол $\gamma=0$, а на фиг. 75, б положение шлифовального круга соответствует образованию угла $\gamma>0$. На фиг. 75, в изображено взаиморасположение фрезы, шлифовального круга и упора.

В качестве примера производства сборных фрез рассмотрим типовой технологический процесс изготовления торцовых фрез со вставными ножами, оснащенными твердым сплавом, конструкции, показанной на фиг. 40.

Процесс разработан Всесоюзным научно-исследовательским инструментальным институтом (ВНИИ).

Процесс изготовления корпуса фрезы включает следующие операции:

Отрезка заготовки от прутка дисковой сегментной пилой и ковка на заданный размер.

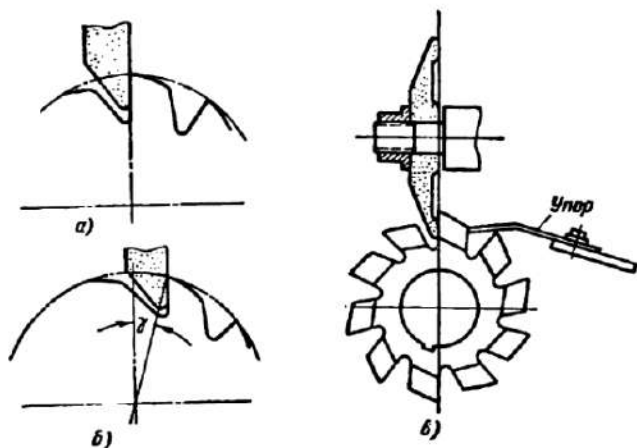
Проковывание для уплотнения материала и улучшения его структуры и отжиг.

Токарная обработка наружных и внутренних поверхностей на револьверном и токарном станках.

Фрезерование шпоночного паза на вертикально-фрезерном станке шпоночной фрезой.

Снятие заусенцев и фасок вдоль шпоночного паза слесарным напильником.

Сверление крепежных отверстий на вертикально-сверлильном станке.



Фиг. 75. Положение шлифовального круга относительно заточиваемой затылованной фрезы.

Фрезерование лыски на вертикально-фрезерном станке торцевой насадной фрезой.

Сверление, зенкерование, развертывание и нарезание остальных крепежных отверстий на вертикально-сверлильном станке.

Фрезерование пазов под ножи на горизонтально-фрезерном станке дисковой пазовой фрезой.

Протягивание пазов под ножи на горизонтально-протяжном станке.

Фрезерование стружечных канавок на горизонтально-фрезерном станке одноугловой фрезой.

Маркировка.

Термическая обработка и очистка от окалины.

Прогонка резьб и притирка отверстий для крепления ножей — метчиком и притиром.

Шлифование центральных отверстий и торцов на внутришлифовальном станке.

Технологический процесс изготовления вставных ножей состоит из следующих операций.

Рубка заготовки на эксцентриковом прессе.

Шлифование двух противоположных плоскостей на плоскошлифовальном станке с последующим размагничиванием.

Фрезерование двух других противоположных плоскостей на вертикально-фрезерном станке торцовой насадной фрезой.

Фрезерование главной и вспомогательной задних поверхностей на горизонтально-фрезерном станке торцовой насадной фрезой.

Фрезерование гнезда под пластинку на вертикально-фрезерном станке концевой фрезой.

Снятие заусенцев слесарным папильником.

Напайка пластинки твердого сплава на электросварочной машине и снятие излишка припоя на точильном станке.

Фрезерование торца ножа на горизонтально-фрезерном станке торцовой насадной фрезой.

Термическая обработка.

Шлифование плоскостей с четырех сторон — на магнитном столе плоскошлифовального станка с последующим размагничиванием.

Шлифование задних поверхностей до пластинки и другим абразивом — пластинки твердого сплава на плоскошлифовальном станке с закреплением в приспособлении.

Снятие фасок на торце ножа на точильном станке.

Маркировка.

Не касаясь процессов изготовления остальных деталей фрезы, рассмотрим последнюю стадию технологического процесса.

Сборка в специальном приспособлении.

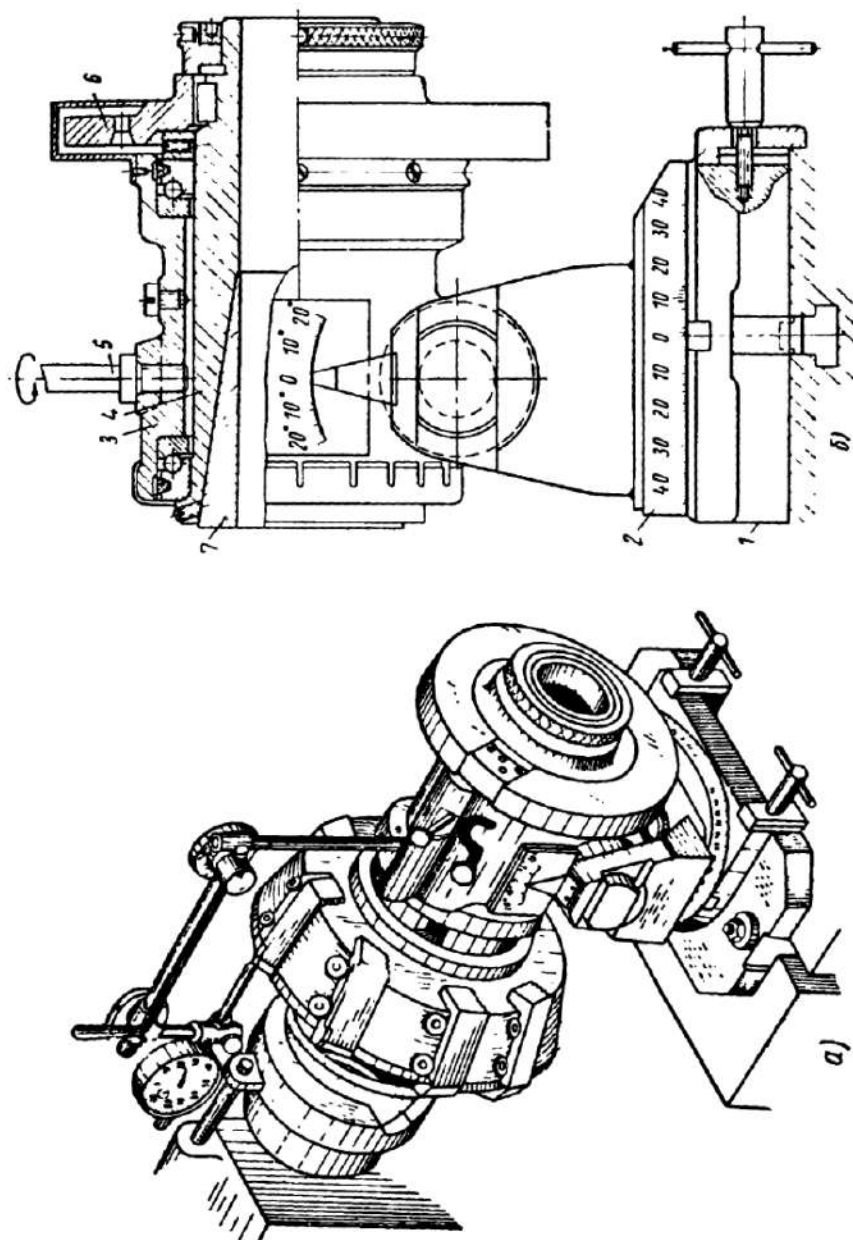
Заточка главной, вспомогательной и переходной задних поверхностей на универсально-заточном станке.

Доводка главной и переходной задних поверхностей и передней поверхности на универсально-заточном станке. Целью доводки режущих кромок и поверхностей, подвергнутых затачиванию, является уменьшение неровностей, ликвидация завалов и поверхностных тонких слоев с прижогами и трещинами, образовавшимися в результате затачивания, а также обеспечение более точных геометрических параметров.

На фиг. 76 изображена заточка торцовой фрезы со вставными ножами, оснащенными твердым сплавом, установленная в универсальной головке и конструкция головки.

Основание 2 головки с шкалой установлено на плите 1, служащей для крепления головки на столе универсально-заточного станка.

Шпиндель 4 опирается на шариковые подшипники, установленные в корпусе 3. На конце шпинделя насажен делительный диск 6, посредством которого производится точное деление на заданное число зубьев. На другом конце шпинделя закрепляется затачиваемая фреза, устанавливаемая на оправке. Переходная втулка 7 применяется в тех случаях, когда требуется гнездо не конической, а цилиндрической формы.



Фиг. 76. Заточка торцевой фрезы, установленной в универсальной головке:
 а — установка фрезы, б — конструкция головки.

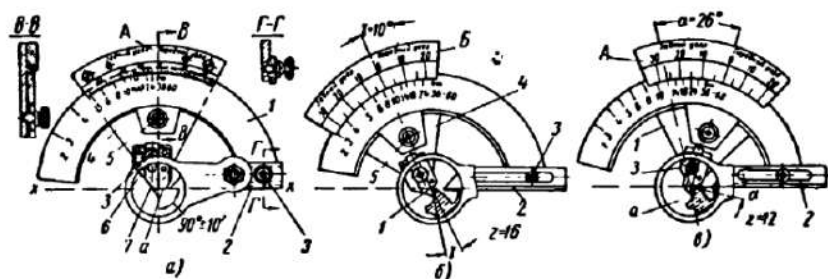
Используя шкалы и таблицу установочных углов, головку с фрезой устанавливают и закрепляют под соответствующими углами для заточки по требуемой поверхности зуба фрезы.

Индикатор устанавливается на стержне 5 и служит для контроля величины биения режущих кромок в процессе заточки фрезы.

Описанная головка применяется для заточки торцовых и дисковых фрез диаметром до 350 мм.

Сущность контроля состоит в проверке геометрических параметров, величины биения и качества режущих кромок.

Для контроля правильности заточки служит ряд приборов, в том числе для проверки геометрических параметров угломер конструкции М. И. Бабчиничера (фиг. 77), изготавливаемый Московским инструментальным заводом.



Фиг. 77. Угломер конструкции М. И. Бабчиничера.

а — общий вид конструкции, б — измерение переднего угла, в — измерение заднего угла.

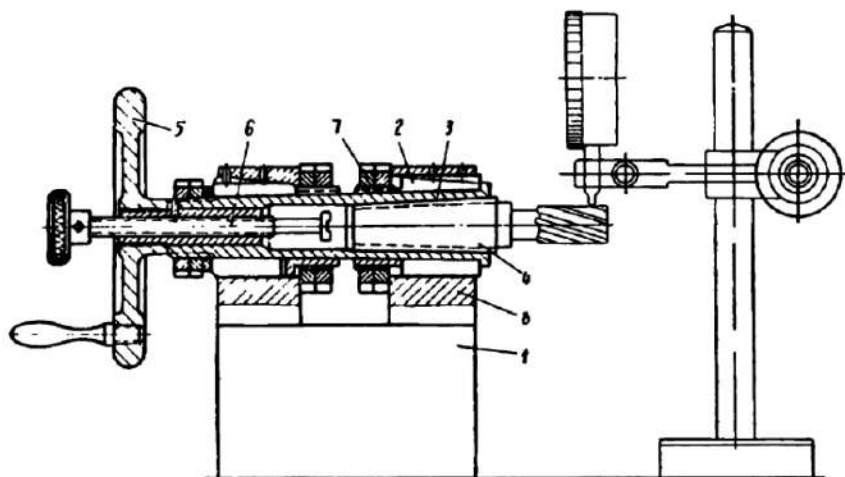
На дуге 1 (фиг. 77, а) имеется шкала, риски которой соответствуют числу зубьев измеряемой фрезы. Опорная линейка 2 может перемещаться по пазу в дуге. Сектор 4 передвигается по дуге и стопорится в требуемом положении винтом 5. Шкалы на секторе 4 имеют следующие значения. По шкале А отсчитываются задние углы в пределах 0—35°, а по шкале Б — передние углы в пределах 0—25°. К сектору прикреплена пластинка 6 с пазом для измерительной линейки 7 и измерительной плоскостью а. В зависимости от высоты зубьев измеряемой фрезы линейка 7 перемещается по пазу и фиксируется в требуемом положении винтом 3.

Продолжение рабочей плоскости линейки 2 проходит через центр вращения сектора 4, когда нулевая риска на его шкале совпадает со стрелкой ∞ на шкале Z. При этом упомянутая плоскость находится под прямым углом к линейке 7.

Передний угол γ измеряется следующим образом (фиг. 77, б). Опорная линейка 2, в зависимости от шага зубьев измеряемой фрезы, устанавливается в требуемом положении и закрепляется винтом 3. Затем устанавливается линейка 7 так, как указано выше. Далее угломер накладывается на вершины двух смежных зубьев и сектор 4 поворачивают до совмещения изме-

рительной плоскости линейки 1 с передней поверхностью зуба фрезы и закрепляют винтом 5. Значение измеряемого угла γ прочитывается на градусной шкале Б против риски, соответствующей числу зубьев измеряемой фрезы.

Для измерения заднего угла α (фиг. 77, в) сектор 1 поворачивают до совмещения измерительной плоскости а пластинки 3 с задней поверхностью зуба, затем закрепляют сектор в этом



Фиг. 78. Прибор для контроля концевых фрез на биение.

положении и прочитывают значение заднего угла α на градусной шкале А против риски, соответствующей числу зубьев измеряемой фрезы.

Погрешность прибора примерно $1^{\circ}30'$. Для большей точности измерений угломеру придано простое съемное оптическое устройство с пятикратным увеличением, прикрепляемое к опорной линейке 2. Оптическая ось линзы совпадает с осью вращения сектора и через нее можно следить за правильностью установки прибора по зубьям, особенно, имеющим небольшую протяженность сторон измеряемых углов.

Описанный прибор служит для измерения углов зубьев, расположенных на цилиндрической и торцевой поверхностях фрез с равномерным шагом от 7 до 80 мм.

При измерении переднего и заднего углов торцовых зубьев дисковых и торцовых фрез отсчет производится по шкалам А и Б относительно стрелки ∞ .

Контроль величины биения зубьев фрез производится индикатором при вращении фрезы вокруг ее оси. Для этой операции применяются довольно простые приспособления.

На фиг. 78 показан прибор для измерения биения зубьев концевых фрез. На основании 1 помещены две стойки 8 с под-

шипниками, представляющими собой разрезные втулки, внутренний диаметр которых изменяется при продольном перемещении их по конусным поверхностям в стойках. Регулирование производится гайками 7.

Измеряемая фреза устанавливается в конусной втулке 4. Прибор ставится на контрольную плиту. Вращение шпинделя 3 производится маховичком 5. Величина биения прочитывается на шкале индикатора. После измерения фреза выталкивается из шпинделя винтом 6.

Проверка качества доводки производится осмотром через лупу с пяти—десятикратным увеличением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ларин М. Н. Высокопроизводительные конструкции фрез и их рациональная эксплуатация. Машгиз, 1957.
 2. Аврутин С. В. Рациональная работа фрезеровщика. Машгиз, 1962.
 3. Четвериков С. С. Металлорежущие инструменты. Машгиз, 1953.
 4. Семенченко И. И., Матюшин В. М., Сахаров Г. Г. Проектирование металлорежущих инструментов. Машгиз, 1962.
 5. Аршинов В. А. и Алексеев Г. А. Резание металлов. Машгиз, 1959.
 6. Кувшинский В. В. Фрезерование. Машгиз, 1958.
 7. Лигский Ю. Д., Наумов А. Н. Торцовые фрезы с круглыми пластинками — ножами из минеральной керамики. Институт технико-экономической информации. АН СССР, 1955.
 8. Высокопроизводительные конструкции фасонных фрез и их рациональная эксплуатация, ВНИИ. Машгиз, 1961.
 9. Карасев В. А., Шифрин А. Ш. Высокопроизводительные фрезы с неравномерным окружным шагом. Сб. «Новое в инструментальном производстве». Лениздат, 1960.
 10. Коршунов Б. С. Заточка и доводка режущего инструмента. Трудрезервиздат, 1956.
 11. Типовые технологические процессы на инструменты с пластинками твердого сплава. ВНИИ. Машгиз, 1951.
 12. Справочник металлиста, т. 4 и 5. Машгиз, 1959.
-

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
1. Основные сведения о фрезеровании	4
Фрезерные станки	4
Типы фрез и способы их крепления на станках	10
Процесс фрезерования	15
2. Элементы рабочей части фрезы	25
Передние углы	29
Задние углы	30
Углы в плане	32
Углы наклона зубьев и режущих кромок	34
Геометрические параметры при скоростном резании	34
Конструкции зубьев	36
3. Конструкции основных типов фрез	44
Цилиндрические фрезы	45
Торцовые фрезы	51
Концевые цилиндрические фрезы	67
Дисковые фрезы	79
Угловые фрезы	94
Фасонные фрезы	95
Наборы фрез	98
4. Производство и эксплуатация фрез	104
Технические требования к стандартным фрезам	109
Изготовление и затачивание фрез	111
Литература	119

Редактор издательства *И. И. Лесниченко*

Переплет художника *Л. С. Вендрова*

Технический редактор *Л. П. Гордеева*

Корректор *В. Полонский*

Сдано в производство 21/X 1962 г.

Подписано к печати 23/II 1963 г.

Т-02829 Тираж 16000 экз.

Печ. л. 7,5 Уч.-изд. л. 7,0

Бум. л. 3,75

Формат 60×90/16

Цена 25 коп.

Зак. 546

Московская типография Госгортехиздата. Москва, Ж-88, Южно-портовый 1-й пр., 17.

25 коп.



Москва, Б-66, 1-й Басманный пер., 3