



ФРЕЗЕРОВАНИЕ

Введение D 2

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

Основные положения D 3

Фрезерование различных групп материалов D 32

Фрезерование уступов D 42

Торцевое фрезерование D 54

Профильное фрезерование и точение фрезерованием D 66

Фрезерование пазов и резьбофрезерование D 84

Специализированные виды фрезерования D 100

Решение проблем D 128



АССОРТИМЕНТ ИНСТРУМЕНТА

Фрезы с углом в плане 90° D 134

CoroMill® 490, CoroMill® 390, CoroMill® 290, CoroMill® 690,
Длиннокромочная фреза для чистовой обработки, CoroMill® 790, CoroMill® Century

Торцевые и плунжерные фрезы с углом в плане 10° – 75° D 146

CoroMill® 345, CoroMill® 245, CoroMill® 365, фрезы Sandvik AUTO, CoroMill® 360,
T-Max 45, CoroMill® 210, плунжерная фреза CoroMill® 215

Фрезы с круглыми пластинами D 161

CoroMill® 200, CoroMill® 300

Фрезы со сферическим концом D 164

CoroMill® 216, CoroMill® 216F

Фрезы для обработки канавок,
пазов и резьб

CoroMill® 327, CoroMill® 328, CoroMill® 329, T-Max Q-Cutter, CoroMill® 331 D 166

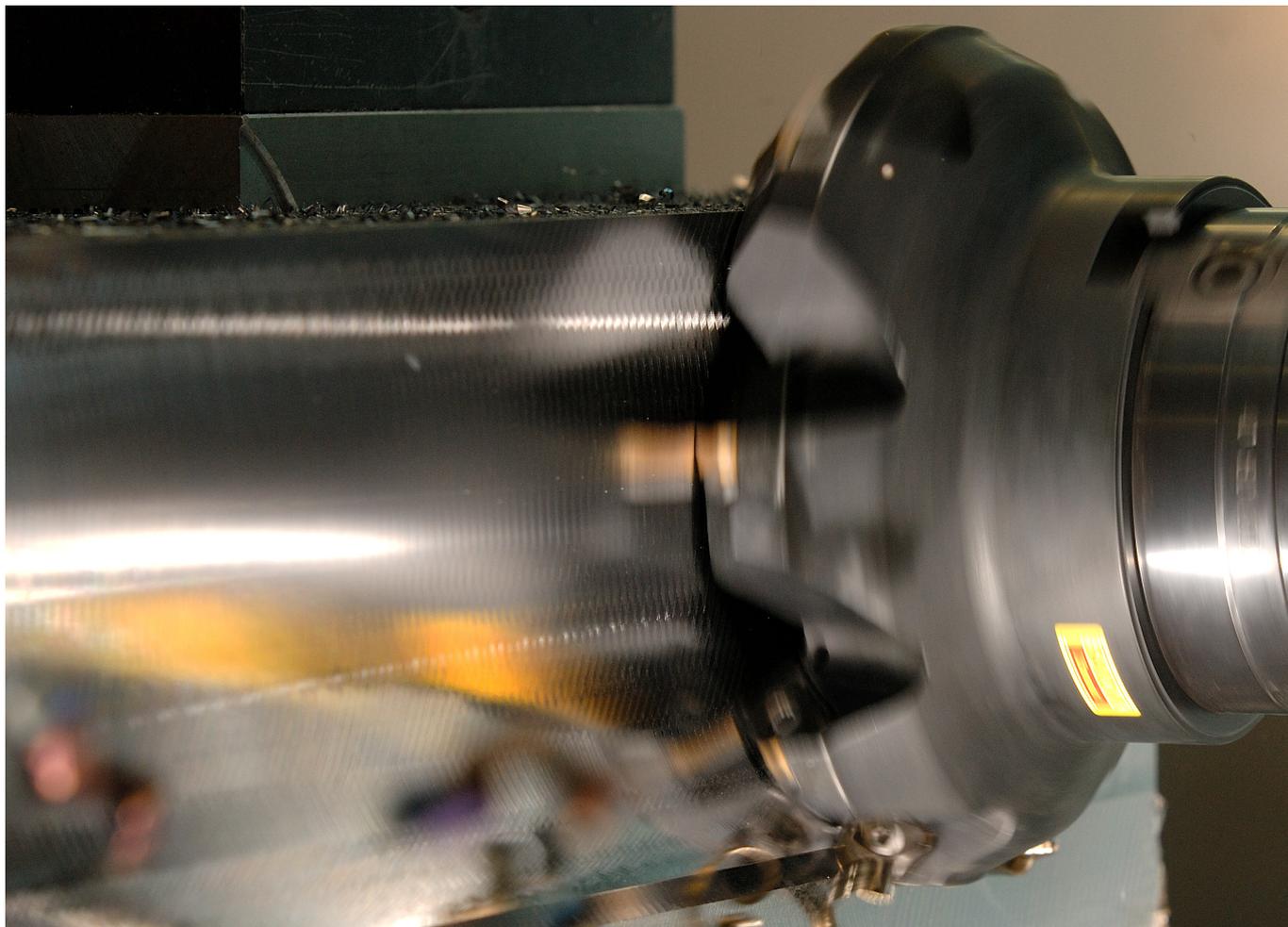
Фрезы со сменными головками и цельные твердосплавные фрезы

CoroMill® Plura, CoroMill® 316 D 178

Дополнительные возможности D 186

Информация о сплавах D 188

Рекомендации по подачам D 192



Введение

Первые фрезы семейства CoroMill, появившиеся в начале 90-х гг., стали законодателями новых стандартов точности, надежности и производительности металлорежущих операций. С тех пор внутри данного семейства произошли значительные изменения, оно настолько разрослось и преобразилось, что на сегодняшний день способно удовлетворить нуждам самого привередливого заказчика.

В основе развития фрез серии CoroMill всегда лежали самые современные, инновационные технологии, и продукты, присоединившиеся к этому семейству последними, не стали исключением. Например, уникальная геометрия режущих пластин и форма посадочных гнезд таких новинок как CoroMill 345, CoroMill 490 и CoroMill 690. Новые фрезы с системой сменных головок (EH), обладающие высокой универсальностью применения, также служат наглядным свидетельством непрерывного процесса совершенствования фрезерного инструмента Sandvik Coromant.

Учитывая большой выбор геометрий и сплавов пластин, Вы всегда сможете подобрать необходимый инструмент для фрезерования, вне зависимости от обрабатываемого материала и степени тяжести условий обработки.

Тенденции

Оборудование и методы обработки

- Распространение 5-осевых и многоцелевых станков
- Станки меньших габаритов, менее мощные, требуют применения легкого фрезерования с маленькими глубинами резания
- Сокращение числа операционных переходов и обработка деталей за один установ
- Обработка с увеличенными вылетами инструмента

Обрабатываемые детали и материалы

- Более прочные, легкие и коррозионно-устойчивые материалы
- Тонкостенные детали
- Отливки и поковки, по форме близкие к готовым деталям

Основные положения

Методы фрезерования

Фрезерование является наиболее универсальным методом обработки с точки зрения придания заготовке желаемой формы. Но одновременно с этим он является очень многокомпонентным процессом, что делает затруднительным его оптимизацию. Данный раздел имеет своей целью познакомить Вас со всеми возможными аспектами операций фрезерования и помочь правильно выбрать инструмент и метод обработки.

В разделе “Основные положения” на страницах D3 – D31 представлен обзор фрезерного инструмента, оборудования, приведены основные определения и общие рекомендации.

Рекомендации, приведенные в разделе “Фрезерование различных групп материалов” на страницах D32 – D41, классифицированы с точки зрения обрабатываемого материала. В данном разделе Вы найдете ответы на такие вопросы как, например, нужно ли использовать СОЖ при фрезеровании титана, фрезу какого типа выбрать для обработки деталей из алюминия или можно ли использовать пластины из керамики по чугуну.

Существует общепринятое разделение фрезерных операций на такие типы как торцевое и профильное фрезерование, обработка уступов и пазов. Но в связи с развитием станкостроения и программных технологий все большее распространение получают и такие методы как точение фрезерованием, резьбофрезерование, круговая интерполяция и трохоидальное фрезерование. Раздел данного издания, посвященный методам фрезерования, содержит следующие параграфы:

- Торцевое фрезерование, стр. D54.
- Фрезерование торцев и уступов, стр. D42.
- Профильное фрезерование и точение фрезерованием, стр. D66.
- Фрезерование пазов и резьбофрезерование, стр. D84.
- Специализированные виды фрезерования, стр. D100.

В последнем параграфе содержится информация о таких методах как фрезерование с врезанием, плунжерное фрезерование, трохоидальное фрезерование и т.д.



Точение

В

Отрезка и обработка канавок

С

Нарезание резьбы

D

Фрезерование

E

Сверление

F

Растачивание

G

Инструментальная оснастка

H

Материалы

I

Информация/Указатель

Выбор метода

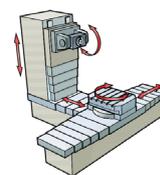
Для выбора оптимального метода обработки и инструмента следует принимать во внимание три параметра:



1. Характерные особенности детали



2. Материал заготовки, форму и серийность партии



3. Станок

Исходные данные

1. Особенности операции

Фрезерование является широко универсальным методом обработки, объединяющим большое число разнообразных типов операций.

В дополнение к традиционным областям применения фрез добавились такие как изготовление отверстий, обработка карманов и выборок, обработка поверхностей вращения и резьбофрезерование.

Перед выбором инструмента необходимо тщательно изучить поверхности, предполагаемые для фрезерования. Они могут иметь затрудненный подход, быть расположены глубоко внутри детали и потребовать фрезы с увеличенным вылетом. Возможно наличие прерывистых поверхностей или неоднородных включений в материале.



3. Станок

При выборе метода фрезерования огромное значение имеет тип оборудования, на котором будет выполняться обработка. Фрезерование торцов, уступов или пазов может осуществляться на трёхосевом станке, тогда как деталь более сложной формы потребует четырёх-пятиосевого станка.

Современные токарные центры часто имеют возможность выполнять операции фрезерования за счет наличия фрезерного шпинделя. В связи с интенсивным развитием программных продуктов для металлорежущих станков возможности пятикоординатного оборудования возросли значительно, но данные станки могут иметь некоторые ограничения по мощности.

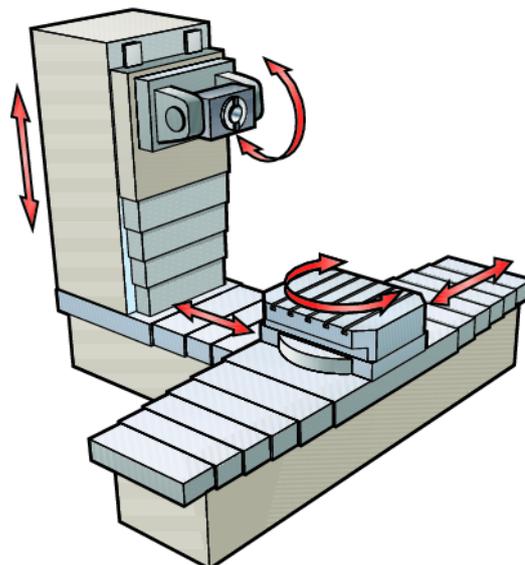
Более подробно о станках для фрезерования на странице D10.

2. Деталь

Заготовка может иметь поковочную или литейную корку.

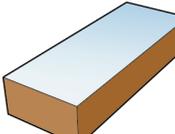
Тонкостенная деталь или отсутствие возможности надежного закрепления детали требует применения специализированного инструмента и метода обработки.

Необходимо учитывать характеристики материала заготовки с точки зрения его обрабатываемости и в соответствии с ними назначать режимы резания.

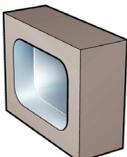
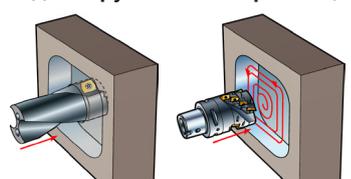
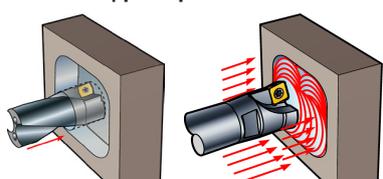
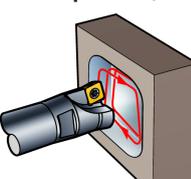


Выбор метода – пример

Торцевое фрезерование

		
<p>Главный угол в плане 45°</p>  <p>CoroMill® 345</p>	<p>Главный угол в плане 90°</p>  <p>CoroMill® 490</p>	<p>Главный угол в плане 10°</p>  <p>CoroMill® 210</p>
<p>Преимущества</p> <ul style="list-style-type: none"> + Высокая производительность + Оптимизированный инструмент для торцевого фрезерования <p>Недостатки</p> <ul style="list-style-type: none"> – Умеренные значения глубин резания 	<p>Преимущества</p> <ul style="list-style-type: none"> + Высочайшая степень универсальности + Невысокие осевые усилия резания – предпочтительный вариант для тонкостенных заготовок + Относительно большие глубины резания по отношению к размеру пластин 	<p>Преимущества</p> <ul style="list-style-type: none"> + Высокая производительность + Очень большие подачи + Благоприятное направление осевой силы резания – к шпинделю <p>Недостатки</p> <ul style="list-style-type: none"> – Небольшие глубины резания
<p>Высокая производительность Основной выбор</p>	<p>Универсальность Мелкосерийное производство</p>	<p>Высокая производительность Альтернативный выбор</p>

Обработка карманов/полостей

		
<p>Сверление + фрезерование методом круговой интерполяции</p> 	<p>Сверление + плунжерное фрезерование</p> 	<p>Фрезерование методом винтовой интерполяции</p> 
<p>Преимущества</p> <ul style="list-style-type: none"> + Высокая скорость удаления материала при обработке выборки некруглой формы + Первый выбор для обработки деталей авиационного направления из титана <p>Недостатки</p> <ul style="list-style-type: none"> – Требует высокой жесткости оборудования – Стружкоотвод – станки с горизонтальным расположением шпинделя – Сложное программирование процесса обработки 	<p>Преимущества</p> <ul style="list-style-type: none"> + Метод рекомендуется при большом вылете инструмента + Простота программирования и возможность применения на старых многошпиндельных станках 	<p>Преимущества</p> <ul style="list-style-type: none"> + Меньшее число инструментов – отсутствует необходимость в сверле + Высокая гибкость применения – обработка в широком диапазоне диаметров + Не требуется применения СОЖ – хороший метод для станков открытого типа + Подходит для использования на станках любого типа и с любым расположением шпинделя <p>Недостатки</p> <ul style="list-style-type: none"> – Невысокая производительность при обработке полостей большого размера
<p>Основной выбор для обработки карманов</p>	<p>Обработка с большим вылетом</p>	<p>Основной выбор для 3D фрезерования полостей</p>

Обзор технологических решений для фрезерования

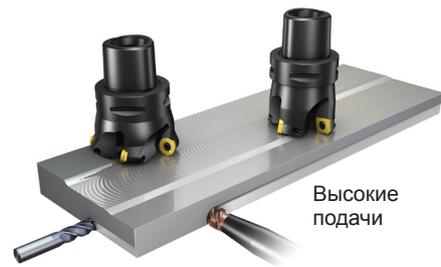
Фрезерование уступов страница D42



Торцевое фрезерование страница D54

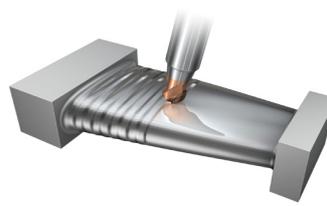
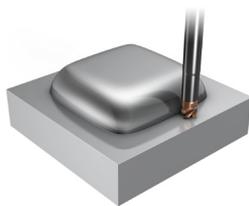
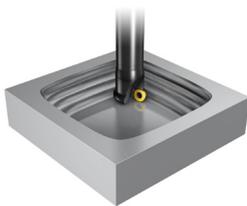


Wiper



Высокие подачи

Профильное фрезерование и точение фрезерованием страница D66



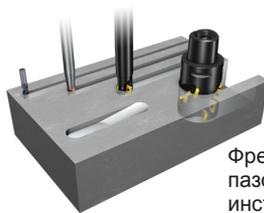
От черного до чистового фрезерования выпуклых и вогнутых поверхностей

Точение фрезерованием

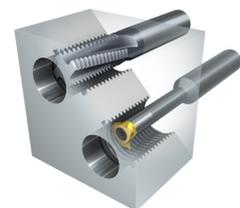
Фрезерование пазов и резьбофрезерование страница D84



Фрезерование пазов дисковым инструментом

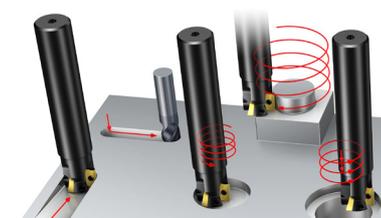


Фрезерование пазов концевым инструментом



Фрезерование резьбы

Специализированные виды фрезерования страница D100



Линейное и круговое врезание

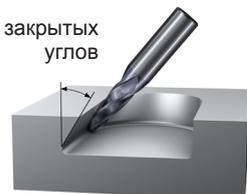
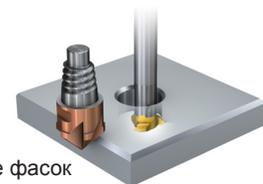
Круговая интерполяция

Плунжерное фрезерование

Фрезерование фасок

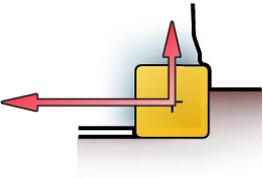
Обработка закрытых углов

Фрезерование по слоям



Обзор инструмента для фрезерования

Фрезы для обработки уступов с углом в плане 90°

	 <p>CoroMill® Plura</p>	 <p>CoroMill® 316</p>	 <p>CoroMill® 390</p>	 <p>CoroMill® 490</p>
	<p>Страница</p> <p>D 179</p>	<p>D 183</p>	<p>D 136</p>	<p>D 134</p>
	 <p>CoroMill® 690</p>	 <p>CoroMill® 790</p>	 <p>CoroMill® Century</p>	 <p>CoroMill® 290</p>
	<p>Страница</p> <p>D 140</p>	<p>D 143</p>	<p>D 144</p>	<p>D 139</p>

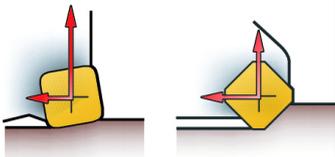
Фрезы с углом в плане 90° очень универсальны в применении, благодаря чему являются самыми часто используемыми. К этой группе относятся фрезы для обработки торцев и уступов, концевые фрезы и длиннокрючковые фрезы.

- Фреза CoroMill 490 является первым выбором для типовых операций обработки торцев и уступов.
- Серия фрез CoroMill 390 объединяет торцевые, концевые и длиннокрючковые фрезы, обладающие возможностью врезаться под углом. Данное семейство также включает антивибрационные фрезы и широкий выбор радиусных пластин для специфического применения.

Цельные твердосплавные фрезы, фрезы CoroMill Plura и фрезы CoroMill 316 со сменными головками занимают нишу фрезерного инструмента небольшого диаметра.

- Длиннокрючковая фреза CoroMill 690 предназначена для обработки титана.
- Фреза CoroMill 790, оптимизированная для обработки алюминия, обладает самыми лучшими характеристиками по возможностям врезания.
- Также эта группа включает чистовые длиннокрючковые фрезы Coromant и фрезы Auto-FS для чистового фрезерования.

Торцевые и плунжерные фрезы с углом в плане 10° - 75°

	 <p>CoroMill® Plura Высокие подачи</p>	 <p>CoroMill® 316 Высокие подачи</p>	 <p>CoroMill® 210</p>	 <p>CoroMill® 245</p>
	<p>Страница</p> <p>D 179</p>	<p>D 183</p>	<p>D 158</p>	<p>D 148</p>
	 <p>CoroMill® 345</p>	 <p>CoroMill® 360</p>	 <p>CoroMill® 365</p>	<p>Auto D 152</p> <p>T-Max 45 D 156</p>
	<p>Страница</p> <p>D 146</p>	<p>D 155</p>	<p>D 150</p>	

Широкий ассортимент фрез, используемых для обработки плоскостей, а также фрезы с маленьким углом в плане, рекомендуемые для плунжерного фрезерования.

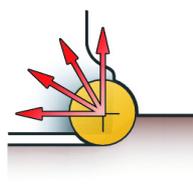
- CoroMill 345 является приоритетным выбором для операций общего торцевого фрезерования, а в качестве ее дополнения выступает фреза CoroMill 245.
- Фреза CoroMill 365 в основном используется для фрезерования чугунов.

Фреза CoroMill 360 специально создана для тяжелого фрезерования.

- CoroMill 210 и соответствующие исполнения CoroMill 316 и CoroMill Plura прекрасно подходят для работы с большими подачами. Также этими фрезами можно выполнять врезание под углом, а CoroMill 210 может использоваться для плунжерного фрезерования.



Круглые пластины и фрезы с большими радиусами



Страница

CoroMill® Plura
Большой радиус



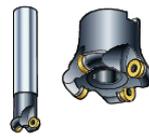
D 178

CoroMill® 316
Большой радиус



D 182

CoroMill® 200



D 164

CoroMill® 300

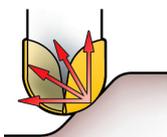


D 162

Фрезы с круглыми пластинами отличаются высокой универсальностью и с успехом могут использоваться как для торцевого фрезерования с повышенными требованиями, так и на операциях профильной обработки. Они также обеспечивают возможность врезания под углом.

- Первым выбором среди фрез этой группы, несомненно, является фреза CoroMill 300, характеризующаяся низкими усилиями резания. А её тороидальное исполнение в отдельных случаях является хорошей альтернативой фрезам со сферическим концом.
- Фреза CoroMill 200 представляет собой надежное решение для чернового силового фрезерования.
- Фрезы CoroMill Plura и CoroMill 316 с большими радиусами также могут рассматриваться в качестве фрез с круглыми пластинами.

Фрезы со сферическим концом



Страница

CoroMill® Plura



D 178

CoroMill® 316



D 182

CoroMill® со
сферическим концом



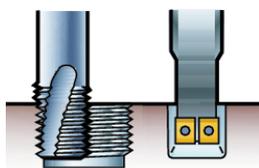
D 164

D 165

Фрезы со сферическим концом, главным образом, предназначены для 3D профильной обработки (рельефные поверхности).

- Фрезы со сферическим концом CoroMill Plura и CoroMill 316 подходят для всех этапов обработки от черновых до чистовых.
- Фрезы со сферическим концом со сменными твердосплавными пластинами CoroMill 216 предназначены для получистового фрезерования, а назначением фрез типа CoroMill 216F является обработка на чистовой стадии.

Фрезы для обработки канавок, пазов и резьб



Страница

CoroMill® Plura



D 95

CoroMill® 327
CoroMill® 328



D 166

CoroMill®
329



D 168

CoroMill®
331



D 170

Данный тип фрез необходим для обработки канавок и пазов различной глубины. Формирование резьбы также можно отнести к прорезке пазов, но по винтовой траектории.

- Фрезы CoroMill 327 и 328 комплектуются твердосплавными пластинами либо для получения канавок, либо нарезания резьбы.
- Канавки и пазы общего назначения рекомендуется обрабатывать фрезами CoroCutter. А фреза Q-Cutter является отличным дополнением, расширяющим область применения первой.
- Широкоуниверсальные дисковые фрезы CoroMill 331 обеспечивают выполнение разнообразных типов операций, включая фрезерование поднутрений.

Обслуживание инструмента

Регулярно проверяйте состояние посадочных гнезд под пластины на предмет наличия повреждений. Перед установкой пластин убедитесь, что на базовых поверхностях державки нет следов загрязнений или стружки после предыдущего использования.

Своевременно меняйте износившиеся винты. Для затяжки пластин необходимо всегда использовать динамометрический ключ для соблюдения рекомендованных значений моментов.

Для того чтобы получить ожидаемый результат работы инструмента, мы рекомендуем регулярно очищать и смазывать соединительные элементы, по крайней мере, не реже одного раза в год. При этом смазку следует наносить не только на резьбу винта, но и на тыльную поверхность его головки.



Динамометрический ключ

Одним из условий получения ожидаемо высоких результатов при фрезеровании является закрепление пластин с рекомендованным моментом затяжки, поэтому мы настоятельно рекомендуем использование динамометрического ключа.

Превышение рекомендованного значения момента негативно сказывается на работе инструмента и может вызвать поломку пластины или крепежных элементов.

Недотянув винты, вы рискуете надежным закреплением пластин. В связи с чем, в процессе резания могут возникнуть нежелательные вибрации и, соответственно, ухудшатся результаты обработки. Рекомендуемые значения моментов затяжки крепежных винтов пластин приведены в «Основном каталоге».

Меры предосторожности – опасные моменты

- Стружка имеет большую температуру и очень острые кромки. При неосторожном обращении может вызвать ожог на коже или повредить глаза.
- Удостоверьтесь в надежности закрепления всех элементов инструментальной наладки во избежание ослабления крепежных соединений в процессе обработки. Слишком большой вылет инструмента может стать причиной возникновения вибраций и даже поломки инструмента.
- Соблюдайте меры предосторожности или используйте защитный кожух на станке. Из зоны обработки может на большой скорости вылететь стружка или другие металлические элементы.
- Убедитесь в достаточной мощности оборудования при черновом фрезеровании с большой глубиной резания.

Внимание! Максимальное число оборотов шпинделя.

При большой частоте вращения инструмента, вес пластин и крепежных элементов возрастает, что может повлиять на надежность их соединения. Поэтому строго рекомендуется осуществлять высокоскоростную обработку только на станках, обеспечивающих безопасность процессов подобного рода.

Перед установкой пластин, убедитесь в том, что посадочные поверхности и сами пластины, не имеют повреждений и загрязнений, что может стать причиной неудовлетворительного закрепления.

Закрепление пластин размером 16 мм необходимо осуществлять с моментом 2 Нм, а пластин размером 22 мм – с моментом 5 Нм.

Примечание: Вес 19-тигравмовой пластины при её вращении со скоростью 37500 об/мин составляет 350 кг.

Станки для фрезерования

Тип станка и количество осей

До недавнего времени металлорежущие станки можно было разделить лишь по нескольким основным признакам – токарные или фрезерные, горизонтальной или вертикальной компоновки.

Сегодня, станкостроение шагнуло далеко вперед. В связи с чем, вышеупомянутая градация становится далеко неполной. Например, на современных токарных центрах уже можно выполнять фрезерные операции, при условии наличия инструментального шпинделя. 5-координатные станки получили довольно широкое распространение, о чем свидетельствует уровень современного программного обеспечения. Столь интенсивное развитие станочного парка, не могло не повлиять на режущий инструмент, требования к которому заметно изменились.

- Большая универсальность применения
- Меньшее количество переходов, установов для получения готовой детали
- Возможность работать в условиях невысокой жесткости системы СПИД
- Работа с большим вылетом
- Небольшие глубины резания.

Расположение шпинделя – горизонтальное или вертикальное?

Горизонтальное:

- Предпочтительно для фрезерования крупных заготовок.
- Благоприятные условия для эвакуации стружки при фрезеровании полостей, отсутствие риска повторного резания стружки.
- Меньшая масса способствует более быстрому перемещению шпиндельного узла.
- Как правило, четыре подвижных оси обеспечивают доступ к заготовке с трех сторон.
- Эргономичная и экономичная система сменных паллет.
- Наиболее распространенный тип станков для трехсторонних дисковых фрез.

Небольшие вертикальные центры:

- Компактность станков позволяет разместить их на ограниченном пространстве.
- Хорошо подходят для высокоскоростной обработки – “легкие и быстрые”.

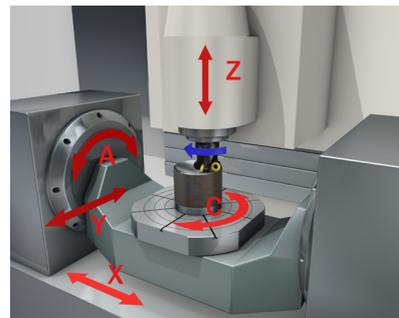
Большие вертикальные центры:

- Обеспечивают большую стабильность процесса за счет отсутствия перемещений детали.
- Подходят для массивных, крупногабаритных деталей.
- Станки колонного типа для обработки деталей гигантского размера.
- Возможна обработка инструментом с увеличенным вылетом и большой массой.

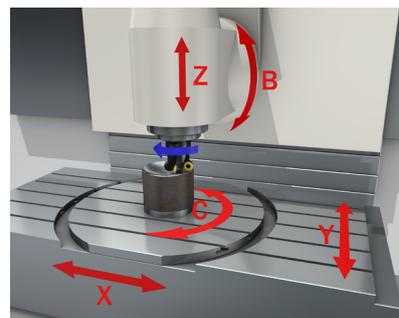
Стабильность

Состояние станка и его жесткость имеют прямое отношение к качеству обработанных на нем деталей. А также характеристики оборудования напрямую влияют на стойкость режущего инструмента. Износ подшипников шпиндельного узла или механизма подачи может привести к резкому снижению качества обработанной поверхности.

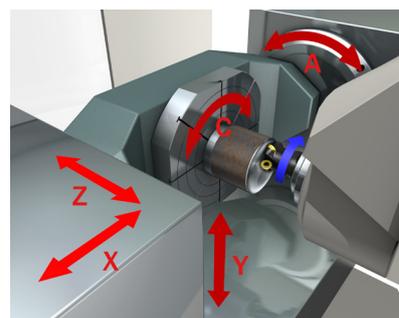
Жесткость инструментальной наладки в целом является наиважнейшим фактором на любой фрезерной операции. Здесь необходимо учитывать вылет инструмента, возможность применения соединения Coromant Carpo, использование antivибрационных адаптеров и т.д.



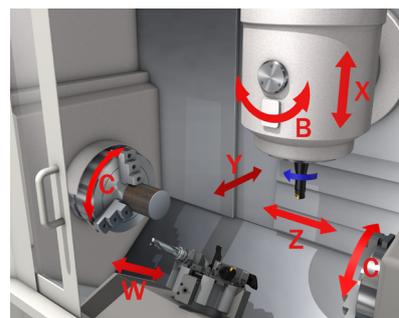
Вертикальный обрабатывающий центр с пятой осью A.



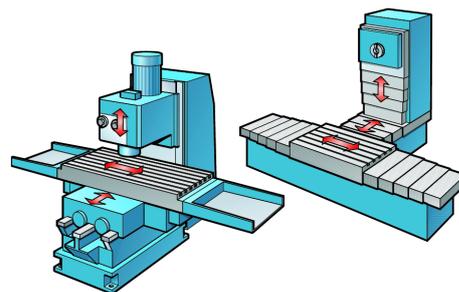
Вертикальный обрабатывающий центр с пятой осью B.



5-осевой горизонтальный обрабатывающий центр.



5-осевой многоцелевой станок.



Вертикальный и горизонтальный 3-осевые станки.

Мощность и крутящий момент

Параметры, определяющие требования по мощности фрезерного оборудования:

- объём снимаемого металла
- средняя толщина стружки
- геометрия пластины/инструмента
- скорость резания.

Чем больше скорость снятия металла, тем более мощный станок потребуется. Черновое фрезерование труднообрабатываемых материалов на низких оборотах шпинделя предъявляет серьезные требования к станку по мощности и значению передаваемого момента.

На станках с ограничениями по мощности и моменту образуется стружка переменной толщины, что делает процесс резания крайне нестабильным.

Преобладающее большинство современных обрабатывающих центров имеют мотор-шпиндель. Результатом непрерывного увеличения скоростных и/или функциональных возможностей станков являются:

- Небольшой момент на высоких скоростях
- На низких оборотах - невысокая мощность

Поэтому высокоскоростные станки не подходят для черновой обработки фрезами большого диаметра.

В связи с вышесказанным несколько изменился в целом подход к выбору метода фрезерования. Современные тенденции можно охарактеризовать как необходимость в инструменте для «легкой и быстрой» обработки, небольшого диаметра, с небольшими глубинами резания, a_p/a_e , и большими подачами на зуб, f_z .

При необходимости обеспечения высокой мощности на низких оборотах станки могут быть оснащены редуктором, что позволит выполнять на данном оборудовании и черновые, и чистовые операции.

Размер шпинделя

Станки с размером шпинделя ISO 30, 40, 50 и 60 обладают определенными преимуществами и имеют некоторые ограничения.

Выполнение тяжелых фрезерных операций требует большего размера шпинделя, в то время как высокоскоростное фрезерование, при котором нет необходимости в передаче высокого момента, целесообразнее осуществлять на станках с небольшим размером шпинделя.

Размер шпинделя определяет возможный максимальный диаметр фрезы и глубину резания, с которой можно вести обработку на данном станке.

В связи с большим разнообразием фрезерных станков очень сложно сформулировать рекомендации, справедливые для всех типов, но общее правило по выбору размера фрезы выглядит так:

ISO 60 – “большие фрезы”.

ISO 50/Coromat Capto размер C8 – D_c 160 мм.

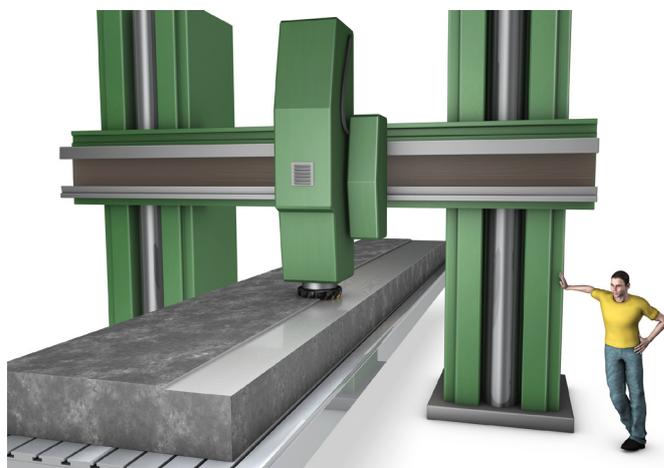
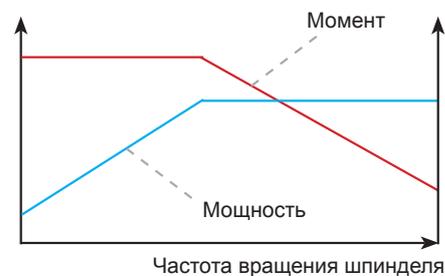
ISO 40/Coromat Capto размер C6 – D_c 100 мм.

ISO 30/Coromat Capto размер C4 – D_c 50 мм.

Длиннокромочные фрезы требуют как минимум конуса ISO 50 или соединения Coromant Capto размером C8.

Интегрированное в шпиндель соединение инструмента повышает стабильность процесса.

На станках портального типа и других крупногабаритных станках, фрезы могут устанавливаться непосредственно в шпиндель. Данный способ крепления обеспечивает высочайшую стабильность и минимально возможный вылет наладки.



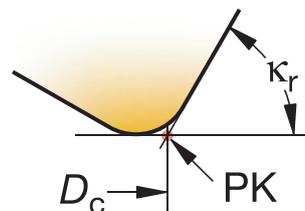
Гигантский станок портального типа для тяжелого фрезерования.

Основные определения

Процесс фрезерования

Главный угол в плане – K_r (градусы)

Основным геометрическим параметром фрезы является главный угол в плане, (K_r), определяющий направление сил резания и толщину срезаемой стружки, см. стр. D18.



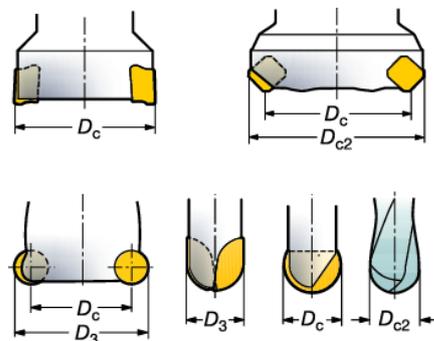
Диаметр фрезы – D_c (мм)

Диаметр фрезы, (D_c) измеряется по точкам пересечения линии режущей кромки и зачистной фаски.

Для большинства типов фрез именно этот диаметр указан в таблице для заказа. Исключением является фреза CoroMill 300, для которой указан диаметр D_3 .

Наиболее информативным является эффективный диаметр фрезы, (D_{cap}) на определенной глубине резания (a_p). Значение этого диаметра используется для расчета скорости резания (v_e), см. стр. D 76.

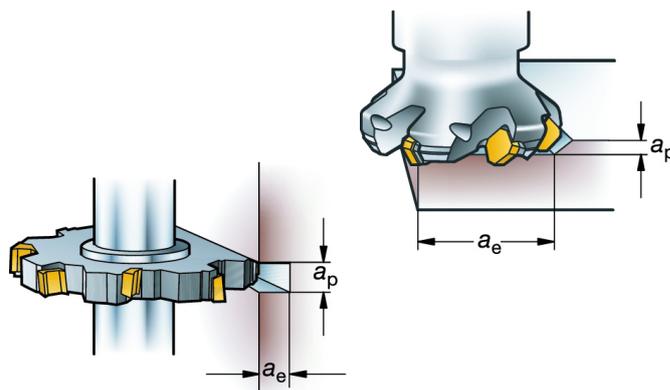
Максимальный диаметр по пластинам D_3 для некоторых типов фрез равен диаметру D_c .



Глубина резания – a_p (мм)

Глубина резания, (a_p) это расстояние между обработанной и необработанной поверхностями, измеряемое вдоль оси фрезы. Максимальное значение a_p , как правило, ограничивается размером пластины и возможностями станка по мощности.

При выполнении черновых операций существенное значение имеет величина передаваемого момента. На чистовых этапах обработки более важным становится наличие или отсутствие вибраций.



Ширина фрезерования – a_e (мм)

Шириной фрезерования, (a_e) называют величину срезаемого припуска, измеренную в радиальном направлении. Данный параметр особенно важен при плунжерном фрезеровании. Максимальное значение a_e также имеет значение при возникновении проблем с вибрациями при фрезеровании в углах.

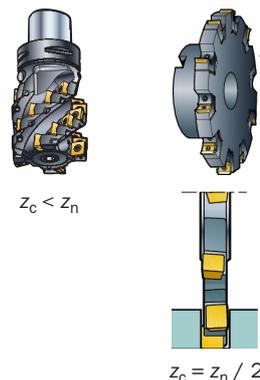
Ширина перекрытия – a_e / D_c

Ширина перекрытия, (a_e / D_c) это отношение ширины фрезерования к диаметру фрезы.

Эффективное число зубьев фрезы – z_c

Данная величина используется для определения минутной подачи, (v_f) и производительности. Зачастую, она имеет решающее влияние на характер стружкоотвода и стабильность операции в целом.

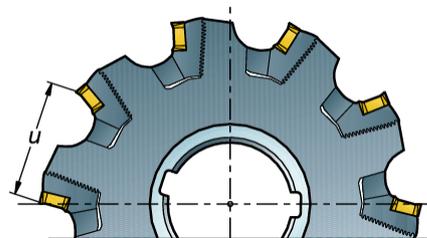
Число зубьев фрезы – z_n



Шаг зубьев – u (мм)

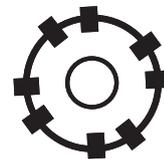
Расстояние между одинаковыми точками соседних зубьев, (u).

Для определенного диаметра фрезы может быть выбран различный шаг зубьев. Он может быть крупным (-L), нормальным (-M) и мелким (-H). Буква X в коде фрезы указывает на особо мелкий шаг пластин.



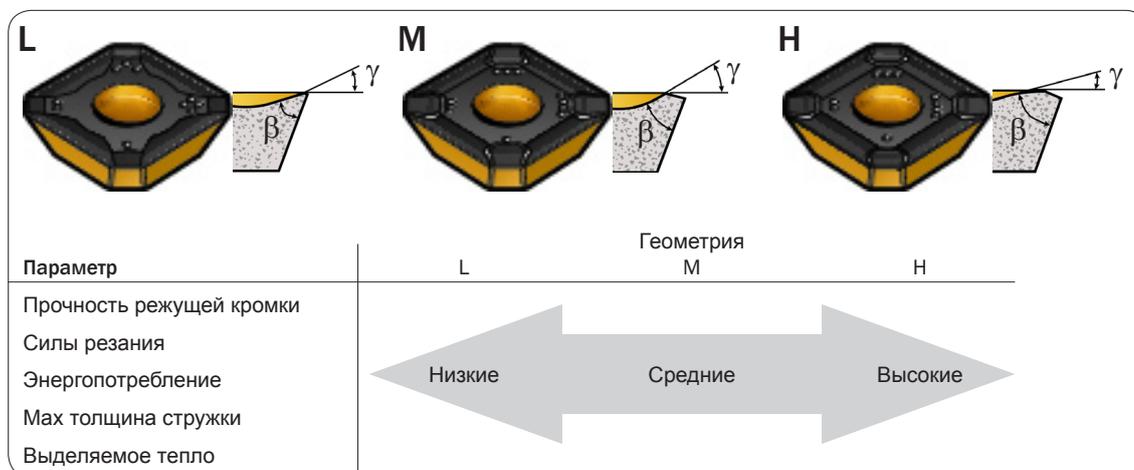
Неравномерный шаг

Означает разное расстояние между зубьями фрезы. Фрезы с неравномерным шагом сводят к минимуму риск возникновения вибраций. Более подробно о шаге зубьев см. на стр. D17.



Фрезерные пластины

Геометрия пластины



Наиболее важными параметрами режущей пластины можно назвать два угла:

- передний угол (γ)
- угол режущего клина (β)

Выбор геометрии пластин условно упрощен до трех областей, различающихся условиями резания, легкими, средними и тяжелыми.

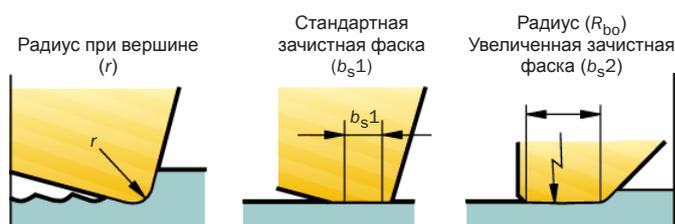
- L (легкая) геометрия имеет более острую, но менее прочную режущую кромку (большой γ , маленький β)
- H (тяжелая) геометрия характеризуется прочной и более тупой режущей кромкой (маленький γ , большой β)

От геометрии пластины зависит множество параметров резания. Пластина с прочной режущей кромкой способна выдерживать большие нагрузки, но в этом случае силы резания достаточно высоки, потребляется больше энергии и выделяется большее количество тепла.

Существует также подразделение геометрий пластин по группам обрабатываемых материалов. Например, геометрии для обработки чугунов: KL, KM, KH.

Геометрия вершины пластины

Участок режущей кромки, определяющий качество обработанной поверхности, это стандартная зачистная фаска b_{s1} либо увеличенная зачистная фаска b_{s2} , или радиус при вершине пластины r_c .



Процесс фрезерования

Скорость резания – v_c (м/мин)

Это окружная скорость перемещения режущих кромок фрезы на диаметре, являющаяся основополагающим параметром для расчета режимов резания.

Рекомендуемые значения скоростей резания для обработки всех групп материалов при различной толщине срезаемой стружки h_{ex} приведены в "Основном каталоге".

Эффективная или истинная скорость резания

Это скорость резания на эффективном диаметре (D_{cap}).

Это значение необходимо при расчете конкретных режимов резания на определенной глубине резания (a_p). Данный параметр важен при использовании фрез с круглыми пластинами, концевых фрез со сферическим концом и всех фрез с большим радиусом при вершине, а также фрез с главным углом в плане менее 90° .

$$v_c = \frac{D_{cap} \times \pi \times n}{1000}$$

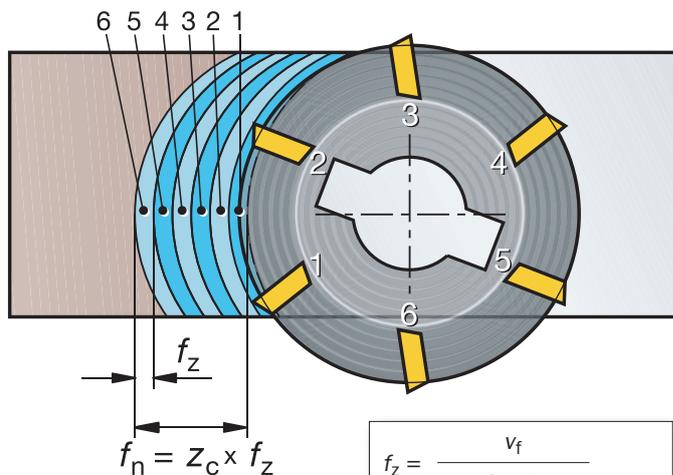
Частота вращения шпинделя – n (об/мин)

Число оборотов фрезы в минуту. Это величина, имеющая отношение к станку, вычисляется в соответствии с рекомендованной для данного типа обработки скоростью резания.

Подача на зуб – f_z (мм/зуб)

Параметр, необходимый для расчета режимов резания, такого, например, как минутная подача. Подача на зуб рассчитывается исходя из максимально рекомендуемой толщины стружки (h_{ex}) и главного угла в плане.

Рекомендуемые начальные значения подачи на зуб (f_z) для большинства типов фрез CoroMill приведены на стр. D192 данного издания и в "Основном каталоге". Для фрез CoroMill Plura также учитывается группа обрабатываемого материала.



$$f_z = \frac{V_f}{n \times z_c}$$

Подача на оборот – f_n (мм/об)

Вспомогательный параметр, иллюстрирующий относительное смещение фрезы и заготовки за один оборот фрезы.

Используется для вычисления подачи и, зачастую, является определяющим ограничивающим параметром в отношении чистовой обработки.

Минутная подача – v_f (мм/мин)

Минутная подача или скорость подачи отражает скорость перемещения заготовки и, соответственно, стола в минуту. Она вычисляется исходя из подачи на зуб (f_z) и количества зубьев фрезы (z_n).

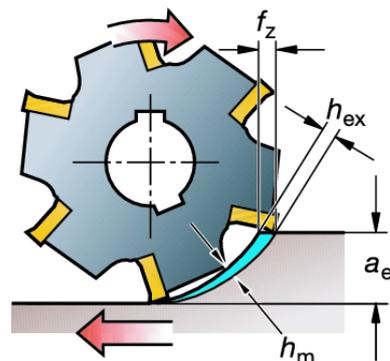
Максимальная толщина стружки – h_{ex} (мм)

Данная величина связана с подачей на зуб (f_z), шириной фрезерования (a_e) и главным углом в плане (κ_r).

Толщина стружки является важным фактором при определении подачи на зуб, соответствующей максимально возможной минутной подаче. См. стр. D20.

Средняя толщина стружки – h_m (мм)

Необходима для расчета удельной силы резания, которая, в свою очередь, участвует в расчете потребной мощности.

**Производительность снятия металла – Q (см³/мин)**

Это объем удаляемого материала в единицу времени, определяемый глубиной, шириной обработки и величиной подачи.

Удельная сила резания – k_{ct} (Н/мм²)

Величина, характеризующая обрабатываемый материал с точки зрения затрат мощности на резание и толщины стружки. Более подробная информация в разделе "Материалы", глава H.

Мощность P_c и коэффициент полезного действия η_{mt}

Характеристики станка, позволяющие оценить возможность применения инструмента и выполнения данного типа операции на данном типе оборудования.

$$P_c = \frac{a_p \times a_e \times v_f \times k_c}{\eta_{mt} \times 60 \times 10^6}$$

Более подробная информация и вычисления в разделе "Информация/Указатели", глава I.

Время резания – T_c (мин)

Вычисляется как отношение длины резания (l_m) к минутной подаче (v_f).

Основные понятия, использующиеся в данном руководстве

Определения наиболее распространенных понятий в области резания. Не пренебрегайте их использованием при необходимости коротко сформулировать или упомянуть какой-либо вид обработки в отношении инструмента Sandvik Coromant.

Высокоскоростная обработка

Высокоскоростной обработке (HSM) в разных разделах данного издания посвящены отдельные параграфы.

Линейное врезание

Одновременное поступательное перемещение инструмента в осевом и радиальном направлениях.

Фрезерование по круговой траектории

Перемещение инструмента по круговой траектории при постоянной координате z (круговая интерполяция).

Врезание по круговой траектории

Движение инструмента по винтовой траектории (винтовая интерполяция).

Одноуровневое фрезерование

Фрезерование с постоянной координатой z.

Фрезерование с точечным контактом

Обработка точкой на сферической части фрезы, отклоненной от центра.

Профильное фрезерование

Формирование повторяющихся выступов при профильной обработке поверхностей сферическим инструментом.

Производительность фрезерования

Производительность, определяемая во фрезеровании величиной удельного объема снимаемого материала (Q , см³/мин), может быть увеличена или оптимизирована самыми разными способами. Правильный выбор инструмента играет при этом, несомненно, важную роль. Но не менее значимым является и выбор оптимального метода фрезерования.

Семь примеров, приведенных ниже, иллюстрируют, за счет чего можно повысить режимы резания, увеличив тем самым эффективность операций фрезерования.



Тип обработки	1	2	3	4	5	6	7
	Торцевое фрезерование Алюминий	Периферийное фрезерование Небольшое a_e/D_c	Профильное фрезерование Чистовая обработка	Торцевое фрезерование Малый угол в плане	Торцевое фрезерование Тяжёлая обработка	Торцевое фрезерование Wiper	Торцевое фрезерование Чугун
Параметры резания	v_c	Высокая	Высокая	Высокая			
	n		Высокая	Высокая			
	f_z		Высокая		Высокая	Высокая	Высокая
	z						Высокая
	v_f	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая
	a_p			Малая	Малая		Малая
	a_e		Малая	Малая		Высокая	

$Q = v_f \times a_p \times a_e / 1000$ (см³/мин), где $v_f = f_z \times n \times z_n$ (мм/мин)

1. Торцевое фрезерование – Высокая скорость резания, v_c
При обработке алюминия и иногда при обработке чугуна пластинами из CBN или керамики, скорость резания может превышать 1000 м/мин, что, соответственно, означает очень высокую минутную подачу, v_f . Фрезерование на таких режимах можно назвать высокоскоростной обработкой (HSM).

2. Периферийное фрезерование – Высокие скорость резания, v_c , и подача, f_z
Когда фреза работает с небольшим радиальным припуском, a_e , время контакта инструмента с заготовкой очень маленькое и, соответственно, режущая кромка нагревается несильно. А это значит, что скорость резания может быть увеличена по отношению к стандартному рекомендованному значению. Также может быть увеличено и значение подачи, f_z , потому что максимальная толщина стружки, h_{ex} , в этом случае будет небольшой. Подача будет ограничена лишь требованиями по качеству обработанной поверхности. Более подробная информация на стр. D50.

3. Профильное фрезерование – Высокая частота вращения шпинделя, n
Данный метод фрезерования также называют высокоскоростной обработкой (HSM) и, как правило, используют на финишных этапах обработки криволинейных поверхностей фрезами со сферическим концом. Более подробная информация на стр. D76.

4. Торцевое фрезерование с малым углом в плане и с высокой подачей, f_z
Фрезы с небольшим углом в плане позволяют существенно увеличивать подачу, f_z . Это объясняется эффектом утонения стружки при небольшом значении a_p . Более подробная информация на стр. D20.

5. Тяжёлое фрезерование – большая глубина резания – тяжёлые условия
Для тяжёлого фрезерования используются фрезы большого диаметра с пластинами большого размера. При стандартном значении скорости резания, высокая производительность достигается за счет больших значений a_p и f_z , в сочетании с большой шириной фрезерования, a_e . Более подробная информация на стр. D62.

6. Чистовая обработка пластинами Wiper
На финишных операциях с использованием больших торцевых фрез подачу на зуб, f_z , следует назначать невысокой. Однако, за счет комплектации фрезы пластинами wiper, подача может быть увеличена в 2-3 раза без снижения качества поверхности. Более подробная информация на стр. D64.

7. Торцевое фрезерование – особо мелкий шаг фрезы
При фрезеровании материалов, дающих элементную стружку, таких как чугун, рекомендуется выбирать фрезу с особо мелким шагом, что увеличит минутную подачу. Фрезы данного типа также обеспечат высокое значение минутной подачи при обработке жаропрочных сплавов, выполняемой с низкими скоростями резания.

"Легкая и быстрая" обработка: Операции 2, 3 и 4 характеризуются небольшой шириной, a_e , и/или глубиной фрезерования, a_p , что означает невысокие усилия резания и отсутствие риска перегрева режущих кромок. Следовательно, на них могут быть увеличены скорость и/или подача.

Общие рекомендации

Шаг фрезы и количество зубьев

При выборе оптимального эффективного числа зубьев фрезы, z_c , для выполнения той или иной операции необходимо также учитывать шаг, с которым зубья распределяются по диаметру. Равномерный шаг зубьев доступен для всех типов фрез CoroMill.

В зависимости от диаметра и числа зубьев, некоторые фрезы также имеют исполнение с неравномерным шагом зубьев, т.е. неравным расстоянием между пластинами.

Преимуществом такого исполнения фрезы является сниженная склонность к вибрациям, а, соответственно, повышенная стабильность обработки. Такие фрезы рекомендуются при большом значении a_e и увеличенном вылете.

Шаг фрезы влияет на:

- Производительность
- Стабильность
- Энергопотребление
- Возможность обработки того или иного материала.

С увеличением числа режущих зубьев, увеличивается минутная подача, при сохранении скорости резания и подачи на зуб на том же уровне и без риска перегрева режущей кромки.

Увеличение количества зубьев изменяет конструктивные особенности фрезы. Меньшее расстояние между пластинами означает, что пространство для размещения стружки уменьшается. Именно этим объясняется тот факт, что такие фрезы, чаще всего, изготавливают с равномерным шагом.

Мощность оборудования зачастую является ограничивающим фактором при расчете эффективного числа зубьев.

Ассортимент фрез Sandvik Coromant включает три разновидности шага, удовлетворяющих конкретным условиям обработки:

Крупный –L
Нормальный –M
Мелкий –H

Фрезы с более частым расположением зубьев (шаги -M и -H) предназначены для обработки в условиях высокой стабильности и при небольшой ширине фрезерования, a_e . В процессе работы этих фрез, в резании гарантированно находится более одного зуба.



Крупный шаг –L

Уменьшенное количество пластин и неравномерный шаг.

- Первый выбор для нестабильных условий обработки за счет минимальных усилий резания
- Ограничения по мощности
- Большие вылеты инструмента
- Фрезерование на полную глубину паза
- Длинностружечные материалы группы ISO N (большое пространство для стружки).



Нормальный шаг –M

Равномерный или переменный шаг, в зависимости от типа фрезы, со средним количеством зубьев.

- Первый выбор для черновой обработки в стабильных условиях
- Хорошая производительность
- Достаточное пространство стружечных канавок для чернового фрезерования материалов групп ISO P, M и S.



Мелкий шаг –H

Равномерный шаг и максимальное количество пластин.

- Первый выбор для высокопроизводительного фрезерования с небольшой a_e (более одного зуба в зацеплении)
- Черновая и чистовая обработка материалов группы ISO K
- Черновая обработка жаропрочных сплавов в сочетании с круглыми пластинами.



Примечание: Добавленная к коду фрезы буква X указывает на особо мелкий шаг пластин, по сравнению со стандартным исполнением.

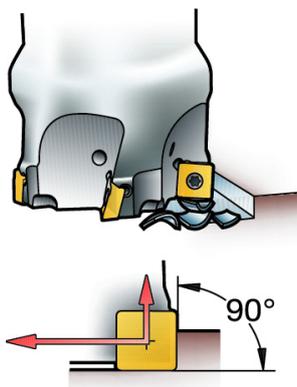
Главный угол в плане

Это угол, измеряемый между главной режущей кромкой и обрабатываемой поверхностью.

Он определяет толщину срезаемого слоя, оказывает влияние на направление сил резания и стойкость инструмента.

В основном фрезы выпускаются с главным углом в плане 90° , 45° и 10° , а также фрезы с круглыми пластинами.

- Снижение угла в плане, K_r , ведет к образованию более тонкой стружки, h_{ex} , для данного диапазона подач, f_z . Уменьшение толщины стружки происходит из-за распределения одного и того же объема снимаемого металла на большей длине режущей кромки.
- При меньшем угле в плане режущая кромка постепенно входит в работу и выходит из нее. Это уменьшает радиальную составляющую силы резания и защищает режущую кромку от возможных поломок.
- Неблагоприятным последствием небольшого угла в плане является увеличение осевой составляющей силы резания, что вызывает ухудшение шероховатости поверхности тонкостенных деталей.



Фрезы с углом в плане 90°

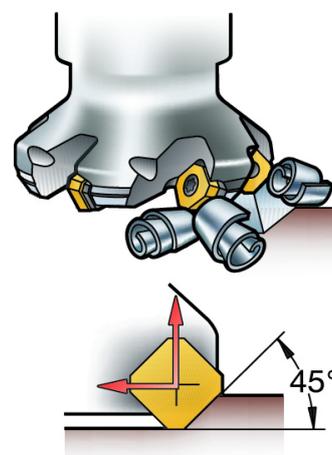
- Основная область применения таких фрез - обработка прямоугольных уступов.
- Сила резания направлена преимущественно радиально, в соответствии с направлением подачи.
- Обрабатываемая поверхность не подвергается большому давлению, что является преимуществом при обработке нежестких заготовок или при низкой жесткости приспособления.

Программа фрез: CoroMill 290, CoroMill 390, CoroMill 490, CoroMill 590, CoroMill 690, CoroMill 790, CoroMill Plura и чистовые фрезы Auto-FS. Фрезы специального назначения - дисковые фрезы CoroMill 331, CoroMill 327/328 и фрезы T-Max Q-cutter.

Фрезы с углом в плане 45°

- Основной выбор для торцевого фрезерования.
- Баланс осевых и радиальных сил резания.
- Плавный вход в резание.
- Меньшая склонность к вибрациям при работе с большим вылетом инструмента или при закреплении в приспособлениях с небольшими усилиями зажима.
- Особенно рекомендуются для обработки материалов, дающих элементную стружку и склонных к выкрашиванию при значительных радиальных усилиях на выходе инструмента.
- Меньшая толщина срезаемого слоя позволяет увеличивать минутную подачу стола при умеренных нагрузках на режущую кромку.

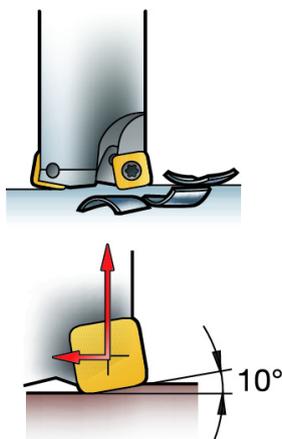
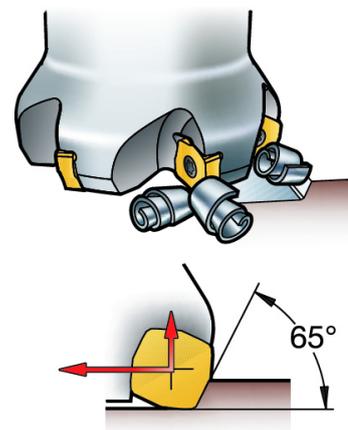
Программа фрез: CoroMill 245, CoroMill 345, T-Max 45 и фрезы Sandvik Auto.



Фрезы с углом в плане от 60° до 75°

- Фрезы специального назначения, позволяющие работать с большей глубиной резания по сравнению с фрезами общего назначения.
- Меньшие осевые усилия по сравнению с торцевыми фрезами с углом 45°.
- Более прочная режущая кромка в отличие от фрез с углом 90°.

Программа фрез: CoroMill 360, CoroMill 365 и фрезы Auto AF.

**Фрезы с углом в плане 10°**

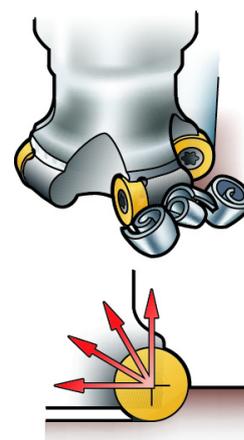
- Фрезерование с большими подачами и плунжерное фрезерование.
- Стружка небольшой толщины позволяет работать с большим значением подачи на зуб, f_z , при небольшой глубине резания и, соответственно, очень высокой минутной подаче, v_f .
- Преобладание осевой составляющей силы резания, направленной к шпинделю. Это уменьшает склонность к вибрациям и представляет преимущество при большой длине и низкой жесткости наладки.
- Плунжерное фрезерование карманов и необходимость в инструменте с большим вылетом.
- Эффективное решение для трехкоординатной обработки отверстий.

Программа фрез: CoroMill 210, CoroMill 316 и высокопроизводительные фрезы CoroMill Plura.

Фрезы с круглыми пластинами или с большим радиусом при вершине

- Высокопроизводительный инструмент для выполнения чернового фрезерования.
- Радиусная геометрия обеспечивает высокую прочность режущей кромки.
- Возможность работы при больших подачах стола, благодаря образованию довольно тонкой стружки на большой длине режущей кромки.
- Рекомендуются для фрезерования труднообрабатываемых материалов, таких как титан и жаропрочные сплавы.
- Угол в плане меняется в процессе резания от 0 до 90°, и, соответственно, меняется и направление сил резания. Направление суммарной нагрузки зависит от глубины резания, a_p .

Программа фрез: CoroMill 200, CoroMill 300 и – при небольших глубинах резания – CoroMill 390 с радиусными пластинами; фрезы со сферическим концом CoroMill 216 и CoroMill 216F. Целые твердосплавные фрезы CoroMill Plura и CoroMill 316 в исполнении с большим радиусом при вершине.



Максимальная толщина срезаемого слоя

Максимальная толщина стружки является определяющим параметром производительного и надежного процесса фрезерования.

Эффективное резание будет иметь место только в том случае, когда это величина точно соответствует используемому типу фрезы.

- Занижение толщины срезаемой стружки, h_{ex} , в большинстве случаев, является причиной низкого уровня производительности. Это также негативно сказывается на стойкости инструмента и процессе стружкодробления.
- Завышение предельно допустимого значения толщины срезаемого слоя грозит перегрузкой режущей кромки, в результате чего может произойти ее поломка.



Эффект утонения стружки позволяет увеличивать подачу

Увеличение подачи на зуб допустимо в трех случаях:

1. Прямолинейная режущая кромка с углом в плане меньше 90° .
2. Круглые пластины или пластины с большим радиусом при вершине при небольшой глубине резания, a_p .
3. Работа периферийной частью фрезы при небольшой ширине фрезерования, a_e/D_e .

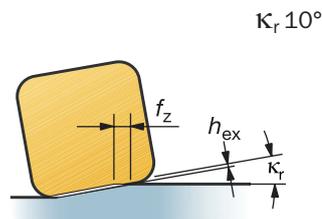
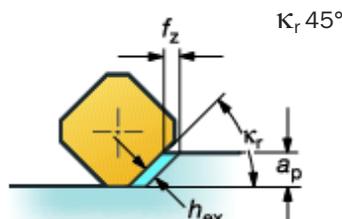
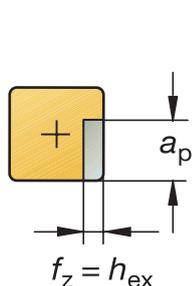
1. Пластины с прямолинейной режущей кромкой

При прямолинейной режущей кромке толщина стружки, h_{ex} , равна подаче на зуб, f_z если угол в плане равен 90° . С уменьшением угла в плане, K_r , подача на зуб, f_z может быть увеличена.

Пример расчета:

При максимальной толщине стружки, h_{ex} , 0.1 мм и главном угле в плане, K_r , 45° , рекомендуемая подача на зуб, f_z , составит $1.4 \times 0.1 = 0.14$ мм/зуб.

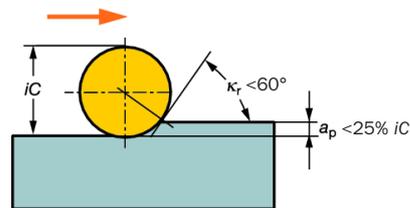
Главный угол в плане K_r	Поправочный коэффициент	f_z (мм/зуб):		
		h_{ex} (мм) min 0.1	начал. 0.15	max 0.2
90°	1.0	0.10	0.15	0.20
75°	1.0	0.10	0.16	0.21
65°	1.1	0.11	0.17	0.22
45°	1.4	0.14	0.21	0.28
10°	5.8	0.58	0.86	1.15



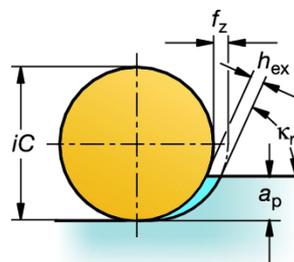
$$h_{ex} = f_z \times \sin K_r$$

2. Круглые пластины и пластины с большим радиусом при вершине

- Наилучшая производительность при работе фрезами с круглыми пластинами или фрезами со сферическим концом с небольшой глубиной резания, когда κ_r не превышает 60° . Глубина резания не должна быть больше 25% от размера пластины iC .
- Для работы с большей глубиной резания лучше подойдут фрезы с квадратными пластинами с постоянным значением главного угла в плане, κ_r , равного 45° .
- Толщина срезаемой стружки, h_{ex} , у фрез с круглыми пластинами варьируется в зависимости от главного угла в плане. При небольшом отношении a_p/iC возможно значительное повышение подачи и, соответственно, увеличение толщины срезаемого слоя до необходимого уровня.
- Круглые пластины обладают большими возможностями по толщине срезаемой стружки, чем фрезы с прямолинейной режущей кромкой. Это объясняется большей протяженностью режущей кромки и ее большей прочностью.



$$\cos \kappa_r = \frac{(0.5 iC - a_p)}{0.5 iC}$$



$$f_z = \frac{h_{ex} \times iC}{2 \times \sqrt{a_p \times iC - a_p^2}}$$

Пример: фреза CoroMill 300 с пластинами геометрии E-PL

iC	Мак толщина стружки, h_{ex} (мм)			Подача на зуб, f_z (мм)									
	Min	Начал.	Max	a_p (мм)									
				0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4		
8	0.1	0.15	0.2	0.31	0.23	0.19	0.17						
10	0.1	0.2	0.25	0.46	0.33	0.28	0.25	0.23					
12	0.1	0.2	0.25	0.50	0.36	0.30	0.27	0.25	0.23				
16	0.1	0.2	0.25	0.57	0.41	0.34	0.30	0.28	0.26	0.24	0.23		

3. Периферийное фрезерование

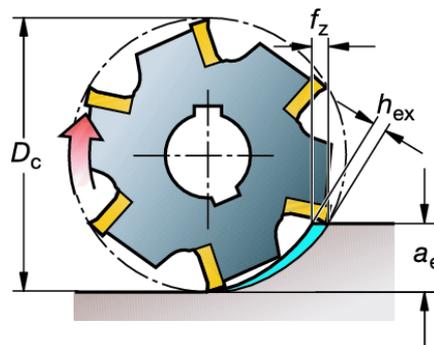
Значение h_{ex} зависит от диаметра фрезы и ширины фрезерования, a_e/D_c .

Когда это отношение менее 50%, максимальная толщина стружки уменьшается в соответствии с f_z .

Подача может быть увеличена на величину поправочного коэффициента, зависящего от ширины фрезерования, a_e/D_c .

Пример:

$D_c = 20$ мм, $a_e = 2$ мм, $a_e/D_c = 10\%$
 $h_{ex} = 0.1$ мм, $f_z = 0.17$ мм/зуб.



Ширина фрезерования a_e/D_c	Поправочный коэффициент	f_z (мм/зуб):		
		h_{ex} (мм)		
		min	начал.	max
50-100%	1.0	0.1	0.15	0.20
25%	1.16	0.12	0.17	0.23
20%	1.25	0.13	0.19	0.25
15%	1.4	0.14	0.21	0.28
10%	1.66	0.17	0.25	0.33
5%	2.3	0.23	0.34	0.46

Стружкообразование в зависимости от направления фрезерования

Нагрузка на режущую кромку

Каждый раз, когда режущая кромка входит в зону резания она испытывает ударные нагрузки. Поэтому для успешного протекания процесса фрезерования крайне важно создать соответствующие условия входа и выхода инструмента из зоны резания.

Попутное фрезерование

Попутное фрезерование (фрезерование по подаче) – это способ, при котором направление движения заготовки совпадает с вектором скорости резания.

- Попутное фрезерование является предпочтительным при условии, что жесткость оборудования, крепления и обрабатываемый материал позволяют применять данный метод.
- Толщина стружки на входе зуба в резание максимальна и уменьшается до нулевого значения на выходе. Это помогает избежать повышенного трения и выглаживания обрабатываемой поверхности в начальный момент резания.
- Большая толщина стружки является в данном случае преимуществом. Силы резания прижимают заготовку к столу станка, а пластины в гнезда корпуса.

Отдельные случаи, когда встречное фрезерование предпочтительно:

- При попутном фрезеровании силы резания стремятся затянуть фрезу на обрабатываемый припуск и прижать заготовку. Поскольку направление скорости резания и подачи совпадают, требуется безззорный привод в механизме подачи стола.
- Смещение под действием сил резания стола или заготовки приведет к “подрыву” – внезапному увеличению подачи на зуб, что чревато поломкой.
- В случае, когда припуск распределен не равномерно, встречное фрезерование предпочтительнее.

Примечание: При использовании керамических пластин для обработки жаропрочных сплавов рекомендуется выбирать встречное фрезерование, что связано с повышенной чувствительностью керамических пластин к удару, имеющему место при входе в резание.

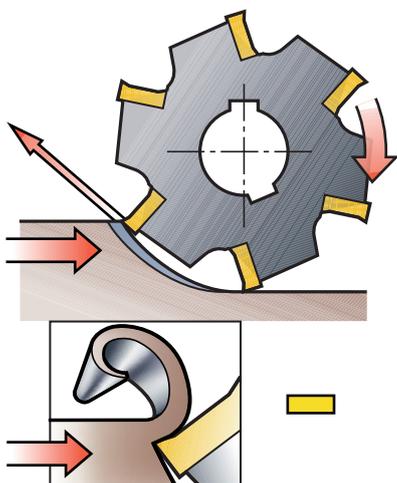
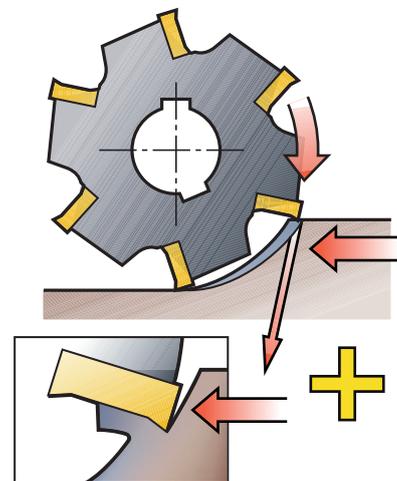
Встречное фрезерование

При встречном фрезеровании (традиционном фрезеровании) скорость резания и движение подачи заготовки направлены в противоположные стороны.

- При врезании толщина стружки равна нулю, на выходе – максимальна. Возникающие при этом высокие силы трения “отжимают” фрезу и заготовку друг от друга.
- Высокие растягивающие напряжения, возникающие на выходе кромки из резания, могут стать причиной быстрой поломки пластины.
- В начальный момент врезания зуба процесс резания больше напоминает выглаживание, с сопутствующими ему высокими температурами и повышенным трением. Зачастую это грозит нежелательным упрочнением поверхностного слоя детали. А также сокращает срок службы инструмента.
- Преобладающие радиальные силы резания стремятся оторвать заготовку от стола.
- Стружка большой толщины на выходе пластины из резания негативно сказывается на стойкости инструмента.
- В процессе фрезерования стружка налипает на режущую кромку и препятствует ее работе в следующий момент резания. При встречном фрезеровании это может привести к заклиниванию стружки между пластиной и заготовкой.

Закрепление заготовки

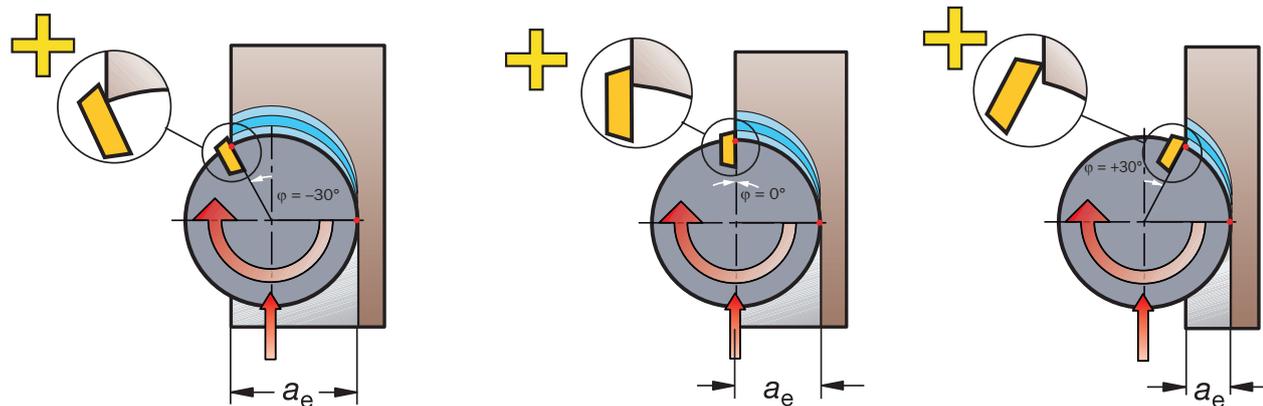
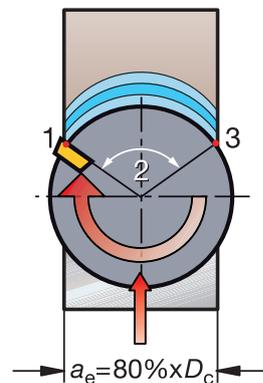
Выбор способа закрепления детали сильно зависит от направления подачи инструмента. При встречном фрезеровании система закрепления должна противостоять “отрывающим” усилиям, тогда как при попутном фрезеровании силы резания, наоборот, прижимают заготовку к столу.



Условия входа и выхода из резания

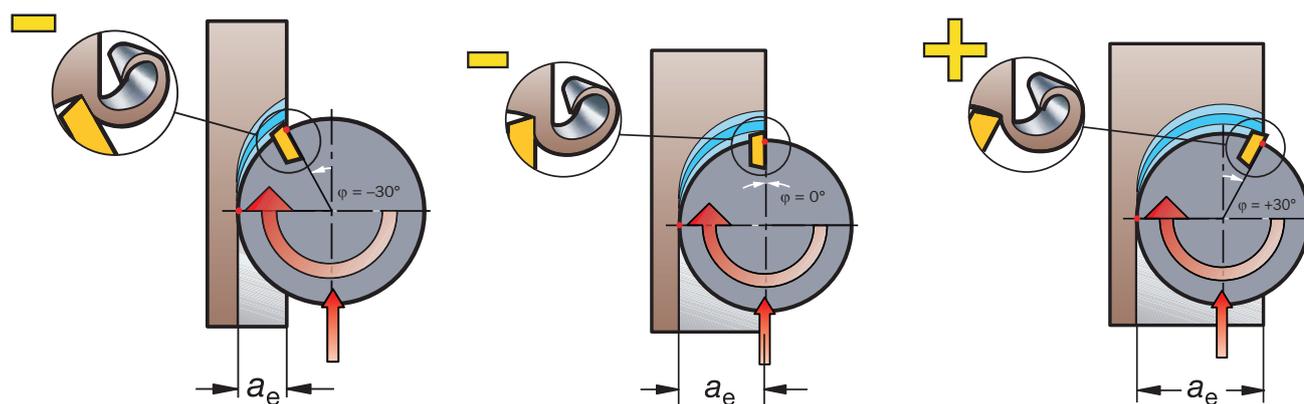
Контакт режущей кромки и обрабатываемого материала в радиальном направлении можно разделить на три фазы.

1. Вход в резание
2. Дуга контакта в процессе резания
3. Выход из резания



1. Вход в резание

- Для твердосплавных пластин это наименее чувствительная зона из трех.
- Твердый сплав хорошо работает под действием сжимающих напряжений, действующих на пластину в первый момент резания, и в результате чего образуется более толстая стружка.

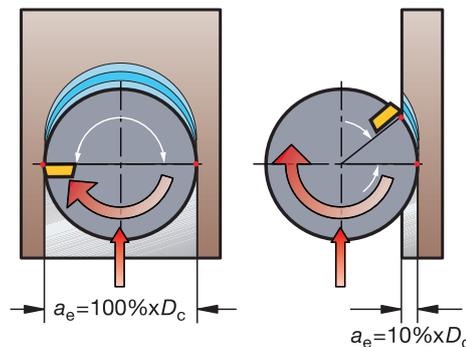


2. Выход из резания

- Выход пластины из резания является наиболее уязвимым моментом.
- Большая толщина стружки при выходе из резания плохо отражается на стойкости твердосплавных пластин. В момент отрыва толстая стружка начинает изгибаться и на пластину действуют растягивающие напряжения, что может вызвать поломку пластины. Твердый сплав плохо работает на растяжение.

3. Дуга контакта в процессе резания

- Максимально возможный размер дуги контакта инструмента и материала равен 180° ($a_e = 100\% D_c$) что характерно для фрезерования паза.
- При чистовом фрезеровании линия контакта минимальна.
- Требования к марке твердого сплава зависят от величины отношения a_e/D_c .
- Чем длиннее линия контакта, тем сильнее нагревается режущая кромка.
- При большой дуге контакта рекомендуется отдавать предпочтение сплавам с CVD покрытием, обеспечивающим меньшую теплопроводность.
- Малая длина контакта способствует образованию стружки меньшей толщины. Для такого типа обработки подойдет сплав с PVD покрытием, который обеспечит невысокие усилия резания и меньшее количество выделяемого тепла.



Большая (max.) длина дуги контакта

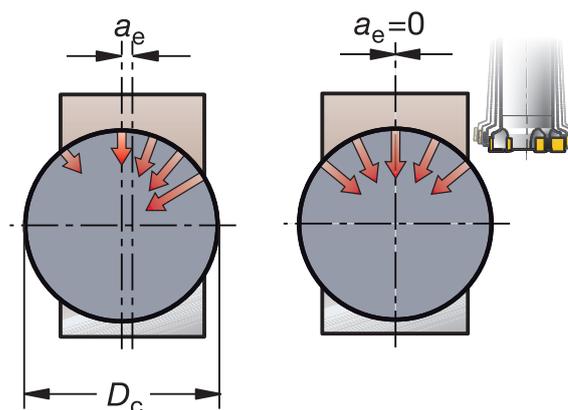
- Большое время резания
- Высокие радиальные усилия
- Большое количество тепла
- Сплавы с CVD покрытием

Малая длина дуги контакта

- Меньшее время резания и меньшее количество тепла => выше v_c
- Тоньше стружка => выше f_z
- Можно устанавливать большие v_c и f_z
- Острые режущие кромки
- Сплавы с PVD покрытием

Взаимное расположение фрезы и заготовки

- Избегайте образования толстой стружки на выходе из резания.
- Избегайте совпадения оси фрезы и оси симметрии детали.
- При смещении оси фрезы (влево) создаются более благоприятные условия резания, и минимизируется риск возникновения вибраций.
- Диаметр фрезы, D_c , должен на 20-50% превышать ширину фрезерования, a_e .
- При выборе шага зубьев фрезы необходимо учитывать характеристики станка по мощности.



- Диаметр D_c должен на 20-50% превышать a_e
- Смещенное (влево) положение фрезы гарантирует образование более тонкой стружки на выходе.

- При симметричном расположении фрезы существует риск возникновения вибраций

Условия входа в обрабатываемый материал

При прямолинейной траектории входа фрезы в резание на выходе режущей кромки из резания образуется нежелательно толстая стружка. Это будет продолжаться до тех пор, пока дуга контакта заготовки и фрезы не достигнет своего максимального значения. Данный способ программирования движения инструмента может значительно сократить его стойкость, особенно при фрезеровании труднообрабатываемых материалов, таких как титан и жаропрочные сплавы.

Немаловажное значение плавный вход в резание играет и с точки зрения возникновения вибраций.

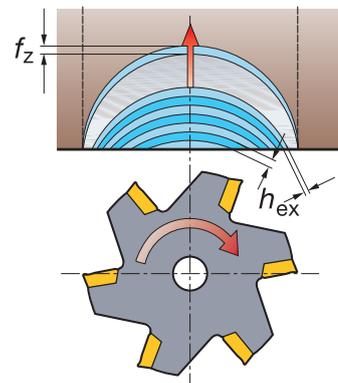
Существует два способа избежать вышеописанные затруднения.

1. Снижение подачи

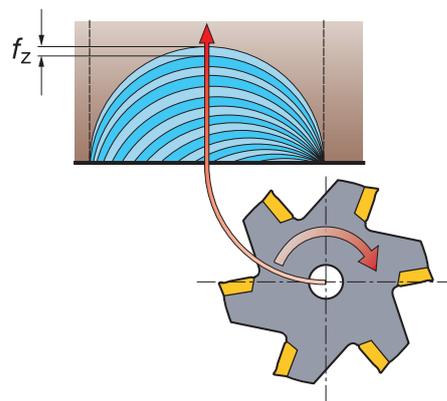
Необходимо уменьшить подачу на 50% до момента полного контакта заготовки и фрезы.

2. Вход в резание по дуге

Рекомендуется запрограммировать вход фрезы по дуге в направлении по часовой стрелке (движение инструмента по дуге против часовой стрелки не решит проблему образования толстой стружки). При таком способе входа фрезы в резание на выходе толщина стружки будет равняться нулю, что благоприятно для стойкости и дает возможность не снижать подачу.



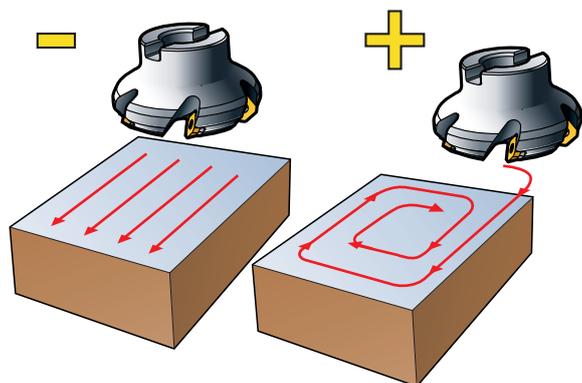
Образование толстой стружки на выходе происходит до тех пор пока фреза полностью не войдет в заготовку.



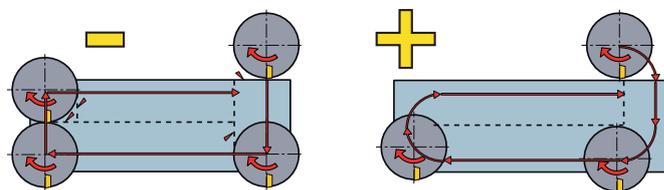
Равномерный контакт фрезы и заготовки

Резкое изменение траектории движения инструмента может привести к тем же последствиям, что и прямолинейный вход фрезы в резание.

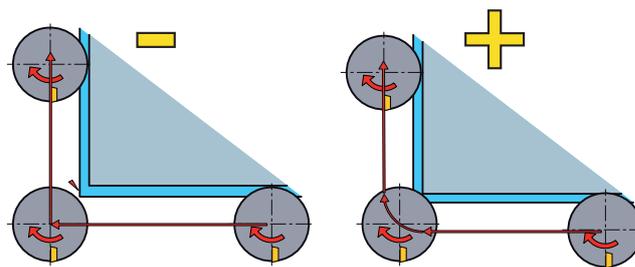
- Для обеспечения высокой стабильности процесса фрезерование очень важно осуществлять обработку углов по радиусу.
- Ширина фрезерования, a_e , должна составлять 70% от D чтобы гарантировать максимальный угол охвата фрезы.
- Старайтесь не прерывать контакта фрезы и заготовки.
- По возможности избегайте фрезерования в условиях прерывистого резания или пересечения фрезой отверстия.



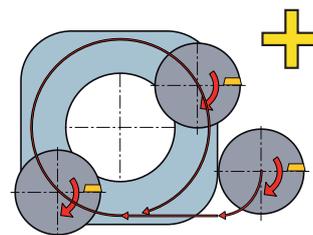
Старайтесь не прерывать контакта фрезы и заготовки.



При торцевом фрезеровании резкое изменение траектории движения влечет образование толстой стружки на выходе.



При периферийном фрезеровании углы следует обходить по радиусу.



Избегайте пересечения отверстий и прерывистого резания.

Обработка углов

Основные положения

При обработке углов следует быть особо осторожным при расчете дуги контакта инструмента и выбору оптимальной подачи.

- При обработке внутреннего угла длина дуги контакта увеличивается, что накладывает дополнительные требования на режущую кромку.
- Зачастую, обработка углов вызывает вибрации и снижает стабильность процесса фрезерования в целом.
- Следствием колебания направлений сил резания является “недорез” в углах.
- Существует также риск выкрашивания режущей кромки или даже поломка инструмента.

Решение – ограничение длины дуги контакта

Использование запрограммированного радиуса уменьшает длину дуги контакта и способствует снижению вибраций. А это означает возможность увеличения глубины резания и подачи.

- Фрезерование по большему радиусу. Преимуществом данного способа черновой обработки является возможность использования фрезы большего диаметра, что повышает производительность операции.
- В качестве альтернативного метода обработки угла возможно программирование траектории движения инструмента по радиусу меньшему, чем диаметр фрезы D_c .

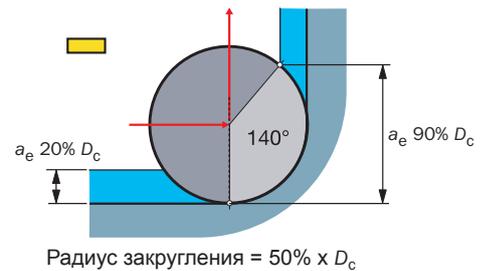
Черновая обработка

Оптимальное значение запрограммированного радиуса составляет 50% D_c .

Чистовая обработка

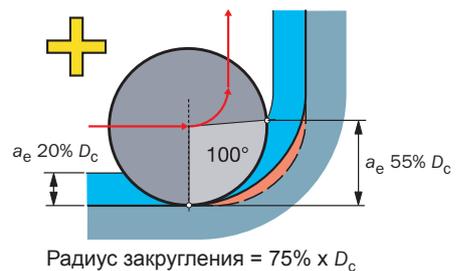
При чистовой обработке не всегда возможно использовать такой большой радиус, однако диаметр фрезы должен быть не более 1,5 радиуса на детали (например, радиус закругления вершины 10 мм = max 15 мм).

Проблема



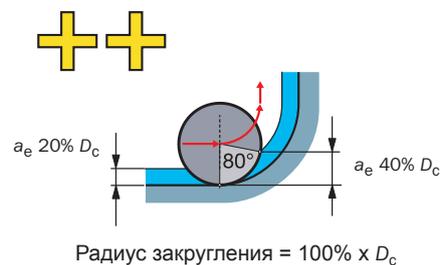
Традиционный метод обработки угла

Решение No 1



Фрезерование с большим радиусом

Решение No 2



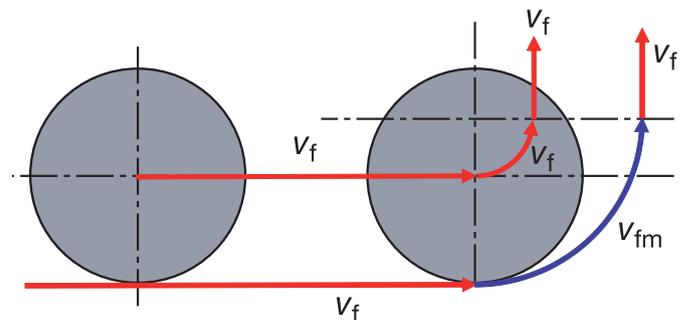
Использование фрезы меньшего диаметра

Программирование

Подача в центре или на периферии

Система станка ЧПУ при работе учитывает подачу центра фрезы, v_f (без компенсации радиуса), либо используется подача на периферии фрезы, v_{fm} (с радиальной компенсацией).

На станках без возможности компенсации радиуса при обработке угла происходит увеличение значения f_z , что повышает риск поломки пластины.



Скорость в центре, v_f , или на периферии, v_{fm} .

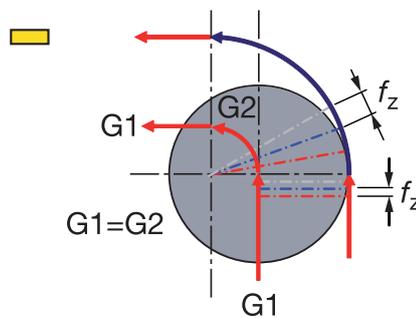
Программирование подачи центра инструмента

Как правило, управляющая программа задает перемещение центра инструмента, а не периферии.

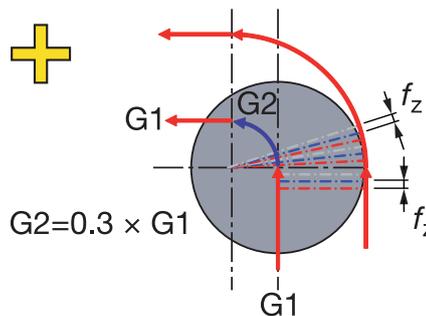
При фрезеровании по прямой (G1) скорость подачи у стенки детали, v_{fm} , совпадает с запрограммированной скоростью, v_f , а при резании по радиусу (G2) периферийная скорость подачи выше, чем скорость в центре инструмента. Поэтому необходимо уменьшить параметры подачи, v_f , чтобы обеспечить ту же скорость подачи на зуб, f_z .

Коэффициент уменьшения указан в таблице и зависит от:

- Соотношения диаметра фрезы и радиуса детали – D_c / rad_m
- Соотношения ширины резания и диаметра фрезы – a_e / D_c



Без уменьшения подачи в центре, f_z будет увеличиваться на периферии.



С уменьшением подачи в центре.

Уменьшение подачи в центре инструмента

D_c / rad_m	Коэффициент уменьшения подачи (k)									
	a_e / D_c									
	0.05	0.15	0.25	0.35	0.45	0.55	0.65	0.75	0.85	0.95
2.00	0.22	0.34	0.40	0.45	0.48	0.53	0.60	0.67	0.75	0.86
1.80	0.30	0.34	0.42	0.46	0.50	0.53	0.60	0.67	0.75	0.86
1.60	0.44	0.42	0.44	0.49	0.53	0.56	0.60	0.67	0.75	0.86
1.40	0.55	0.54	0.54	0.52	0.56	0.59	0.62	0.67	0.75	0.86
1.20	0.63	0.64	0.64	0.64	0.62	0.65	0.63	0.71	0.75	0.86
1.00	0.71	0.72	0.72	0.73	0.74	0.62	0.77	0.79	0.83	0.86
0.80	0.78	0.79	0.79	0.80	0.82	0.83	0.85	0.87	0.89	0.94
0.60	0.84	0.85	0.86	0.86	0.87	0.88	0.90	0.91	0.93	0.96
0.40	0.90	0.90	0.91	0.92	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.98
0.20	0.95	0.96	0.96	0.96	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99

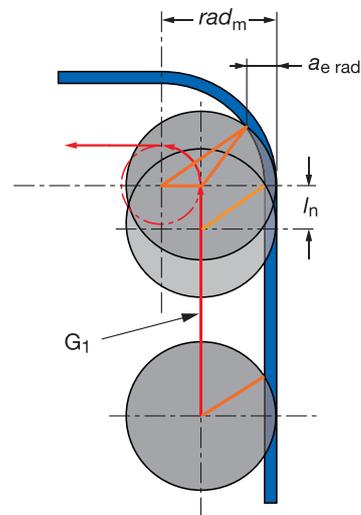
$$v_f \text{ УМЕНЬШ.} = k \times v_f$$

Уменьшение подачи при подходе к углу

Снижение подачи при приближении к углу особенно важно при фрезеровании на большой скорости.

До самого последнего момента движение фрезы осуществляется по прямолинейной траектории G1 и с приближением фрезы к углу увеличивается длина дуги контакта. Именно поэтому необходимо снизить подачу при прохождении участка l_n , длина которого составляет $50\% \times D_c$.

На станках с функцией расчёта траектории на основе упреждающего считывания и анализа кода программы корректировка подачи происходит автоматически.



Снизить подачу на расстоянии $l_n = 50\% D_c$

Фрезерование с использованием СОЖ или без

Процесс фрезерования по своей сути является прерывистым процессом резания. Температура в зоне резания постоянно меняется в достаточно широком диапазоне от очень высокой (~1000°C) до низкой.

Влияние применения СОЖ

- Резкое изменение температуры происходит в моменты входа и выхода режущей кромки из резания.
- Режущая кромка испытывает термический шок в циклическом режиме, что в результате приводит к образованию термических трещин, что в свою очередь, грозит преждевременным выходом инструмента из строя.
- Чем выше температура в зоне резания, тем менее желательным становится использование СОЖ. На чистовых операциях фрезерования применение смазочно-охлаждающей жидкости менее губительно для стойкости инструмента, чем при черновой обработке, из-за выделения меньшего количества тепла.



Термотрещины на режущей кромке

Фрезерование без СОЖ повышает стойкость инструмента

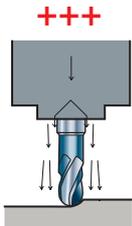
- Хотя при обработке “на сухую” температура режущей кромки также меняется, но она остается в предельно допустимых рамках для твердых сплавов.
- На операциях чернового фрезерования строго не рекомендуется использовать СОЖ.



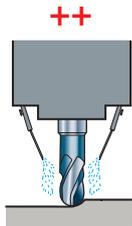
Фрезерные операции, где применение СОЖ оправдано

- Чистовая обработка нержавеющей стали и алюминия:
 - СОЖ предотвращает налипание частиц металла на обрабатываемую поверхность.
- Фрезерование жаропрочных сплавов с низкой скоростью резания:
 - снижение трения и охлаждение заготовки.
- Фрезерование чугуна:
 - вымывание элементной стружки и осаждение частиц пыли, что благоприятствует окружающим условиям и качеству обработанных деталей.
- Фрезерование тонкостенных заготовок:
 - предотвращает искажение геометрии детали.
- Для удаления стружки из глубоких выемок можно использовать сжатый воздух с частичками специального масла, так называемое охлаждение масляным туманом.

Сжатый воздух +++

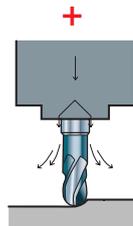


Масляный туман ++



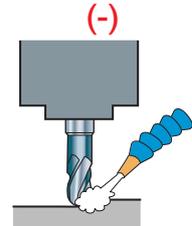
При охлаждении масляным туманом расход используемой СОЖ исчисляется несколькими миллилитрами в час и удаляется посредством системы фильтров.

Охлаждающая жидкость +



Обильный внутренний подвод

(-)



Наружный подвод

Если при фрезеровании рекомендуется использовать СОЖ, то она должна подаваться непрерывно и в большом количестве.

Обеспечение чистоты обработки

Формирование поверхности при торцевом фрезеровании

Формирование торцевой поверхности происходит за счет фаски, b_s , на режущей пластине. Пластины располагаются в корпусе фрезы на разной высоте, разброс которой зависит от величины допуска в осевом направлении и биения фрезы. За шероховатость поверхности “отвечает” пластина, расположенная в корпусе ниже других.

Для образования поверхности хорошего качества, необходимо, чтобы значение оборотной подачи ($f_n = f_z \times z_n$) составляло менее 80% от величины b_s .

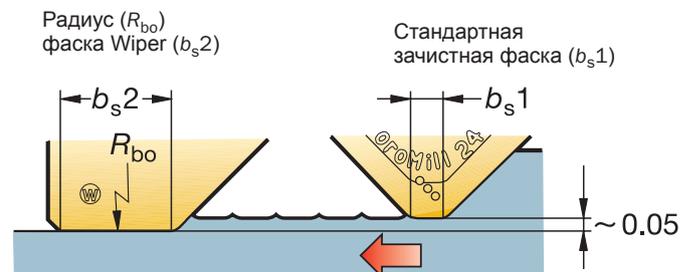
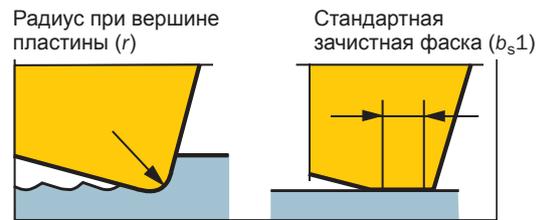
У фрез с мелким шагом увеличенное значение подачи на оборот. Чем больше диаметр фрезы, тем выше f_n , и, соответственно, требуется большее значение b_s на пластине.

Как только оборотная подача превышает ширину зачистной фаски, на шероховатость обрабатываемой поверхности будет влиять биение фрезы в осевом направлении.

Несколько рекомендаций по достижению наилучшей шероховатости:

- Использовать пластины со значением b_s как минимум на 25% больше, чем f_n
- Обеспечение зеркальной чистоты поверхности пластинами из кермета
- Применение СОЖ во избежание налипания материала.

Круглые пластины или пластины с большим радиусом

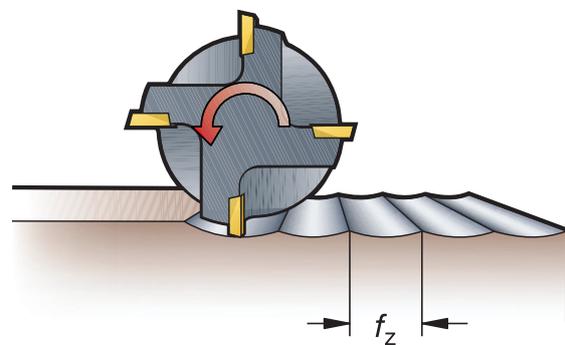


при вершине, несмотря на чрезвычайно высокую производительность, не могут обеспечить поверхность высокого качества. Кроме того, чем больше диаметр фрезы, тем хуже шероховатость.

Более подробно о чистовом фрезеровании с использованием пластин Wiper смотрите в разделе Торцевое фрезерование на стр. D54.

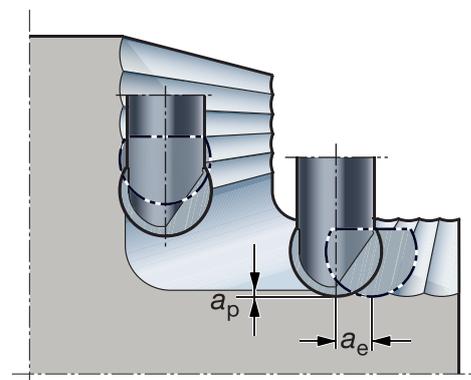
Формирование поверхности в радиальном направлении

При работе концевыми, дисковыми фрезами или фрезами для обработки уступов поверхность формируется боковой частью инструмента. Более подробно об этом во Фрезеровании уступов на стр. D42.



Формирование рельефной поверхности

Данный вид обработки, выполняемой фрезами со сферическим концом, описан в разделе Профильное фрезерование на стр. D66.



Предупреждение вибраций

На появление вибраций в процессе обработки оказывает влияние большое число факторов, среди которых инструмент, система закрепления, станок, заготовка и приспособление.

Режущий инструмент

• При работе торцевыми фрезами необходимо учитывать направление сил резания:

– У фрез с главным углом в плане κ_r 90° преобладает радиальная составляющая силы резания. В связи с этим при увеличенном вылете инструмента возникают сильные отклонения в радиальном направлении. Однако небольшое значение осевой силы резания является преимуществом при обработке тонкостенных заготовок.

– У фрез с углом в плане κ_r 45° радиальные и осевые усилия распределяются равномерно.

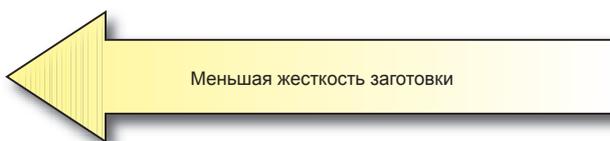
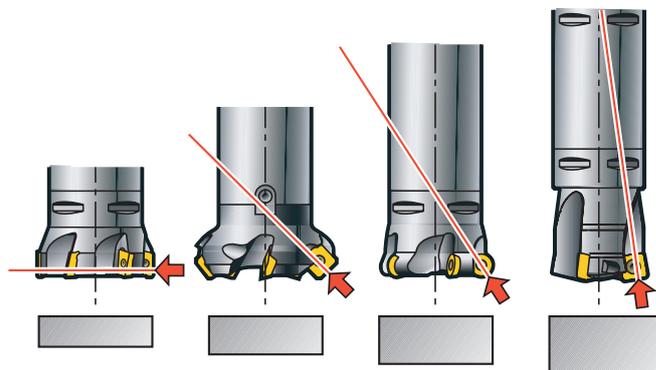
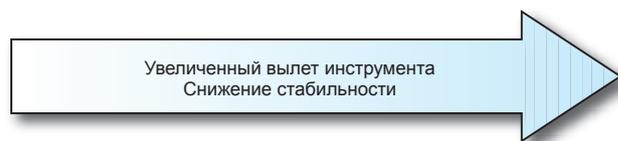
– У фрез с круглыми пластинами, большая доля усилий резания направлена к шпинделю, особенно при работе с небольшой глубиной резания. Фреза CoroMill 210 с углом в плане κ_r 10° характеризуется невысокой склонностью к вибрациям и рекомендуется для работы с большим вылетом.

• Выберите фрезу минимально возможного диаметра

• Диаметр фрезы D_c должен быть на 20-50% больше, чем ширина фрезерования a_e

• Выберите фрезу с крупным шагом и/или с неравномерным расположением зубьев

• Преимуществом обладают фрезы с небольшим весом, такие как CoroMill Century с алюминиевым корпусом.



При большом вылете инструмента выбирайте маленький угол в плане (преобладающие осевые усилия резания). При обработке тонкостенных, нежестких заготовок выбирайте инструмент с большим углом в плане (небольшие осевые силы резания).

Система закрепления

Модульная система Coromant Capto® позволяет собирать инструментальные насадки необходимой длины, обладающие при этом высокой жесткостью и минимальным биением.

• По возможности собирайте максимально жесткую и короткую наладку.

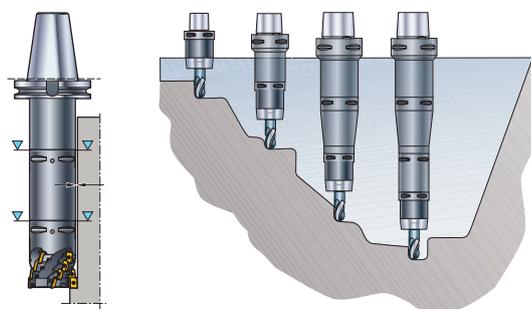
• Выбирайте корпус максимально допустимого диаметра.

• Для обработки высоких уступов используйте удлинители Coromant Capto, см. рисунок.

• Для фрез небольшого диаметра используйте по возможности конусные адаптеры.

• При фрезеровании глубоких полостей последовательно изменяйте вылет инструмента от меньшего к большему. Регулируйте режимы резания для каждой насадки индивидуально.

• Для работы с частотой вращения шпинделя более 20000 об/мин необходимы сбалансированные инструмент и оснастка.



Фрезы увеличенного диаметра позволяют работать с максимальным размером соединения.

Всегда старайтесь минимизировать длину инструментальной наладки. Увеличивайте длину наладки последовательно.

Антивибрационный фрезерный инструмент

При вылете инструмента более 4 диаметров, вибрации в процессе обработки становятся все более ощутимыми, а применение антивибрационного инструмента значительно повышает стабильность резания. Более подробная информация в разделе Инструментальная оснастка, глава G.



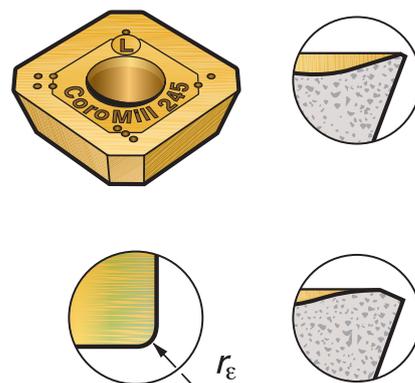
Геометрия режущей кромки

Рекомендации по снижению усилий резания:

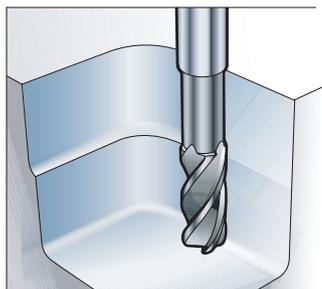
- Выбирайте пластину с легкой геометрией (–L) с острой режущей кромкой и твердый сплав с покрытием минимальной толщины.
- Выбирайте пластины с небольшим радиусом при вершине и короткой зачистной фаской.

Иногда снизить риск возникновения вибрации можно только за счет демпфирования системы:

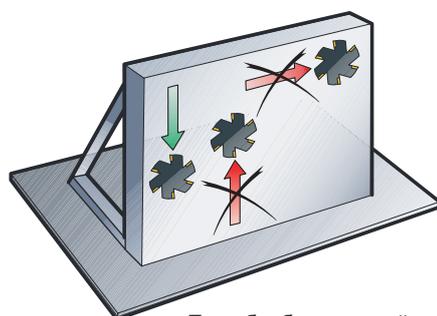
- Используйте более негативную геометрию и слегка износившиеся пластины.



Режимы резания и программирование траектории инструмента



- Избегайте симметричного расположения фрезы и заготовки.
- Выбирайте длиннокромочные или концевые фрезы с углом в плане $\kappa_r 90^\circ$ с небольшой шириной фрезерования – $\max a_e = 25\% D_c$ и с большой глубиной резания – $\max a_p = 100\% D_e$.
- При торцевом фрезеровании работайте с небольшой глубиной резания, a_p , и высокой подачей на зуб, f_z . Рекомендуется выбирать фрезы с круглыми пластинами или фрезы для высокоскоростной обработки с небольшим значением угла в плане.
- Обработка угла по запрограммированному большому радиусу помогает избежать возникновения вибраций, смотри раздел Фрезерование углов на стр. D26.
- Если толщина стружки становится слишком маленькой, процесс резания больше напоминает трение, что, естественно, вызывает вибрации. В этом случае необходимо увеличить подачу на зуб фрезы.



При обработке тонкой стенки подача должна быть направлена "к столу"

Станок

Огромное влияние на стабильность процесса резания имеет состояние и жесткость оборудования. Чрезмерный износ подшипников шпинделя или механизмов подачи приведет к неудовлетворительному качеству поверхности детали.

- Правильно выбирайте метод обработки с соответствующим распределением усилий резания.

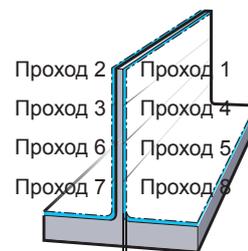
У каждого шпинделя станка есть своя резонансно-частотная характеристика, в соответствии с которой можно определить зоны стабильного резания, расположение которых зависит от глубины резания и частоты вращения шпинделя.

- Увеличение частоты вращения шпинделя всего на 50 об/мин может вывести систему из нестабильного состояния с вибрациями и привести к стабильному резанию.

Заготовка и приспособление

Тонкостенные заготовки и/или недостаточная жесткость закрепления.

- Приспособление должно быть расположено максимально близко к столу станка.
- Стабильность фрезерной операции определяется оптимальной траекторией перемещения инструмента и подачей, направленной к самому жесткому узлу станка/приспособления.
- Избегайте обработки в направлении, где заготовка закреплена недостаточно жестко.
- Встречное фрезерование является одним из способов снижения вибраций, при недостаточной жесткости заготовки/приспособления в определенном направлении.



припуск под чистовую обработку

Обратите внимание, что первый проход выполняется до середины глубины второго и т.д. Более подробная информация в разделе Фрезерование уступов на стр. D52.

Р Фрезерование стали

Обработываемость стали зависит от состава легирующих компонентов, методов термообработки и способа получения заготовки (литье, поковка и т.д.).

Более подробная информация о материалах и их классификация приведены в главе Н.

Рекомендации по режимам резания смотрите в "Основном каталоге".

Особенности обработки

- При обработке низкоуглеродистых сталей основным препятствием является наростообразование и формирование заусенца.
- При обработке сталей повышенной твердости на первый план выступает проблема с выкрашиванием режущей кромки, и большую значимость приобретает взаимное расположение заготовки и фрезы.

Выбор фрезы и пластин

- Большинство фрез семейства CoroMill подходят для обработки сталей и предлагают широкий выбор геометрий и сплавов пластин.
- Обратите внимание, что фрезы CoroMill Century с корпусом из стали и CoroMill 790, предназначенные для обработки алюминия, могут использоваться для чистовой обработки стали совместно с пластинами из сплавов GC1010 и GC1030.
- Некоторые фрезы не рекомендуется использовать для обработки стали – например, фреза Sandvik AUTO, которая специализируется для обработки серого чугуна.
- Геометрии для обработки сталей PL, PM, PH и WL, WM, WH
- Сплавы серии GC4200 с MT-CVD покрытием являются первым выбором. Однако, для фрез небольшого диаметра, D_c менее 32 мм, а также для фрез для обработки уступов, $K=90^\circ$, первым выбором является сплав GC1030.
- Для сплавов повышенной твердости рекомендуются сплавы GC1030 и GC1010.



Скорость резания, v_c м/мин

400			
350			
300	GC4220		
250	GC1030	GC4220	
200	GC4230	GC4230	GC4220
150	GC4240	GC1030	GC4230
100		GC4240	GC1030
50			
0			
	60 – 240	241 – 330	> 330

Твердость, HB

Рекомендуемые сплавы и режимы резания в зависимости от твердости стали.

Практические рекомендации

Все общие рекомендации, приведенные выше в разделе Основные положения, справедливы и для фрезерной обработки стали.

Чрезвычайно важным, особенно на черновых операциях, является следование рекомендациям по правильному расположению фрезы, позволяющим избежать образования толстой стружки на выходе. На операциях общего фрезерования не используйте СОЖ.

Выбор сплава – торцевое фрезерование



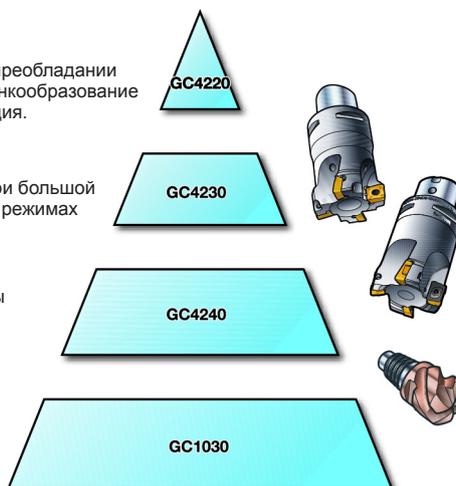
Выбор сплава – обработка концевыми фрезами CoroMill® 490, CoroMill® 390 и CoroMill® 316

Максимальный уровень производительности при преобладании таких видов износа как лункообразование и пластическая деформация.

Эффективное решение при большой длине контакта и высоких режимах резания.

Первый выбор для работы в хороших и нормальных условиях.

Первый выбор для работы в любых условиях.



Выбор сплава - фрезы CoroMill® Plura



М Фрезерование нержавеющей стали

Обработываемость нержавеющей сталей зависит от состава легирующих элементов, термообработки и от способа получения заготовки (отливка, поковка, прокат и т.д.).

Более подробная информация о материалах и их классификация приведены в главе Н. Рекомендации по режимам резания смотрите в "Основном каталоге".

Ферритные и мартенситные нержавеющие стали

Классификация материалов: P5.x

Ферритные и отожженные мартенситные нержавеющие стали имеют схожую обрабатываемость с низколегированными конструкционными сталями, поэтому для них справедливы одни и те же рекомендации.

Аустенитные и дуплексные нержавеющие стали

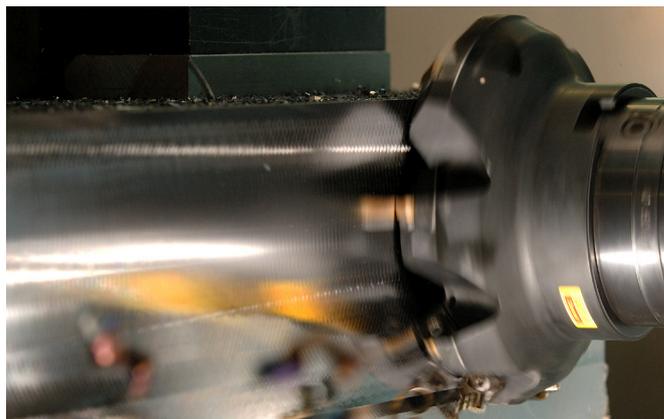
Классификация материалов: M1.x, M2.x and M3.x

Особенности обработки

- Типичными видами износа при фрезеровании данного типа нержавеющей сталей являются: выкрашивание режущих кромок, возникающие вследствие термических трещин, образование проточин, наростообразование и налипание материала.
- Среди характерных недостатков на деталях наиболее часто встречаются образование заусенца и низкое качество обработанной поверхности.

Выбор фрезы и пластин

- Большинство фрез семейства CoroMill подходят для обработки аустенитных и дуплексных нержавеющей сталей, при этом необходимо выбрать соответствующие геометрию и сплав пластин.
- Для обработки торцевых поверхностей фрезы CoroMill 245 и CoroMill 300 являются более предпочтительным вариантом, по сравнению с CoroMill 345 и CoroMill 200. Это объясняется их более позитивной геометрией.
- Для минимизации образования проточин рекомендуется выбирать фрезы с круглыми пластинами или с небольшим углом в плане.
- Выбирайте пластины с позитивной геометрией (-ML, -WL).
- Сплав первого выбора GC2030 (PVD).
- Сплав GC2040 (MT-CVD) является дополнительным решением для более нагруженного фрезерования и для обработки отливок из нержавеющей стали, характеризующейся абразивным износом.
- Сплав GC1030 (PVD) является универсальным выбором для обработки материалов групп ISO P, M и S в условиях мелкосерийного производства.
- При возникновении термических трещин замените сплав на более твердый/износостойкий, например, перейдите от сплава GC2040 к сплаву GC2030.



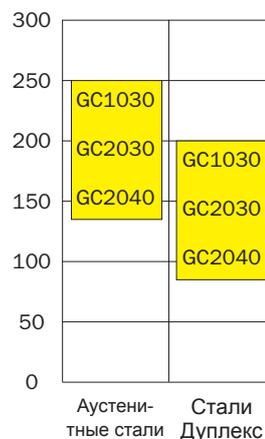
Выкрашивание режущих кромок.

Формирование заусенца и низкое качество поверхности.



Термические трещины, образующиеся при использовании СОЖ

Скорость резания, v_c
м/мин



- Для фрез CoroMill Plura основным выбором является сплав GC1630. Сплав GC1640 рекомендуется использовать в качестве дополнительного решения при необходимости повышенных прочностных характеристик и при внутреннем подводе охлаждения.

Практические рекомендации

Черновая обработка

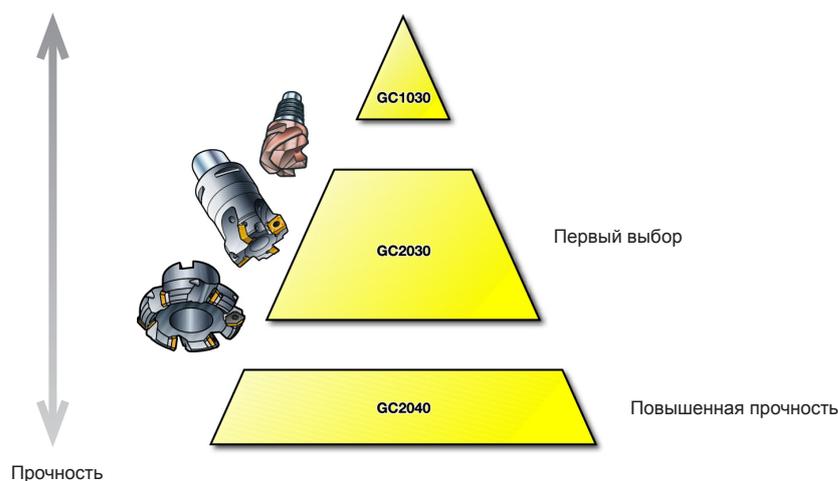
- Работайте с высокими скоростями резания ($v_c = 150-250$ м/мин) во избежание наростообразования.
- На черновой стадии обработки строго не рекомендуется использовать СОЖ из-за возможного появления термических трещин.

Чистовая обработка

- Иногда для повышения качества обработанной поверхности при чистовом фрезеровании необходимо использовать СОЖ, при этом предпочтение следует отдавать охлаждению масляным туманом. Риск возникновения термотрещин на данном этапе незначителен, что объясняется не очень высокой температурой в зоне резания.
- Удовлетворительное качество поверхности может быть достигнуто при использовании кермета СТ530 в условиях “сухого” фрезерования.
- Слишком низкое значение, f_z , может вызвать интенсивный износ пластины, потому что обработка ведётся в поверхностно упрочненной зоне.

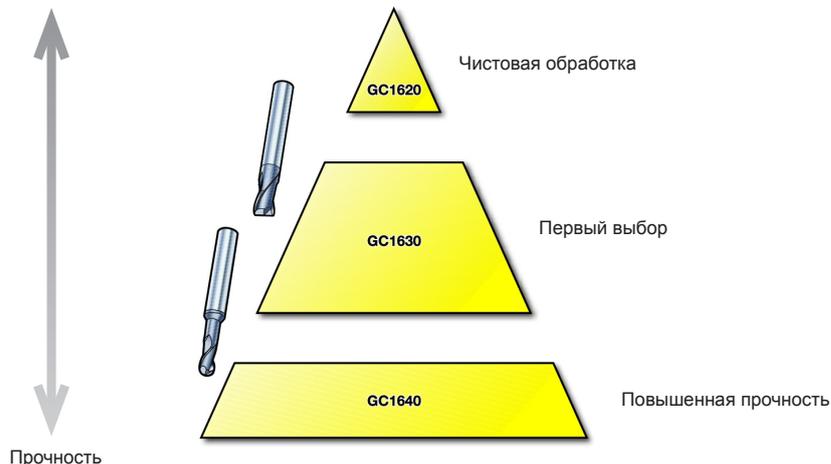
Фрезы CoroMill® со сменными пластинами

Износостойкость/твердость



Фрезы CoroMill® Plura

Износостойкость/твердость



К Фрезерование чугуна

Чугун подразделяется на следующие виды: ковкий, серый чугун, чугун с вермикулярным графитом, отбеленный, высокопрочный и легированный чугун.

Более подробная информация о материалах и их классификация приведены в главе Н. Рекомендации по режимам резания смотрите в "Основном каталоге".

Серый чугун

Классификация материала: K2.x

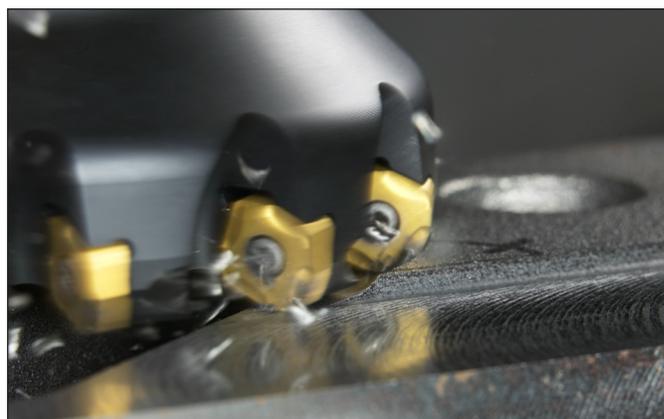
Особенности обработки

- Основными видами износа при фрезеровании серого чугуна являются абразивный износ по задней поверхности и термотрещины.
- На деталях возможны выкрашивания в области выхода фрезы из резания и неудовлетворительное качество поверхности.

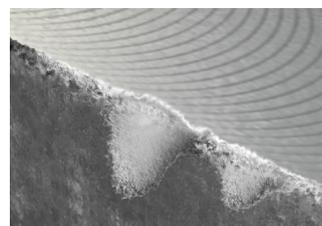
Выбор фрезы и пластин

Существует несколько типов фрезерного инструмента, рекомендуемого для обработки серого чугуна:

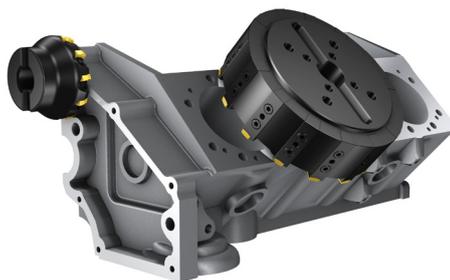
- Универсальная фреза CoroMill 365.
- Фреза AUTO R для черновой обработки.
- Регулируемая фреза AUTO-AF для чистовой обработки.
- Нерегулируемая фреза AUTO-FS для чистовой обработки. В качестве альтернативного варианта в этих фрезах могут использоваться кассеты от фрезы CoroMill 245.
- Пластины Wiper могут быть использованы во всех вышеперечисленных типах фрез, см. стр. D64.
- Большинство других фрез семейства CoroMill могут использоваться для обработки серого чугуна при условии выбора соответствующих сплава и геометрии.
- Фреза CoroMill 345 – хороший выбор для обработки стали и чугуна в условиях серийного производства.
- Рекомендуемые геометрии для обработки чугуна -KL, -KM, -KN и -KW (Wiper).
- Рекомендации по выбору сплава для пластин приведены ниже.
- Для цельных фрез CoroMill Plura основным выбором является сплав GC1630, а для фрез CoroMill 316 сплав GC1030 рекомендуется в качестве основного решения.



Типичные виды износа пластин



Выкрашивания на детали



Практические рекомендации

Черновая обработка

- Предпочтительна обработка без использования СОЖ во избежание проблем с образованием термических трещин. Выбирайте пластины из твердых сплавов с покрытием небольшой толщины. Сплавом первого выбора является GC3040, а сплав GC3220 подойдет для работы на более высоких скоростях.
- При появлении выкрашиваний на детали необходимо:
 - проверить износ пластины по задней поверхности
 - снизить подачу на зуб, f_z , с целью уменьшения толщины срезаемой стружки
 - выбрать более позитивную геометрию (-KL).



- При необходимости использования СОЖ для осаждения частичек пыли выбирайте соответствующие марки сплавов. Основным выбором в этом случае является K20W, а дополнительными вариантами K15W и GC3040.
- Твердые сплавы всегда должны рассматриваться в качестве предпочтительного варианта, но также возможно использование пластин из керамики (SC6190). При этом скорость резания должна быть выше 800 м/мин. Значение скорости будет ограничивать риск появления заусенцев на обработанной поверхности. Использование СОЖ не рекомендуется.

Чистовая обработка

- Выбирайте пластины из твердого сплава с тонким покрытием или непокрытый твердый сплав. Сплав GC3220 рекомендуется для обработки без СОЖ, а сплав K15W для фрезерования с охлаждением.
- Для высокоскоростного чистового фрезерования серого чугуна может быть использован кубический нитрид бора (CB50). При этом не рекомендуется использовать СОЖ.

Чугун с шаровидным графитом

Классификация материалов: K3.x

Ферритный и ферритно-перлитный чугун с шаровидным графитом

Обработываемость ферритного чугуна с шаровидным графитом близка к обработываемости низколегированных сталей. Поэтому все рекомендации по выбору инструмента, геометрий и сплавов пластин для обработки стали справедливы и для данного типа чугуна. Сплав первого выбора является GC1020.

Перлитный чугун с шаровидным графитом

Обладает абразивными свойствами, поэтому для него справедливы рекомендации для материалов группы ISO K.

Чугун с вермикулярным графитом (CGI)

Классификация материалов: K4.x

Перлитная структура менее 90%

Эта разновидность чугуна, который, как правило, на 80% имеет перлитную структуру, наиболее часто обрабатывается фрезерованием. Типовыми деталями являются блок цилиндров, головка блока цилиндров и выпускной коллектор.

Рекомендации по выбору типа фрез те же, что и для серого чугуна. Однако для фрез AUTO-R следует выбирать более позитивные геометрии, такие как –KX and –KL, для минимизации заусенцев на детали.

Первый выбор – сплав GC1020.

Сплав GC1020 подходит для работы как с использованием СОЖ, так и без. В качестве альтернативного варианта для “сухого” фрезерования следует рассматривать сплав K20D, а для обработки с СОЖ – сплав K20W.

Фрезерование методом круговой интерполяции станет хорошей заменой растачиванию при обработке отверстий в деталях из чугуна этого типа.

Отпущенный ковкий чугун (ADI)

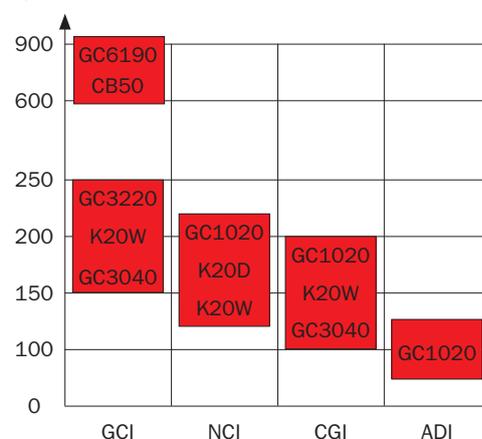
Классификация материалов: K5.x

Данные чугуны подвергаются черновой обработке в незакаленном состоянии, которая может быть сравнима с фрезерованием высоколегированной стали.

Чистовая обработка чугуна выполняется после его термообработки и схожа с фрезерованием сталей повышенной твердости (ISO H). Рекомендуется выбирать твердые сплавы с высокой стойкостью к абразивному износу. Сплав GC1020 подходит для работы как с использованием СОЖ, так и без. В качестве альтернативного варианта для чугунов повышенной твердости следует рассматривать сплав GC1010.

Обработка отпущенного ковкого чугуна характеризуется сниженной стойкостью инструмента (прибл. на 40%) и повышенными силами резания (прибл. на 40%) по сравнению с фрезерованием чугуна с шаровидным графитом.

Скорость резания, v_c
м/мин



N Фрезерование алюминиевых сплавов

Обработываемость алюминия зависит от процентного содержания кремния (Si). Наиболее распространенными являются доэвтектические алюминиевые сплавы с содержанием кремния менее 13%.

Группа материалов ISO N объединяет не только алюминиевые сплавы, но и сплавы на основе магния, меди и цинка. Более подробная информация о материалах и их классификация приведены в главе N. Рекомендации по режимам резания смотрите в "Основном каталоге".

Алюминиевые сплавы с содержанием кремния ниже 13%

Классификация материалов: N1.1-3

Особенности обработки

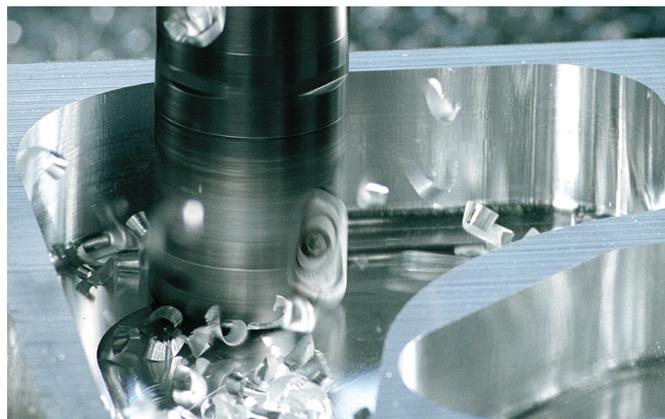
- Преобладающими типами износа являются наростообразование/налипание материала на режущую кромку, склонность к формированию заусенцев и неудовлетворительные результаты по качеству обработанной поверхности.
- Иногда неоднородные песчаные включения являются препятствием при обработке алюминиевого литья.
- Чрезвычайно важным является организация условий удовлетворительного стружкодробления и отвода стружки. В противном случае на детали могут оставаться нежелательные следы от стружки.

Рекомендуемые типы фрез

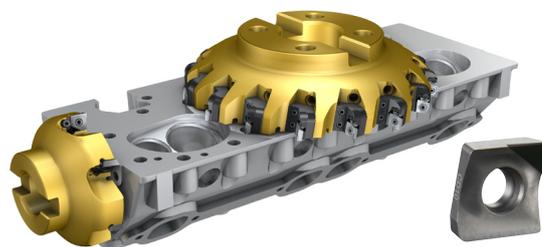
Фрезы для обработки алюминия:

- Фреза CoroMill Century
- Фреза CoroMill 790
- Фрезы CoroMill Plura R216.32, R216.33 and R216.42

Большинство других фрез семейства CoroMill могут использоваться для обработки алюминиевых сплавов при условии выбора соответствующих сплава и геометрии.



Специализированная фреза CoroMill 790 для обработки алюминия.



Фреза CoroMill Century для торцевой обработки заготовки из алюминия.

Пластина с вставками из PCD для фрезы CoroMill Century

Рекомендуется выбирать пластины с острой режущей кромкой.

- Используйте непокрытые твердые сплавы (H13A, H10) для обработки алюминия с содержанием кремния менее 8%.
- При содержании кремния более 8% пластины из поликристаллического алмаза (CD10), как правило, обеспечивает более экономичную обработку.

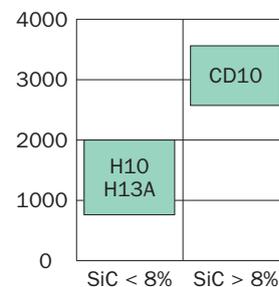
Практические рекомендации

- В отличие от фрезерования других групп материалов, обработка алюминиевых сплавов должна всегда осуществляться с использованием СОЖ. Это позволяет обеспечить низкую шероховатость поверхности и минимизировать налипание материала на режущую кромку.
- В общем случае, обработка алюминиевых сплавов на высокой скорости более предпочтительна и не оказывает губительного воздействия на стойкость инструмента.
- Рекомендуемая средняя толщина срезаемой стружки h_{ex} составляет 0.10-0.20 мм. Фрезерование со снятием стружки меньшей толщины может вызвать образование заусенцев.

Внимание: не превышайте максимального значения частоты оборотов для определенного типа фрезы!

- В связи с высокими значениями минутной подачи, обработку алюминия рекомендуется выполнять на станках с функцией расчёта траектории на основе упреждающего считывания и анализа кода программы, где корректировка подачи происходит автоматически.
- Стойкость инструмента часто бывает ограничена появлением заусенцев на детали и низким качеством обработанной поверхности. В данном случае при определении периода стойкости инструмента сложно руководствоваться износом пластин.

Скорость резания, v_c м/мин



s Фрезерование жаропрочных сплавов и титана

Жаропрочные сплавы (HRSA) подразделяют на три основные группы: на основе никеля, железа и кобальта. Титановые сплавы делятся на технически чистые или в виде α - и β -сплавов. Обработка как жаропрочных, так и титановых сплавов вызывает определенные трудности, особенно после старения, поэтому к инструменту для их фрезерования предъявляются повышенные требования. Более подробная информация о материалах и их классификация приведены в главе H и в специализированных руководствах по применению “Жаропрочные сплавы” и “Обработка титановых сплавов”.



Общие рекомендации

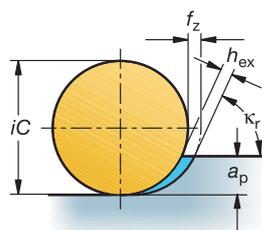
справедливые для жаропрочных и титановых сплавов

Особенности обработки

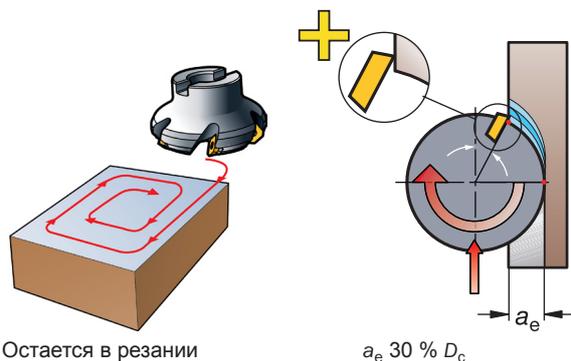
- Фрезерование заготовок из вышеперечисленных материалов требует высокой жесткости и мощности оборудования, а также способности передавать момент на низких оборотах.
- Наиболее распространенными формами износа являются образование проточин и выкрашивание режущей кромки.
- Высокая температура в зоне резания зачастую является ограничивающим фактором скорости обработки.

Выбор типа фрезы и пластин

- По возможности используйте фрезы с круглыми пластинами (CoroMill 300, CoroMill 200) для использования эффекта утонения стружки.
- Используйте длиннокромочную фрезу CoroMill 690, специально разработанную для фрезерования титана. При глубине резания менее 5 мм, главный угол в плане не должен превышать 45° . Как показывает практика, наиболее предпочтительным вариантом являются круглые пластины или пластины позитивной геометрии.
- Высокая точность фрезы в осевом и радиальном направлении особенно важна для поддержания постоянной нагрузки на зуб и стабильности процесса резания, и, соответственно, позволяет избежать поломки отдельных пластин фрезы.
- Рекомендуется выбирать пластины с позитивной геометрией и оптимальным округлением режущей кромки для предотвращения взаимодействия обрабатываемого материала и режущей кромки на выходе из резания.
- Эффективное число зубьев должно быть максимально возможным. Это обеспечивает высокую производительность при условии, что обработка ведется в достаточно стабильных условиях. Выбирайте фрезу с мелким шагом зубьев.



Использование круглых пластин помогает минимизировать образование проточин



Остается в резании

$a_e \approx 30\% D_c$



■ = Стойкость инструмента

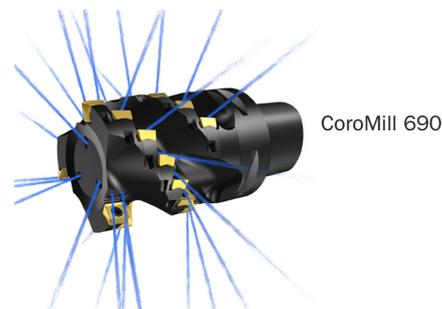
■ = Уменьшение стойкости при увеличении параметров резания

Изменение режимов резания в разной степени влияет на стойкость инструмента. Самое значимое влияние на стойкость оказывает скорость резания, v_c , за ней следует ширина фрезерования, a_e .

Применение СОЖ

Всегда используйте СОЖ при обработке жаропрочных и титановых сплавов. Она способствует эвакуации стружки, снижению температуры режущей кромки и предотвращает такое явление как повторное резание стружки. При этом предпочтительной является внутренняя подача СОЖ под высоким давлением (70 бар).

Исключение: Не следует применять СОЖ при фрезеровании пластинами из керамики, из-за риска появления термотрещин.

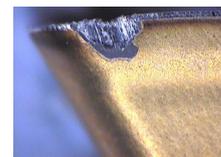


Внутренний подвод СОЖ имеет определяющее значение при работе твердосплавными пластинами

Износ пластин/инструмента

Две наиболее распространенные проблемы, по причине которых происходит поломка инструмента и образуется поверхность низкого качества:

- Интенсивный износ по задней поверхности и выкрашивание режущей кромки.
- Образование проточин.
- Для того чтобы гарантировать надежность и стабильность процесса обработки, рекомендуется своевременная смена режущих кромок.
- Величина износа по задней поверхности не должна превышать 0.2 мм для фрез с углом в плане 90°, например фреза CoroMill 490. Для фрез с круглыми пластинами предельное значение износа составляет 0.3 мм.

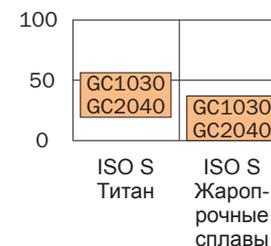


Типичный вид износа

Рекомендации по выбору геометрии и сплава

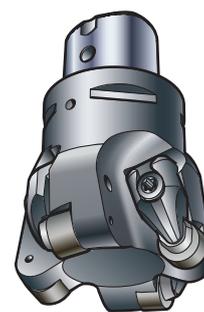
- Сплав GC2040 рекомендуется для черновой обработки и тяжелых условий резания
- Сплав GC1030 предназначен для получистового и чистового фрезерования
- Рекомендуется выбирать позитивные геометрии, такие как -ML и -PL
- Сплав GC1620 является основным выбором для цельных концевых фрез CoroMill Plura.

Скорость резания, v_c
м/мин



Фрезы с пластинами из керамики для черновой обработки жаропрочных сплавов

- Скорость резания при работе керамикой, обычно, в 20-30 раз превышает скорости обработки твердым сплавом, а значение подачи немного ниже (прибл. 0.1 мм/зуб). Фрезерование на таких режимах характеризуется высоким уровнем производительности. Благодаря прерывистому характеру резания операций фрезерования и меньшей температуре режущей кромки, скорость резания может достигать 700-1000 м/мин, по сравнению с точением с использованием керамических пластин, которое протекает в среднем при 200-300 м/мин.
- Пластины из керамики имеют склонность к образованию проточин. Именно поэтому рекомендуется выбирать круглую форму пластин, обеспечивающую небольшое значение угла в плане.
- Использование СОЖ строго не рекомендуется.
- Керамика изменяет свойства поверхностного слоя детали, поэтому ее применение не рекомендуется на чистовых этапах обработки.
- Основная область применения сплава CC6060 (sialon) – фрезерование литых компонентов двигателя, материала Inconel 718, деталей, применяемых в нефтегазовой промышленности.
- Максимальное значение износа при обработке жаропрочных сплавов пластинами из керамики составляет 0.6 мм.
- Более подробную информацию по выбору фрез вы можете получить в ближайшем представительстве Sandvik Coromant.



Пластины из керамики для обработки жаропрочных сплавов.

Примечание:

- Использование пластин из керамики не рекомендуется для обработки титана
- При работе керамическими пластинами не рекомендуется применение СОЖ.

Н Фрезерование закаленных материалов

К фрезерованию материалов в закаленном состоянии относится обработка сталей твердостью, лежащей в пределах 45-68 HRC. Более подробная информация о материалах и их классификация приведены в главе Н. Рекомендации по режимам резания смотрите в "Основном каталоге".

Типовые детали, обрабатываемые данным методом:

- Элементы штампов, выполненные из инструментальной стали
- Прессформы
- Поковочные штампы
- Литейные штампы
- Топливные насосы

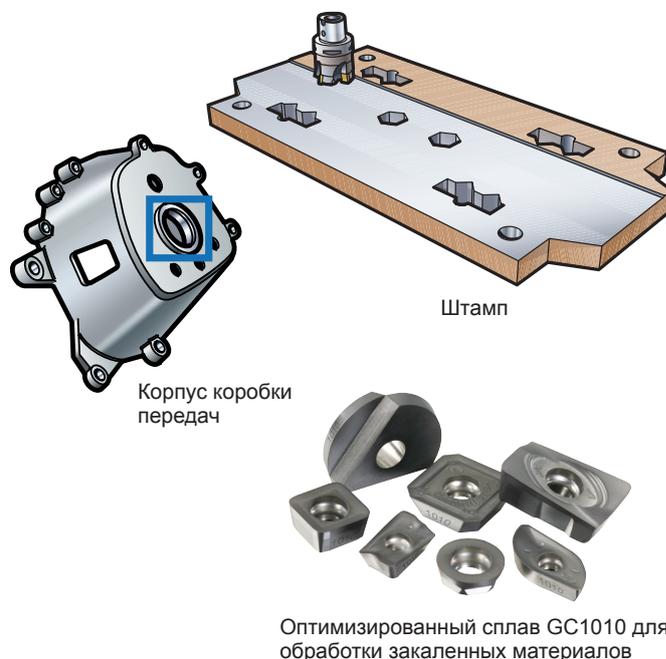
Особенности обработки

- Абразивный износ по задней поверхности.
- Выкрашивания на деталях.

Рекомендуемые типы фрез

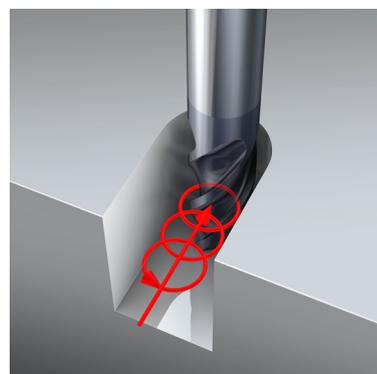
- Большинство фрез семейства CoroMill подходят для обработки закаленных сталей при условии выбора соответствующих геометрии и сплава.
- Рекомендуется использовать пластины с острокрытой геометрией, что способствует снижению сил резания и плавности обработки.
- Сплав GC1010 представляет собой оптимизированное решение для обработки закаленных материалов.
- Сплав GC1030 является дополнительным выбором для обработки в нестабильных условиях, например, черновое фрезерование деталей сварной конструкции.
- Для чистовой обработки фрезами CoroMill Plura подойдет сплав GC1610.

Для финишного фрезерования возможно также использование пластин со вставками из кубического нитрида бора CB50.



Практические рекомендации

- Рекомендуется обработка "на сухую".
- Трохоидальное фрезерование (см. стр. D121) – метод обработки, подразумевающий высокую минутную подачу, невысокие усилия резания и небольшую температуру в зоне обработки. Все эти характеристики являются преимуществами с точки зрения производительности, стойкости и точности деталей.
- Также применим метод обработки, которой можно охарактеризовать как "легкое и быстрое" фрезерование. Небольшие глубины резания в радиальном и осевом направлении и относительно высокие скорости. Для данного метода обработки рекомендуются фрезы с мелким шагом зубьев.



Трохоидальное фрезерование

Фрезерование уступов

Обзор технологических решений

Фрезерование уступов/ ПЛОСКОСТИ

Выбор инструмента D 44

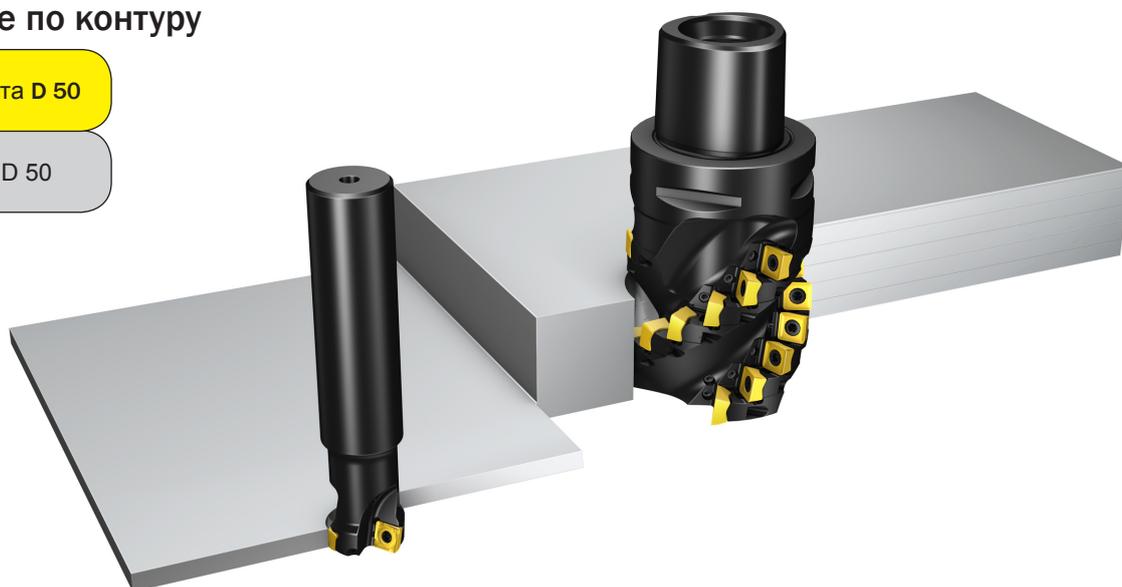
Рекомендации D 46



Фрезерование по контуру

Выбор инструмента D 50

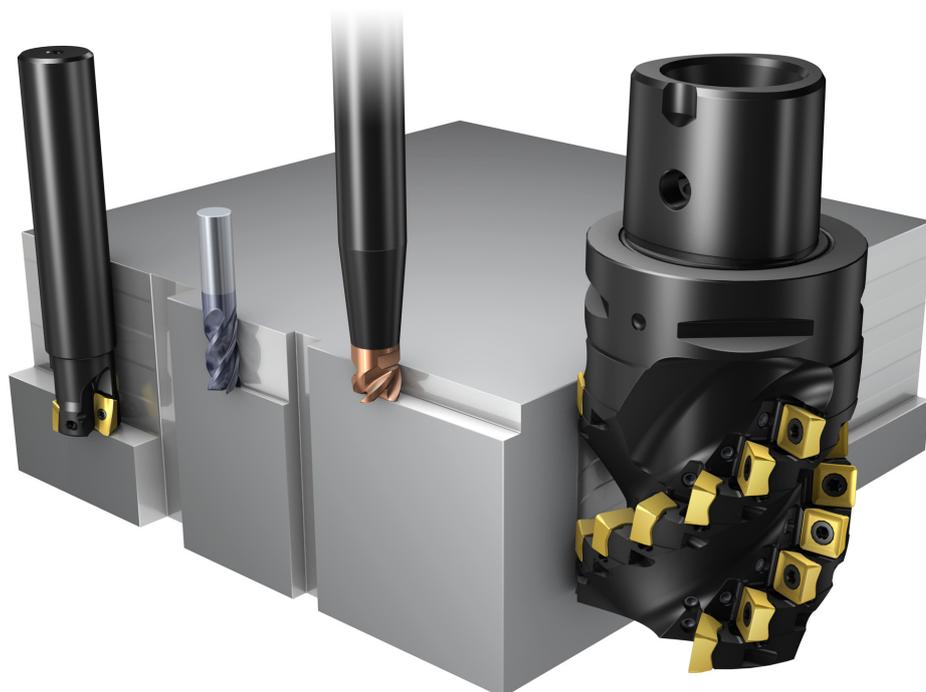
Рекомендации D 50



Фрезерование уступов

Выбор инструмента D 45

Рекомендации D 48



Обработка глубоких уступов

Фрезерование

Решение проблем D 128

Фрезерование плоскостей и уступов

При фрезеровании уступов торцевой и периферийной частью фрезы одновременно производится обработка двух поверхностей.

Главным требованием является – перпендикулярность горизонтальной плоскости и вертикальной стенки.

Обработать уступ можно используя сборные фрезы с СМП и углом в плане 90° , цельными концевыми фрезами, длиннокрайковыми и пазовыми фрезами. Поэтому, благодаря такому большому разнообразию, очень важно учесть технические требования при выборе инструмента для оптимального решения.



Выбор инструмента

Фрезерование плоскостей и уступов

	CoroMill® 490	CoroMill® 390	CoroMill® 290	CoroMill® Century	CoroMill® 331
					
Диаметр фрезы. (D_c), мм	20 – 80	40 – 200	40 – 250	40 – 200	80 – 315
Макс. глубина резания (a_p), мм	5.5	15.7	10.7	10	10.6
Обеспечение перпендикулярности	+++	++	+	+	++
Обрабатываемый материал					

Фрезы для обработки уступов

При обработке невысоких уступов фрезами с углом в плане 90° обычно достигается хорошая перпендикулярность уступа.

- Первым выбором для точной и легкой обработки является фреза CoroMill 490. Эта фреза способна обеспечить высокую точность обработки глубоких уступов многопроходной стратегией, образуя минимальные перепады между проходами.
- Семейство фрез CoroMill 390 имеет широкий ассортимент пластин, включая полный ряд пластин с радиусами, что позволяет использовать эти фрезы в широком диапазоне операций.

- Фреза CoroMill Century – первый выбор для высокоскоростной финишной обработки алюминия, также пригодна для обработки других материалов.
- Все фрезы для обработки уступов широко универсальны и применимы даже для обработки отверстий. Фрезы с углом в плане 90° являются хорошей альтернативой торцевым фрезам, особенно при вероятности прогиба плоскости при её обработке или фрезеровании закрытого кармана с тонкими стенками.
- Универсальная трёхсторонняя фреза CoroMill 331 применяется для обработки пазов, также может быть использована для обработки широких, неглубоких уступов. Ещё возможно её применение для некоторых специальных видов обработки, например, таких как фрезерование поднутрений.

Фрезерование уступов – концевые фрезы

	CoroMill® Plura	CoroMill® 316	CoroMill® 490	CoroMill® 390	CoroMill® 390 С демпфером	CoroMill® 790
						
Диаметр фрезы (D_c), мм	10 – 20	10 – 25	20 – 80	12 – 40	20 – 40	25 – 100
Мак глубина резания (a_p), мм	38	11	5.5	15.7	10	12 / 18
Обеспечение перпендикулярности	+++	+++	+++	++	++	++
Обрабатываемый материал						

Концевые фрезы

Фрезы со сменными пластинами и цельные твердосплавные фрезы представляют собой прекрасное решение для обработки уступов, требующих увеличенного вылета инструмента.

· В качестве первого выбора представлена универсальная фреза CoroMill 390. Исполнение со встроенным демпфером позволяет вести эффективную обработку глубоко расположенных поверхностей.

· Фреза CoroMill 790 является первым выбором для обработки заготовок из цветных металлов.

· Цельнотвердосплавная концевая фреза CoroMill Plura имеет огромное число разнообразных геометрий и подходит для выполнения операций фрезерования в самых разных условиях.

Фрезерование уступов – длиннокрайные фрезы

	Длиннокромочная фреза CoroMill® 390	Длиннокромочная фреза CoroMill® 690	Длиннокромочная фреза для чистовой обработки
			
Диаметр фрезы (D_c), мм	32 – 200	50 – 100	50 – 80
Мак глубина резания (a_p), мм	85	112	150
Обеспечение перпендикулярности			+++
Обрабатываемый материал			

Длиннокромочные фрезы

Длиннокромочные фрезы обычно используются для обработки глубоких уступов.

· CoroMill® – первый выбор для общей черновой обработки в стабильных условиях.

· Для обработки титана рекомендуется выбирать фрезы семейства CoroMill 690.

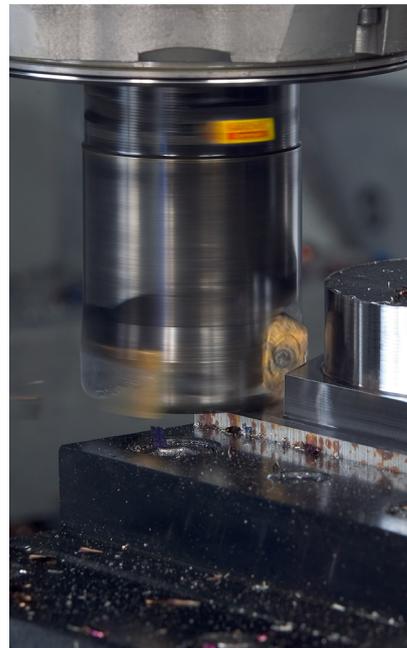
· Среди всех фрез данного типа, длиннокрайная фреза для чистовой обработки обеспечивает наивысшие результаты по качеству обработанной поверхности.

Примечание: Все вышеперечисленные фрезы подходят для обработки по контуру и фрезерования круговых ребер жесткости.

Практические рекомендации

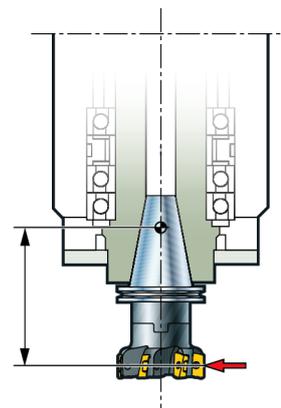
Советы по применению

- Попутное фрезерование всегда является предпочтительным методом, что особенно важно при необходимости получить высокую геометрическую точность уступа в 90° .
- Обработка уступа должна осуществляться таким образом, чтобы усилия резания по возможности были направлены к опорным точкам приспособления. Встречное фрезерование также может выступать в отдельных случаях в качестве хорошей альтернативы.
- Выбор шага фрезы зависит от степени стабильности всей системы в целом, включая станок, жесткость заготовки и ее закрепления, а также от характеристик обрабатываемого материала.
- На станках с размером шпинделя ISO 40 и менее из-за их ограниченной жесткости рекомендуется работать фрезами с крупным шагом зубьев.
- Фрезы с крупным шагом также рекомендуются для обработки деталей, закрепленных при помощи универсального наладочного приспособления. Более подробно о влиянии жесткости заготовки и её закрепления см. раздел "Основные положения" на стр. D31.
- Взаимное расположение фрезы и заготовки является особо значимым фактором, которому следует уделять повышенное внимание.
- При отношении $D_c/a_e > 10$, подача, f_z , должна быть скорректирована в соответствии со значением h_{ex} для достижения хороших результатов обработки и во избежание поломки режущей кромки.
- Если высота уступа менее 75% от длины режущей кромки, поверхность вертикальной стенки, обычно, не требует последующей чистовой доработки.
- Выбирайте пластины из более твердых марок сплава, чем для торцевого фрезерования.
- Работа длиннокромочных фрез CoroMill характеризуется неблагоприятными условиями резания, в связи с чем для них рекомендуется выбирать пластины из сплавов повышенной твердости.
- Чем больше глубина резания, тем более чувствительна система к вибрациям и поэтому обработку рекомендуется вести на пониженных скоростях.
- При возникновении вибраций, необходимо снизить скорость резания v_e и увеличить f_z , но при условии соблюдения рекомендаций по толщине срезаемой стружки h_{ex} !
- Убедитесь в том, что мощностные характеристики станка соответствуют выбранным режимам фрезерования. Расчет режимов резания приведен в главе I.



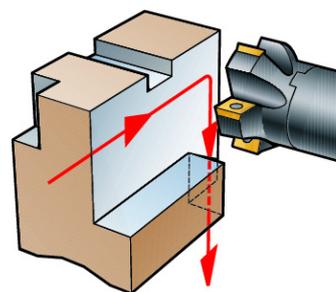
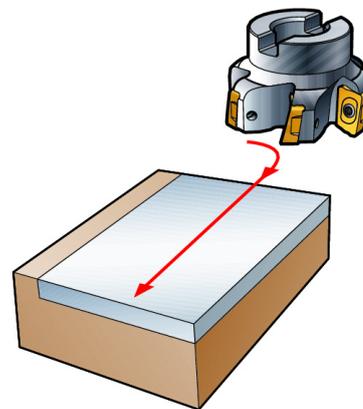
Крепление инструмента

- Особое внимание следует уделять требованиям по мощности, необходимой на осуществление нагруженных проходов, имеющих место при обработке длиннохромочными фрезами.
- Надежность закрепления инструмента оказывает огромное влияние на результаты обработки фрезами диаметром менее 50 мм.
- С увеличением глубины резания большее значение приобретает размер и стабильность соединения инструмента. Это объясняется значительными радиальными усилиями резания при обработке прямоугольных уступов, особенно длиннохромочными фрезами.
- Соединение Coromant Capto обеспечивает максимальный уровень стабильности и минимальное отклонение всех типов фрез, что приобретает решающее значение при работе с увеличенным вылетом.
- Более подробно о работе с увеличенным вылетом и применении антивибрационного инструмента Silent Tools см. в разделе "Основные положения" на стр. D30 и в разделе "Профильное фрезерование" на стр. D71.



Вход в резание

- При обработке прямоугольных уступов плавный вход фрезы в резание очень важен с точки зрения вибрационной устойчивости и обеспечения надлежащей стойкости инструмента.
- Программируйте врезание инструмента по плавной дуге таким образом, чтобы толщина срезаемой стружки на выходе зубьев из резания равнялась нулю. Придерживаясь данных рекомендаций, можно выполнять врезание с высокой подачей и более продолжительным периодом стойкости инструмента.
- Данный метод наиболее применим для операций обработки наружных углов, потому что он позволяет избегать больших нагрузок при врезании. Более подробная информация в разделе "Основные положения", на стр. D25.
- Обеспечивайте непрерывный контакт фрезы и заготовки.



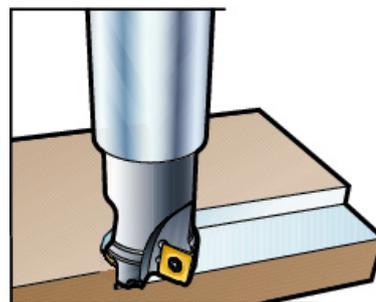
Практические рекомендации

Фрезерование невысоких уступов

Это довольно часто встречающийся тип фрезерной операции, выполняемой торцево-цилиндрическими и концевыми фрезами. При небольшой высоте уступа возможна обработка с большой радиальной глубиной резания.

Зачастую такие фрезы могут заменить традиционную торцевую фрезу, особенно в условиях, когда необходимо снизить усилия резания на деталь в осевом направлении, а также если затруднен доступ к заготовке, вызванный особенностями крепежного приспособления.

- Фрезы с увеличенной режущей частью над диаметром хвостовика обеспечивают максимальные возможности по доступу.
- Фреза для обработки уступов CoroMill 390 в стабильных условиях способна осуществлять высоконагруженные проходы. Она также является надежным решением в тяжелых условиях резания, таких как прерывистое фрезерование.

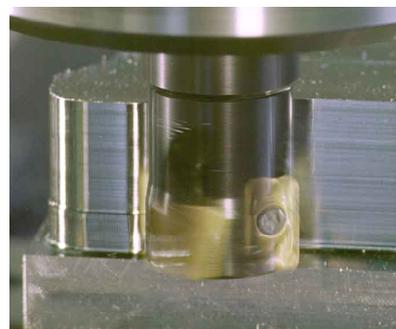


Фрезерование высоких уступов

Выполняется за несколько проходов с использованием торцево-цилиндрических и концевых фрез

Минимизировать ступеньки на отфрезерованной поверхности, являющиеся границами проходов, можно только посредством использования фрезы высокой точности, которая способна обеспечить 90° перпендикулярность стенки.

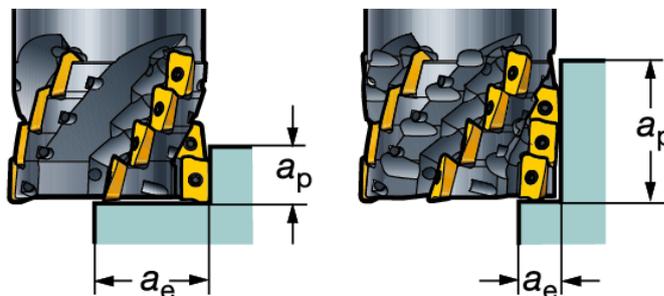
Если высота уступа меньше 75% длины режущей кромки, вертикальная поверхность, как правило, не требует последующей чистовой обработки.



Обработка уступа длиннокромочной фрезой за один проход

Длиннокромочные фрезы подходят для обработки более высоких, протяженных уступов, требующих снятия большого объема металла:

- Высокая скорость удаления материала.
- Обычно используется для чернового фрезерования, из-за того что на обработанной поверхности образуются риски между рядами пластин.



Данные фрезы предъявляют повышенные требования к следующим составляющим процесса резания:

- Стабильность
- Состояние шпинделя
- Эвакуация стружки
- Система крепления инструмента
- Энергопотребление.

Значительные радиальные усилия обуславливают высокую сложность выполнения операции.

Длиннокромочные фрезы короткого исполнения рекомендуются для:

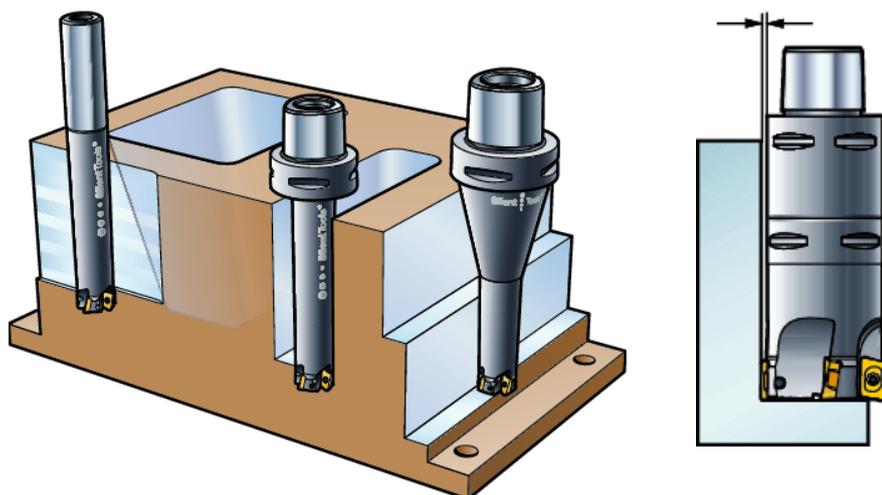
- Обработки невысоких, но широких уступов.
- Обработки паза на полную ширину, равную диаметру инструмента, однако, могут возникнуть ограничения по характеристикам станка.

Длиннокромочные фрезы удлиненного исполнения рекомендуются для:

- Фрезерования уступов с умеренной радиальной глубиной резания.
- Фрезерования по контуру на мощных станках.

Фрезерование глубоких уступов

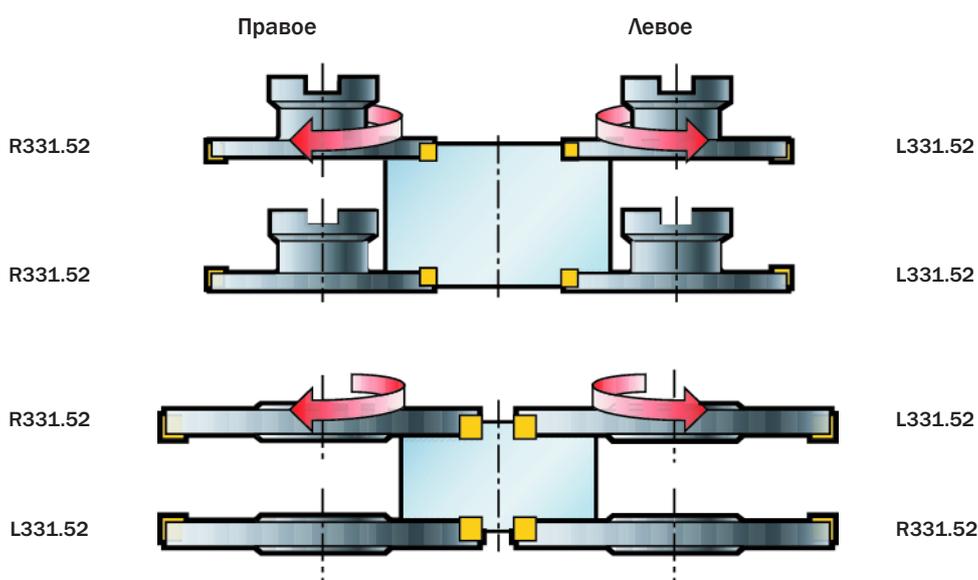
- Для обработки небольших, но расположенных глубоко, уступов следует использовать удлиненные фрезы. Для обработки более удалённых мест, используйте удлинители Coromant Capto.
- Длиннокромочные фрезы также доступны в удлиненном исполнении для ещё более глубоких уступов. Однако в этом случае следует ограничить ширину резания.



Фрезерование уступов трёхсторонними фрезами

Трёхсторонние дисковые фрезы также применяются для обработки уступов, особенно если форма узкая и к тому же протяжённая.

Обычно эти фрезы обеспечивают единственно возможную обработку поднутрений на закрытых уступах.



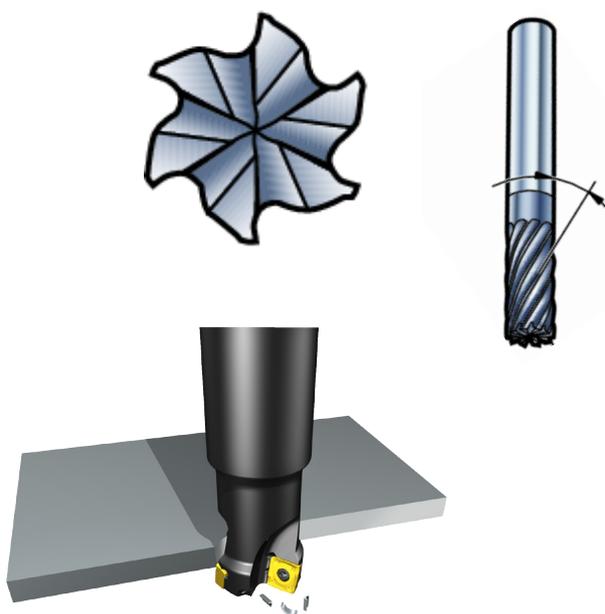
Правильный выбор фрез семейства CoroMill 331 для фрезерования уступов и поднутрений при правостороннем и левостороннем вращении шпинделя.

Контурная обработка - Фрезерование периферией

Обработка стенок, в действительности, это - торцевое фрезерование, только по контуру. Торцевое фрезерование и контурное фрезерование – это разновидности фрезерования периферийной частью фрезы.

Выбор инструмента

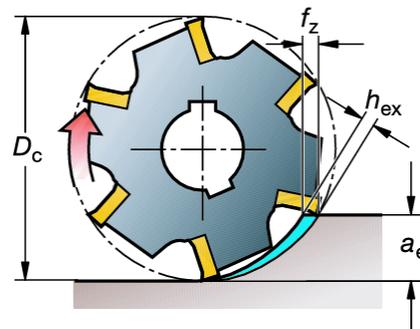
- Тонкие стенки обычно обрабатывают концевыми фрезами, обработку более глубоких или широких стенок ведут за несколько проходов концевыми фрезами, однако высокую стенку можно обработать за один проход длиннокрюмочной фрезой.
- Уступы глубиной в два диаметра инструмента эффективно фрезеровать длиннокрюмочной фрезой или цельной твердосплавной фрезой CoroMill Plura. Для обработки таких глубоких уступов рекомендуемая глубина резания должна составлять половину диаметра фрезы.
- Для контурной обработки и фрезерования уступов также можно применять трёхсторонние фрезы.
- Большой угол винтовой канавки обеспечивает достаточное число зубьев в контакте и плавность процесса резания при контурной обработке на небольшой глубине резания.
- Фрезы с малым и сверхмалым шагом зубьев наиболее пригодны для контурной обработки. Также это применимо для обработки тонких стенок и неглубоких широких уступов фрезами с углом плане 90°.



Практические рекомендации

Советы и рекомендации по применению

- Наиболее важным фактором при фрезеровании периферийной частью является выбор подходящей подачи на зуб, f_z .
- Значение подачи, f_z , необходимо корректировать при врезании фрезы, что влияет на толщину стружки, смотрите раздел "Основные положения" на стр. D20.
- Значение подачи на зуб, f_z , необходимо умножить на коэффициент подачи.
- Результирующая подача будет больше с меньшей дугой врезания и, в то же время, толщина стружки будет достаточной величины.
- Тем не менее, коэффициентом увеличения подачи не всегда можно пользоваться: ограничения по шероховатости поверхности будут ограничивать значение подачи.



Шероховатость поверхности – цилиндрическое фрезерование

Как упоминалось ранее, шероховатость получаемой поверхности может ограничивать значение подачи, особенно при малой радиальной глубине резания.

При работе цилиндрической частью концевой фрезы на профиле образуются серии 'гребешков'. Высота этих гребешков, h , определяется:

- Диаметр фрезы, D_c
- Подачей на зуб, f_z
- Биением инструмента, TIR.

Как правило, сборные фрезы с СМП будут всегда иметь большее биение, TIR, по сравнению с цельными твердосплавными фрезами. Также больший диаметр фрезы и большее количество зубьев увеличивают высоту гребешков.

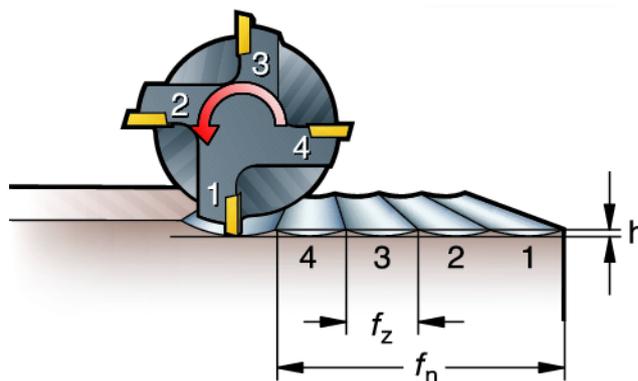
Для наилучшей шероховатости поверхности:

- Используйте цельные твердосплавные фрезы CoroMill Plura или CoroMill 316.
- Закрепляйте инструмент в прецизионных патронах (CoroGrip или HydroGrip), используя модульную систему Coromant Capto.
- Обеспечьте наименьший вылет инструмента.

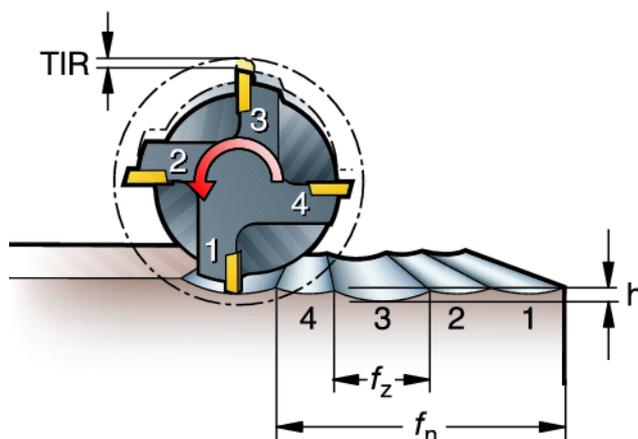
Рекомендации по подаче (не учитывая h_{ex}):

- Фрезы с СМП, начальное значение $f_z = 0.15$ мм/зуб
- Цельные твердосплавные фрезы, начальное значение $f_z = 0.10$ мм/зуб

Примечание: наихудшее качество поверхности получается при её формировании всего одной режущей кромкой, когда имеет место повышенное биение фрезы.

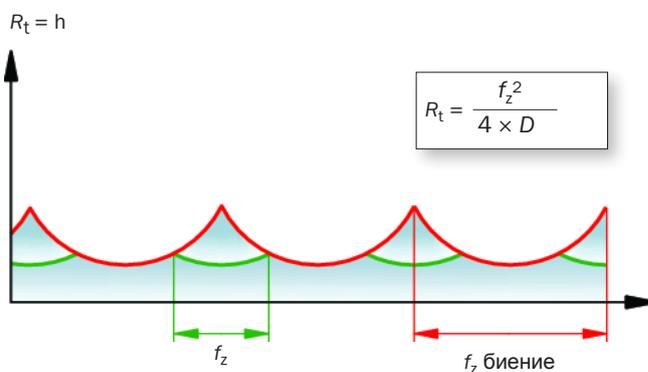


При отсутствии биения инструмента, высоту гребешков можно приблизительно подсчитать:



При наличии биения, величина подачи, f_z , и, следовательно, высота гребешков, h , будет сильно зависеть от этого биения, TIR.

Глубина профиля/высота гребешков



Поверхность, образованная при наличии биения и с его отсутствием.

Более подробная информация о рекомендуемом размере фрезы, врезании, расположении относительно заготовки, образовании стружки в разделе "Основные положения" на стр. D22.

Информация об осевой контурной обработке, используя торцевые фрезы, в разделе "Торцевое фрезерование" на стр. D59.

Фрезерование уступов – Обработка тонких и нежестких стенок

- Для обработки тонкостенных деталей могут использоваться различные стратегии, их выбор зависит от высоты и толщины стенки.
- Количество проходов во всех случаях будет определяться размерами стенки и осевой глубиной резания.
- Необходимо принимать во внимание устойчивость, как фрезы, так и стенки.
- Применяйте высокоскоростную стратегию, то есть малую a_p/a_e и высокую скорость резания v_c , что облегчает обработку тонких стенок, так как такое сочетание обеспечивает сокращение времени контакта и, следовательно, снижает силовое воздействие и отжим стенки.
- Предпочтительно попутное фрезерование.
- Для фрезерования алюминия и титана рекомендуются идентичные методы.



Малое соотношение высоты к толщине стенки <math><15:1</math>:

- Обработку одной стороны следует вести непересекающимися проходами.
- То же повторите на противоположной стороне.
- Для последующей финишной обработки необходимо оставить припуск.

Среднее соотношение высоты к толщине стенки <math><30:1</math>

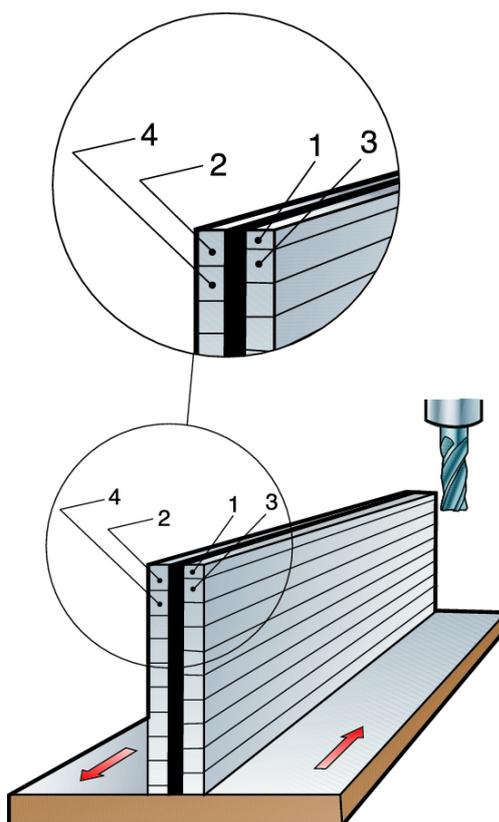
"Поуровневое" фрезерование:

- Фрезерование с чередованием сторон стенки с разной начальной глубиной резания при непересекающихся проходах.

Чередование

Поддержка стенки:

- Аналогичный подход, но с перекрытием проходов обработки двух сторон стенки: это обеспечит лучшую поддержку в месте фрезерования. Первый проход следует производить с уменьшенной глубиной резания, $a_p/2$.
- В любом случае, необходимо оставить припуск на стенке для последующей финишной обработки 0.2 – 1.0 мм.

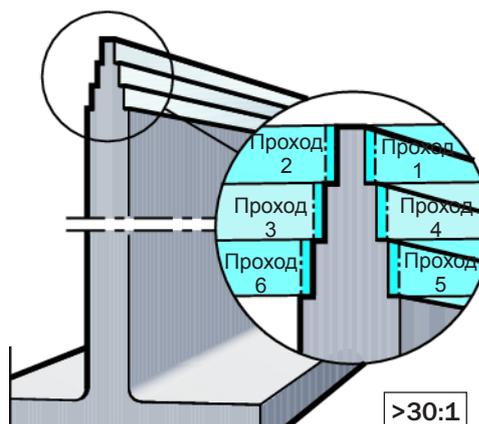


Проходы следует выполнять зигзагообразно.

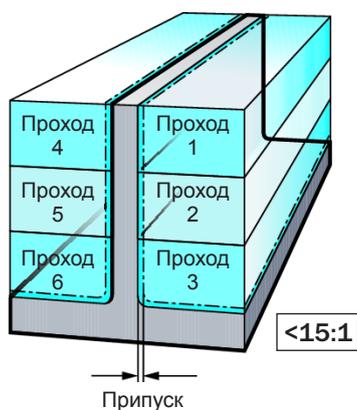
Очень большое соотношение высоты к толщине стенки >30:1

В дополнение к обработке с чередованием сторон стенки, можно достигнуть нужной толщины стенки за несколько этапов, то есть стенка будет похожа на ёлку.

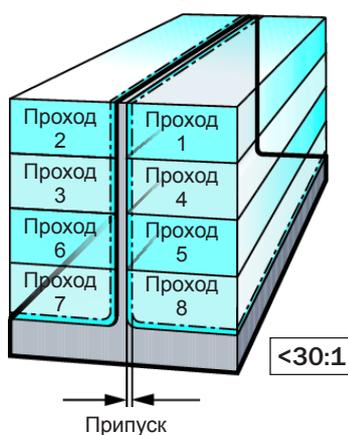
- Во время обработки более тонкая часть стенки всегда будет поддерживаться более толстой.
- Таким образом, поэтапно ведите обработку сверху вниз.



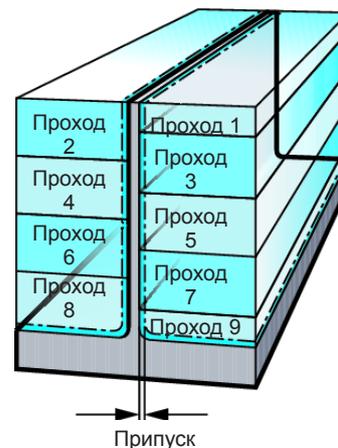
Тонкие стенки



Поуровневая обработка



Обработка с поддерживающими участками



Обработка уступов тонкостенных деталей

Обработка тонкостенного основания:

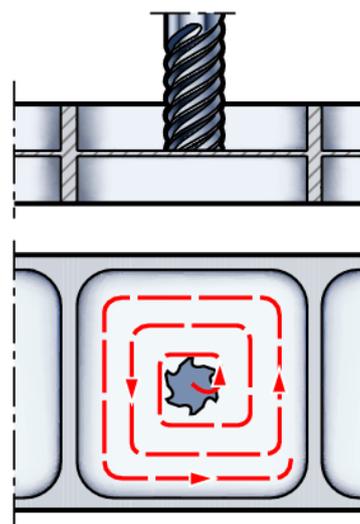
- Используйте фрезерование круговой интерполяцией из центра области обработки сразу на всю глубину резания.
- Обработку следует производить наружу по круговой траектории из этой точки.

Если обработка включает поверхности уже обработанные с другой стороны:

- Применяйте инструмент с наименьшим количеством режущих зубьев.
- Необходимо минимальное силовое воздействие с этой стороны при обработке.

Если заготовка имеет отверстие в центре основания:

- Оставьте поддерживающую опору в том месте при обработке с одной стороны.
- Обработайте другую сторону.
- Удалите поддерживающую опору после того, как обе стороны будут обработаны.



Торцевое фрезерование

Обзор технологических решений

A

Точение

B

Отрезка и обработка канавок

C

Нарезание резьбы

D

Фрезерование

E

Сверление

F

Растачивание

G

Инструментальная оснастка

H

Материалы

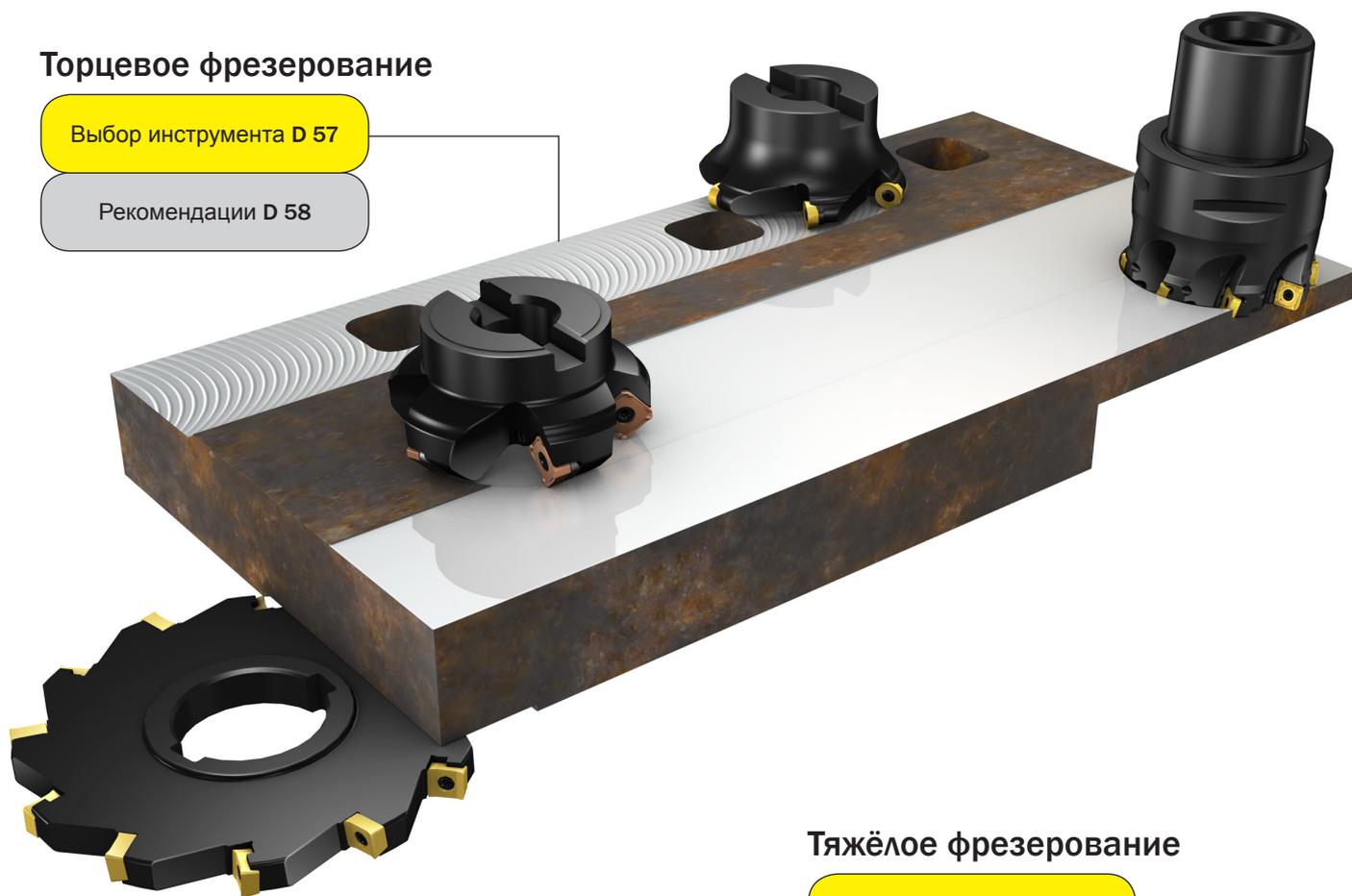
I

Информация/Указатель

Торцевое фрезерование

Выбор инструмента D 57

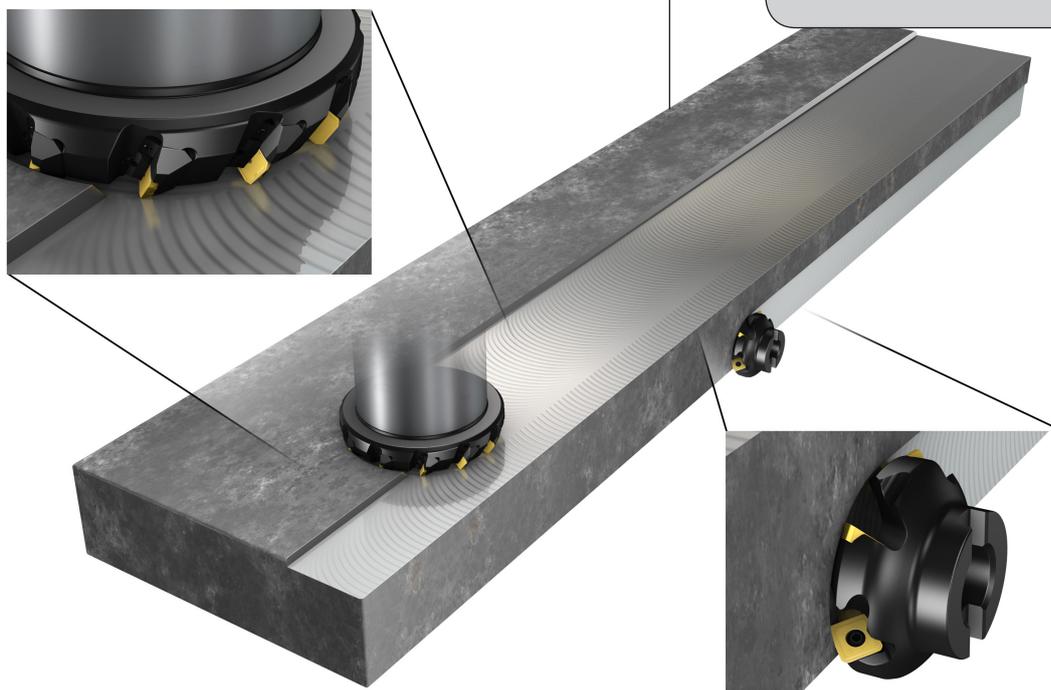
Рекомендации D 58

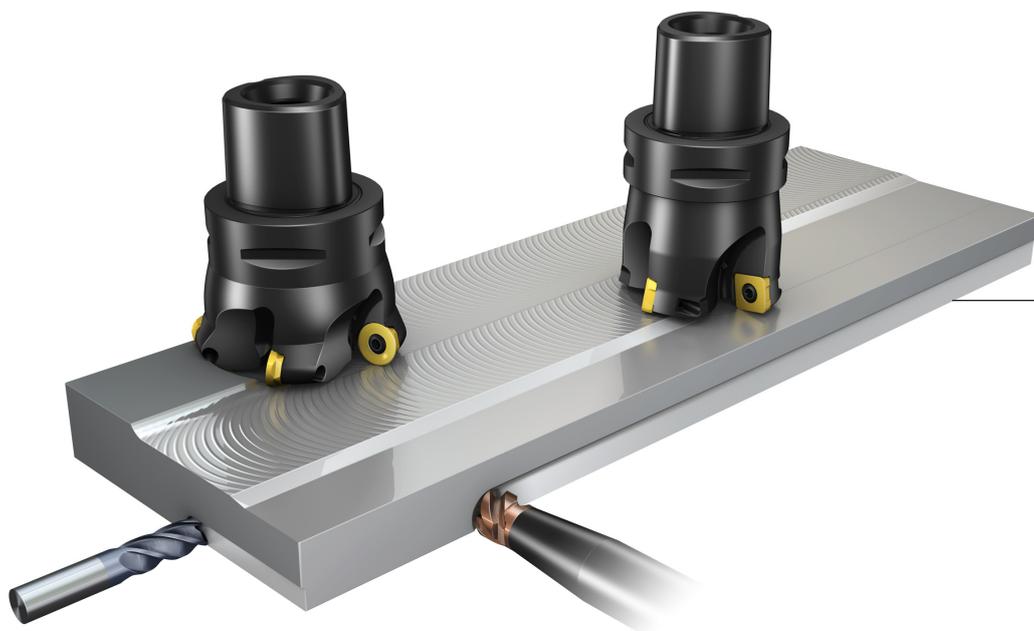


Тяжёлое фрезерование

Выбор инструмента D 62

Рекомендации D 63





Высокоскоростное фрезерование

Выбор инструмента D 60

Рекомендации D 61

Финишная обработка пластинами Wiper

Выбор инструмента D 64

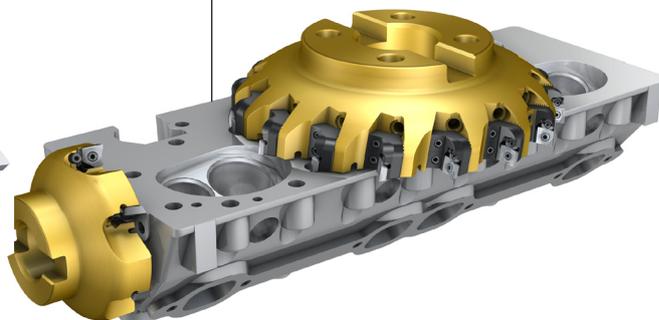
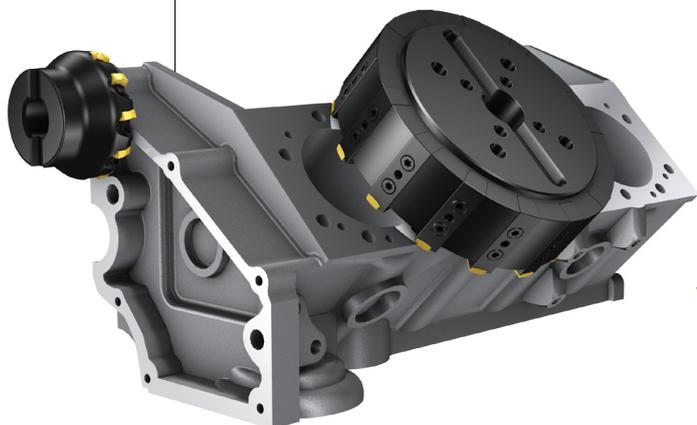
Рекомендации D 65



Фрезы, оптимизированные для обработки различных материалов

K На странице D 36.

N На странице D 38.

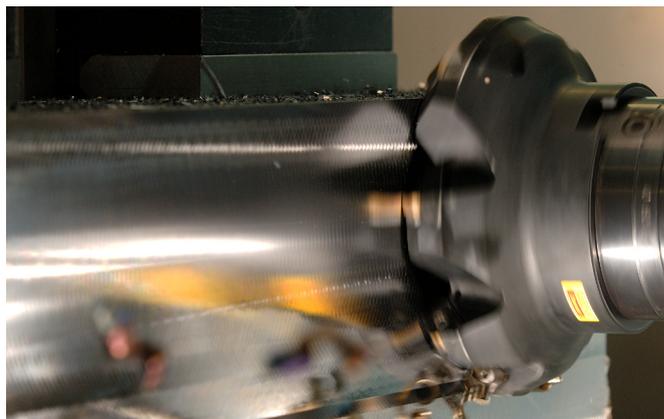


Фрезерование

Решение проблем D 128

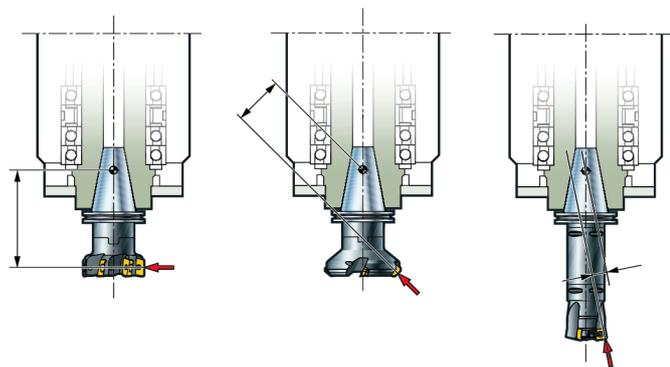
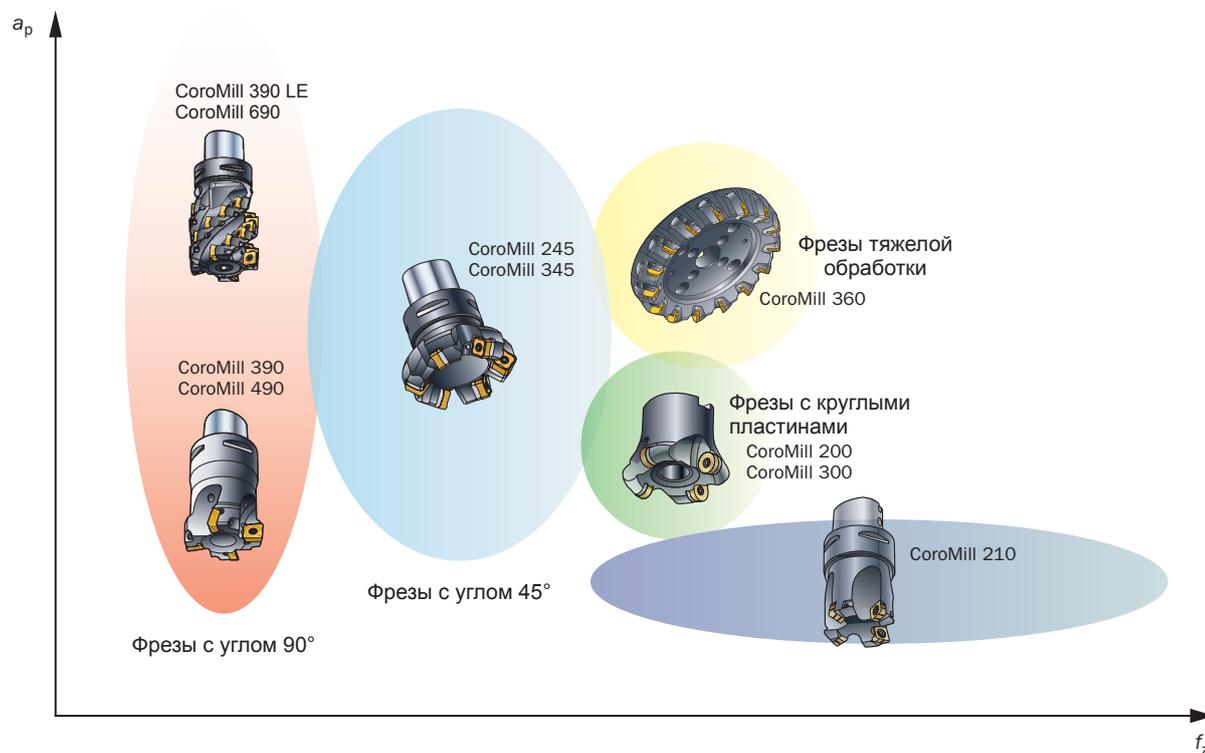
Торцевое фрезерование

Одной из наиболее распространенных операций является торцевое фрезерование, для ее выполнения можно использовать различный инструмент. Наиболее часто применяются фрезы с главным углом в плане 45° , но также для торцевого фрезерования могут применяться фрезы с круглыми пластинами, дисковые трёхсторонние и концевые фрезы.



Обзор торцевых фрез

Диаграмма показывает основные области применения различных конструкций фрез в зависимости от глубины резания, a_p , и подачи на зуб, f_z .



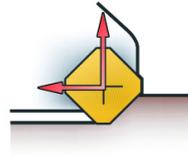
Направление сил резания зависит от главного угла в плане.

Торцевое фрезерование

Выбор инструмента

Фрезы с главным углом в плане 45°

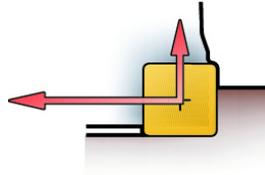
- Первый выбор для общего назначения
- Меньше вибраций на большом вылете
- За счёт более тонкой стружки можно повысить производительность



	CoroMill® 245	CoroMill® 345	Sandvik AUTO
Макс. глубина резания (a_p), мм	6/10	6	6
Диаметр фрезы (D_c), мм	32 – 250	40 – 250	80 – 500
Обрабатываемый материал			

Фрезы с главным углом в плане 90°

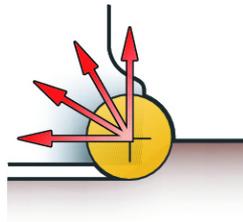
- Обработка тонкостенных деталей
- Обработка слабо закреплённых деталей
- Обработка уступов в 90°



	CoroMill® 490	CoroMill® 290	CoroMill® 390
Макс. глубина резания (a_p), мм	5.5	10.7	10/15.7
Диаметр фрезы (D_c), мм	20 – 80	40 – 250	12 – 42/ 400 – 200
Обрабатываемый материал			

Фрезы с круглыми пластинами

- Фрезы общего назначения
- Самая прочная режущая кромка
- Большое количество режущих кромок на пластине
- Наилучшим образом подходят для обработки жаропрочных сплавов группы ISO S.
- Процесс резания более плавный



	CoroMill® 200	CoroMill® 300
Макс. глубина резания (a_p), мм	10	7/8
Диаметр фрезы (D_c), мм	25 – 160	10 – 42/ 25 – 125
Обрабатываемый материал		

Фрезы с главным углом в плане $60^\circ - 65^\circ$

На странице D 150.

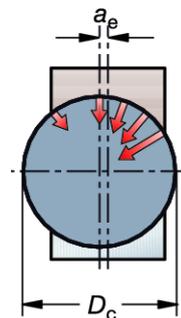
Фрезы с главным углом в плане 10°

На странице D 60.

Практические рекомендации

Практические советы и рекомендации

- Всегда следует принимать во внимание жесткость станка, размер и тип шпинделя (горизонтальное или вертикальное расположение) и мощность станка.
- Выбирайте диаметр фрезы, так чтобы он был больше ширины заготовки на 20...50%.
- Следует учитывать расположение фрезы относительно заготовки и размер максимальной толщины стружки для выбора оптимальной подачи.
- Смещение фрезы от центра заготовки позволяет на выходе из резания формировать самую тонкую стружку.

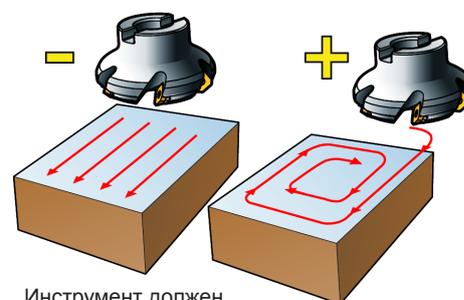


- Для плавного врезания фрезы в заготовку траекторию следует формировать по дуге и при этом снижать подачу.



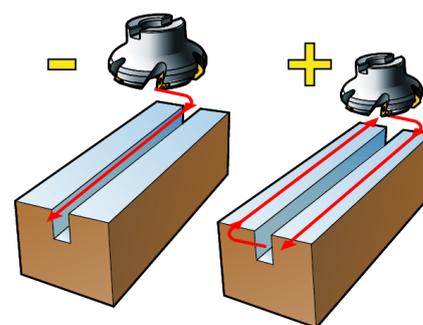
- Применение попутного фрезерования наиболее благоприятно для стружкообразования: при врезании формируется более толстая стружка, на выходе – более тонкая.
- Избегайте лишних врезаний и выходов из заготовки.

- По возможности следует избегать частого входа и выхода инструмента из заготовки. Это способствует возникновению неблагоприятных напряжений на режущей кромке или является причиной возникновения вибраций. Рекомендуется формировать траекторию движения фрезы таким образом, чтобы инструмент находился все время в резании, это предпочтительнее, чем несколько параллельных проходов. А изменение направления резания следует производить по небольшому радиусу для постоянного контакта инструмента и заготовки.



Обработка прерывистой поверхности

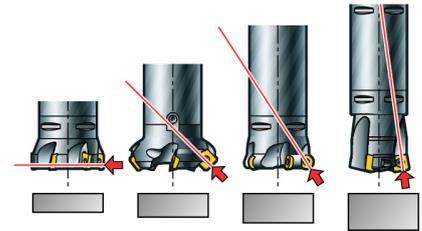
- По возможности, следует исключать прерывистую обработку (с отверстиями или пазами). Прерывистая обработка требует большей прочности режущей кромки и является причиной многократных врезаний и выходов из резания.
- В любом случае, при обработке прерывистой поверхности следует снижать подачу на 50%.





Торцевое фрезерование тонкостенных и отгибающихся деталей

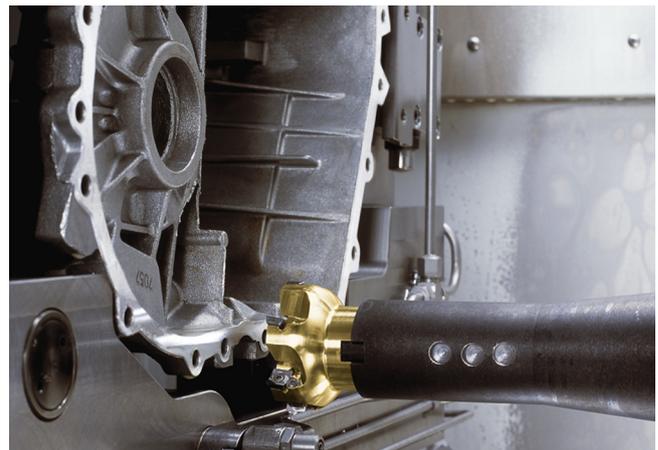
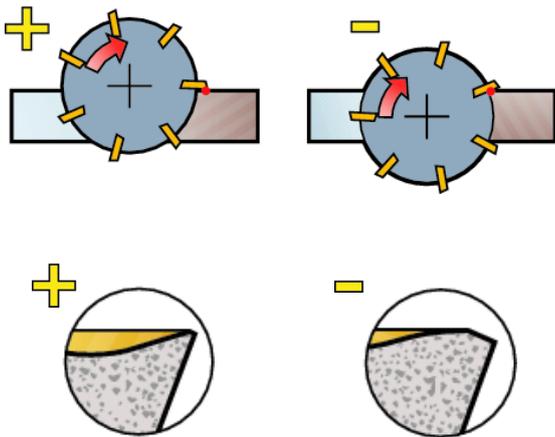
- Всегда следует учитывать воздействие сил резания на заготовку и их направление.
- При обработке неустойчивых в осевой направлении заготовок выбирайте фрезу с главным углом в плане 90° , так как в этом случае основная часть сил резания направлена радиально.
- Следует применять инструмент для легкой обработки.
- Для минимизации осевой составляющей силы резания не назначайте глубину резания меньше чем 0.5-2 мм.
- Для снижения количества зубьев, одновременно участвующих в резании, выбирайте фрезы с крупным шагом.
- Выбирайте острую позитивную (-L) геометрию передней поверхности для снижения сил резания.



Рекомендации, перечисленные выше, более детально описаны в разделе "Основные положения" на стр. D20–D31.

Контурная обработка торцевыми фрезами тонкостенных деталей

- При обработке плоскости тонких стенок центр фрезы должен быть смещен от центра стенки. Таким образом, процесс резания происходит стабильнее, и силы резания распределяются равномерно вдоль стенки, что снижает риск возникновения вибраций
- Лучше выбирать фрезу с таким количеством зубьев, чтобы в резании одновременно участвовало больше одного зуба.
- Выбирайте, по возможности, наиболее острую геометрию пластин: легкую вместо средней и среднюю вместо тяжелой.
- Для снижения риска возникновения вибраций выбирайте пластины с меньшим радиусом при вершине и меньшей зачистной кромкой при обработке тонких стенок.
- Снижайте режимы резания: глубину резания, a_p , и подачу на зуб, f_z .



Более подробная информация о рекомендуемом размере фрезы, методе врезания, расположении относительно заготовки, образовании стружки в разделе "Основные положения" на стр. D22–D25.

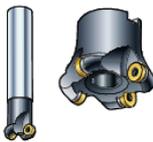
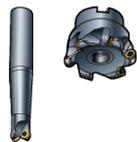
Высокопроизводительное фрезерование

Торцевое фрезерование с очень большой подачей на зуб (до 4 мм/зуб) применимо для фрез с небольшим углом в плане или с пластинами круглой формы, так как для них характерно образование стружки небольшой толщины. При этом глубина резания не должна превышать 2 мм. Невероятно высокие значения подачи делают данный метод чрезвычайно производительным.

Существуют фрезы, специально созданные для работы в условиях высоких подач с небольшой глубиной резания. Обязательным условием пригодности инструмента для “легкого и быстрого” фрезерования является небольшое значение главного угла в плане.



Выбор инструмента

	CoroMill® 210	CoroMill® 316	CoroMill® Plura	CoroMill® 200	CoroMill® 300
					
	Высокопроизводительные фрезы			Фрезы с круглыми пластинами	
Мак глубина резания (a_p), мм	1.2 – 2	1.3	1.3	10	7/8
Диаметр фрезы (D_c), мм	25 – 160	10 – 25	4 – 20	25 – 160	10 – 42/ 25 – 125
Обрабатываемый материал					

CoroMill® 210

- Наиболее производительный инструмент с главным углом в плане 10° , позволяющий вести обработку с очень высокими значениями подачи на зуб, f_z .

CoroMill® Plura и CoroMill® 316

- Увеличение подачи более чем в два раза по сравнению с традиционными концевыми фрезами при небольшой глубине резания, a_p .
- Высокоточные фрезы, оптимизированные для высокоскоростной обработки закаленной стали.
- Черновая и получистовая профильная обработка с чрезвычайно высокими подачами.

Примечание: Не превышайте максимально рекомендованного значения a_p для фрез CoroMill 210, CoroMill Plura и CoroMill 316. При высокоскоростной обработке фрезами с круглыми пластинами или с большим радиусом при вершине значение a_p должно быть значительно ниже рекомендованного максимума.

CoroMill® 200 и CoroMill® 300

- Фрезы с круглыми пластинами.
- С уменьшением глубины резания толщина стружки резко уменьшается.
- Плавный процесс резания.
- Фрезы общего назначения для тяжелых и легких условий обработки.

Практические рекомендации

Фрезы с небольшим главным углом в плане

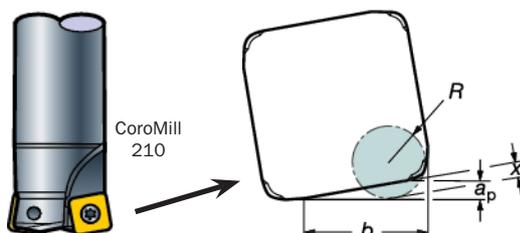
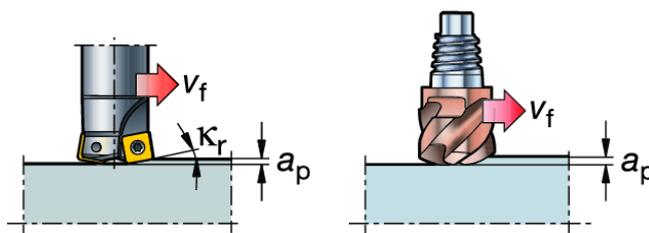
Максимальная толщина срезаемой стружки оказывается ничтожно малой при небольшом значении главного угла. Поэтому становится возможным работа с большими подачами без риска перегрузки режущей кромки.

Для фрез CoroMill 210:

- Максимальное значение глубины резания для фрез с пластинами 14 мм составляет 2.00 мм, с для фрез с пластинами 9 мм – 1.2 мм.
- В благоприятных условиях обработки подача на зуб, f_z , может достигать 4 мм/зуб, при этом производительность съема металла может составлять 1400 см³/мин.

Примечание: Старайтесь избегать обработки вблизи прямоугольного уступа, так как при этом резко возрастает глубина резания и, соответственно, значение угла в плане.

Как и на других операциях фрезерования, при использовании фрез данного типа необходимо снижать подачу при ухудшении условий обработки. Это уменьшит риск возникновения вибраций и позволит избежать поломки пластины.



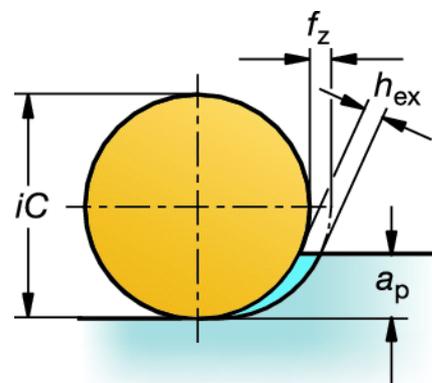
iC	Размеры, мм				Несрезанный материал
	iC	R	b	a _p	
9	2.5	7.05	1.2	0.79	
14	3.5	12.0	2.0	1.48	

При использовании фрез CoroMill 210, радиус программируется также как и для фрез с круглыми пластинами радиусом R, см. таблицу.

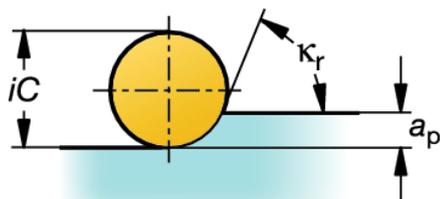
Фрезы с круглыми пластинами

При использовании фрез CoroMill 200 и CoroMill 300 для работы с большими подачами глубина резания должна быть очень небольшой (max 10% от iC). В противном случае толщина срезаемого слоя металла возрастет, что вызовет необходимость в снижении подачи.

Примечание: В процессе обработки фрезами с круглыми пластинами при приближении к прямоугольному уступу обязательно снижайте подачу из-за резкого увеличения глубины резания.



Толщина срезаемой стружки, h_{ex} , у пластин круглой формы зависит от глубины резания, a_p .



Прочные пластины для черновых операций общего типа

- Наивысшая производительность достигается, если значение глубины резания меньше чем 25% x iC.

У круглых пластин нагрузка на режущую кромку и угол в плане зависят от значения глубины резания.

Тяжелое торцевое фрезерование

К данному типу фрезерования относится черновая обработка поковок, отливок, горячекатаных заготовок или сварных деталей на мощных фрезерных станках портального типа или на больших фрезерных центрах.

Обработка характеризуется съемом большого объема материала и высокими усилиями резания и сопровождается образованием высоких температур. Поэтому инструмент для выполнения подобных операций должен отвечать определенным специфическим требованиям.

- Высокая нагрузка на режущую кромку при работе пластиной на полную глубину резания.
- Износ уголков пластины абразивной коркой, когда значение глубины резания близко к нулю.

Фрезы с углом в плане 60° являются оптимальным решением для тяжелого фрезерования. Их конструкция обеспечивает:

- Большие возможности по глубине резания, относительно сбалансированные усилия резания и эффект утонения стружки, позволяющий увеличить подачу.
- Конструкция фрезы позволяет использовать пластины с большой зачистной фаской, что обеспечивает хорошую чистоту поверхности.



Выбор инструмента

	CoroMill® 360	CoroMill® 245-18	T-Max 45	CoroMill® 390-18	CoroMill® 300-20
					
Главный угол в плане (K_r), градусы	60°	45°	45°	90°	Круглые пластины
Макс глубина резания (a_p), мм	13 / 18	10	12	15.7	10
Диаметр фрезы (D_c), мм	160 – 500	32 – 250	100 – 400	40 – 200	66 – 200
Обрабатываемый материал					

Фреза CoroMill® 360

- Простота эксплуатации фрезы и быстрая и надежная фиксация пластин уменьшают вспомогательное время на операции.
- Максимальная глубина резания достигает 18 мм, что означает высокую производительность съема материала и возможность обрабатывать заготовки с грубой коркой.
- Высокая производительность – подача составляет 0.4 – 0.7 мм/зуб.
- Широкая зачистная фаска обеспечивает высокое качество обработки.
- Прочные вершины пластин хорошо противостоят абразивному износу при резании на небольшой глубине.
- Высокая прочность фрезы в целом делает ее надежным решением для фрезерования в очень тяжелых условиях.

Фреза CoroMill® 245 с пластинами размером 18 мм

- Торцевая обработка средней тяжести, ненагруженный процесс резания.
- Глубина резания 6–8 мм, диапазон подач 0.2 – 0.6 мм/зуб.
- Первый выбор для обработки на больших обрабатывающих центрах в тяжелых условиях.
- Возможна комплектация фрезы пластинами Wiper при необходимости получения хорошего качества поверхности.

Фреза CoroMill® 390 с пластинами размером 18 мм
Первый выбор для обработки торцев и уступов в условиях средней тяжести.

Фреза CoroMill® 300 с пластинами размером 20 мм
Прочные режущие кромки подходят для обработки по корке или для прерывистой обработки. Круглая форма пластин гарантирует плавный процесс резания. При работе с небольшой глубиной резания может использоваться восемь режущих кромок. Максимальная глубина резания составляет 10 мм. Максимальная рекомендуемая толщина срезаемой стружки зависит от геометрии пластины и глубины резания и может достигать 0.55 мм/зуб. Более подробная информация на стр. D162.

Фреза T-Max 45
Высокопроизводительная фреза с углом в плане 45°, рекомендуемая для работы в тяжелых условиях обработки, в частности при большом вылете инструмента, когда значение подачи на зуб ограничено риском возникновения вибраций.

- Возможна обработка с глубиной резания до 12 мм с подачей до 0.5 мм. Фрезерование с такими параметрами обеспечивает высокую эффективность съема металла.
- Толстые пластины с 2 мм зачистной фаски, имеющие возможность регулировки в осевом направлении, делают данную фрезу надежным инструментом для черновой обработки. Хотя она может с успехом использоваться и на чистовых операциях.
- Подпружиненный механизм крепления пластин прост и удобен в эксплуатации.

Практические рекомендации

Практические рекомендации и советы

Вход в резание

Зачастую черновое фрезерование проходит в тяжелых условиях, поэтому на данной операции очень большое значение приобретает возможность обеспечения постепенного входа пластины в резание.

- По возможности программируйте вход инструмента в резание по скругленной траектории.
- При отсутствии такой возможности, снижайте подачу до полного входа фрезы в резание.

Расположение и размер фрезы

При тяжелом торцевом фрезеровании, как правило, обрабатываются достаточно протяженные поверхности за несколько проходов инструмента. При этом необходимо придерживаться рекомендаций, касающихся:

- Взаимного расположения фрезы и заготовки, протяженности линии их контакта
- Выбора диаметра фрезы в зависимости от возможностей оборудования по мощности
- Программирования траектории движения инструмента. Избегайте неблагоприятных условий выхода кромок из резания.

Конкретные рекомендации приведены в разделе Основные положения на стр. D22.

Учитывайте возможность выделения большого объема тепла

Операции тяжелого фрезерования характеризуются высокими температурами в зоне резания. При этом образуется большое количество стружки, которая скапливается вокруг фрезы, вследствие затрудненной эвакуации. Возможно повторное резание стружки, что негативно сказывается на стойкости инструмента. Во избежание вышеперечисленных явлений старайтесь очищать зону резания от излишних объемов стружки.

Предотвратить ускоренный износ уголка пластины из-за абразивной корки можно за счет увеличения глубины резания. В этом случае точка контакта пластины с поверхностью заготовки перемещается в более прочную зону режущей кромки.

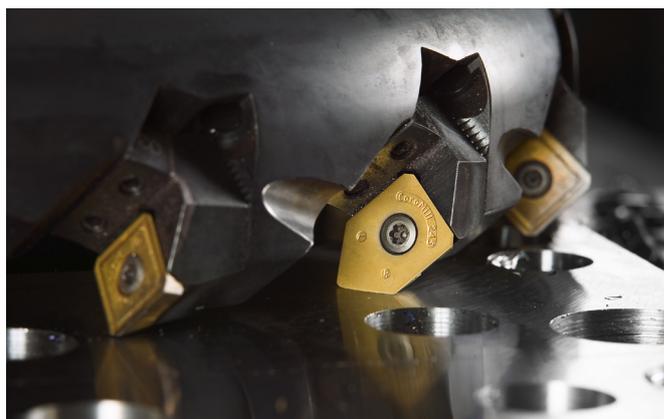
Примечание: При смене режущих кромок на фрезе используйте перчатки, чтобы не обжечься о нагретый инструмент.



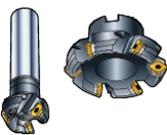
Чистовое фрезерование с пластинами Wiper

Высокое качество обработанной поверхности может быть достигнуто при установке на фрезу совместно со стандартными пластинами одной или нескольких зачистных пластин. Использование пластин Wiper наиболее целесообразно при работе с высокими значениями подачи на оборот, f_n , фрезами большого диаметра с мелким шагом зубьев и на фрезе с возможностью регулировки положения пластин.

При использовании зачистных пластин увеличение подачи возможно до 4 раз без снижения качества обработанной поверхности. Пластины Wiper могут применяться при обработке любых материалов и способны выполнять свою миссию даже в не очень благоприятных условиях резания.



Выбор инструмента

	CoroMill® 345	CoroMill® 245	CoroMill® 365	CoroMill® Century	AUTO-AF	AUTO-FS
						
Главный угол в плане (K_r), градусы	45°	45°	65°	90°	75°	90°
Мак глубина резания (a_p), мм	6	10	6	10	1	8.1
Диаметр фрезы (D_c), мм	40 – 250	32 – 250	40 – 250	40 – 200	80 – 500	125 – 500
Чистота поверхности (R_a)	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0
Обрабатываемый материал						

Фреза CoroMill® 245

Широкий выбор пластин Wiper для чистовой обработки большинства групп материалов. Фрезы большого диаметра имеют конструкцию с кассетами, позволяющими выполнять регулировку положения режущей кромки в осевом направлении.

Фреза CoroMill® 345

Доступны пластины Wiper с двумя правыми и двумя левыми фасками длиной 5 мм.

Фреза CoroMill® 365

Доступны два типа пластин Wiper

- С двумя правыми и двумя левыми кромками
- С зачистной фаской большой длины с одной правой и одной левой кромкой.

У фрез большого диаметра со сменной режущей частью и базовым элементом регулировка положения режущих пластин осуществляется за счет использования опорных пластин.

Фреза CoroMill® Century

Высокоточная настройка положения пластин позволяет использовать более одной зачистных пластин на фрезе большого диаметра, а на фрезу небольшого диаметра во все посадочные гнезда могут быть установлены пластины Wiper. Это обеспечивает высочайший уровень производительности с одновременно высоким качеством обработанной поверхности. Доступен широкий выбор сплавов для пластин Wiper для обработки большинства групп материалов.

Фреза AUTO-AF

Все типоразмеры фрез оснащены кассетами, в которые могут быть закреплены пластины Wiper типа -L или -F с увеличенной длиной зачистной кромки. Фрезы большого диаметра выпускаются в исполнении со сменной режущей частью и базовым элементом.

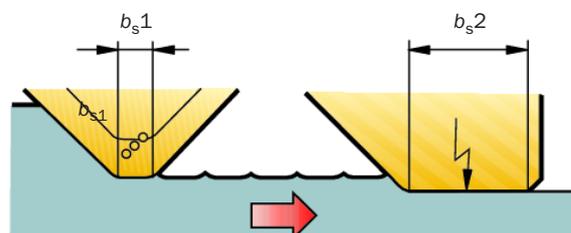
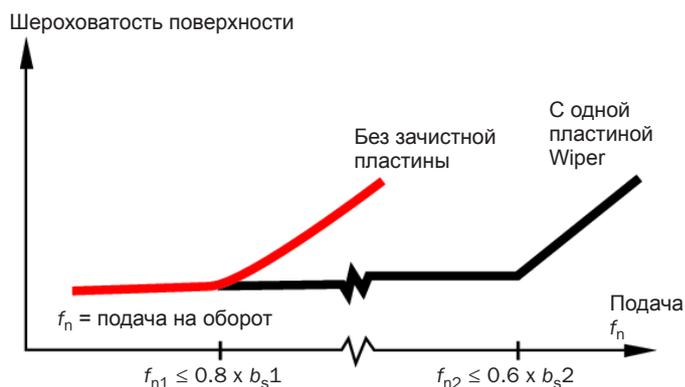
Фреза AUTO-FS

Фрезы большого диаметра имеют сменную режущую часть и базовый элемент. Регулировка в осевом направлении осуществляется за счет использования опорных пластин. Доступны пластины Wiper с 4 режущими кромками.

Практические рекомендации

Зеркальная чистота поверхности при высоких подачах

- Когда подача f_n превышает 80% длины зачистной фаски на стандартной пластине, b_s , использование пластины Wiper позволит улучшить качество обработанной поверхности.
- При увеличении подачи на оборот, f_n , для фрезы большого диаметра с большим числом зубьев, необходимость использования зачистной пластины с целью поддержания качества поверхности особенно высока.
- Волнистость обработанной поверхности зависит от величины осевого биения фрезы, которое, в свою очередь, зависит от точности шпинделя, размера фрезы и точности ее регулировки. Зачистная кромка большого размера будет компенсировать данное отклонение, при этом подача на оборот может оставаться в пределах 60% от длины зачистной ленточки пластины.
- Зачистная пластина выступает в осевом направлении относительно остальных на 0.05 мм при установке во фрезе с фиксированным положением пластин. Для фрез с возможностью регулировки положения режущих кромок возможна установка зачистных пластин с большей точностью. В связи с более выступающим положением пластины Wiper испытывает большие нагрузки по сравнению со стандартными пластинами, что может вызвать вибрации. Поэтому пластины Wiper рекомендуется использовать для легкого фрезерования на умеренных скоростях и их число должно быть строго ограничено.



- С целью ограничения осевой нагрузки на кромку и минимизации риска появления вибраций, следует работать с небольшой глубиной резания, лежащей в пределах 0.8 – 1.0 мм.
- При регулировке положения зачистных пластин следует быть особо внимательным. При неправильной установке вы можете не получить положительного результата.

Пример:

- Ширина зачистной фаски, b_s , на пластине составляет 1.5 мм.
- На фрезе 10 пластин, подача на каждую из которых, f_z , равна 0.3 мм. Подача на оборот, f_n , составит 3 мм, т.е. в два раза больше размера зачистной фаски.
- Для того чтобы гарантировать высокое качество обработанной поверхности, подача не должна превышать 80% от длины зачистной ленточки, т.е. $1.5 \cdot 0.8 = 1.2$ мм.
- Соответствующая пластина wiper будет иметь зачистную фаску шириной приблизительно 8 мм.
- Итог: подача на оборот может быть увеличена с 1.2 мм до 4.8 мм (60% от 8 мм = 4.8 мм). **Примечание:** При выборе подачи необходимо также учитывать ограничения по мощности станка.

Дополнительные рекомендации по достижению зеркальной чистоты поверхности

- Работайте с высокой скоростью резания и/или пластинами из кермета для получения блестящей поверхности.
- Обработку нержавеющей стали и жаропрочных сплавов рекомендуется вести с использованием СОЖ или с охлаждением масляным туманом.
- Наилучшую чистоту поверхности обеспечивают пластины из PVD сплавов с острой режущей кромкой при фрезеровании с глубиной резания, $a_p = 0.5 - 0.8$ мм.

Профильное фрезерование

Обзор технологических решений

Профильное фрезерование

Выбор инструмента D 68

Рекомендации D 70



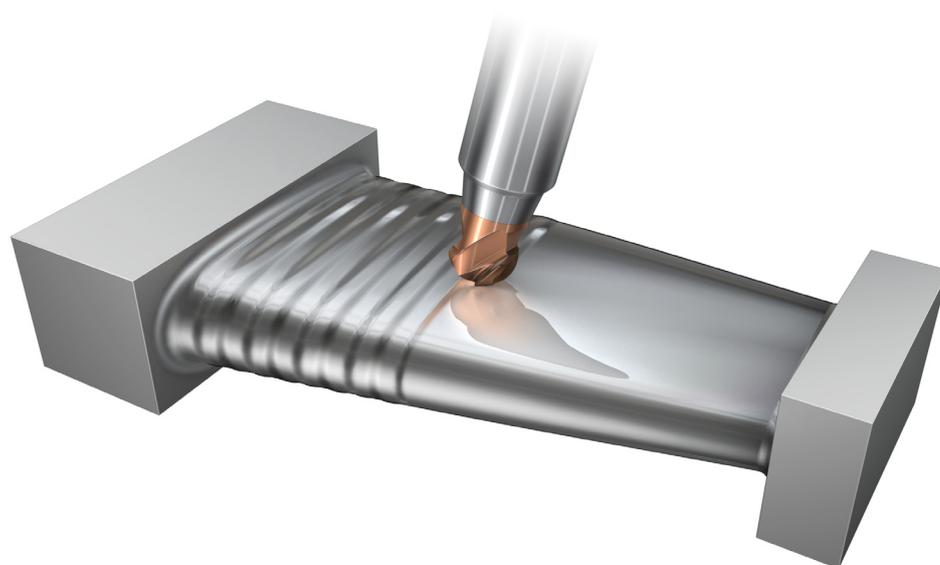
Точение фрезерованием

Выбор инструмента D 81

Рекомендации D 82



Обработка лопаток: профильное фрезерование и точение фрезерованием



Фрезерование

Решение проблем D 128

Профильное фрезерование

К профильному фрезерованию относится обработка выпуклых и вогнутых профилей по двум или трем координатам.

Чем больше размер заготовки и чем сложнее профиль предполагаемой к обработке поверхности, тем более тщательно следует подходить к разработке технологии фрезерования.

Процесс обработки можно разделить на три основных стадии:

- Черновая/получистовая обработка
- Получистовая обработка
- Чистовая обработка.

Суперфинишное фрезерование, как правило, выполняется с очень большими подачами. А снятие остаточного припуска выполняется на стадии получистовой и чистовой обработки.

Для достижения наивысшей точности и производительности обработки рекомендуется выполнять черновое и чистовое фрезерование на разных станках и использовать специализированный инструмент для каждого конкретного этапа.

Операции чистового фрезерования рекомендуется выполнять на 4/5 осевом оборудовании с использованием



преимуществ современного программного обеспечения. Это позволит минимизировать или избежать совсем потерь времени, связанных с ручным трудом оператора. А результаты обработки будут выше и по геометрической точности, и с точки зрения качества обработанной поверхности.

Выбор инструмента

Фрезы для черновой и получистовой обработки

	CoroMill® Plura		CoroMill® 316		CoroMill® 216
Геометрия	VFD радиус при вершинах	BNE	Радиус при вершинах	BNE	BNE
Диаметр фрезы (D_c), мм	4 – 20	1 – 20	10 – 25		10 – 50
Мах глубина резания (a_p), мм	38		13		44.6
Обрабатываемый материал					

VFD = Переменная глубина стружечных канавок
BNE = Фреза со сферическим концом

Фрезы для черновой и получистовой обработки

	CoroMill® 390		CoroMill® 300		CoroMill® 200	CoroMill® 790	
Геометрия	Радиусные пластины		Тороидальная	Круглые пластины	Круглые пластины	Радиусные пластины	
Диаметр фрезы (D_c), мм	12 – 200		10 – 42	25 – 125	25 – 160	25 – 54	40 – 100
Мах глубина резания (a_p), мм	12 – 42	40 – 200	7/8		10	12/18	
Обрабатываемый материал							

Фрезы для чистовой и суперфинишной обработки

	CoroMill® Plura		CoroMill® 316		CoroMill® 216F	CoroMill® 790	
Геометрия	VFD Радиус при вершинах	BNE	Радиус при вершинах	BNE	BNE	Радиусные пластины	
Диаметр фрезы (D_c), мм	4 – 20	1 – 20	10 – 25		8 – 32	25 – 54	40 – 100
Мах глубина резания (a_p), мм	38		13		4.8	12/18	
Обрабатываемый материал							

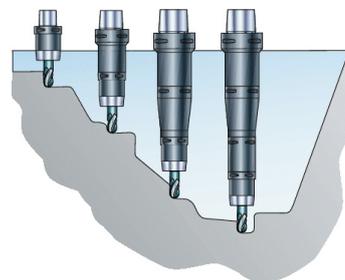
BNE = Фреза со сферическим концом

Практические рекомендации

Советы по применению

Для выбора наиболее подходящего инструмента и метода обработки необходимо тщательно изучить профиль детали.

- Определите минимальную и максимальную глубину профиля.
- Рассчитайте объем материала, который предстоит удалить.
- Оцените инструментальную наладку с точки зрения устойчивости к появлению вибраций, см. стр. D30.
- Для достижения наилучших результатов по точности обработки рекомендуется выполнять отдельные стадии фрезерования на специализированном оборудовании.
- Использование специализированного инструмента для суперфинишной обработки позволит избежать трудоемкой ручной операции полирования поверхности.
- Использование специализированного программного продукта, в некоторых случаях, может привести к значительной экономической выгоде.
- Для достижения наилучшего качества поверхности при обработке с минимальным припуском рекомендуется выбирать концевые фрезы CoroMill Plug и использовать технику высокоскоростного фрезерования, см. стр. D75.
- Производительность на черновых и получистовых этапах обработки крупных заготовок, как правило, достигается за счет использования традиционных стратегий фрезерования. Исключение составляет обработка алюминия, которая даже на черновой стадии должна проходить с высокой скоростью резания.



Вибрации – методы предупреждения

Вибрации зачастую являются нежелательным явлением, возникающим в процессе фрезерования глубоких выемок. Традиционным и проверенным способом борьбы с вибрациями является снижение режимов резания – глубины, скорости или подачи.

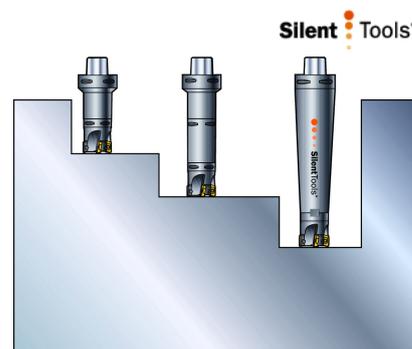
- Используйте жесткий модульный инструмент с минимальной величиной биения.
- Модульный инструмент обеспечивает гибкость и возможность собирать большое число разнообразных наладок при минимальной номенклатуре используемого инструмента.
- Если общая длина наладки от торца шпинделя до самой выступающей точки режущей кромки превышает 4-5 диаметров необходимо вести обработку с использованием антивибрационной оснастки.
- При необходимости увеличить изгибную жесткость наладки увеличенной длины рекомендуется выбирать удлинители из более тяжелого материала.
- При работе с частотой вращения шпинделя более 20000 об/мин рекомендуется использовать сбалансированную оснастку.
- Выбирайте максимально возможный по отношению к диаметру инструмента размер соединения удлинителей и адаптеров.
- Разница в 1 мм на радиус между режущей частью инструмента и размером хвостовика является достаточной. При обработке глубоких уступов рекомендуется использовать фрезы с увеличенной режущей частью относительно хвостовика.
- Рассмотрите возможность применения плунжерного фрезерования как альтернативу обработке с большим вылетом, см. Специализированные методы на стр. D116.



Увеличивайте вылет инструмента постепенно

Для обеспечения высокой производительности при черновой обработке глубоких полостей, когда последняя часть припуска снимается на значительной глубине, чрезвычайно важно работать несколькими инструментами с последовательно увеличивающимся вылетом.

- Начинайте обработку фрезой с минимальным вылетом, так как работа инструментом большей длины будет ограничивать режимы резания и увеличивать риск возникновения вибраций.
- В соответствии с программой обработки меняйте инструмент на следующий, с большим значением вылета. Точка смены фрез определяется геометрией профиля полости.
- Пересчитывайте режимы резания для инструмента каждой длины с целью достижения высокой производительности на каждом этапе операции.



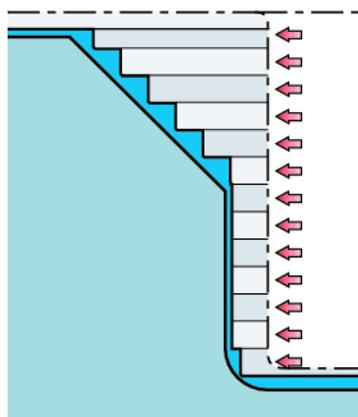
Обработка полости в сплошном материале

- При обработке полости или кармана важно минимизировать глубину резания, a_p , и сохранить равномерный припуск под дальнейшие чистовые операции.
- Результатом работы фрез для обработки уступов или длиннокрюмочных фрез является поверхность с ступенчато распределенным остаточным припуском, что при последующей обработке вызывает неравномерное распределение сил резания и отжим инструмента. В конечном итоге это сказывается на низкой геометрической точности обработанной поверхности.
- Использование фрез с круглыми пластинами (CoroMill 300 или CoroMill 200) обеспечит плавное изменение профиля заготовки при переходе от одного вида инструмента к другому. Эти фрезы оставляют более равномерный остаточный припуск, что обеспечивает лучшее качество готовой детали.
- Черновая обработка полости может также осуществляться фрезой для работы с большими подачами (CoroMill 210). Она также оставляет после себя небольшой припуск с небольшими перепадами по высоте.

Более подробно об этом на стр. D102. Методы обработки карманов и увеличения отверстий.

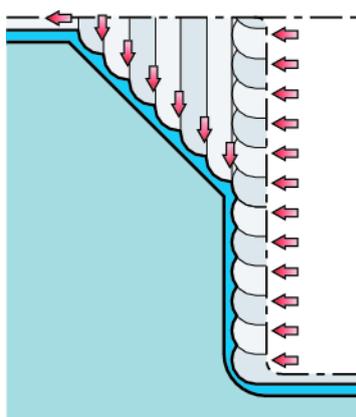
Фрезы для обработки прямоугольных уступов

– Большой и неравномерно распределенный припуск



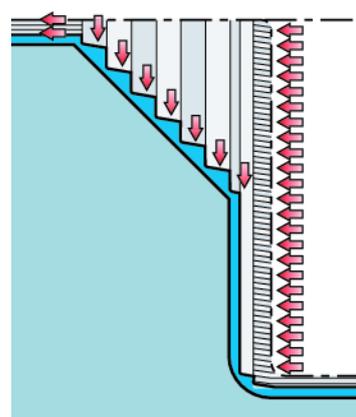
Фрезы с круглыми пластинами

+ Малая толщина припуска



Фрезы для работы с большими подачами

+ Малая толщина припуска



Метод копирования или обход по контуру?

Традиционный и самый простой метод программирования траектории движения фрезы при обработке полости является копирование профиля впадины, сопровождающееся многочисленными входами и выходами фрезы из контакта с заготовкой. Данный метод позволяет в полной мере раскрыть возможности усовершенствованного программного обеспечения, современного оборудования и инструмента.

При выполнении такого рода операций для достижения высокой эффективности чрезвычайно важным является использование современных методов и подходов.

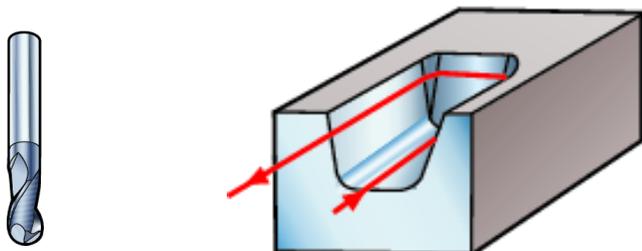
Поэтому рекомендуется, вместо общепринятого послойного срезания припуска с постоянной координатой Z, использовать преимущества передового метода обхода выборки по контуру в сочетании с попутным фрезерованием. Это обеспечит:

- Значительно меньшее время обработки.
- Более полное использование потенциала станка и инструмента.
- Улучшенную геометрическую точность полученной детали.
- Меньший объем чистовых операций и ручной доводки поверхности.

Данный метод обработки требует более тщательной предварительной проработки и больший период времени на программирование траектории движения инструмента. Но первоначально затраченное время компенсируется коротким циклом обработки и общее время, затраченное на операцию, сократится втрое.

Обход по контуру

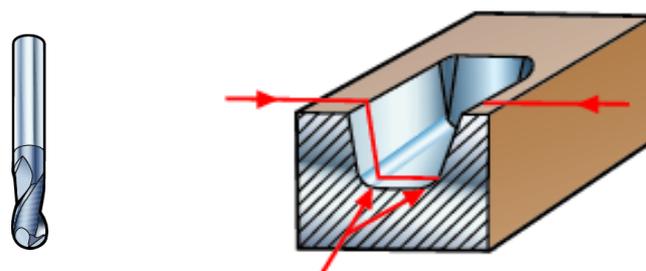
Предпочтительный метод



- + Контроль скорости резания - v_e
- + Преимущество использования высокоскоростной обработки
- + Высокие значения подач
- + Производительность
- + Высокая стойкость пластин
- + Надежность процесса

Метод копирования

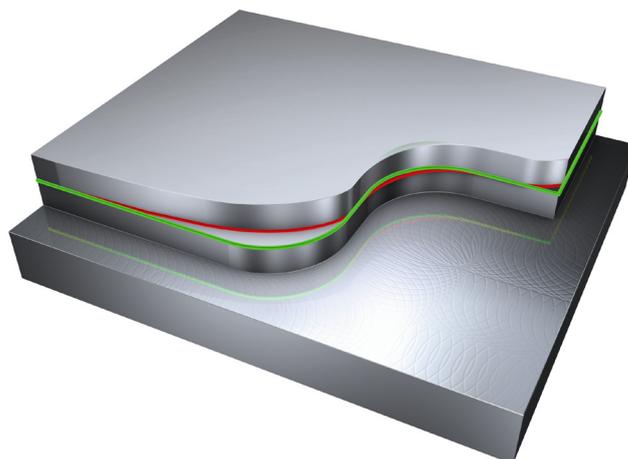
Распространенный метод



- Высокие нагрузки у центра фрезы
- Невысокие подачи
- Меньший период стойкости
- Механическое воздействие
- Неточность формы
- Большая длительность цикла обработки

Функция расчёта траектории и автоматическая корректировка подачи

Оба вышеупомянутых метода фрезерования предпочтительнее выполнять на станках с функцией расчёта траектории и автоматической корректировкой подач во избежание отклонений от заданной траектории инструмента.



Обход по контуру

- Используйте такой вид фрезерования как обработка в одной плоскости методом попутного фрезерования.
- Фрезерование по контуру периферией инструмента характеризуется большей производительностью, так как в работе участвует большее число режущих кромок.
- При наличии у станка ограничений по количеству оборотов, данный метод фрезерования позволяет поддерживать постоянную скорость резания.
- Также при фрезеровании по контуру смена направления траектории движения инструмента и изменение направления сил резания происходят гораздо реже. Это тем более важно при работе на высокой скорости и большой подаче при обработке материалов повышенной твердости. В этом случае режущая кромка очень чувствительна к любым изменениям в процессе резания, которые могут привести к вибрациям или отжиму инструмента.
- Для обеспечения высокой стойкости фрезы необходимо минимизировать число выходов и входов кромки и обеспечить максимальную непрерывность процесса резания.

Примечание! Избегайте работы центром инструмента, когда скорость резания равна нулю.



Точение

B

Отрезка и обработка канавок

C

Нарезание резьбы

D

Фрезерование

E

Сверление

F

Расгачивание

G

Инструментальная оснастка

H

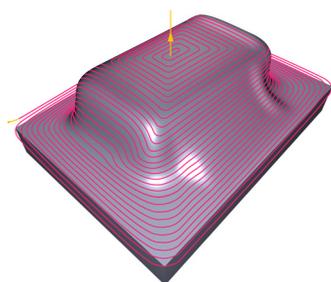
Материалы

I

Информация/Указатель

Траектория движения инструмента

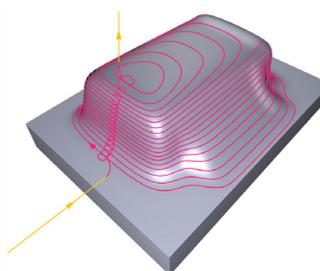
Z – постоянна, две рабочие координаты.
От черного до чистового фрезерования



Фрезерование с постоянной координатой Z - обработка в одной плоскости

- Распространенный метод, когда доступна функция CAM - "постоянная высота гребешка".
- Плавный ввод и отвод инструмента
- Простота программирования
- Широкий выбор инструмента

Винтовая обработка по контуру, три – пять рабочих координат.
Чистовая обработка



Обход по контуру с врезанием

- Плавная смена направления движения
- Высокие геометрическая точность и качество поверхности
- Контролируемая высота профиля
- Постоянный контакт фрезы и заготовки
- Короткий цикл обработки
- Короткий инструмент

Фрезерование методом копирования

Фрезерование открытого кармана методом копирования подразумевает сочетание встречного и попутного фрезерования и включает большое число неблагоприятных входов и выходов инструмента из резания.

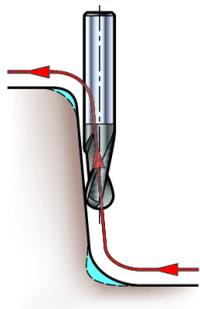
Каждый вход и выход фрезы из контакта с заготовкой означает отклонение инструмента, результатом которого является след на обработанной поверхности.

Когда усилия резания и отжим инструмента уменьшается, на выходе фрезы из резания образуется небольшой зарез материала.

Выводы:

- По возможности избегайте фрезерования карманов методом копирования. При погружении фрезы толщина стружки увеличивается, поэтому необходимо снизить скорость резания.
- Существует риск выкрашивания режущих кромок у центра фрезы при её столкновении с дном полости.

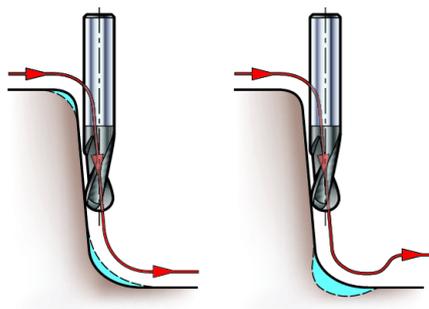
- Рекомендуется вести обработку на станках с функцией расчёта траектории и автоматической корректировкой подачи. В противном случае недостаточное быстрое замедление фрезы может привести к её поломке.
- При столкновении фрезы со стенкой полости происходит резкое увеличение длины линии контакта, что грозит отклонением инструмента, появлением вибраций или даже поломкой фрезы.
- При работе концевыми фрезами со сферическим концом самой уязвимой точкой на инструменте является его центр из-за нулевой скорости резания. Избегайте обработки центром инструмента и старайтесь использовать фрезерование с линейчатым контактом, но для этого необходимо отклонять шпиндель или обрабатываемую поверхность.
- Для данного вида обработки встречное фрезерование является предпочтительным, так как максимальная толщина стружки достигается на более благоприятных скоростях резания.



Риск зарезания поверхности



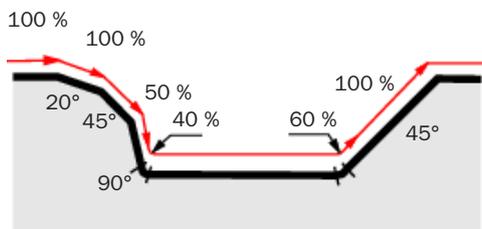
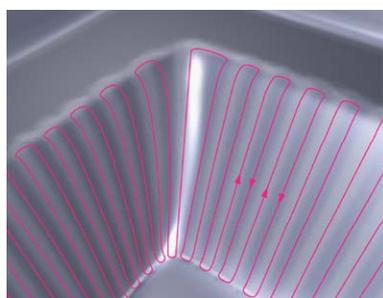
Копирование методом встречного фрезерования: Максимальная толщина стружки при рекомендованной v_c .



Обработка дна полости: Риск выкрашивания кромок в центре фрезы. Искажение формы детали является довольно распространенным дефектом при использовании технологии высокоскоростного фрезерования.



Копирование методом попутного фрезерования: Большая толщина стружки на очень низкой скорости резания v_c .



Уменьшение подачи для сохранения стойкости инструмента

Периодическая смена попутного фрезерования встречным и наоборот, ведет к изменению направления действующих на инструмент усилий резания. При уменьшении подачи на критических участках траектории движения фрезы значительно снижается риск выкрашивания режущих кромок и достигается большая стабильность процесса с увеличенной стойкостью инструмента.



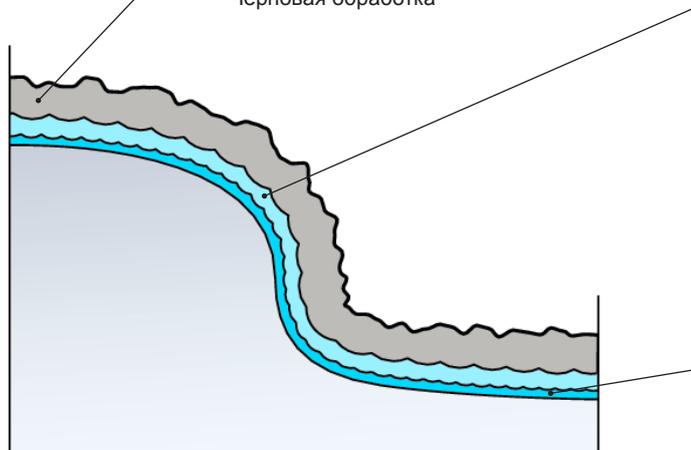
Черновая обработка



Получистовая обработка



Чистовая и суперфинишная обработка



Постоянство припуска как средство достижения точной формы детали

Постоянство припуска является одним из критических факторов, определяющих производительность профильного фрезерования, особенно если речь идет об обработке с высокой скоростью.

- Профильное фрезерование является характерной операцией при обработке штампов и пресс-форм. На данных операциях большое значение имеет правильный выбор размера фрезы.
- Основная цель это получение равномерно распределенного припуска для обеспечения постоянства усилий резания при работе во всех направлениях.

Часто бывает целесообразно работать фрезами разного диаметра, переходя от инструмента с большим диаметром к меньшему, особенно на этапе легкой черновой и получистовой обработки. Данный вариант является более предпочтительным по сравнению с использованием фрезы одного диаметра на протяжении всей обработки.

- Наилучшее качество поверхности на чистовом этапе достигается при минимальной величине остаточного припуска и его максимальной равномерности.
- Основная задача при профильном фрезеровании - добиться как можно более точного соответствия обработанной поверхности заданным параметрам.
- Стабильный процесс резания.

Преимущества равномерно распределенного припуска

- Часть операций получистовой обработки и практически все виды чистовых операций профильного фрезерования могут выполняться с частичным участием оператора и даже иногда в условиях безлюдного производства.
- Влияние на направляющие станка, шаровые винты и подшипники шпинделя будет менее губительным.

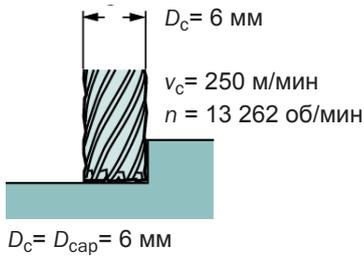
Реальная скорость резания

При использовании номинального значения диаметра фрезы при расчете скорости резания, v_c , фрез со сферическим концом или с круглыми пластинами, реальная скорость резания на небольшой глубине резания, a_p , будет намного ниже теоретической. От чего сильно “пострадают” минутная подача и производительность.

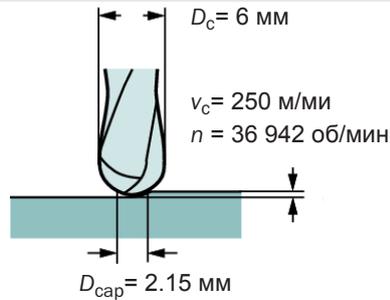
$$v_c = \frac{\pi \times n \times D_{\text{cap}}}{1000} \text{ м/мин}$$

Поэтому при расчете скорости резания необходимо отталкиваться от реального или эффективного диаметра инструмента, D_{cap} .

Обработка уступа концевой фрезой

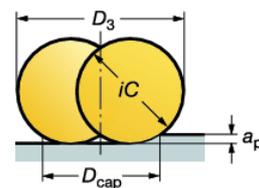


Фреза со сферическим концом



$$D_{\text{cap}} = 2 \times \sqrt{a_p \times (D_c - a_p)}$$

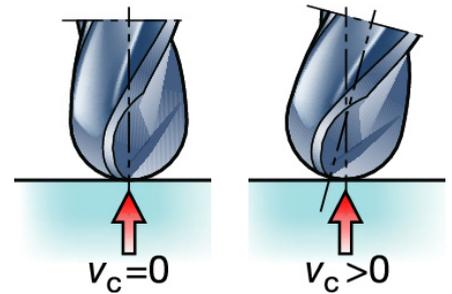
Фреза с круглыми пластинами



$$D_{\text{cap}} = D_3 - iC + \sqrt{iC^2 - (iC - 2 \times a_p)^2}$$

Фрезерование с точечным контактом – наклон фрезы

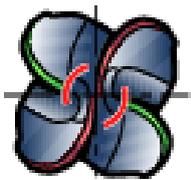
- При работе фрезами со сферическим концом наиболее критической зоной режущей кромки является центр фрезы со скоростью близкой к нулю и, соответственно, с неблагоприятными условиями резания. А также центр фрезы характеризуется неудовлетворительными условиями эвакуации стружки из-за ограниченного пространства у перемычки.
- В связи с этим рекомендуется обработка с наклоненным шпинделем или наклоном обрабатываемой поверхности под углом 10-15°. Данный метод позволяет избежать негативных последствий резания центральной частью фрезы.



- Увеличение предельного минимума скорости резания.
- Повышенная стойкость и улучшенное стружкообразование.
- Улучшение качества поверхности.

CoroMill® Plura и CoroMill® 316 - фрезы с режущей центральной частью

Центральная часть, $z = 2$



Периферийная часть, $z = 4$



$Z = 2$



$Z = 4$

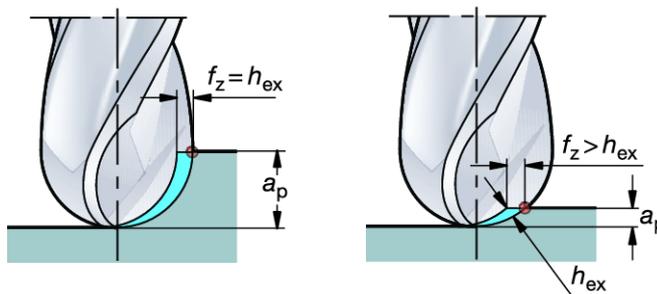
Наклон фрезы под углом 10-15° гарантирует наличие в зацеплении 4 режущих зубьев.

Обработка с небольшой глубиной резания

Позволяет увеличить скорость резания, v_c , и подачу на зуб, f_z

При работе фрезами с круглыми пластинами или со сферическим концом на небольшой глубине резания существует возможность повышения скорости резания, v_c , благодаря небольшой длине контакта инструмента и обрабатываемого материала. Время контакта фрезы и заготовки также мало и температура в зоне резания поддерживается на невысоком уровне.

Также возможно увеличение величины подачи на зуб, f_z , из-за эффекта уменьшения толщины срезаемого слоя, см. Основные положения на стр. D20.



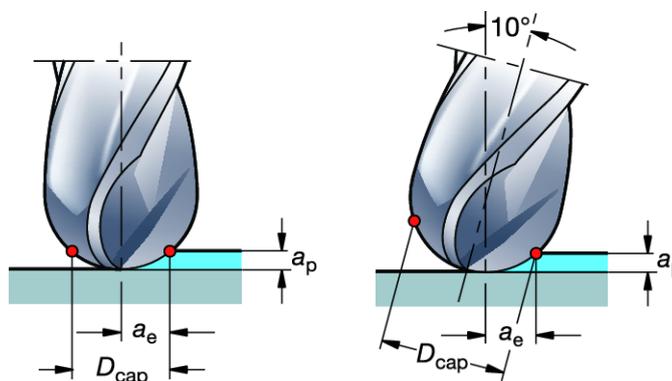
Обработка с небольшой глубиной резания

Пример обработки с небольшой глубиной резания:

Прямолинейное и наклонное положение фрезы

Пример демонстрирует возможность увеличения скорости резания при небольшом отношении a_e/a_p , как одно из преимуществ обработки наклонным инструментом.

Фреза CoroMill Plura со сферическим концом
 $D_c = 10$ мм, сплав GC 1610.
 Обрабатываемый материал: Сталь твердостью 400НВ
 Режимы резания, рекомендованные для большой глубины резания $a_p - D_c/2$:
 $v_c = 170$ м/мин
 $f_z = 0.08$ мм/об = h_{ex}



Операция фрезерования	Фреза без наклона	Наклонённая фреза (10°)
<ul style="list-style-type: none"> Получистовая обработка $a_p = 2$ мм <p>Скорость может быть увеличена до 75% при небольшой глубине резания:</p> <p>$v_c = 300$ м/мин</p> <p>Подача на зуб, f_z, остается одинаковой как для прямолинейного, так и для наклонного положения фрезы, а эффективное число зубьев, z_c, изменяется из-за отсутствия резания у центра фрезы, как объяснялось на предыдущей странице.</p>	<p>$D_c = 10$ мм $D_{cap} = 8$ мм</p> <p>$v_c = 300$ м/мин $n = 11\ 940$ об/мин</p> <p>$h_{ex} = 0.08$ мм $f_z = 0.12$ мм/зуб $z_c = 2$ $f_n = 0.24$ мм/об</p> <p>$v_f = 2\ 860$ мм/мин</p>	<p>$D_c = 10$ мм $D_{cap} = 8.9$ мм</p> <p>$v_c = 300$ м/мин $n = 10\ 700$ об/мин</p> <p>$h_{ex} = 0.08$ мм $f_z = 0.12$ мм/зуб $z_c = 4$ $f_n = 0.48$ мм/об</p> <p>$v_f = 5\ 100$ мм/мин</p>
<ul style="list-style-type: none"> Суперфинишная обработка $a_e = 0.1$ мм <p>Увеличение скорости резания может быть значительным и достигать 3-5 раз из-за очень короткого периода контакта заготовки и инструмента:</p> <p>$v_c = 5 \times 170 = 850$ м/мин</p> <p>Примечание: При суперфинишной обработке одновременно в работе должно находиться по крайней мере два зуба фрезы $z_n = 2$, для минимизации биения. При столь небольшом значении a_p, подача на зуб f_z ограничивается требованиями по шероховатости поверхности, а величиной h_{ex} можно пренебречь. При суперфинишном фрезеровании рекомендуется придерживаться следующего правила. Работать с подачей f_z приблизительно равной a_e.</p> <p>$f_z = 0.12$ мм/об</p>	<p>Не рекомендуется осуществлять суперфинишное фрезерование без наклона фрезы</p>	<p>$D_c = 10$ мм $D_{cap} = 4.4$ мм</p> <p>$v_c = 850$ м/мин $n = 61\ 100$ об/мин</p> <p>$h_{ex} = 0.02$ мм $f_z = 0.12$ мм/зуб $z_c = 2$ $f_n = 0.24$ мм/об</p> <p>$v_f = 14\ 600$ мм/мин</p>

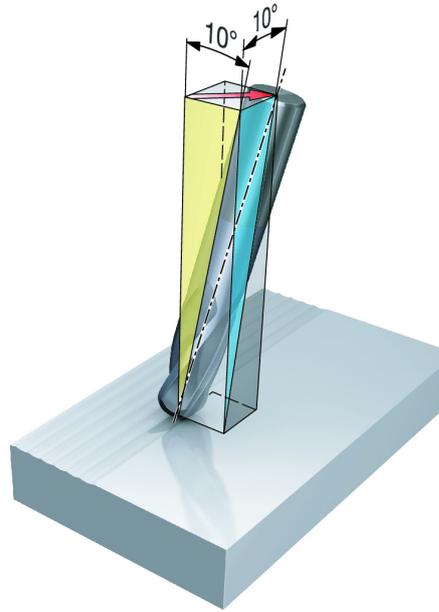
Образование рифленой поверхности

На поверхности обработанной фрезой со сферическим концом или фрезой со скругленной режущей кромкой будут оставаться небольшие грани или границы между проходами, высота которых зависит от:

- Ширины фрезерования, a_e ,
- Подачи на зуб, f_z .

Другими немаловажными параметрами являются глубина резания, a_p , и биение инструмента, (TIR), от которых зависят усилия резания и шероховатость обработанной поверхности. В связи с этим для достижения высоких результатов следует:

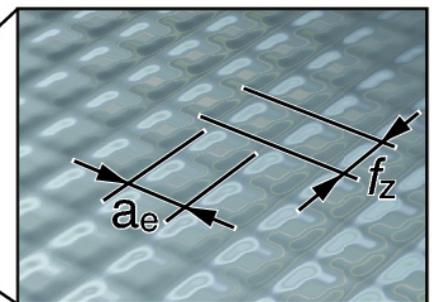
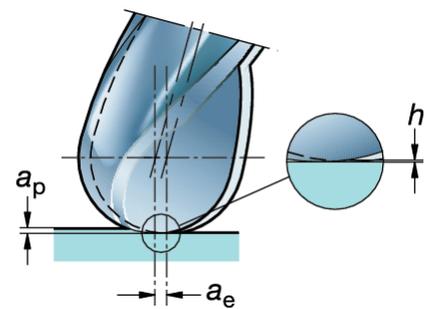
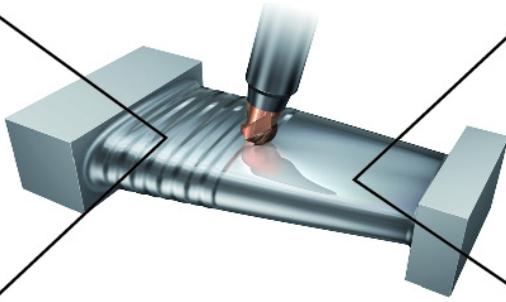
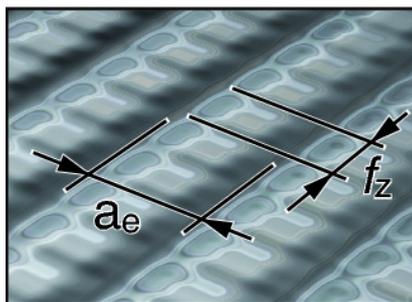
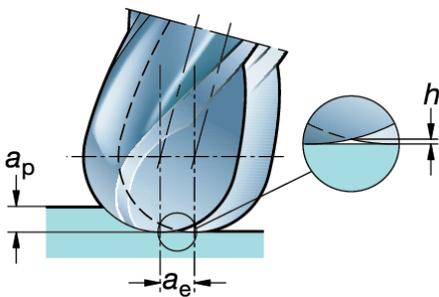
- Использовать высокоточный гидравлический патрон HydroGrip для закрепления инструмента в сочетании с соединением Coromant Carpo.
- По возможности минимизировать вылет инструмента.



Попутное фрезерование с наклоном фрезы в двух плоскостях под углом 10° гарантирует хорошее качество поверхности и стабильный процесс резания.

Черновая и получистовая обработка

Если подача на зуб намного меньше ширины и глубины фрезерования, то высота переходов на обработанной поверхности будет значительно меньше в направлении подачи.



Чистовая и суперфинишная обработка

Необходимо стремиться получить поверхность с симметричной текстурой во всех направлениях, так как это упрощает ее последующую полировку, вне зависимости от выбранного метода.

Данного результата можно достичь при $f_z \approx a_e$.

Всегда работайте наклоненным инструментом для обеспечения наивысшего качества поверхности.

Получистовая обработка с f_z гораздо меньшей, чем a_e .

Суперфинишная обработка наклонённой фрезой и f_z равной a_e .



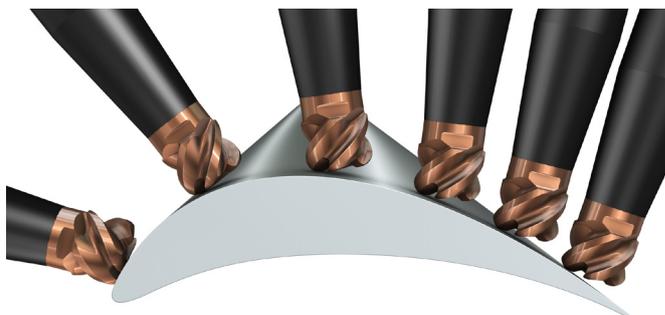
CoroMill® Plura



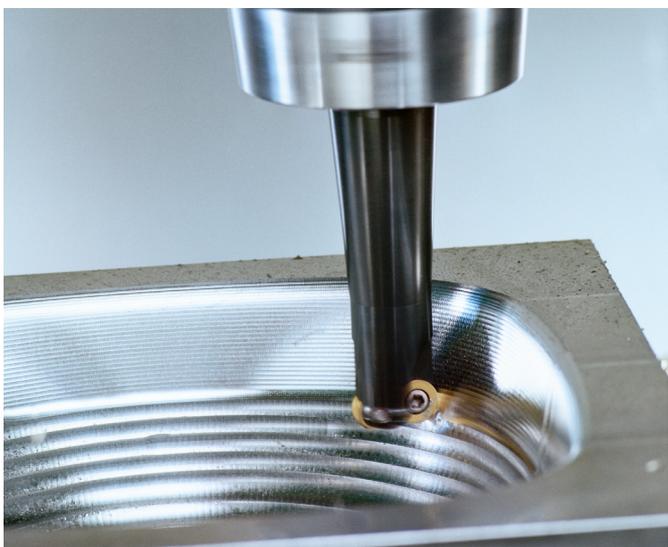
CoroMill® 390



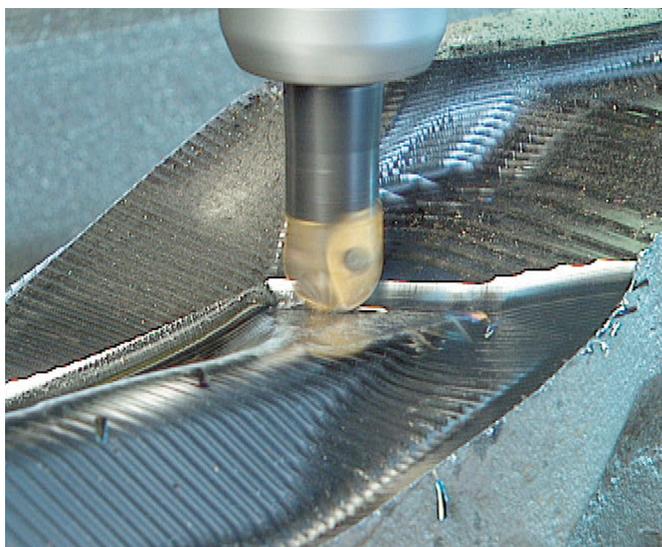
CoroMill® 300



CoroMill® 316



CoroMill® 300 в тороидальном исполнении



CoroMill® 216

Точение фрезерованием

Точение фрезерованием – это фрезерование поверхности заготовки при её вращении вокруг оси.

Данный способ подходит для обработки заготовок с эксцентричным профилем, которые не поддаются обработке традиционными методами фрезерования или точения. Он характеризуется высокой скоростью удаления металла и отличным стружкодроблением.

- Цилиндрическая поверхность формируется при подаче фрезы только в радиальном направлении.
- При одновременной подаче инструмента в двух направлениях возможна обработка эксцентрических поверхностей, таких как кулачки на валах.
- Подача инструмента по более чем двум осям требует от инструмента возможности врезаться под углом.
- Обработка конической поверхности требует перемещения по трём координатам.
- Фрезерование поверхностей более сложной формы, таких как турбинные лопатки, требует одновременного перемещения по 4 или 5 осям.

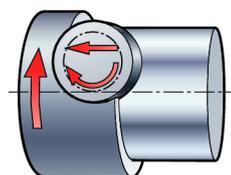


- Деталь типа лопатки можно обработать при подаче фрезы в более чем двух направлениях при одновременном вращении заготовки.

Выбор метода

Торцевое фрезерование поверхностей вращения - 4/5 осей

Основной способ наружной обработки.

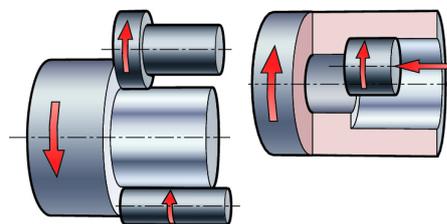


- + Небольшой вылет инструмента
- + Небольшой диаметр фрезы/низкий момент
- + Наружная обработка/нежесткие заготовки
- + Профильная обработка
- Деталь имеет форму неидеального цилиндра
- Не подходит для внутренней обработки.

Периферийное фрезерование поверхностей вращения - 3/4 оси

Тот же принцип, что и при круговой интерполяции с врезанием, но в совокупности с вращением заготовки.

Используется, как правило, для обработки внутренних поверхностей.



- + Внутренняя обработка
- + Цилиндрическая поверхность
- + Кольцевые канавки
- + Резьбофрезерование
- + Хорошая круглость
- Профильная обработка
- Большой диаметр фрезы/высокий момент
- Большой вылет инструмента.

Выбор инструмента

Черновое фрезерование поверхностей вращения

	Фреза для обработки уступов CoroMill® 390	Длиннокромочная фреза CoroMill® 390LE	Торцевая фреза CoroMill® 245	Высокопроизводительная фреза CoroMill® 210	Фреза с круглыми пластинами CoroMill® 300
Глубина резания – (a_p)	++	+++	++	–	+
Ширина фрезерования – (a_e)	++	++	++	–	+++
Минутная подача – (v_f)	++	+	++	+++	+++
Скорость снятия металла – Q (см ³ /мин)	+	+++	++	+	+++
Возможность врезания	+	–	–	–	+++
Мощность/жесткость оборудования	++	–	++	+	+++
Чистота поверхности	+++	+	+++	–	++
Труднообрабатываемый материал	+	+	++	++	+++
От черновой до чистовой обработки	+++	+	+++	–	++

Чистовое фрезерование поверхностей вращения

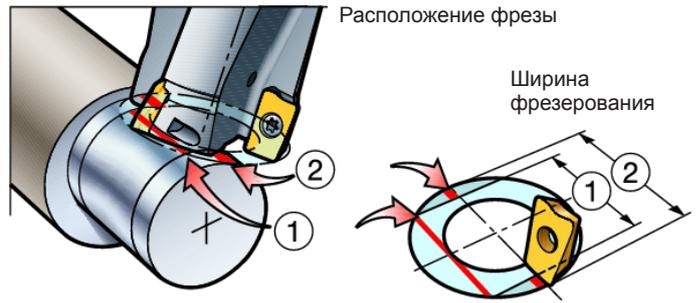
	Цельнотвердосплавная фреза CoroMill® Plura	Фреза с механическим креплением пластин CoroMill® 390	Торцевая фреза с механическим креплением пластин CoroMill® Century	Фреза с круглыми пластинами CoroMill® 300
Плоскостность	+++	+++	+++	+
Число пластин $wiper$	4	1	от 1 до всех	0
Подача на зуб	–	+	+(***)	++
Скорость снятия металла – Q (см ² /мин)	–	+	+(***)	++
Обработка вблизи уступа	+++	+++	+++	–
Труднообрабатываемый материал	+	+	+	+++
Узкий профиль	+++	+	+	–

* Только при осевой подаче и всех режущих пластинах $wiper$.

Практические рекомендации

Положение фрезы при использовании круглых пластин

При торцевом фрезеровании поверхности вращения на фрезу устанавливается одна пластина *wiper*, которая контактируя с заготовкой по линии, формирует окончательную цилиндрическую поверхность на детали. Из-за выпуклой формы обрабатываемой поверхности зачистная фаска на пластине должна быть абсолютно плоской. Для обработки поверхности шириной равной диаметру фрезы требуется как минимум два прохода. На первом проходе фреза смещается в позицию 1 на величину E_{w1} и за один оборот заготовки обрабатывает среднюю часть шейки, после чего перемещается в позицию 2 с E_{w2} и обрабатывает края на последующем обороте.



1-ый проход
2-ой проход

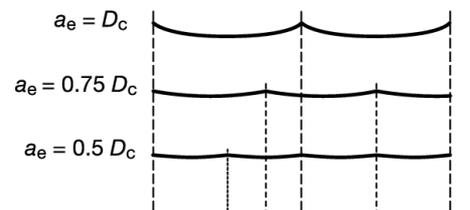
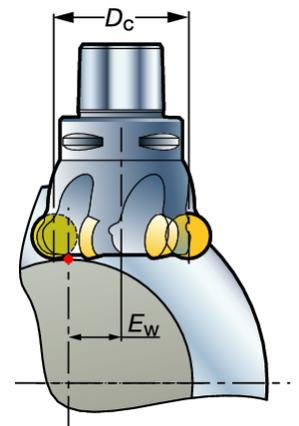
Положение фрезы при использовании круглых пластин (не *wiper*)

Для получения поверхности с хорошей цилиндричностью рекомендуется вести обработку инструментом небольшого диаметра с шириной фрезерования, a_e , менее 40% от эффективного диаметра фрезы, D_c .

Однако для повышения производительности обработки необходимо увеличивать ширину фрезерования, a_e . Это может быть достигнуто за счет:

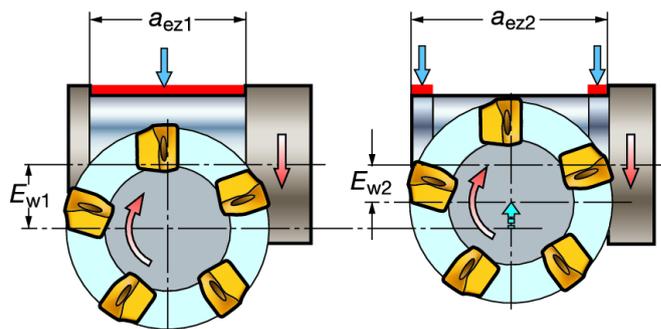
- Диаметра фрезы
- Соотношения a_e/D_c .

Для получения гребешков перехода оптимальной высоты необходимо смещать центр фрезы по отношению к оси заготовки. Величина смещения зависит от a_e и определяется из диаграммы для соответствующего отношения a_e/D_c .

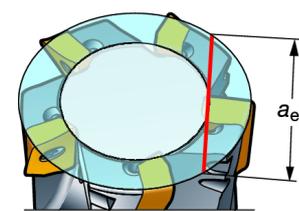
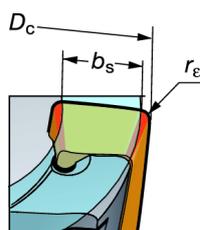


Смещение и ширина фрезерования

Если обрабатываемая поверхность шире фрезы, на последующих оборотах фреза смещается в осевом направлении, оставаясь в позиции 1. Величина осевого смещения не должна превышать 80% от a_{ez1} на один оборот заготовки. Если поверхность ограничена уступом с углом 90° , то последний проход повторяют, сместив фрезу в позицию 2, E_{w2} .

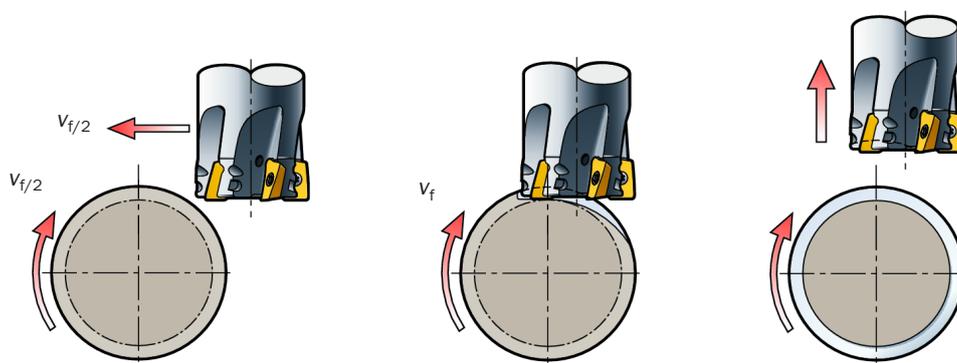
Ширина пластины W_{iper}

Ширина фрезерования



Направление врезания

Фреза должна врезаться в заготовку, перемещаясь в радиальном направлении. Окружная скорость рабочей подачи заготовки выбирается в соответствии с рекомендуемой подачей на зуб для фрезы. Отвод фрезы производится в осевом направлении.



Программирование

Подробная информация о методах программирования фрезерования тел вращения в нашем специализированном руководстве по применению. Обратитесь к Вашему региональному представителю Sandvik Coromant.

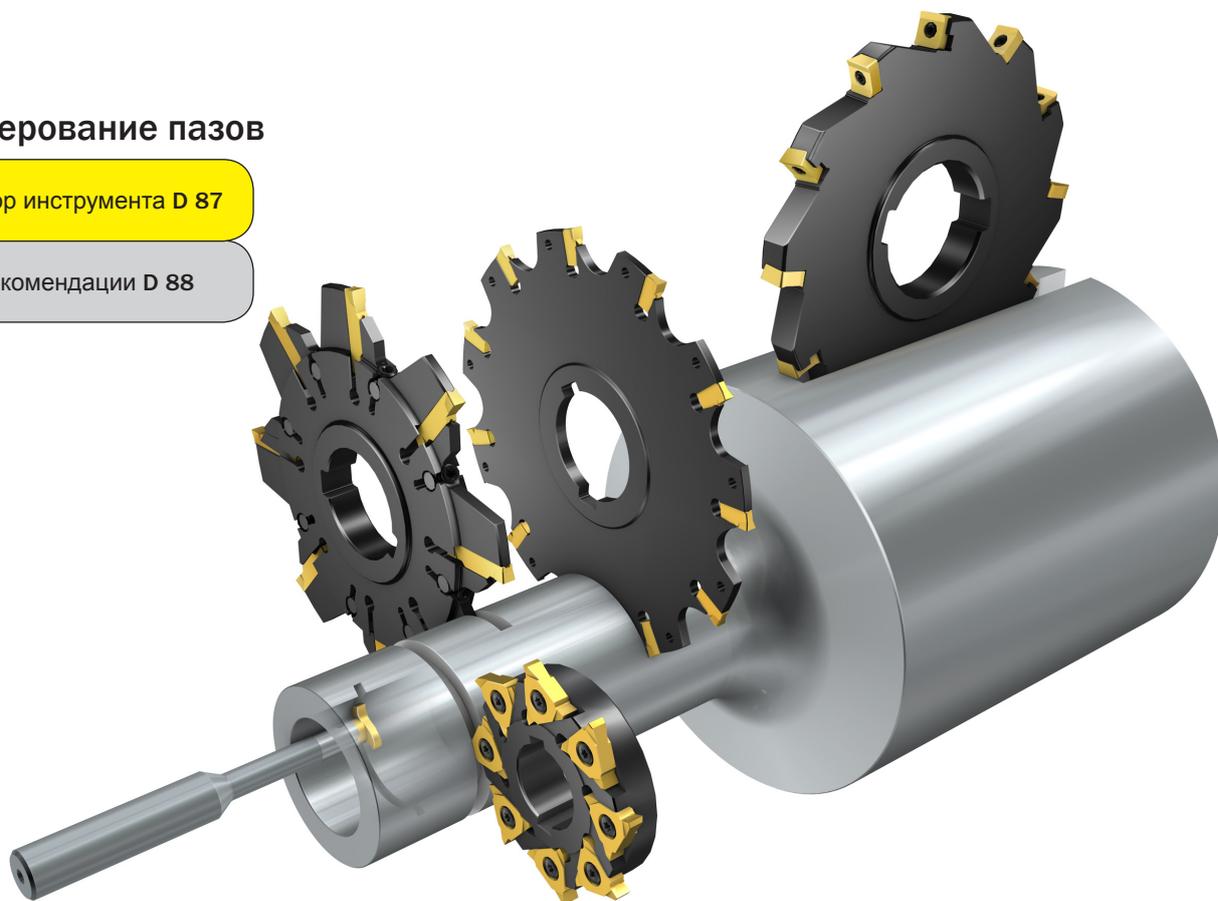
Фрезерование пазов и резьбофрезерование

Обзор технологических решений

Фрезерование пазов

Выбор инструмента D 87

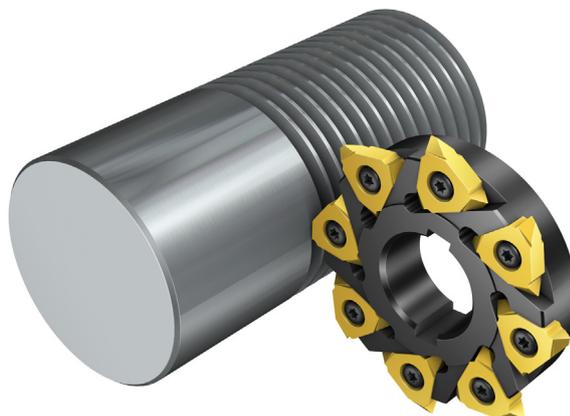
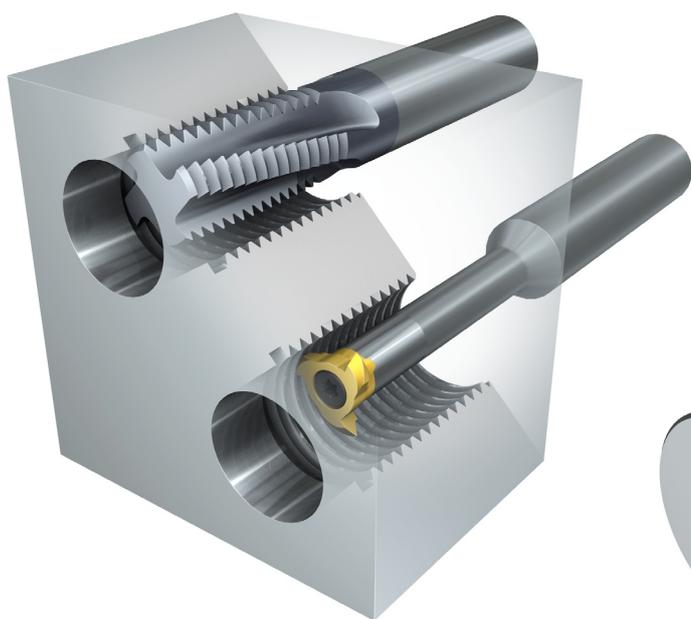
Рекомендации D 88



Резьбофрезерование

Выбор инструмента D 95

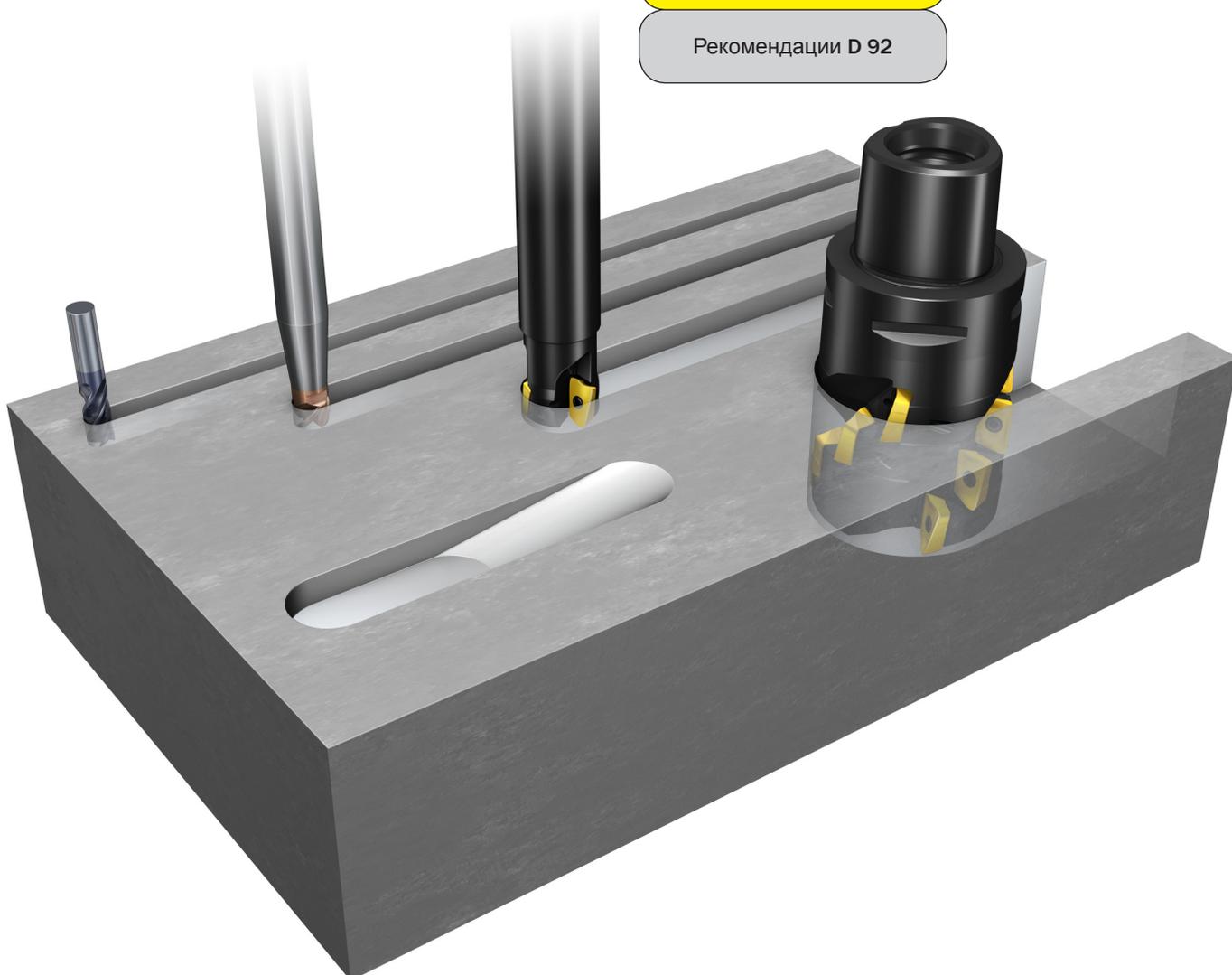
Рекомендации D 97



Обработка пазов концевыми фрезами

Выбор инструмента D 91

Рекомендации D 92



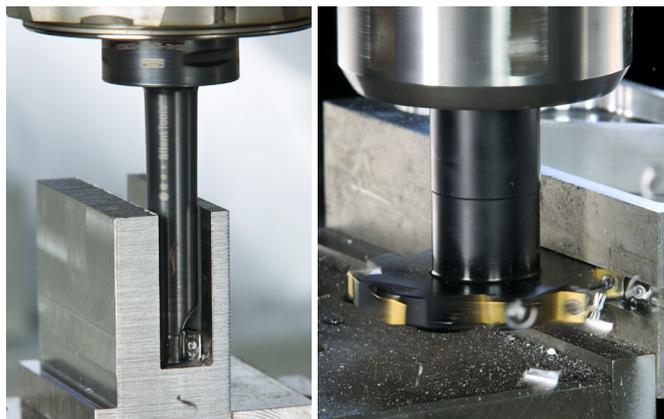
Фрезерование

Решение проблем D 128

Фрезерование пазов

На операциях обработки пазов трёхсторонние дисковые фрезы, как правило, имеют преимущество перед концевыми фрезами.

- Обрабатываемые пазы или канавки могут иметь различную геометрию – быть короткими или протяженными, открытыми или закрытыми, прямолинейными или криволинейными, глубокими или мелкими, широкими или узкими.
- В общем случае, выбор инструмента обусловлен шириной и глубиной паза, а иногда и его длиной.
- Тип оборудования и серийность производства определяют выбор между концевыми и трёхсторонними фрезами.
- Трёхсторонние дисковые фрезы являются более эффективным решением для обработки длинных и глубоких пазов, особенно при использовании горизонтальных станков. А для фрезерных станков с вертикальным расположением шпинделя, получивших широкое распространение в последнее время, наилучшим решением для обработки пазов являются концевые и длиннокрючковые фрезы.



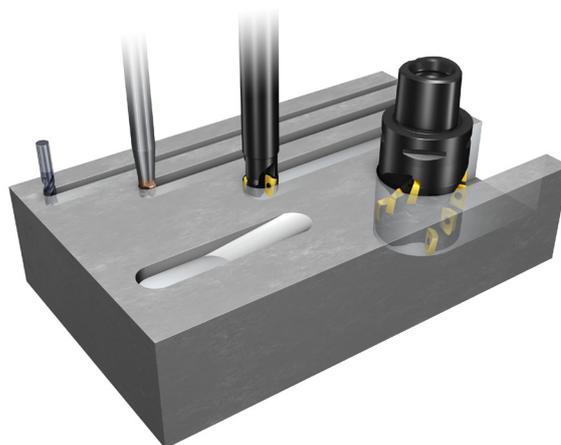
Сравнение двух фрезерных концепций

Трёхсторонние фрезы



- + Открытые пазы
- + Глубокие пазы
- + Регулируемая ширина/допуск
- + Обработка пазов набором фрез
- + Отрезка
- + Большой выбор по ширине/глубине
- Закрытые пазы
- Только прямолинейные канавки
- Эвакуация стружки.

Концевые фрезы



- + Закрытые пазы
- + Неглубокие пазы
- + Непрямолинейные пазы
- + Универсальность – дополнительные методы:
 - Трохоидальное фрезерование пазов на деталях из труднообрабатываемых материалов (закаленные стали, жаропрочные сплавы и т.д.)
 - Плунжерное фрезерование как альтернатива фрезерованию с большим вылетом инструмента
 - Возможность выполнения другого типа операций – получистового или чистового фрезерования
 - Возможность использования концевой фрезы не только для обработки пазов
- Глубокие пазы
- Высокие усилия резания
- Высокая чувствительность к вибрациям.

Фрезерование пазов

Трёхсторонние фрезы являются максимально эффективным решением для обработки длинных, глубоких и открытых пазов. При этом фрезерная операция характеризуется высокой стабильностью и производительностью. Возможно также фрезерование набором дисковых фрез при необходимости обработать несколько пазов одновременно.



Выбор инструмента

Трёхсторонние дисковые фрезы

	CoroMill® 331	CoroMill® 329	T-Max Q-cutter	CoroMill® 327	CoroMill® 328
					
Мак ширина резания (a_p), мм	10/26.5	2.5 – 4	6.1	5.15	5.15
Мак глубина резания (a_f), мм	34.0/114.5	18	119	6.5	5.0
Диаметр фрезы (D_c), мм	40 – 125/ 80 – 315	125 – 160	80 – 315	9.7 – 27.7	39 – 80
Обрабатываемый материал					

CoroMill® 331

Широкоуниверсальные фрезы, обеспечивающие высокую точность обработки. Наиболее производительный инструмент для обработки пазов и отрезки. Возможна обработка пазов большой ширины набором дисковых фрез.

CoroMill® 329

Универсальный инструмент для обработки точных пазов, канавок с плоским дном и для операций отрезки.

T-Max® Q-cutter

Фреза, выступающая в качестве альтернативного варианта для обработки узких пазов и канавок с плоским дном. Основной выбор для выполнения операций отрезки.

CoroMill® 327

Обработка внутренних канавок и снятие фасок в отверстиях диаметром более 10 мм. Радиусные пластины для обработки канавок под уплотнительные кольца и канавок под стопорные кольца с фаской.

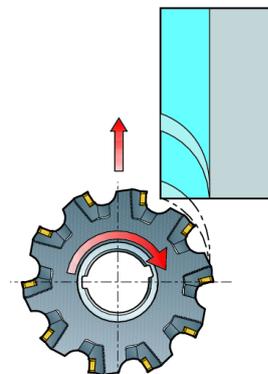
CoroMill® 328

Обработка обычных канавок и канавок под стопорные кольца с фасками в отверстиях диаметром свыше 39 мм. Наружная и внутренняя обработка.

Практические рекомендации

Советы по применению

- Размер фрезы, шаг зубьев и расположение фрезы в совокупности должны обеспечивать постоянное наличие в зацеплении хотя бы одного зуба.
- Контролируйте толщину срезаемой стружки для достижения оптимального значения подачи на зуб.
- Снижайте подачу на входе в резание из-за увеличенной толщины стружки в конце резания.
- При фрезеровании в тяжелых условиях проверьте возможности станка по мощности и моменту.
- При креплении фрезы на оправке, чрезвычайно важным является жесткость последней и величина вылета наладки. Необходимо обеспечить жесткость и надежность закрепления детали и самой оправки для того чтобы противостоять усилиям резания встречного фрезерования.



Попутное фрезерование

- Предпочтительный вариант обработки.
- Используйте жесткий упор в направлении действия тангенциальных сил для предотвращения сдвига заготовки. Направление подачи совпадает с направлением сил резания, что накладывает высокие требования к жесткости станка и отсутствию зазоров в ШВП.

Встречное фрезерование

- Альтернативный метод фрезерования рекомендуемый при недостаточной жесткости системы или при обработке экзотических материалов.
- Является хорошим решением при возникновении проблем с эвакуацией стружки при прорезке глубоких пазов.

Фрезерование с использованием маховика

- Дополнительный метод фрезерования при малой жесткости системы и при недостаточных мощностных характеристиках станка.
- Располагайте маховик как можно ближе к инструменту.
- Повышение надежности закрепления заготовки всегда способствует хорошим результатам обработки.

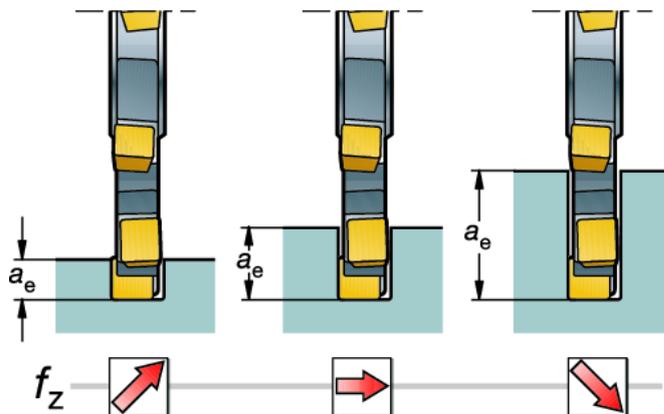
Обработка открытых пазов трёхсторонними фрезами

Расчёт подачи на зуб

При обработке дисковыми фрезами, такими как CoroMill 331, одним из определяющих факторов является достижение оптимальной подачи на зуб, f_z . Недостаточное значение этой величины может вызвать серьезные последствия, поэтому следует быть предельно осторожным при ее расчете.

Подача на зуб, f_z , должна быть снижена для обработки более глубоких пазов и увеличена для более мелких, что обусловлено ограничениями по толщине срезаемой стружки.

Информацию о том, как оптимизировать подачу на зуб, см. в Основных положениях. Рекомендации по максимальной толщине срезаемой стружки для периферийного фрезерования на стр. D20.



**Пример:**

При обработке на полную глубину паза фрезой CoroMill 331 с пластинами размером 05 и геометрией PL, максимальная толщина стружки должна быть 0.1 мм, что соответствует:

a_e/D_c (%)	f_z (мм/зуб)
25	0.12
10	0.17
5	0.23

Примечание: учитывая то, что обработка на полную ширину паза происходит двумя пластинами, подачу следует рассчитывать исходя из половины от общего количества зубьев, z_n .

Глубина резания

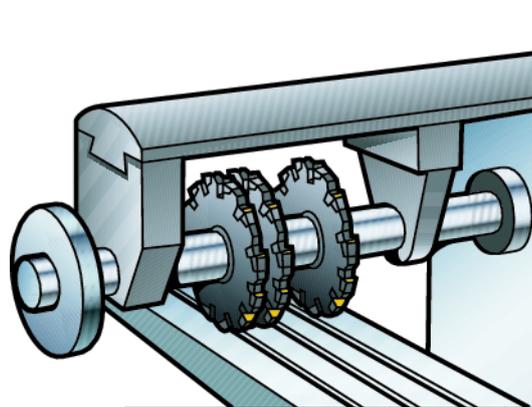
В общем случае фреза CoroMill 331 способна обрабатывать на глубину a_e , превышающую ширину фрезы, a_p в 4 раза. Для обработки более глубоких пазов необходимо снижать подачу на зуб, а если паз имеет небольшую глубину - подачу, наоборот, следует увеличить.

Примечание: глубина обрабатываемого паза может быть ограничена диаметром оправки, прочностными характеристика шпоночного соединения и условиями эвакуации стружки.

Использование маховика на горизонтальных станках

При трехстороннем фрезеровании в зацеплении находится небольшое число зубьев, из-за чего в процессе резания возникают вибрации. Это плохо сказывается на результатах обработки и на уровне производительности.

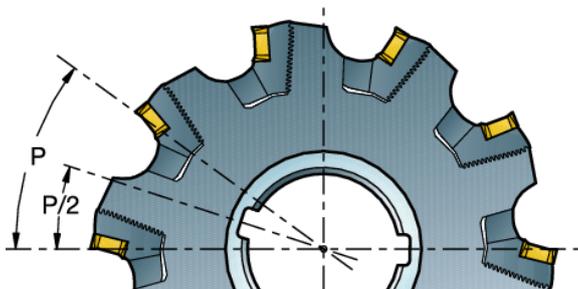
- Установка маховика на фрезерную оправку зачастую является эффективным методом борьбы с вибрациями.
- Проблемы, связанные с недостаточной мощностью станка, ограниченными возможностями по передаче крутящего момента и невысокой стабильностью, часто удается решить за счет применения маховика.
- Необходимость в использовании маховика тем выше, чем ниже мощность предполагаемого для обработки станка или чем выше уровень его износа.
- Маховик следует располагать максимально близко к инструменту.
- Использование маховика обеспечивает большую плавность процессу резания, меньший шум и способствует снижению риска возникновения вибраций, а, соответственно, и большей стойкости режущего инструмента.
- Маховик рекомендуется использовать совместно с встречным методом фрезерования.
- Для достижения высокой стабильности обработки следует использовать маховик максимального размера и массы.
- В качестве маховика можно использовать несколько стальных дисков с отверстиями, соответствующими диаметру фрезерной оправки.
- Эффект от применения маховика повышается с увеличением его диаметра. То есть, если условия обработки позволяют использовать маховик большего диаметра его вес может быть уменьшен.
- Общий вес маховика можно при необходимости распределить между несколькими дисками.
- С повышением частоты вращения шпинделя и увеличением ширины реза потребность в маховике уменьшается.
- Рекомендуется использовать фрезу наименьшего для достижения больших оборотов при соответствующей скорости резания.



Обработка пазов набором фрез с шахматным расположением зубьев

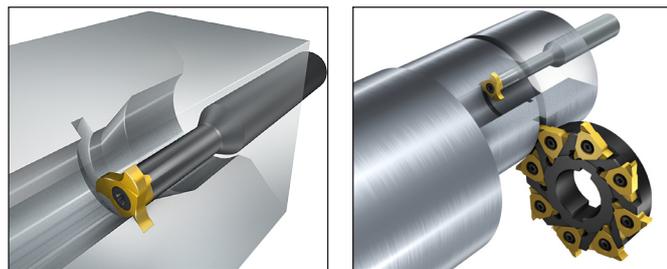
Для обработки нескольких пазов одновременно фрезы CoroMill 331, CoroMill 329, T-Max Q-cutter и CoroMill 328 могут устанавливаться на оправке в шахматном порядке.

Расположение зубьев соседних фрез в шахматном порядке с их смещением в радиальном направлении на половину шага позволяет избежать вибраций при работе набором фрез.



Одна из шпонок смещена от центральной линии на величину, равную половине шага.

Фрезерование узких и неглубоких пазов и канавок

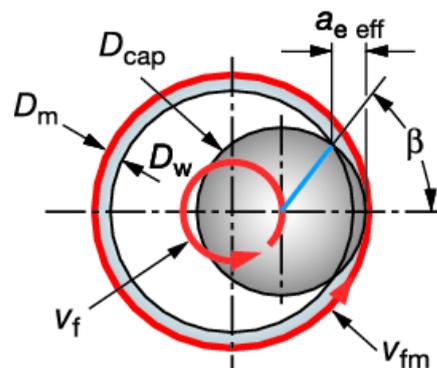


Фрезы CoroMill 327/328 оснащены пластинами с несколькими режущими кромками и с широким выбором геометрий, что делает их пригодными для обработки большинства канавок небольшой глубины.

Область их применения включает обработку внутренних канавок под стопорные кольца и канавок под уплотнения, небольших прямолинейных или наружных канавок. Применение данного типа фрез особенно целесообразно для невращающихся заготовок.

Обработка внутренних канавок

- При круговом фрезеровании необходимо обеспечить плавный вход инструмента в резание.
- Учитывайте соотношение между диаметром фрезы и диаметром отверстия, D_c/D_w . Чем меньше это соотношение, тем больше будет длина линии контакта инструмента и обрабатываемого материала.



Рекомендуемые значения скорости резания и толщины срезаемой стружки для фрез CoroMill® 327

v_c , м/мин:

P	200	(150-400)
M	100	(80-160)
K	250	(200-400)

h_{ex} , мм:

0.04 (0.01 – 0.07)

Режимы резания для фрез CoroMill 328 приведены в разделе Информация/Указатель, глава I.

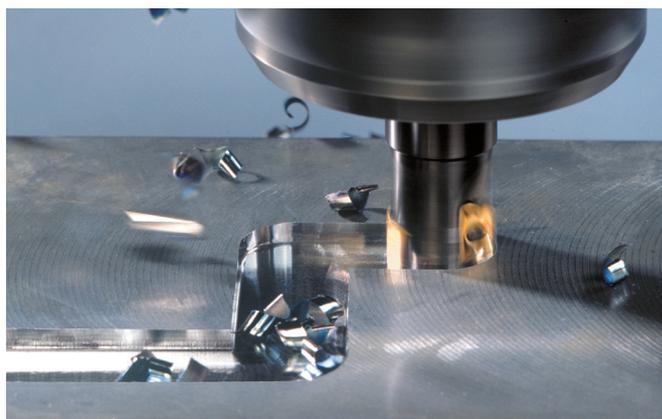
Обработка пазов концевыми фрезами

Концевые фрезы выбираются для обработки коротких, неглубоких и, главным образом, закрытых пазов и канавок. Хорошим примером является шпоночный паз.

Концевыми фрезами возможна обработка следующего типа канавок:

- прямолинейных, изогнутых и расположенных под углом
- с шириной, превышающей диаметр предполагаемой для обработки фрезы.

Обработку пазов большей глубины в тяжёлых условиях рекомендуется выполнять длиннокрайными фрезами.



Выбор инструмента

Концевые и длиннокрайные фрезы

	CoroMill® 690	CoroMill® 390	CoroMill® 490	CoroMill® 316	CoroMill® Plura
					
Мак глубина резания (a_p), мм	112	15.7/85	5.5	11	38
Диаметр фрезы (D_c), мм	50 – 84	12 – 42/32 – 200	20 – 80	10 – 25	2 – 20
Врезание под углом*	Нет	Да	Нет	Да	Да
Обрабатываемый материал	S	P M K N S H	P M K S H	P M K N S	P M K N S H

*Фрезерование с врезанием под углом является хорошим методом для обработки закрытых пазов, см. Специализированные методы на стр. D104.

Практические рекомендации

Советы по применению

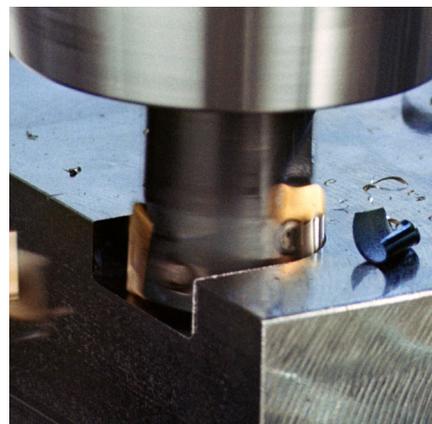
- Используйте концевые фрезы с позитивной геометрией с высоким периодом стойкости с закреплением в высокоточных патронах.
- Старайтесь минимизировать расстояние от патрона до режущей кромки, то есть работать с наименьшим вылетом.
- При работе инструментом с большим вылетом работайте с небольшой глубиной резания, но с большой подачей.
- Назначайте подачу на зуб с учетом рекомендаций по толщине срезаемой стружки. Используйте фрезы с крупным шагом во избежание образования слишком тонкой стружки. Так как это может привести к возникновению вибраций, ухудшению чистоты обработанной поверхности и образованию заусенцев.
- Используйте фрезу максимально возможного диаметра, для того чтобы обеспечить стабильность процесса резания.
- Следует отдавать предпочтение встречному фрезерованию.
- Необходимо обеспечить надлежащие условия эвакуации стружки из канавки. Используйте для этих целей сжатый воздух.
- Наивысшую стабильность обработки обеспечивает соединение Coromant Capto.

Информацию о том, как повысить точность и качество пазов и канавок при фрезеровании см. в Специализированных методах на стр. D120.

Обработка канавок концевыми фрезами

Обработка паза, также называемая трехсторонним фрезерованием, подразумевает формирование трех поверхностей.

- Пазы, закрытые с обоих концов, требуют применения фрез, способных работать с осевой подачей. Более подробно о методах обработки карманов см. на стр. D115.
- Обработка паза на полную глубину концевой фрезой непростая операция. Глубина резания в осевом направлении, как правило, должна составлять 70% длины режущей кромки. При выборе метода обработки паза необходимо учитывать характеристики станка по жесткости и условия эвакуации стружки.
- Концевые фрезы чрезвычайно чувствительны к колебаниям усилий резания. Поэтому риск возникновения отклонений инструмента и вибраций зачастую являются ограничивающими параметрами, особенно при фрезеровании с большими скоростями и с большим вылетом.



Обработка шпоночных пазов

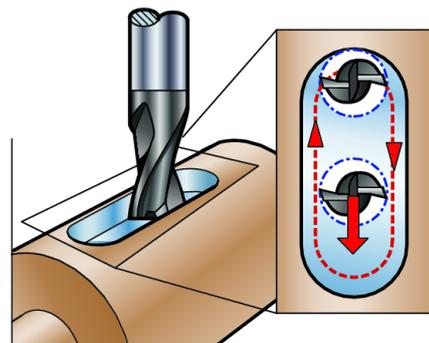
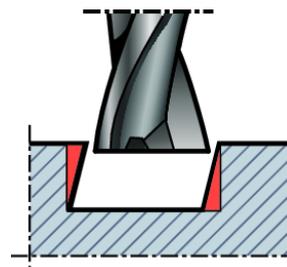
Для операций обработки закрытого шпоночного паза существуют специальные рекомендации, в дополнение к общим рекомендациям по обработке плоскостей и пазов.

Направление сил резания и отжим инструмента при фрезеровании закрытого шпоночного паза не позволяют получить точного прямоугольного сечения.

Точность обработки может быть повышена, если использовать фрезу несколько меньшего диаметра и обрабатывать паз за два прохода:

1. Профрезеровать шпоночный паз на полную глубину начерно.
2. Профрезеровать паз по контуру, применив метод встречного фрезерования и обеспечив, таким образом, перпендикулярность стенок.

На чистовых этапах обработки необходимо работать с небольшой глубиной резания, чтобы минимизировать отжим инструмента, что является определяющим фактором качества обработанной поверхности и геометрической точности паза (угол в 90°).

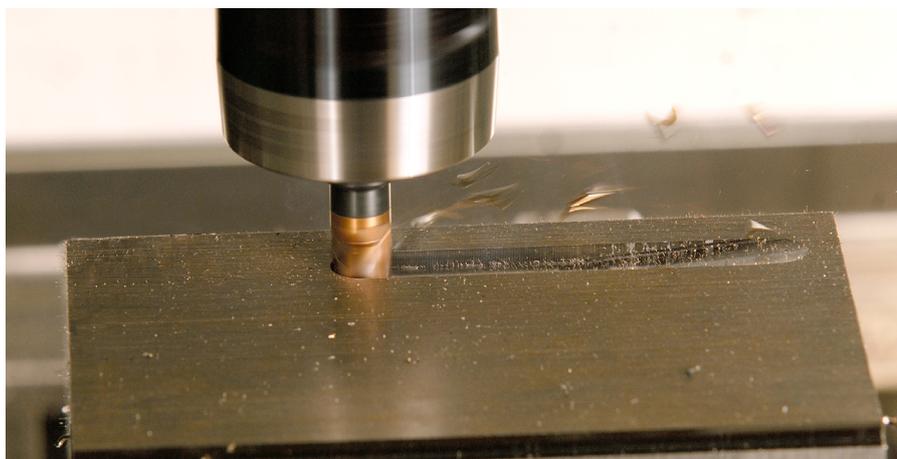


Обработка шпоночного паза за два прохода.

Методы расфрезерования закрытых пазов или карманов в цельной заготовке

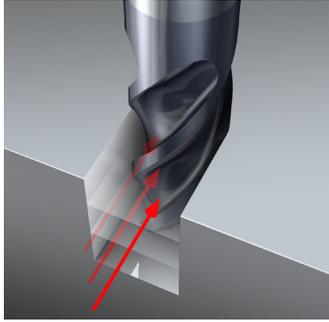
Наиболее распространенным методом обработки длинного и узкого паза является врезание под углом со сверлением предварительного отверстия.

При обработке неглубоких пазов хорошей альтернативой является фрезерование с осевой подачей. Фрезерование методом круговой интерполяции с врезанием подойдет для обработки широких пазов и карманов. Более подробно см. Специализированные методы на стр. D102.



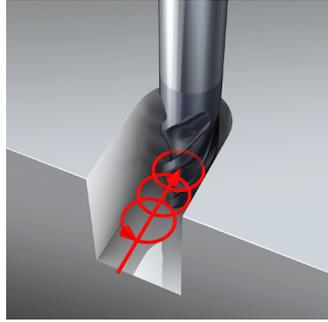
Сравнение трёх методов фрезерования

Традиционное фрезерование паза



- + Осуществляется на трёхкоординатном станке
- + Высокая скорость снятия материала в стабильных условиях обработки
- + Простота программирования
- + Широкий выбор инструмента
- Высокие радиальные усилия
- Риск возникновения вибраций – глубокие пазы следует обрабатывать за несколько проходов

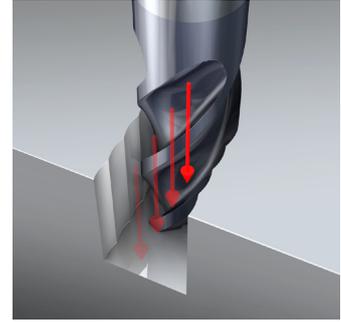
Трохоидальное фрезерование



- + Низкие радиальные усилия – меньшая склонность к вибрациям
- + Минимальный отжим инструмента при фрезеровании глубоких пазов
- + Производительный метод фрезерования:
 - при обработке закаленных сталей и жаропрочных сплавов (ISO H и S)
 - в условиях, способствующих возникновению вибраций
- + Максимальная ширина паза должна составлять 70% от диаметра фрезы, D_c
- + Хорошие условия эвакуации стружки
- + Образование меньшего количества тепла
- Сложное программирование

Более подробная информация в разделе Специализированные методы на стр. D121.

Плунжерное фрезерование

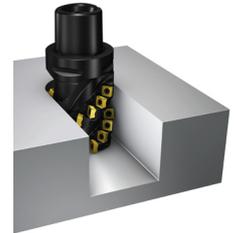


- + Альтернативный метод для борьбы с вибрациями:
 - при большом вылете инструмента
 - при обработке глубоких пазов
 - при недостаточной жесткости станка или наладки
- Невысокая производительность в стабильных условиях
- Требуется периодического вывода фрезы в процессе резания и оставляет необходимость в последующей чистовой обработке
- Фрезерование концевыми фрезами часто сопряжено с трудностями при эвакуации стружки
- Ограниченный выбор инструмента

Более подробная информация в разделе Специализированные методы на стр. D116.

Черновая обработка паза длиннокрючочными фрезами

- Фрезы, способные эффективно удалять большие объемы металла, как правило, рекомендуются для черновых этапов обработки.
- Фрезы с небольшим вылетом могут обрабатывать паз на полную глубину и ширину в стабильных условиях резания.
- Для таких операций выбирайте станки с 50 конусом, так как работа фрез данного типа сопровождается высокими радиальными усилиями резания.
- Довольно часто ограничивающим фактором являются недостаточно высокие характеристики станка по мощности и передаваемому моменту.
- Для создания оптимальных условий резания выбирайте соответствующий шаг фрезы.



Шаг:	L	M	H
Фрезерование уступов:	Большое a_p/a_e	Среднее a_p/a_e	Умеренное a_p/a_e
Фрезерование паза:	Умеренное a_p	Ограничено	-
v_c м/мин:			

Длиннокрючочные фрезы удлиненного исполнения, в основном, предназначены для обработки по контуру, см. Обработка уступов на стр. D50.

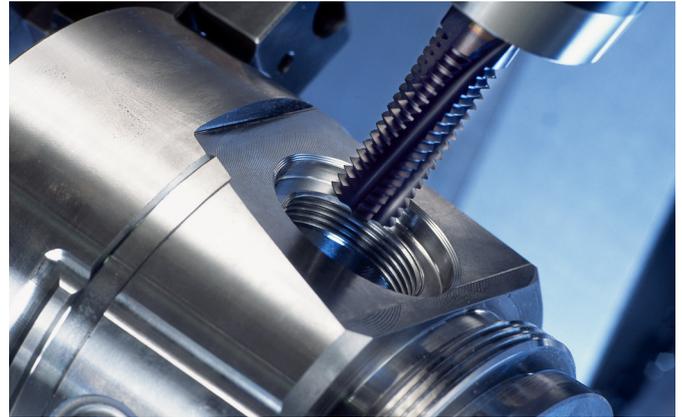


Резьбофрезерование

Фрезерование резьбы на невращающихся заготовках является хорошей альтернативой получению резьбы при помощи метчика и даже может заменить операцию нарезания резьбы токарным резцом.

Фрезы CoroMill позволяют нарезать резьбу максимально близко к уступу или у дна отверстия.

Прерывистый характер резания обеспечивает хороший стружкоотвод, особенно при обработке вязких материалов.



Выбор инструмента

Концевые фрезы CoroMill Plura, а также фрезы CoroMill 327 и 328 имеют пластины со специализированными геометриями для нарезания резьбы

	CoroMill® Plura	CoroMill® 327	CoroMill® 328
			
Шаг, мм	0.7 – 3	1 – 4.5	1.5 – 6
Диаметр фрезы (D_c), мм	3.2 – 19	11.7 – 21.7	39 – 80
Обрабатываемый материал			

Общая информация

- Всегда выбирайте инструмент с минимально возможным вылетом.
- В таблице заказа для каждого типа инструмента указывается минимальный размер внутренней резьбы. Но фреза может использоваться для формирования резьб с тем же шагом и на больших диаметрах. Подробная информация в “Основном каталоге”.

Подробная информация о параметрах резьб и о способах их формирования в разделе Резьбонарезание, глава С. Рекомендации по сверлению предварительных отверстий под резьбу приведены в разделе Информация/Указатель, глава I.

Применение фрез CoroMill® для нарезания резьбы

Преимущества

- Один инструмент для правой и левой резьбы.
- Один инструмент для большого диапазона диаметров без ограничений по максимально возможному диаметру отверстия.
- Нарезание резьбы вплотную к уступу и дну глухого отверстия.
- Возможность обработки резьб с произвольным полем допуска.
- Предпочтительный вариант при необходимости работы с большим вылетом без повышенного риска возникновения вибраций.
- Хороший контроль над стружкообразованием.
- Надежный отвод стружки обеспечивает стабильность процесса резания.
- Высокая эффективность при обработке закаленных сталей, а также материалов с низкой обрабатываемостью и плохим стружкодроблением.
- Внутренний подвод СОЖ способствует нарезанию резьбы в заготовках из труднообрабатываемых материалов.
- В случае поломки инструмент легко удалить из отверстия без повреждения заготовки.

Недостатки

- Резьбовые фрезы всегда оставляют на обработанной поверхности следы от подачи. Профиль полученной в результате фрезерования резьбы несколько отличается от идеального. Степень отклонения зависит от шага резьбы, диаметра отверстия и величины радиального припуска.
- Относительно высокие усилия резания при работе фрез CoroMill Plura вызывают отжим инструмента, что также искажает профиль резьбы.
- Каждая фреза CoroMill Plura предназначена для определенного шага резьбы.

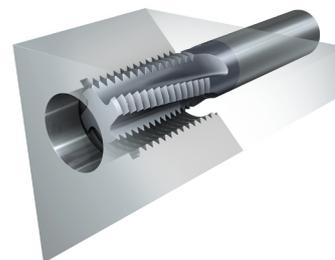
Нарезание резьбы фрезами CoroMill® 327 и CoroMill® 328

- Одна пластина для резьб с разным шагом.
- Низкие усилия резания делают эти фрезы хорошей альтернативой для нарезания резьбы в отверстиях среднего и большого диаметра, а также в условиях низкой жёсткости, то есть при работе с большим вылетом и/или при нарезании резьбы в тонкостенных заготовках.
- Невысокие требования по мощности.
- Первый выбор для формирования крупной наружной резьбы на деталях с асимметрией.
- Мелкосерийное и единичное производство.



Нарезание резьбы фрезами CoroMill® Plura

- Формирование резьбы за один круговой оборот инструмента (оборот в 360°).
- Информация по выбору инструмента, режимам резания и методам программирования приведена в программе CoroMill Plura Guide.



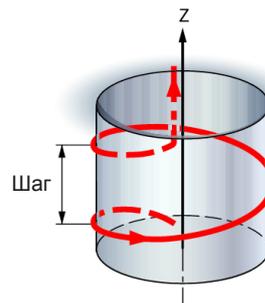
Практические рекомендации

Общие рекомендации

- Всегда обеспечивайте плавный вход и выход фрез CoroMill Plura, CoroMill 327 и CoroMill 328 из резания.
- Предпочтительным является попутное фрезерование.
- При нарезании резьбы в материалах повышенной твердости или других труднообрабатываемых материалах целесообразнее разделить операцию на несколько проходов, уменьшив a_e .

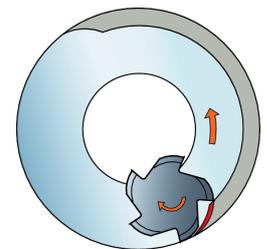
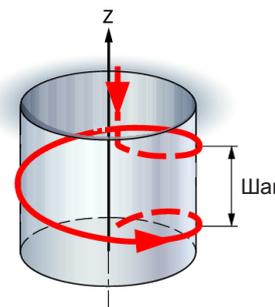
Изготовление правой резьбы

Первоначально фреза опускается внутрь отверстия, как можно ближе к дну, и начинает двигаться вверх по винтовой линии, против часовой стрелки.



Изготовление левой резьбы

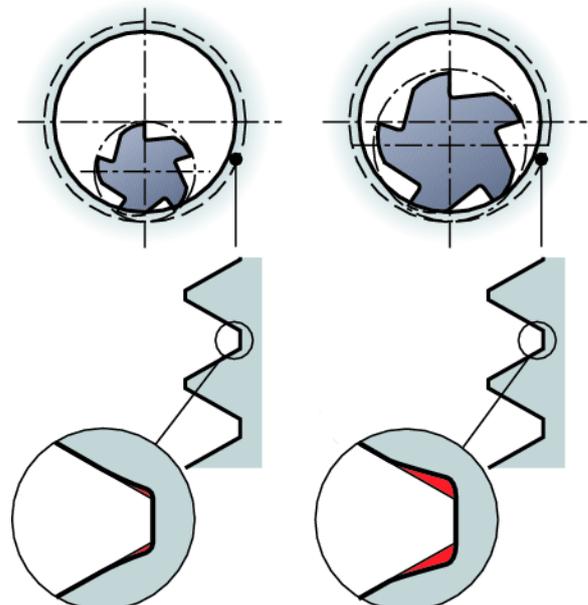
Фреза располагается выше отверстия и опускается вниз, вращаясь также против часовой стрелки.



Попутное фрезерование является предпочтительным.

Искажение профиля резьбы

- Резьбовые фрезы формируют резьбу с несколько искаженным профилем.
- Степень искажения зависит от соотношения диаметра резьбы и диаметра фрезы, а также от шага резьбы.
- Практическое правило заключается в том, что отношение диаметра резьбы к диаметру инструмента должно быть не менее 1,5.



Нарезание наружной резьбы – фрезы CoroMill® 327 и CoroMill® 328

Большинство резьбовых пластин предназначено для нарезания внутренней резьбы. Однако все пластины с неполным профилем (V-профиль) могут также применяться для наружного резьбонарезания.

Примечание: будьте внимательны к глубине резьбы.

Пример:

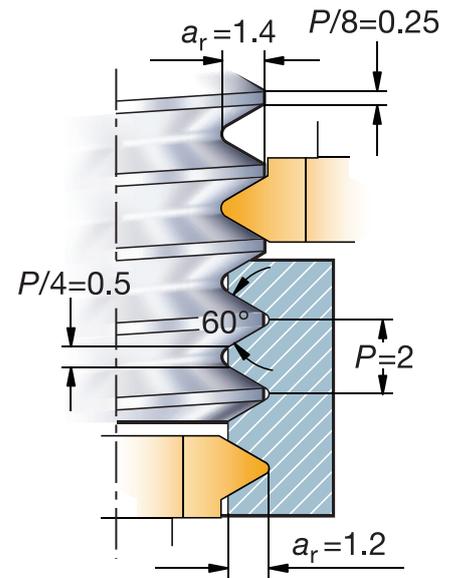
Фреза CoroMill 327 с кодом заказа 327R12-22 100VM-TH.

Рекомендации:

- Шаг от 1 до 2 мм (min = 1, max = 2)
- a_r max составляет 1.2 мм

Следовательно:

- Для внутренней резьбы шаг 2 мм достаточен, при $a_r = 1.2$ мм (a_r max = 1.2 мм).
- Для наружной резьбы шаг 2 не достаточен, при $a_r = 1.4$ мм (a_r max = 1.2 мм).
- Выбирайте пластину с шагом от 2.5 до 3.5 для обработки наружной резьбы.



Требования к станкам

- Резьбофрезерование требует от станка возможности одновременного перемещения по трем координатам X, Y и Z.
- Перемещения по осям X и Y определяют диаметр резьбы, а перемещение по оси Z влияет на шаг.
- Операции резьбофрезерования рекомендуется выполнять без использования СОЖ.
- Для оптимизации процесса эвакуации стружки можно использовать сжатый воздух с частицами масла специального типа.

Программирование

Общие рекомендации

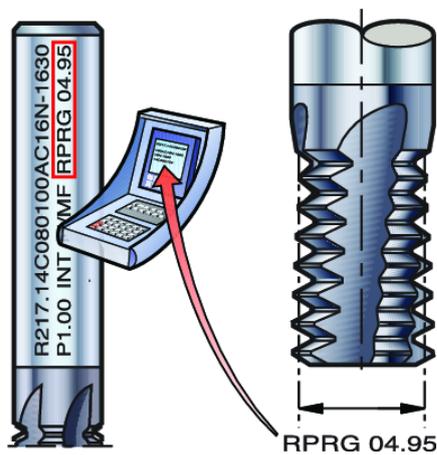
При написании программы для операции фрезерования резьбы диаметр инструмента имеет большое значение.

- При помощи коррекции на радиус в программе можно задать точный диаметр инструмента, в зависимости от шага резьбы.
- В случае если резьба имеет очень жесткий допуск, необходимо немного уменьшить значение радиуса коррекции.

Резьбовые фрезы CoroMill® Plura

На хвостовик каждой фрезы CoroMill Plura нанесено индивидуальное значение коррекции на радиус (RPRG).

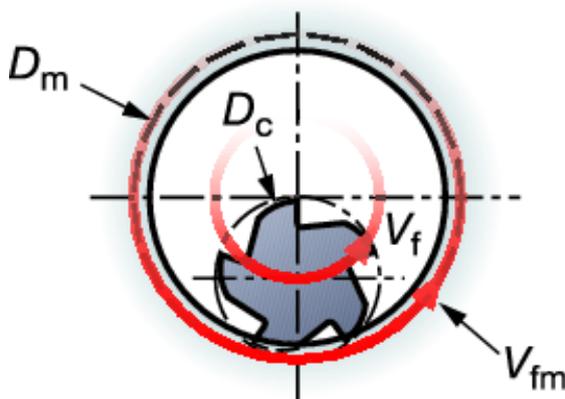
- При помощи RPRG в программе задается точный диаметр инструмента, в зависимости от шага резьбы, а также эта величина гарантирует получение резьбы соответствующего качества.
- Обычно величина коррекции вводится заранее, перед циклом обработки в таблицу «offset» станка.
- При условии назначения правильных режимов резания, с использованием радиуса коррекции, даже первая обработанная резьба будет иметь соответствующие размеры.



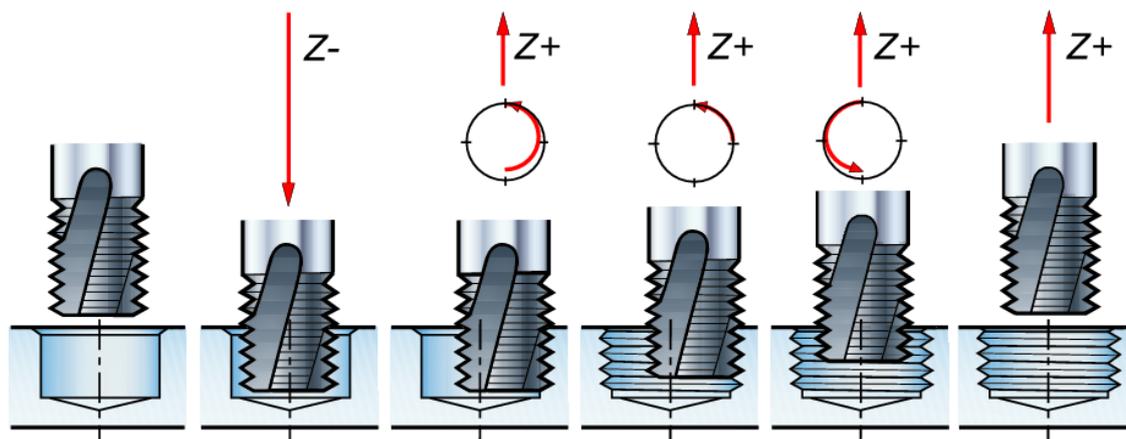
Программирование с использованием радиуса коррекции.

Рекомендации по режимам резания

- При внутренней обработке скорость на периферии инструмента выше, чем скорость в его центре.
- В большинстве случаев, когда пишется программа для фрезерного станка, под величиной подачи понимается скорость перемещения оси шпинделя. С целью повышения стойкости фрезы и во избежание появления вибраций или полного выхода инструмента из строя, необходимо снижать (пересчитывать) величину подачи.
- Резьбофрезы CoroMill Plura имеют большую длину контакта с заготовкой, по сравнению с обычной фрезой, что приводит к неблагоприятному соотношению длины линии контакта и диаметра фрезы.
- Операции резьбофрезерования возможно осуществлять на тех же режимах, что и обработку обычными концевыми фрезами.
- При обработке с небольшой глубиной резания значение подачи не должно превышать 0.15 для достижения высокого качества поверхности.



$$v_f = \frac{v_{fm} \times (D_m - D_{cap})}{D_m}$$



Специализированные методы

Рекомендации

Точение

В

Отрезка и обработка канавок

С

Нарезание резьбы

D

Фрезерование

F

Сверление

F

Растачивание

G

Инструментальная оснастка

H

Материалы

I

Информация/Указатель

Фрезерование с осевым врезанием

Линейное врезание под углом

Выбор инструмента D 106

Рекомендации D 108

Выбор инструмента D 119

Рекомендации D 119

Винтовая интерполяция Круговая интерполяция

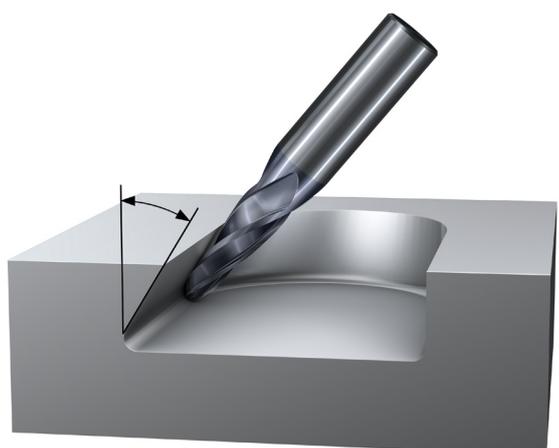
Выбор инструмента D 106

Рекомендации D 110

Круговая интерполяция

Выбор инструмента D 126

Рекомендации D 127



Закрытые карманы

Выбор инструмента D 125

Рекомендации D 125

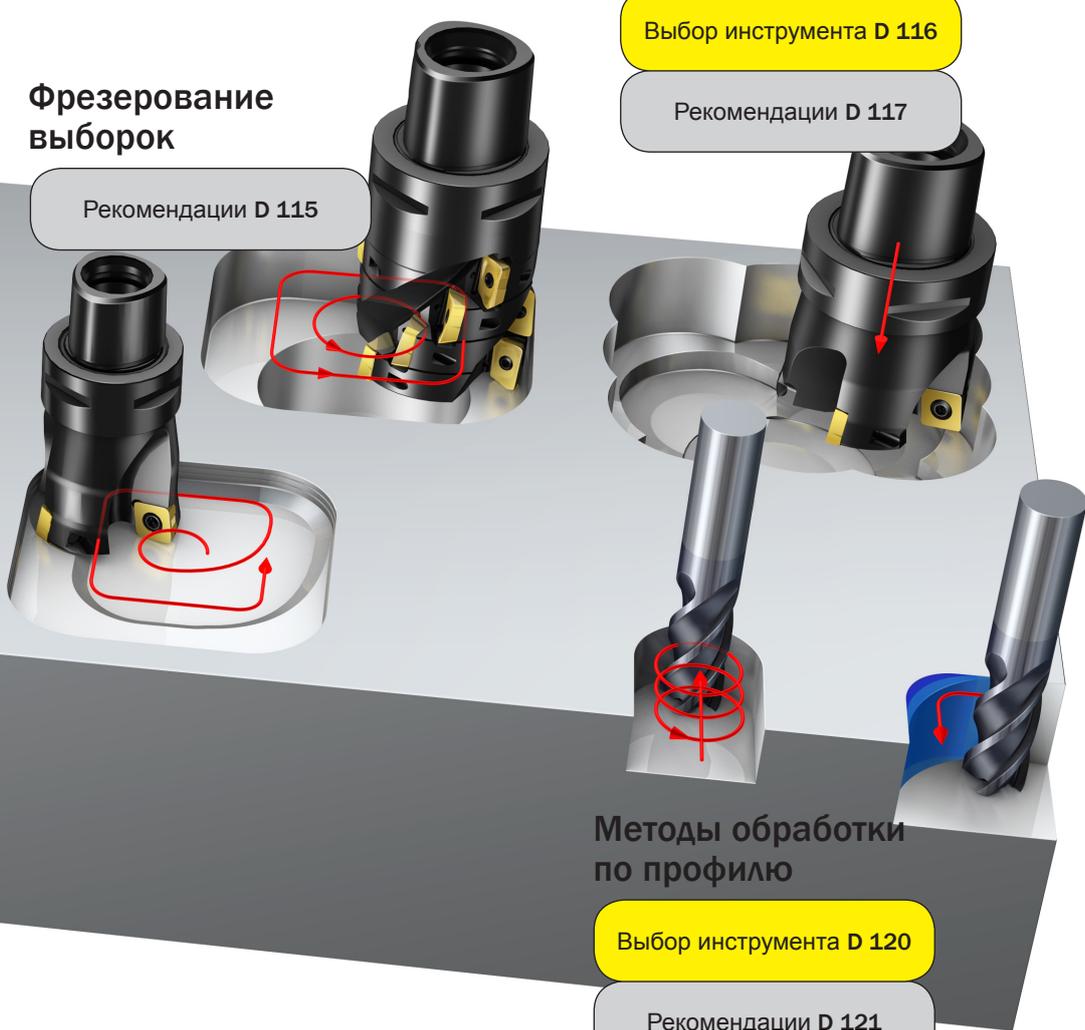
Фрезерование выборок

Рекомендации D 115

Плунжерное фрезерование

Выбор инструмента D 116

Рекомендации D 117



Методы обработки по профилю

Выбор инструмента D 120

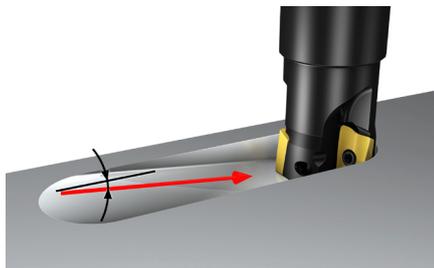
Рекомендации D 121

Фрезерование

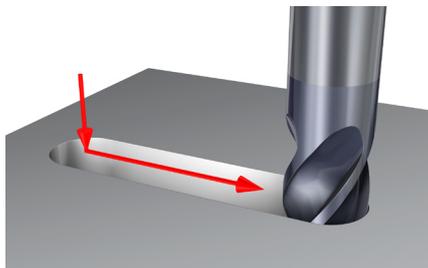
Решение проблем D 128

Методы обработки отверстий и выборок

Обработка выборок в цельной заготовке



Линейное врезание под углом

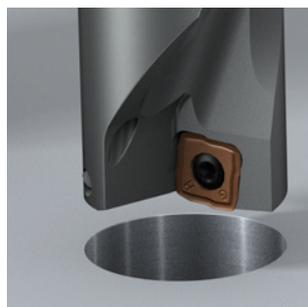


Фрезерование с осевым врезанием

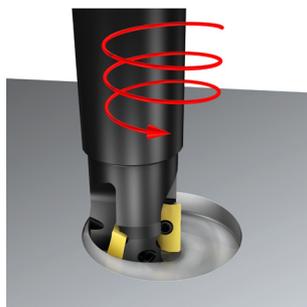
Вскрытие кармана

Метод фрезерования с врезанием под углом (одновременно по 2-м осям) имеет преимущество перед методом фрезерования с осевым врезанием.

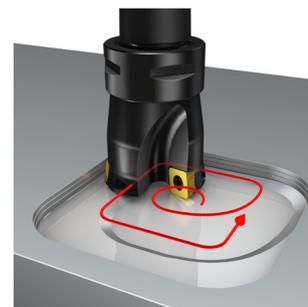
Фрезерование с осевым врезанием может рассматриваться как альтернативный метод, при котором наблюдается неудовлетворительное стружкодробление и возникновение нежелательных вибраций инструмента.



Засверливание



Винтовая интерполяция



Обработка выборки с врезанием под углом

Вскрытие отверстия или выборки

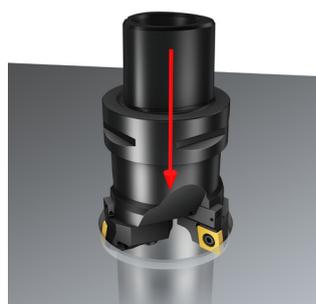
Традиционно используемым и наиболее быстрым методом получения отверстия является сверление, однако при обработке ряда материалов стружкодробление при сверлении затруднено. Кроме того требуется большое количество переналадок для обработки отверстий различного диаметра и некруглой формы.

Винтовое врезание под углом (одновременно по 3-м осям) по сравнению со сверлением имеет меньшую производительность, но является предпочтительным методом обработки в случае:

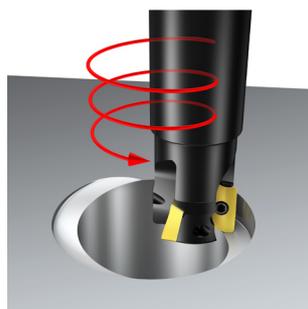
- Обработки отверстий большого диаметра на станках с небольшой мощностью.
- Мелкосерийного производства. Опытным путём доказано, что для отверстий диаметром более 25 мм экономически эффективно применять расфрезеровывание вплоть до серии из 500 отверстий.

- Необходимости обработки большого диапазона отверстий разного диаметра.
- Ограничения по количеству гнезд инструментального магазина, не позволяющего хранить в нем большой ряд сверл.
- Обработки глухих отверстий, где требуется плоское дно.
- Обработки нежестких тонкостенных деталей.
- Прерывистого врезания.
- Фрезерования труднообрабатываемых материалов с затруднённым дроблением и эвакуацией стружки.
- Отсутствия подвода охлаждения.
- Обработки выборок/карманов (нецилиндрические отверстия).

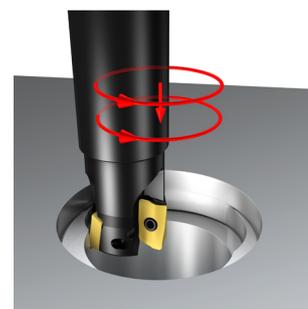
Расфрезеровывание отверстия или выборки



Растачивание



Винтовая интерполяция



Круговая интерполяция

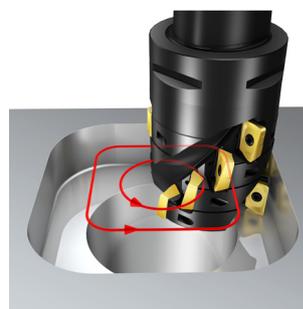
Расфрезеровывание отверстия

Как и сверление, растачивание зачастую является наиболее быстрым методом обработки отверстия, но по ряду причин расфрезеровывание иногда может являться альтернативой растачиванию, см. предыдущую страницу. Основными методами фрезерования являются: винтовая интерполяция с врезанием по трём осям и расфрезеровывание с врезанием по 2 осям. Первый метод предпочтительно применять для обработки отверстия, глубина которого больше максимального значения a_p и в случаях повышенного риска возникновения вибраций. Данный метод также позволяет добиться лучшего значения круглости и соосности отверстия, в особенности при большом вылете инструмента. Круглость отверстия при расфрезеровывании с врезанием по двум осям и винтовой интерполяции с врезанием по трём осям также можно улучшить, применяя стратегию обработки, при которой вращается не фреза, а обрабатываемая заготовка.

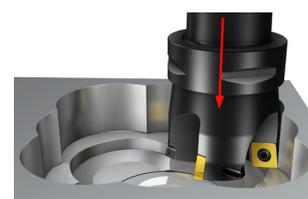
Расфрезеровывание выборки

Внутренняя обработка уступов и плунжерное фрезерование требуют предварительного сверления пилотного отверстия в то время как фрезерование выборки с врезанием под углом применяется для цельной заготовки, см. предыдущую страницу.

- Метод врезания по 3-м осям имеет преимущество, поскольку позволяет с помощью одного инструмента осуществлять обработку трехмерной поверхности для последующей профильной обработки. Применение технологии фрезерования с высокой подачей позволяет перераспределить усилия резания и минимизировать риск возникновения вибраций.
- При нежесткой системе и больших вылетах инструмента этот метод может быть единственным решением.
- По сравнению с плунжерным фрезерованием внутренняя обработка уступов является более скоростной операцией, но предъявляет повышенные

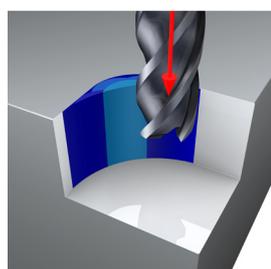


Фрезерование уступов

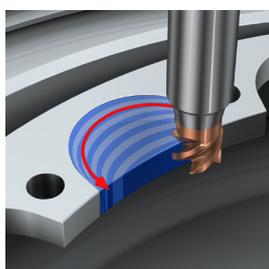


Плунжерное фрезерование

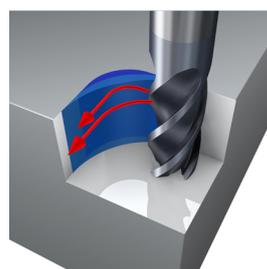
требования к программированию.



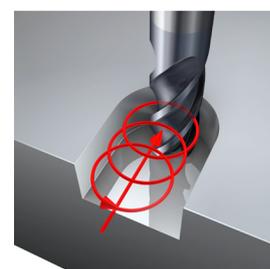
Плунжерное фрезерование в углах



Фрезерование с малой шириной контакта



Доработка углов



Трохоидальное фрезерование

Подборка остаточного припуска

Обычно после предварительной черновой обработки выборки в особенности в углах заготовки остаётся припуск. Для достижения формы выборки наиболее близкой к чистовому профилю детали применяется плунжерное фрезерование инструментом небольшого диаметра. Альтернативной стратегией обработки, используемой для снятия припуска в углах выборки является фрезерование с малой шириной контакта. Разновидностью такого метода является трохоидальное фрезерование, которое также рекомендуется применять для обработки пазов, карманов и т.п.

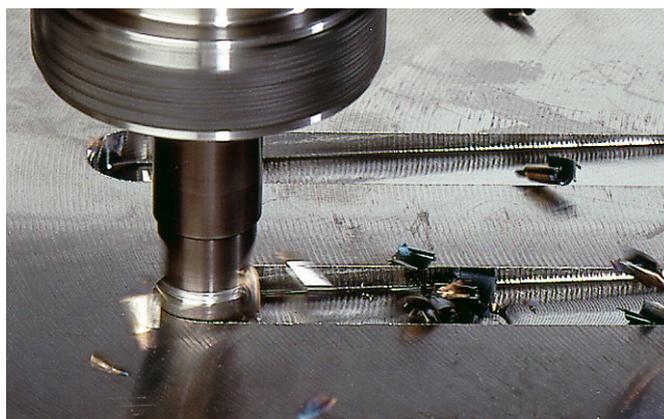
Линейное врезание под углом (по 2-м осям)

Одним из общепринятых методов обработки закрытых карманов, пазов и выборок является фрезерование с линейным врезанием под углом, исключающее необходимость предварительного сверления.

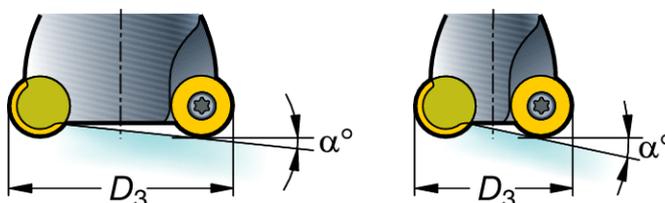
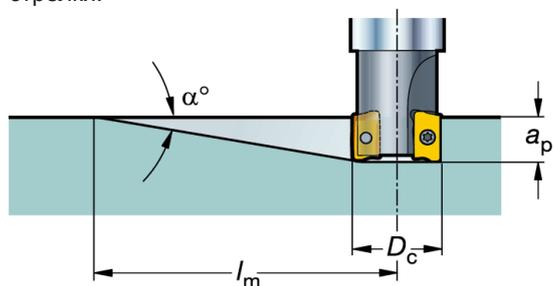
Принцип линейного врезания под углом заключается в одновременном перемещении инструмента по оси Z и в одном из радиальных направлений (X или Y), то есть врезание по 2-м осям.

Более прогрессивным методом, по сравнению с прямолинейным врезанием, является метод кругового врезания, позволяющий снизить радиальные нагрузки на инструмент и при работе с попутным фрезерованием добиться лучшей эвакуации стружки из зоны резания.

Применение попутного фрезерования обеспечивается вращением шпинделя по направлению против часовой стрелки.

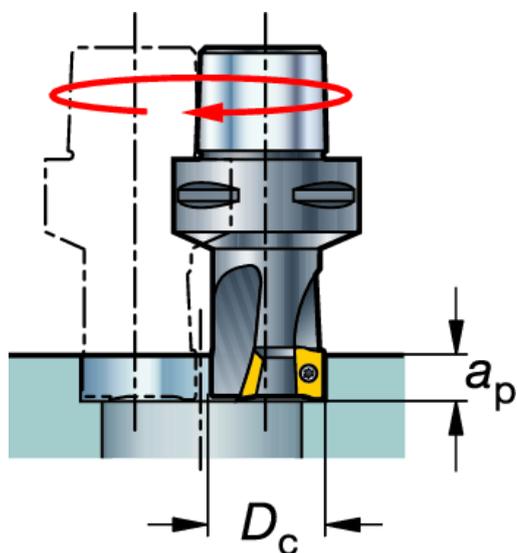


Линейное врезание под углом для обработки паза.



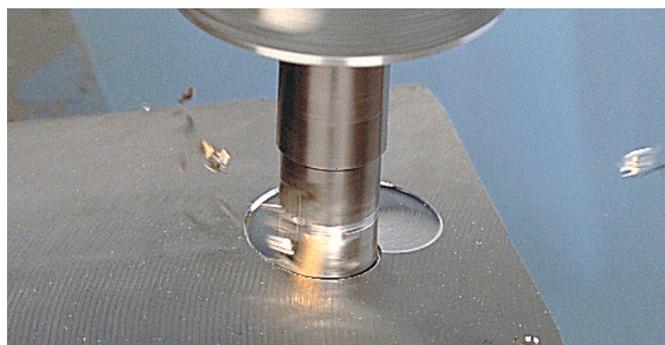
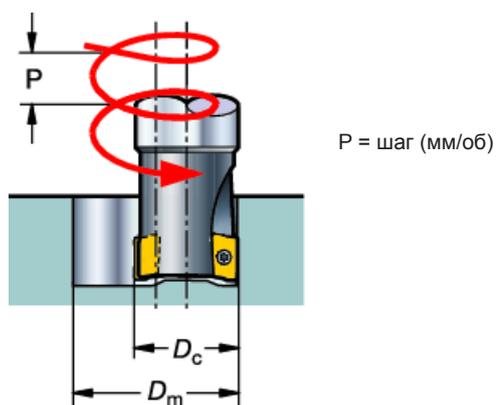
Круговая интерполяция (по 2-м осям)

Метод круговой интерполяции является альтернативой использованию традиционного расточного инструмента. Круговую интерполяцию можно применять, используя большинство фрез с углом в плане 90 градусов, совершая кольцевой проход.



Винтовая интерполяция с врезанием по трём осям

Одновременное перемещение фрезы по трём координатам X, Y и Z с врезанием под углом зачастую используется для обработки выборок и карманов. Данный метод является альтернативой сверлению с последующим растачиванием, см. сравнение на странице D102.



Винтовая интерполяция с врезанием в цельную заготовку.



Круговая интерполяция с врезанием для увеличения диаметра отверстия.

Круговая интерполяция - Фрезы первого выбора

Диаметр отверстия

		20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60
P	Плоское дно	CoroMill® Plura/CoroMill® 316					CoroMill® 390					CoroMill® 210										
	Сквозное отверстие	CoroMill® Plura/CoroMill® 316	CoroMill® 390					CoroMill® 210														
M	Плоское дно	CoroMill® Plura/CoroMill® 316					CoroMill® 390					CoroMill® 300										
	Сквозное отверстие	CoroMill® Plura/CoroMill® 316	CoroMill® 300																			
K	Плоское дно	CoroMill® Plura/CoroMill® 316					CoroMill® 390					CoroMill® 210										
	Сквозное отверстие	CoroMill® Plura/CoroMill® 316	CoroMill® 390					CoroMill® 210														
N	Плоское дно	CoroMill® Plura/CoroMill® 316					CoroMill® 390					CoroMill® 790										
	Сквозное отверстие	CoroMill® Plura/CoroMill® 316	CoroMill® 390					CoroMill® 790														
S	Плоское дно	CoroMill® Plura/CoroMill® 316					CoroMill® 390					CoroMill® 300										
	Сквозное отверстие	CoroMill® Plura/CoroMill® 316	CoroMill® 390					CoroMill® 210														

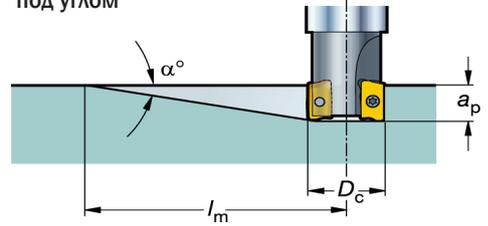
Выбор инструмента

Фрезы, способные осуществлять линейное врезание под углом, также могут работать и с круговым врезанием под углом.

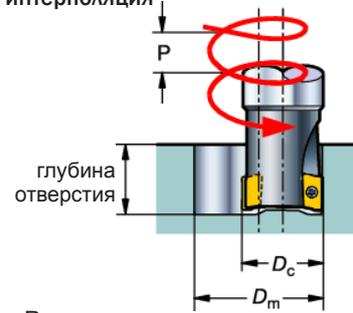
Примечание: при обработке глухого отверстия минимальное значение D_m будет большим, при необходимости получения плоского дна. Диаметр отверстия рассчитывается с помощью специальной формы (см. стр. D111).

	CoroMill® Plura				CoroMill® 316			
	VFD, спираль 50°				Концевая фреза с радиусом			
	Круговое	Линейное			Круговое	Линейное		
мах. глубина отверстия	$< a_p$			$a_p < 0.55 \times D_c$			мах	
Качество отверстия	H7			H7			мах	
D_c или D_3 (мм)	Сквозное отверстие		$a_p = 0.9 \times D_c$		Сквозное отверстие		$a_p = 0.55 \times D_c$	
	D_m min	P мм/об	α°	l_m	D_m min	P мм/об	α°	l_m
4	4.8	0.26	6.7	30.6				
6	7.2	0.43	6.7	46.0				
8	9.6	0.53	6.7	61.3				
10	12	0.66	6.7	76.6	12	0.78	10	31.2
12	14.4	1.39	10	61.2	14.4	0.89	10	37.4
16	19.2	1.77	10	81.7	19.2	1.1	10	49.9
20	24	2.21	10	102.1	24	1.37	10	62.4
25					30	1.65	10	78.0

Линейное врезание под углом



Винтовая интерполяция



P = шаг

	CoroMill® 390								CoroMill® 790									
	Пластины -11 и -18* r _ε = 0.8 мм				Пластина -17 с r _ε = 0.8 мм				Пластина -16 с r _ε = 0.8 мм				Пластина -22 с r _ε = 0.8 мм					
	Круговое	Линейное			Круговое	Линейное			Круговое	Линейное			Круговое	Линейное				
мах. глубина отверстия	$< l_3^{**}$			$< l_3^{**}$			$< l_3^{**}$			$< l_3^{**}$			$< l_3^{**}$					
Качество отверстия	H9			мах			H9			мах			H7			мах		
D_c или D_3 (мм)	Сквозное отверстие		$a_p = 10/15$ мм		Сквозное отверстие		$a_p = 15$ мм		Сквозное отверстие		$a_p = 12$ мм		Сквозное отверстие		$a_p = 18$ мм			
	D_m min	P мм/об	α°	l_m	D_m min	P мм/об	α°	l_m	D_m min	P мм/об	α°	l_m	D_m min	P мм/об	α°	l_m		
12	14	0.4	6.0	99														
16	20	2.0	10.5	54														
20	24	2.0	5.5	104														
25	39	3.0	5.0	114	33	6.0	15.5	59	28.8	4.3	19	45.7						
32	53	3.3	3.6	159	47	4.5	6.7	135	42.8	8.1	13	66						
36	61	2.7	2.6	220					50.8	9.3	11	78						
40	78*	7.0*	6.8*	132*	63	4.0	3.9	231	58.8	10.2	9	89	51	11.5	18	74		
44	86*	6.5*	6.0*	149*					60.8	10.8	8	101	59	13.7	16	84		
50	98*	6.0*	5.5*	163*	83	1.0	2.8	323	78.8	11.6	7	118	71	15.7	13	100		
54	106*	4.5*	5.0*	179*					86.8	11.9	6	130	79	11.7	12	111		
63	124*	4.0*	4.0*	225*	109	1.6	2.1	430					97	18	9	134		
66	130*	3.5*	3.7*	243*									103	18	9	141		
80	158*	3.0*	3.1*	290*	143	1.6	1.6	565					131	18	7	176		

* Пластина размером 18, имеющая специализированную геометрию для врезания под углом -xMR

	CoroMill® 210								CoroMill® 300									
	Пластина -09				Пластина -14				Пластина -08				Пластина -10					
	Круговое		Линейное		Круговое		Линейное		Круговое		Линейное		Круговое		Линейное			
Макс. глубина отверстия	< I ₃ **		max a _p = 1.2 мм		< I ₃ **		max a _p = 2.0 мм		< I ₃ **		max a _p = 4 мм		< I ₃ **		max a _p = 5 мм			
Качество отверстия	H13				H13				H13				H13				H13	
D _c или D ₃ (мм)	Сквозное отверстие				Сквозное отверстие				Сквозное отверстие				Сквозное отверстие				Сквозное отверстие	
	D _m min	P мм/об	α°	l _m	D _m min	P мм/об	α°	l _m	D _m min	P мм/об	α°	l _m	D _m min	P мм/об	α°	l _m		
25	32	1.2	14.5	4.6					36.4	2	8.0	28.5	32.4	2.5	13.5	20.8		
32	46	1.2	8	8.5					50.4	2	5.0	45.7	46.4	2.5	7.5	38.0		
35	52	1.2	7	9.7					56.4	2	4.0	57.2						
36	54	1.2	7	9.7														
40									66.4	2	3.5	65.4	52.4	2.5	6.5	43.9		
42	66	1.2	5	13.7					70.4	2	3.0	76.3	62.4	2.5	5.0	57.2		
50	82	1.2	3.5	19.6					86.4	2	2.5	91.6	66.4	2.5	4.5	63.5		
52	86	1.2	3.3	20.8	76	2	5.8	19.6	90.4	2	2.0	114.5						
63	108	1.2	2.6	26.4	98	2	3.8	30.1	112.4	2	1.5	152.8						
66	114	1.2	2.4	28.6	104	2	3.2	35.7	118.4	2	1.5	152.8						
80					132	2	2.4	47.7	146.4	2	1.0	229.2						

	CoroMill® 300											
	Пластина -12				Пластина -16				Пластина -20			
	Круговое		Линейное		Круговое		Линейное		Круговое		Линейное	
Макс. глубина отверстия	< I ₃ **		max a _p = 6 мм		< I ₃ **		max a _p = 8 мм		< I ₃ **		max a _p = 10 мм	
Качество отверстия	H13				H13				H13			
D _c или D ₃ (мм)	Сквозное отверстие				Сквозное отверстие				Сквозное отверстие			
	D _m min	P мм/об	α°	l _m	D _m min	P мм/об	α°	l _m	D _m min	P мм/об	α°	l _m
32	42.6	3	12.0	28.2								
34	46.6	3	11.5	29.5								
35	48.6	3	10.5	32.4								
40	58.6	3	8.0	42.7								
42	62.6	3	7.5	45.6								
50	78.6	3	5.5	62.3								
52	82.6	3	5.0	68.6	75.6	4	7.0	65.2				
63	104.6	3	3.5	98.1	97.6	4	5.0	91.4				
66	110.6	3	3.5	98.1	103.6	4	4.5	101.6	96	5	9.4	60.5
80	138.6	3	2.5	137.4	131.6	4	3.5	130.8	124	5	6.7	85.2
100					171.6	4	2.5	183.2	164	5	4.8	119.2
125					221.6	4	1.5	305.5	124	5	3.5	163.5

	CoroMill® 200															
	Пластина -10				Пластина -12				Пластина -16				Пластина -20			
	Круговое		Линейное		Круговое		Линейное		Круговое		Линейное		Круговое		Линейное	
Макс. глубина отверстия	$< l_3^{**}$		max													
Качество отверстия	H13															
D_c или D_3 (мм)	Сквозное отверстие		$a_p = 5$ мм		Сквозное отверстие		$a_p = 6$ мм		Сквозное отверстие		$a_p = 8$ мм		Сквозное отверстие		$a_p = 10$ мм	
	D_m min	P мм/об	α°	l_m	D_m min	P мм/об	α°	l_m	D_m min	P мм/об	α°	l_m	D_m min	P мм/об	α°	l_m
25	32	2.5	13	22												
32					42	3	13	26								
40					58	3	9.5	32	50	4	13	35				
50					78	3	6.5	49	70	4	11	35	62	5	13	43
63					104	3	4.5	68	96	4	7	48	88	5	11	45
80					138	3	3.5	98	130	4	5	70	122	5	7	67
100					178	3	2.5	137	170	4	3.5	102	162	5	5	95
125									220	4	2.5	131	212	5	3.5	127
160													282	5	2.5	191

Практические рекомендации

Врезание по двум осям

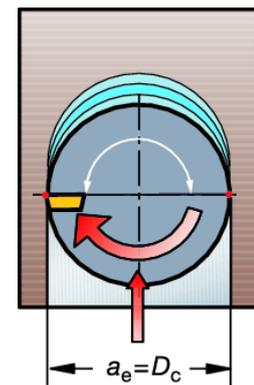
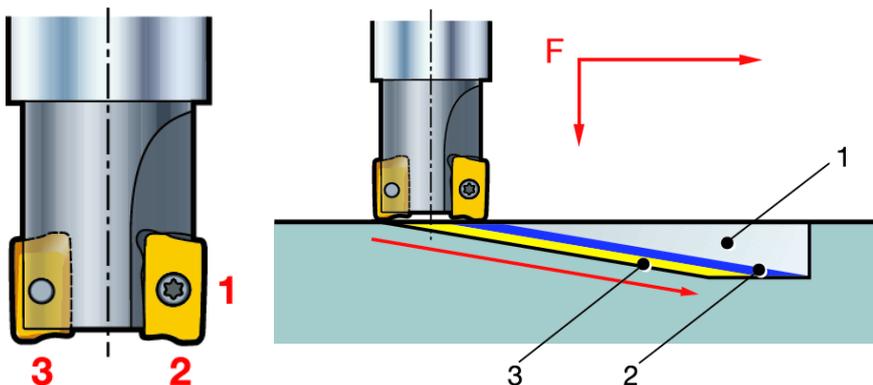
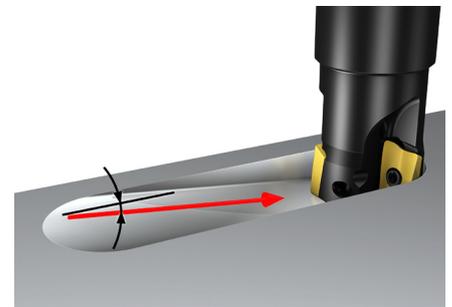
Требования к процессу резания

Существуют три основных процесса, происходящих при фрезеровании с врезанием под углом:

- 1) Периферийная обработка опережающей пластиной.
- 2) Обработка дна опережающей пластиной.
- 3) Обработка дна отстающей пластиной.

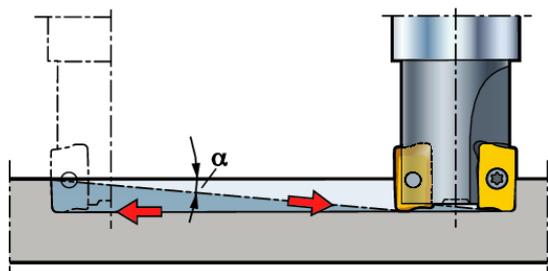
При этом имеют место как радиальные, так и осевые усилия резания.

При работе в полный паз инструмент испытывает дополнительную нагрузку т.к. $a_e = D_c$, возникают значительные радиальные усилия резания и ухудшается стружкодробление.



Рекомендации

- Снижение подачи до 75% от стандартного значения.
- При обработке в полный паз после врезания под углом рекомендуется обязательно сохранить уменьшенную подачу на длине прохода соответствующей диаметру фрезы, до тех пор пока отстающая пластина не выйдет из резания .
- Использовать охлаждающую жидкость для эвакуации стружки.
- Рекомендуется использовать инструмент с меньшим радиусом при вершине для уменьшения поверхности контакта.
- Для узких пазов шириной менее 30 мм при ограниченной возможности применения метода винтовой интерполяции используйте прямолинейное врезание под углом.

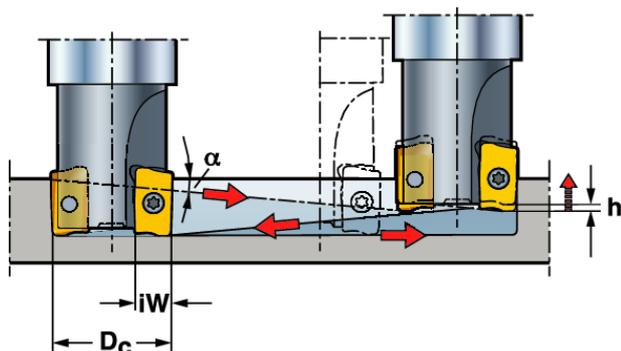


Врезание под углом за один проход.

Производительное врезание под углом

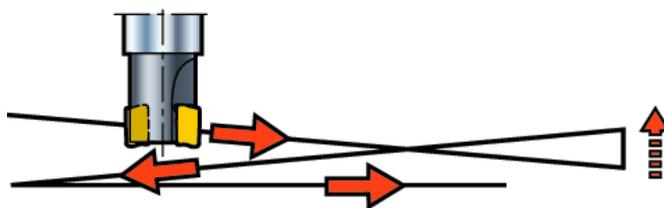
При обработке с врезанием под углом за несколько проходов, можно достичь повышения производительности за счёт изменения стратегии с врезания за один проход в одном направлении на врезание под углом в нескольких направлениях (производительное врезание).

Замечание: При работе инструмента с максимальным углом врезания рекомендуется осуществлять небольшой вывод из резания на величину h перед изменением направления резания. Это предотвращает повреждение центральной части корпуса фрезы.



Коррекция стратегии обработки:

$$h = \text{Tang } \alpha (D_c - (2 \times iw))$$

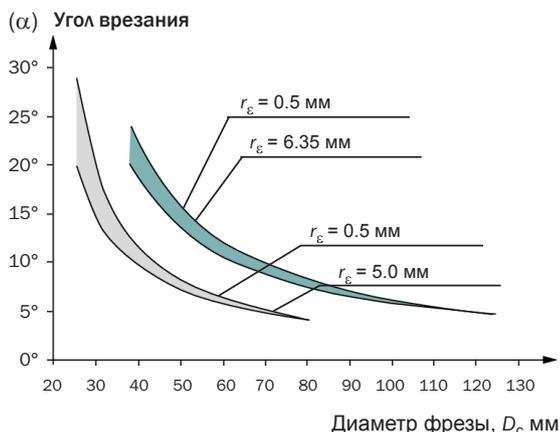


Производительное врезание под углом с максимальным углом врезания.

Радиус пластины оказывает влияние на максимальную величину угла врезания

Пример CoroMill® 790

Кривые диаграммы показаны для минимального и максимального радиуса. Для промежуточного значения необходима коррекция.



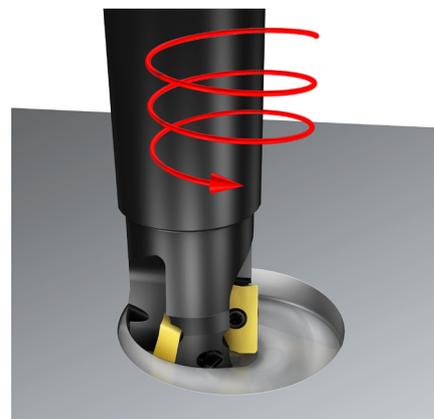
Винтовая интерполяция – обработка отверстий

Круговое врезание под углом (также называемое винтовой интерполяцией, спиральной интерполяцией, орбитальным сверлением, и т.п.) является альтернативой сверлению.

Одновременное перемещение инструмента по круговой траектории (координаты X и Y) вместе с осевой подачей по оси (Z) с определённым шагом.

По сравнению с линейным врезанием под углом (обработкой в полный паз), винтовая интерполяция за счет уменьшения радиальных усилий резания является более плавным процессом, и при попутном фрезеровании обеспечивается улучшенная эвакуация стружки.

Применение попутного фрезерования обеспечивается вращением шпинделя по направлению против часовой стрелки.



Точение

В

Отрезка и обработка канавок

С

Нарезание резьбы

D

Анализ процесса

Существует три основных рекомендации для стратегии кругового врезания под углом, несоблюдение которых может привести к возникновению затруднений:

1. Выбор диаметра фрезы под размер отверстия
2. Шаг за один оборот
3. Подача

Фрезерование

F

1. Выбор диаметра фрезы под диаметр отверстия

Сверление

F

Растачивание

G

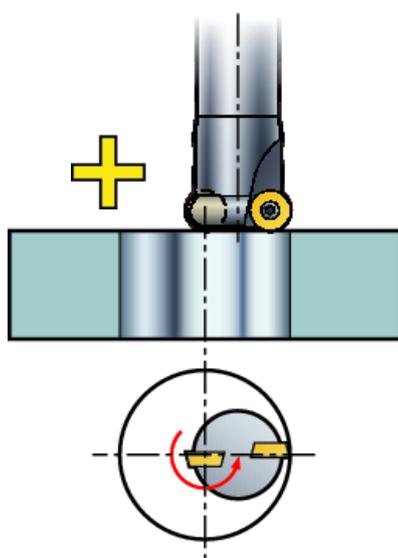
Инструментальная оснастка

H

Материалы

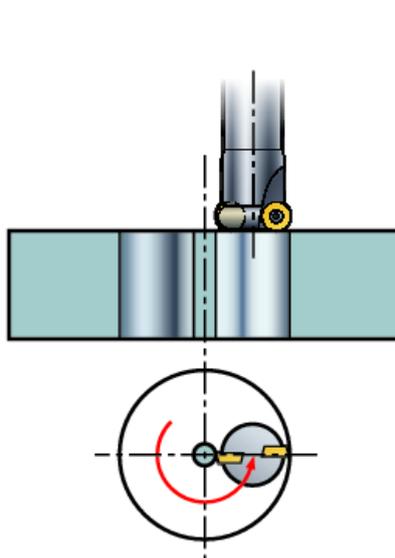
I

Информация/Указатель

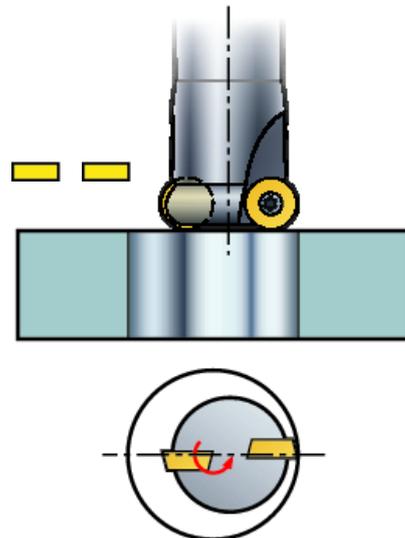


При использовании фрез с отсутствием возможности засверливания очень важен выбор корректного диаметра.

Диаметр должен обеспечивать резание металла пластиной в зоне центра обрабатываемого отверстия.



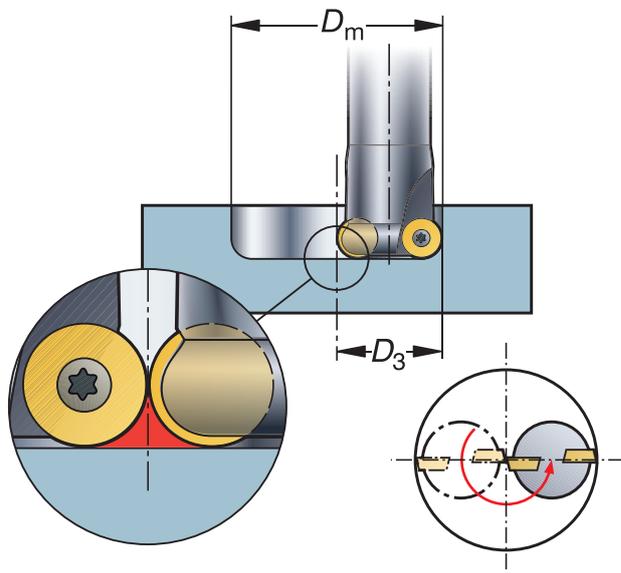
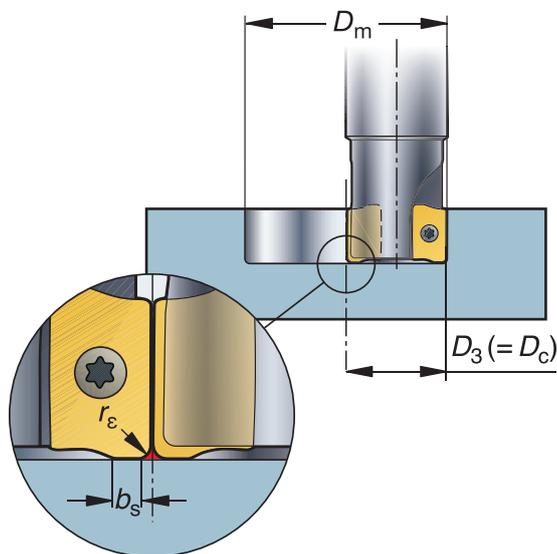
При выборе слишком малого диаметра фрезы в центре детали будет оставаться стержень как при трепанировании. Подобное приемлемо для обработки различного рода прорезей, однако существует необходимость поддержки стержня при выпадении.



При выборе слишком большого диаметра фрезы пластина не будет срезать металл в зоне центра отверстия, что приведёт к образованию бобышки на дне отверстия.

Максимальный диаметр отверстия

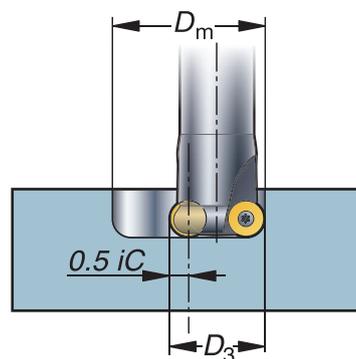
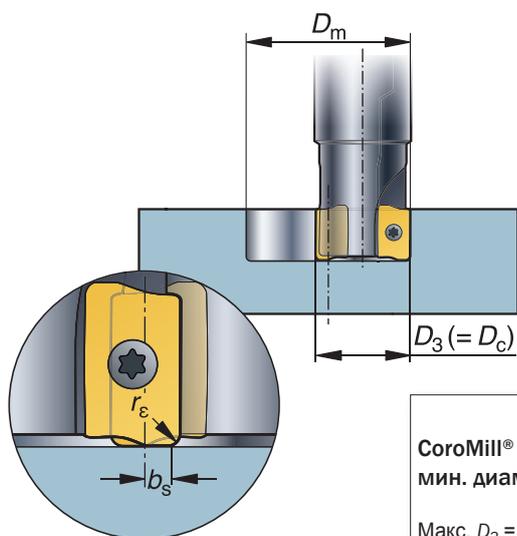
- Максимальный диаметр отверстия, D_m , получаемого за один спиральный проход, равен $2 \times D_3$.
- Такая обработка аналогична работе в полный паз и неизбежно оставляет бобышку на дне глухого отверстия.
- Бобышку рекомендуется убирать перемещением фрезы к центру отверстия для получения отверстия с плоским дном.



Мах. диаметр отверстия D_m
 $\max D_m = D_3 \times 2$
 $\min D_3 = \frac{D_m}{2}$

Минимальный диаметр отверстия с плоским дном

- Наличие или отсутствие бобышки на дне глухого отверстия зависит от корректного выбора радиуса при вершине пластины.
- При выборе слишком большого диаметра фрезы бобышку невозможно убрать перемещением фрезы к центру отверстия.
- Для фрезы CoroMill 390 также необходимо учитывать длину зачистной кромки Wiper b_s , и прибавлять ее значение к величине радиуса при вершине пластины.



CoroMill® 390 –
мин. диаметр отверстия D_m

$$\text{Макс. } D_3 = \frac{D_m}{2} + (r_\epsilon + b_s)$$

$$\text{Мин. } D_m = (D_3 - (r_\epsilon + b_s)) \times 2$$

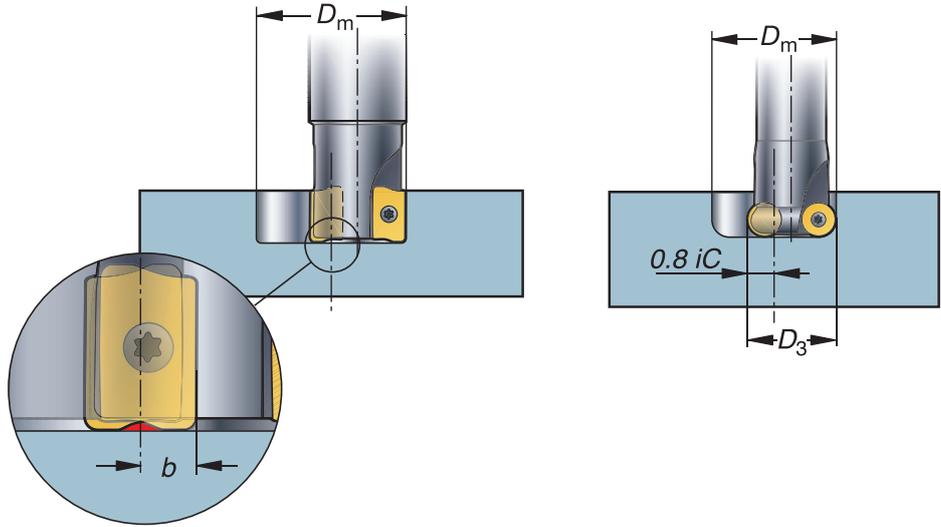
CoroMill® 300 –
мин. диаметр отверстия D_m

$$\text{Макс. } D_3 = \frac{D_m}{2} + 0.5 iC$$

$$\text{Мин. } D_m = (D_3 - 0.5 iC) \times 2$$

Минимальный диаметр сквозного отверстия

- Минимальный диаметр, позволяющий избежать повреждений корпуса фрезы вследствие резания периферийной частью инструмента.
- b максимальный шаг при плунжерном фрезеровании и одновременно максимальное перекрытие.
- Для круглых пластин, b рассчитывается как $b = 0.8 \times iC$.
- Бобышку удалить невозможно.



CoroMill® 390 –
мин. диаметр отверстия D_m

$$\text{макс. } D_3 = \frac{D_m}{2} + b$$

$$\text{мин. } D_m = (D_3 - b) \times 2$$

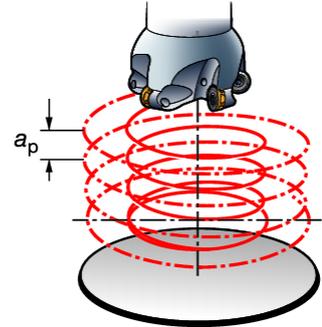
CoroMill® 300 –
мин. диаметр отверстия D_m

$$\text{Макс. } D_3 = \frac{D_m}{2} + 0.8 iC$$

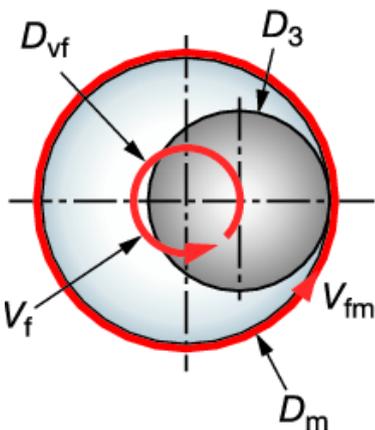
$$\text{Мин. } D_m = (D_3 - 0.8 iC) \times 2$$

2. Шаг

Шаг не должен превышать максимально рекомендуемого значения a_p для фрезы данного исполнения, и зависит от диаметра отверстия, диаметра фрезы и угла резания.



3. Подача



Значение подачи всегда зависит от: h_{ex} -значения пропорционального минутной подаче периферийной части инструмента, v_{fm} . Для многих станков задаётся параметр подачи центра инструмента, v_f , который соответственно должен рассчитываться:

$$f_z = h_{ex}$$

$$v_{fm} = n \times f_z \times Z_c$$

$$v_f = \frac{D_{vf}}{D_m} \times v_{fm}$$

D_{vf} = программируемый шаг фрезы

Программируемая скорость подачи:

v_{fm} = с компенсацией величины радиуса при использовании периферии инструмента

v_f = при использовании центра инструмента

Расфрезеровывание существующего отверстия

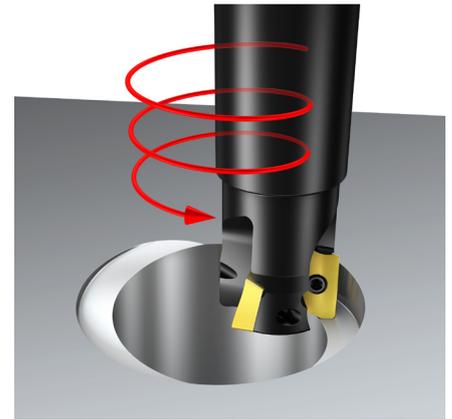
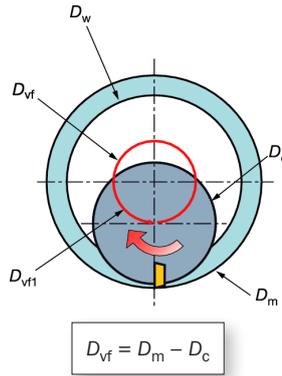
Увеличение существующего отверстия может осуществляться как круговой интерполяцией с врезанием под углом так и круговым расфрезеровыванием.

Винтовая интерполяция с врезанием по 3 осям

- Постоянное врезание.
- Нет входов и выходов.
- Фреза постоянно в резании.
- Фрезерование с врезанием – обработка торцевой частью пластины.

Первый выбор:

- Глубина отверстия больше максимального значения a_p для инструмента.
- Наилучшая соосность и круглость отверстия.
- Для областей применения с повышенным риском возникновения вибраций

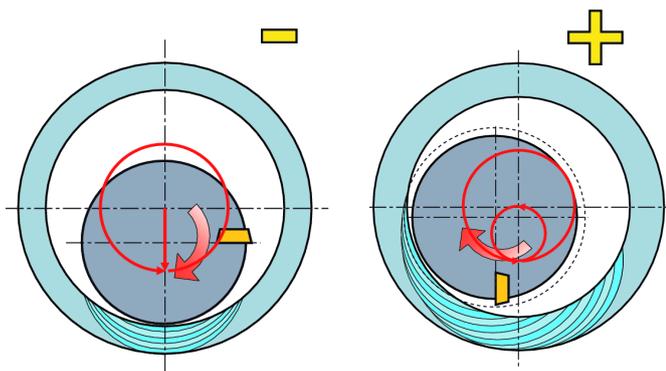
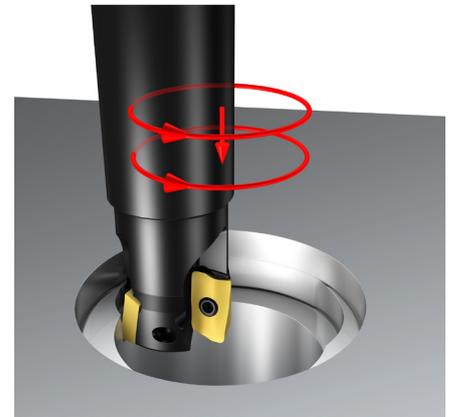
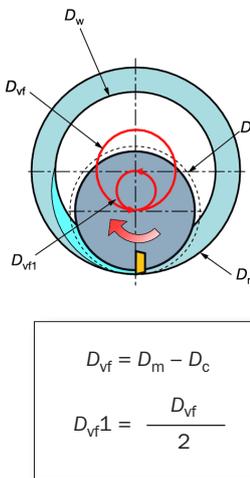


Круговая интерполяция с врезанием по 2 осям

- Постоянное Z.
- Вход и выход из резания для каждого прохода.
- Должен быть запрограммирован заход фрезы в материал заготовки по касательной к диаметру отверстия.
- Точность отверстия меньше, чем при винтовой интерполяции.
- Следы ("строчки") от каждого прохода.

Первый выбор:

- Программирование траектории перемещения инструмента более чем на 360 градусов для избежания возникновения следов от строчек.
- Требуется только один проход.
 - Фреза с большой величиной a_p (CoroMill Plus, длиннокоромочная фреза CoroMill 390).
 - неглубокое отверстие.
- Возможность применения для врезания под углом минимальна или отсутствует – пластина не имеет режущей кромки в осевом направлении.



Вхождение фрезы в обрабатываемый материал по касательной обеспечивает утончение стружки на выходе кромки из резания. Меньшее значение угла врезания обеспечивает снижение вибраций, что ведёт к повышению производительности.

Расчёт подачи

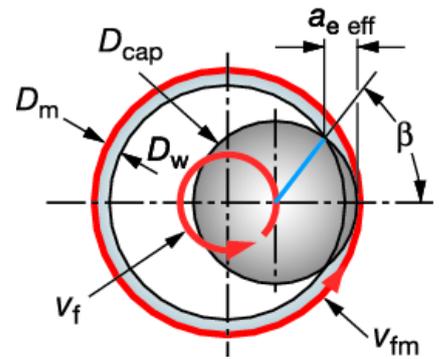
Подача должна быть снижена в случае:

- Увеличения a_e относительно резания по прямой, что снижает эффект утончения стружки.
- Подача периферийной части фрезы больше чем подача центра инструмента.
- Расчетное значение подачи базируется на величине D_{vf} .

$$f_z = \frac{h_{ex}}{\sin \beta}$$

$$v_{fm} = n \times f_z \times Z_c$$

$$v_f = \frac{D_{vf}}{D_m} \times v_{fm}$$

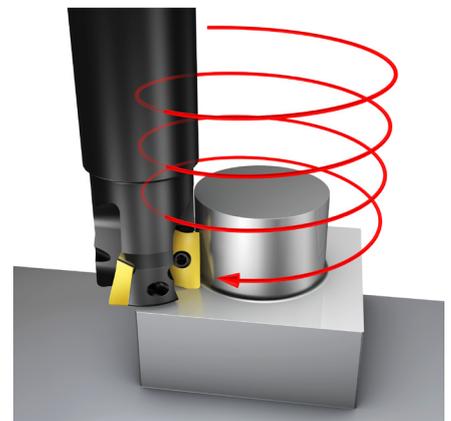


Наружная круговая/винтовая интерполяция

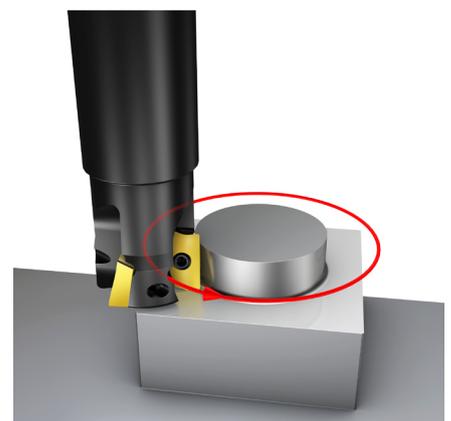
В сравнении с внутренней круговой/винтовой интерполяцией:

- Минутная подача центра фрезы, v_f , вместо снижения должна увеличиваться.
- Радиальная глубина резания, a_e , при наружном фрезеровании становится очень небольшой, при этом есть возможность повышения скорости резания.
- h_{ex} рассчитывается аналогично как для контурного фрезерования.
- Методика программирования очень схожа с методикой для внутреннего расфрезеровывания отверстий.

Для получения полной информации, расчетов и формул, см. раздел Информация/Указатель, глава I.



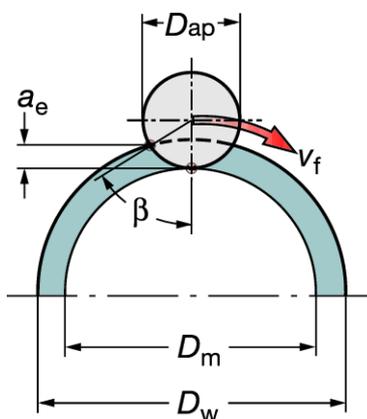
Наружная винтовая интерполяция с врезанием по 3-м осям.



Наружная круговая интерполяция с врезанием по 2-м осям.

$$v_f = \frac{v_{fm} \times (D_m + D_{cap})}{D_m}$$

$$a_{e \text{ eff}} = \frac{D_w - D_m}{2}$$



Вскрытие/расфрезеровывание выборки или кармана

Две основные стратегии обработки:

1. Круговая интерполяция с врезанием по 3 осям – небольшая a_p

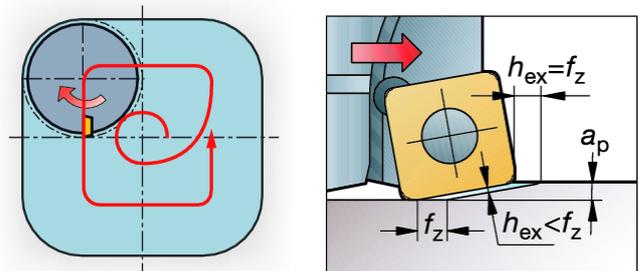
Рекомендуется использовать фрезу с небольшим углом в плане, CoroMill 210 или соответствующую CoroMill 316 или CoroMill Plura с геометрией оптимизированной для высоких подач. Ещё одной альтернативой являются круглые пластины. Для получения дополнительной информации, см. раздел "Фрезерование с высокой подачей", стр. D 60.

Технология фрезерования с высокой подачей обеспечивает большой объём удаляемого металла и является первым выбором для менее жесткого оборудования (например, ISO 40) и для обработки выборок со сложным профилем, таких как штампы и пресс-формы.

Примечание: следует избегать фрезерования вдоль вертикальной стенки, так как теряется эффект использования малого угла в плане и резко увеличивается глубина резания.

Параметры резания:

- Максимальный диаметр фрезы = 1.5 x радиус угла обрабатываемой выборки
- Винтовое врезание на глубину фрезерования – траектория перемещения против часовой стрелки
- Метод вкатывания в каждый следующий слой
- При расфрезеровывании выборки – максимальное значение $a_e = 70\% D_c$
- Глубина резания для фрез с круглыми пластинами $25\% iC$
- Радиус траектории перемещения инструмента в углу = D_c
- Снизить подачу в углу, см. страницу D 26.



Врезание под углом - траектория перемещения против часовой стрелки.

2. Круговое расфрезеровывание (врезание по двум осям) с большой a_p

Просверлить отверстие, затем выбрать коцевую фрезу для обработки уступов или длиннокрючочную фрезу. Типичная область применения - аэрокосмическая отрасль - фрезерование силовых элементов самолета из титана.

Практические рекомендации

Для обеспечения хорошей эвакуации стружки и предотвращения повторного её перерезания или смятия в отверстии:

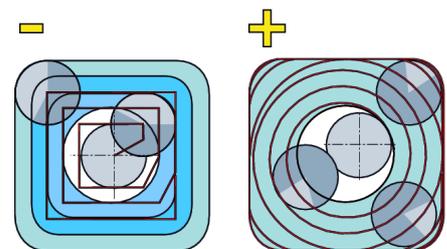
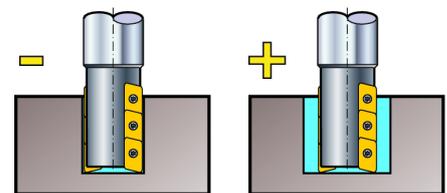
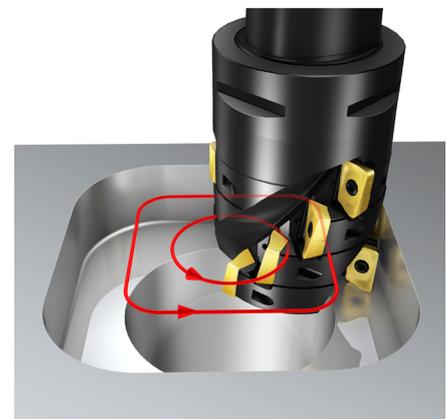
- Станок с горизонтальным расположением шпинделя (ISO 50) предпочтителен.
- Подача СОЖ под высоким давлением или сжатого воздуха через шпиндель.
- D_c не должен быть больше 75% диаметра отверстия. Рекомендуется использовать большую осевую глубину резания – максимальное значение $a_p = 2 \times D_c$.

Заход в отверстие рекомендуется осуществлять по спиральной траектории:

- Контролировать ширину фрезерования, максимальное $a_e = 30\% D_c$.

Контроль величины радиального припуска, минимизация вибраций в углах и повышение производительности:

- При программировании траектории движения используйте максимально возможный радиус в углу и применяйте спиральную траекторию перемещения фрезы.
- Используйте максимально возможный диаметр фрезы (D_c); доработку в углу следует вести инструментом меньшего диаметра, не превышающим 1,5 x радиус в углу.



Программирование с малым радиусом.

Программирование спиральных проходов.

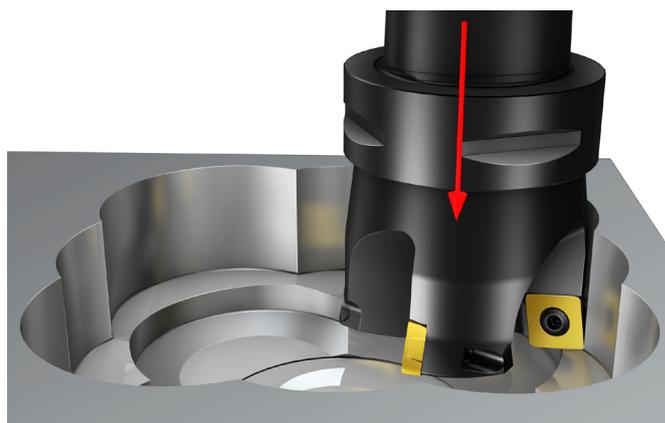
Плунжерное фрезерование

При плунжерном фрезеровании обработка осуществляется не периферийной, а торцевой частью инструмента, при этом преобладают преимущественно осевые, а не радиальные усилия резания. Плунжерное фрезерование применяется, когда традиционные методы не возможны из-за чрезмерных вибраций. Например:

- При вылете инструмента больше чем $4 \times D_c$
- При нежесткой системе
- Для полустойковой обработки в углах
- Для труднообрабатываемых материалов, таких как титан.

Данный метод также является альтернативой при ограниченной мощности и крутящему моменту.

Примечание: плунжерное фрезерование не является первым выбором для стабильных условий обработки вследствие меньшей производительности.



Выбор инструмента

Выбор фрезы определяется в зависимости от диаметра. Фрезы CoroMill 210 и плунжерная фреза Coromant R215 предназначены для плунжерного фрезерования.

Плунжерное сверление

Наиболее эффективно применять метод плунжерного сверления для сверл диаметром не более $D_c = 35$ мм, смотри Сверление, глава E.

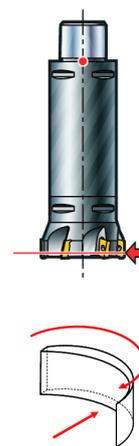
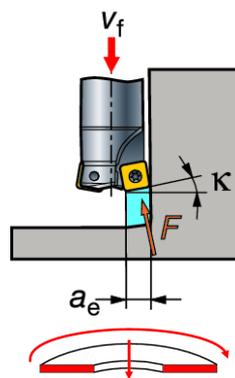
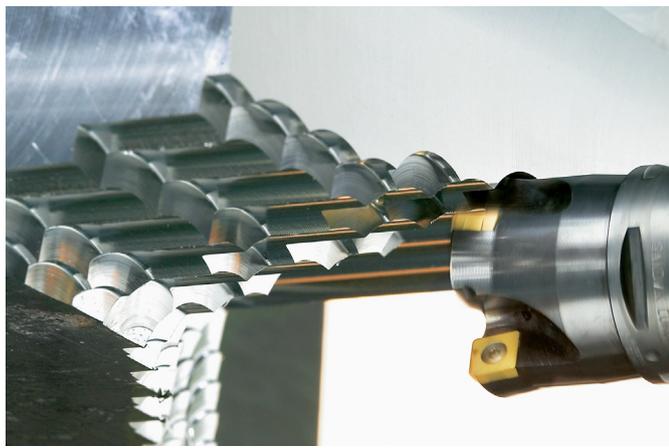
Концепция инструмента	Применение	Размер пластины (мм)	Подача на зуб (мм) f_z	Максимальное перекрытие b	Диаметр фрезы (мм) D_c
 CoroMill® 210	Первый выбор для черного фрезерования с большим вылетом	09	0.1	8	25 – 66
		14	0.15	13	52 – 160
 Плунжерная фреза Coromant R215	Тяжелая обработка – большой диаметр и вылет	25	0.15	22	80 – 160
 CoroMill® Plura	Небольшие радиуса в углах	–	0.05	100% D_c	1 – 25
 CoroMill® 316	Небольшие радиуса в углах	–	0.05	100% D_c	10 – 25
 CoroMill® 390		11	0.15	5.5	12 – 80
		17		8.5	25 – 125
 CoroMill® 490		08	0.15	2 мм	20 – 125
 CoroMill® 300	Фрезерование пазов в труднообрабатываемых материалах	5 ~ 20	0.15	80% i_c	10 – 200

Практические рекомендации

Процесс резания

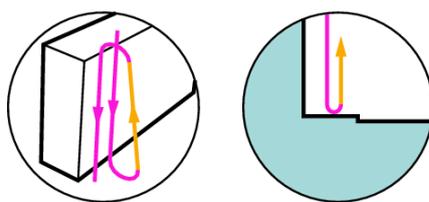
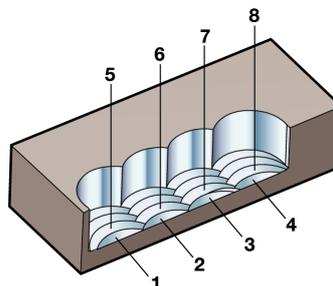
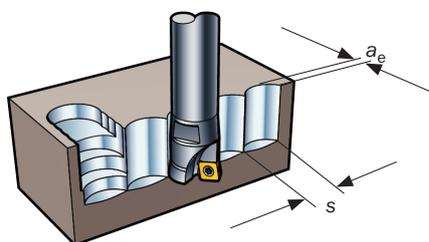
Плунжерное фрезерование значительно отличается от традиционных методов. Суть метода заключается в использовании не периферийной части инструмента, а его конца, что кардинально перераспределяет направления усилий резания с радиальных на осевые. Данный метод можно сравнить с растачиванием при прерывистом резании.

Снижается уровень потребляемой мощности и шума.



Плунжерное фрезерование = прерывистая расточка. Осевые усилия резания.

Типовое фрезерование. Большая доля радиальных усилий.



— = подача стола
— = ускоренная подача

Избегайте повторного резания на обратном ходу и постепенно уменьшайте глубину врезания.

Основные рекомендации

- Горизонтальное положение шпинделя станка облегчает эвакуацию стружки.
- Рекомендуется начинать обработку от дна с постепенным подъёмом.
- Используйте СОЖ или сжатый воздух для улучшения эвакуации стружки.
- По сравнению с типовыми методами фрезерования, значение подачи на зуб для плунжерного фрезерования меньше.
- Убедитесь, что в процессе резания участвует более чем один зуб.
- Используйте фрезы со сверхмелким шагом зубьев.
- Используйте максимальную величину a_e – в зависимости от размера пластины.
- Рекомендуемое значение шага $s = 0.75 \times D_c$ для перемещения в сторону.
- Постепенное уменьшение глубины врезания для минимизации вибраций.
- Рекомендуется использовать функцию "отвода" для предотвращения повторного резания на обратном ходу. Отводите фрезу на 1 мм от стенки в конце рабочего прохода.

Примечание: цикл аналогичный процессу сверления не рекомендуется, вследствие риска возникновения нежелательных вибраций при повторном резании на обратном ходу.

- Всегда стремитесь оставить постоянный припуск под последующую финишную операцию.

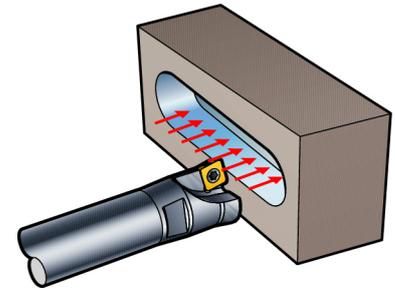
$$P_c = \frac{D_3 \times a_e \times v_f \times k_c}{60 \times 10^6}$$

$$P_c = \frac{s \times a_e \times v_f \times k_c}{60 \times 10^6}$$

Расчёт потребляемой мощности.

Пазы

- Плунжерное фрезерование - один из эффективных методов обработки глубоких закрытых пазов.
- Эвакуация стружки для подобной обработки - крайне важный процесс. Станок с горизонтальным расположением шпинделя, применение СОЖ или сжатого воздуха помогают в решении трудностей с эвакуацией стружки.
- Для глубоких и узких пазов рекомендуется операция сверления, как обеспечивающая наилучшую эвакуацию стружки и высокое значение перекрытия, см. главу Е.



Выборки/карманы

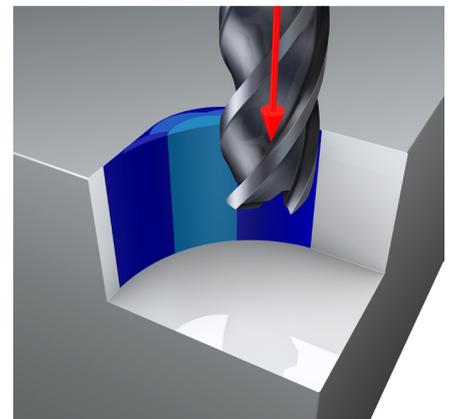
- Как и для обработки закрытых пазов крайне важна эвакуация стружки.
- Предпочтительна горизонтальная обработка, применение СОЖ или сжатого воздуха.
- Рекомендуется сверление предварительного отверстия как можно большего диаметра от $1.5 \times D_c$ для улучшения эвакуации стружки.
- Рекомендуется снижение подачи при двух первых проходах.
- Отводите фрезу в конце рабочего хода и избегайте обработки в полный паз.



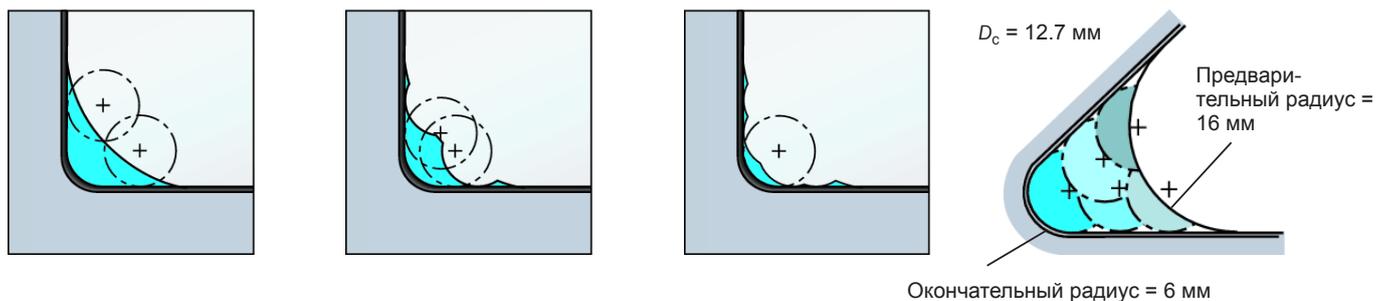
Обработка углов

Плунжерное фрезерование очень эффективно при доработке углов после черновой обработки кармана.

Для данной операции подходят фрезы CoroMill Plura, CoroMill 390 или плунжерное сверло Coromant U (см. Сверление, глава Е). Сверло позволяет работать с перекрытием до 75% от диаметра, что актуально при обработке в острых углах.



Обработка углов

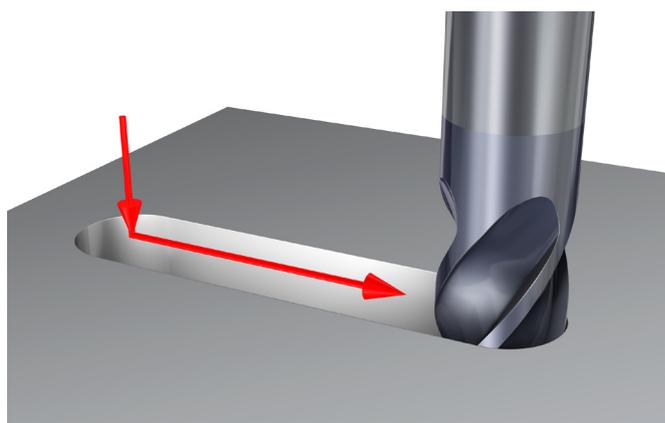


Фрезерование с засверливанием

Фрезерование засверливанием является альтернативой фрезерованию с врезанием под углом для обработки выборки в цельном материале.

Данный метод предъявляет высокие требования к мощности шпинделя. В процессе обработки образуется сливная стружка и возникают нежелательные нагрузки на фрезу от повышенных усилий резания. Рекомендуется для следующих операций:

- обработка на станках без возможности врезаться под углом
- обработка коротких закрытых пазов.



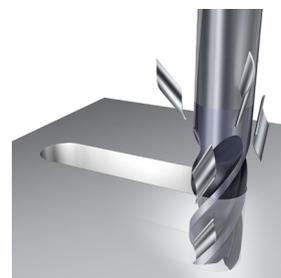
Выбор инструмента

	CoroMill® Plura	CoroMill® 316	CoroMill® 390	CoroMill® 790
				
Макс. глубина сверления	0.9 x D _c	0.55 x D _c	11: 1.0 мм 17: 1.5 мм	16: 1.1 мм 22: 1.2 мм
Диаметр фрезы (D _c), мм	2 – 25	10 – 25	12 – 40	25 – 100
Резание центром инструмента (сверление)	Да	Да	Нет	Нет
Обрабатываемый материал				

Практические рекомендации

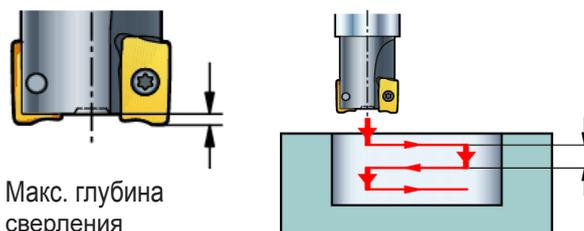
Фрезерование засверливанием - фрезы с возможностью сверления (концевые фрезы)

Глубина сверления для фрез с возможностью сверления ограничивается длиной стружечной канавки, а также возможностью эвакуации стружки. Для более глубоких пазов рекомендуется цикл обработки с выводом инструмента. Подача при сверлении фрезой выбирается из расчета приблизительно 50% от подачи рекомендуемой при фрезеровании.



Фрезы с отсутствием режущей кромки у центра

CoroMill 390 и 790 являются фрезами с отсутствием режущей кромки у центра, которые могут быть использованы для операции фрезерования засверливанием. Обратите внимание что глубина засверливания ограничена крайне небольшим значением. Используйте фрезы с крупным шагом зубьев для увеличения пространства под эвакуацию стружки.



Фрезерование с малой шириной контакта

Данные методы обработки были разработаны для чернового и полужернового фрезерования труднообрабатываемых материалов, таких как закалённые стали (ISO H) и жаропрочные сплавы (ISO S), но могут использоваться и при обработке других материалов, в особенности при работе с повышенным риском возникновения вибраций.

Суть метода заключается в небольшом значении ширины резания, a_e , которое:

- Не ведет к созданию высоких радиальных усилий резания, что оказывает положительное влияние на стабильность процесса и позволяет увеличить глубину резания, a_p .
- Означает, что в резании находится только один зуб, что минимизирует тенденцию к возникновению вибраций.
- Уменьшает температуру в зоне резания вследствие небольшого периода контакта, что позволяет повысить скорость резания.
- Позволяет добиваться малой толщины стружки, h_{ex} , при высокой подаче на зуб, f_z .

Подразделяется на:

- трохоидальное фрезерование, используемое в основном для обработки пазов.
- фрезерование с малой шириной контакта, используемое для полужесткой обработки в углах.

Оба данных метода фрезерования с малой шириной контакта заслуженно считаются очень надежными и производительными.

Выбор инструмента

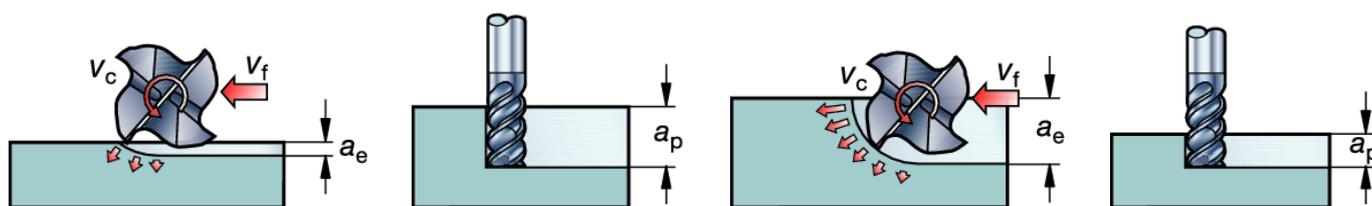


	CoroMill® Plura	CoroMill® 316	CoroMill® 490	CoroMill® 390	Длиннокромочные фрезы CoroMill® 390	Длиннокромочные фрезы CoroMill® 690
Максимальная глубина резания (a_p), мм	7.0 – 54.0	5.5 – 13.0	5.5	15.7	71.0	112.0
Диаметр фрезы (D_c), мм	2 – 25	10 – 25	20 – 66	12 – 40	32 – 200	50 – 100
Обрабатываемый материал						

Комментарии:

- Наиболее часто применяемый инструмент для фрезерования с малой шириной контакта - концевая фреза CoroMill Plura.
- При меньшей глубине возможно также использование фрез CoroMill 316, CoroMill 490 или CoroMill 390.
- Метод фрезерования с малой шириной контакта может применяться и при работе длиннокромочными фрезами при сочетании небольшой ширины резания a_e с большой глубиной a_p .

Практические рекомендации



Фрезерование с малой шириной контакта характеризуется высокой скоростью резания, v_c , большей осевой глубиной резания, a_p , но крайне малой шириной резания, a_e , и невысокой подачей на зуб, f_z . Для процесса являются определяющими

Факторы	Эффект	Преимущества
<ul style="list-style-type: none"> Небольшая толщина стружки Небольшая длина прохода 	<ul style="list-style-type: none"> Снижение усилий резания/отжима инструмента Снижение температуры в зоне резания 	<ul style="list-style-type: none"> Увеличение глубины резания Повышение скорости резания

Трохоидальное фрезерование

Область применения

Первый выбор для обработки при повышенном риске возникновения вибраций; применяется для чернового фрезерования комбинированных выборок, карманов и пазов.

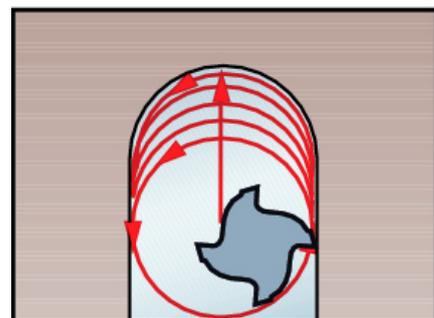
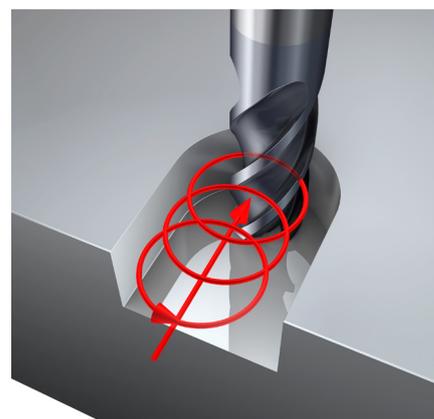
Определение

Трохоидальное фрезерование может быть охарактеризовано как круговое фрезерование с одновременным линейным перемещением. Фреза снимает повторяемые "слои" материала за счет последовательных спиральных проходов в радиальном направлении.

Этот метод предъявляет повышенные требования к программированию и возможностям станка.

Инструмент входит и выходит из резания по круговой траектории с небольшим радиальным шагом, w . При этом:

- Контролируемая величина осевого контакта инструмента ведет к уменьшению усилий резания и позволяет повысить глубину резания.
- Используется вся длина режущей кромки, что позволяет равномерно распределить температуру и износ и ведёт к повышению стойкости в сравнении с традиционным фрезерованием.
- Вследствие малой ширины контакта возможно применение инструмента с большим количеством режущих кромок, позволяющего увеличить подачу без риска уменьшения стойкости.
- Максимальная ширина фрезерования, a_e , не должна превышать 20% от диаметра фрезы.



$$a_p \leq 2 \times D_c$$

a_e = небольшая

v_f = высокая

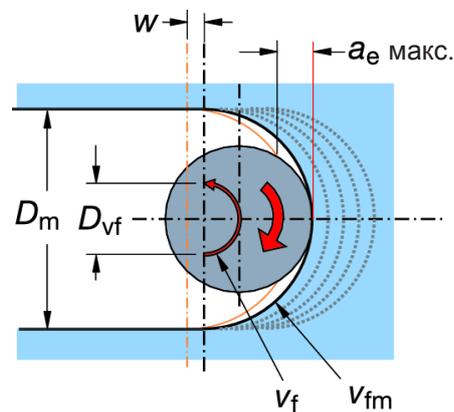
v_c = до 10 раз выше, чем при традиционных методах обработки

Для паза шириной менее $2 \times D_c$

Программируется один непрерывный спиральный проход в радиальном направлении для формирования профиля или паза. При этом значение подачи является постоянной величиной, а радиальная глубина резания - переменной. Время, которое инструмент находится вне резания, равно 50% от общего времени цикла.

Рекомендации

- 1) Радиальная глубина резания постоянно меняется и при наибольшем погружении инструмента является даже большей, чем программируемый шаг перемещения, w .
- 2) Большое значение имеют диаметр фрезы, который не должен составлять менее 70% ширины паза, и шаг перемещения в радиальном направлении, w , меньше или равный 10% от D_c .
- 3) При постоянной подаче на зуб, подача центра инструмента, v_f , отличается от подачи периферийной части инструмента, v_{fm} . Если в программе базовым значением задается подача центра инструмента, то подачу периферийной части необходимо определить путём расчёта.



Параметры резания

- Максимальный диаметр фрезы $D_c = 70\%$ ширины паза
- Шаг $w = \text{макс. } 10\% D_c$
- Максимальная ширина $a_e = 20\% D_c$
- Осевая глубина резания $a_p = \text{до } 2 \times D_c$
- Начальное значение подачи на зуб $f_z = 0.1 \text{ мм}$

Расчётное значение подачи v_f

$$v_{fm} = n \times f_z \times z_n$$

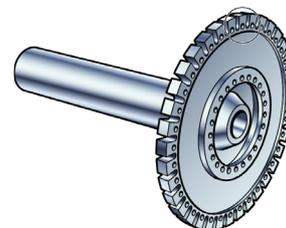
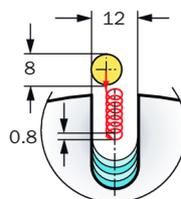
$$D_{vf} = D_m - D_c$$

$$v_f = \frac{D_{vf}}{D_m} \times v_{fm}$$

Практические примеры использования трохоидального фрезерования

1 – узкая канавка – Inconel 718 (44HRC)

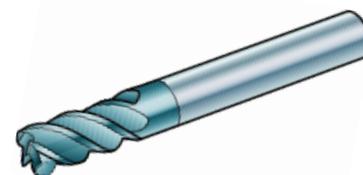
Количество пазов/деталей	24
Ширина	12 мм
Длина	25 мм
Глубина	16 мм
Стойкость	10 пазов
Минут на паз	1'35"



Инструмент – R216.24-08050-EAK 19P 1620

Глубина резания	a_p	16 мм	Диаметр траектории центра инструмента.	D_{vf}	4 мм
Диаметр фрезы	D_c	8 мм	Шаг	w	0.67 мм
Количество зубов	z_n	4	Подача на зуб	f_z	0.09 мм
Скорость резания	v_c	75 м/мин	Скорость подачи периферийной части инструмента	v_{fm}	1074 мм/мин
Частота вращения	n	2984 об/мин	Скорость подачи центра инструмента	v_f	349 мм/мин

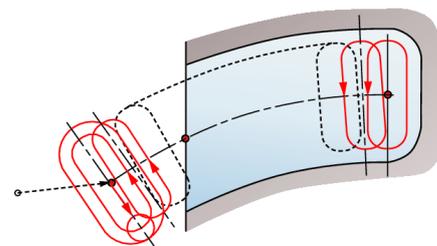
По сравнению со стандартной обработкой пазов и плунжерным фрезерованием, трохоидальный метод обеспечивает большую стабильность процесса, стойкость и снижение затрат на инструмент. Поэтому фреза диаметром 8 мм была заменена на фрезу диаметром 12 мм.



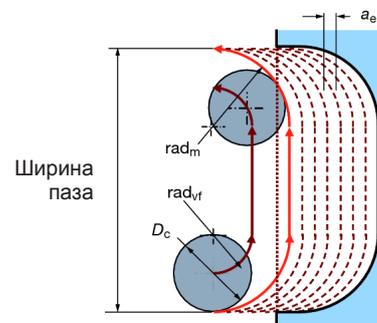
Для пазов шире $2 \times D_c$

Спиральный проход, аналогичный обработке узких пазов, при которой 50% времени затрачивается на вывод инструмента из резания, может быть оптимизирован за счёт увеличения ширины прохода:

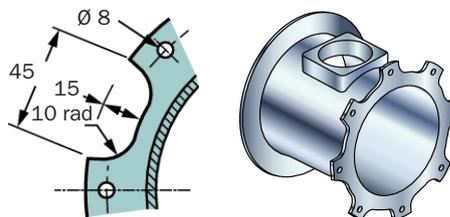
1. Вход в резание – программируемый радиус (rad_m) = 50% от D_c .
2. G1 с $a_e = 0.1 \times D_c$.
3. Выход из резания – программируемый радиус (rad_m) = 50% от D_c .
4. Быстрое перемещение в начальные координаты для старта следующего прохода.
5. Повтор цикла.

**Параметры резания**

- Радиальная глубина
 - CoroMill Plura $a_e = 10\% D_c$
 - CoroMill 390/490 $a_e = 20\% D_c$
- Осевая глубина резания $a_p = \text{до } 2 \times D_c$
- Начальное значение подачи на зуб $f_z = 0.1 \text{ мм}$
- Подача в углу $rad_{fv} = 0.5 \times G1$

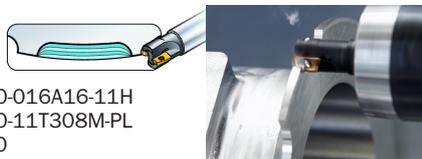
**2 – Широкий паз – Фрезерование волнообразного профиля на фланцах**

Количество пазов/деталей	8
Ширина	45 мм
Глубина	16 мм
Толщина	4 мм



Инструмент 1 – CoroMill 390 – Ø 16 мм

R390-016A16-11H
R390-11T308M-PL
1030



Инструмент 2 – CoroMill Plura – Ø 12 мм

R216.24-12050AK26P
1620



а) Нержавеющая сталь – 316

Инструмент	Диаметр, D_c мм	z_n	v_c м/мин	n об/мин	f_z мм	v_f мм/мин	a_p мм	a_e мм	Q см³/мин	Время
CoroMill 390	16	2	200	3978	0.15	1194	5	2	11.9	0'25''
CoroMill Plura	12	4	170	4509	0.06	1082	5	1	5.4	1'00''



б) Жаропрочный сплав – Inconel 718 (44 HRC)

Инструмент	Диаметр, D_c мм	z_n	v_c м/мин	n об/мин	f_z мм	v_f мм/мин	a_p мм	a_e мм	Q см³/мин	Время
CoroMill 390	16	2	30	597	0.10	119	5	2	1.2	2'45''
CoroMill Plura	12	4	75	1989	0.08	637	5	1	3.2	1'15''

**CoroMill® 390 против CoroMill® Plura**

- Фреза CoroMill 390 способна обрабатывать нержавеющую сталь на 140% быстрее чем CoroMill Plura. При обработке нержавеющей сталей CoroMill 390 исключает возможность пакетирования стружки в канавках, что позволяет для быстрого радиального прохода шириной a_e , увеличить значение подачи на зуб, f_z , по сравнению с CoroMill Plura.
- Обработка жаропрочных сплавов – CoroMill Plura на 120% быстрее в сравнении с CoroMill 390. Для более прочного сплава стабильность обработки была обеспечена за счет применения фрезы CoroMill Plura с большим количеством зубьев и углом подъема винтовой канавки.

Фрезерование с малой шириной контакта – обработка в углах

Область применения

Фрезерование с малой шириной контакта - это полуставовая операция используемая для снятия припуска в углах, который невозможно снять инструментом большего диаметра, примененного для предварительной обработки.

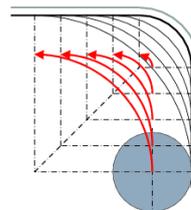
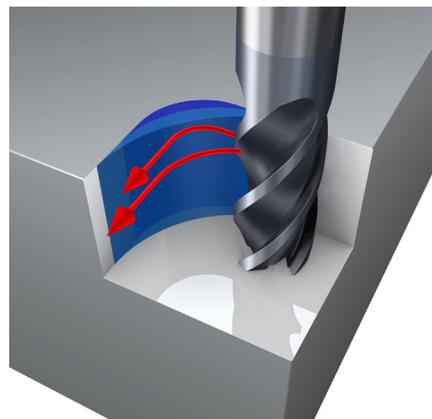
Определение

В отличие от трохойдального фрезерования не требуется входа в резание по касательной, так как процесс резания начинается с нулевого значения припуска, которое в середине резания достигает максимума и затем вновь уменьшается вплоть до нуля. Многопроходная стратегия успешно применяется для эффективного съёма металла, обеспечивает постоянно малое значение радиального заглубления/угла в плане и низкие усилия резания.

Рекомендации:

Уменьшение подачи в углах:

- Так же как и при контурной обработке радиуса значение подачи центра инструмента, v_f должно быть уменьшено по сравнению с подачей периферийной части инструмента, v_{fm} , для обеспечения постоянной величины подачи на зуб.
- В отличие от линейного резания при высокой подаче глубина резания может превысить допустимое значение. Это зависит от диаметра круговой траектории перемещения фрезы по отношению к радиусу угла.
- Тем не менее разница между диаметром круговой траектории перемещения фрезы, D_{vf} , и диаметром отверстия, D_m , по мере приближения к окончательному размеру угла постоянно увеличивается. Это означает, что для каждого прохода необходимо последовательно уменьшать подачу.
- Процесс становится менее стабильным, возникают вибрации.
- Для успешного применения метода обработки в углах необходим станок с хорошей динамической стабильностью и функцией контроля за снижением подачи центра инструмента.

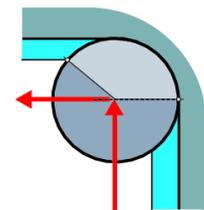


Фрезерование с малой шириной контакта

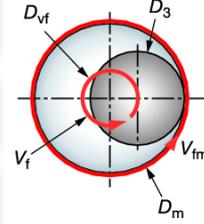
$$v_{fm} = n \times f_z \times z_n$$

$$D_{vf} = D_m - D_c$$

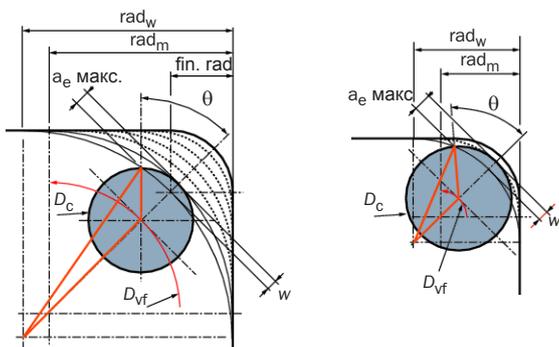
$$v_f = \frac{D_{vf}}{D_m} \times v_{fm}$$



Встречное фрезерование

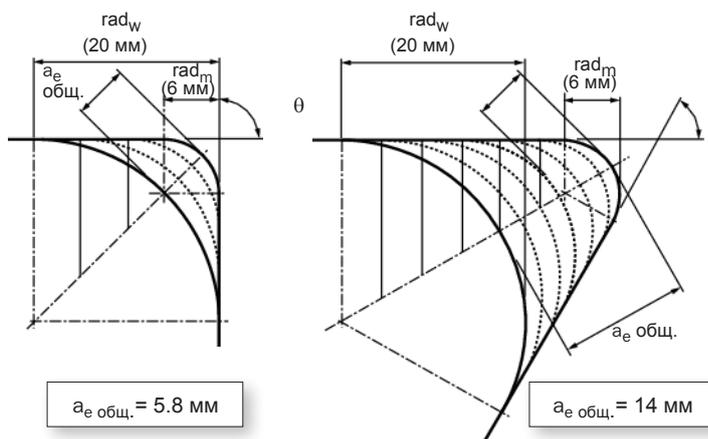


D_{vf} и v_f постоянно уменьшается для каждого прохода



w = шаг
 rad_m = окончательный радиус профиля
 rad_w = начальный радиус профиля

Величина угла



Параметры резания

Типичные значения для фрезы CoroMill Plura R216.24-xxx50-xxK xxP

- Максимальный диаметр фрезы $D_c = 1.75 \times rad_m$
- Радиальное перекрытие $w = 10\% D_c$
- Осевая глубина резания $a_p = \text{до } 2 \times D_c$
- Начальное значение подачи на зуб $f_z = 0.1 \text{ мм}$
- Скорость резания – приблизительно в 3-6 раз выше обычных рекомендаций.

Для одинаковых начального и конечного радиусов количество проходов варьируется в зависимости от величины угла. Для обработки в углах величиной 60° хорошим решением является плунжерное фрезерование с использованием фрезы CoroMill 390 или плунжерного сверла, см страницу D 118.

А Точение
 В Отрезка и обработка канавок
 С Нарезание резьбы
 D Фрезерование
 E Сверление
 F Растачивание
 G Инструментальная оснастка
 H Материалы
 I Информация/Указатель

Закрытые карманы/углы

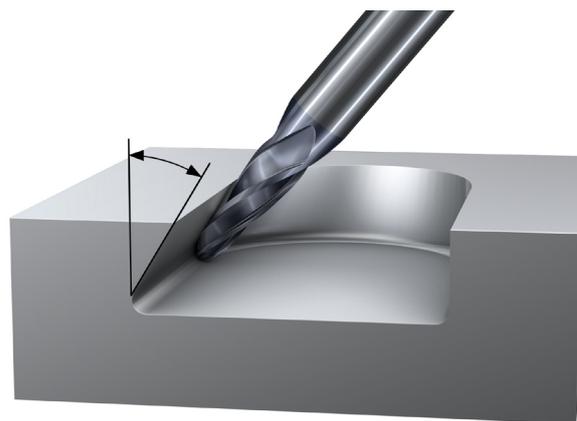
Острые углы, величина которых менее 90 градусов наиболее часто встречаются при обработке карманов и выборок. Для обработки острых углов применяются 4-х и 5-ти осевые обрабатывающие центры.

4-х осевые:

Если одна сторона кармана оканчивается острым углом с плоским дном.

5-ти осевые:

Если обе стороны карманы оканчиваются острым углом или вершина угла имеет радиусный профиль.



Выбор инструмента

	CoroMill® Plura
Максимальная глубина резания (a_p), мм	10.0 – 45.0
Диаметр фрезы (D_c), мм	3.8 – 15.18
Обрабатываемый материал	

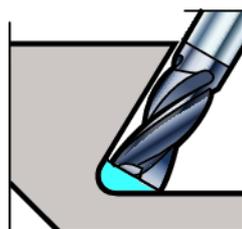


Типичным примером фрезерования закрытых углов является обработка импеллеров.

Практические рекомендации

Рекомендации по обработке

1. До начала обработки радиуса рекомендуется предварительная обработка стенок концевой фрезой для улучшения стабильности.
2. Радиус обрабатывается фрезой со сферическим концом.



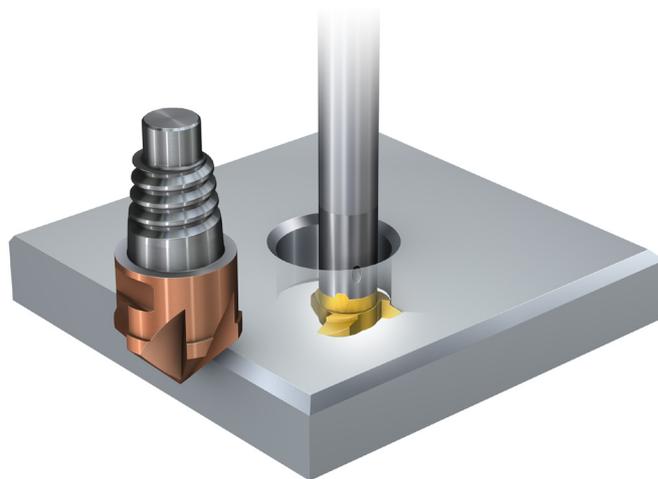
Для достижения наибольшей стабильности при обработке периферийных стенок рекомендуется использовать концевую фрезу с плоским торцом.



Для финишной обработки радиуса рекомендуется использование конической фрезы со сферическим концом.

Фрезерование фасок

Достаточно частыми операциями при обработке детали являются обработка фасок, V-образные прорези, поднутрение, снятие фасок под сварку и удаление заусенца. В зависимости от типа станка и программы эти операции могут осуществляться различными способами. Для данных операций могут применяться небольшие торцевые, длиннокрюмочные, концевые и специальные фасочные фрезы.



Выбор инструмента

Специализированные фасочные фрезы

	CoroMill® Plura	CoroMill® 316	CoroTurn® XS	CoroMill® 327	CoroMill® 328	U-Max
Угол в плане (градусы)	30, 45, 60	15, 30, 45, 60	30	45, 60	60	45, 60
Макс. длина фаски	7.4	6.5	0.6	1.7	1.8	7.9
Мин. диаметр отверстия для обработки обратной фаски (мм)	–	–	6	12	40	27
Обрабатываемый материал						

Фрезы первого выбора для обработки фасок

Для 4-х и 5-осевых станков, имеющих возможность взаимного вращения и заготовки, и шпинделя для обработки фасок и снятия заусенцев можно использовать следующий ряд инструментов:

- концевые фрезы с углом в плане 90 градусов, такие как CoroMill Plura, CoroMill 316, фрезы CoroMill 390, CoroMill 490, CoroMill 790
- торцевые фрезы с углом в плане 45 градусов, такие как CoroMill и and CoroMill 345
- для снятия больших фасок могут использоваться длиннокрюмочные фрезы.



Практические рекомендации

Режимы резания

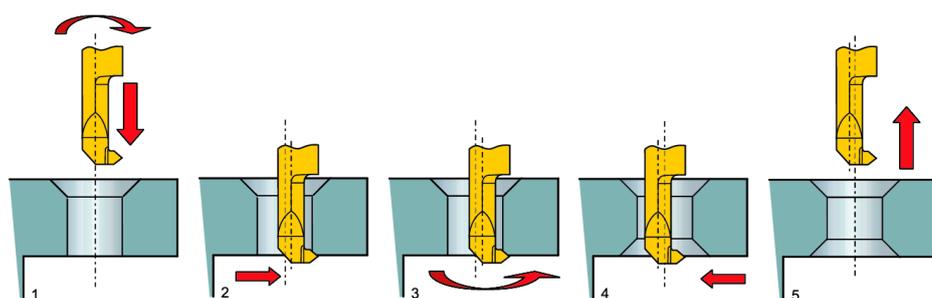
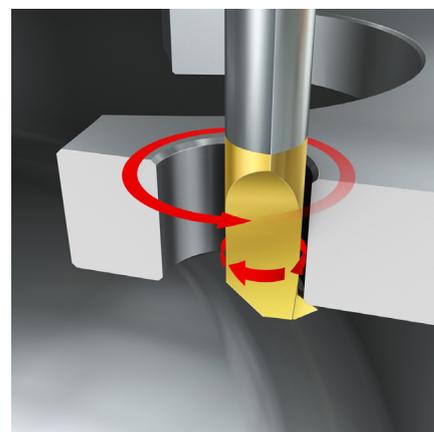
В большинстве случаев глубина резания, a_p , и ширина резания, a_e , намного меньше диаметра фрезы. Следствием этого является высокое рекомендуемое значение скорости резания. Подача на зуб, f_z , также значительно увеличивается, см. страницу D21. На величину подачи f_z накладывает ограничение только требуемое значение шероховатости обработки.



Обработка фаски в отверстии

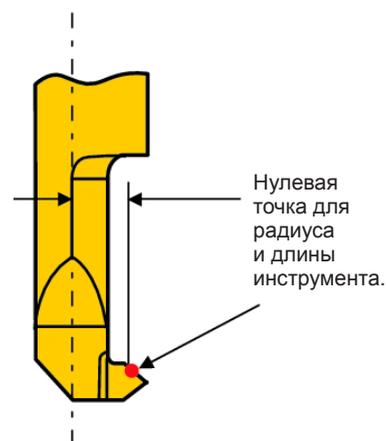
Использование фрез CoroMill 327, CoroMill 328 и вставок CoroTurn XS позволяет обработать фаску в отверстии и нарезать резьбу одним и тем же инструментом.

В данном случае используется цикл перемещения фрезы по кругу с врезанием, см. последовательность программирования ниже.



1. Выставить вращающуюся фрезу по оси просверленного отверстия и переместить по оси на глубину выступа (Z = высота выступа – размер фаски).
2. Осуществить врезания с учетом компенсации размера радиуса (Y = радиус отверстия).

3. Обработка по круговой интерполяции 360°
4. Перемещение фрезы в ось отверстия
5. Вывод фрезы из отверстия

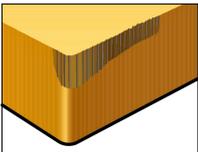
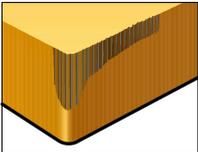
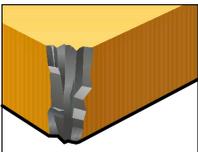
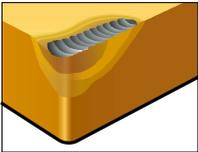
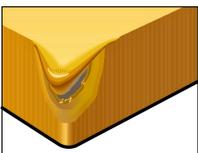


Примечание: для настройки величины фаски необходимо изменить координату Z (не рекомендуется изменять диаметр, т.к. это может привести к затиранию отверстия).

Устранение проблем

Износ инструмента

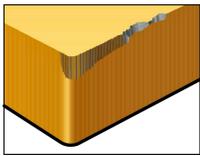
Осмотреть пластину, проанализировать характер износа и оптимизировать режимы резания в зависимости от сделанного вывода.

Причина	Решение
<p>Износ по задней поверхности</p>  <p>Интенсивный износ ведущий к ухудшению шероховатости обрабатываемой поверхности и потере размерной стойкости.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Слишком высокая скорость резания • Неудовлетворительная износостойкость • Значение подачи, f_z, недостаточно большое 	<ul style="list-style-type: none"> • Уменьшить скорость резания, v_c • Выбрать более износостойкий сплав • Увеличить подачу, f_z
<p>Чрезмерный износ, ведущий к уменьшению стойкости инструмента</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Вибрация • Повторное перерезание стружки • Образование заусенца на детали • Низкое значение шероховатости обработки • Высокие температуры • Повышенный уровень шума 	<ul style="list-style-type: none"> • Увеличить подачу, f_z • Попутное фрезерование • Эффективная эвакуация стружки с помощью сжатого воздуха • Проверить соответствие режимов резания рекомендациям
<p>Неравномерный износ, ведущий к сколу.</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Инструмент изношен • Вибрация • Низкая стойкость • Низкое значение шероховатости обработки • Высокий уровень шума • Слишком высокие радиальные усилия резания 	<ul style="list-style-type: none"> • Уменьшить биение до 0.02 мм • Проверить патрон и цангу • Минимизировать вылет фрезы • Уменьшить количество зубьев в резании • Большой диаметр инструмента • Для фрез CoroMill Plura и CoroMill 316 выбрать больший угол подъёма винтовой канавки ($g_p \geq 45^\circ$) • Разбить осевую глубину резания, ар, на несколько проходов • Уменьшить подачу, f_z • Уменьшить скорость резания, v_c • HSM требует проходов небольшой глубины • Увеличить жесткость крепления инструмента и заготовки
<p>Лункообразование</p>  <p>Интенсивный износ ведёт к ослаблению режущей кромки. Возникновение сколов на задней поверхности пластины приводят к резкому ухудшению шероховатости обрабатываемой поверхности.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Диффузионный износ возникает вследствие высокой температуры резания на передней поверхности пластины. 	<ul style="list-style-type: none"> • Выбрать сплав с покрытием Al_2O_3 • Выбрать пластину с положительным передним углом • Уменьшить скорость резания, чтобы снизить температуру, а затем уменьшить подачу
<p>Пластическая деформация</p>  <p>Пластическая деформация, прогиб режущей кромки или вдавливание задней поверхности, ведущие к ухудшению стружкодробления, снижению чистоты обработки и поломке пластины.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Высокая температура и давление на кромку 	<ul style="list-style-type: none"> • Выбрать более износостойкий (твёрдый) сплав • Уменьшить скорость резания, v_c • Уменьшить подачу, f_z

Причина

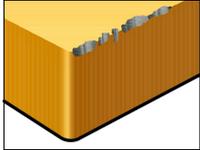
Устранение

Выкрашивания



Повреждение скользящей стружкой участка режущей кромки, не находящегося в работе. Могут быть повреждены как верхняя, так и опорная поверхности пластины, что ведёт к ухудшению шероховатости обрабатываемой поверхности и чрезмерному износу по задней поверхности пластины.

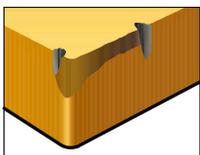
- При сходе стружка ударяет по режущей кромке



Небольшие сколы на поверхности кромки, ведущие к ухудшению шероховатости обрабатываемой поверхности и чрезмерному износу по задней поверхности пластины.

- Слишком хрупкая марка твердого сплава
- Геометрия пластины не обеспечивает достаточной прочности
- Наростообразование

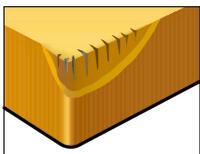
Образование проточин



Проточина ведёт к ухудшению шероховатости обрабатываемой поверхности и риску поломки пластины.

- Обработка закалённых материалов
- Обработка по корке

Термотрещины

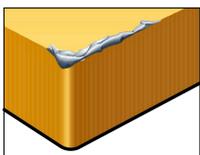


Мелкие перпендикулярные режущей кромке трещины, ведущие к её выкрашиванию и ухудшению шероховатости обрабатываемой поверхности.

Термические трещины возникают из-за нестабильного терморежима, который вызван:

- Прерывистым резанием
- Непостоянством подвода СОЖ

Наростообразование



Наростообразование ведёт к ухудшению шероховатости обрабатываемой поверхности и выкрашиванию частиц режущей кромки при срыве нароста.

- Недостаточно высокая температура в зоне резания.
- Материал с высокой вязкостью - низкоуглеродистая сталь, нержавеющая сталь и алюминий.

Обрабатываемый материал налипает на пластину, образуя нарост, из-за:

- Низкой скорости резания, v_c
- Низкой подачи на зуб, f_z
- Отрицательного переднего угла на режущей кромке
- Низкое качество обрабатываемой поверхности

- Выбрать более прочный сплав
- Выбрать пластину с более прочной режущей кромкой
- Увеличить скорость резания, v_c
- Выбрать пластину с положительной геометрией
- Уменьшить подачу на входе в резание
- Увеличить жесткость системы

- Выбрать более прочный сплав
- Выбрать пластину с более прочной геометрией
- Увеличить скорость резания, v_c , или выбрать пластину с положительной геометрией
- Уменьшить подачу на входе в резание

- Уменьшить скорость резания, v_c
- Выбрать более прочный сплав
- Увеличить скорость резания, v_c

- Выбрать более прочную марку сплава с лучшей сопротивляемостью колебаниям температуры
- Охлаждение должно быть обильным и непрерывным или отсутствовать. Для получения дополнительной информации см. Основные положения, страница D28.

- Увеличить скорость резания
- Выбрать пластину с соответствующей геометрией режущей кромки

- Увеличить скорость резания, v_c
- Увеличить подачу на зуб, f_z
- Выбрать положительную геометрию пластины
- Обеспечить применение охлаждающей жидкости

Причина

Устранение

Вибрации

(также смотри Основные положения, страницу D 30)



- Нежесткое закрепление

- Нежесткая обрабатываемая деталь

- Большой вылет инструмента

- Обработка прямоугольного уступа на станке со шпинделем малой мощности

- Некорректная подача стола

- Режимы резания

- Низкая стабильность обработки

- Вибрации при обработке в углах

- Оценить распределение усилий резания и обеспечить компенсацию их воздействий или увеличить жесткость закрепления
- Снизить усилия резания за счёт уменьшения глубины резания, a_p
- Выбрать фрезу с крупным и неравномерным шагом зубьев для обеспечения большей стабильности обработки
- Выбрать пластину с геометрией L с небольшим радиусом при вершине и зачистной фаской
- Выбрать мелкозернистый сплав с более тонким покрытием или непокрытый
- Избегать обработки ослабленных и нежестких мест заготовки.

- Применить фрезу для обработки прямоугольных уступов (с углом в плане 90 градусов) с положительной геометрией пластин
- Выбрать пластину с геометрией L
- Снизить осевые усилия резания за счёт уменьшения глубины резания в этом направлении, а также выбрать пластины с меньшим радиусом при вершине и небольшой зачистной фаской
- Выбрать фрезу с крупным и неравномерным шагом зубьев
- Проверить износ пластин
- Проверить степень износа базового держателя
- Повысить жесткость закрепления инструмента

- Минимизировать вылет инструмента
- Выбрать фрезу с крупным и неравномерным шагом зубьев
- Используйте фрезы с углом в плане 45град., которые обеспечивают равные радиальные и осевые усилия. Выбрать пластины с большим радиусом при вершине или круглые пластины
- Увеличить подачу на зуб
- Выбрать пластины с геометрией для низких усилий резания и получистовой обработки – L/M
- Уменьшить глубину резания, a_f
- Использовать встречное фрезерование на чистовых проходах
- Использовать удлинённые фрезы и адапторы с соединением CoroMant Capto
- Выбрать фрезу CoroMill Plura или CoroMill 316 с двумя (максимум тремя) режущими кромками и большим углом подъёма винтовой канавки

- Выбрать фрезу минимально возможного диаметра
- Выбрать фрезу и пластину с большим задним углом и острой режущей кромкой
- Попробуйте встречное фрезерование
- Проверьте отжим шпинделя для оценки применимости данной обработки на станке

- Попробуйте встречное фрезерование
- При работе на станке с ЧПУ отрегулируйте привод подачи. В универсальных станках люфт в гайке привода стола также поддается регулировке или устраняется заменой деталей.

- Уменьшить скорость резания, v_c
- Увеличить подачу на зуб, f_z
- Изменить глубину резания, a_p

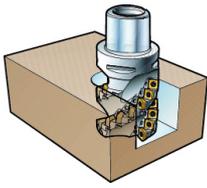
- Уменьшить вылет
- Увеличить жесткость

- Программирование обработки радиуса в углу с меньшей подачей

Причина

Устранение

Пакетирование стружки



Общее затруднение при обработке в полный паз - особенно в вязких материалах

- Повреждение угла пластины
- Выкрашивание и сколы режущей кромки
- Повторное перерезание стружки

- Применять обильное и непрерывное направленное охлаждение или сжатый воздух для эвакуации стружки
- Снизить подачу, f_z
- Разбить общую глубину резания на несколько проходов
- Попробовать встречное фрезерование для обработки глубоких пазов
- Выбрать фрезу с крупным шагом зубьев
- Выбрать фрезу CoroMill Plura или CoroMill 316 с двумя (максимум тремя) режущими кромками и большим углом подъема винтовой канавки

Повторное резание стружки

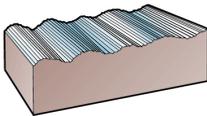


Характерно при обработке пазов и карманов - особенно в титане, а также при фрезеровании глубоких выборок на вертикальных фрезерных станках.

- Осколки режущей кромки отрицательно влияют на стойкость инструмента и безопасность процесса
- Пакетирование стружки

- Обеспечить эвакуацию стружки с помощью сжатого воздуха или обильного охлаждения, предпочтительно подведенного через инструмент
- Изменить положение инструмента и стратегию обработки
- Уменьшить подачу на зуб, f_z
- Разбить общую глубину резания на несколько проходов

Неудовлетворительная шероховатость обработанной поверхности



- Чрезмерная подача на оборот

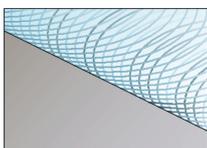
- Настроить фрезу по высоте пластин. Проверьте высоту с помощью индикатора
- Проверьте биение шпинделя и посадочной поверхности фрезы
- Уменьшить подачу на оборот до 70% от величины зачистной фаски
- По возможности используйте пластины с геометрией ω рег (для чистовых операций)

- Вибрации

- См. раздел "Вибрации"

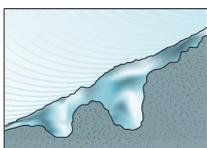
- Механизм наростообразования

- Увеличить скорость резания, v_c , для увеличения температуры в зоне обработки
- Отказаться от СОЖ
- Выбрать пластину со шлифованной передней поверхностью и острой режущей кромкой
- Выбрать пластину с положительной геометрией
- Выбрать безвольфрамовый твердый сплав с применением высоких режимов резания



- Резание на обратном ходу

- Проверьте люфт шпинделя (Допустимое значение 0.10 мм на 1000 мм)
- Замеренное осевое биение шпинделя не должно превышать 7 мкм
- Снизить радиальные усилия резания (уменьшить глубину резания, a_p)
- Выбрать фрезу меньшего диаметра
- Проверить положение зачистных фасок и пластины с зачистной кромкой ω рег (не должны опираться на одну точку)
- Убедитесь в отсутствии биения инструмента относительно посадочной поверхности



- Выкрашивания на заготовке

- Уменьшить подачу, f_z
- Выбрать фрезу с мелким или сверхмелким шагом зубьев
- Изменить положение фрезы для получения более тонкой стружки
- Выбрать фрезу с более подходящим углом в плане (45 градусов) и геометрией для низких усилий резания
- Выбрать пластину с более острой геометрией режущей кромки
- Отслеживать износ по задней поверхности для избежания достижения чрезмерной величины.

Причина

Устранение

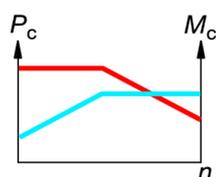
Образование заусенца



- Специфические материалы – жаропрочные сплавы/ нержавеющая сталь
- Механизм образования проточкины

- Использовать пластину с большим радиусом для уменьшения угла в плане
- Выбирать глубину резания не больше радиуса при вершине пластины
- CoroMill 300 – максимальное $a_p = 0.25 \times r_C$
- Пластины CoroMill 390 с максимальным радиусом
- $a_p = 0.5 \times \text{радиус}$

Мощность оборудования



Будьте внимательны к кривой мощности: при слишком низких значениях оборотов шпинделя в минуту эффективность обработки уменьшается.

Требования к мощности шпинделя при фрезеровании различны и зависят от:

- Объёма снимаемого металла
- Средней толщины снимаемой стружки
- Геометрии фрезы
- Скорости резания.

Для получения большей информации по мощности и моменту, смотри Основные положения, страница D11.

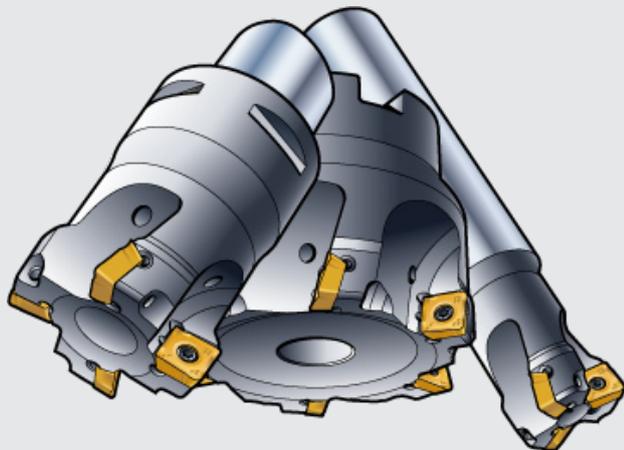
- Перейти с мелкого шага зубьев к крупному, т.е. уменьшить их количество
- Фреза с положительной геометрией затрачивает меньшую мощность по сравнению со фрезой с негативной геометрией
- Уменьшить скорость резания, затем уменьшить подачу
- Выбрать фрезу меньшего диаметра и многопроходную стратегию обработки
- Уменьшить глубину резания, a_p

Ассортимент инструмента – Фрезерование



CoroMill® 490

Первый выбор для фрезерования уступов с низкими усилиями резания



– Обработка неглубоких уступов и фрезерование за несколько проходов с высокой точностью

– Торцевое фрезерование с малой глубиной резания и низкими осевыми усилиями

– Фрезерование точных заготовок с малыми припусками под обработку

– Экономически эффективная альтернатива фрезе CoroMill 390, в случае, когда не требуется врезаться под углом и нет необходимости в пластинах с большим радиусом при вершине

	Цилиндрический/Weldon	Соединение Coromant Capto®/ HSK	Крепление на оправке
			
Пластины размером 08 мм			
Диаметр фрезы (D_c), мм	20 – 40	20 – 84 / 20 – 80	40 – 125
Мах глубина резания (a_p), мм	5.5 (несколько проходов ≤ 4)		
Обрабатываемый материал			

Геометрии пластин

ISO	L	M	H
 P	M-PL	M-PM	M-PH
 M	E-ML	E-MM	
 K	M-KL	M-KM	M-KH
 N			
 S			
 H	M-PL	M-PM	

Области применения



Фрезерование уступа за несколько проходов
D 48



Фрезерование по контуру
D 50



Торцевое фрезерование
D 54



Фрезерование тонкостенных деталей
D 52



Фрезерование пазов
D 84

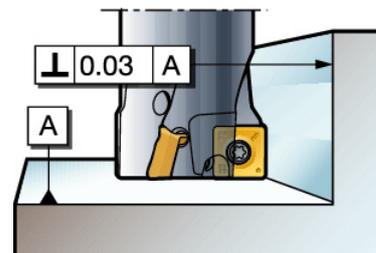


Фрезерование с круговой интерполяцией
D 113

Технология Wireg для повышенной точности периферийного фрезерования

Фреза CoroMill 490 оснащена пластинами с режущими кромками сложной геометрической формы, что позволяет компенсировать отжим инструмента в процессе резания и технологический допуск изготовления фрезы.

Благодаря такой геометрии угловое отклонение от вертикальности боковой стенки при обработке уступа или при обходе заготовки по контуру минимально, а также удается избежать видимых переходов между повторными проходами. Но при этом глубина резания a_p не должна превышать 3-4 мм.



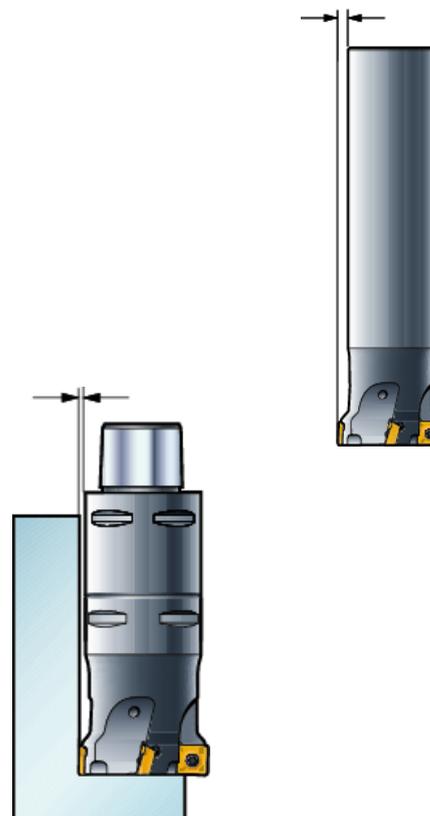
Высокопроизводительное фрезерование на небольших станках

Низкие усилия резания при работе данной фрезы делают ее прекрасным решением для маломощных станков. Благодаря этой особенности фреза хорошо подходит для работы с большим вылетом.



Уменьшенный размер хвостовика для закрепления в небольших патронах

Небольшой диаметр хвостовика по сравнению с режущей частью фрезы с размером пластин 8 мм, делает возможным закрепление данной фрезы в патроне меньшего размера.



Концевые фрезы с увеличенной режущей частью

Фрезы CoroMill 490 с увеличенной режущей частью над диаметром хвостовика обеспечивают высокие возможности доступа и образуют безопасный зазор между инструментом и заготовкой при обработке высоких уступов.

CoroMill® 390

Универсальная фреза для обработки уступов и пазов – глубоких и мелких, с высокими и низкими нагрузками



Ненагруженное резание и профильная обработка

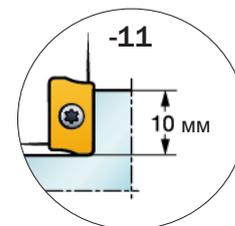
- Ненагруженное резание и профильная обработка.
- Получистовые и чистовые операции.
- Широкий выбор позитивных пластин обычного и радиусного исполнения.
- Пластины размером 11 и 17 мм, обеспечивающие самые низкие силы резания.
- Пластины Wiper размером 11 мм для чистового фрезерования поверхностей вращения.
- Снижение вибраций за счет использования оснастки Silent Tools.
- Наиболее эффективны при использовании на обрабатывающих центрах и многоцелевых станках с размером шпинделя ISO 40.

Широкие и нагруженные проходы

- Черновые и получистовые операции.
- Широкий выбор радиусов пластин.
- Пластины размером 18 мм с более прочной режущей кромкой для работы с большими подачами в более тяжелых условиях.
- Пластины Wiper размером 18 мм для чернового фрезерования поверхностей вращения.
- Специализированные пластины для врезания под углом.
- Наиболее эффективны при использовании на жестких станках с размером шпинделя от ISO 50.

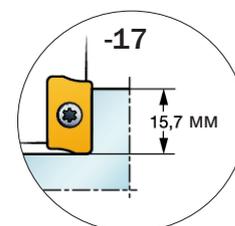
Пластины размером 11 мм

- Обычно являются первым выбором для фрез диаметром до 80 мм и глубиной резания a_p до 5-6 мм. Возможно использование в корпусах с нормальным шагом зубьев с высокими значениями минутной подачи.



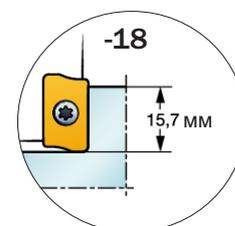
Пластины размером 17 мм

- Первый выбор для работы с глубиной резания a_p превышающей 5-6 мм и при необходимости снизить усилия резания.



Пластины размером 18 мм

- Прочная режущая кромка для операций фрезерования, протекающих в условиях повышенных нагрузок, особенно при работе с высокими подачами. Рекомендуются для использования в корпусах с креплением на оправке и в длиннокрючочных фрезах.



Концевые и торцево-цилиндрические фрезы

	Цилиндрический		С демпфером	Соединение Coromant Capto®	
			 Silent Tools*		
Диаметр фрезы (D_c), мм	Цилиндрический/Weldon 12 – 40 Резьбовое соединение 16 – 42		Цилиндрический 20 – 32 Coromant Capto 20 – 40	16 – 80	40 – 84
Размер пластин, мм	-11	-17	-11	-11	-18
Мах глубина резания (a_p), мм	10	15.7	10	10	15.4/15.7

Торцево-цилиндрические фрезы

Длиннокромочные фрезы

	Крепление на оправке			Соединение Coromant Capto®		Цилиндрический	Крепление на оправке	
								
Диаметр фрезы (D_c), мм	40 – 80	40 – 125	50 – 200	32 – 66	44 – 100	32 – 40	40 – 54	44 – 200
Размер пластин, мм	-11	-17	-18	-11	-18	-11	-11	-18
Мах глубина резания (a_p), мм	10	15.7	15.4/15.7	36 – 45	43 – 71	36 – 45	36 – 54	43 – 71

Геометрии пластин

CoroMill® 390-11 и CoroMill® 390-17

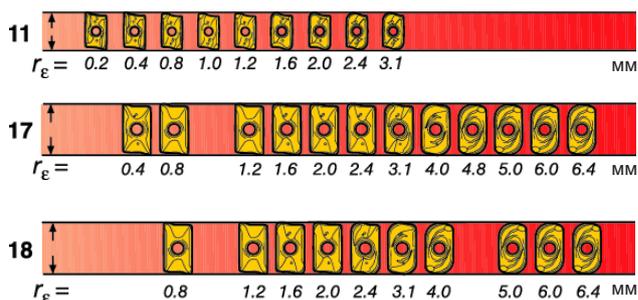
ISO	L	M	H	TW *)	Пластина из PCD
P	M/E-PL	M-PM	M-PH	E-PLW	
M	E-ML	M/E-MM	M-MH		
K	M-KL	M-KM	M-KH		
N	E-NL	E-KM		E-PLW	E-P4-NL, E-P6-NL
S	E-ML	E-MM		E-PLW	
H	M/E-PL	M-PM		E-PLW	

CoroMill® 390-18

ISO	L	M	TW *)	Врезание под углом
P	H-PL	-PM	H-PTW	-PMR
M	H-ML	-MM	H-PTW	-MMR
K	H-KL	-KM	H-KTW	-KMR
N	H-PL		H-PTW	
S	H-ML	M-MM	H-PTW	
H	H-PL	M-PM	H-PTW	

*) TW = Геометрия вверг для точения фрезерованием

Радиусные пластины стандартной программы

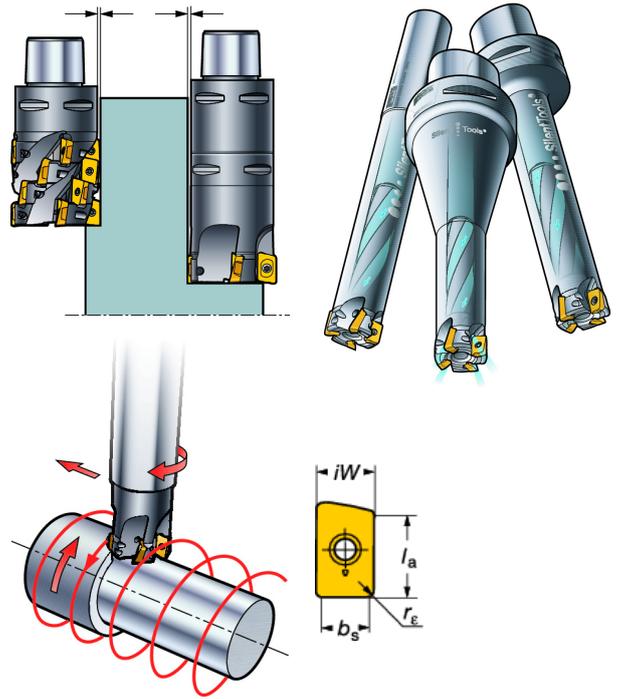


Taylor Made

Пластины размером 11 и 17 мм с промежуточными значениями радиусов доступны в рамках предложения Taylor Made с шагом 0.1 мм.

Фрезы CoroMill® 390 специализированного применения

- Конструкция фрез с увеличенной режущей частью над диаметром хвостовика обеспечивает наличие зазора между корпусом инструмента и обрабатываемой поверхностью при работе с увеличенным вылетом.
- Фрезы и адаптеры с соединением Coromant Capto обеспечивают максимальную жесткость и стабильность закрепления при фрезеровании с большим вылетом.
- Использование фрез с демпфером серии Silent Tools позволяет увеличить скорость снятия металла и повысить качество обработанной поверхности при работе инструментом с увеличенным вылетом.
- Фрезерование тел вращения как на черновом, так и на чистовом этапе рекомендуется выполнять с использованием одной или более пластин *wiper*, доступных в размере 11 и 18 мм с радиусом при вершине 0.8 и 1.6 мм.



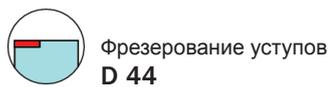
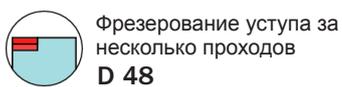
Мах глубина резания для различных типов операций

Размер пластины	Пластины размером 11 мм						Пластины размером 17 мм					Пластины размером 18 мм
	12	16	20	25	32	40–80	25	32	40	50	63–125	40–200
Диаметр фрезы (D_c), мм	12	16	20	25	32	40–80	25	32	40	50	63–125	40–200
Фрезерование уступов, $max(a_p)$, мм	9.0	9.5	9.4	9.3	9.2	5.9	15.2	15.1	15.0	14.9	9.6	15.7
Плунжерное фрезерование, $max(a_e)$, мм	5.5						8.5					1.1
Засверливание, $max(a_p)$, мм	1.0						1.5					Не рекомендуется

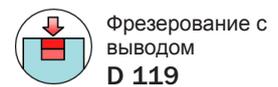
Области применения

Концевые и торцево-цилиндрические фрезы

Основная область применения:



Дополнительная область применения:

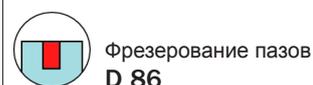


Длиннокромочные фрезы

Основная область применения:

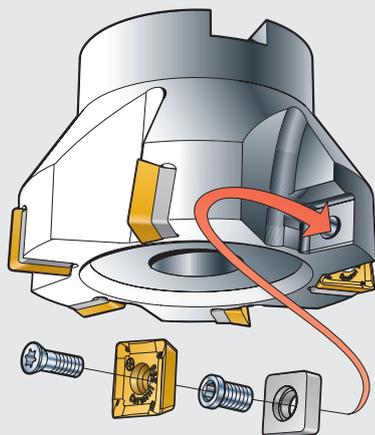


Дополнительная область применения:



CoroMill® 290

Универсальное применение/обработка прямоугольных уступов



- Основной выбор для обработки чугуна (ISO K)
- Экономичная концепция с четырьмя режущими кромками

Высокая надежность

- Опорная пластина, защищающая корпус
- Прочная режущая кромка

		
Диаметр фрезы (Dc), мм	40 – 80	50 – 250
Мах глубина резания (ap), мм	10.7	10.7
Обрабатываемый материал	P K *)	P K *)

*) Стандартная программа включает пластины из CBN и керамики.

Геометрии пластин

ISO	L	M	H	Керамика	Пластины из CBN
P	M-PL	M-PM	M-PH		
M					
K	M-KL	M-KM	M-KH	20E	08E
N					
S					
H					

Области применения

Основная область применения:



Фрезерование прямоугольных уступов
D 44



Торцевое фрезерование
D 54



Торцевое фрезерование тонкостенных заготовок
D 52

Дополнительная область применения:



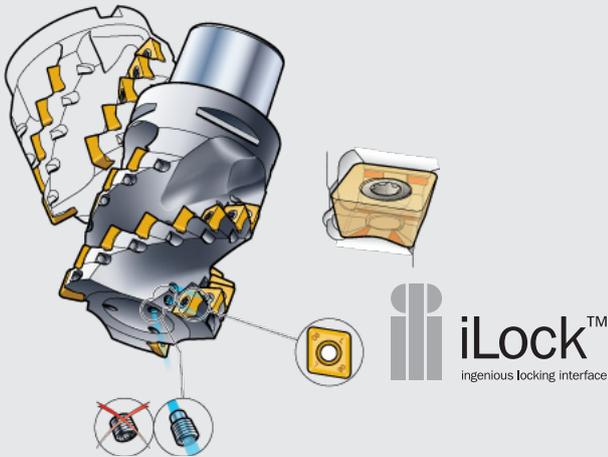
Фрезерование пазов
D 86



Круговая интерполяция
D 105

CoroMill® 690

Фреза для высокопроизводительной профильной обработки титана



- Отверстия для СОЖ у каждого зуба фрезы
- Регулируемые поток и давление охлаждающей жидкости благодаря резьбовым отверстиям, которые могут быть временно заглушены винтом или сужены при помощи втулки
- Высокое давление СОЖ облегчает процесс эвакуации стружки и эффективно снижает температуру в зоне резания
- Благодаря эффективному выводу стружки предотвращается нежелательное явление повторного резания стружки и повышается период эксплуатации корпуса инструмента, особенно в отношении торцевых пластин
- Хорошие показатели при плунжерном фрезеровании и врезании под углом
- Уникальная форма базировочного гнезда под пластину гарантирует жесткое позиционирование последней в корпусе
- Фрезы доступны с крупным –L, нормальным –M и мелким –H шагом. Более подробная информация в разделе Основные положения на стр. D17.

Соединение Coromant Capto®/HSK



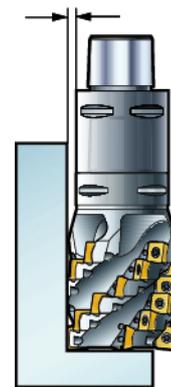
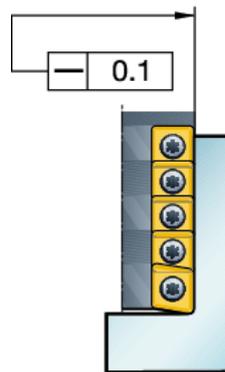
Крепление на оправке



	Соединение Coromant Capto®/HSK		Крепление на оправке
Диаметр фрезы (D_c), мм	40 – 66	63 – 84	100
Размер пластины (iC), мм	10	14	14
Мак глубина резания (a_p), мм	53 – 105	61 – 84	61
Обрабатываемый материал	S		S

Геометрии пластин

ISO	L
P	
M	
K	
N	
S	-SL
H	



Области применения



Фрезерование уступов
D 42

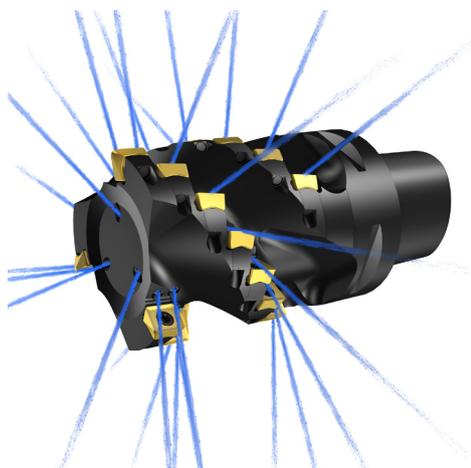


Фрезерование по контуру
D 50



Фрезерование
D 86

Фреза CoroMill® 690 специализирована для обработки титана



Из-за низкой теплопроводности титана в процессе его обработки чрезвычайно важно эффективное охлаждение инструмента, во избежание перегрева режущих кромок и корпуса фрезы.

При фрезеровании титана стружка может налипать на режущую кромку, что приводит к повторному резанию ранее отделившейся стружки, выкрашиванию режущей кромки и сокращению стойкости инструмента.



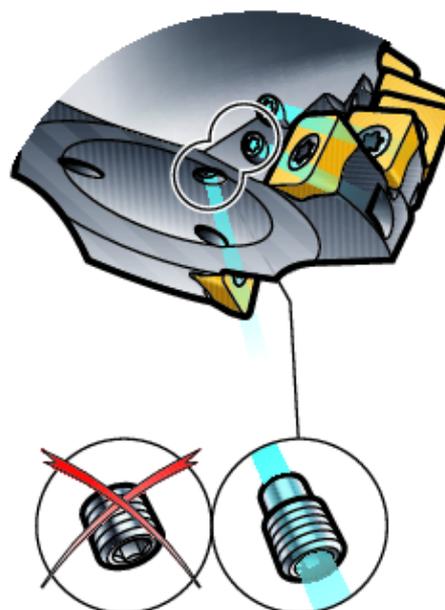
Организовав подачу СОЖ к отверстиям возле каждого гнезда пластины, включая торцевые пластины, можно избежать подобных проблем.

Однако подача СОЖ через все имеющиеся на фрезе отверстия требует достаточно большого объема жидкости и мощного насоса.

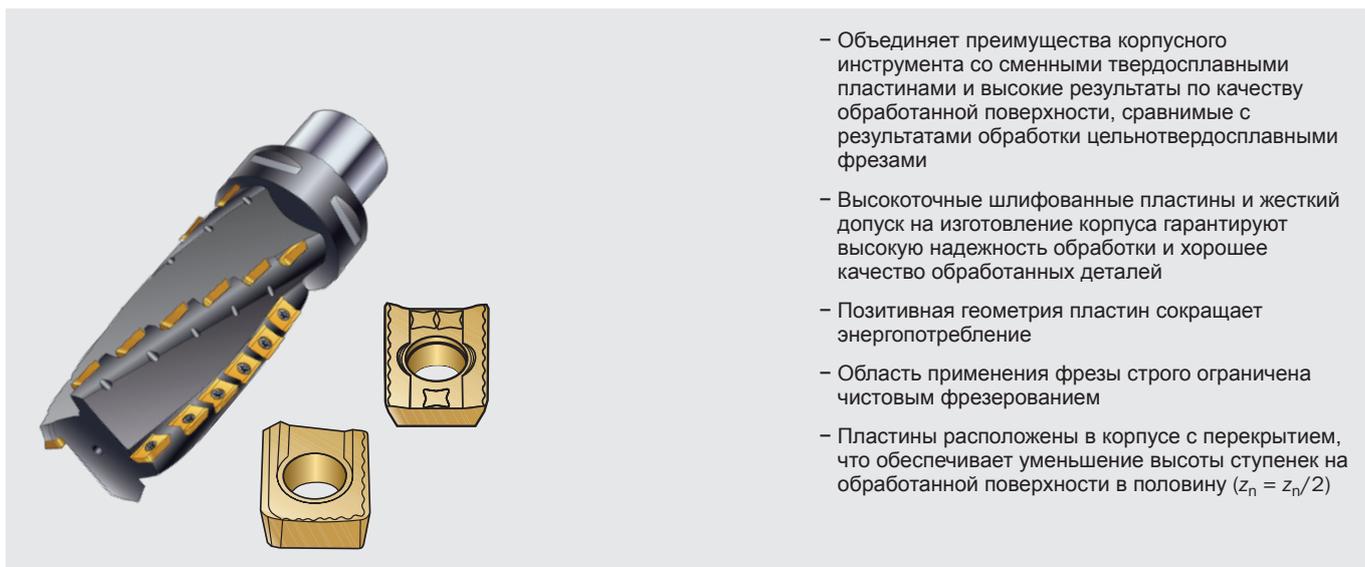
При необходимости некоторые отверстия для подвода СОЖ, расположенные у кромок, не принимающих участие в резании, могут быть заглушены. При этом поток жидкости увеличится в нужном месте.

Альтернативным вариантом является уменьшение диаметра отверстий при помощи втулок. Это снизит требуемую мощность насоса и увеличит давление потоков жидкости у режущих кромок. А чем эффективнее происходит охлаждение режущих кромок, тем более предсказуем процесс обработки в целом и тем выше стойкость инструмента.

Если на станке возможна организация подачи СОЖ под высоким давлением (НРС 70-100 бар), обязательно используйте это преимущество вместе с вышеупомянутыми втулками. Надлежащее охлаждение режущих кромок фрезы при обработке титана – залог надежности обработки, даже на высоких скоростях резания.



Длиннокромочная фреза для чистовой обработки

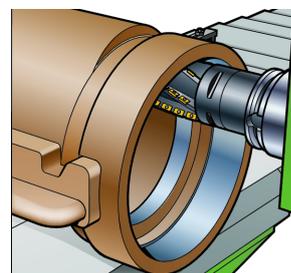
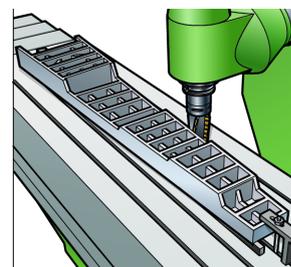


- Объединяет преимущества корпусного инструмента со сменными твердосплавными пластинами и высокие результаты по качеству обработанной поверхности, сравнимые с результатами обработки цельнотвердосплавными фрезами
- Высокоточные шлифованные пластины и жесткий допуск на изготовление корпуса гарантируют высокую надежность обработки и хорошее качество обработанных деталей
- Позитивная геометрия пластин сокращает энергопотребление
- Область применения фрезы строго ограничена чистовым фрезерованием
- Пластины расположены в корпусе с перекрытием, что обеспечивает уменьшение высоты ступенек на обработанной поверхности в половину ($z_n = z_n/2$)

Диаметр фрезы (D_c), мм	50/80
Мах глубина резания (a_p), мм	100/150
Мах (a_e), мм	1.5 – 2.0
Рекомендуемая (a_e)	0.2 – 0.5
Диапазон подач (f_z), мм/зуб	0.13 – 0.15
Чистота поверхности, (R_a)	0.6 – 1.2
Обрабатываемый материал	

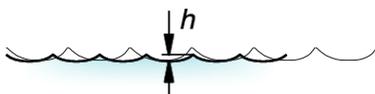
Геометрии пластин

ISO	L	
	18 торц.	19 периф.
P	-PL	-PL2
M	-ML	-ML2
K	-PL	-PL2
N	-AL	-2
S	-ML	-ML2
H	-ML	-ML2



Качество обработанной поверхности

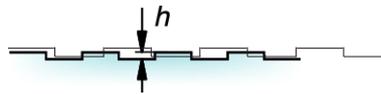
Длиннокромочная фреза для чистовой обработки



При соблюдении рекомендаций по величине подачи и максимальной ширине фрезерования a_e не образуется видимых границ перехода от повторных проходов фрезы.

Максимальная высота неровностей: 0.03-0.04 мм.

Традиционная длиннокромочная фреза



Области применения



Фрезерование по контуру
D 50



Фрезерование высоких уступов
D 48



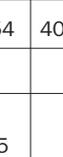
Круговая интерполяция
D 105

CoroMill® 790

Универсальная фреза для обработки уступов цветных металлов



- В результате обработки уступа за несколько проходов достигается его высокая геометрическая точность с минимальными ступеньками
- Эффективное решение для чернового и получистового врезания под углом
- Высокая эффективность фрезы в отношении затраченной мощности на единицу удаленного объема металла
- Фреза устойчива к восприятию огромных усилий резания, характерных для высоких скоростей
- Точное и надежное позиционирование пластин исключает влияние допуска их изготовления на величину биения фрезы
- Беспрепятственная эвакуация стружки при осуществлении нагруженных проходов
- Высокие возможности по врезанию под углом

	Соединение® Coromant Capto		HSK типа A/C		Цилиндрический	Крепление на оправке	
							
Диаметр фрезы (D_C), мм	25 – 54	40 – 100	25 – 50	50	25 – 40	50	
Размер пластины	-16	-22	-16	-22	-16	-16	
Мах глубина резания (a_p), мм							
• Черновая обработка	12/15	18	12/15	18	12/15	12/15	
• Чистовая обработка (2/3 от черновой)	8	12	8	12	8	8	
Мах подача (f_z), мм/зуб							
• Черновая обработка	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	
• Чистовая обработка	0.15	0.15	0.15	0.15	–	–	
Чистота поверхности (R_a)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
Обрабатываемый материал	Геометрии пластин	P	M	K	N	S	H
• Черновая обработка	 L				-NL		
	M				-NM		
• Чистовая обработка	L	-PL	-PL	-PL	-NL	-PL	-PL

Рекомендации по выбору пластин

- Пластины с длиной режущей кромки 22 мм предназначены для удаления больших объемов металла на очень мощных станках, а пластины размером 16 мм для станков среднего уровня мощности.
- По алюминию рекомендуется выбирать сплав H13A, а для чистового фрезерования других групп материалов подойдут сплавы GC1010/GC1030.

Области применения



Фрезерование уступов
D 44



Фрезерование пазов
D 86



Круговая интерполяция
D 113



Линейное врезание
D 104

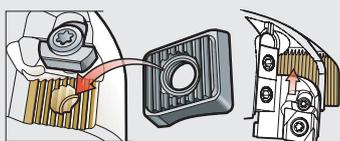
CoroMill® Century

Высокоскоростное торцевое фрезерование с низкими усилиями резания



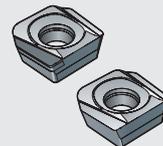
- Корпуса фрез из алюминия и стали
- Простая микро и макро настройка для высокоточной обработки
- Ускоренный отвод стружки благодаря оптимизированному подводу СОЖ

Рифленая базовая поверхность пластин и кассет



- Надежность обработки
- Минимальная величина биения и отсутствие влияния допуска изготовления

Использование пластин Wiper:



- Торцевое фрезерование
- Точение фрезерованием

	Соединение® Coromant Capto Стальной корпус		HSK Стальной корпус	Крепление на оправке Корпус из алюминия	Исполнение с кассетами на оправке Стальной корпус	Крепление Корпус из алюминия
						
Диаметр фрезы (D_c), мм	40 – 125	40 – 80	50 – 200	160 – 500		
Мах глубина резания (a_p), мм						
• Твердый сплав	2 / 10		2 / 10	2 / 10		
• PCD	2 / 5		2 / 5	2 / 5		
• CB	1.2		1.2	1.2		
Обрабатываемый материал						
• Первый выбор						
• Дополнительный						
Точность настройки, мм						
• Микро	0.1		0.1	0.1		
• Макро	–		–	1.0		
Чистота поверхности (R_a)	< 1		< 1	< 1		

Области применения

 Торцевое фрезерование
D 57

 Фрезерование уступов
D 44

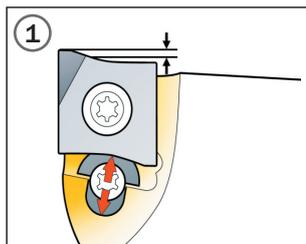
*) W = Wiper

TW = Пластины wiper для фрезерования тел вращения

Геометрии пластин

ISO	L	W *)	TW *)
	-PL	-PW	-PTW
	-PL		
	-KL	-KW	-KTW
	-NL	-NW	
	-PL		
	-KL (CBN)	-KW (CBN)	

Установка и настройка пластин



1 Все фрезы: диапазон микро регулировки 0.1 мм.

Исполнение фрез с кассетами: диапазон макро регулировки 1.0 мм.

Положение пластин в осевом направлении легко регулируется с высокой степенью точности для обоих типов фрез.

Для фрез с кассетным исполнением дополнительно может быть осуществлена макро регулировка.

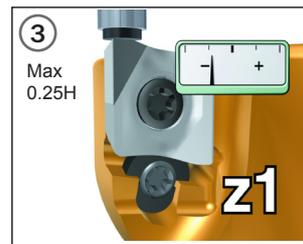


2 Измерительное оборудование.

Примечание: Все контактные методы измерения положения пластин при настройке создают определенную опасность выкрашивания режущих кромок.

Для настройки пластин предпочтительны оптические методы измерения.

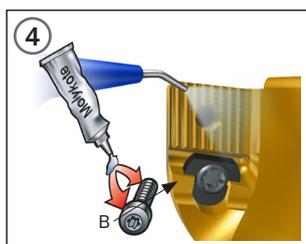
Примечание: когда фреза CoroMill Century с установленными пластинами не используется, на неё необходимо надевать защитную крышку (C).



3 Будьте внимательны.

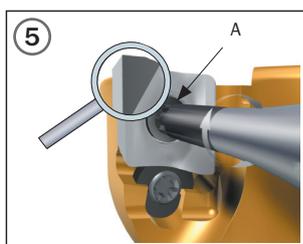
Режущие кромки пластин для обработки алюминия очень острые и хрупкие. Пластины из PCD особенно чувствительны к несоответствующему обращению.

Максимально допустимое усилие нажима измерительного наконечника на кромку пластины не должно превышать 0.25 Нм, что достигается при использовании высококачественных микрокаторов.



4 Нанесите смазку Molykote на крепежные винты

Убедитесь в том, что рифленая поверхность гнезда не повреждена и очищена от грязи. Протрите рифленую поверхность насухо.

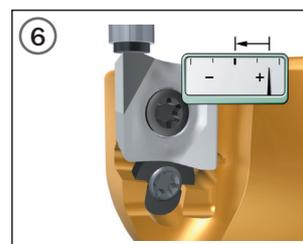


5 Установите пластины.

Проверьте правильность выбранной геометрии. Затяните крепежные винты пластин с рекомендуемым моментом, значения которого приведены в "Основном каталоге".

Проверьте, используя специальное устройство, положение вершины каждой пластины.

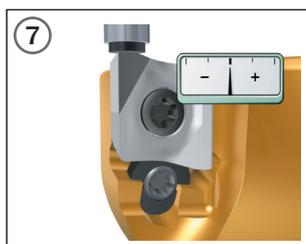
Примечание: При замене пластин из PCD, вместе с ними меняйте крепежные винты.



6 Определите наиболее выступающую пластину.

Увеличьте выступ этой пластины приблизительно на пять микрон, вращая регулировочный винт (B) по часовой стрелке.

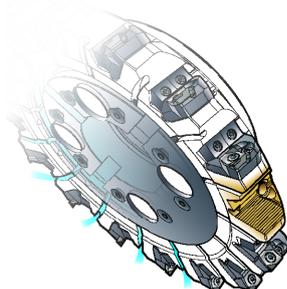
Зачистная кромка пластины Wiper должна располагаться выше нулевого положения остальных пластин на 0.05 мм.



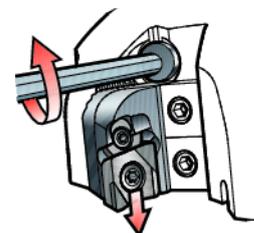
7 Установите в этом положении индикатор на ноль.

Таким же образом отрегулируйте положение всех остальных пластин, в соответствии с новым нулем индикатора.

Примечание: Если при этом пластины выпадают из диапазона регулировки, верните ноль индикатора в прежнее положение и снова отрегулируйте пластины.

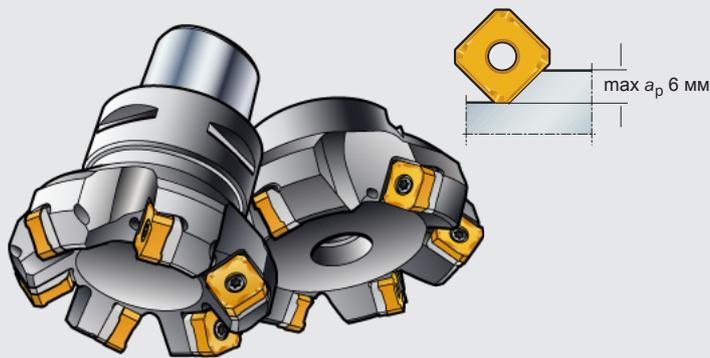


Ослабьте винт клина и отрегулируйте положение кассеты по высоте.



CoroMill® 345

Экономичная высокопроизводительная обработка материалов групп ISO P, M и K с малой и средней глубиной резания



- Двухсторонние пластины с 8 режущими кромками и позитивной геометрией
- Пластина Wiper для использования во фрезе правого и левого исполнения с зачистной кромкой длиной 5 мм
- Инновационная геометрия пластины обеспечивает плавный процесс резания на небольшой глубине и необходимую прочность для осуществления фрезерования с большой глубиной резания
- Фрезы небольшого диаметра имеют внутренний подвод СОЖ к каждому гнезду пластины
- Стандартная программа включает четыре типа шага зубьев
- Рекомендуются для использования на небольших мало мощных фрезерных станках, а также на различных обрабатывающих центрах и многоцелевых станках

	Соединение Coromant Capto®	Крепление на оправке	Цилиндрический хвостовик
Диаметр фрезы (D_c), мм	40 – 100	40 – 250	40 – 50
Мак глубина резания (a_p), мм	6	6	6
Обрабатываемый материал			

Примечание: фреза CoroMill 365 является первым выбором для фрезерования деталей из чугуна для автомобильной промышленности.

Геометрии пластин

ISO	L	M	H	Wiper
P	E-PL, M-PL	M-PM	M-PH	-W
M	E-PL			
K	M-KL	M-KM	M-KH	-W
N				
S	E-PL			
H	E-PL, M-PL	M-PM		

Области применения



Торцевое фрезерование
D 57



Снятие фасок
D 126



Фрезерование с большим вылетом
D 30



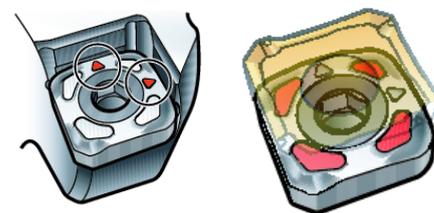
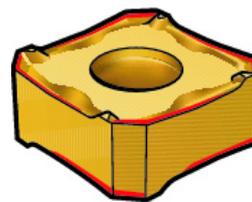
Прерывистое фрезерование
D 58

D 146

Режущие и опорные пластины обеспечивают надежный и предсказуемый процесс обработки

Геометрия пластины гарантирует реальную возможность использовать все восемь режущих кромок.

- При работе с большой глубиной резания соседняя режущая кромка на пластине может быть повреждена. Геометрия пластин фрезы CoroMill 345 защищает соседнюю кромку от повреждения стружкой, что обеспечивает возможность полноценного использования всех имеющихся режущих кромок.



Опорная пластина защищает корпус от повреждений и обеспечивает точное позиционирование режущей пластины

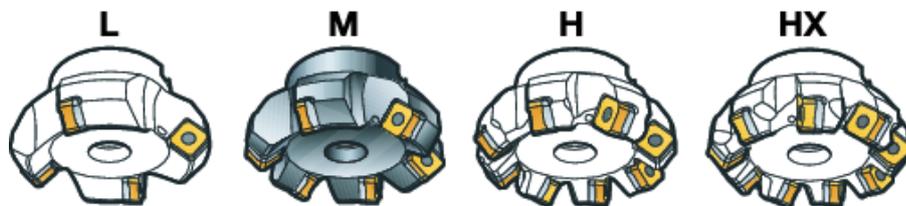
- Гарантированно высокий срок службы корпуса фрезы.
- Надежное закрепление режущей пластины в гнезде.

Рекомендации по установке

Для однозначного позиционирования опорной пластины в корпусе на ней изображены стрелки, которые должны быть направлены к боковым стенкам базового гнезда.

Шаг зубьев фрезы

Фрезы изготавливают с различным шагом зубьев для оптимального соответствия условиям обработки.



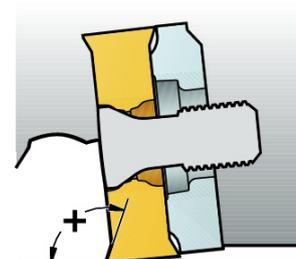
Неравномерный шаг зубьев.

Все фрезы с мелким шагом выпускают с равномерным расположением зубьев. Фрезы диаметром более 160 мм также доступны с неравномерным шагом.

Равномерный шаг зубьев.

Плавный процесс резания

Фреза имеет большой положительный угол на малой глубине резания, что делает процесс резания плавным вследствие невысоких усилий резания. С увеличением припуска в резание вступает более прямолинейный участок режущей кромки, обеспечивающий прочность и надежность, особенно при нагруженных проходах.

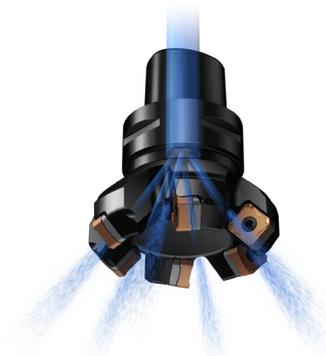


Внутренний подвод СОЖ

Подвод СОЖ к каждой режущей пластине обеспечивает оптимальный уровень производительности при фрезеровании труднообрабатываемых материалов:

- Эффективный стружкоотвод
- Высокая надежность операций фрезерования
- Предсказуемая обработка
- Хорошее качество обработанной поверхности.

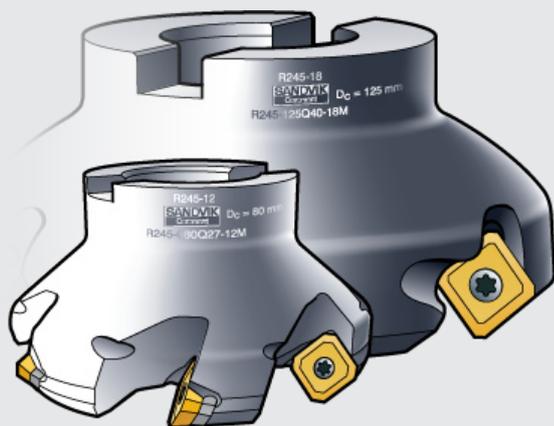
Примечание: принадлежности для внутреннего подвода СОЖ заказываются отдельно.



CoroMill® 245

Торцевые фрезы для тяжелой черновой и зеркальной финишной обработки

– Черновая, получистовая и финишная обработка



	Крепление на оправке	Цилиндрический хвостовик
Размер пластины (iC), мм	Диаметр фрезы (D _c), мм	
12	50 – 250	32 – 80
18	80 – 250	
Макс. глубина резания (a _p), мм	6 / 10	6
Обрабатываемый материал		

*) Ассортимент сплавов включает пластины из КНБ и керамики.

Геометрии пластин

ISO	L	M	H	Wiper	Керамика	Кубический нитрид бора	Поликристаллический алмаз
P	E-PL, M-PL	M-PM	M-PH	E-W			
M	E-ML	K-MM, M-MM		E-W			
K	E-KL, M-KL	M-KM	M-KH	E-W	-E	-E	
N	E-AL			E-W			-E
S	E-ML, E-PL, M-PL	M-PM, K-MM, M-KM		E-W			
H	E-PL, M-PL	M-PM	M-PH, M-KH	E-W	-E	-E	

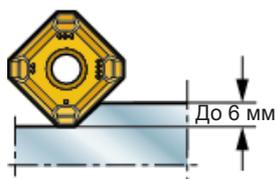
CoroMill® 245-12

Первый выбор при торцевой обработке материалов ISO N фрезами с углом в плане 45°.

Альтернативный выбор для материалов ISO P, M и K

Первый выбор при торцевой обработке пластинами из керамики.

Первый выбор при фрезеровании трубообрабатываемых материалов (пластины из поликристаллического алмаза и КНБ) фрезами с углом в плане 45°.

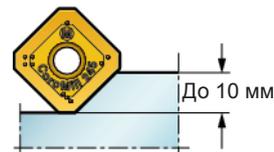


CoroMill® 245-18

Первый выбор для обработки всех групп материалов при фрезеровании с глубиной резания > 6 мм, фрезами с углом в плане 45°.

Подходит для больших станков.

Доступна версия с кассетами.

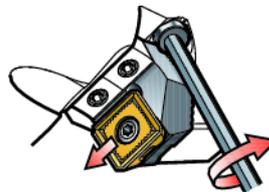
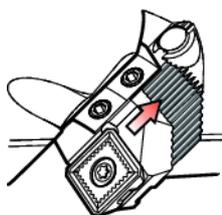
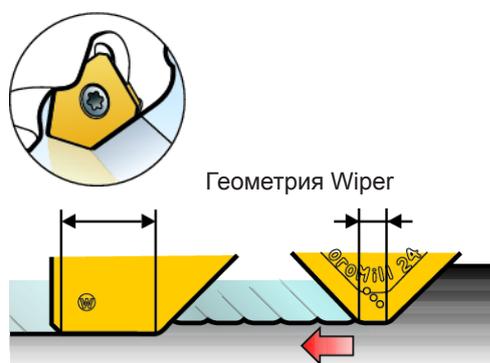


Пластины Wiper для всех фрез семейства CoroMill® 245

Торцевые фрезы с фиксированным положением пластин. Пластины Wiper размером 12 и 18 мм в комбинации с точными шлифованными пластинами для получения зеркальных поверхностей и фрезерования тел вращения.

Настраиваемые торцевые фрезы со сменными кассетами. Возможность настройки пластин в диапазоне до 1.0 мм позволяет совместно с пластинами wiper размером 18 мм применять экономичные пластины, изготовленные прямым прессованием.

Для настройки, следуйте рекомендациям для торцевых фрез CoroMill Century, см. стр. D 145.



Диапазон настройки 1.0 мм

CoroMill® 245 - Торцевая фреза с кассетами

- Диаметр фрезы 160-500 мм для пластин размером – 18.
- Макс. a_p 10 мм.

Области применения



Торцевое фрезерование
D 57



Фрезерование фасок
D 126



Фрезерование с большим вылетом инструмента
D 30



Чистовое фрезерование с зеркальной чистотой поверхности
D 65



Фрезерование прерывистых поверхностей
D 58

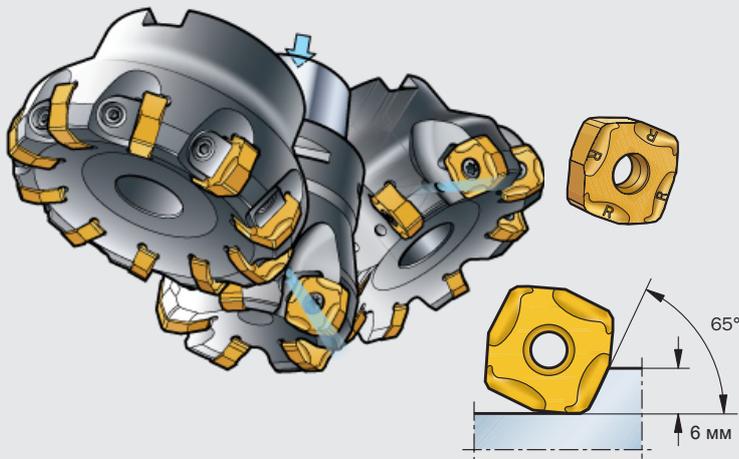


Фрезерование поверхностей вращения
D 80

Рекомендации по торцевой обработке см. на стр. D58.

CoroMill® 365

Снижение затрат на фрезерование чугуна и стали



- Многокромочные пластины обеспечивают экономически эффективное производство
- Надежный и предсказуемый процесс фрезерования благодаря прочным пластинам
- Возможность применения пластин Wiper, оптимизированных для фрез малого и большого диаметра
- Крепление пластин винтом или клином
- От черновой до получистовой обработки в крупносерийном производстве и там, где необходимо снимать большие объемы металла

	Coromant Capto®	Крепление на оправке	Крепление на оправке	Крепление на оправке
Диаметр фрезы (D_c), мм	40 – 60	50 – 160	80 – 250	250 - 500 *)
Макс. глубина резания (a_p), мм	6	6	6	6
Крепление пластины	Винт	Винт/Клин	Винт/Клин	Клин
Обрабатываемый материал				

*)

Крепление на оправке 315 - 500
Со сменным базовым элементом 250 - 500
Оправки CIS 160 - 500

Геометрии пластин

ISO	L	M	W *)
	-PL	-PM	-PW4, -PW8
	-KL	-KM	-KW4, -KW8
	-PL	-PM	

*) W = Wiper

Области применения



Торцевое фрезерование
D 57



Фрезерование прерывистых
поверхностей
D 58

Пластины

Экономичные пластины с восемью режущими кромками.

Доступно правое и левое исполнение.

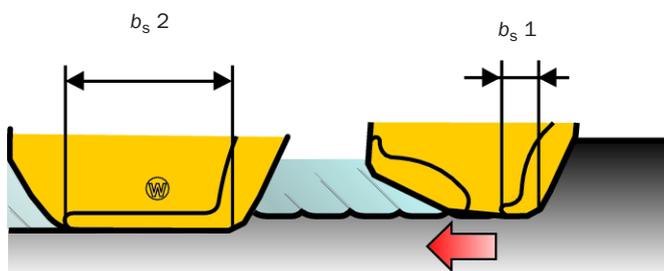


Технология Wireg для лучшего качества поверхности

Доступно два варианта пластин Wireg для финишной обработки.

- Пластины wireg с длиной режущей кромки 4 мм имеют 2 кромки для фрез правого исполнения и 2 для фрез левого исполнения.
- Пластины Wireg с длиной режущей кромки 8 мм имеют одну кромку для фрез правого исполнения и одну для фрез левого исполнения.

Для получения хорошей шероховатости поверхности важно, чтобы подача на оборот ($f_n = f_z \times z_n$) была меньше 80% длины зачистной режущей кромки ($b_s 2$). Фактически чем больше диаметр фрезы, тем больше подача на оборот f_n , что в свою очередь требует большей длины зачистной кромки b_s .



Два варианта исполнения фрезы обеспечивают оптимальную производительность торцевой обработки как чугуна, так и стали

Крепление пластин клином

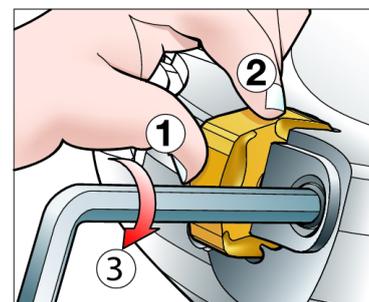
- Фрезы большого диаметра с большим количеством зубьев и более частой установкой пластин.
- Фрезы со сменным базовым элементом диаметром 250-500 мм изготавливаются по запросу.
- Для обработки материалов, обладающих короткой стружкой, где не требуется большого объема стружечных канавок.
- Сверхжесткое закрепление пластин.

Крепление пластин винтом

- Фрезы меньшего диаметра.
- Обработка материалов группы ISO P.

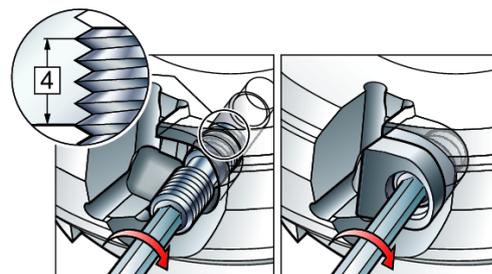
Установка пластин

- Хорошо очистите посадочное место под пластину перед ее установкой.
- Установите пластину в гнездо, надавив сначала большим (1), а затем указательным (2) пальцами на пластину.
- Убедитесь в том, что пластина опирается на три точки.
- Затяните винт (3) с усилием 6 Нм.



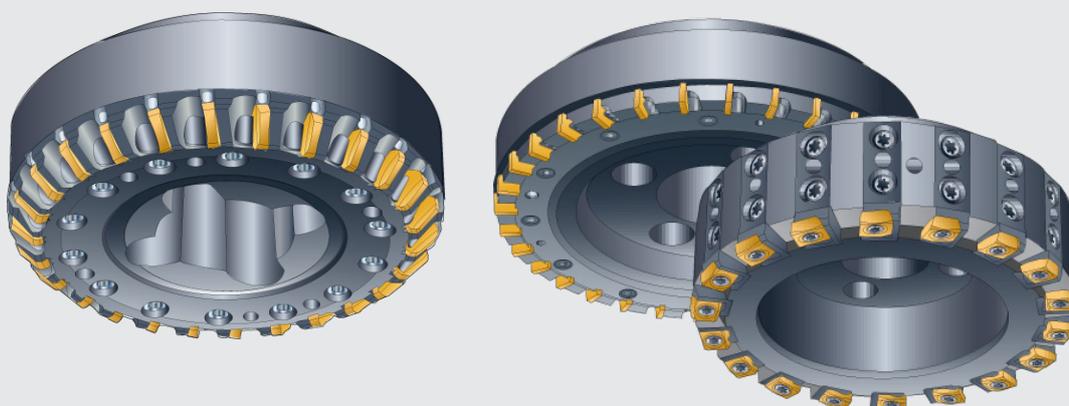
Закрепление клина

- Заверните винт (4) в корпус фрезы на 4 оборота с помощью шестигранного ключа.
- Установите клин на винт и затягивайте винт до тех пор, пока он не достигнет корпуса фрезы.
- Основные принципы также справедливы и для фрез с пластинами, закрепляемыми винтами.



Sandvik AUTO

Фрезы для черновой и чистовой обработки



	Auto	Auto-AF	Auto-FS
			
Угол в плане (K_r), мм	45°	75°	90°
Передний угол	Отрицательный	Положительный	Отрицательный
Диаметр фрезы (D_c), мм	125 – 500	80 – 500	125 – 500
Макс. глубина резания (a_p), мм	6.0	1.0	8.1
Material			

Auto

- Торцевая фреза с мелким шагом зубьев предназначена для чернового и получистового фрезерования деталей из чугуна.

Auto-AF

- Регулируемая торцевая фреза для чистовой обработки деталей из чугуна с высокими требованиями к качеству поверхности.
- Простая и точная настройка с точностью ± 0.002 мм.

Auto-FS

- Фреза с фиксированным положением пластин предназначена для обработки прямоугольных уступов на деталях из чугуна с повышенными требованиями к качеству поверхности. Обработка с большими подачами.

Области применения

Auto



Черновое торцевое фрезерование
D 57



Фрезерование прерывистых поверхностей
D 58

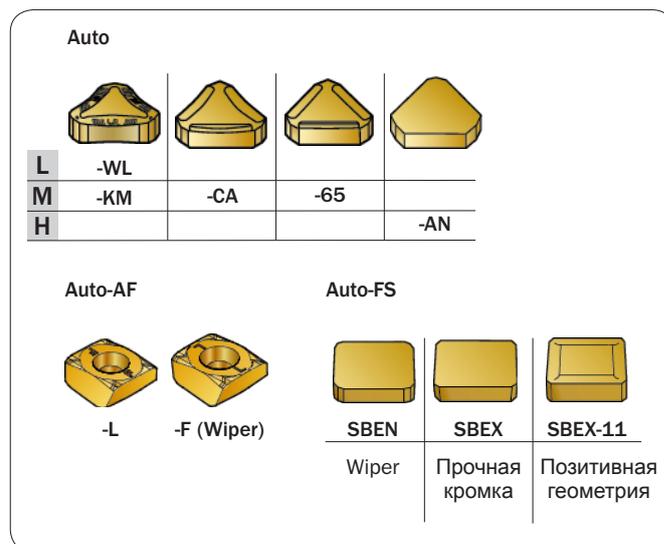
Auto-AF/-FS



Чистовое торцевое фрезерование
D 64

Пластины для фрез Auto. Общая информация

- Большое число зубьев на фрезе обеспечивает большую минутную подачу, что обеспечивает обработку с максимальной экономической эффективностью.
- Треугольные пластины для черновых фрез Auto доступны с различными геометриями, оптимизированными для большинства операций.
- Все пластины двухсторонние, имеют шесть правых и шесть левых режущих кромок для максимально экономичной обработки.
- Для получения более подробной информации по пластинам для фрез Auto, см. "Основной каталог".



Проставки для компенсации наклона шпинделя станка

Зачистная кромка пластин должна быть установлена в соответствии с отклонением положения шпинделя.

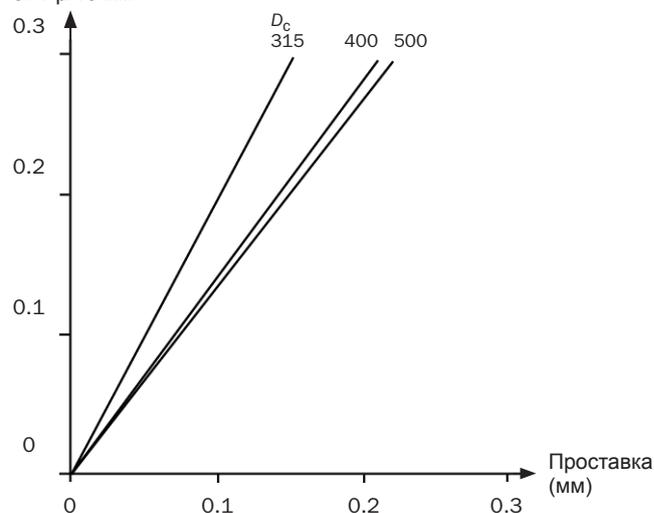
Проставки, устанавливаемые в базовый элемент для компенсации наклона шпинделя 0.1:1000 представлены ниже:

Диаметр фрезы (D_c)	Проставка (мм)
250	0.02
315	0.05
355	0.05
400	0.02 и 0.05
500	0.02 и 0.05

Примечание: при других отклонениях положения шпинделя, обратитесь в ближайшее представительство Sandvik Coromant.

Наклон шпинделя/толщина проставки

Наклон шпинделя
0.1:1000 мм
or 1 μ /10 мм



Размеры проставок для разных значений наклона шпинделя

Примечание: При необходимости замены или перешлифовки центрирующей втулки или наружного кольца размер 44 ± 0.01 мм должен быть выдержан за счет проставок.

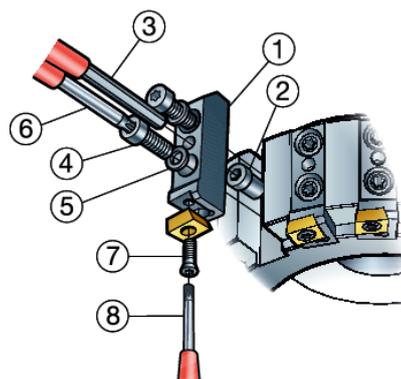


1. Центрирующая втулка
2. Проставка
3. Наружное кольцо

Установка и настройка

Требования:

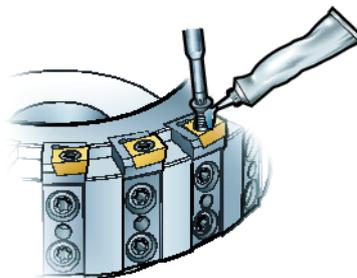
- Диабазовая плита
- Микрокатор
- Ключ 265.2-821
- Ключ 5680 048-07 (30IP)
- Динамометрический ключ
- Кассеты крепятся винтами с моментом затяжки 2 Нм.



1. Кассета
2. Эксцентрик
3. Ключ (для настройки эксцентрика)
4. Винт кассеты
5. Проставка
6. Ключ закрепления кассеты
7. Винт пластины
8. Ключ

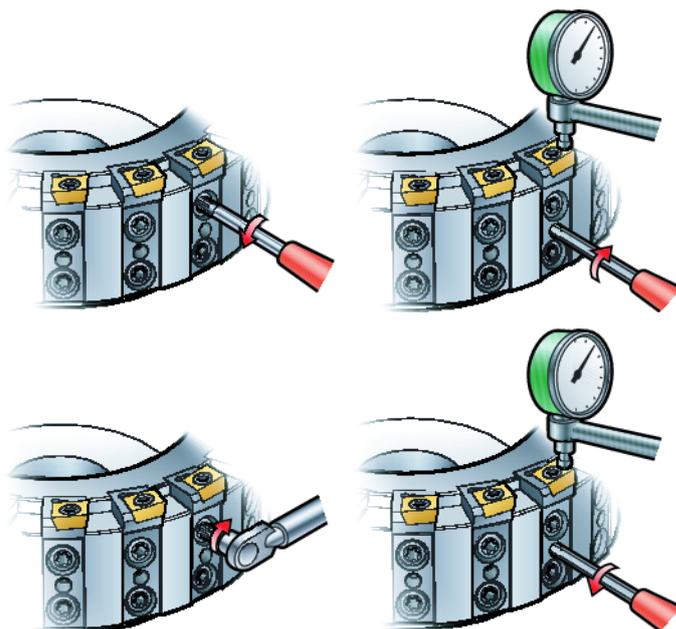
Установка

1. Нанесите смазку Molykote на головку и резьбу винта.
2. Очистите посадочные гнезда под пластины.
3. Убедитесь в наличии контакта между пластиной и гнездом по трем точкам.
4. Затяните винт пластины рекомендованным моментом, см. Основной каталог.



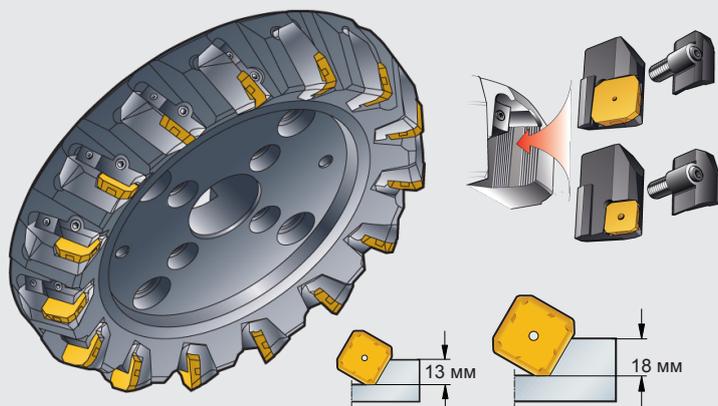
Настройка фрезы

1. Установите фрезу на диабазовую плиту.
2. Установите микрокатор с плоским наконечником так, чтобы он коснулся вершины режущей пластины.
3. Поворачивая эксцентрик, установите кассету так, чтобы микрокатор давал нулевое показание.
4. Затяните винт кассеты с рекомендованным моментом затяжки 2 Нм.
5. Ослабьте эксцентрик во избежание поломки при резании, которая может быть вызвана биением фрезы.



CoroMill® 360

Торцевая фреза для тяжелых условий обработки

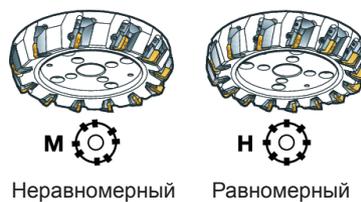


- Большой объем снимаемой стружки
- Диапазон подач 0.4-0.7 мм на зуб
- Обработка заготовок со сложной поперечной структурой и неравномерным припуском за один проход
- Сменные кассеты для крепления пластин разного размера в один и тот же корпус
- Рифленая поверхность крепления кассет для обеспечения максимальной надежности, точности и простоты обслуживания
- Возможность замены пластин и кассет на станке для сокращения вспомогательного времени



Диаметр фрезы (D_c), мм	160 – 500
Размер пластины (i_c), мм	Макс. глубина резания (a_p), мм
19	13
28	18
Материал	P M K S

Шаг фрезы



Геометрии пластин

ISO	H
P	-PH
M	-MH
K	-KH
N	
S	-MH
H	



Области применения



Торцевое фрезерование
D 57



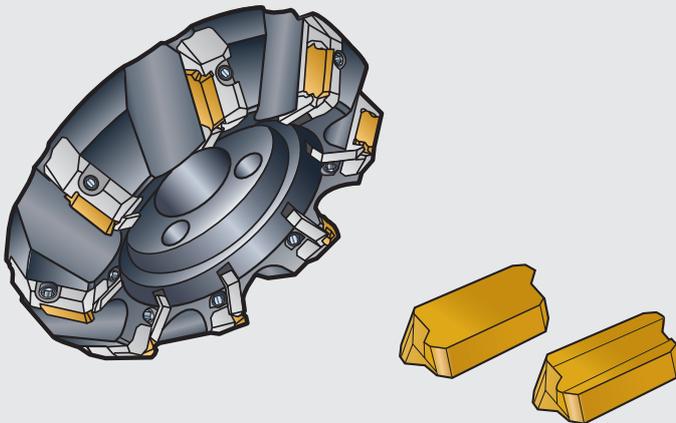
Прерывистое фрезерование
D 58



Фрезерование в тяжелых
условиях
D 62

T-Max® 45

Фреза для тяжелой обработки на мощных станках



– Угол в плане 45° и прочные пластины позволяют работать в тяжелых условиях, в том числе и с большим вылетом инструмента

– Пластины имеют параллельную ленточку длиной 2 мм и дополнительные режущие кромки, которые режут при появлении припуска внутри диаметра фрезы

– Настройка пластин в осевом направлении с точностью 5 мкм

– Пластины Wiper для чистовой обработки



Диаметр фрезы (D_c)	100 – 400
Макс. глубина резания (a_p), мм	12
Материал	

Геометрии пластин

ISO	M	H	W *)
P	-31, -32	-11	-1W
M	-31, -32	-11	-1W
K	-31, -32	-11	-1W
N		-11	
S	-32	-11	
H	-31, -32	-11	-1W

*) W = Wiper

Установка и настройка

Для облегчения работ по настройке необходима описанная ниже оснастка.

Оснастка заказывается у Sandvik Coromant отдельно:

1. Ключ для байонетной шайбы (260.7-857)
2. Ключ для перезакрепления опорной пластины (260.7-855)
3. Шестигранный ключ (174-815)
4. Рычаг (260.7-856M)

Оснастка, заказываемая не у Sandvik Coromant:

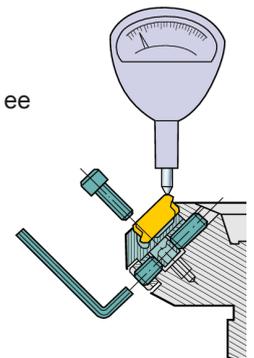
1. Индикаторная стойка
2. Калибр (шаблон)
3. Динамометрический ключ
4. Molycote
5. Средство для очистки

Оснастка, поставляемая с фрезой T-Max 45:

1. Ключ (265.2-821)
2. Рычаг

Осевая настройка

Фреза настраивается с точностью 5 мкм. Осевая настройка выполняется двумя винтами, упирающимися в выступ на опорной поверхности гнезда-вставки. При повреждении гнезда-вставки ее можно заменить, не сбивая настройки.



Области применения



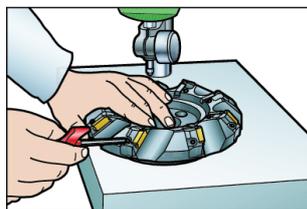
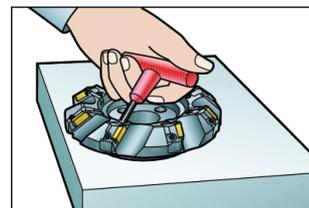
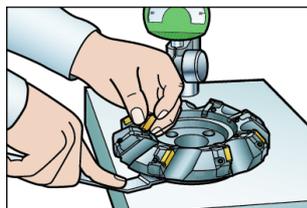
Общее торцевое фрезерование
D 57



Прерывистое фрезерование
D 58

Разборка

1. Для снятия пластин, используйте рычаг.
2. Ослабьте регулировочный винт на два оборота, используйте Т-образный ключ.
3. Извлеките стопорный винт, используя Т-образный ключ.
4. Переверните фрезу и ослабьте контргайку.
5. Ослабьте вспомогательный винт на два оборота, используйте ключ для крепления гнезда-вставки.
6. Переверните фрезу, ослабьте механизм закрепления и извлеките гнездо-вставку.

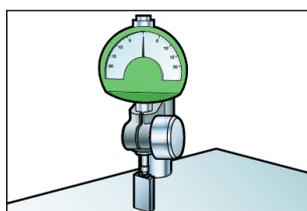


Сборка

1. Установите индикаторную стойку (при помощи мерных плиток) в размер 62.98 мм.
2. Ослабьте механизм закрепления и установите гнездо-вставку в свое гнездо.
3. Затяните стопорный винт моментом 9 Нм, используя Т-образный ключ. Убедитесь, что гнездо-вставка точно установлена в гнездо.
4. Закрепите эталонную пластину.
5. Предварительно настройте гнездо-вставку и эталонную пластину с точностью 10 мкм, используя винт.
6. Ослабьте крепление пластины и сильно вдавите пластину в гнездо. Продолжайте предварительную настройку до +20 мкм.
7. Окончательно настройте эталонную пластину до ± 2.5 мкм, используя динамометрический ключ моментом 9 Нм.

Замечание: Если точность 0 ± 2.5 мкм не достигнута, начальное значение должно быть увеличено с +20 мкм до 25-30 мкм. Повторите окончательную настройку.

8. Переверните фрезу и закрепите контргайку.
Примечание: при настройке должна использоваться одна и та же режущая кромка эталонной пластины, потому что зачистные фаски могут иметь разные допуски.



Запчасти и принадлежности см. в "Основном каталоге".

Точность

Пластина: ± 13 мкм

Гнездо-вставка: ± 10 мкм

Погрешности
настройки: ± 5 мкм

Фрезы T-Max 45, поставляемые со склада имеют максимальный допуск $5+26 = 31$ мкм.

При замене одного или более гнезда-вставки без дополнительной настройки, максимальный допуск составляет $5+26+20 = 51$ мкм.

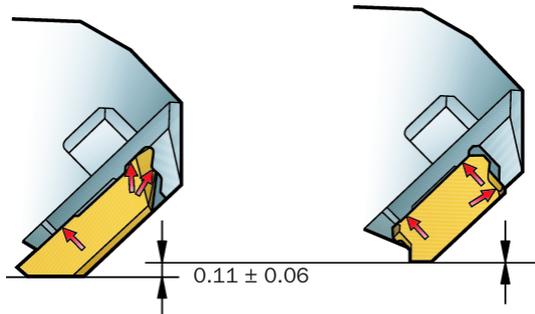
Настройка пластин

Пластины спроектированы для своих посадочных гнезд.

Примечание: не устанавливайте пластины LNCX в гнезда для пластины Wiper.

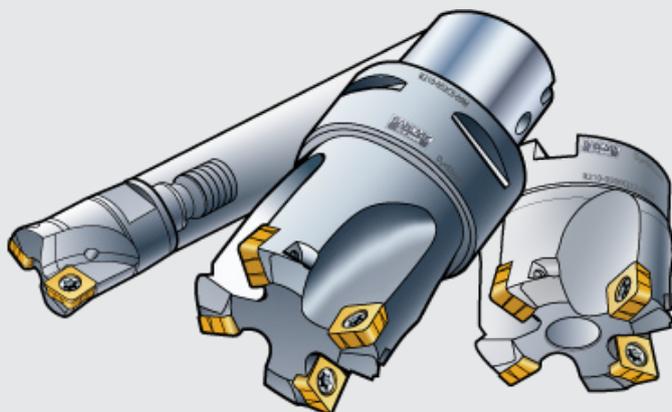
Пластина Wiper в правильном гнезде

Пластина LNCX в правильном гнезде



CoroMill® 210

Фреза для черновой обработки с возможностью работы с большими подачами



- Усилия резания направлены вдоль оси шпинделя, обеспечивая стабильность обработки, исключая риск возникновения вибраций и отжима инструмента.
- Первый выбор для операций обработки с большим вылетом
- Высокопроизводительное плунжерное и торцевое фрезерование
- Благодаря главному углу в плане равному 10° обеспечивается образование стружки небольшой толщины, что позволяет в четыре раза увеличить подачу на зуб при тангенциальной обработке.
- При плунжерной обработке и постоянной максимальной толщине стружки риск возникновения вибраций пропорционален величине радиуса при вершине пластины

	Coromant Capto®		Крепление на оправке		Цилиндрический хвостовик	MSSC
Диаметр фрезы (D_3), мм	36 – 66	52 – 86	50 – 63	63 – 160	25 – 42	25 – 42
Пластина, мм	9	14	5	14	9	9
a_e / a_p (мм)	8/1.2	13/2	8/1.2	13/2	8/1.2	8/1.2
Материал						

Геометрии пластин

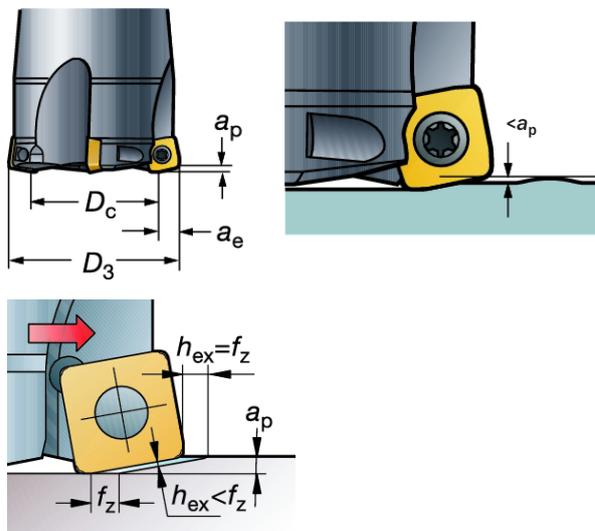
ISO	M
	M-PM, E-PM
	M-MM, E-MM
	M-KM, E-KM
	E-MM, M-MM, E-KM
	M-PM, E-PM

Рекомендации по выбору оборудования

- Станки с конусом ISO50 соответствующих габаритных размеров.
- Станки с конусом ISO40 небольшим значением оборотов шпинделя в минуту с некерамическими подшипниками.

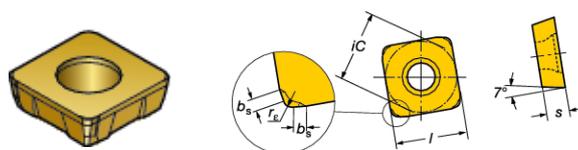
Методы фрезерования, исключающие образование волнообразной поверхности и неполноту съёма припуска при торцевом фрезеровании

- Если a_e превышает D_c , образуется волнообразная поверхность.
- Максимальное значение a_p превышает при фрезеровании волнообразных поверхностей, следует избегать подобной обработки.
- Максимальное значение a_p не должно быть превышено.
- При обработке волнообразной поверхности значение подачи рекомендуется уменьшить на 50%.
- Получение плоской поверхности возможно только при a_e меньшей или равной D_c .



Фрезерование плоской поверхности последовательными проходами

Диаметр фрезы (D_3), мм	Диаметр резания, (D_e), для обработки плоской поверхности	
	iC 09 (D_c), мм	iC 14 (D_c), мм
25	10.9	-
32	17.9	-
36	21.9	-
42	27.9	-
50	35.9	-
52	37.9	28
63	48.9	39
66	51.9	42
80	65.9	56
82	67.9	58
100	-	76



Размеры, мм

$l = iC$	s	r_e	a_p	a_e	b_s
9.4	4.0	1.2	1.2	8	1.0
14.5	4.76	1.2	2.0	13	1.0

Области применения



Фрезерование с высокой подачей
D 60



Плунжерное фрезерование
D 116



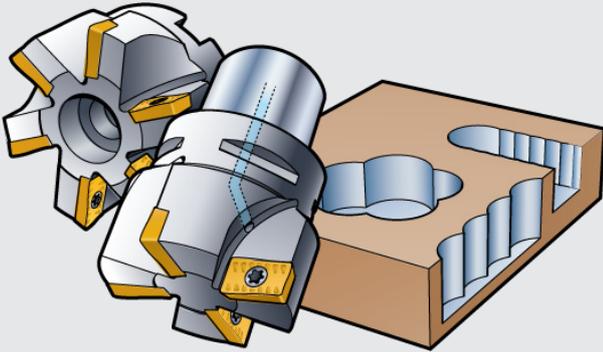
Круговая интерполяция
D 105



Фрезерование с врезанием под углом
D 104

Плунжерная фреза Coromill

Экономичная по мощности фреза для снятия большого объема материала



- Дополнение к фрезе CoroMill 210 для увеличения ширины резания.
- Высокопрочная пластина со спиральной режущей кромкой, обеспечивающая снятие большого объема материала при высокой плавности резания.
- Усилия резания, направленные вдоль оси шпинделя, оказывают минимальную нагрузку на шпиндель станка и облегчают обработку с большим вылетом инструмента.
- Надежная конструкция.
- Рекомендуется к использованию на станках с конусом ISO 50 или схожих с ними.

	Соединение Coromant Capto®	Крепление на оправке
		
Диаметр фрезы (D_C), мм	80 – 85	100 – 160
Максимальное (a_e), мм	22	22
Материал		

Геометрии пластин

ISO	M
P	-PM
M	-PM
K	-PM
N	-PM
S	-PM
H	-PM

Высокая производительность

- Высокая прочность режущей кромки, спиральная конструкция которой позволяет увеличить объем снимаемого материала.
- Быстрота обработки обеспечивается за счёт большого размера пластин.

Превосходный отвод стружки

- Конструкция пластины и большие стружкоотводящие канавки обеспечивают превосходную эвакуацию стружки из зоны резания.

Уменьшение шума и энергопотребления

- Прочный корпус и спиральная конструкция режущей кромки обеспечивают плавность и уменьшают уровень шума в процессе резания.
- Снятие большого объема материала без повышения мощности.

Области применения



Плунжерное фрезерование
D 116

Уменьшение нагрузки на шпиндель станка

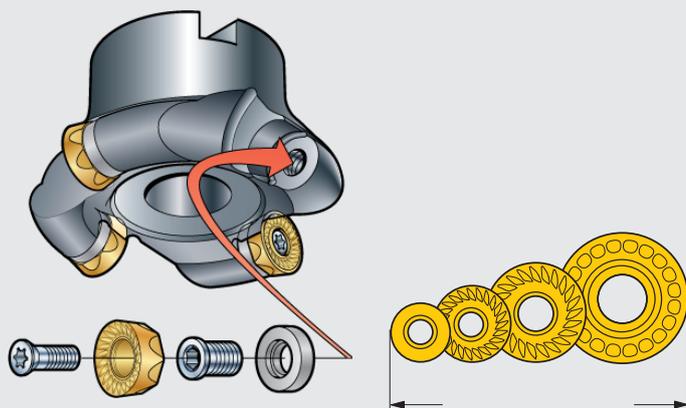
- Усилия резания направлены вдоль оси шпинделя, обеспечивая стабильность обработки, исключая риск возникновения вибраций и отжима инструмента.

Максимальная стабильность

- Для достижения наилучших результатов рекомендуется выбирать фрезы с минимальной длиной, l_1 , и наибольшим возможным диаметром, D_C ,
- Для улучшения стабильности процесса рекомендуется применять инструмент с креплением Coromant Capto.

CoroMill® 200

Надёжная многоцелевая фреза для черновой обработки в сложных условиях

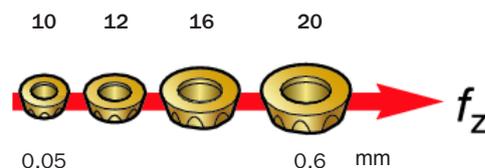


- Прочные режущие кромки с высокой сопротивляемостью ударным нагрузкам, (обработка отверстий, выемок и т.д.) и/или абразивному износу
- Пластины с геометрией оптимизированной для снятия большого объема стружки - большие a_p и f_z
- Для больших станков с повышенной жесткостью и мощностью
- Рекомендуется к применения на станках с конусом ISO 50 (40)
- Требуется жесткого закрепления заготовки в приспособлении

	Цилиндрический хвостовик	Крепление на оправке
		
Диаметр фрезы (D_3), мм	25 – 50	50 – 160
Пластина (i_c), мм	Макс. глубина резания (a_p), мм	
10	5	5
12	6	6
16	8	8
20	10	10
Материал		

Геометрии пластин

ISO	L	M	H
P	-PL	-PM	-PH
M	-ML	-MM	-MH
K	-KL	-KM	-KH
N	-PN	-PM	
S	-SL	-SM	
H	-HL		



Области применения – CoroMill® 200 и CoroMill® 300



Торцевое фрезерование
D 57



Профильное фрезерование
D 68



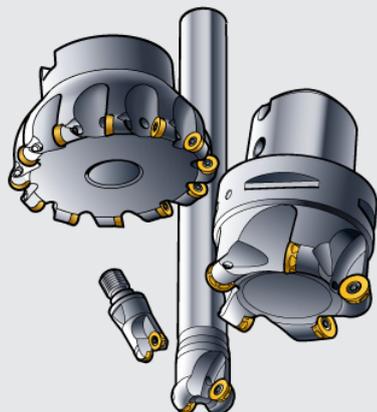
Линейное фрезерование и
врезание под углом
D 104



Винтовая интерполяция
D 105

CoroMill® 300

CoroMill® 300 – универсальные концевые и торцевые фрезы, обеспечивающие плавное резание



Широкий диапазон фрез для высокопроизводительной черновой и чистовой обработки.

- Пониженные требования к мощности оборудования позволяют вести обработку на станках небольшой мощности.
- Плавный процесс обработки с мягкими входом и выходом из резания и отсутствием вибраций при использовании удлиненных инструментальных наладок.
- Шлифованные пластины для достижения высокой точности обработки.
- Концевые и торцевые фрезы положительного или нейтрального исполнения, а также тороидальные фрезы нейтрального исполнения.
- Пластины величиной до iC 20 мм для черновой обработки в тяжелых условиях с высокой эффективностью (8 поворотов пластины).



Пластины (iC), мм

05 07 07 08 10 12 16 20

Нейтральное исполнение/тороидальные концевые фрезы

Диаметр (D_3), мм

10 – 32

Макс. глубина резания (a_p), мм

0.7 1.0 1.5 1.2 2.0 5.0 8.0

Конструкция с положительной установкой пластин

*) Диаметр (D_3), мм

10 – 200

Макс. глубина резания (a_p), мм

4.0 5.0 6.0 8.0 10.0

Концевые фрезы

25 – 40

Торцевые фрезы

- соединение Coromant Capto
- крепление на оправке

35 – 100
40 – 200

Концевые фрезы нейтрального исполнения со сменными головками

10 – 42

Конструкция с положительной геометрией для концевых и торцевых фрезерования

- Концевые фрезы с возможностью резания во всех направлениях, многокоординатной обработки сложных поверхностей.
- Фрезы небольшого диаметра с сверхмелким шагом зубьев и положительной геометрией обеспечивают плавность резания при высоких значениях скорости резания и минутной подачи.

Геометрии пластин

ISO	L	M	H
P	-PL	-PM	-PH
M	-ML	-MM	-MH
K	-KL	-KW	-KH
N	-PL	-PM	
S	-ML	-MM	-MH
H	-PL	-PM	

Области применения

Аналогично CoroMill 200, см. страницу 161.

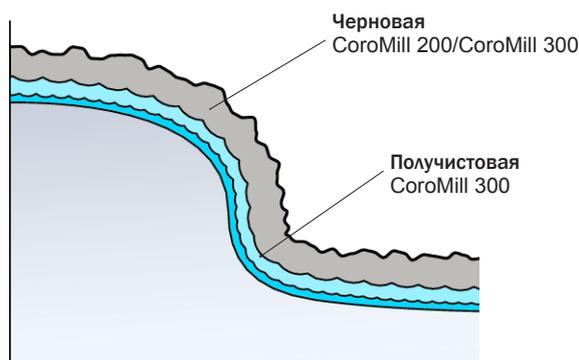
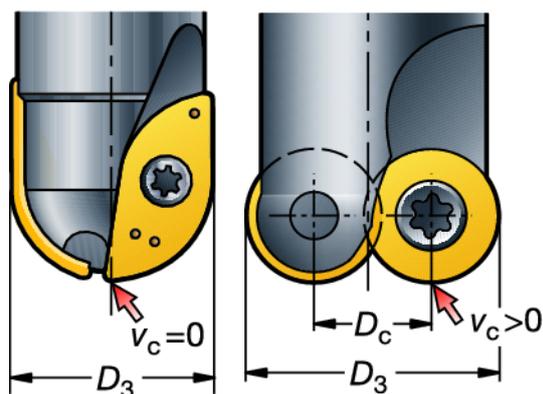
Тороидальные фрезы нейтрального исполнения

Концевые фрезы тороидального исполнения имеют конструкцию корпуса с двумя пластинами расположенными так, что каждая пластина частично или полностью перекрывает ось инструмента.

Данная конструкция исключает нежелательный при обработке процесс резания центром инструмента, когда для фрез со сферическим концом скорость резания уменьшается до нулевого значения.

Часть тороидальной фрезы, находящаяся в резании, ни в одной своей точке не имеет нулевого значения скорости резания.

Всегда подсчитывайте реальную скорость резания, v_c . Для получения дополнительной информации см. раздел "Профильная обработка" на стр. D76.



Высокая надежность процесса при фрезеровании узких карманов.

- Концевые фрезы небольшого диаметра со всеми типами хвостовиков.
- Фрезы тороидального исполнения могут в значительной степени повысить производительность обработки и рекомендуются для легкого чернового фрезерования, снятия остаточного припуска при обработке карманов и получистового фрезерования.
- Высокая производительность при плунжерном фрезеровании и фрезеровании с врезанием под углом.
- Первый выбор для профильного фрезерования при обработке профиля близкого к окончательной форме предварительным снятием постоянного по величине припуска.
- Низкий риск возникновения вибраций даже при использовании нежесткой наладки с большим вылетом.

При стабильных и безопасных условиях для повышения производительности тороидальные фрезы для различных операций могут быть заменены фрезами со сферическим концом.

- Решение превосходящее по производительности копировальную обработку трехмерных поверхностей.
- Большая величина снимаемого радиального припуска требует меньшее количество проходов.
- Высокая эффективность инструмента - до шести режущих кромок на пластине.



- Тороидальная форма фрезы позволяет при небольшой глубине резания увеличить подачу на зуб, так как резание осуществляется периферийной частью инструмента.
- Наилучшая шероховатость обрабатываемой поверхности.

CoroMill® 216 со сферическим концом

Для черновой и получистовой профильной обработки



M	D_3	+0.07 -0.23
E	D_3	+0.0 -0.20



- Фреза с двумя зубьями для высокопроизводительного и профильного фрезерования
- Глубина резания до 44 мм
- Подача на зуб до 0.6 мм

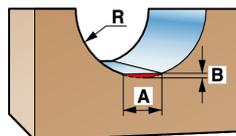
Варианты пластин

- M - обеспечивают высокий уровень надежности работы фрезы и воспринимают высокую нагрузку на режущую кромку
- E - имеют острую режущую кромку и предназначены для достижения высокой точности получистовой обработки

	Цилиндрический хвостовик	Weldon	Сменные головки
Диаметр фрезы (D_3), мм	10 – 32	12 – 50	10 – 32
Макс. глубина резания (a_p), мм	8.6 – 28.6	10.8 – 44.6	8.6 – 28.6
Обрабатываемый материал			

Геометрии пластины

ISO	M
P	-M
M	-M
K	-M
N	-M
S	-M
H	-M



Ограничения

При фрезеровании паза профиль основания не имеет идеальную форму. Погрешность формы поверхности в виде лыски в месте, где фреза работает своим центром, снижается до минимума при использовании пластин с геометрией -E.

Точность режущей кромки

-M			-E		
R	A	B	R	A	B
5	-	-	5	0.15	<0.01
6	1.4	0.07	6	0.15	<0.01
8	1.7	0.09	8	0.15	<0.01
10	2.2	0.12	10	0.15	<0.01
12.5	3.0	0.1	12.5	0.15	<0.01
15	3.9	0.20	15	0.15	<0.01
16	3.5	0.22	16	0.15	<0.01
20	3.6	0.24	20	0.15	<0.01
25	3.8	0.26	25	0.15	<0.01

Области применения



Профильная обработка
D 68



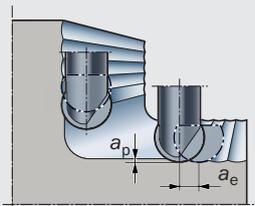
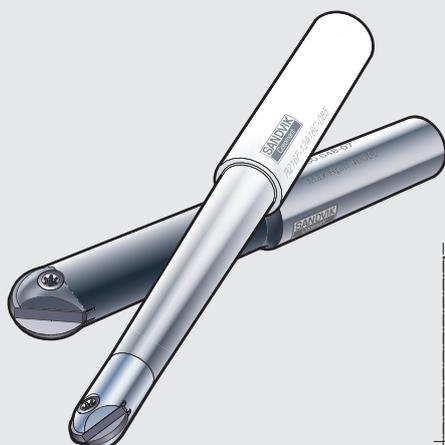
Фрезерование с врезанием
D 104



Фрезерование пазов
D 86

CoroMill® 216F со сферическим концом для чистовой обработки

Высокоточная профильная обработка



- Исполнение подобное цельнотвердосплавным концевым фрезам
- Стальной хвостовик для общей контурной обработки
- Жесткий твердосплавный хвостовик для обеспечения высоких точностных требований к обработанной поверхности
- Фрезерование заготовок с минимальным припуском под обработку
- Пластины для профильного фрезерования закаленных сталей

Цилиндрический хвостовик



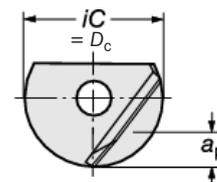
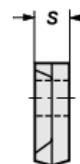
Диаметр фрезы (D_c), мм	8 – 32						
Размер пластин (iC), мм	8 10 12 16 20 25 30 32						
Допуск (iC), мм	+ 0/- 0.016						
Макс. глубина резания (a_p), мм	1.2 1.5 1.8 2.4 3.0 3.7 4.5 4.5						
Обрабатываемый материал	<table border="1"> <tr> <td>P</td> <td>M</td> <td>K</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>S</td> <td>H</td> </tr> </table>	P	M	K	N	S	H
P	M	K					
N	S	H					

Геометрии пластины

ISO	L
P	-L
M	-L
K	-L
N	-L
S	-L
H	-L

Исполнения пластин

R216F-xxx E-L геометрия пластин для чистовой обработки стали, нержавеющей стали и серого или чугуна с шаровидным графитом, алюминия, графита и износостойкого графита.



Примечание:

При использовании точной техники программирования обработки, на многих операциях, чистовые фрезы со сменной пластиной обеспечивают такую же высокую точность и качество обработки, как и цельные фрезы, зачастую на гораздо более высоких подачах.

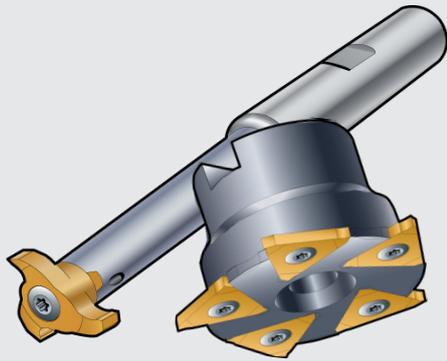
Области применения



Профильная обработка
D 68

CoroMill® 327 и CoroMill® 328

Универсальные инструменты различных диаметров и шагов для обработки невращающихся деталей



CoroMill® 327

- Прорезание внутренних канавок, фрезерование пазов и резьбофрезерование в отверстиях диаметром свыше 10 мм
- Простота и надежность торцевого крепления пластин
- Внутренний подвод СОЖ для облегчения отвода стружки

CoroMill® 328

- Прорезание наружных канавок, фрезерование пазов и резьбофрезерование
- Прорезание внутренних канавок, фрезерование пазов и резьбофрезерование в отверстиях диаметром свыше 39 мм
- Сменные пластины для высокопроизводительной, рентабельной обработки
- Пластины установлены в гнездах для безопасного и стабильного закрепления

CoroMill® 327



Обработка канавок и канавок под стопорные кольца *



Обработка канавок под стопорные кольца с фаской *



Обработка радиусных канавок



Снятие фасок



Резьбофрезерование

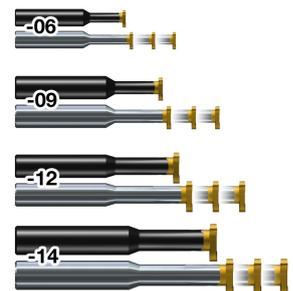


	Обработка канавок и канавок под стопорные кольца *	Обработка канавок под стопорные кольца с фаской *	Обработка радиусных канавок	Снятие фасок	Резьбофрезерование
Диаметр инструмента (D_c)	9.7 – 27.7	21.7	11.7 – 21.7	11.7 / 21.7	11.7 – 21.7
Макс. глубина резания (a_r), мм	6.5	2.0	4.5	1.7	2.5
Макс. ширина резания (l_a), мм	0.7 – 5.15	1.1 – 4.15	1.0 – 4.0	1.2 / 2.0	
Радиус (r_e)	0, 0.1, 0.2	0.1, 0.2	0.5 – 2.0	Без радиуса	
Количество пластин (z_n)	3, 6	3	3	3	3, 6
Обрабатываемый материал					
Профиль					Шар 1 – 4.5 V-профиль 60° (неполный профиль) Метрическая 60° (полный профиль) Whitworth 55° (полный профиль)

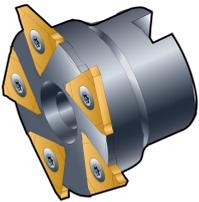
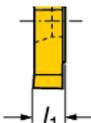
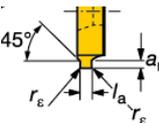
Стальные или цельнотвердосплавные хвостовики

CoroMill 327 выполняется со стальным или цельнотвердосплавным хвостовиками четырех типоразмеров длиной от 74 до 160 мм. Область применения:

- Стальные хвостовики для общей обработки при хороших условиях резания.
- Цельнотвердосплавные хвостовики для достижения низкого отклонения инструмента, позволяющие обеспечивать большие вылеты и снижать вибрации при обработке.



CoroMill® 328

	Обработка канавок под стопорные кольца *	Обработка канавок под стопорные кольца с фаской *	Резьбофрезерование
			
Диаметр инструмента (D_c), мм	39 – 80	39 – 80	39 – 80
Макс. глубина резания (a_r), мм	3.0 – 5.0	3.0	3.2
Макс. ширина резания (l_a), мм	1.3 – 5.15	1.1 – 5.15	
Радиус (r_e)	0.1, 0.15	0.1, 0.15	Без радиуса
Количество пластин (z_n)	2, 3, 5, 8	2, 3, 5, 8	2, 3, 5, 8
Обрабатываемый материал			
Профиль			Шаг 1.5 – 6 V-профиль 60°

*) Для CoroMill 327 и CoroMill 328 - ширины и допуски указываются по DIN 471/472.

Коррекция на радиус

В случае, когда программируется подача центра инструмента, периферийная подача может быть слишком высока.

Убедитесь, что программа учитывает коррекцию на радиус инструмента, для того, чтобы правильно задать подачу.

За дополнительной информацией о программировании при резьбофрезеровании обратитесь к разделу Фрезерование пазов на странице D 98.

Обслуживание инструмента - CoroMill® 327

Очистите посадочное место перед использованием для обеспечения максимальной поверхности соприкосновения с пластиной.

В случае использования нового хвостовика несколько раз закрепите и раскрепите пластину винтом перед использованием.

Области применения



Прорезание неглубоких пазов и канавок
D 86



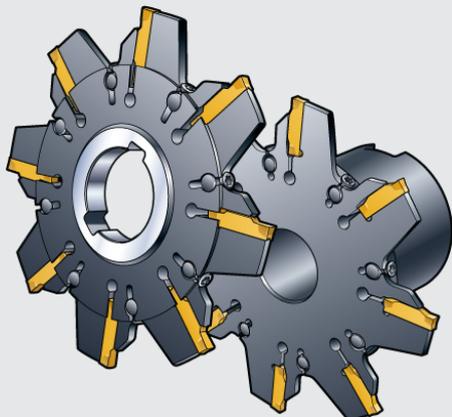
Резьбофрезерование
D 95



Снятие фаски
D 126

CoroMill® 329

Инструмент для обработки канавок



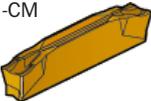
- Первый выбор для глубины резания ≤ 18 мм
- Универсальный инструмент для изготовления точных пазов, канавок с прямолинейным дном и отрезки
- Пластины, установленные по линии, обеспечивают отличную эвакуацию стружки на высоких подачах

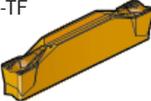


Диаметр фрезы (D_c), мм	125 – 160
Макс. ширина резания (a_p), мм	2.5 – 4.0
Макс. глубина резания (a_r), мм	18
Обрабатываемый материал	

Рекомендации по выбору геометрии пластин

CoroMill 329 используется с двухсторонними пластинами CoroCut с V-образной направляющей.

-CM  Первый выбор -CM геометрия для всех материалов.

-TF  Хороший контроль за стружкообразованием и чистой поверхности благодаря эффекту *wiper* (наличие зачистной кромки).



Во фрезе CoroMill 329 для надежного и безопасного закрепления пластины применяется крепление винтом. Поместите большой палец на пластину и нажатием поместите пластину в посадочное гнездо. Используйте отвертку (Torx Plus) для закрепления (раскрепления) пластины.

Области применения



Прорезание неглубоких пазов и канавок D 90

T-Max® Q-Cutter

Фрезы для прорезки пазов и отрезки



- Дополнительный инструмент для прорезки узких пазов, канавок с прямолинейным дном и отрезки
- Пластины, установленные по линии, обеспечивают отличную эвакуацию стружки на высоких подачах
- Дополнительный инструмент для глубокой отрезки

Tailor Made

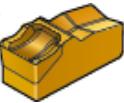
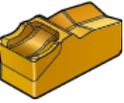
- Существует возможность изготовления инструмента с требуемыми изменениями

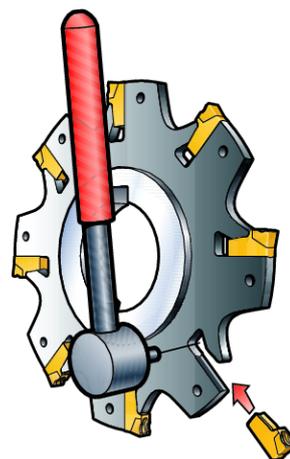


Диаметр фрезы (D_c), мм	80 – 315
Макс. ширина резания (a_p), мм	6.0
Макс. глубина резания (a_r), мм	119
Обрабатываемый материал	

Рекомендации по выбору геометрии пластин

T-Max Q-Cutter используется с пластинами Q-Cut.

- AA  Предпочтительно использовать точные пластины 330.20 AA, геометрия и сплав которых предназначены для выполнения фрезерных операций.
- 4E  Используйте N151.2-4E для низкоуглеродистых сплавов.
- 5E  Используйте N151.2-5E для меди и алюминия.



Используйте специальный ключ для быстрой установки пластины.

Области применения



Прорезка пазов
D 86

CoroMill® 331

Широкоуниверсальная торцево-цилиндрическая фреза для точной обработки



Лёгкость настройки инструмента

– Подпружиненные кассеты обеспечивают простоту регулировки по ширине

– Фрезы поставляются с допуском по ширине 0.01 мм. Для достижения меньшего допуска используйте пластины с допуском E

– Круглые варианты исполнения пластин и широкий ассортимент радиусов

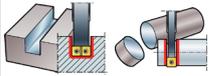
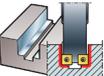
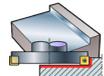
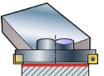
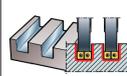
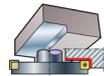
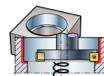
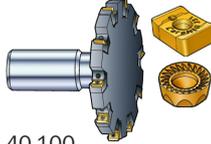
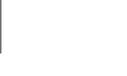
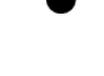
– Пластины с 8 кромками для торцевых операций. Угол в плане 88°

– Нормальный шаг, фиксированное положение пластин

– Хороший отвод стружки благодаря большому объему стужечных канавок

Обозначение инструмента см. на стр. D 177.

Операции

Фреза и тип пластины Диаметр фрезы (D _c) мм	Макс. ширина резания (a _p), мм	Прорезка пазов/ Отрезка	Двойное двухстороннее фрезерование	Фрезерование уступов	Торцевое фрезерование	Фрезерование набором фрез	Фрезерование поднутрений	Расфрезерование
N331.35...S...  40 – 125	10							
N331.32...S...  80 – 315	26.5							
N331.32...Q...  80-315	26.5							
N331.32...A...  40-100	10							
N331.52...S...  200-315	33.8							
N331.32...Q... N331.32...S...  60-315	10.1							

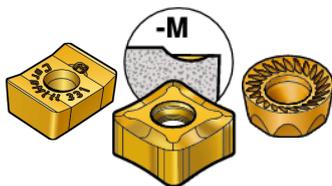
Геометрия пластин и сплавы

Большие положительные углы



Лёгкая

Обработка с небольшим припуском
Низкие усилия резания
Малые подачи
Жесткий допуск



Средняя

Универсальна для большинства случаев обработки

Усиленная режущая кромка



Тяжёлая

Тяжелое фрезерование
Наивысшая надежность
Большие подачи

Геометрии пластин

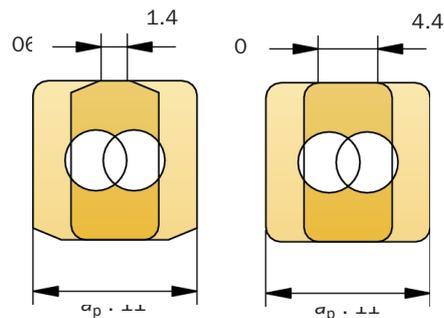
ISO	L	M	H
P	-PL	-PM	-PH
M	-ML	-MM	
K	-KL	-KM	-KH
N	-NL		
S	-ML	-MM	
H	-PL	-PM	-PH

Уменьшение длины режущей кромки для Tailor Made пластин

При обработке паза работайте фрезой, настроенной на наименьшую в диапазоне ширину реза. При этом существует опасность появления зарезов.

Уменьшение длины режущей кромки приведет к уменьшению длины её контакта с заготовкой. Это в свою очередь обеспечит лучший контроль за стружкообразованием и на 10% снизит затраты мощности станка.

Tailor Made пластины с измененной длиной режущей кромки доступны по заказу.

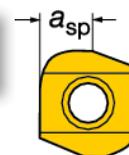


Tailor Made пластина с уменьшенной длиной режущей кромки

Стандартная пластина размером 08

Вычисление длины режущей кромки:

$$a_{sp} = \frac{a_p}{2} + 0.2$$



Дополнительная информация о фрезях CoroMill 331 указана: Фрезерование пазов с использованием маховика см. на стр. D 89. Фрезерование поднутрений на закрытых уступах, страница D49.

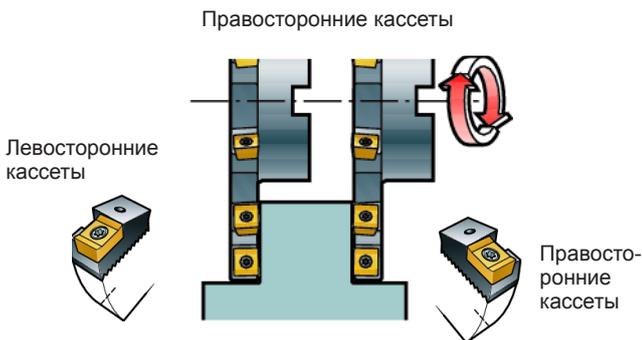
Размер пластины	2-кромочные Радиус пластины, r_e							Размер пластины	8-кромочные Радиус пластины, r_e	
	0.5	0.8	1.52	2.29	3.05	4.83	6.35		0.8	2.0
04								13		
05										
08										
11										
14										

Форма пластин

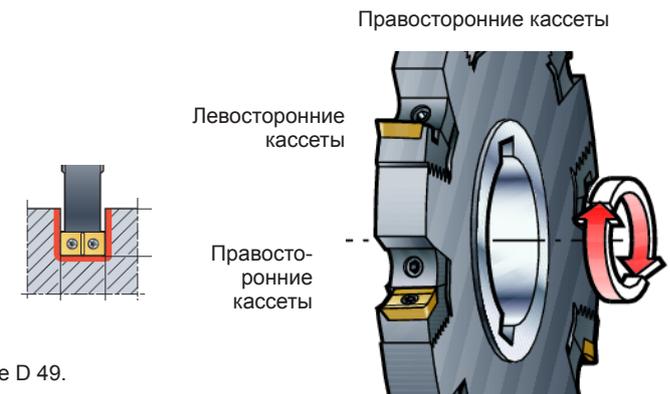
Большинство пластин выполняется в нейтральном исполнении (N). Скругленные пластины выполняются также нейтральными, но, в случае, когда радиус велик, также выпускаются в левостороннем (L) или правостороннем (R) исполнениях.

Корпуса фрез, кассеты и пластины в различных сочетаниях для выполнения всех операций

Двухстороннее фрезерование



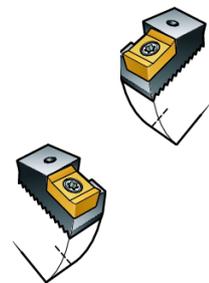
Трехстороннее фрезерование



Дополнительная информация о выборе пластин указана на странице D 49.

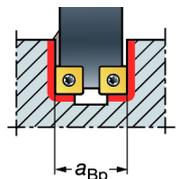
Кассеты для пластин с радиусом менее 1.55 мм

Ширина	Размер пластины	Левосторонние кассеты	Левосторонние кассеты
CM, 6-8	04	5321 240-15	5321 240-16
DM, 8-10	05	5321 240-13	5321 240-14
EM, 10-12	08	5321 240-01	5321 240-02
FM, 12-15	08	5321 240-03	5321 240-04
KM, 15-17.5	11	5321 240-07	5321 240-08
LM, 17.5-20.5	11	5321 240-07	5321 240-08
QM, 20.5-23.5	14	5321 240-09	5321 240-10
RM, 23.5-26.5	14	5321 240-09	5321 240-10
QM, RM с квадратными пластинами	13	5321 260-01	5321 260-02



Кассеты для двухстороннего и торцевого фрезерования

	Ширина (a_{BP}), мм	Размер пластины	Правосторонние кассеты	Левосторонние кассеты
MM, MMR/L a_{BP}	27.2-30.2	11	5321 240-05	5321 240-06
NM, NMR/L a_{BP}	30.8-33.8	11	5321 240-07	5321 240-08





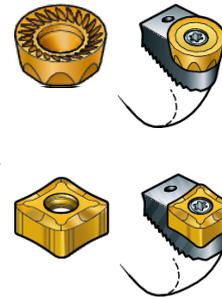
Кассеты для пластин с радиусом 1.55 - 6.50 мм

* Правосторонняя кассета = RC
Левосторонняя кассета = LC

x			A		B		D		E	
	Радиус пластин		1.55 - 2.60		2.61 - 3.50		4.51 - 5.50		5.51 - 6.50	
Корпус фрезы	Ширина (a _p), мм	Размер пластины	* RC	* LC						
	CMx	6.0-8.0	04	5321 240-15.11	5321 240-16.11	-	-	-	-	-
DMx	8.0-10.0	05	5321 240-13.11	5321 240-14.11	5321 240-13.22	5321 240-14.22	-	-	-	-
EMx	10.0-12.0	08	5321 240-01.11	5321 240-02.11	5321 240-01.22	5321 240-02.22	-	-	-	-
FMx	12.0-15.0	08	5321 240-03.11	5321 240-04.11	5321 240-03.22	5321 240-04.22	-	-	-	-
KMx	15.0-17.5	11	5321 240-07.11	5321 240-08.11	5321 240-07.22	5321 240-08.22	5321 240-07.44	5321 240-08.44	5321 240-07.55	5321 240-08.55
LMx	17.5-20.5	11	5321 240-07.11	5321 240-08.11	5321 240-07.22	5321 240-08.22	5321 240-07.44	5321 240-08.44	-	-
QMx	20.5-23.5	14	5321 240-09.11	5321 240-10.11	5321 240-09.22	5321 240-10.22	5321 240-09.44	5321 240-10.44	5321 240-09.55	5321 240-10.55
RMx	23.5-26.5	14	5321 240-09.11	5321 240-10.11	5321 240-09.22	5321 240-10.22	5321 240-09.44	5321 240-10.44	-	-
Коррекция радиуса корпуса фрезы			-		2.0		4.0		5.0	

Кассета для квадратных и круглых пластин

Корпус фрезы	Ширина (a _p), мм	Размер пластины	Нейтральная кассета	Коррекция радиуса корпуса фрезы
Круглые				
EMQ	10.0-12.0	10	5321 250-02	4
FMQ	12.0-15.0	12	5321 250-03	5
KMQ	15.0-17.5	16	5321 250-05	6
Квадратные				
QM, RM		13	Правосторонняя кассета 5321 260-01	Левосторонние кассеты 5321 260-02



Пример

Заказ фрезы для фрезерования паза шириной 14 мм и радиусом в углах паза 3 мм:

Диаметр фрезы должен быть 125 мм и типом крепления - отверстие со шпонкой.

1. Выбор фрезы

Код: N331.21-125S40FM 14.00

Эта фреза имеет 10 пластин и 10 соответствующих кассет.

2. Выбор кассеты

Из колонки таблицы "Кассеты для пластин с радиусом 1.55-6.50 мм" Вы видите, что буква "B" должна быть добавлена в код заказа фрезы:

N331.21-125S40FMB 14.00

Фреза заказанная с таким обозначением будет поставлена с 5 правосторонними кассетами, тип 5321240-03.22, и 5 левосторонними, тип 5321240-04.22. В данных кассетах могут быть использованы пластины радиусом 2.61-3.50 мм. Фреза будет настроена в размер 14 мм +/- 0.01 по ширине.

Примечание: В случае, если радиус пластин/кассет (для радиуса более r_ε 2.61 мм, и круглых пластин) используется в корпусе фрезы, изначально заказанном для пластин с меньшим

радиусом, то корпус фрезы должен быть изменен. Величина, на которую должен быть изменен корпус фрезы, указан в таблице - "Изменение радиуса корпуса фрезы".

Те же самые изменения должны быть выполнены и с кассетами, изначально заказанными для пластин меньшего радиуса. Более подробную информацию можно найти в Основном каталоге в разделе Комплектующие.

3. Выбор пластин

10 пластин размером 08 будут вставлены во фрезу. 5 штук из них будут фрезеровать левую сторону паза и 5 правую. В этом случае, при большом радиусе пластин, они будут левыми и правыми:

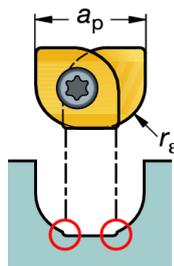
L331.1A-08 45 30 H-WL

R331.1A-08 45 30 H-WL

Ограничения при использовании пластин с большими радиусами скруглений

Фрезерование пазов

Размер пластины	Расчет - a_p
04	$a_p = r_e + 4.6$
05	$a_p = r_e + 6$
08	$a_p = r_e + 8$
11	$a_p = r_e + 11$



Отклонение от формы в основании паза.

Настраивая фрезу с пластинами большого радиуса скругления на наименьшую в диапазоне ширину, есть опасность появления зарезов при сопряжении с радиусом.

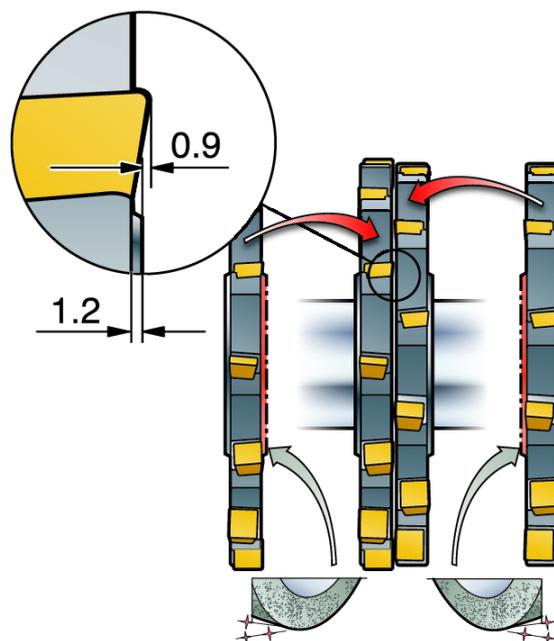
Набор фрез для обработки широких пазов

Фрезы с типом крепления "Отверстие со шпонкой" могут быть установлены вместе для фрезерования широкого паза. Предпочтительно использовать фрезы с двумя пазами под шпонки, чтобы зубья фрез располагались в шахматном порядке.

Дополнительную информацию можно найти в разделе Фрезерование пазов на странице D 90.

Совместная установка двух стандартных фрез

- Одну сторону ступицы каждой фрезы необходимо подшлифовать, как показано на рисунке.
- Ступица фрезы 1 должна быть подшлифована с правой стороны. Фреза 2 наоборот имеет стандартную ступицу с левой стороны и шлифованную с левой. Фрезы собираются вместе шлифованными сторонами внутрь.
- Торцы шлифуются на расстоянии 1.2 мм от корпуса. Пластины должны быть установлены на 0.9 мм шире от шлифованного торца для полного перекрытия.



Осевая ширина резания, a_p :

Большая ширина резания повышает стабильность работы фрезы, но, в то же время, обуславливает необходимость в обеспечении легкой эвакуации стружки.

Радиальная глубина резания, a_e :

Обычно, стандартные фрезы CoroMill 331 фрезеруют пазы, глубина которых не превышает ширину фрезы больше, чем в 4 раза.

Более глубокая обработка требует повышения эффективности отвода стружки. Поэтому возникает необходимость в изготовлении фрез Tailor Made или специальной фрезы с увеличенными стружечными канавками.

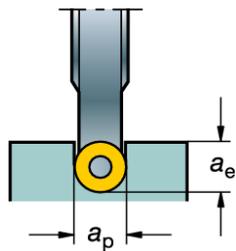
На глубину резания влияет диаметр оправки, на которой закреплена фреза, так как существует риск перегрузить шпонки на оправке.

Материал обрабатываемой заготовки в большой степени определяет требования к условиям обработки.

Улучшение эвакуации стружки

Рекомендации по обработке пазов круглыми пластинами

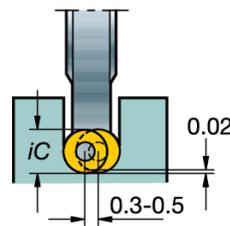
a_e макс. $iC/2$



Макс. осевая глубина резания a_p , = размер пластины ($iC/2$)
Макс. радиальная глубина резания a_e , = a_p

Примечание: Длина контакта режущей кромки с заготовкой 180° .

a_e более чем $iC/2$



$$z_{\text{eff}} = \frac{z_n}{2}$$

Для пазов глубже $iC/2$, рекомендуется смещение каждой пластины на 0.5 мм. Это приведет к расширению паза на 0.5 мм и уменьшит длину контакта каждой пластины до 90° , обуславливая тем самым лучшее формирование и отвод стружки, уменьшение вибраций и потребляемой мощности.

Количество эффективных зубьев, z_c :

Трёхстороннее фрезерование: $z_c = z_n/2$

Двухстороннее фрезерование: $z_c = z_n$

Taylor Made и специальные инструменты для широких пазов

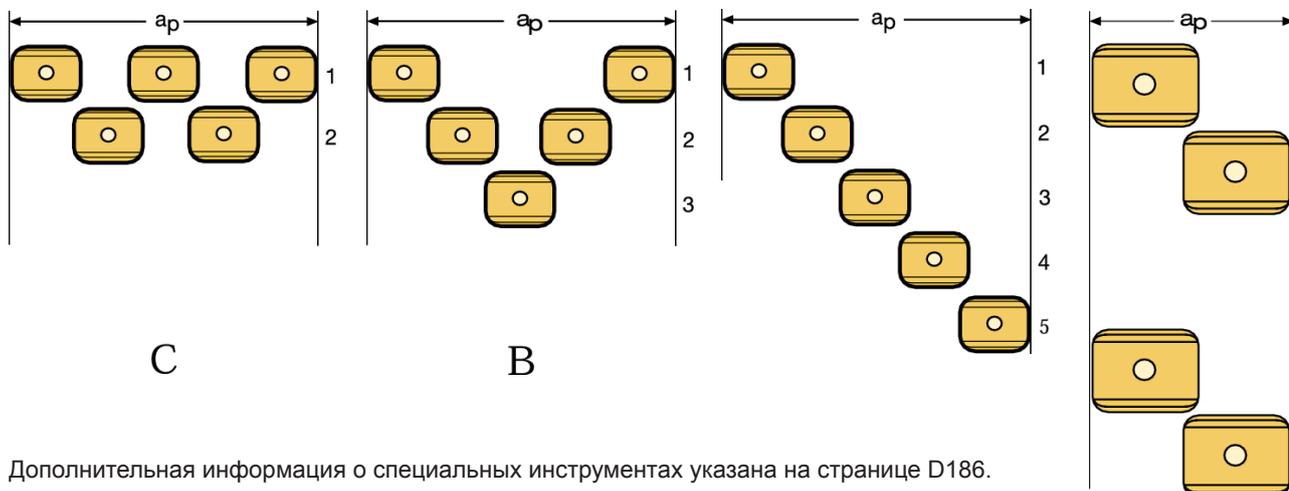
Стандартная фреза CoroMill 331 изготавливается максимум с двумя рядами эффективных зубьев.

По программе Taylor Made фрезы могут иметь до 14 пластин размером 8 мм (Ø8) в ряду эффективных зубьев, обеспечивая ширину фрезерования до 105 мм.

В рамках программы Taylor Made и в качестве специального инструмента существует возможность изготовить фрезу с необходимым расположением пластин.

Во фрезе может быть уменьшено количество эффективных зубьев для снижения усилий резания, подачи стола при сохранении значения подачи на зуб. Это актуально при применении инструмента на недостаточно жестком оборудовании, нежестком закреплении инструмента или заготовки, большом вылете инструмента.

Taylor Made и специальные фрезы



Дополнительная информация о специальных инструментах указана на странице D186.

Установка и регулировка

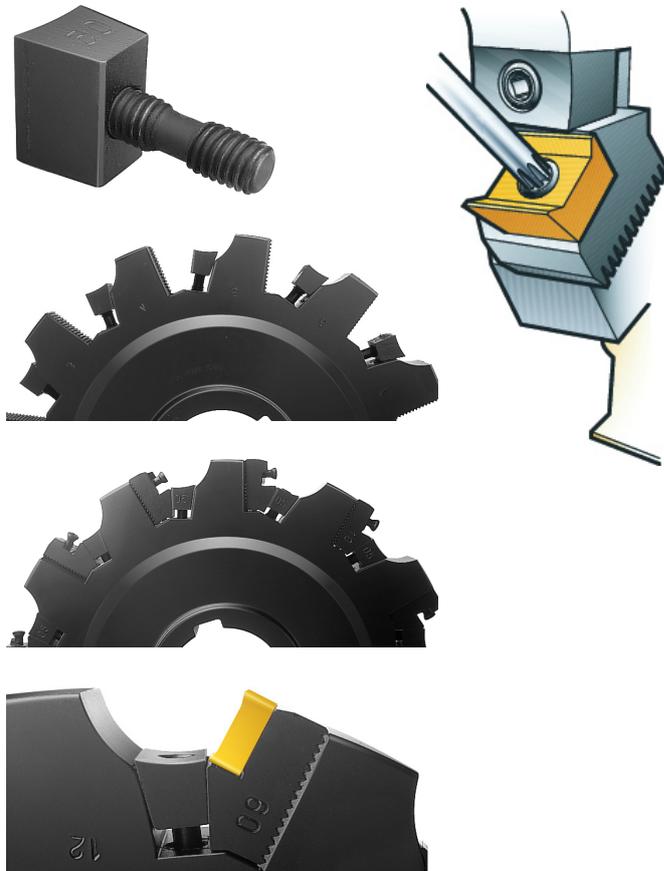
Необходимое оборудование:

- Индикатор
- Проектор

Установка

Примечание: Используйте эти инструкции, когда фреза полностью снята со станка для очистки или ремонта.

1. Нанесите смазку Molykote на заходную часть резьбы винта клина.
2. Предварительно закрепите винт с тыльной стороны клина.
3. Установите в корпус все клинья без затяжки винтов.
4. Нанесите смазку Molykote на винты режущих пластин.
5. Затяните винты пластин на 3-5 оборотов в cassette.
6. Установите cassette в корпус.
7. Убедитесь, что cassette полностью прилегают к гнезду корпуса.
8. Убедитесь, что все cassette установлены так, что их положение относительно клиньев в осевом направлении находилось в пределах ± 0.1 мм.
9. Закрепите клинья винтами, следуя рекомендованному моменту затяжки = 6 Нм.
(Для фрез диаметром менее 110 мм = 5 Нм).
10. Убедитесь в том, что винты клиньев не выступают.
11. Для фрез диаметром 127 мм и менее, необходимо проверить, не выступают ли винты со стороны посадочного диаметра.
12. Ослабьте винты клиньев.
13. Затяните все винты клиньев, соблюдая рекомендованный момент затяжки = 4 Нм.
(Для фрез диаметром менее 110 мм = 3 Нм).



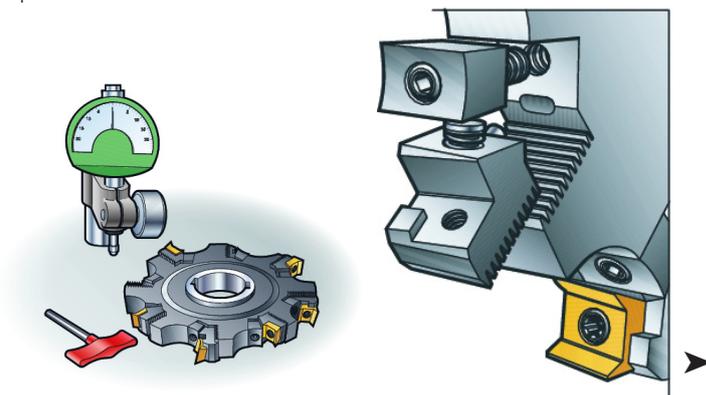
Установка пластин

1. Перед установкой пластины всегда очищайте посадочное гнездо.
2. Убедитесь, что пластины полностью прилегают к поверхности посадочного гнезда.
3. Затяните винты клиньев.
4. Нанесите смазку Molykote на винты режущих пластин.
5. Регулировка фрез CoroMill 331 достаточно проста. Её точность ограничивается только точностью прибора, с помощью которого осуществляется настройка.
6. Регулировку фрез CoroMill 331 рекомендуется проводить с помощью индикатора или проектора. Используйте формулу для расчета высоты блока измерительных плиток для настройки индикатора.

Настройка индикатора на ноль:

$$\frac{E + a_p}{2}$$

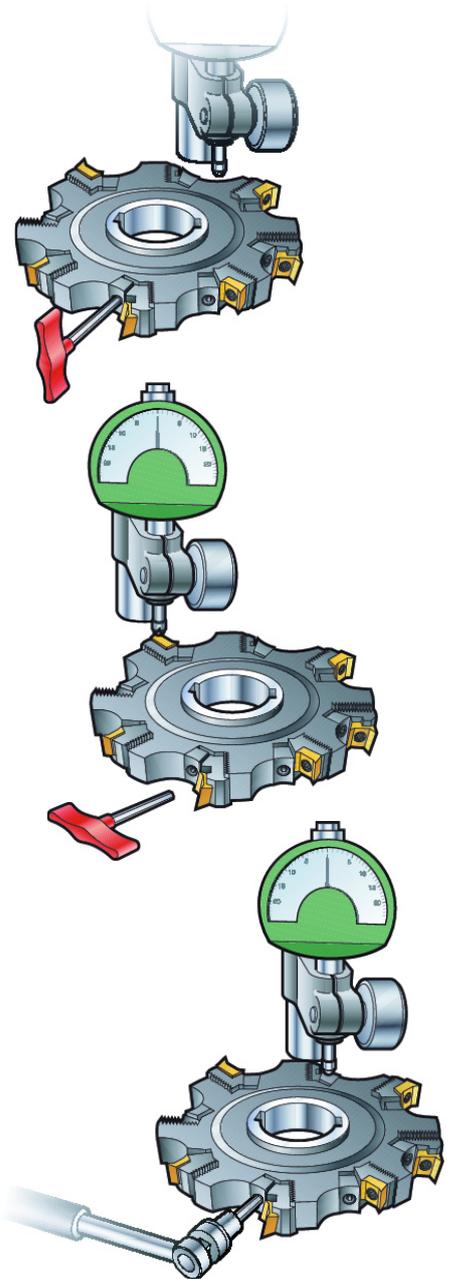
E = Ширина ступицы фрезы
 a_p = Ширина резания





1. Ослабьте винт клина на 0.5 оборота.
2. Сдвиньте кассету, чтобы она выступала из корпуса.
3. Положите фрезу на диабазовую плиту. Установите ножку индикатора на ленточку режущей кромки пластины.
4. Перемещайте кассету до тех пор, пока стрелка индикатора не достигнет нуля.
5. Затяните винт.
6. Повторите процедуру, перевернув фрезу, а затем затяните все винты с рекомендуемыми крутящими моментами (смотри таблицу справа).

Диаметр, (мм)	Момент закрепления, (Нм)
80-100	5
125-315	6



Примечание: Для избежания деформации фрез диаметром 80 мм закрепление производится в три этапа:

- a: Предварительное закрепление всех винтов.
- b: Закрепление с моментом 4 Нм.
- c: Окончательное закрепление с моментом 5 Нм.

7. Ослабьте винт клина на 1 оборот.
8. Установите кассеты так, чтобы они равномерно выступали с обеих сторон фрезы.
9. Настройте кассеты на одной стороне фрезы, чтобы показания индикатора равнялись нулю, и практически отсутствовало биение.
10. Затяните винты.
11. Установите кассеты на другой стороне фрезы, чтобы обеспечить требуемую ширину резания.

Обозначение фрез

32. = Трёхстороннее фрезерование, кассетное исполнение
 35. = Трёхстороннее фрезерование, фиксированное положение пластин
 52. = Двухстороннее фрезерование, кассетное исполнение

Диаметр

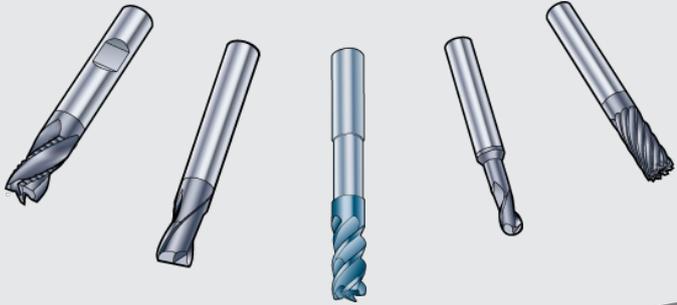
N 331 .32 - 200 Q40 CM — Ширина паза

R = Правая
 N = Нейтральная
 L = Левая

Тип крепления и размер
 A = Цилиндрический хвостовик
 S = Отверстие со шпонкой
 Q = Крепление на оправке

CoroMill® Plura

Цельные твердосплавные фрезы для высокопроизводительной обработки всех видов материалов на всех операциях



Tailor Made

– Оптимизированные геометрии для черновой, чистовой, профильной обработок, снятия фасок и резбифрезерования

– Переменная глубина стружечной канавки (VDF) обеспечивает оптимальное соотношение жесткости сердцевины фрезы и достаточного объема стружечной канавки

– Инструмент оптимальной жесткости для чистовых и суперфинишных операций

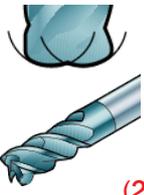
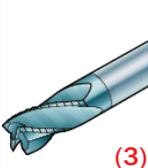
– Высокая производительность для всех видов материалов и операций

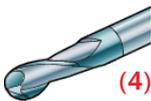
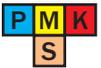
– Существует возможность изготовления инструмента с требуемыми изменениями – специальный или инструмент Tailor Made.

Области применения

В зависимости от операции, используйте эту таблицу для правильного подбора CoroMill Plura.

Метод	Первый выбор
<p>(1) Обычное, черновое, получистовое фрезерование</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Фрезерование уступов D 42</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Фрезерование пазов D 85</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Торцевое фрезерование D 55</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>Фрезерование с осевой подачей D 116</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Фрезерование глубоких пазов D 100</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Фрезерование с врезанием D 100</p> </div> </div>	 <p>Переменная глубина стружечной канавки. Угол подъема винтовой канавки -50°.</p>
<p>(2) Черновая обработка, фрезерование с большими подачами</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Торцевое фрезерование D 55</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Фрезерование с врезанием D 100</p> </div> </div>	  <p>Фреза для работы с большими подачами. Угол подъема винтовой канавки -50°.</p>
<p>(3) Черновая обработка</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Фрезерование уступов за несколько проходов D 85</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Фрезерование глубоких пазов D 100</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Фрезерование с врезанием D 100</p> </div> </div>	 <p>Геометрия Kordell. Угол подъема винтовой канавки -40°.</p>
<p>(4) Профильная обработка</p> <p>Черновая обработка</p> <div style="text-align: center;">  <p>Фрезерование глубоких пазов D 100</p> </div>	  <p>Фрезы с радиусом на уголках, переменная глубина стружечной канавки. Угол подъема винтовой канавки -50°.</p>
<p>Получистовая и чистовая обработки</p> <div style="text-align: center;">  <p>Профильное фрезерование D 66</p> </div>	 <p>Фреза со сферическим концом. Угол подъема винтовой канавки -30°.</p>
<p>(5) Чистовая обработка</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Фрезерование уступов D 42</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Торцевое фрезерование D 55</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Винтовая интерполяция D 100</p> </div> </div>	 <p>Многолезвийная фреза. Угол подъема винтовой канавки -50°.</p>

	Первый выбор	Дополнительно				
						
	(1)		(2)	(3)	K B	(5)
Исполнение	50° переменная глубина стружечной канавки	Обычное	Фреза для работы с большими подачами	Геометрия Kordell		Многолезвийная
Операции	Типовые операции	Типовые операции	Черновая обработка	Черновая обработка		Чистовая обработка
Геометрия	P, H	A, P, N	P, H	B, K, U		H, L
Угол подъема винтовой канавки (градусы)	50°	25°, 30°, 45°	50°	30°, 40°, 45°		30°, 50°, 60°
Диаметр фрезы (D_c)	2 – 25	1 – 25	4 – 20	6 – 25		3 – 20
Макс. глубина резания (a_p), мм	7.0 – 54.0	3.0 – 90.0	0.2 – 1.3	7.0 – 45.0		8.0 – 38.0
Радиус на уголках (r_e), мм	0.2 – 4	Отсутствует	0.5 – 2	Отсутствует		0.5 – 2
Количество зубьев (z_n)	3, 4, 5	2, 3, 4, 5, 6	4	3, 4, 5, 6, 8		2, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16
Обрабатываемый материал						
Дополнительная информация	С возможностью сверления Различный шаг Со стружкоделительными канавками или без, радиус	С режущей кромкой у центра	Отсутствие режущей кромки у центра	С режущей кромкой у центра или без Со стружкоделительными канавками или без		Отсутствие режущей кромки у центра

						
		(4)				
Исполнение	С радиусом на уголках	Сферическая	Фасочные фрезы 45°, 60°	Фрезерование пазов	Плоский торец	Шаг 0.5 – 3
Операции	Фрезерование закаленных деталей	Профильное фрезерование	Фрезерование фасок	Фрезерование шпоночных пазов	Точение фрезерованием*)	Резьбофрезерование*)
Геометрия	G	A, G, P, N	G	P	N	N, H
Угол подъема винтовой канавки (градусы)	30°	30°, 40°	0°	30°	30°	
Диаметр фрезы (D_c)	2 – 16	0.4 – 20	4 – 8	2 – 20	6 – 12	3.2 (M4) – 19 (M24)
Глубина резания (a_p), мм	2.0 – 16.0	0.4 – 45	0.5 – 7.4	3.0 – 20.0	10.0 – 16.0	8.4 – 50.0
Радиус на уголках (r_e), мм	0.2 – 3	0.1 – 10	0.5 – 6	Отсутствует	0.5 – 1	
Количество зубьев (z_n)	2, 4	2, 3, 4	3, 4, 5, 6	2, 3	4	3, 4, 5, 6
Обрабатываемый материал						
Дополнительная информация	С режущей кромкой у центра	С режущей кромкой у центра		С режущей кромкой у центра	С режущей кромкой у центра	Метрическая 60° Со стружкоделительными канавками или без

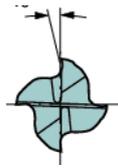
*) Дополнительная информация о Точении фрезерованием указана на странице D80, и Резьбофрезерованием на странице D95.

Рекомендации по выбору геометрии

Геометрия P и N

- Предпочтительно использовать для обработки стали твёрдостью <48 HRc, нержавеющей сталей, титана, жаропрочных сплавов, чугуна и алюминия
- Прямые режущие кромки
- Диаметр сердцевины фрезы 50% (P) 60% (N)
- Положительный передний угол от 9° до 12° способствует уменьшению силы резания.

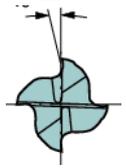
$$\gamma_0 = 9^\circ \text{ to } 12^\circ$$



Геометрия K

- Предпочтительно использовать для черновой обработки материалов твёрдостью <28 HRc
- Волнообразная поверхность инструмента способствует уменьшению размера стружки (Kordell)
- Диаметр сердцевины фрезы 60%, хорошее сочетание значений возникающих сил резания и удовлетворительного процесса удаления стружки
- Положительный передний угол от 9° до 12° способствует уменьшению силы резания.

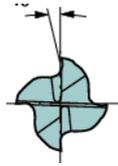
$$\gamma_0 = \text{от } 9^\circ \text{ до } 12^\circ$$



Геометрия L

- Предпочтительно использовать для чистовой обработки стали твёрдостью <48 HRc, нержавеющей сталей, титана, жаропрочных сплавов, чугуна и алюминия
- Прямые режущие кромки
- Диаметр сердцевины фрезы 70%, для повышения сопротивления изгибу
- Положительный передний угол от 4° до 6° способствует уменьшению силы резания.

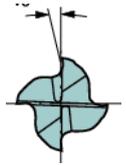
$$\gamma_0 = \text{от } 4^\circ \text{ до } 6^\circ$$



Геометрия V

- Альтернативный выбор для черновой обработки титана
- Прямые режущие кромки с зазубринами для уменьшения размера стружки
- Диаметр сердцевины фрезы 60% хорошее сочетание значений возникающих сил резания и удовлетворительного процесса удаления стружки
- Положительный передний угол от 4° до 7° способствует уменьшению силы резания.

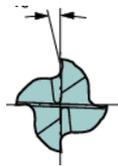
$$\gamma_0 = \text{от } 4^\circ \text{ до } 7^\circ$$



Геометрия G

- Предпочтительно использовать начиная от черновой заканчивая финишной обработкой сталей твёрдостью от 35 до 58 HRc
- Прямые режущие кромки
- Диаметр сердцевины фрезы 70%, для повышения сопротивления изгибу
- Передний угол от -3° до 3° способствует повышению прочности режущей кромки и мягкости процесса резания.

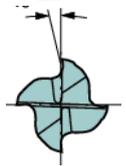
$$\gamma_0 = \text{от } -3^\circ \text{ до } 3^\circ$$



Геометрия U

- Предпочтительно использовать для обработки алюминия
- Волнообразная поверхность инструмента способствует уменьшению размера стружки (Kordell)
- Положительный передний угол от 9° до 12° способствует уменьшению силы резания.

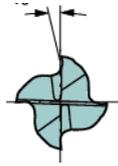
$$\gamma_0 = \text{от } 9^\circ \text{ до } 12^\circ$$



Геометрия H

- От черновой до суперфинишной обработки стали твёрдостью от 48 до 63 HRc
- Прямые режущие кромки
- Диаметр сердцевины >75% способствует повышению сопротивления изгибу
- Передний угол от -11° до -21° способствует повышению прочности режущей кромки.

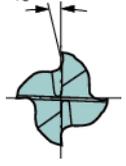
$$\gamma_0 = < -11^\circ$$



Геометрия A

- Альтернативный выбор для обработки алюминия
- Прямые режущие кромки
- Положительный передний угол от 12° до 15° способствует уменьшению силы резания.

$$\gamma_0 = \text{от } 12^\circ \text{ до } 15^\circ$$



Обозначение фрез

R 21 6 . 2 4 - 100 50 D C K 22 P

Расшифровка обозначения CoroMill Plura:

21 = Концевая фреза

6 = Сверление возможно

2 = C радиусом на уголках

4 = Число зубьев (z_n), 1-9, A если 10-32

100 = Рабочий диаметр в мм (D_c)

50 = Угол подъёма винтовой канавки в градусах (γ_p)

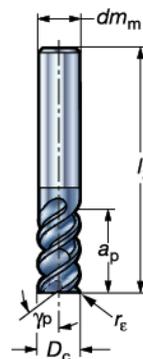
D = Радиус при вершине (r_ϵ)

C = Тип хвостовика

K = Длина хвостовика в мм (l_2)

22 = Макс. глубина резания в мм (a_p)

P = Тип геометрии



Используйте PluraGuide для подбора инструмента, назначения правильных режимов резания и программирования, C-2948:063.



Рекомендации по выбору количества зубьев

- Используйте 4 зуба для достижения высокой производительности
- Используйте 3 зуба для обеспечения стабильности процесса резания

Рекомендации по выбору сплава

ISO **P M K**

GC1620, GC1630, GC1640	Без охлаж- дения	С охлаждением
Чистовая	CG1620	CG1620
Получистовая	GC1630	GC1630
Черновая	GC1640	GC1640

ISO **N**

H10F	Без охлаж- дения	С охлаждением
Чистовая	H10F	CG1620
Получистовая	H10F	GC1630
Черновая	H10F	GC1640

ISO **S**

GC1620, GC1630, GC1640	Без охлаждения	С охлаж- дением
Чистовая		CG1620
Получистовая		GC1630
Черновая		GC1640

ISO **H**

GC1610, GC1620	Без охлаж- дения	С охлаждением
Чистовая	GC1610	
Получистовая		
Черновая	GC1620	

Переточка фрез CoroMill® Plura

Переточка цельнотвердосплавных фрез рекомендуется в случае, когда имеются сколы на режущей кромке или появляются отклонения формы и неудовлетворительное качество обработанной поверхности.

Максимально допустимые значения износа приведены в таблице ниже.

Диаметр инструмента (D_c), мм	4 – 6	7 – 9	10 – 14	15 – 20	25
Макс. значение износа диаметра, мм	0.05	0.07	0.09	0.14	0.20
Макс. значение износа уголков, мм	0.20	0.30	0.40	0.50	0.70

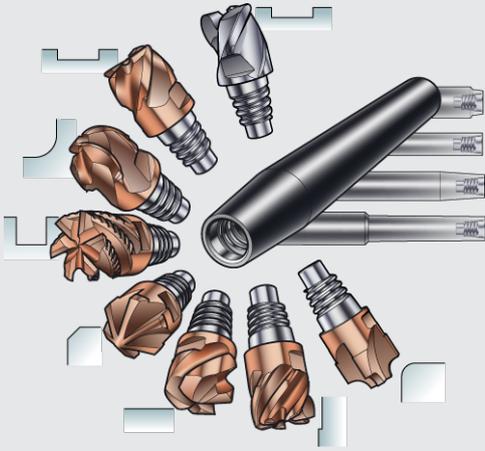
Примечание: в случае, если износ превышает указанные в таблице значения, длину инструмента возможно потребуется уменьшить. Если же износ значительно превышает допустимые значения, то восстановление может быть невозможным.



Обратитесь к Вашему региональному представителю Sandvik Coromant за дополнительной информацией о сервисе по переточке цельных твердосплавных фрез.

CoroMill® 316

Система фрезерного инструмента со сменными головками



- Оптимизированные геометрии для чернового, чистового, профильного фрезерования и снятия фасок
- Система сменных твердосплавных головок с простой и быстрой заменой обеспечивает повышение уровня производительности
- Контакт головки и корпуса происходит по торцу и конусу
- Высокая изгибная прочность соединения
- В один корпус могут быть установлены различные головки, что сокращает номенклатуру используемого инструмента
- Широкий выбор корпусов обеспечивает возможность выбора оптимального сочетания геометрической проходимости инструмента и его стабильности

Области применения

Данная таблица поможет вам определиться с выбором типа фрезы CoroMill 316 в зависимости от конкретных требований.

Тип операции	Фреза первого выбора
(1) Операции общего фрезерования, черновые и получистовые этапы обработки Фрезерование уступов D 42 Фрезерование пазов D 85 Торцевое фрезерование D 55 Плунжерное фрезерование D 116 Фрезерование карманов D 100 Врезание под углом D 100	<p>Концевые фрезы с радиусом</p>
(2) Черновое фрезерование с высокими подачами Торцевое фрезерование D 55 Врезание под углом D 100	<p>Концевые фрезы для работы с высокими подачами</p>
(3) Черновая обработка Фрезерование пазов D 85 Фрезерование карманов D 100 Врезание под углом D 100	<p>Концевые фрезы с геометрией Kordell</p>
(4) Профильное фрезерование Черновая обработка Фрезерование карманов D 100	<p>Концевые фрезы с большим радиусом при вершинах</p>
Получистовая и чистовая обработка Профильное фрезерование D 66	<p>Концевые фрезы со сферическим концом</p>
(5) Чистовая обработка Фрезерование уступов D 42 Торцевое фрезерование D 55 Круговая интерполяция D 100	<p>Многозубые концевые фрезы</p>

	Первый выбор	Дополнение					
Конструкция	Радиус	Радиус	Высокие подачи	Геометрия Kordell	Со сферическим концом	Многозубая фреза	
Область применения	Общее фрезерование	Общее фрезерование	Черновое фрезерование	Черновое фрезерование	Профильное фрезерование	Чистовое фрезерование	
Геометрия	P	P	P	K	G	L	
Угол подъема винтовой линии (градусы)	50°	10°	40°, 50°	40°, 45°	10°, 40°	50°	
Сплав	GC1030	GC1030, H10F	GC1030	GC1030	GC1030, H10F	GC1030	
Диаметр фрезы (D_c)	10 – 25	10 – 16	10 – 25	10 – 25	10 – 25	10 – 25	
Мах глубина резания (a_p), мм	5.5 – 13	8 – 13	0.7 – 1.6	5.5 – 13.5	5.5 – 13	5.5 – 13.5	
Радиус (r_c), (диам. мм)	0.5 – 3 (диам. 10) 0.5 – 4 (диам. 12 – 20)	0 – 2.5 (диам. 10) 0 – 3 (диам. 12) 0 – 4 (диам. 16)	1.5 (диам. 10 – 12) 2 (диам. 16 – 20) 3 (диам. 25)	0.4 (все диам.)	5 (диам. 10) 6 (диам. 12) 8 (диам. 16) 10 (диам. 20) 12.5 (диам. 25)	0, 1 (диам. 10-12) 0, 1, 1.5 (диам. 16 – 25)	
Количество зубьев (z_n)	3, 4	2	4	4, 5, 6	2, 4	6, 8	
Обрабатываемый материал							
Дополнительная информация	С возможностью сверления	С возможностью сверления Крупный шаг Оптимизированный вариант	Отсутствие режущей кромки у центра	С возможностью сверления	С возможностью сверления	Отсутствие режущей кромки у центра С/без радиуса	

Конструкция	Фаска 15°, 30°, 45°, 60°	Фаска с радиусом	Радиус
Область применения	Снятие фасок	Снятие фасок	Фрезерование алюминия
Геометрия	G	G	U
Угол подъема винтовой линии (градусы)	0°, 10°	0°	45°
Сплав	GC1030	GC1030	H10F
Диаметр фрезы (D_c)	10 – 16	10 – 25	10 – 25
Мах глубина резания (a_p), мм	1.2 – 7.5	1.5 – 8	5.5 – 13
Радиус (r_c), (диам. мм)	Отсутствие радиуса	1.5 – 3 (диам. 10) 3 – 4 (диам. 12) 4 – 6 (диам. 16) 6 (диам. 20) 8 (диам. 25)	0 – 2.5 (диам. 10) 0 – 4 (диам. 12-25)
Количество зубьев (z_n)	2, 4, 6, 8	4	3
Обрабатываемый материал			
Дополнительная информация			С возможностью сверления С/без радиуса

Рекомендации по выбору геометрий

Подробная информация о геометриях твердосплавных фрез с разделе Фрезы CoroMill Plura на стр. D180.

Система обозначения

316 - 12 S M 3 50 - 120 05 P

Система обозначения сменных фрезерных головок:

12 = Размер соединения EN

S = Прямая 90°

M = Длина головки (средняя)

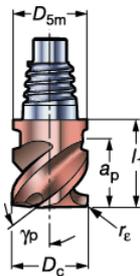
3 = Число стружечных канавок ($z_n = 3$)

50 = Угол подъема винтовой линии (γ_p)

120 = Рабочий диаметр фрезы, мм (D_c)

05 = Радиус при вершине ($r_e = 0.5$)

P = Геометрия



E12 - A 20 - S S - 120

Система обозначения корпусов:

E12 = Размер соединения EN

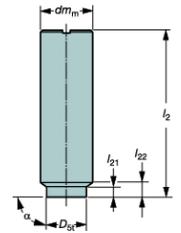
A = Цилиндрический хвостовик

20 = Диаметр корпуса, мм ($d_{mm} = 20$)

S = Тип корпуса (Прямой)

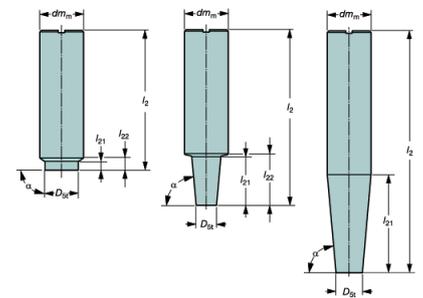
S = Материал корпуса (Сталь)

120 = Длина корпуса, мм (l_2)



Рекомендации по применению инструмента разной длины

Длина инструмента	$< 3 \times D_c$	$4 \times D_c$	$10 \times D_c$	$> 12 \times D_c$
	Стабильные условия Сравнимы с цельнотвердосплавным инструментом.	Достаточно стабильные условия Не такая жесткость, как у цельнотвердосплавного инструмента.	Нестабильные условия	Очень нестабильные условия
Стальной хвостовик	Все типы головок для различных операций.	Высокие подачи Профильная обработка Снятие фасок Фрезерование уступов Ограниченная обработка пазов	Высокие подачи Профильная обработка Снятие фасок Фрезерование уступов с ограничениями	Высокие подачи Профильная обработка Снятие фасок Не подходит для фрезерования уступов
Твердосплавный хвостовик	Все типы головок для различных операций.	Все типы головок для различных операций.	Высокие подачи Профильная обработка Снятие фасок Фрезерование уступов Ограниченная обработка пазов	Высокие подачи Профильная обработка Снятие фасок Фрезерование уступов с ограничениями



Материал: Сталь твердостью 43.5 HRC
Диаметр хвостовика: 10 – 32 мм
Тип корпуса: Прямой 90°, конический 80°, 85° и 89°
Длина корпуса: 65 – 250 мм

Материал: Твердый сплав
Диаметр корпуса: 10 – 25 мм
Тип корпуса: Прямой 90°, конический 89°
Длина корпуса: 100 – 200 мм

Размер соединения

Ключ

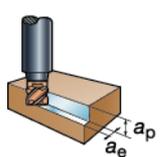
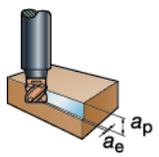
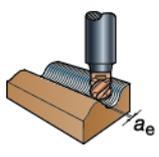
E10	5060 093-01
E12	5060 093-02
E16	5060 093-03
E20	5060 093-04
E25	5060 093-05



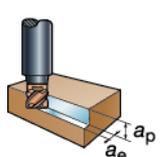
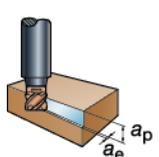
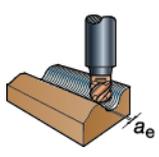
Рекомендации по числу зубьев

- Фреза с 4 зубьями обеспечит наивысшую производительность
- Фреза с 3 зубьями обеспечит наилучшую стабильность

Рекомендации по скоростям резания

					
CoroMill® 316 GC1030			$a_e \leq 1.0 \times D_c$ $a_p \leq 0.5 \times D_c$	$a_e \leq 0.3 \times D_c$ $a_p \leq 0.5 \times D_c$	$a_e \leq 0.005 \times D_c$
ISO	CMC	HB	v_c м/мин	v_c м/мин	v_c м/мин
P	01.1	125	190	280	630
	01.2	150	170	255	580
	01.4	210	150	225	510
	02.1	175	165	245	555
	02.2	300	100	150	340
	03.11	200	170	250	570
	03.22	380	80	120	280
M	05.11	200	70	110	240
	05.21	200	55	85	190
	05.51	230	45	70	155
K	07.1	130	120	180	395
	08.1	180	130	190	420
	08.2	245	110	160	380
	09.1	250	105	155	350
N	30.22	90	1000	1100	1300
S	20.22	350	25	35	80
	23.22	350	40	80	150

Рекомендации по подачам

					
CoroMill® 316 GC1030			$a_e \leq 1.0 \times D_c$ $a_p \leq 0.5 \times D_c$	$a_e \leq 0.3 \times D_c$ $a_p \leq 0.5 \times D_c$	$a_e \leq 0.005 \times D_c$
D_c мм	f_z мм/зуб		f_z мм/зуб		f_z мм/зуб
10	0.045		0.070		0.120
12	0.055		0.085		0.140
16	0.065		0.110		0.160
20	0.080		0.130		0.180
25	0.100		0.160		0.200



Для выбора инструмента и соответствующих режимов резания используйте PluraGuide с кодом заказа C-2948:063.

Дополнительные возможности

Программа Tailor Made

В рамках программы Tailor Made представлен инструмент стандартного ассортимента семейства CoroMill, но с измененными размерными или конструктивными параметрами, такими как размер пластин, количество зубьев, шаг фрезы и тип крепления, длина инструмента и т.д.

Инструмент с более существенными изменениями переходит в разряд специального и изготавливается по отдельному запросу.



Дополнением к стандартной программе инструмента является широкий выбор разнообразных твердосплавных концевых фрез CoroMill Plura в исполнении Tailor Made.

Специальный инструмент

Применение специально изготовленного фрезерного инструмента, способного заменить несколько стандартных позиций инструмента, оправдано в условиях массового производства. Также в нем может возникнуть необходимость при обработке деталей специфической формы, обработка которых невозможна при помощи стандартной номенклатуры фрез.

Фрезы CoroMill® с кассетами

Исполнение фрез CoroMill с кассетами, характерное для торцевых фрез среднего и большого диаметра, упрощает эксплуатацию фрезы и сокращает расходы на инструмент.

При этом существует возможность выбора таких параметров фрезы как ее размер, шаг и угол в плане, а также типоразмера пластин.

Сменные кассеты:

- Простота обслуживания и минимизация инструментальных затрат. В случае поломки необходимо заменить лишь отдельный элемент сборной конструкции.
- Простая регулировка фрезы для достижения оптимального качества обработанной поверхности.
- Клиновой механизм крепления кассеты в корпусе фрезы обеспечивает простую и быструю замену.
- Точная макро регулировка при помощи простого в эксплуатации приспособления.
- Возможность микро регулировки.
- При необходимости обеспечения низкого биения и высокой надежности обработки на высоких скоростях вращения используйте кассеты с рифленой опорной поверхностью.
- Рифления также гарантируют точность положения пластины в процессе регулировки.
- Широчайший ассортимент доступных для заказа пластин: стандартные позиции, пластины wiper, пластины Tailor Made.

Существует возможность использовать стандартные кассеты в специальных корпусах или специальные кассеты в стандартных корпусах.



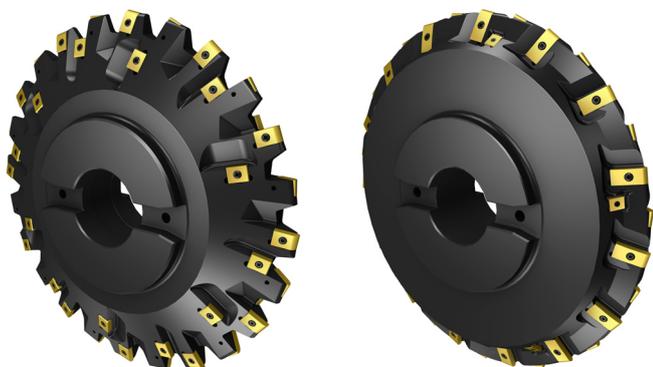
Трёхстороннее фрезерование

Но основе фрезы CoroMill 331 может быть изготовлено большое число вариантов фрез по индивидуальному заказу, в которых могут использоваться кассеты, стандартные пластины и пластины Tailor Made.

Фрезерование зубчатых колес

Специфическая область фрезерования, в которой Sandvik Coromant может предложить эффективное решение:

- Производительные инструменты для чернового и чистового фрезерования зубчатых колес.
- Фрезы для наружной и внутренней обработки с высокоточными пластинами.



Фрезы для черновой и чистовой обработки соответственно.



Обработка ротора компрессора

Обработка ротора другая область фрезерования, где Sandvik Coromant имеет большое преимущество в силу богатого опыта применения фрезерного инструмента по всему миру.

Черновая и получистовая обработка винтового ротора за один установ ведётся фасонными фрезами. Данные фрезы не являются стандартными позициями, а проектируются и изготавливаются в соответствии с индивидуальными требованиями заказчика.

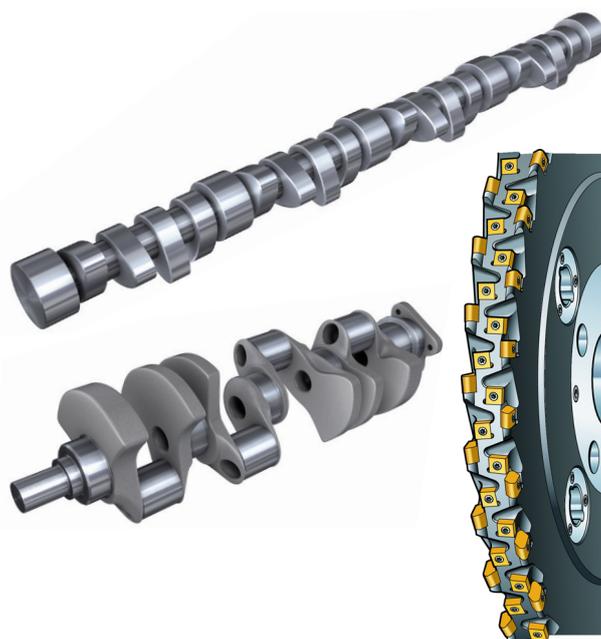


Фрезерование коленчатого и распределительного валов

Очень короткий цикл обработки, высокое качество деталей и высокая надежность процесса обработки делают фрезерование кулачковых валов экономически оправданным методом обработки. Данная операция выполняется при помощи двух фрез, установленных на одном станке, и предполагает одновременную обработку всех элементов вала – коренных и шатунных шеек, щечек и фланцев.

Фрезерование способно обеспечить высокое качество поверхности и высокую геометрическую точность, что исключает необходимость в шлифовании шеек под подшипники, а подразумевает лишь окончательную полировку этих поверхностей.

Простая конструкция корпуса фрезы и надежная система сменных кассет в сочетании с пластинами Tailor Made обеспечивают высокую надежность и экономическую эффективность операций фрезерования коленвала.



Информация о сплавах

Все режущие материалы можно разделить на две группы, основные и дополнительные. Марки инструментальных сплавов представлены на диаграмме ISO/ANSI в зависимости от их износостойкости и прочности.

- Сплавы основной группы имеют достаточно широкую область применения и их следует рассматривать в качестве первого выбора.
- Дополнительные сплавы предназначены для расширения области применения сплавов основной группы и зачастую выступают в качестве их достойной альтернативы.



Положение и форма диаграммы инструментального материала определяет рекомендуемую область применения



= Основной сплав



= Дополнительный сплав

Центр области применения

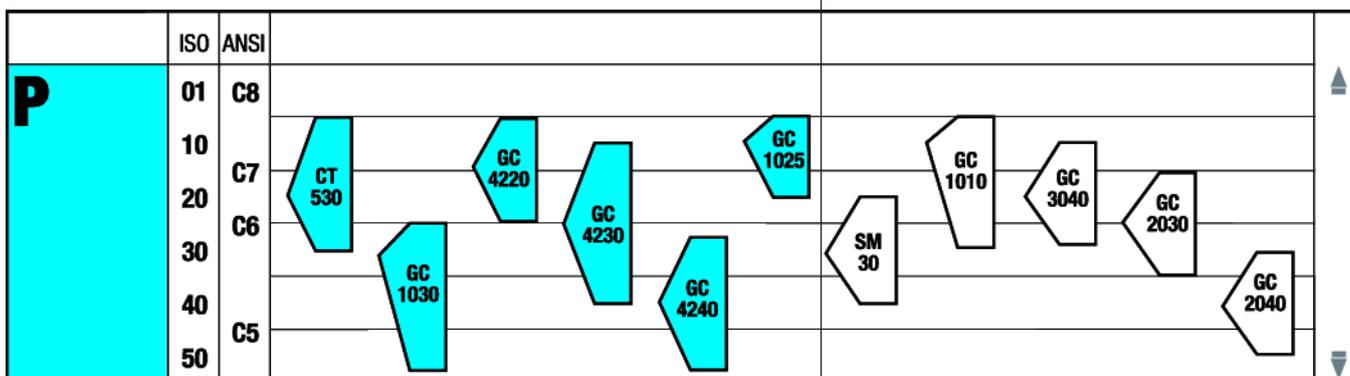
Рекомендуемая область применения

↑ Износостойкость

↓ Прочность

Сталь

Основные сплавы | Дополнительные сплавы



GC4230 (HC) – P25 (P10-P40)

- Широкоуниверсальный твердый сплав с покрытием с хорошим балансом надежности и производительности. Рекомендуется для легкого и тяжелого фрезерования (с использованием СОЖ и без) нелегированных и низколегированных сталей. Первый выбор для операций торцевого фрезерования и оптимизированный вариант для высокопроизводительной обработки уступов.

GC4220 (HC) – P15 (P05-P25)

- Твердый сплав с покрытием, оптимизированный для фрезерования стали с максимальной производительностью. Рекомендуется использовать без СОЖ на высоких подачах.

GC4240 (HC) – P40 (P30 – P50)

- Твердый сплав с покрытием для фрезерования стали в тяжелых условиях. Целые фрезы и фрезы для обработки плоскостей и уступов с пластинами из сплава GC4240 следует использовать в более стабильных условиях. А именно, фрезерование с небольшим вылетом, торцевое фрезерование, обработка невысоких уступов. Для фрез других семейств сплав GC4240 является отличным решением для операций, требующих повышенной прочности сплава. Рекомендуется для обработки мелких партий деталей из различных материалов с охлаждением и без.

GC1030 (HC) – P30 (P25 – P50)

- Сплав с PVD покрытием, представляющий первый выбор для обработки в нестабильных условиях резания. А именно, обработка длиннокрючочными фрезами, проблема пакетирования стружки, обработка высоких уступов, фрезерование с большим вылетом и точение фрезерованием. Выступает в качестве хорошего решения для операций, требующих повышенной прочности сплава. Пластины со шлифованными режущими кромками из этого сплава являются первым выбором для фрезерования вязких материалов, таких как низкоуглеродистые стали.

GC1025 (HC) – P10 (P05 – P20)

- Сплав с PVD покрытием для ненагруженного фрезерования сталей. Пластины со шлифованными режущими кромками из этого сплава являются первым выбором для фрезерования вязких материалов, таких как низкоуглеродистые стали.

CT530 (HT) – P20 (P05 – P30)

- Кермет для чистового фрезерования, в основном, без использования СОЖ. Хорошее сопротивление пластической деформации и наростообразованию позволяет рекомендовать этот материал для широкого диапазона скоростей резания. Идеальный выбор для зачистных пластин.

GC1010 (HC) – P10 (P05-P30)

- Сплав с PVD покрытием для фрезерования закаленных сталей, твердостью 36 HRC и выше.

GC2030 (HC) – P25 (P15 – P35)

- Твердый сплав с PVD покрытием для фрезерования низкоуглеродистых сталей, имеющих тенденцию к наростообразованию. Рекомендуется для фрезерования прямоугольных уступов на деталях из различных материалов.

GC2040 (HC) – P40 (P30 – P50)

- Сплав с покрытием для фрезерования сталей, когда необходимо сочетание остроты и прочности режущих кромок при работе на низких скоростях резания. Рекомендуется для обработки мелких партий деталей из различных материалов.

GC3040 (HC) – P20 (P10 – P30)

- Сплав с покрытием с хорошей сопротивляемостью абразивному износу. Рекомендуется для черного фрезерования сталей на средних и высоких скоростях резания.

SM30 (HW) – P30 (P20 – P40)

- Сплав без покрытия для полустового и черного фрезерования на низких и средних скоростях резания. Достаточная надежность режущих кромок при фрезеровании материалов высокой твердости и в нестабильных условиях.

Буквенное обозначение инструментальных материалов:**Твердые сплавы:**

- HW** Твердые сплавы без покрытия, содержащие в основном карбид вольфрама (WC).
- HT** Безвольфрамовые твердые сплавы без покрытия (керметы), содержащие в основном карбиды (TiC) или нитриды (TiN) титана или те, и другие вместе.
- HC** Вышеперечисленные твердые сплавы, но с покрытием.

Керамика:

- CA** Окисная металлокерамика, состоящая из окиси алюминия (Al_2O_3).
- CM** Смешанная керамика на основе оксида алюминия (Al_2O_3) но содержащая также и другие компоненты.
- CN** Нитридная керамика, содержащая в основном нитрид кремния (Si_3N_4).
- CC** Вышеперечисленные керамические материалы, но с покрытием.

Алмаз:

- DP** Поликристаллический алмаз ¹⁾

Нитриды бора:

- BN** Кубический нитрид бора ¹⁾

¹⁾ Поликристаллический алмаз и кубический нитрид бора также называют сверхтвердыми режущими материалами.

P ISO P = Сталь

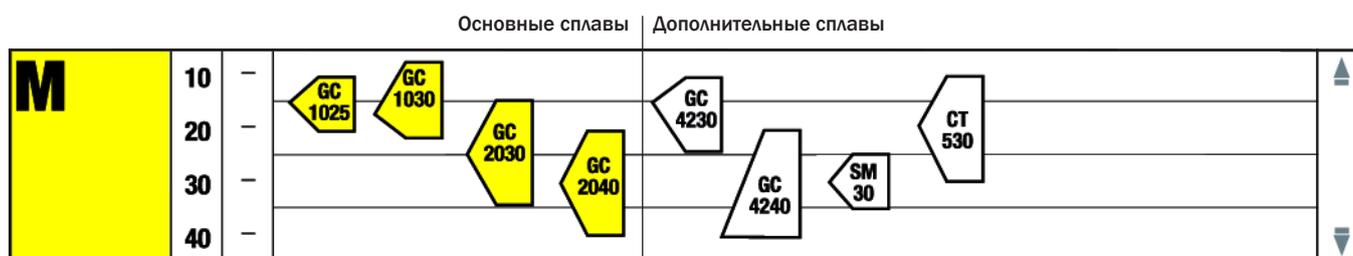
M ISO M = Нержавеющая сталь

K ISO K = Чугун

N ISO N = Цветные металлы

S ISO S = Жаропрочные сплавы

H ISO H =

Аустенитные/ферритные/мартенситные нержавеющие стали**GC1025 (HC) – M15 (M10 – M20)**

- Сплав с покрытием PVD рекомендуется для ненагруженного фрезерования нержавеющей стали. Пластины со шлифованными режущими кромками из этого сплава являются первым выбором для фрезерования вязких и упрочняемых при резании материалов.

GC1030 (HC) – M15 (M10 – M20)

- Сплав с покрытием PVD рекомендуется для ненагруженного фрезерования нержавеющей стали. Пластины со шлифованными режущими кромками из этого сплава являются первым выбором для фрезерования вязких и упрочняемых при резании материалов.

GC2030 (HC) – M25 (M15 – M35)

- Сплав с покрытием PVD для фрезерования нержавеющей стали (главным образом, аустенитной) на средних и высоких скоростях резания. В сочетании с позитивной геометрией также подходит для обработки жаропрочных сплавов и титана.

GC2040 (HC) – M30 (M20 – M40)

- Сплав с покрытием для фрезерования нержавеющей сплавов с абразивными свойствами, т.е. литых деталей, ферритных, мартенситных нержавеющей сталей, дисперсионно-твердеющих на средних скоростях резания. Рекомендуется для обработки небольших партий деталей из различных материалов.

GC4240 (HC) – M40 (M20 – M40)

- Покрытый твердый сплав для получистового и чернового фрезерования литья из нержавеющей сталей. Рекомендуется для обработки небольших партий деталей из различных материалов.

CT530 (HT) – M20 (M10 – M30)

- Кермет для чистового фрезерования аустенитных и дуплексных нержавеющей сталей. Хорошее сопротивление пластической деформации и наростообразованию позволяют рекомендовать кермет для достаточно широкой области обработки при работе без СОЖ.

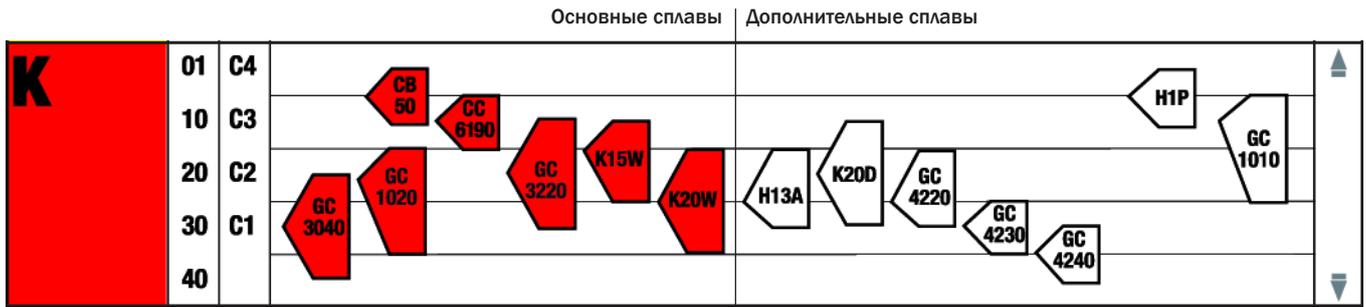
SM30 (HW) – M30 (M25 – M35)

- Сплав без покрытия для получистового и чернового фрезерования на низких и умеренных скоростях резания. Достаточная надежность режущих кромок при работе в нестабильных условиях.

GC4230 (HC) – M15 (M10 – M25)

- Сплав с покрытием рекомендуется как для чистового, так и для чернового фрезерования мартенситных нержавеющей сталей.

Чугун

**GC3040 (HC) – K30 (K20 – K40)**

- Сплав с покрытием для фрезерования чугунов при повышенных требованиях к прочности режущей кромки (например, обработка чугуна с шаровидным графитом, чугуна высокой прочности на растяжение). Высокая предсказуемая стойкость на средних и низких скоростях резания.

GC3220 (HC) – K20 (K05 – K25)

- Сплав с покрытием CVD для получистового и чернового фрезерования серого чугуна, в основном, всухую. Высокая предсказуемая стойкость на средних и высоких скоростях резания.

GC1020 (HC) – K20 (K15 – K35)

- Твердый сплав с PVD покрытием для получистового и чернового фрезерования серого чугуна, с применением охлаждения. Предсказуемая стойкость на средних и высоких скоростях резания.

CB50 (BN) – K05 (K01 – K10)

- Пластины со вставками из кубического нитрида бора CB50. Хорошая прочность в сочетании с высокой износостойкостью. Рекомендуется для фрезерования чугуна в благоприятных условиях.

K20W (HC) – K25 (K15-K35)

- Сплав с покрытием для получистового и чернового фрезерования серого чугуна с охлаждением и на низких и средних скоростях резания.

K15W (HC) – K15 (K10 – K25)

- Покрытый твердый сплав для фрезерования серого чугуна с охлаждением. Рекомендуется для использования на средних скоростях резания.

CC6190 (CN) – K15 (K05 – K20)

- Керамика на основе нитрида кремния для черновой и получистовой обработки серого чугуна на высокой скорости.

K20D (HC) – K20 (K10-K30)

- Сплав с MT-CVD покрытием для получистового и чернового фрезерования серого чугуна, в основном, без использования охлаждения. Высокая стойкость инструмента в сочетании с возможностью обработки на высоких скоростях.

H1P (HW) – K05 (K01 – K10)

- Непокрытый твердый сплав для чистового фрезерования чугуна, бронзы и латуни. Подходит для зачистных пластин.

H13A (HW) – K25 (K15 – K30)

- Сплав без покрытия с хорошей прочностью и износостойкостью для чистового и получистового фрезерования на умеренных скоростях резания. Идеальное решение для фрезерования ферритного чугуна с шаровидным графитом.

GC1010 (HC) – K10 (K05-K25)

- Сплав с PVD покрытием для чистового фрезерования серого чугуна и чугуна с шаровидным графитом. Сплав обеспечивает постоянство качественных характеристик обработанной поверхности в течение длительного периода времени.

GC4220 (HC) – K25 (K15 – K30)

- Покрытый твердый сплав для чистового и чернового фрезерования чугуна на средних скоростях резания. Сплав является дополнением сплавам серии GC3000.

GC4230 (HC) – K30 (K25 – K35)

- Твердый сплав с покрытием для чистового и чернового фрезерования чугуна с шаровидным графитом.

GC4240 (HC) – K35 (K30 – K40)

- Сплав с покрытием для получистового и чернового фрезерования на низких скоростях резания при повышенных требованиях к режущей кромке.

Цветные металлы, пластмассы, дерево

**CD10 (DP) – N05 (N01 – N10)**

- Поликристаллический искусственный алмаз для обработки цветных металлов и неметаллических материалов. Обеспечивает высокую стойкость и чистоту обрабатываемой поверхности.

H10 (HW) – N10 (N05 – N15)

- Мелкозернистый твердый сплав без покрытия для фрезерования алюминия, обеспечивающий очень острую режущую кромку.

H13A (HW) – N15 (N10 – N20)

- Сплав без покрытия для фрезерования алюминиевых сплавов, обеспечивающий очень острые режущие кромки.

CT530 (HT) – N15 (N10 – N25)

- Безвольфрамовый твердый сплав (кермет) для фрезерования алюминия при высоких оборотах шпинделя. Отличается низкой склонностью к образованию нароста и малым весом пластин.

GC1025 (HC) – N15 (N10 – N25)

- Сплав с PVD покрытием для чернового фрезерования алюминиевых сплавов. Рекомендуется для пластин со шлифованными кромками.

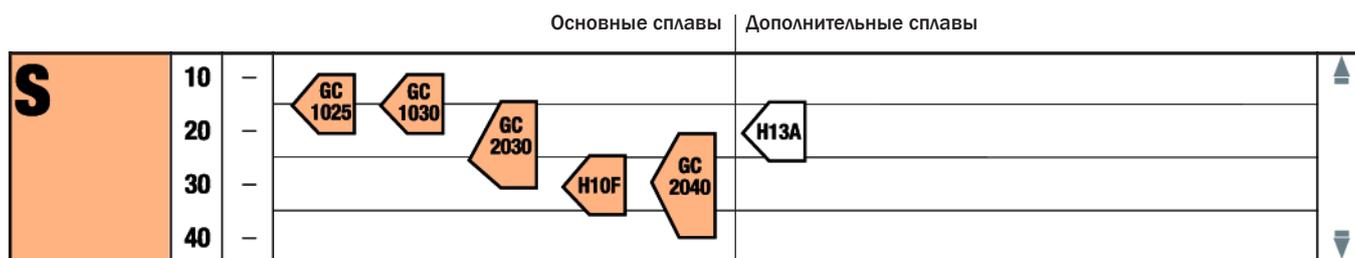
H10F (HW) – N20 (N15 – N25)

- Сплав без покрытия для фрезерования алюминиевых сплавов, обеспечивающий очень острые режущие кромки.

GC1030 (HC) – N15 (N10-N25)

- Сплав с PVD покрытием для чернового фрезерования алюминиевых сплавов. Рекомендуется для пластин со шлифованными кромками.

Жаропрочные и титановые сплавы



GC1025 (HC) – S15 (S10 – S20)

• Сплав с PVD покрытием рекомендуется для фрезерования жаропрочных сплавов на средних скоростях резания. Характеризуется хорошей сопротивляемостью пластической деформации и образованию нароста.

H10F (HW) – S30 (S25 – S35)

• Мелкозернистый сплав без покрытия. Хорошая сопротивляемость образованию проточин позволяет рекомендовать его для фрезерования материалов, применяемых в аэрокосмической промышленности, в том числе титана.

GC2030 (HC) – S25 (S15 – S35)

• Сплав с покрытием PVD рекомендуется для полустового и легкого черного фрезерования жаропрочных сплавов на низких скоростях резания.

GC1030 (HC) – S15 (S10 – S20)

• Сплав с PVD покрытием рекомендуется для фрезерования жаропрочных сплавов на средних скоростях резания. Характеризуется хорошей сопротивляемостью пластической деформации и образованию нароста.

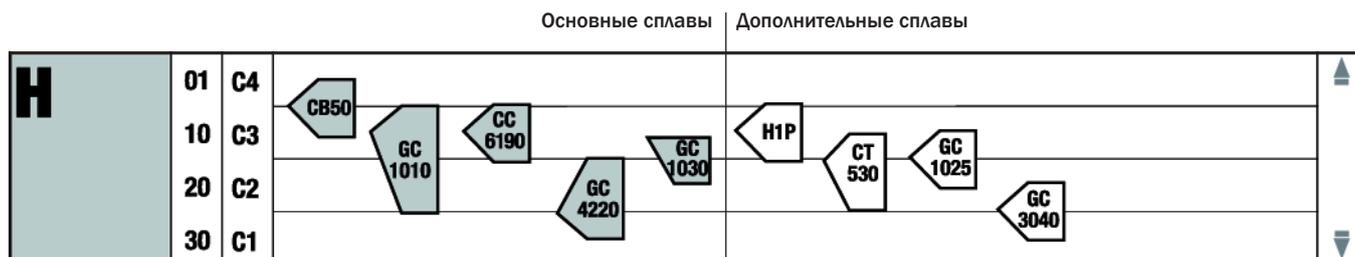
GC2040 (HC) – S30 (S20 – S40)

• Покрытый твердый сплав, рекомендуемый для фрезерования жаропрочных сплавов.

H13A (HW) – S20 (S15 – S25)

• Сплав без покрытия с хорошей прочностью и сопротивлением абразивному износу для фрезерования жаропрочных сплавов на средних режимах резания.

Закаленные материалы



CB50 (BN) – H05 (H01 – H10)

• Пластины со вставками из кубического нитрида бора CB50. Высокая прочность режущей кромки в сочетании с высокой износостойкостью. CB50 рекомендуется для обработки закаленной стали в хороших условиях.

CC6090 (HC) – H10 (H05 – H15)

• Керамика из нитрида кремния для полустовой обработки отбеленного чугуна на средних и высоких скоростях.

GC1010 (HC) – H10 (H05-H25)

• Сплав с PVD покрытием для фрезерования закаленной стали твердостью от 36 HRC и выше. Отвечает большому числу требований в диапазоне от черновых до чистовых операций. Сплав обладает чрезвычайной стойкостью к пластической деформации, термическому удару и хорошей износостойкостью, благодаря чему может долгое время оставаться в резании.

GC1030 (HC) – H10 (H10-H20)

• Сплав с покрытием PVD для фрезерования закаленных деталей с небольшими подачами и умеренными скоростями резания.

GC4220 (HC) – H25 (H15 – H30)

• Сплав с покрытием для легкого черного фрезерования закаленных сталей твердостью до 60 HRC при хороших условиях. Выдерживает высокие температуры в зоне резания.

CT530 (HT) – H25 (H10 – H25)

• Безвольфрамовый твердый сплав (кермет) для чистового фрезерования закаленных деталей на низких и средних скоростях резания.

GC3040 (HC) – H25 (H20 – H30)

• Сплав с покрытием для черного фрезерования закаленных сталей при удовлетворительных условиях на низких и средних скоростях резания.

GC1025 (HC) – H15 (H10 – H20)

• Сплав с покрытием PVD для фрезерования закаленных деталей на низких и средних скоростях резания.

H1P (HW) – H10 (H05 – H15)

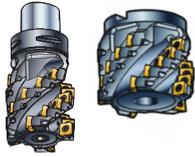
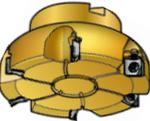
• Твердый сплав без покрытия для чистового фрезерования отбеленного чугуна на средних скоростях резания.

Фрезерование уступов

 $K_r = 90^\circ$ Подача на зуб, f_z (мм/зуб)Мах толщина стружки, h_{ex} (мм)

Геометрия пластины	Размер пластины	Начальное значение		Начальное значение			
		(min - max)	(min - max)	(min - max)	(min - max)		
CoroMill® 490							
 R490	M-PL	08	0.10	(0.05 - 0.15)	0.10	(0.05 - 0.15)	
	M-PM		0.17	(0.10 - 0.20)	0.17	(0.10 - 0.20)	
	M-PH		0.22	(0.15 - 0.25)	0.22	(0.15 - 0.25)	
	E-ML		0.15	(0.12 - 0.18)	0.15	(0.12 - 0.18)	
	E-MM		0.17	(0.15 - 0.20)	0.17	(0.15 - 0.20)	
	M-MM		0.17	(0.15 - 0.20)	0.17	(0.15 - 0.20)	
	M-KL		0.10	(0.05 - 0.15)	0.10	(0.05 - 0.15)	
	M-KM		0.17	(0.10 - 0.20)	0.17	(0.10 - 0.20)	
	M-KH		0.25	(0.15 - 0.30)	0.25	(0.15 - 0.30)	
CoroMill® 390							
 R390	E-PL	Легкая	11	0.08	(0.05 - 0.12)	0.08	(0.05 - 0.12)
	E-ML			0.10	(0.05 - 0.15)	0.10	(0.05 - 0.15)
	E-KL			0.08	(0.05 - 0.12)	0.08	(0.05 - 0.12)
	E-NL			0.20	(0.10 - 0.30)	0.20	(0.10 - 0.30)
	M-PL	Легкая	11	0.08	(0.05 - 0.15)	0.08	(0.05 - 0.15)
	M-KL			0.10	(0.08 - 0.15)	0.10	(0.08 - 0.15)
	E-PL	Легкая	17	0.08	(0.05 - 0.12)	0.08	(0.05 - 0.12)
	E-ML			0.10	(0.05 - 0.15)	0.10	(0.05 - 0.15)
	E-KL			0.08	(0.05 - 0.12)	0.08	(0.05 - 0.12)
	E-NL			0.20	(0.10 - 0.30)	0.20	(0.10 - 0.30)
	M-PL	Легкая	17	0.08	(0.05 - 0.15)	0.08	(0.05 - 0.15)
	M-KL			0.10	(0.08 - 0.15)	0.10	(0.08 - 0.15)
	E-PM	Средняя	11	0.10	(0.08 - 0.15)	0.10	(0.08 - 0.15)
	E-MM			0.13	(0.08 - 0.20)	0.13	(0.08 - 0.20)
	E-KM			0.12	(0.12 - 0.20)	0.12	(0.12 - 0.20)
	M-PM	Средняя	11	0.10	(0.08 - 0.15)	0.10	(0.08 - 0.15)
	M-MM			0.13	(0.08 - 0.20)	0.13	(0.08 - 0.20)
	M-KM			0.12	(0.12 - 0.20)	0.12	(0.12 - 0.20)
E-PM	Средняя	17	0.10	(0.08 - 0.15)	0.10	(0.08 - 0.15)	
E-MM			0.15	(0.08 - 0.20)	0.15	(0.08 - 0.20)	
E-KM			0.15	(0.12 - 0.20)	0.15	(0.12 - 0.20)	
M-PM	Средняя	17	0.10	(0.08 - 0.15)	0.10	(0.08 - 0.15)	
M-MM			0.15	(0.08 - 0.20)	0.15	(0.08 - 0.20)	
M-KM			0.15	(0.12 - 0.20)	0.15	(0.12 - 0.20)	
M-PH	Тяжелая	11	0.12	(0.08 - 0.20)	0.12	(0.08 - 0.20)	
M-MH			0.16	(0.08 - 0.22)	0.16	(0.08 - 0.22)	
M-KH			0.15	(0.12 - 0.22)	0.15	(0.12 - 0.22)	
M-PH	Тяжелая	17	0.20	(0.15 - 0.35)	0.20	(0.15 - 0.35)	
M-KH			0.20	(0.15 - 0.35)	0.20	(0.15 - 0.35)	
H-PL	Легкая	18	0.10	(0.05 - 0.19)	0.10	(0.05 - 0.19)	
H-ML			0.10	(0.05 - 0.19)	0.10	(0.05 - 0.19)	
H-KL			0.10	(0.05 - 0.19)	0.10	(0.05 - 0.19)	
M-PM	Средняя	18	0.20	(0.08 - 0.30)	0.20	(0.08 - 0.30)	
M-MM			0.20	(0.08 - 0.30)	0.20	(0.08 - 0.30)	
M-KM			0.20	(0.08 - 0.30)	0.20	(0.08 - 0.30)	
E	PCD	11	0.15	(0.10 - 0.25)	0.15	(0.10 - 0.25)	
E	PCD	17	0.15	(0.10 - 0.25)	0.15	(0.10 - 0.25)	
CoroMill® 290							
 R290 $r_e = 0.8$	M-PL	Легкая		0.08	(0.05 - 0.15)	0.08	(0.05 - 0.15)
	M-KL			0.10	(0.08 - 0.15)	0.10	(0.08 - 0.15)
	E-PL	Легкая	12	0.06	(0.05 - 0.09)	0.06	(0.05 - 0.09)
	E-KL			0.08	(0.07 - 0.12)	0.08	(0.07 - 0.12)
	E-ML			0.10	(0.08 - 0.15)	0.10	(0.08 - 0.15)
	M-PM	Средняя	12	0.17	(0.10 - 0.20)	0.17	(0.10 - 0.20)
	M-KM						
	M-KM						
	M-PL	Легкая	12	0.17	(0.10 - 0.20)	0.17	(0.10 - 0.20)
	M-ML						
	M-KL						
	M-WL						
M-PM	Средняя	12	0.12	(0.08 - 0.15)	0.12	(0.08 - 0.15)	
M-MM							
M-KM							
M-WM							
M-PH	Тяжелая	12	0.25	(0.10 - 0.30)	0.25	(0.10 - 0.30)	
M-KH							
M-WH							
E	Керамика		0.10	(0.05 - 0.15)	0.10	(0.05 - 0.15)	
E	CBN		0.10	(0.05 - 0.18)	0.10	(0.05 - 0.18)	

Фрезерование уступов

$K_r = 90^\circ$	Геометрия пластины	Размер пластины	Подача на зуб, f_z (мм/зуб)		Мах толщина стружки, h_{ex} (мм)	
			Начальное значение	(min- max)	Начальное значение	(min - max)
CoroMill® 690 	M-P-SL M-E-SL	10	0.10	(0.05 – 0.2)	0.10	(0.05 – 0.15)
	M-P-SL M-E-SL	14	0.12	(0.05 – 0.2)	0.12	(0.05 – 0.15)
Длиннокромочная фреза для чистовой обработки  * с пластинами размером 18	-PL2 -PL -ML2 -ML -2 -AL	18*/19	0.15	(0.05 – 0.2)	0.12	(0.02 – 0.08)
CoroMill® 790  R790	H-NL H-NM H-PL H-NL H-NM H-PL	16 16 16 22 22 22	0.2 0.3 0.15 0.3 0.6 0.15	(0.1 – 0.3) (0.1 – 0.4) (0.10 – 0.20) (0.10 – 0.40) (0.20 – 0.60) (0.10 – 0.20)	0.2 0.3 0.05 0.3 0.6 0.05	(0.1 – 0.3) (0.1 – 0.4) (0.02 – 0.08) (0.10 – 0.40) (0.20 – 0.60) (0.02 – 0.08)
CoroMill® Century  R590	-NL CD10 -NL H10		0.15 0.20	(0.05 – 0.30) (0.10 – 0.40)	0.15 0.20	(0.05 – 0.30) (0.10 – 0.40)
AUTO-FS  R/L262.4 R/L262.42	SBEN SBEX SBEX-11	Чистовая обработка	0.17	(0.1 – 0.3)	0.17	(0.1 – 0.3)
T-Line  R260.90	CDE	Черновая обработка	0.17	(0.1 – 0.3)	0.17	(0.1 – 0.3)

Точение

B

Отрезка и обработка канавок

C

Нарезание резьбы

D

Фрезерование

E

Сверление

F

Расширение

G

Инструментальная оснастка

H

Материалы

I

Информация/Указатель

Торцевое фрезерование

Подача на зуб, f_z (мм/зуб)Мак толщина стружки, h_{ex} (мм) $K_r = 75^\circ - 10^\circ$ Геометрия
пластиныРазмер
пластиныНачальное
значение (min - max)Начальное
значение (min - max)

CoroMill® 345



E-PL E-ML E-KL M-PL M-KL	Легкая	13	0.15	(0.07 – 0.20)	0.10	(0.07 – 0.14)				
M-PM M-MM M-KM	Средняя						0.30	(0.15 – 0.45)	0.21	(0.10 – 0.32)
M-PH M-KH	Тяжелая						0.45 0.40	(0.35 – 0.55) (0.30 – 0.50)	0.32 0.28	(0.25 – 0.39) (0.21 – 0.35)

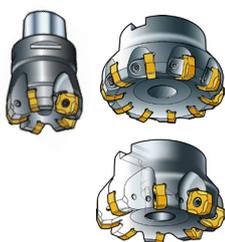
CoroMill® 245



R245

E-PL E-ML E-KL	Легкая		0.14	(0.08–0.21)	0.10	(0.06 – 0.15)
M-PL M-KL	Легкая		0.17	(0.08 – 0.21)	0.12	(0.06 – 0.15)
M-PM, M-KM M-PM, M-KM	Средняя		0.24	(0.10 – 0.28)	0.17	(0.07 – 0.20)
			0.12	(0.08 – 0.18) CT530, H13A	0.09	(0.06 – 0.13)
K-MM			0.23	(0.10 – 0.28)	0.16	(0.07 – 0.20)
M-PH M-KH	Тяжелая		0.35	(0.10 – 0.42)	0.25	(0.07 – 0.30)
E-AL			0.24	(0.10 – 0.28)	0.17	(0.07 – 0.20)
E	Керамика		0.21	(0.10 – 0.30) CC6190	0.15	0.07 – 0.20
E	CBN		0.14	(0.07 – 0.21) CB50	0.10	(0.06 – 0.15)
E	PCD		0.14	(0.07 – 0.21) CD10	0.10	(0.06 – 0.15)

CoroMill® 365



-PL -PM -KL -KM	15	0.20	(0.12 – 0.28)	0.18	(0.11 – 0.25)
		0.22	(0.15 – 0.28)	0.20	(0.14 – 0.25)
		0.22	(0.12 – 0.35)	0.20	(0.11 – 0.32)
		0.25	(0.15 – 0.35)	0.23	(0.14 – 0.32)

Sandvik AUTO



R/L260.3

TNHF-WL TNEF-WL TNHF-CA TNEF-CA TNHF-65 TNEF-65 TNJN TNEN TNCN		0.17	(0.08 – 0.21)	0.12	(0.06 – 0.15)
		0.24	(0.1 – 0.42)	0.17	(0.07 – 0.30)
		0.24	(0.1 – 0.28)	0.17	(0.07 – 0.20)
		0.35	(0.1 – 0.70)	0.25	(0.07 – 0.50)
		0.24	(0.1 – 0.28)	0.17	(0.07 – 0.20)

AUTO-AF

R/L260.8
R/L260.82

N260.8-F N260.8-L		0.16	(0.08 – 0.21)	0.15	(0.08 – 0.20)
----------------------	--	------	---------------	------	---------------

Торцевое и плунжерное фрезерование

$K_r = 75^\circ - 10^\circ$	Геометрия пластины	Размер пластины	Подача на зуб, f_z (мм/зуб)		Макс толщина стружки, h_{ex} (мм)	
			Начальное значение	(min - max)	Начальное значение	(min - max)
CoroMill® 360 	PM MM KN Тяжелая	19 28	0.45	(0.3 – 0.7)	0.40	(0.25 – 0.60)
T-MAX® 45 R260.7 	LNCX -11 -31 -32 Средняя		0.35 0.35 0.35	(0.10 – 1.0) (0.10 – 0.70) (0.10 – 0.70)	0.25 0.25 0.25	(0.07 – 0.70) (0.07 – 0.50) (0.07 – 0.50)
CoroMill® 210  R210	M-PM M-KM M-MM E-PM E-MM E-KM	09 14 09 14	Торцевое фрезерование 1.0 (0.4 – 2.0) 1.5 (0.5 – 3.0)		0.17 0.26	(0.07 – 0.35) (0.08 – 0.52)
Плунжерная фреза 	LPMH-PM LPMH-MM	25	0.20	(0.10 – 0.30)		

Фрезы с круглыми пластинами и со сферическим концом

				Подача на зуб, f_z (мм/зуб)	Мах толщина стружки, h_{ex} (мм)						
				Начальное значение	(min - max)	Начальное значение	(min - max)				
		Геометрия пластины	Размер пластины, iC								
Фрезы с круглыми пластинами											
 <p>CoroMill® 200 R200</p>	-PL -ML -KL	Легкая	10 – 20			0.08	(0.05 – 0.12)				
	-PM -KM -MM -WM	Средняя	10 – 20			0.17	(0.10 – 0.20)				
	-PH -KH -WH	Тяжелая	10 – 20			0.25	(0.10 – 0.30)				
		CBN	12			0.10	(0.05 – 0.15)				
		Керамика	12 – 16			0.20	(0.07 – 0.30)				
 <p>CoroMill® 300 R300</p> <p>Минутная подача, см. "Основной каталог".</p>	E-PM E-MM	Легкая	8 10 12 16 20	Торцевое фрезерование круглыми пластинами ($a_p < iC/2$) мм.		0.13 0.13 0.15 0.18 0.2	(0.05 – 0.15) (0.05 – 0.15) (0.05 – 0.20) (0.05 – 0.20) (0.05 – 0.25)				
	E-PM E-MM	Средняя	5 7 8 10 12 16 20			$f_z = \frac{h_{ex} \times iC}{2 \times \sqrt{a_p \times iC - a_p^2}}$		0.08 0.10 0.13 0.18 0.18 0.2 0.25	(0.05 – 0.12) (0.05 – 0.15) (0.05 – 0.20) (0.05 – 0.25) (0.05 – 0.25) (0.05 – 0.30) (0.05 – 0.40)		
	M-PM M-MM	Средняя	8 10 12 16 20			Фрезерование боковой частью инструмента ($a_e < D_{cap}/2$) и круглые пластины ($a_p < iC/2$) мм.		0.13 0.15 0.15 0.18 0.20	(0.07 – 0.20) (0.07 – 0.25) (0.07 – 0.25) (0.07 – 0.25) (0.07 – 0.30)		
	M-PM M-MM	Средняя	8 10 12 16 20					$f_z = \frac{h_{ex} \times iC \times D_{cap}}{4 \times \sqrt{a_p \times iC \times a_p^2 \times D_{cap} \times a_e - a_e^2}}$		0.15 0.20 0.20 0.25 0.35	(0.07 – 0.25) (0.07 – 0.30) (0.07 – 0.30) (0.07 – 0.40) (0.07 – 0.55)
	M-PM M-MM	Средняя	8 10 12 16 20							0.15 0.20 0.20 0.25 0.35	(0.07 – 0.25) (0.07 – 0.30) (0.07 – 0.30) (0.07 – 0.40) (0.07 – 0.55)
	M-PH M-MH M-KH	Тяжелая	8 10 12 16 20			0.15 0.20 0.20 0.25 0.35	(0.07 – 0.25) (0.07 – 0.30) (0.07 – 0.30) (0.07 – 0.40) (0.07 – 0.55)				
	Концевые фрезы со сферическим концом										
	 <p>CoroMill® со сферическим концом R216</p>	-12 .. M-M -16 .. M-M -20 .. M-M -25 .. M-M -30 .. M-M -32 .. M-M -40 .. M-M -50 .. M-M			Подача на зуб (мм/зуб), фрезерование центром инструмента.		0.10 0.10 0.15 0.15 0.17 0.17 0.20 0.25	(0.08 – 0.21) (0.08 – 0.21) (0.08 – 0.25) (0.08 – 0.25) (0.08 – 0.28) (0.08 – 0.28) (0.10 – 0.42) (0.10 – 0.42)			
							$f_z = \frac{D_c \times h_{ex}}{D_{cap}}$		0.10 0.10 0.10 0.15 0.15 0.17 0.17 0.20 0.20	(0.05-0.21) (0.05-0.21) (0.05-0.21) (0.05-0.25) (0.05-0.25) (0.05-0.28) (0.05-0.28) (0.05-0.35) (0.05-0.35)	
		-10 .. E-M -12 .. E-M -16 .. E-M -20 .. E-M -25 .. E-M -30 .. E-M -32 .. E-M -40 .. E-M -50 .. E-M			Подача на зуб (мм/зуб), фрезерование боковой частью инструмента.		0.10 0.10 0.10 0.15 0.15 0.17 0.17 0.20 0.20	(0.05-0.21) (0.05-0.21) (0.05-0.21) (0.05-0.25) (0.05-0.25) (0.05-0.28) (0.05-0.28) (0.05-0.35) (0.05-0.35)			
							$f_z = \frac{D_3 \times h_{ex}}{\sqrt{D_{cap}^2 - (D_{cap} - 2 \times a_e)^2}}$		0.10 0.10 0.10 0.15 0.15 0.17 0.17 0.20 0.20	(0.05-0.21) (0.05-0.21) (0.05-0.21) (0.05-0.25) (0.05-0.25) (0.05-0.28) (0.05-0.28) (0.05-0.35) (0.05-0.35)	
	 <p>CoroMill® со сферическим концом для чистовой обработки R216F</p>	-08 .. E-L -10 .. E-L -12 .. E-L -16 .. E-L -20 .. E-L -25 .. E-L -30 .. E-L -32 .. E-L			0.12 0.12 0.15 0.17 0.17 0.20 0.20 0.20	(0.10-0.25) (0.10-0.25) (0.15-0.35) (0.15-0.35) (0.15-0.35) (0.15-0.40) (0.15-0.40) (0.15-0.40)	0.07 0.07 0.09 0.11 0.11 0.13 0.13 0.13	(0.05-0.18) (0.05-0.18) (0.07-0.22) (0.07-0.25) (0.07-0.25) (0.07-0.29) (0.07-0.29) (0.07-0.29)			
				0.12 0.12 0.15 0.17 0.17 0.20 0.20 0.20	(0.10-0.25) (0.10-0.25) (0.15-0.35) (0.15-0.35) (0.15-0.35) (0.15-0.40) (0.15-0.40) (0.15-0.40)	0.07 0.07 0.09 0.11 0.11 0.13 0.13 0.13	(0.05-0.18) (0.05-0.18) (0.07-0.22) (0.07-0.25) (0.07-0.25) (0.07-0.29) (0.07-0.29) (0.07-0.29)				
				0.12 0.12 0.15 0.17 0.17 0.20 0.20 0.20	(0.10-0.25) (0.10-0.25) (0.15-0.35) (0.15-0.35) (0.15-0.35) (0.15-0.40) (0.15-0.40) (0.15-0.40)	0.07 0.07 0.09 0.11 0.11 0.13 0.13 0.13	(0.05-0.18) (0.05-0.18) (0.07-0.22) (0.07-0.25) (0.07-0.25) (0.07-0.29) (0.07-0.29) (0.07-0.29)				
				0.12 0.12 0.15 0.17 0.17 0.20 0.20 0.20	(0.10-0.25) (0.10-0.25) (0.15-0.35) (0.15-0.35) (0.15-0.35) (0.15-0.40) (0.15-0.40) (0.15-0.40)	0.07 0.07 0.09 0.11 0.11 0.13 0.13 0.13	(0.05-0.18) (0.05-0.18) (0.07-0.22) (0.07-0.25) (0.07-0.25) (0.07-0.29) (0.07-0.29) (0.07-0.29)				
				0.12 0.12 0.15 0.17 0.17 0.20 0.20 0.20	(0.10-0.25) (0.10-0.25) (0.15-0.35) (0.15-0.35) (0.15-0.35) (0.15-0.40) (0.15-0.40) (0.15-0.40)	0.07 0.07 0.09 0.11 0.11 0.13 0.13 0.13	(0.05-0.18) (0.05-0.18) (0.07-0.22) (0.07-0.25) (0.07-0.25) (0.07-0.29) (0.07-0.29) (0.07-0.29)				
				0.12 0.12 0.15 0.17 0.17 0.20 0.20 0.20	(0.10-0.25) (0.10-0.25) (0.15-0.35) (0.15-0.35) (0.15-0.35) (0.15-0.40) (0.15-0.40) (0.15-0.40)	0.07 0.07 0.09 0.11 0.11 0.13 0.13 0.13	(0.05-0.18) (0.05-0.18) (0.07-0.22) (0.07-0.25) (0.07-0.25) (0.07-0.29) (0.07-0.29) (0.07-0.29)				
				0.12 0.12 0.15 0.17 0.17 0.20 0.20 0.20	(0.10-0.25) (0.10-0.25) (0.15-0.35) (0.15-0.35) (0.15-0.35) (0.15-0.40) (0.15-0.40) (0.15-0.40)	0.07 0.07 0.09 0.11 0.11 0.13 0.13 0.13	(0.05-0.18) (0.05-0.18) (0.07-0.22) (0.07-0.25) (0.07-0.25) (0.07-0.29) (0.07-0.29) (0.07-0.29)				
				0.12 0.12 0.15 0.17 0.17 0.20 0.20 0.20	(0.10-0.25) (0.10-0.25) (0.15-0.35) (0.15-0.35) (0.15-0.35) (0.15-0.40) (0.15-0.40) (0.15-0.40)	0.07 0.07 0.09 0.11 0.11 0.13 0.13 0.13	(0.05-0.18) (0.05-0.18) (0.07-0.22) (0.07-0.25) (0.07-0.25) (0.07-0.29) (0.07-0.29) (0.07-0.29)				
				0.12 0.12 0.15 0.17 0.17 0.20 0.20 0.20	(0.10-0.25) (0.10-0.25) (0.15-0.35) (0.15-0.35) (0.15-0.35) (0.15-0.40) (0.15-0.40) (0.15-0.40)	0.07 0.07 0.09 0.11 0.11 0.13 0.13 0.13	(0.05-0.18) (0.05-0.18) (0.07-0.22) (0.07-0.25) (0.07-0.25) (0.07-0.29) (0.07-0.29) (0.07-0.29)				

Фрезерование пазов

Трёхсторонние фрезы		Геометрия пластины	Размер пластины	Подача на зуб, f_z (мм/зуб)		Мак толщина стружки, h_{ex} (мм)		
				Начальное значение	(min - max)	Начальное значение	(min - max)	
CoroMill® 327		-GM -GMM -GC -CH -TH -THM -RM	06, 09, 12, 14	0.15	(0.07 – 0.25)	0.06	(0.02 – 0.1)	
CoroMill® 328		-GM -GC -TH	13	0.15	(0.1 – 0.2)	0.1	(0.05 – 0.15)	
CoroMill® 329		Посадочный размер -D, -E -F, -G -H, -J, -K		0.1	(0.07 – 0.17)	0.07	(0.05 – 0.12)	
CoroMill® 331		-PL, ML, -KL, -WL, -NL	04, 05	0.15	(0.05 – 0.22)	0.10	(0.05 – 0.15)	
			08, 11, 13, 14	0.18	(0.07 – 0.22)	0.12	(0.08 – 0.15)	
		-PM, -MM, -KM, -WM	04, 05	0.19	(0.08 – 0.29)	0.13	(0.08 – 0.20)	
			08, 11, 13, 14	0.25	(0.1 – 0.29)	0.17	(0.10 – 0.20)	
		RCHT/RCKT						
		-PL, ML, -KL		0.11	(0.07 – 0.17)	0.08	(0.05 – 0.12)	
-WM, -PM, -MM -KM		0.24	(0.10 – 0.28)	0.17	(0.10 – 0.20)			
-WH, -KH, -PH		0.35	(0.10 – 0.42)	0.25	(0.10 – 0.30)			
T-MAX® Q-Cutter	Обработка пазов							
	330.20	330.20 -AA -AA -XE	2 – 4	0.09	(0.02 – 0.12)	0.06	(0.02 – 0.06)	
			5 – 6	0.09	(0.02 – 0.12)	0.08	(0.02 – 0.13)	
				0.09	(0.02 – 0.12)	0.08	(0.02 – 0.13)	