

# Обработка титана

6Al-4V  
Ti-5Al-2.5Sn  
Ti-8Al-1Mo-1V  
Ti-10V-2Fe-3Al



Ti-5Al-2.5Sn

Ti-8Al-1Mo-1V

Ti-10V-2Fe-3Al



## Дополнительная информация

Полезную информацию об инструменте и методах обработки можно найти в наших каталогах, технических руководствах и брошюрах, а также на сайте компании Sandvik Coromant. Посетите наш сайт и узнайте о последних новинках!

[www.sandvik.coromant.com/ru](http://www.sandvik.coromant.com/ru)

[www.aero-knowledge.com](http://www.aero-knowledge.com)

# Содержание

<b>1 Введение</b>	<b>2</b>	<b>4 Сверление</b>	<b>98</b>
Материал	3	Основные положения	100
Отрасли промышленности	6	Обзор инструмента	104
Планирование процесса	8	Сверление коротких отверстий	105
Выбор оборудования	9	Глубокое сверление	112
<b>2 Точение</b>	<b>17</b>	<b>5 Растачивание</b>	<b>113</b>
Основные положения	17	Основные положения	114
Наружное точение	21	Обзор инструмента	115
Внутреннее точение	32	<b>6 Выбор инструментальной оснстки</b>	<b>120</b>
Отрезка и обработка канавок	36	<b>7 Обработка типовых деталей</b>	<b>124</b>
Мелкоразмерная обработка	41	<b>8 Формулы и определения</b>	<b>130</b>
Подача СОЖ под высоким давлением	43		
Примеры типовых операций	46		
Рекомендации по выбору геометрии	53		
Рекомендации по выбору режимов резания	54		
<b>3 Фрезерование</b>	<b>56</b>		
Основные положения	57		
Сплавы	62		
Рекомендации по программированию	64		
Торцевое фрезерование	70		
Фрезерование уступов	72		
Профильное фрезерование	76		
Фрезерование пазов	80		
Плунжерное фрезерование	82		
Резьбофрезерование	83		
Высокоскоростная обработка	84		
Специализированные методы обработки	85		
Примеры типовых операций	89		
Рекомендации по выбору режимов резания	96		

# 1. Введение

Это техническое руководство поможет Вам решить проблемы и добиться успеха в области обработки титана.

Здесь представлена информация о том, как правильно разработать технологический процесс и как избежать ошибок, приводящих к большим затратам, при обработке деталей из титана. Наряду с этим в данном руководстве описаны методы обработки, представлены рекомендации по применению инструмента и советы по решению проблем для различных операций обработки титана.





# Материал

Титан является труднообрабатываемым материалом.

Его свойства усложняют процесс резания даже в сравнении с обработкой таких материалов, как чугун и нержавеющей сталь.

Однако при условии тщательного планирования процесса с применением глубоких знаний в данной области и с использованием инструмента/оснастки, оптимизированных для обработки титана, существует возможность обратить специфические свойства данного материала в преимущество.

Титан широко применяется для изготовления таких деталей, как:

- Двигатели летательных аппаратов
- Детали фюзеляжа летательных аппаратов
- Шасси
- Мелкогабаритные детали
- Медицинские импланты
- Детали автомобилей, коробки передач, турбины
- Детали соединений

## Механические свойства

Свойства	Влияние на режущий инструмент
Сохраняет прочность при относительно высокой температуре	Высокие силы и температуры в зоне резания
Небольшая толщина стружки, узкая область контакта по передней поверхности	Концентрация сил резания, подача ниже среднего значения
Низкая теплопроводность	Требуется высокая красностойкость Большая зависимость от скорости/подачи
Цикличность стружкообразования – переменные силы резания	Склонность к вибрациям
Химическая активность по отношению к инструментальному материалу	Лункообразование
Высокое содержание карбидов	Износ по задней поверхности

## Свойства титановых сплавов

Состояние	Обозначение	Состав (в %)							Предел прочности Н/мм <sup>2</sup>	Твердость НВ	Удельная сила резания к <sub>c</sub> , МПа
		Al	Sn	Mo	V	Zr	Cr	Другие			
α-сплав	Ti-5Al-2.5Sn	5	2.5						790	300-400	1200
	Ti-5Al-2.5Sn ELI	5	2.5						690		
	Ti-8Al-1Mo-1V	8		1	1				900		
	Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo	6	2	2		4			900		
	Ti-3Al-2.5V	3			2.5				620		
α-β-сплав	Ti-6Al-4V	6			4				900	310-350	1700
	Ti-6Al-6V-2Sn	6	2		6				1030		
	Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo	6	2	6		4			1170		
	Ti-5Al-2Sn-4Mo-27r-4Cr (Ti-17)	5	2	4		2	4		1125		
	Ti-7Al-4Mo	7		4					1030		
	Ti-6Al-32Sn-27r-2Mo-2Cr-0.25Si	6	2	2		2	2	0.25	1280		
	Ti-8Mn							8	860		
β-сплав	Ti-13V-11Cr-3Al	3			13		11		1170	275-400	2400
	Ti-11.5Mo-6Zr-4.5Sn (β III)		4.5	11.5		6			700		
	Ti-3Al-8V-6Cr-4Zr-4Mo (β C)	3		4	8	4	6		900		
	Ti-10V-2Fe-3Al	3			10			2	1170		
	Ti-15V-3Al-3Cr-3Sn	3	3		15		3		1000		
	Ti-5553	5		5	5		3	1.3	1160		

### Сравнение обрабатываемости различных титанов

За эталон обрабатываемости в данном руководстве принимается Ti6Al4V. Для других сплавов следует применять те же подачи и методы обработки, однако скорость резания следует корректировать в соответствии с коэффициентом обрабатываемости.

## Легирующие элементы

Титановые сплавы делятся на три класса в зависимости от структуры и состава легирующих элементов. Содержание легирующих элементов отражается в обозначении сплава.

**Альфа-сплавы** – легируются Al, O и/или N, которые преимущественно являются  $\alpha$ -стабилизаторами.

**Бета-сплавы** – легируются Mo, Fe, V, Cr и/или Mn, которые являются  $\beta$ -стабилизаторами.

**Сплавы  $\alpha+\beta$**  – сплавы, имеющие двухфазную структуру.

Большинство сплавов, которые применяются в настоящее время, являются сплавами  $\alpha+\beta$ . Сплав Ti-6Al-4V, разработанный в 1954 году, остается наиболее применяемым сплавом общего назначения, который используется не только в аэрокосмической промышленности, но также и в других областях.

Легирующие элементы оказывают прямое влияние на физические и химические свойства сплавов, а также температурные характеристики и обрабатываемость.

# Отрасли промышленности

## Типовые детали

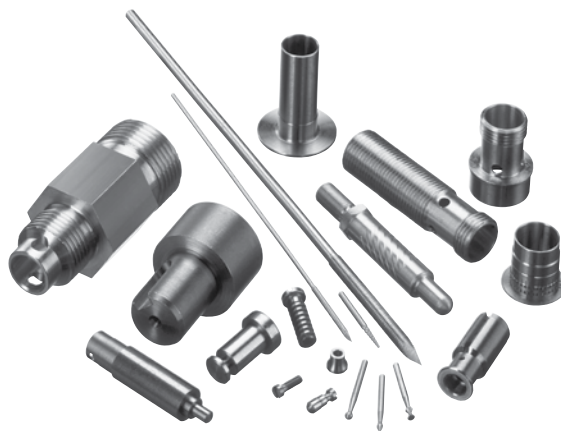
Аэрокосмическая  
промышленность



**Медицинская  
промышленность**



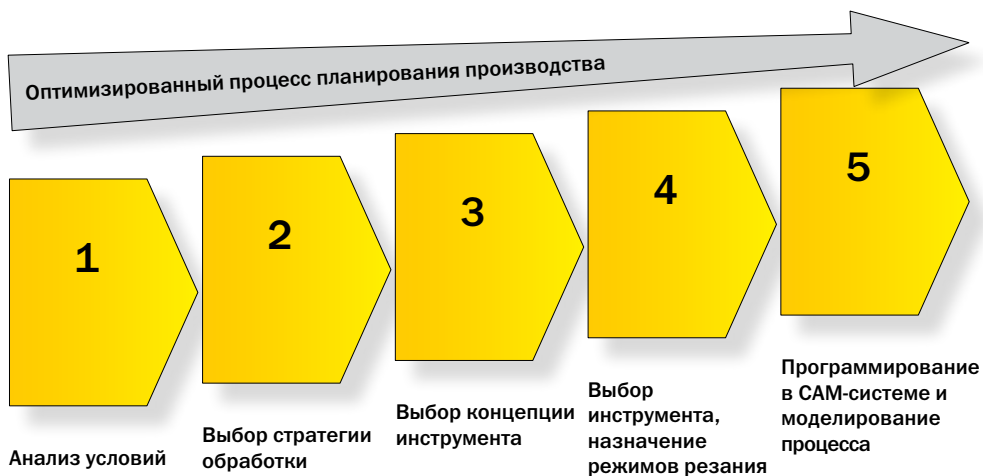
**Обработка мелкоразмерных  
деталей**



# Планирование процесса

Перед обработкой любого титанового сплава очень важно провести анализ и оптимизацию процесса. Это поможет определить оптимальный инструмент и использовать его преимущества в этой специфичной области применения.

Базовый анализ включает следующие этапы:



# Выбор оборудования

При инвестировании средств в оборудование важно учитывать, что принятое решение будет оказывать влияние на эффективность обработки последующие 10 лет. Новейшие технологии и разработки дают возможность усовершенствовать обработку по сравнению с традиционными методами.

## Конфигурация

### Многофункциональные станки

Форма детали во многом определяет, какое оборудование – токарное или фрезерное – необходимо для ее получения.

Как правило, производство деталей фюзеляжа летательных аппаратов не требует токарных операций в отличие от деталей двигателей и шасси, где они необходимы. Все современные станки позволяют осуществлять как токарные, так и фрезерные операции.

- 5-координатный обрабатывающий центр с вращающимся столом для осуществления токарных операций
- Станок с осью В или многоцелевой станок
- Токарные центры с возможностью применения приводного инструмента
- Вертикальные токарные станки с фрезерным шпинделем и возможностью поворота шпиндельной головки на 90° для 3- и 4-координатного фрезерования



Применение многоцелевых станков значительно повышает коэффициент использования оборудования. Наилучший выбор, как правило, определяется длиной и диаметром детали.

Инструментальная система Coromant Capto одинаково эффективна для фрезерования, сверления и точения.



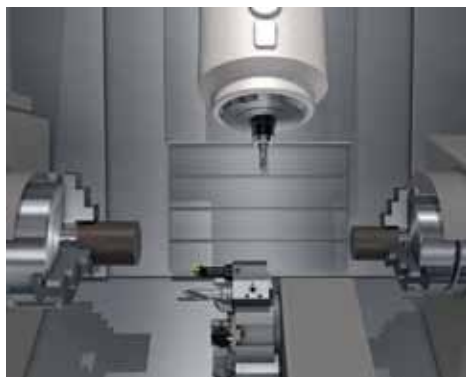
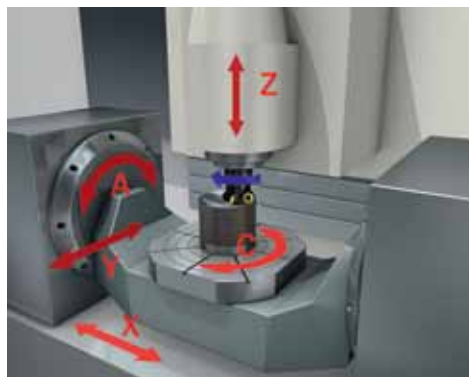


## Количество координат

Для обработки многих деталей, изготавливаемых из титана, требуются 5-координатные станки. Такое оборудование менее жесткое, чем 3- или 4-координатное. Следует отметить, что при 5-координатной обработке, важно очень тщательно составлять программу, избегая большой ширины фрезерования. В этом случае требуется небольшая переналадка станка между черновым и чистовым этапами, что позволяет осуществлять их за один установ заготовки, и это является бесспорным преимуществом.

5-координатные станки могут быть объединены в 3 группы.

- С поворотным столом: вертикальный неподвижный шпиндель, перемещение детали осуществляется столом (4-5 координат). Обработка на данном станке отличается очень высокой стабильностью. Оборудование обладает лучшими динамическими характеристиками для одновременной обработки по 5 координатам и является хорошим решением для обработки деталей типа блиск/импеллер. Ограничением являются габаритные размеры детали, которые не должны превышать 1 м
- С поворотной головкой: 4-я и 5-я координаты – это поворот шпинделя на угол до 90°. Такая конфигурация станка является лучшим решением для обработки крупногабаритных деталей без применения токарных операций
- С осью В: 4-я координата – вращение заготовки, 5-я – наклон шпинделя. Идеально подходит для точения фрезерованием деталей диаметром до 0.8 м на токарных станках и обработки крупногабаритных деталей (от 0.8 м до 2 м) на фрезерных станках



## Требования к шпинделю

### Мощность

Наибольшая мощность требуется для осуществления операции фрезерования в полный паз. Конкретное значение зависит от диаметра фрезы.

- Для диаметра 100 мм (4"):  $a_p = 100$  мм (4") 38 кВт
- Для диаметра 66 мм (2.5"):  $a_p = 57$  мм (2.2") 16 кВт

Таких высоких значений требуемой мощности можно избежать за счет оптимизации программы обработки – снижения ширины фрезерования. Мощность 30 кВт является допустимым значением для общей области применения.

### Крутящий момент

Требования, предъявляемые к крутящему моменту, напрямую связаны с диаметром инструмента. Следует обратить особое внимание на операции торцевого фрезерования и обработки пазов. Торцевое фрезерование обычно занимает небольшую часть общего машинного времени, поэтому часто можно выбирать инструмент с меньшим диаметром.

Если же требуется применять фрезы большого диаметра, необходимо использовать редукторный двигатель.

### Частота вращения

Значительная часть машинного времени расходуется на осуществление получистовых и чистовых операций.

Высокоскоростная обработка (высокая частота вращения, небольшая ширина фрезерования) позволяет значительно сократить время, затрачиваемое на получистовые и чистовые операции. Применяется скорость резания до 200 м/мин (656.1 фут/мин). Для концевой фрезы диаметром 10 мм (0.394") частота вращения в этом случае составит 6365 об/мин. Таким образом, необходимо обеспечивать соответствующую диаметру фрезы частоту вращения.

## Инструментальная система

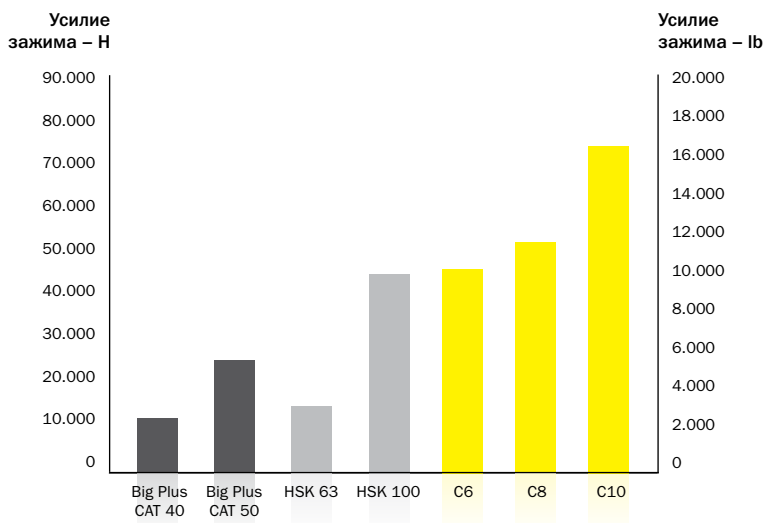
Выбор инструментальной системы станка является ключом к эффективной металлообработке, однако часто этому вопросу не уделяется достаточно внимания на этапе инвестирования в новое оборудование.

Инструментальная система должна обеспечивать быстросменность и жесткость инструментальной наладки, эффективно передавать крутящий момент при фрезеровании и выдерживать воздействие сил резания при точении.

Если силы резания будут выше, чем способна выдерживать инструментальная система, процесс обработки будет осуществляться нестабильно, что снизит скорость удаления материала и коэффициент использования станка (из-за вибраций и поломок).

Необходимо определить требования для каждой области применения. Для многоцелевых станков необходимо учесть требования, предъявляемые как на токарных, так и на фрезерных операциях.

## Сравнение усилий зажима инструмента



Источники: HSK Handbook, copyright 1999  
Big Daishowa (Big plus spindle system)

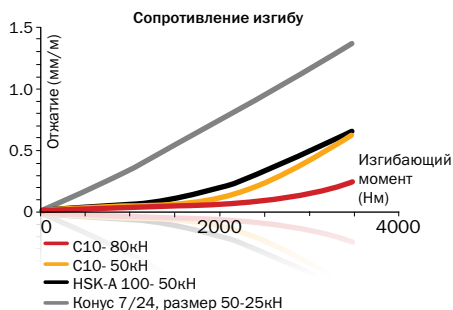
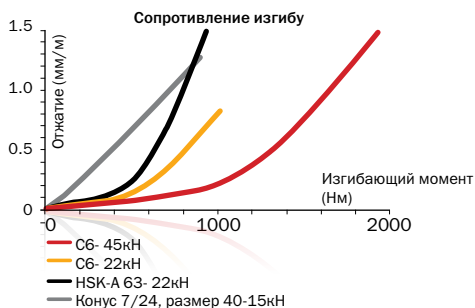
## Фрезерные станки

Изгибная жесткость является самой важной характеристикой системы крепления инструмента, так как силы резания стремятся «раскрыть» соединение. Большой вылет инструмента и высокие силы резания (например, при применении длиннокрюмочной фрезы) при обработке титана объясняют необходимость предъявления высоких требований к инструментальной системе.

Факторы, обеспечивающие высокую изгибную жесткость:

- Контакт по торцу – этим объясняется переход с традиционного конуса на системы Big Plus, HSK и Coromant Capto, которые характеризуются обеспечением контакта не только по конусной поверхности, но и по торцу, что повышает изгибную жесткость
- Усилие зажима – чем выше усилие зажима, тем большая сила требуется для «раскрытия» соединения. В системах HSK и Coromant Capto используется лепестковая цанга с сегментами, которая обеспечивает более эффективное закрепление, чем центральный болт

Площадь поперечного сечения соединения также является важным показателем. Coromant Capto характеризуется большой площадью поперечного сечения, что обеспечивает большее усилие зажима.



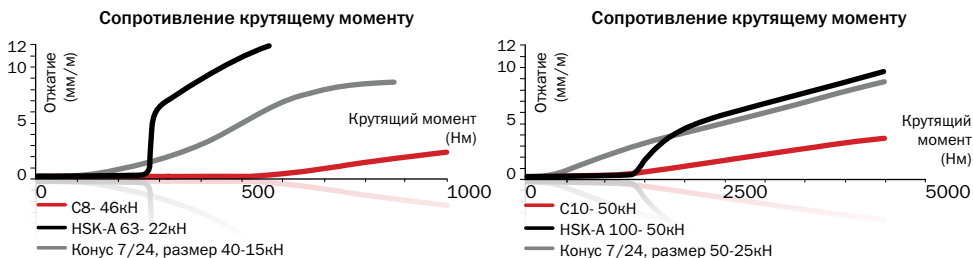
### Токарные и многоцелевые станки

Несмотря на то, что применение токарного инструмента с большим вылетом (главным образом расточных оправок) требует высокой изгибной жесткости соединения, крутящий момент является основным показателем. Чем больше расстояние от режущей кромки до базовой поверхности инструментального блока, тем больший крутящий момент нагружает соединение.

Это очень важный аспект, особенно для многоцелевого оборудования, на котором осуществляются как токарные, так и фрезерные операции. Если станок используется только для операций с вращающимся инструментом, то традиционный конус и соединение HSK способны выдерживать возникающие нагрузки.



Принципиальным отличием системы Coromant Capto является то, что она подходит для закрепления как стационарного, так и вращающегося инструмента. Полигональный конус обеспечивает передачу крутящего момента без участия дополнительных элементов, таких как штифт или шпонка. Поверхность трехгранной формы уже давно является эффективным конструктивным решением для передачи высокого крутящего момента колечными валами судов.



### Системы крепления инструмента для токарных станков




Автоматическая замена инструмента на станке обеспечивает высокий коэффициент использования оборудования.

На токарных центрах без функции автоматической замены инструмента рекомендуется применять быстросменную оснастку для осуществления процесса замены инструмента вручную. Использование такого решения позволяет сократить время, затрачиваемое на замену инструмента и последующую настройку, а также обеспечить высокую стабильность обработки и возможность подачи СОЖ под высоким давлением.

## 2. Точение

### Основные положения

Точение титана можно разделить на три этапа: предварительный, промежуточный и окончательный. Каждый этап характеризуется своими особенностями и спецификой применения инструмента.

	Области применения	Рекомендации по выбору режимов резания	Требования к инструментальному материалу
Предв. обраб.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Тяжелая черновая обработка</li> <li>Удаление корки</li> </ul>	$a_p$ 3-10 мм (0.118-0.394")  $f_n$ 0.3-0.8 мм (0.012-0.031")  $v_c$ 25 м/мин (82 фут/мин)	 <ul style="list-style-type: none"> <li>Прочность</li> <li>Стойкость к лункообразованию</li> <li>Красностойкость</li> </ul>
Пром. обраб.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Черновая/получистовая обработка</li> <li>Обработка заготовки без корки</li> <li>Профильная обработка</li> </ul>	$a_p$ 0.5-4 мм (0.02-0.157")  $f_n$ 0.2-0.5 мм (0.008-0.02")  $v_c$ 40-80 м/мин (131.2-262.5 фут/мин)	 <ul style="list-style-type: none"> <li>Красностойкость</li> <li>Стойкость к лункообразованию</li> </ul>
Окон. обраб.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Обеспечение требуемого качества поверхности</li> <li>Получистовая/чистовая обработка</li> </ul>	$a_p$ 0.25-0.5 мм (0.01-0.02")  $f_n$ 0.1-0.4 мм (0.004-0.016")  $v_c$ 80-120 м/мин (262.5-393.7 фут/мин)	 <ul style="list-style-type: none"> <li>Красностойкость</li> <li>Стойкость к лункообразованию</li> </ul>

## Влияние главного угла в плане

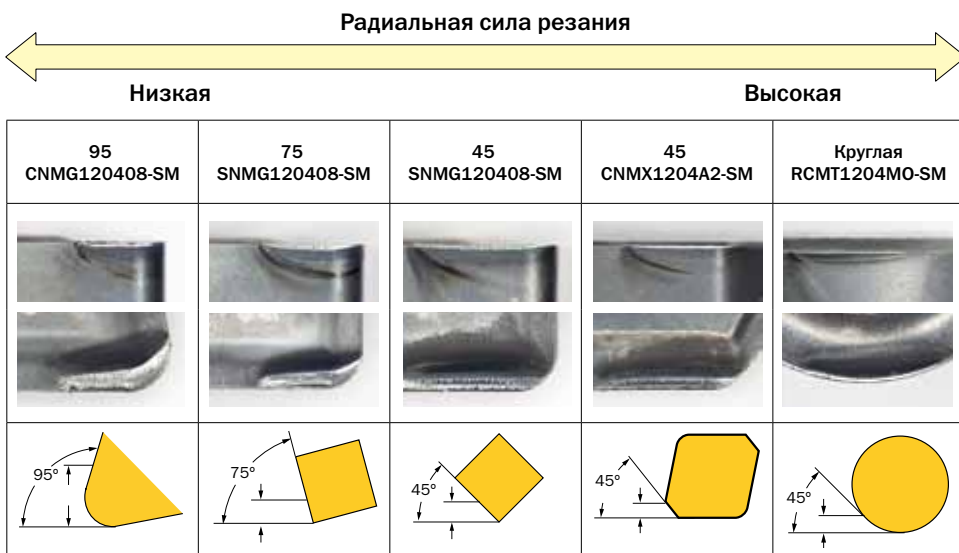
При обработке титановых сплавов на производительность и эксплуатационные качества влияют главный угол в плане ( $\kappa_r$ ), подача ( $f_n$ ) и толщина стружки ( $h_{ex}$ ).

Основными механизмами износа при обработке титана являются лункообразование и пластическая деформация. Под влиянием главного угла в плане характер износа не меняется, меняется только степень износа. Интенсивность износа и эффективность процесса резания в целом очень сильно зависят от количества выделяемого тепла.

Контролировать температуру в зоне резания можно за счет изменения скорости, толщины стружки и глубины резания.

Таким образом, повлиять на износ инструмента можно, изменив форму пластины или угол в плане.

## Влияние главного угла в плане на износ пластины





## Предварительный этап обработки Глубина резания до 10 мм (0.394")

Предварительный этап обработки титана включает обычные операции, в том числе тяжелую черновую обработку.

- Титановые поковки с неравномерной коркой
- Обработанные отливки, подвергнутые отжигу и старению
- Непокрытые сплавы – оптимальный выбор
- Большая глубина резания, низкая скорость резания
- Обычно заготовки простой формы, которые обрабатываются стандартным токарным инструментом
- Ответственные детали имеют кольцо (кольцо-свидетель), которое впоследствии отрезается и по которому проводится анализ материала



## Промежуточный этап обработки Глубина резания от 0.5 до 4 мм (от 0.02 до 0.157")

На этом этапе осуществляется подготовка к окончательному этапу обработки.

- Профильная обработка с переменной глубиной резания
- Материал без корки
- Средняя точность
- Остается припуск до 1 мм (0.039") на окончательную обработку
- Обработка карманов и профильная обработка деталей сложной формы
- Часто требуются специальные державки и пластины (особенно для обработки канавок)
- Тонкостенные детали
- Могут применяться сплавы с покрытием

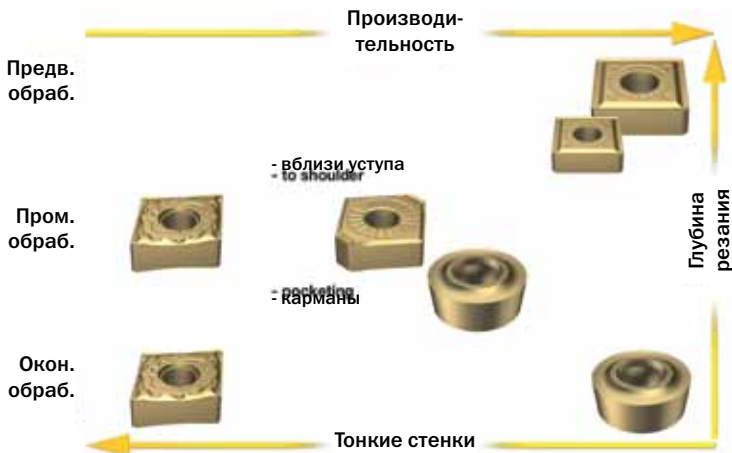


### Окончательный этап обработки

Глубина резания от 0.2 до 0.5 мм (от 0.008 до 0.020")

На окончательном этапе обработки удаляется оставшийся припуск.

- Решающий этап обработки
- Высокие требования к качеству обработанной поверхности
- На окончательный проход накладываются очень жесткие требования по качеству обработанной поверхности
- Иногда, в случае изготовления ответственных деталей, инструмент, траекторию его перемещения и режимы резания согласовывают с конечным потребителем
- Применение оси В при обработке на станке с ЧПУ позволяет обеспечить лучшую точность детали



# Наружное точение

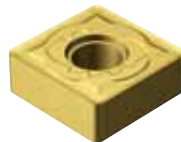
## Предварительная обработка

### Требования к станку

- На данном этапе обработки обычно предъявляются повышенные требования к мощности станка

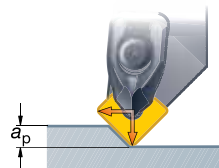
### Выбор инструмента

- Квадратные пластины с большим радиусом при вершине являются оптимальным выбором ввиду постоянства главного угла в плане и возможности назначения большой глубины резания
- Круглые пластины (большого размера)
- Размер пластины: iC19



### Оптимальная геометрия

- QM для повышения надежности обработки и получения более длинной стружки
- SMR для улучшенного контроля над стружкообразованием
- SM для снижения сил резания
- HM для тяжелой черновой обработки



Квадратные пластины для обработки с большой глубиной резания

### Оптимальный сплав

- H13A (без покрытия)

### Закрепление инструмента

- Для обеспечения высокой жесткости выбирайте инструмент с соединением Coromant Capto размером C8 и C10

## Промежуточная обработка

### Требования к станку

- Более низкие требования к мощности станка, чем для предварительного этапа
- Возможность обработки деталей сложной формы, высокая жесткость и хорошая геометрическая проходимость
- Применение подачи СОЖ под высоким давлением повышает производительность

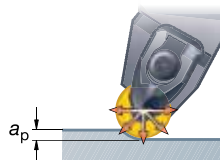


### Выбор инструмента

Круглые пластины являются оптимальным выбором для обработки титана, так как имеют ряд преимуществ, таких как:

- Невысокая интенсивность износа инструмента
- Средняя/высокая скорость резания
- Высокая прочность
- Возможность назначения высокой подачи
- Небольшая глубина резания – получение размера, близкого к окончательному
- Хорошая геометрическая проходимость для профильной обработки и обработки карманов

Для уменьшения контакта пластины с обрабатываемой поверхностью и снижения вибраций максимальная глубина резания не должна превышать 25% от диаметра пластины



Круглые пластины для работы с небольшой глубиной резания и высокой подачей

### Оптимальная геометрия

- -SMR – первый выбор благодаря надежности режущей кромки
- -SM – альтернативный вариант в случае необходимости снижения сил резания

### Оптимальный сплав

- H13A (без покрытия)
- GC1115 (PVD-покрытие) для обеспечения оптимального сочетания прочности и износостойкости

### Закрепление инструмента

- Для обеспечения лучшей жесткости выбирайте инструментальную систему Coromant Capto

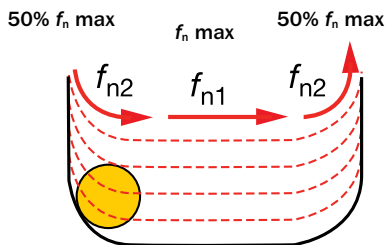
## Рекомендации по программированию

- Снижайте подачу по мере увеличения глубины резания
- Чем больше разница между радиусом траектории и диаметром пластины, тем меньше необходимость снижения подачи
- Рекомендуется снижение подачи на 50% на криволинейных участках траектории по сравнению с прямолинейными проходами
- Метод трохойдального точения является первым выбором

## Трохойдальное точение

Припуск разбивается на тонкие слои. Данный метод может использоваться для любых видов профильной обработки

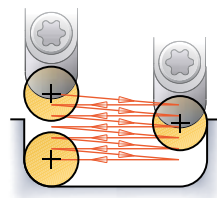
- Врезание по радиусу на заниженной подаче
- Повышение подачи до максимального значения на прямолинейных проходах
- При применении пластин CoroCut -RO и S-RCMX (круглых) направление перемещений может быть реверсивным для наиболее эффективного использования режущей кромки



Запрограммированный радиус = диаметр пластины

## Врезание под углом

- Альтернативный метод программирования для случаев, когда трохойдальное точение не является оптимальным решением с точки зрения возможностей программирования (систем CAD, CAM и ЧПУ)
- Программируйте траекторию с непостоянной глубиной резания
- Потенциальный износ в виде проточкин распределяется по всей длине режущей кромки
- Обеспечивается более продолжительная стойкость инструмента и предсказуемый износ



## Окончательная обработка

### Требования к станку

- Необходим высокоточный станок с быстросменной системой крепления и возможностью подачи СОЖ под высоким давлением

### Выбор инструмента

- Пластины с шлифованными режущими кромками повышают стойкость инструмента и снижают силы резания
- Необходимо выбирать форму и геометрию пластины с точки зрения обеспечения стабильности обработки

Для обработки тонкостенных деталей необходимо снизить радиальную составляющую силы резания:

- Главный угол в плане  $\kappa_r$   $45^\circ$  и радиус при вершине не более  $3 \times a_p$
- Острая геометрия с небольшим радиусом округления режущей кромки, например -SGF
- Относительно низкая подача – 0.15 мм/об (0.006 дюйм/об)

Для жестких деталей необходимо обеспечить высокую производительность:

- Большие радиус при вершине и радиус округления режущей кромки (сплав H13A)
- CoroCut RO, 6 мм (0.236") для эффективной обработки и получения высокого качества обработанной поверхности

**Оптимальная геометрия**

- -SGF для обеспечения лучшего качества поверхности, аналог геометрии -NGP
- -SF для лучшего контроля над стружкообразованием, когда качество поверхности не имеет решающего значения
- CoroCut -RO

**Оптимальный сплав**

- H13A (без покрытия)
- GC1105 (PVD, с острыми кромками) для снижения сил резания и повышения скорости резания
- CD10 (PCD) для обеспечения высокой стойкости инструмента и высокой скорости резания

**Закрепление инструмента**

- Для обеспечения лучшей жесткости выбирайте инструментальную систему Coromant Capto



## Оптимизированные геометрии пластин

### для точения титана

Геометрии пластин для обработки материалов группы ISO S предназначены для работы с глубиной резания от 0.2 до 10 мм (от 0.008 до 0.394") и обеспечивают низкие силы резания и превосходный контроль над стружкообразованием.

Пластины: двухсторонние, T-Max® P

Форма пластины: S, C, D, T, V, W

Радиус при вершине: от 0.4 до 1.6 мм (от 0.016 до 0.063")

Сплавы: H13A, GC1105, GC1115, GC1125, S05F

### -SMR для надежной и безопасной обработки



Легкая черновая обработка  
с -SMR

#### Область применения

- От получистовой до легкой черновой обработки
- Непрерывное резание, прерывистое и нагруженное резание
- Обработка по упрочненной поверхности или литейной корке

#### Особенности и преимущества

- Надежность
- Высокая прочность режущей кромки
- Контроль над стружкообразованием
- Возможность работы с высокой подачей

### -SM для надежной обработки при продолжительных проходах и непрерывном резании



Получистовая обработка  
с -SM

#### Область применения

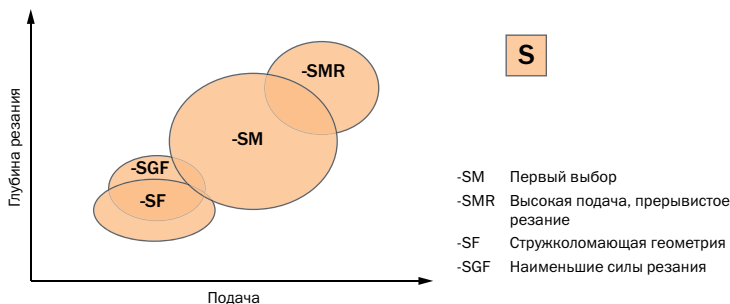
- Геометрия первого выбора
- Получистовая обработка

#### Особенности и преимущества

- Надежная обработка
- Острая режущая кромка
- Хороший контроль над стружкообразованием
- Большая спиральная длина резания (SCL)



## Простота выбора геометрии по ISO



### -SF при необходимости контроля над стружкообразованием



#### Область применения

- Чистовая и получистовая обработка
- Улучшение контроля над стружкообразованием

#### Особенности и преимущества

- Стружколомающая геометрия
- Надежность обработки
- Острота режущей кромки
- Низкие силы резания
- Большая спиральная длина резания (SCL)

### -SGF для получения высокого качества обработанной поверхности



#### Область применения

- Чистовая и получистовая обработка точением с низкими силами резания и обеспечением высокой точности и качества поверхности

#### Особенности и преимущества

- Шлифованная острая кромка
- Высокая точность обработки
- Низкие силы резания
- Контроль над стружкообразованием
- Превосходное качество обработанной поверхности

## CoroTurn® TR

Наличие Т-образных направляющих на посадочных поверхностях державки и пластины гарантирует высокую надежность крепления и точность при профильной обработке.

- Эта система крепления обеспечивает необходимую надежность для профильного точения
- Пластины форм V (35°) и D (55°) для профильного точения
- Геометрии для чистовой (-F) и получистовой (-M) обработки
- Пластины формы V применяются только для чистовой обработки
- Возможна подача СОЖ под высоким давлением



## Поликристаллический алмаз (PCD)

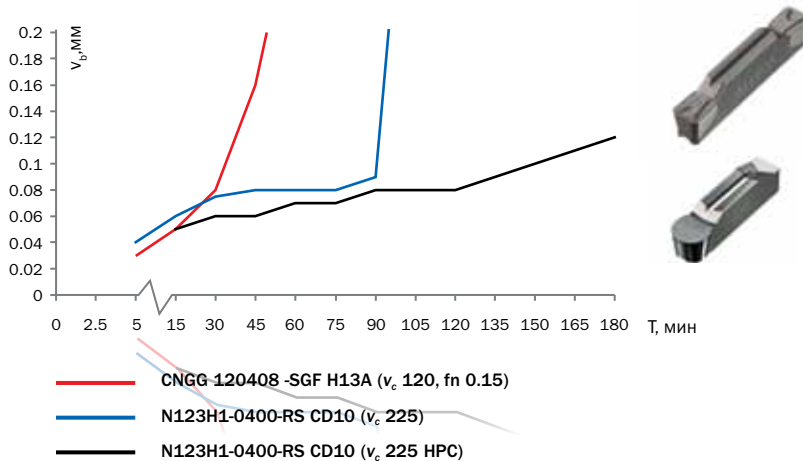
Поликристаллический алмаз является композитным материалом, состоящим из частиц алмаза, объединенных металлической связкой. Этот инструментальный материал характеризуется невероятно высокой стойкостью при чистовой обработке титана.

- Необходимо поддерживать невысокую температуру на режущей кромке
- Применение СОЖ под высоким давлением (НРС) может повысить стойкость инструмента до 40%

Эксперименты показывают, что поликристаллический алмаз CD10 имеет невероятно высокую стойкость на чистовых операциях. В сравнении со сплавом H13A он показывает более продолжительную стойкость при возможности повышения скорости более чем в 2 раза. Стойкость инструмента возрастает при применении СОЖ под высоким давлением (НРС).

Также эксперименты показывают, что, несмотря на высокую скорость резания – 225 м/мин (738.2 фут/мин), CD10 обеспечивает высокое качество поверхности, сравнимое с качеством, получаемым геометрией -SGF.

Сравнение непокрытого твердого сплава H13A и поликристаллического алмаза CD10, чистовая операция



$a_p$  0.25 мм (0.820"),  $f_r$  0.2 мм/об (0.7 дюйм/об)

Стойкость PCD при подаче СОЖ со стандартным (5 бар) и высоким (70 бар) давлением

### При обработке ответственных деталей

- Необходимо контролировать скорость резания, подачу и износ по задней поверхности на чистовых проходах
- Поломка инструмента на чистовой операции может стать причиной повреждения поверхности детали
- Участки сопряжения на инструменте являются концентраторами напряжения

### Предсказуемая обработка

Вычисление спиральной длины резания (SCL) – хороший способ спрогнозировать, возможно ли выполнить проход выбранной пластиной из данного сплава.

- Для данного диаметра и длины обработанной поверхности спиральная длина резания (SCL) рассчитывается исходя из значения подачи
- Рациональная скорость резания назначается с точки зрения обеспечения приемлемого износа
- Необходимо обеспечить хорошее качество обработанной поверхности и исключить потребность в дополнительных проходах

$$SCL (м) = \frac{D_{m1} \times \pi}{1000} \times \frac{l_m}{f_n}$$

$$SCL (\text{дюйм}) = \frac{D_{m1} \times \pi}{12} \times \frac{l_m}{f_n}$$

The diagram shows a cylindrical workpiece with a spiral cutting path. The diameter of the workpiece is labeled  $D_{m1}$ . The length of the cut is labeled  $l_m$ . The feed per revolution is labeled  $f_n$ . The total length of the spiral path is labeled  $SCL (м)$ .

**При обработке титана лучшее качество поверхности достигается за счет:**

Пластины: CoroCut® RO из непокрытого твердого сплава H13A  
Скорости резания: до 120 м/мин (394 фут/мин)

### **Качество поверхности**

Процесс резания может повлиять на качество поверхности детали, что при эксплуатации приведет к деформации тонкостенных элементов или к снижению усталостной прочности ответственных вращающихся деталей (дисков/валов).

Силы резания и высокие температуры являются причиной изменения микроструктуры материала, что, в свою очередь, может привести к изменениям микротвердости, к пластической деформации и к остаточным напряжениям в поверхностном слое.

### **Ключевые факторы, влияющие на изменение поверхностного слоя**

- Параметры обработки: изменение подачи влияет незначительно, изменение скорости резания дает отрицательный эффект
- Влияние сплава/геометрии на износ: вспомогательная режущая кромка пластины является очень важным элементом, так как через нее тепло передается на деталь и именно она формирует окончательный диаметр. Износ вспомогательной режущей кромки приводит к повышению температуры и сил резания, что увеличивает отжиг детали и количество калибрующих проходов

### **Пример успешной чистовой обработки**

Чистовая обработка твердым сплавом (3 прохода); рассчитана спиральная длина резания, чтобы убедиться, что назначенные режимы резания обеспечивают необходимую стойкость инструмента.

- 1) Полуцифровая обработка – оставить припуск 0.5 мм (0.02")
- 2а) Той же пластиной с той же геометрией выполнить чистовой проход – 0.25 мм (0.01")
- 2б) Измерить реальный размер детали и провести необходимую корректировку положения инструмента
- 3) Выполнить окончательный проход

# Внутреннее точение

## Предварительная обработка

### Требования к станку

- Высокая жесткость станка и системы крепления, способные противостоять изгибающим нагрузкам, действующим на точную оправку

### Выбор инструмента

- Рекомендуется применять главный угол в плане  $90^\circ$ , но не менее  $75^\circ$ . Большой угол в плане уменьшит отжатие оправки и снизит вибрации
- Размер пластины: 12 (iC 1/2)

### Оптимальная геометрия

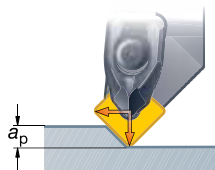
- -QM для повышения надежности обработки и получения более длинной стружки
- -SMR для улучшенного контроля над стружкообразованием

### Оптимальный сплав

- H13A (без покрытия)

### Закрепление инструмента

- Используйте максимально возможный диаметр оправки и минимально возможный вылет инструмента для обеспечения стабильности обработки
- Оптимальным решением для обеспечения стабильности обработки является интегрированная расточная оправка на базе соединения Coromant Capto



Квадратные пластины для работы с большой глубиной резания

## Промежуточная обработка

### Требования к станку

- Возможность подачи СОЖ под высоким давлением, что обеспечивает лучшую эвакуацию стружки из зоны резания

### Выбор инструмента

- Пластина с углом при вершине  $55^\circ$  и главным углом в плане  $93^\circ$
- Размер пластины: 12 (iC 1/2)

### Оптимальная геометрия

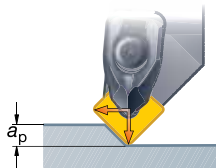
- -SM, обеспечивающая низкие усилия резания

### Оптимальный сплав

- H13A
- GC1105 для прерывистого резания

### Закрепление инструмента

- Используйте максимально возможный диаметр оправки и минимально возможный вылет инструмента для обеспечения стабильности обработки
- Оптимальным решением для обеспечения стабильности обработки является интегрированная расточная оправка на базе соединения Coromant Capto
- Антивибрационный инструмент Silent Tools – надежное решение проблем с вибрациями при обработке



Квадратные пластины для работы с большой глубиной резания

## Окончательная обработка

### Требования к станку

- Возможность подачи СОЖ под высоким давлением необходима для обеспечения эффективной эвакуации стружки

### Выбор инструмента

- Пластина с задним углом и острой геометрией для снижения сил резания и минимизации отжата инструмента
- Шлифованная пластина с углом при вершине  $55^\circ$  и главным углом в плане  $93^\circ$
- Размер пластины: 12 (iC 1/2)

### Оптимальная геометрия

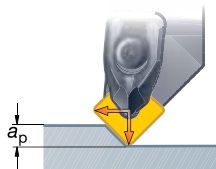
- -SGF для обеспечения высокого качества поверхности

### Оптимальный сплав

- H13A

### Закрепление инструмента

- Используйте максимально возможный диаметр оправки и минимально возможный вылет инструмента для обеспечения стабильности обработки
- Оптимальным решением для обеспечения стабильности обработки является расточная оправка на базе соединения Coromant Capto
- Антивибрационный инструмент Silent Tools – надежное решение проблем с вибрациями при обработке



Квадратные пластины для работы с большой глубиной резания



**Silent Tools®**

- Антивибрационные инструменты являются лучшим технологическим решением для работы с большим вылетом
- Они обеспечивают формирование поверхности высокого качества и высокую точность изготовления детали, даже если требуется применение инструментальной наладки с очень большим вылетом
- Соединение с рифленой поверхностью SL позволяет применять весь диапазон резцовых головок с возможностью подачи СОЖ под высоким давлением (НРС)
- Доступны оправки диаметром до 250 мм (9.842") и длиной до  $14 \times D$

**CoroTurn® SL70**

- Стандартный ассортимент лезвий и адаптеров для обработки карманов и профильной обработки исключает необходимость использования специального инструмента
- Соединение с овальным сечением SL70 повышает геометрическую проходимость инструмента при обработке дисков турбин и других деталей с ограниченными возможностями доступа к обрабатываемым поверхностям
- Для типовых случаев обработки карманов и профильной обработки разработаны лезвия
- Лезвия доступны с круглыми пластинами RCMT и пластинами CoroCut с подводом СОЖ под высоким давлением (НРС)



## Отрезка и обработка канавок

Отрезка и обработка канавок является частью токарной обработки, имеющей широкую область применения и требующей специализированного инструмента. Эти операции могут осуществляться как на промежуточном, так и на окончательном этапе обработки детали.

### Типовые детали

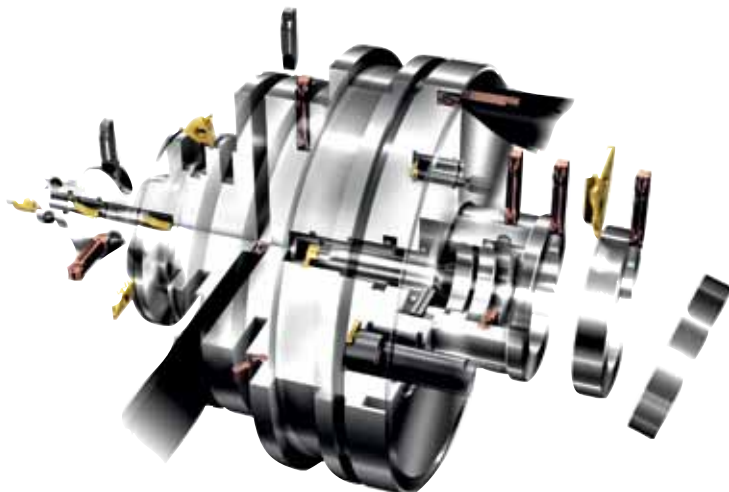
- Тонкостенные детали
- Жесткие детали
- Детали с большой площадью поперечного сечения
- Детали с малой площадью поперечного сечения

### Рекомендации

Для успешного осуществления отрезки и обработки канавок необходимо обратить внимание на следующее:

### Вибрации

- Выбирайте пластину с небольшим радиусом при вершине
- Выбирайте пластину с острыми режущими кромками
- Стремитесь к минимально возможному вылету
- Выбирайте пластину небольшой ширины
- Применяйте antivибрационный инструмент Silent Tools, если это возможно



### Достигаемость

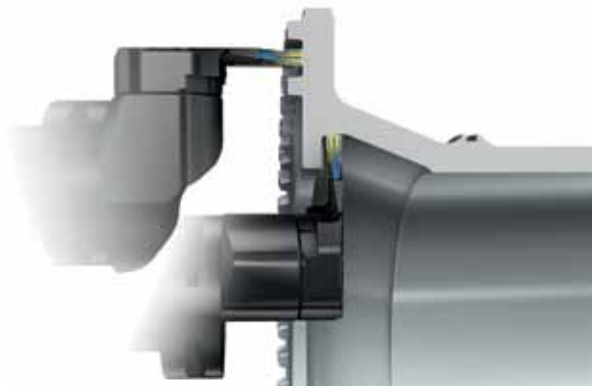
- Выбор инструмента в соответствии с обрабатываемой деталью, т.е. с главным углом в плане 0°, 45° или 90°
- Соединение SL70 с овальным сечением является идеальным решением для обработки деталей сложной формы
- Комбинируйте специальные адаптеры и стандартные лезвия SL
- Доступны пластины с двумя и с одной режущей кромкой

### Применение СОЖ

- Применение подачи СОЖ под высоким давлением (HPC) улучшает контроль над стружкообразованием и повышает стойкость пластины
- Обеспечивайте эффективную эвакуацию стружки из канавок с целью не допустить повторного закусывания стружки
- Небольшая стружка в форме спирали является оптимальным вариантом

### Программирование

- Обеспечивайте равномерный припуск: 0.2-0.5 мм (0.008-0.02") для чистовой обработки
- При отрезке больших деталей: останавливайте подачу инструмента за 0.5 мм (0.02") до оси детали
- При отрезке малых деталей диаметром <10 мм (0.394"): снижайте подачу на диаметре 2 мм (0.079")
- При обработке с прерывистой подачей не выводите инструмент из детали

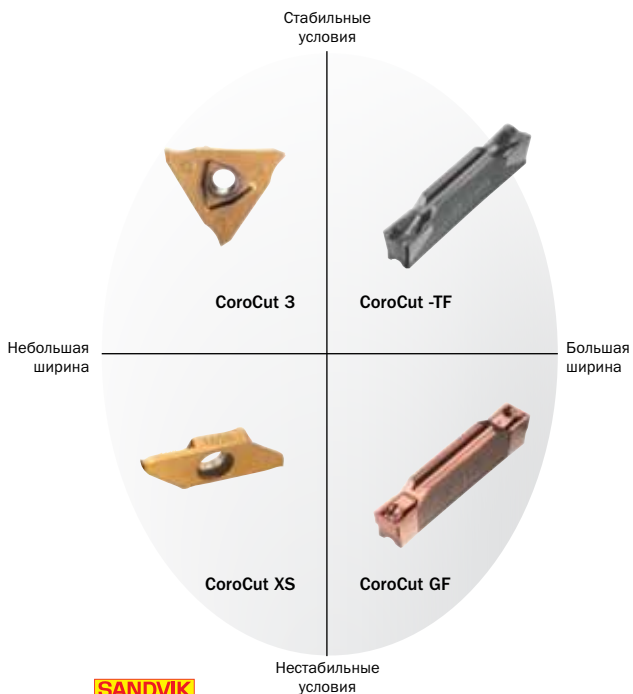


## Выбор инструмента

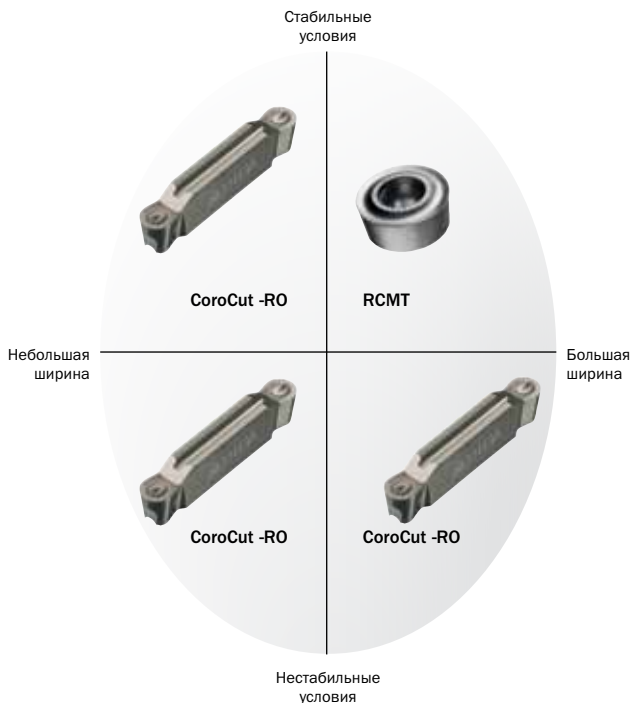
**Обработка широких канавок**  
 Ширина канавки больше ее глубины



**Обработка узких канавок**  
 Ширина канавки соответствует ширине пластины



**Профильная обработка**  
Формирование конусной  
или криволинейной  
поверхности на  
цилиндрической заготовке

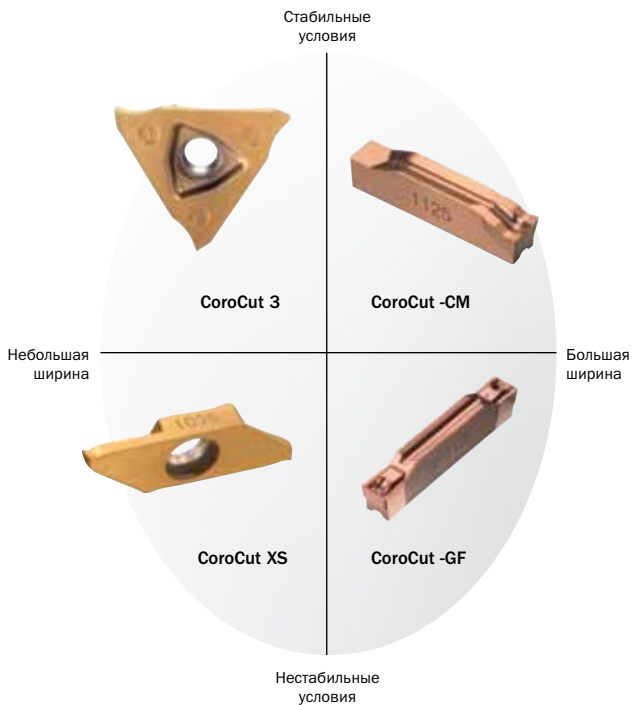


**Обработка глубоких канавок**  
Глубина канавки больше  
ее ширины



### Отрезка

Это операция, в процессе которой происходит отделение детали от прутка заготовки



## Мелкоразмерная обработка

При необходимости обработки мелкоразмерных деталей из титана первым выбором являются фреза CoroMill 325 для вихревого нарезания резьбы и система крепления QS с подачей СОЖ под высоким давлением (QS HP). Оба эти решения оптимизированы для использования на автоматах продольного точения.

### Система крепления QS с подачей СОЖ под высоким давлением (QS HP)

Быстросменная система крепления QS в сочетании с подачей СОЖ под высоким давлением – первый выбор для автоматов продольного точения.

QS HP крепится непосредственно в резцедержателе и обеспечивает бесперебойное производство и превосходное качество поверхности даже при обработке труднообрабатываемых материалов, дающих сливную стружку.

### Система QS HP доступна для следующих областей применения

- Точение – CoroTurn® 107
- Отрезка и обработка канавок – CoroCut® 1-2 и 3
- Точение, отрезка и обработка канавок, резьбонарезание – CoroCut® XS



## CoroMill® 325

Идеальное решение для обработки резьбы на длинных тонких деталях, таких как костные винты и импланты.

- Фреза для вихревого нарезания резьбы быстро и с превосходной точностью формирует специальный профиль резьбы на деталях из титана
- Высокопроизводительное резьбонарезание осуществляется за один проход, и при этом не требуется наличие специализированного оборудования

### Рекомендации по применению

- Корпус фрезы устанавливается в поворотную приводную головку
- Пластины фрезы расположены с неравномерным шагом, чтобы избежать вибраций
- Приводную головку поворачивают на требуемый угол подъема резьбы

### Стандартные и специальные пластины

- Стандартные пластины для резьб HA и HB подходят ко всем корпусам
- Стандартные пластины соответствуют стандарту ISO 5835-1991 для медицинских винтов





## Подача СОЖ под высоким давлением (НРС)

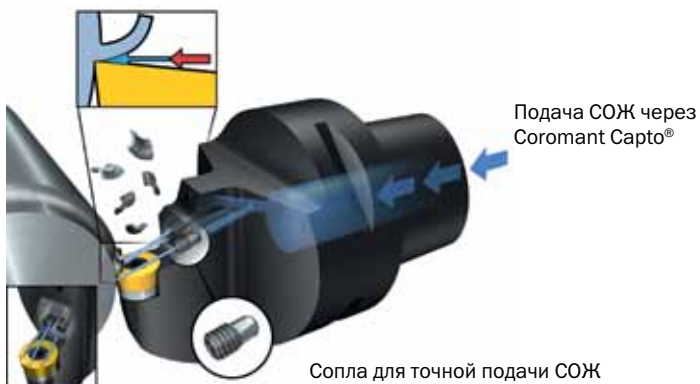
Подача СОЖ под высоким давлением (от 70 до 80 бар) является стандартной опцией многих современных станков. Для повышения эффективности обработки титана она является необходимым условием.

### CoroTurn® HP является стандартной концепцией для токарной обработки с возможностью подвода СОЖ под высоким давлением

- Направленные потоки СОЖ, подаваемые с высокой скоростью, обеспечивают контроль над стружкообразованием
- Точность направления подачи СОЖ обеспечивает лучшее охлаждение, что позволяет вести обработку с более высокой скоростью резания
- Диаметр отверстий сопел для подвода СОЖ составляет 1 мм (0.04"), что позволяет создать высокоточную струю, ломающую стружку
- Обычно максимальное количество сопел – 4, рекомендуемый расход – 20 литров/минуту

- Гидравлический клин поднимает стружку
- Снижение температуры в зоне резания
- Улучшенное стружкодробление

СОЖ направлена на определенный участок режущей пластины



## Применение CoroTurn® HP обеспечивает эффект даже при низком давлении (8-10 бар)

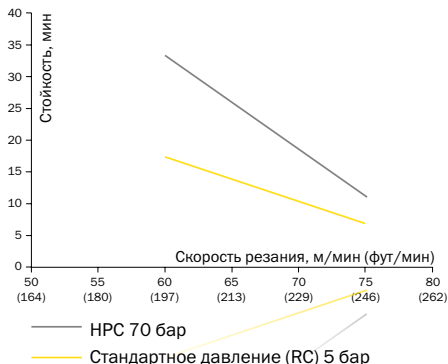
- Фиксированные сопла исключают необходимость их регулирования вручную
- Предпочтительна малая поверхность контакта стружки с передней поверхностью пластины
- Благодаря снижению интенсивности лункообразования появляется возможность вести обработку с более высокой скоростью резания

## Основные рекомендации

- При применении инструмента с подачей СОЖ под высоким давлением необходима ее фильтрация, чтобы избежать засорения сопел мелкой стружкой
- Обеспечьте достаточное давление для достижения желаемого эффекта
- Обеспечьте необходимую систему подачи СОЖ для используемого станка

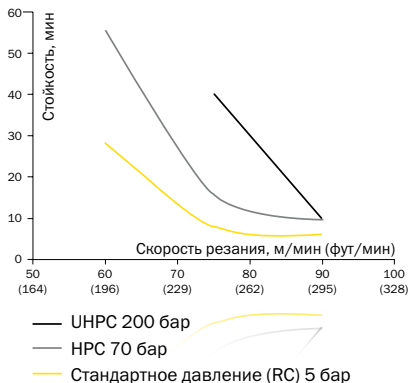
### SNMG120416 -SMR H13A

$f_n=0.4$  мм/об,  $a_p=4$  мм,  $\kappa_r 45^\circ$



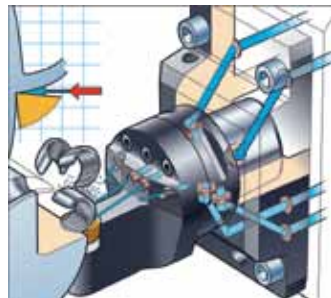
### RCMT1204M0 -SM H13A

$f_n=0.4$  мм/об,  $a_p=2.5$  мм

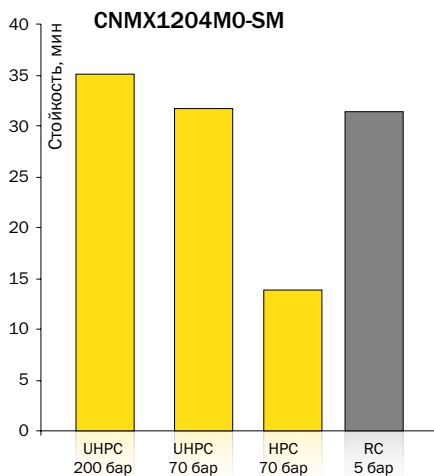


## Подача СОЖ со сверхвысоким давлением - УНРС (80-1000 бар)

Соединение Jetbreak Coromant Capto является стандартной опцией только у некоторых производителей оборудования и для него требуются специализированные инструментальные блоки и резцовые головки.



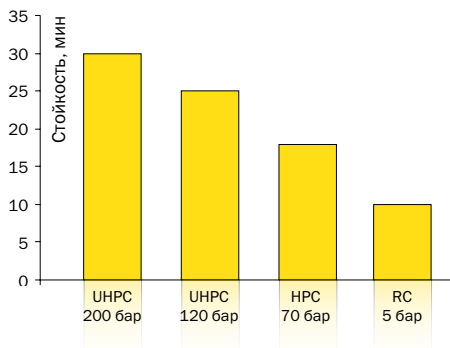
- В инструментах с подачей СОЖ со сверхвысоким давлением имеется дополнительный внешний подвод СОЖ к соединению Coromant Capto®
- СОЖ подается через 4 сопла на различные области пластины
- Заготовки для УНРС-блоков изготавливаются с четырьмя предварительными несквозными отверстиями под сопла для подачи СОЖ. В дальнейшем могут использоваться одно или несколько из этих отверстий.
- Сопла для подвода СОЖ являются сменными, в зависимости от области применения можно использовать сопла различных диаметров
- Требуется насос высокого давления
- 200 бар (2900 psi) является максимальным рекомендуемым давлением для обработки титана точением – технология УНРС позволяет вести обработку с давлением СОЖ до 1000 бар (14500 psi)
- УНРС не следует применять на чистовом этапе обработки, так как отогнутая стружка может повредить обработанную поверхность



$V_c = 60$  (м/мин)

$V_c = 75$  (м/мин)

**CNMG120408-SM H13A**  
 $V_c = 75$  м/мин,  $f_n = 0.25$  мм/об,  $a_p = 1.5$  мм



## Примеры типовых операций

Предварительная  
обработка – 26 HRC  
Удаление корки  
 $\kappa_r 75^\circ$  для обеспе-  
чения большой глубины  
резания ( $a_p$ )



Пластина	Геометрия	Сплав	Скорость резания м/мин (фут/ мин)	Глубина резания, мм (дюйм)	Подача, мм/об (дюйм/об)	Стойкость, мин*	Скорость удаления материала, см <sup>3</sup> /мин	SCL, м
S-SNMM 190616	SR	H13A	20 (65.6)	7 (0.276)	0.45 (1.476)	35	44.1	700

\*Ti-6Al-4V

Предварительная  
обработка – 26 HRC  
Обработанная  
поверхность

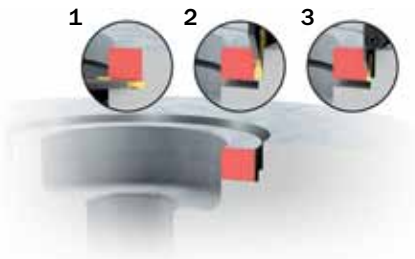


Пластина	Геометрия	Сплав	Скорость резания, м/мин (фут/мин)	Глубина резания, мм (дюйм)	Подача, мм/об (дюйм/об)	Стойкость, мин*	Скорость удаления материала, см <sup>3</sup> /мин	SCL, м
SNMG 190616	SM	H13A	25 (82)	7 (0.276)	0.45 (1.476)	60	79	1500
SNMG 190619	SMR	H13A	25 (82)	7 (0.276)	0.45 (1.476)	60	79	1500

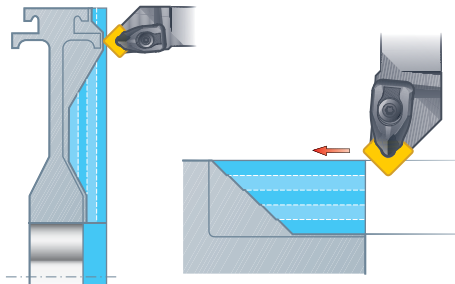
\* Ti-6Al-4V

Предварительная  
обработка – 26 HRC  
Отрезка  
кольца-свидетеля

- 1) Обработать канавку на 2 мм  
глубже внешнего диаметра кольца-  
свидетеля (0.079")
- 2) Обработать вторую канавку, не  
доходя до смыкания 2 мм (0.079")
- 3) Отрезать кольцо,  
убрав перемычку  
осевым врезанием



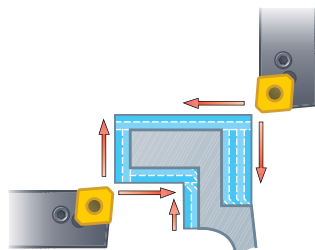
Промежуточная  
обработка – 46 HRC  
Черновая обработка  
с большой глубиной  
резания



Мак угол врезания  
40° для DSDNN  
25° для DSSNL/R

Пластина	Геометрия	Сплав	Скорость резания, м/мин (фут/мин)	Глубина резания, мм (дюйм)	Подача, мм/об (дюйм/об)	Давление СОЖ, бар (psi)	Стойкость, мин*	Скорость удаления материала, см³/мин	SCL, м
SNMR 190616	SM	H13A	40 (131)	7 (0.276)					
SNMR 120408	SM	H13A	60 (197)	7 (0.276)	0.35 (0.013)				
SNMG 120416	SMR	H13A	60 (197)	4 (0.157)	0.4 (0.016)	5 (72)	17	96	1050
SNMG 120416	SMR	H13A	60 (197)	4 (0.157)	0.4 (0.016)	70 (1015)	33	96	2016
SNMG 120416	SMR	H13A	75 (246)	4 (0.157)	0.4 (0.016)	70 (1015)	11	96	850

\*Ti-6Al-4V

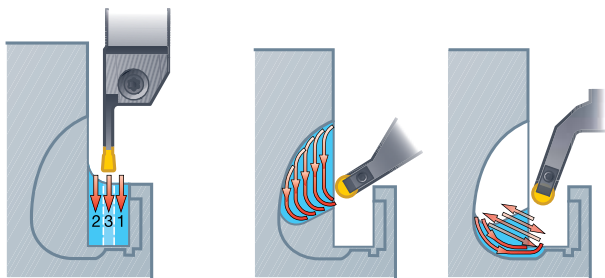


Пластина	Геометрия	Сплав	Скорость резания, м/мин (фут/мин)	Глубина резания, мм (дюйм)	Подача, мм/об (дюйм/об)	Давление СОЖ, бар (psi)	Стойкость, мин*	Скорость удаления материала, см³/мин	SCL, м
CNMX 1204A1	SM	H13A	60 (197)	1.50 (0.060)	0.35 (0.014)	5 (72)			
CNMX 1204A2	SM	H13A	60 (197)	2.50 (0.098)	0.35 (0.014)	5 (72)	30	52	1884
CNMX 1204A2**	SM	H13A	75 (246)	2.50 (0.098)	0.35 (0.014)	70 (1015)	31	66	2325

\*Ti-6Al-4V

\*\*Специальный инструмент с направленной подачей СОЖ (CNMX)

## Промежуточная обработка – 46 HRC Профильная обра- ботка и обработка карманов

**CoroCut**

$v_c$  67 м/мин (220 фут/мин)  
 $f_p$  9.5/6 мм (0.374/0.236")  
 $f_n$  0.07 мм/об (0.003  
 дюйм/об)

**RCMT/S-RCMX**

$v_c$  67 м/мин (220 фут/мин)  
 $a_p$  1.5 мм (0.059")  
 $f_n$  0.15 мм/об (0.006 дюйм/об)

**RCMT 1204M0-SM H13A**

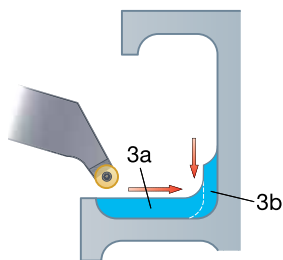
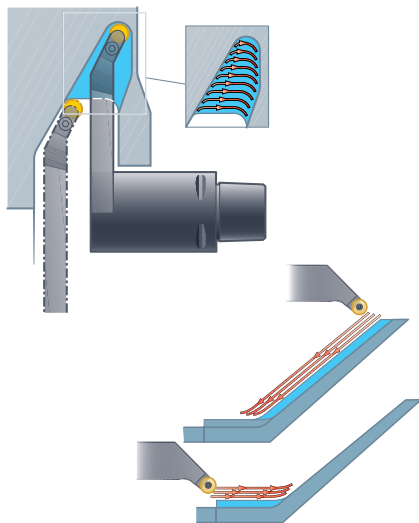
$v_c$  50 м/мин (164 фут/мин)  
 $a_p$  3 мм (0.118")  
 $f_n$  0.4 мм/об  
 (0.016 дюйм/об)

(G1)

$f_r$  0.2 мм/об  
 (0.008 дюйм/об)

(G2)

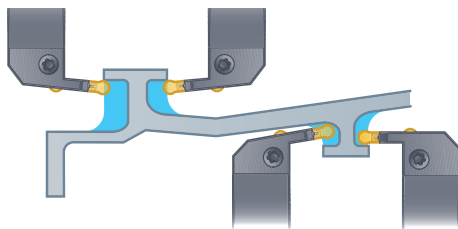
Q 60 см<sup>3</sup>/мин  
 (3.661 дюйм<sup>3</sup>/мин)



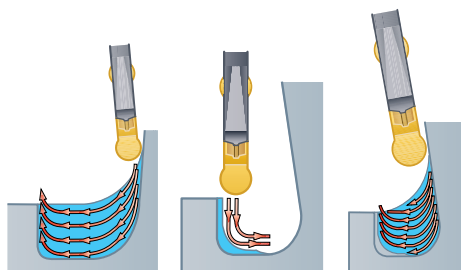
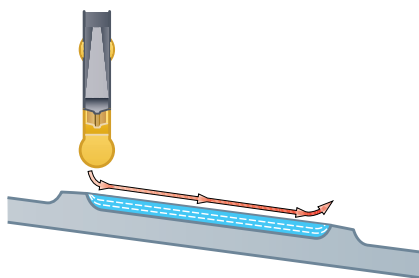
Пластина	Геометрия	Сплав	Скорость резания, м/мин (фут/мин)	Глубина резания, мм (дюйм)	Подача, мм/об (дюйм/об)	Стойкость, мин*	Скорость удаления материала, см <sup>3</sup> /мин	SCL, м
RCMT 10T3M0	SM	H13A	50 (164)	1.50 (0,059)	0.35 (0.014)	5	26.25	250
RCMT 1204M0	SM	H13A	50 (164)	2.00 (0.079)	0.50 (0.020)	5	50	250

\*Ti-6Al-4V

**Промежуточная  
обработка – 46 HRC  
Обработка  
профилей и  
карманов, CoroCut.**



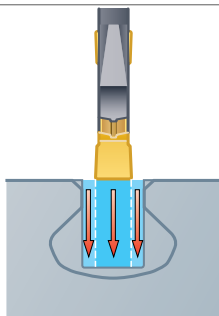
Применяйте метод трохойдального точения



Пластина	Геометрия	Сплав	Скорость резания, м/мин (фут/мин)	Глубина резания, мм (дюйм)	Подача, мм/об (дюйм/об)	Стойкость, мин*	Скорость удаления материала, см <sup>3</sup> /мин	SCL, м
N123L2-0800	RO	N13A	50 (164)	1.20 (0.047)	0.50 (0.020)	6	33	300
N123J2-0600	RO	N13A	50 (164)	1.00 (0.039)	0.40 (0.016)	6	22.5	300
N123H2-0400	RO	N13A	50 (164)	0.60 (0.024)	0.30 (0.012)	6	10.5	300

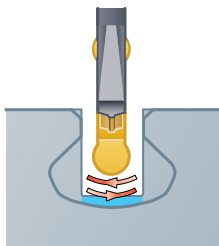
\*Ti-6Al-4V

**Обработка  
замковых канавок  
для лопаток на  
деталях типа  
дисков и катушек**



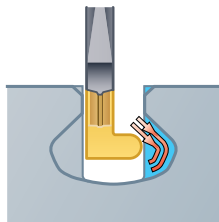
**N123K2-0600-0004-TF  
H13A**

$v_c$  50 м/мин  
(164 фут/мин)  
 $f_n$  0.2 мм/об  
(0.008 дюйм/об)



**N123K2-0600-0004-TF  
H13A**

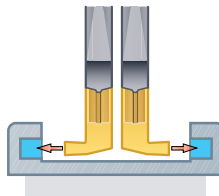
$v_c$  50 м/мин  
(164 фут/мин)  
 $f_n$  0.2 мм/об  
(0.008 дюйм/об)



**LG123L1-0400-0020-RS  
GC1105**

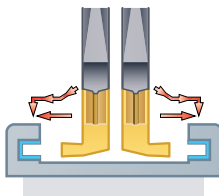
$v_c$  50 м/мин  
(164 фут/мин)  
 $a_p$  0.5 мм (0.020")  
 $f_n$  0.25 мм/об  
(0.010 дюйм/об)

**Обработка  
канавок на  
статоре  
направляющего  
аппарата**



**Пластина CoroCut 90°  
GC1115**

$v_c$  30 м/мин (98 фут/мин)  
 $f_a$  2 мм (0.079 дюйм)  
 $f_n$  0.1 мм/об  
(0.004 дюйм/об)



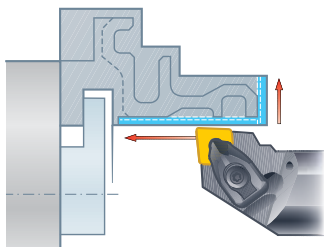
**Пластина CoroCut 90°  
GC1115**

$v_c$  30 м/мин (98 фут/мин)  
 $a_p$  0.25 мм (0.010")  
 $f_n$  0.15 мм/об  
(0.006 дюйм/об)

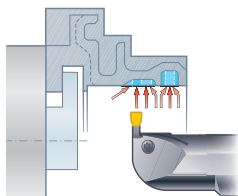


**Промежуточная  
обработка – 46 HRC  
Обработка колец**

Операция 1a

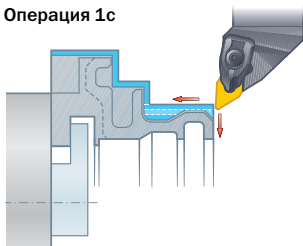


Операция 1b

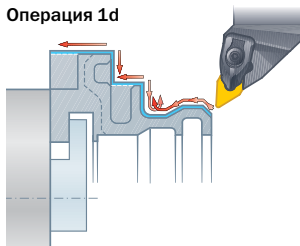


Операция	Пластина	Геометрия	Сплав	Скорость резания, м/мин (фут/мин)	Глубина резания, мм (дюйм)	Подача, мм/об (дюйм/об)
1a	CNMG 120412	SM	GC1105	50 (164)	1.0 (0.039)	0.20 (0.008)
1b	N123G2-0300-0004	GF	GC1105	50 (164)	-	0.08 (0.003)

Операция 1c

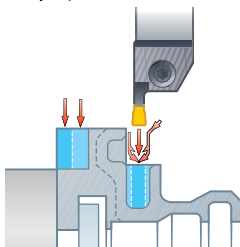


Операция 1d

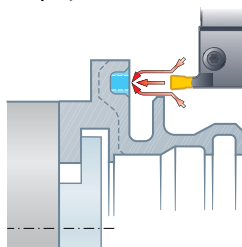


Операция	Пластина	Геометрия	Сплав	Скорость резания, м/мин (фут/мин)	Глубина резания, мм (дюйм)	Подача, мм/об (дюйм/об)
1c	DNMG 150612	SM	GC1105	50 (164)	1.0 (0.039)	0.20 (0.008)
1d	DNMG 150612	SM	GC1105	50 (164)	0.25 (0.010)	0.20 (0.008)

Операция 1e

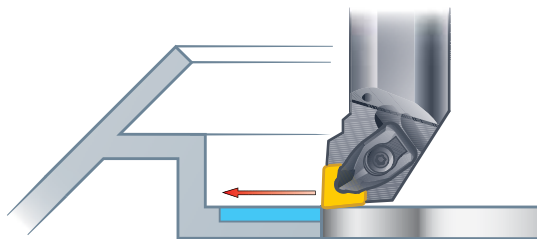


Операция 1f

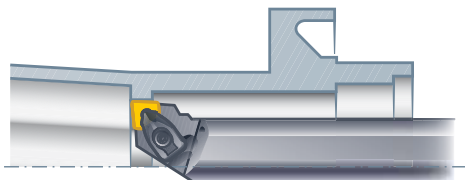


Операция	Пластина	Геометрия	Сплав	Скорость резания, м/мин (фут/мин)	Подача, мм/об
1e	N123G2-0300-0004	GF	GC1105	50 (164)	0.08/0.12
1f	N123G2-0300-0004	GF	GC1105	50 (164)	0.08/0.12

## ISM – 46 HRC

Обработка нежестких/  
тонкостенных деталей

Пластина	Геометрия	Сплав	Скорость резания, м/мин (фут/мин)	Глубина резания, мм (дюйм)	Подача, мм/об (дюйм/об)	Стойкость, мин*	Скорость удаления материала, см³/мин	SCL, м
CNGG 120408	SGF	H13A	50 (164)	1.50 (0.059)	0.20 (0.008)	5	15	250
CNMG 120408	SM	GC1105	50 (164)	1.00 (0.039)	0.20 (0.008)	5	10	250

Внутренняя  
обработка

## Выбор оправки

DNMG 150608-SM 1105

 $v_c$  50 м/мин,  $a_p$  2 мм,  $f_n$  0.15 мм/обСтальные  
антивибрационные  
расточные оправки

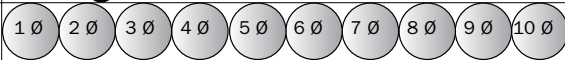
Silent Tools®

Стальные расточные  
оправки

DNMG 150608-SM 1105

 $v_c$  50 м/мин,  $a_p$  2 мм,  $f_n$  0.15 мм/обСтальные расточные  
оправки

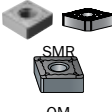



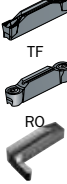



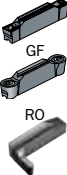
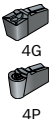
RNGN 120400 T01020 6060

 $v_c$  200 м/мин,  $a_p$  2 мм,  $f_n$  0.15 мм/обОтношение вылета к  
диаметру оправки

Для вылетов до 14 диаметров рекомендуется применять усиленные твердосплавные антивибрационные оправки Silent Tools.

# Рекомендации по выбору геометрии












## Рекомендации по выбору геометрии пластины

Область применения	Диапазон подач, мм/об	Округление режущей кромки	Требования к геометрии	Рекомендуемые геометрии			
				Точение		Обработка канавок	
				Двухсторонние	Односторонние	CoroCut	Q-Cut
Предварительная обработка	0.3-0.8	Среднее	Полученная прямым прессованием, с отрицательной фаской	 SMR QM	 SR		
Промежуточная обработка	0.25-0.40 (0.25 для κ, 90°, 0.40 для κ, 45°)	Небольшое	Острая геометрия, полученная прямым прессованием	 SM SMR SM (Xcel)	 UM	 TF RO	 5E 4P
Окончательная обработка	0.1-0.2	Небольшое	Шлифованная острая геометрия	 SGF	 AL CGT UM	 GF RO	 4G 4P

## Геометрии круглых пластин

Этап обработки	Диапазон подач, мм/об	Округление режущей кромки	Рекомендуемые геометрии	
Предварительная обработка	0.3-0.5	Отрицательная фаска	RCMX H13A	
Промежуточная обработка	0.2-0.4	Небольшая отрицательная фаска	RCMT-SM H13A	
Окончательная обработка	0.1-0.3	Нет	RCGX-AL H10	
	0.2-0.4	Небольшая отрицательная фаска	RCMT-SM H13A	

## Рекомендации по выбору режимов резания

Этап обработки	Форма пластины	Сплав без покрытия (первый выбор)	Сплав с покрытием	Скорость резания, м/мин	Подача, мм/об	Глубина резания, мм	Комментарии
Предварительная обработка	 S/CNMG 190616 SR	H13A	GC2015	30-60	0.3-0.4	< 10	Применяйте пластину SNMG – угол в плане 45°, если возможно, для уменьшения толщины стружки – макс количество режущих кромок.
	 RNMG 190600 SR	H13A	GC1115	30-60	0.3-0.4	< 6	
	 S/CNMG 190616-SMR	H13A	GC1125	30-60	0.3-0.8	< 10	
Промежуточная обработка	 CNMX-SM	H13A	GC1115	40-60	0.25-0.35	< 2.7	Обычно деталь задает форму пластины – применяйте угол в плане 45° для более продолжительной стойкости инструмента.
	 S/CNMG 120412-SM	H13A	GC1115	30-60	0.2-0.4	< 5	
	 RCMT 1606M0-SM RCMT 1204M0-SM	H13A H13A	GC1115	50-70	0.3-0.4	< 4 < 3	Круглые пластины обеспечивают наивысшую производительность.
	 S/CNMG 120412-SMR	H13A	GC1115	30-60	0.2-0.5	< 3	
Окончательная обработка	 CNGG 120408 SGF	H13A		80-120	0.1-0.2	0.25-1.0	Микрогеометрии NGP/AL оптимизированы для обработки титана.
	 CCGX 120408-AL	H10		80-120	0.1-0.2	0.25-1.0	
	 RCMT 1204M0-SM	H13A		80-120	0.2-0.4	0.25-1.0	Круглые пластины обеспечивают лучшую производительность и качество обработанной поверхности.
	 RCGX 10T3M0-AL	H13A		80-120	0.2-0.3	0.25-1.0	

## Обработка канавок

Этап обработки	Форма пластины	Сплав без покрытия (первый выбор)	Сплав с покрытием	Скорость резания, м/мин	Подача, мм/об	Глубина резания, мм	Комментарии
Промежуточная обработка	 TF  5E	H13A	GC1105	50-70	0.1-0.2	-	Для черновой обработки канавок.
	 RO  4P	H13A	GC1105	50-70	0.2-0.5	Max 0.25 x диам.	Для черновой профильной обработки.
Окончательная обработка	 GF  4G	H13A	GC1105	80-100	0.05-0.15	-	Для чистовой обработки канавок.
	 RO  4P	H13A	GC1105	80-120	0.1-0.4	-	Для чистовой профильной обработки.






## 3. Фрезерование

Обработка титана вызывает определенные трудности. Во-первых, его высокая удельная прочность приводит к повышению температуры в зоне резания. Во-вторых, он химически активен, что может вызывать адгезию, приваривание и налипание стружки на инструмент. При данном сочетании механических, термических и химических нагрузок наиболее типичным механизмом износа является выкрашивание режущей кромки инструмента.

Для успешной обработки титана необходим оптимизированный инструмент. Однако для обеспечения устойчивого процесса резания одного этого недостаточно: метод обработки также должен быть оптимизирован в соответствии с областью применения.

### Типовые режимы резания и виды износа

Области применения	Рекомендуемые режимы резания	Глубина резания	Виды износа
Черновая обработка	$v_c$ , 40-60 м/мин (130-195 фут/мин)	> 3 мм (> 0.118")	
Получистовая обработка	$v_c$ , 60-80 м/мин (195-260 фут/мин)	1-3 мм (0.039-0.118")	
Чистовая обработка	$v_c$ , 80-120 м/мин (260-390 фут/мин)	0.5-1 мм (0.02-0.039")	

# Основные положения

## Горизонтальные или вертикальные станки

Станки с вертикальным расположением шпинделя преимущественно используются на начальных этапах обработки детали. Для обработки сложных деталей с множеством различных элементов целесообразно использовать станки с горизонтальным шпинделем. Это позволит улучшить отвод стружки, избежать ее повторного попадания в зону резания, а также повысить стойкость инструмента.

Предпочтительно использовать станки с возможностью внутреннего подвода СОЖ через шпиндель.

Форма детали и технологический маршрут обработки определяют выбор оборудования и его конфигурацию: начиная трехкоординатными станками и заканчивая станками с возможностью одновременного перемещения инструмента по пяти координатам.

## Закрепление заготовки и жесткость инструмента

На каждой последующей стадии процесса обработки все большие требования предъявляются к жесткости технологической системы. В связи с этим необходимо обеспечивать надежное закрепление заготовки, чтобы минимизировать ее смещение и вибрации.

На чистовых этапах обработки обычно используются инструментальные наладки большой длины, что увеличивает общий вылет инструмента. Поэтому на этих операциях следует предусмотреть использование модульной оснастки, например Coromant Capto, и антивибрационных адаптеров.

Для обеспечения надежного процесса обработки и изготовления деталей требуемого качества необходимо оптимизировать все вышеперечисленные параметры.

## Выбор шпинделя

Установленный технологический процесс определяет выбор типа шпинделя для различных этапов обработки заготовки. На черновых операциях необходим шпиндель с большим крутящим моментом и большой мощностью при низком диапазоне частот вращения.

На получистовых и чистовых операциях шпиндель должен обеспечивать высокую частоту вращения, так как используется инструмент меньшего диаметра при меньшей ширине фрезерования.

Обычно используют станки с размером шпинделя ISO 50 и более.





### Максимальная толщина срезаемой стружки

Максимальная толщина стружки является одним из важнейших параметров, определяющих производительность и надежность процесса фрезерования.

- Занижение допустимой толщины срезаемой стружки ( $h_{ex}$ ) в большинстве случаев является причиной низкого уровня производительности. Также это негативно сказывается на стойкости инструмента и процессе стружкодробления
- Слишком высокое значение толщины срезаемого слоя будет перегружать режущую кромку, в результате чего может произойти ее поломка

### Утончение стружки позволяет увеличить подачу

Эффект утончения стружки позволяет увеличить подачу в трех случаях:

- При использовании пластин с прямолинейными режущими кромками и углом в плане менее  $90^\circ$
- При использовании круглых пластин или пластин с большим радиусом при вершине при небольшой глубине резания ( $a_p$ )
- При работе периферийной частью фрезы с небольшой шириной фрезерования ( $a_e/D_c$ )

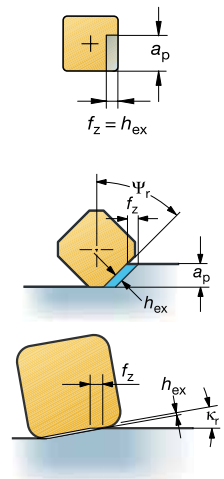
### 1. Пластина с прямолинейной режущей кромкой, $a_e > 50\%$ от $D_c$

При прямолинейной кромке толщина стружки ( $h_{ex}$ ) равна подаче на зуб ( $f_z$ ), если угол в плане составляет  $90^\circ$ . С уменьшением угла в плане ( $k_r$ ) толщина стружки уменьшается относительно подачи на зуб ( $f_z$ ), поэтому подачу можно увеличить.

Пример:

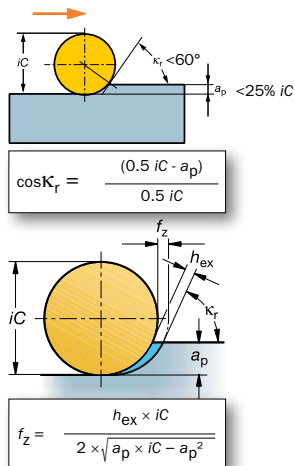
При максимальной толщине стружки ( $h_{ex}$ ) равной 0.1 мм и с углом в плане ( $k_r$ ) равным  $45^\circ$ , рекомендуемая подача на зуб ( $f_z$ ) составит  $1.4 \times 0.1 = 0.14$  мм/зуб (0.006 дюйм/зуб)

Главный угол в плане $k_r$	Поправочный коэффициент	$f_z$ , мм/зуб (дюйм/зуб):		
		$h_{ex}$ , мм (дюйм)		
		min	начал.	max
		0.10 (0.004)	0.15 (0.006)	0.20 (0.008)
$90^\circ$	1.0	0.10 (0.004)	0.15 (0.006)	0.20 (0.008)
$75^\circ$	1.0	0.10 (0.004)	0.16 (0.006)	0.21 (0.008)
$65^\circ$	1.1	0.11 (0.004)	0.17 (0.007)	0.22 (0.009)
$45^\circ$	1.4	0.14 (0.006)	0.21 (0.008)	0.28 (0.011)
$10^\circ$	5.8	0.58 (0.023)	0.86 (0.033)	1.15 (0.045)



## 2. Круглые пластины и пластины с большим радиусом при вершине

- Наибольшая эффективность обработки достигается в случае, когда главный угол в плане ( $\kappa_r$ ) не превышает  $60^\circ$ . Для работы с большой глубиной резания лучше подойдут квадратные пластины с постоянным значением угла в плане ( $\kappa_r$ ) равным  $45^\circ$
- Толщина срезаемой стружки ( $h_{ex}$ ) для круглых пластин варьируется в зависимости от главного угла в плане и ширины фрезерования



Пример: пластины для фрезы CoroMill® 300

iC	Мак толщина стружки, $h_{ex}$ , мм (дюйм)			Подача на зуб, $f_z$ , мм (дюйм)						
				$a_p$ , мм (дюйм)						
	Min	Начал.	Мак	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
8	0.1 (0.004)	0.15 (0.006)	0.2 (0.008)	0.23 (0.009)	0.19 (0.007)	0.17 (0.007)				
10	0.1 (0.004)	0.2 (0.008)	0.25 (0.010)	0.33 (0.013)	0.28 (0.011)	0.25 (0.010)	0.23 (0.009)			
12	0.1 (0.004)	0.2 (0.008)	0.25 (0.010)	0.36 (0.014)	0.30 (0.012)	0.27 (0.011)	0.25 (0.010)	0.23 (0.009)		
16	0.1 (0.004)	0.2 (0.008)	0.25 (0.010)	0.41 (0.016)	0.34 (0.013)	0.30 (0.012)	0.28 (0.011)	0.26 (0.010)	0.24 (0.009)	0.23 (0.009)

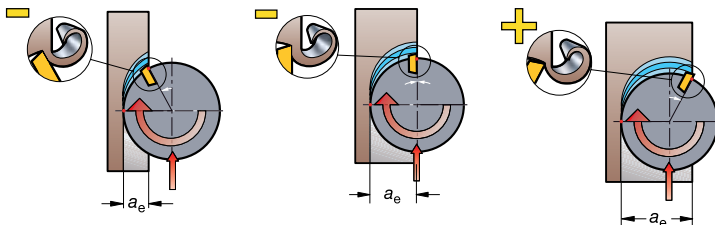
### 3. Периферийное фрезерование

- Значение  $h_{ex}$  зависит от диаметра фрезы ( $D_c$ ) и ширины фрезерования ( $a_e/D_c$ )
- Подача может быть увеличена за счет поправочного коэффициента, зависящего от ширины фрезерования. См. таблицу ниже



Ширина фрезерования $a_e/D_c$	Поправочный коэффициент	$f_z$ мм/зуб (дюйм/зуб):		
		min <b>0.1</b>	начал. <b>0.15</b>	max <b>0.2</b>
50-100%	1.0	0.10 (0.004)	0.15 (0.006)	0.20 (0.008)
25%	1.16	0.12 (0.005)	0.17 (0.007)	0.23 (0.009)
20%	1.25	0.13 (0.005)	0.19 (0.007)	0.25 (0.010)
15%	1.4	0.14 (0.006)	0.21 (0.008)	0.28 (0.011)
<b>10%</b>	<b>1.66</b>	0.17 (0.007)	0.25 (0.010)	0.33 (0.013)
5%	2.3	0.23 (0.009)	0.34 (0.013)	0.46 (0.018555)

### Стружкообразование в зависимости от положения фрезы относительно заготовки



#### Выход из резания

- Большая толщина стружки на выходе пластины из резания негативно сказывается на стойкости инструмента
- Резкая смена характера нагрузок со сжимающих на растягивающие приводит к выкрашиванию вершины пластины

Необходимо обеспечить образование как можно более тонкой стружки на выходе из резания.

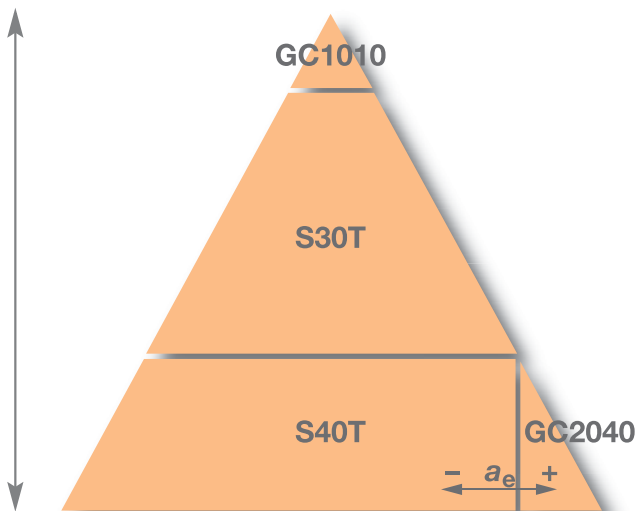
## Сплавы

Sandvik Coromant предлагает специализированные сплавы для фрезерования титана, так как при его обработке возникают термические, химические и механические нагрузки, которые большинство известных инструментальных материалов выдержать не способны.

### Сплавы для фрезерования титана

Стабильные  
постоянные условия

Нестабильные  
тяжелые условия



$a_e$  = ширина фрезерования

**Сплав S30T**

**Для повышения стойкости и производительности при:**

- Высокой стабильности обработки
- Предсказуемости условий обработки
- Небольших/умеренных вибрациях
- Умеренной/высокой скорости резания

**Сплав S40T**

**Для максимальной надежности и стойкости при:**

- Сложных/непредсказуемых условиях обработки
- Низкой стабильности с умеренными/высокими вибрациями
- Умеренной скорости резания

**Сплав GC2040**

- Область применения S40, при выделении большого количества тепла
- Применяется вместо сплава S40T в нестабильных и тяжелых условиях
- Применяется при высокой температуре в зоне резания (при высокой скорости резания, недостаточном объеме СОЖ)

**Сплав GC1010**

- Дополнительный сплав для оптимизации области обработки S20
- Используется в стабильных условиях /с минимальными вибрациями
- Идеальный выбор для чистовой обработки с высокой скоростью резания



## Рекомендации по программированию

### Условия врезания в заготовку

При прямолинейной траектории врезания фрезы в материал на выходе режущей кромки из резания образуется стружка большой толщины. Это продолжается до тех пор, пока дуга контакта фрезы и заготовки не достигнет максимального значения. Данный способ программирования значительно снижает стойкость инструмента.

Основным решением этой проблемы является:

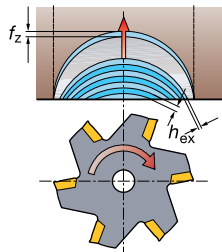
### Врезание по дуге

Рекомендуется программировать врезание фрезы по дуге в направлении по часовой стрелке. При таком способе врезания толщина стружки на выходе будет равна нулю, что позволит не снижать подачу и обеспечит высокую стойкость инструмента.

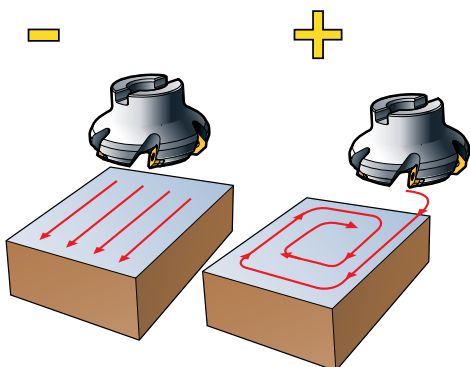
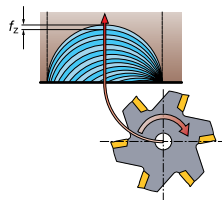
### Поддерживайте постоянный контакт фрезы и заготовки

Резкое изменение траектории движения инструмента может привести к тем же последствиям, что и прямолинейное врезание фрезы.

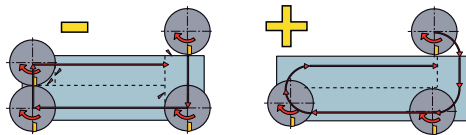
Для обеспечения высокой стабильности процесса фрезерования необходимо осуществлять обработку углов по радиусу. По возможности избегайте прерывистого фрезерования или пересечения отверстий.



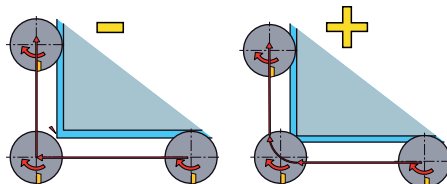
Образование толстой стружки на выходе происходит до тех пор, пока фреза полностью не войдет в заготовку.



Старайтесь не прерывать контакт фрезы и заготовки.



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



При периферийном фрезеровании углы следует обходить по радиусу.

## Дуга контакта при резании

### Большая (max) длина дуги контакта

- Продолжительное резание
- Высокие радиальные усилия
- Большое количество тепла
- Сплавы с CVD покрытием

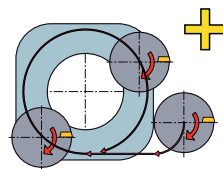
### Небольшая длина дуги контакта

- Меньшее время резания и количество тепла => выше  $v_c$
- Тоньше стружка => выше  $f_z$
- Можно назначать высокие  $v_c$  и  $f_z$
- Острые режущие кромки
- Сплавы с PVD покрытием

### Оптимальная длина дуги контакта







- $a_e = 70\% D_c$   
Высокая скорость съема материала –  $a_e$  и  $f_z$
- $a_e < 25\% D_c$   
Тонкая стружка и выше значение  $f_z$

Избегайте пересечения отверстий и прерывистого резания.



## Зависимость износа пластины от способа врезания фрезы

Материал: титан Ti6Al4V

Сплав	S30T	S40T	GC2040
Врезание по прямой	 <p>2 прохода</p>	 <p>6 проходов</p>	 <p>6 проходов</p>
Врезание по дуге	 <p>12 проходов</p>	 <p>12 проходов</p>	 <p>6 проходов</p>

### Результаты

Износ пластины, диаметр 50 мм (1.969")

$v_c$  80 м/мин (260 фут/мин)

$f_z$  0.23 мм (0.009")

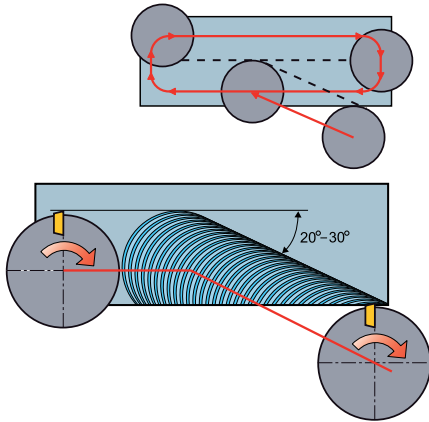
$a_e$  38 мм (1.5")

$a_p$  3 мм (0.118")

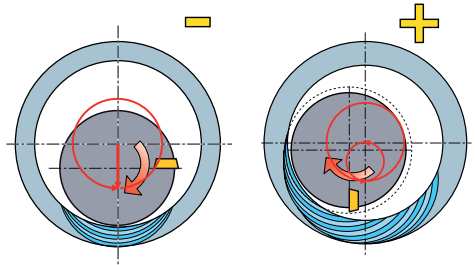


## Условия врезания в заготовку

### Радиальное врезание под углом

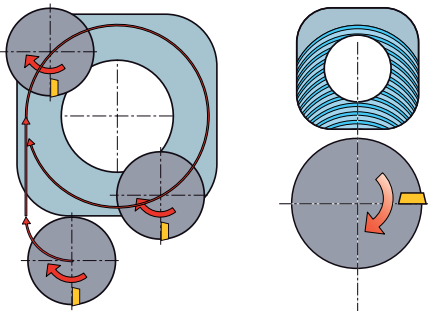


### Врезание с круговой интерполяцией

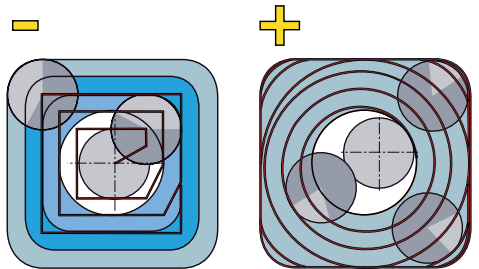


## Траектория перемещения фрезы

### Торцевое фрезерование



### Обработка закрытых карманов



## Фрезерование углов

### Основные положения

- При обработке углов следует крайне внимательно подходить к расчету дуги контакта инструмента и к выбору оптимальной подачи
- При обработке внутреннего угла длина дуги контакта увеличивается, что является дополнительной нагрузкой на инструмент
- Поэтому зачастую обработка углов сопровождается вибрациями и снижением стабильности процесса фрезерования
- Колебание направлений сил резания приводит к «подрезанию» в углах на обрабатываемой поверхности. Также возникает риск выкрашивания режущей кромки или поломки инструмента

### Решение – ограничение длины дуги контакта

- Использование запрограммированного радиуса (кругового фрезерования) для уменьшения длины дуги контакта и ширины фрезерования способствует снижению вибраций, что позволяет увеличить глубину резания и подачу
- Обрабатывайте угол по большему радиусу, чем требуется. Преимуществом данного способа является возможность использования фрезы большего диаметра, что повышает производительность черновых операций
- В качестве альтернативного метода обработки возможно использование фрезы меньшего диаметра ( $D_c$ ) для получения требуемого радиуса закругления угла

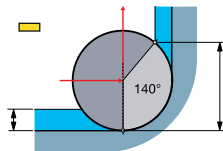
### Черновая обработка

- Оптимальное значение запрограммированного радиуса составляет 50% от  $D_c$

### Чистовая обработка

- При чистовой обработке не всегда возможно использовать такой большой радиус, однако диаметр фрезы не должен превышать 1.5 радиуса закругления угла (например, радиус закругления 10 мм => max 15 мм)

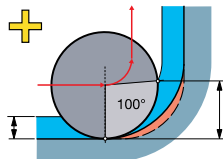
### Проблема



Радиус закругления = 50%  $D_c$

Традиционный метод обработки угла

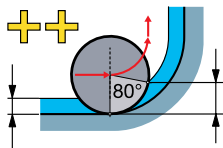
### Решение No 1



Радиус закругления = 75%  $D_c$

Фрезерование угла с большим радиусом

### Решение No 2



Радиус закругления = 100%  $D_c$

Использование фрезы меньшего диаметра

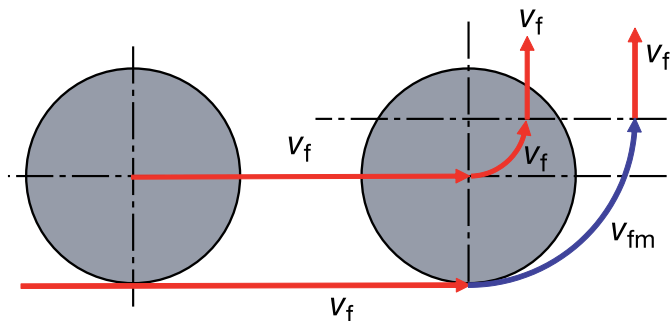
## Программирование

### Подача в центре или на периферии

- Система станка ЧПУ учитывает либо подачу центра фрезы,  $v_f$  (без компенсации радиуса), либо подачу на периферии фрезы,  $v_{fm}$  (с компенсацией радиуса)
- Если на станке с возможностью программирования подачи центра фрезы (без компенсации радиуса) запрограммировать подачу на периферии, то произойдет чрезмерное увеличение значения  $f_z$ , что повышает риск поломки пластин

### Программирование подачи центра инструмента

- Как правило, управляющая программа задает перемещение центра фрезы, а не периферии
- При фрезеровании по прямой (G1) скорость подачи у стенки детали,  $v_{fm}$ , совпадает с запрограммированной подачей,  $v_f$ , а при резании по радиусу (G2) периферийная подача будет выше, чем подача центра инструмента
- Поэтому необходимо уменьшить подачу  $v_f$ , чтобы сохранить требуемую подачу на зуб ( $f_z$ ) и постоянное значение  $h_{ex}$



Скорость подачи в центре ( $v_f$ ) или на периферии ( $v_{fm}$ )

## Торцевое фрезерование

Торцевое фрезерование является одной из наиболее распространенных фрезерных операций, для ее выполнения можно использовать различный инструмент.

- Титановые поковки с неравномерной коркой
- Обработанные заготовки, подвергнутые отжигу и старению
- Оптимальный выбор – сплавы с покрытием
- Возможна обработка традиционным методом или фрезерованием с высокой подачей
- При чистовом торцевом фрезеровании рекомендуется использовать цельные твердосплавные фрезы для обеспечения высокой чистоты поверхности



### CoroMill® 300

- Первый выбор для черновой и получистовой обработки
- Возможность работы с высокой подачей
- Широкий диапазон размеров пластин
- Фрезы небольшого диаметра
- Фрезы большого диаметра

#### Оптимальные геометрии / сплавы

E-SL                      S30T  
(S40T, GC2040)



### CoroMill® 200

- Первый выбор для черновой и получистовой обработки в сложных условиях
- Возможность работы с высокой подачей
- Широкий диапазон размеров пластин
- Фрезы большого диаметра

#### Оптимальные геометрии / сплавы

Легкая:                      S30T  
PL/ML                      (S40T, GC2040)

Средняя:                    S30T  
PM/MM                    (S40T, GC2040)

Тяжелая:                    S40T  
PM/MM                    (GC2040)



### CoroMill® 210

- Первый выбор для обработки с большим вылетом
- Хороший выбор для черновой и получистовой обработки деталей аэрокосмической промышленности
- Работа с высокой подачей и небольшой глубиной резания
- Широкий диапазон диаметров

#### Оптимальные геометрии / сплавы

Первый выбор:            S30T  
E-PM/MM                (GC1010, S40T,  
GC2040)

Альтернативный  
выбор:                      S30T  
M-PM/MM                (GC1010, S40T),  
(GC2040)

Режимы резания см. на стр. 96-97



### CoroMill® 245

- Первый выбор среди фрез с углом в плане 45°
- Первый выбор для чистового торцевого фрезерования
- Хороший выбор для обработки с большой глубиной резания

#### Оптимальные геометрии / сплавы

Легкая: S30T  
E-PL (GC1010, S40T)

Среднелегкая: S30T  
M-PL (GC1010, S40T)

Тяжелая: S30T  
K-MM, M-MM (S40T, GC2040)



### CoroMill® 390

- Хороший выбор для черногового и полчистового торцевого фрезерования
- Может использоваться для фрезерования уступов
- Размер пластин: 11, 17 и 18 мм
- Широкий диапазон диаметров

#### Оптимальные геометрии / сплавы

Легкая: S30T  
E-PL/ML (GC1010, S40T, GC2040)

Среднелегкая: S30T  
M-PL/ML (GC1010, S40T, GC2040)

Средняя: S30T  
M-PM/MM (GC1010, S40T, GC2040)



### CoroMill® 316

- Первый выбор для торцевого фрезерования, когда необходима фреза небольшого диаметра
- Может использоваться для фрезерования уступов
- Большой ассортимент корпусов

#### Оптимальные геометрии / сплавы

GC1030

Режимы резания см. на стр. 96-97

## Практические советы и рекомендации

- Для плавного врезания фрезы в заготовку следует задавать траекторию по дуге и при этом снижать подачу
- Применяйте попутное фрезерование для благоприятного стружкообразования: при врезании формируется более толстая стружка, на выходе – более тонкая
- Избегайте лишних врезаний и выходов из заготовки

# Фрезерование уступов

Фрезерование уступов предполагает одновременную обработку двух смежных поверхностей, расположенных под углом 90°.

- Необработанные титановые поковки с неравномерной коркой
- Обработанные заготовки, подвергнутые отжигу и старению
- Оптимальный выбор – сплавы с покрытием
- Возможна обработка с максимально допустимой толщиной срезаемого слоя
- Обработка карманов, пазов и периферийных поверхностей



## CoroMill® 390

- Первый выбор для обработки материалов группы ISO S
- Большой выбор пластин с различными радиусами при вершине
- Возможность врезания под углом
- Возможно исполнение с демпфером
- Возможность точения фрезерованием

### Оптимальные геометрии / сплавы

Легкая: S30T (GC1010,  
E-PL/ML S40T, GC2040)

Среднелегкая: S30T (GC1010,  
M-PL/ML S40T, GC2040)

Средняя: S30T (GC1010,  
M-PM/MM S40T, GC2040)



## CoroMill® 690

- Первый выбор для обработки материалов группы ISO S
- Большой выбор пластин с различными радиусами при вершине
- Возможность подачи СОЖ под высоким давлением (HPC)

### Оптимальные геометрии / сплавы

Легкая: S30T (S40T,  
E-SL GC2040)



## CoroMill® Plura

- Первый выбор для работы с большим вылетом
- Хороший выбор для черного и получистового фрезерования деталей аэрокосмической промышленности
- Работа с высокой подачей и небольшой глубиной резания
- Широкий диапазон диаметров

### Оптимальные геометрии / сплавы

Первый выбор: S30T  
E-PM/MM (GC1010, S40T,  
GC2040)

Альтернативный S30T  
выбор: (GC1010, S40T,  
M-PM/MM GC2040)

Режимы резания см. на стр. 96-97



### CoroMill® 790

- Первый выбор для чистовой обработки материалов группы ISO S
- Большой выбор пластин с различными радиусами при вершине
- Высокоскоростная обработка

#### Оптимальные геометрии / сплавы

Легкая: GC1010  
H-PL



### CoroMill® 316

- Первый выбор для фрезерования уступов, когда необходима фреза небольшого диаметра
- Может использоваться для торцевого фрезерования
- Большой ассортимент корпусов

#### Оптимальные геометрии / сплавы

GC1030



### Длиннокромочная фреза для чистовой обработки

- Для высокопроизводительной обработки
- Возможность обработки высоких уступов за один проход
- Хорошая чистота обработанной поверхности

#### Оптимальные геометрии / сплавы

LDHT GC1030  
(периф. пластина)  
LENT GC1030  
(торц. пластина)

Режимы резания см. на стр. 96-97

## Практические советы и рекомендации

- Попутное фрезерование является предпочтительным методом при обработке уступов, так как необходимо обеспечить угол  $90^\circ$
- Обработка уступа должна осуществляться таким образом, чтобы усилия резания были направлены к опорным точкам зажимного приспособления. Поэтому в отдельных случаях возможно применение встречного фрезерования
- Выбор шага фрезы зависит от жесткости всей технологической системы в целом, включающей станок, заготовку и систему крепления, а также от свойств обрабатываемого материала
- На станках с размером шпинделя ISO 40 и менее из-за ограниченной жесткости рекомендуется использовать фрезы с крупным шагом

## Практические советы и рекомендации (продолжение)

- Фрезы с крупным шагом рекомендуются также для обработки деталей, закрепленных в универсальном наладочном приспособлении
- Необходимо уделить особое внимание взаимному положению фрезы и заготовки
- При  $D_o/a_e > 10$ , 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, то его вертикальная поверхность не требует последующей чистовой доработки
- Выбирайте пластины из более твердых марок сплава, чем для торцевого фрезерования
- Работа длиннокромочных фрез CoroMill характеризуется неблагоприятными условиями резания, поэтому для них рекомендуется выбирать пластины из сплавов с большей прочностью
- Чем больше глубина резания, тем выше риск возникновения вибраций, поэтому рекомендуется вести обработку с пониженной скоростью резания
- При возникновении вибраций, необходимо снизить скорость резания ( $v_c$ ) и увеличить подачу на зуб ( $f_z$ ) при условии соблюдения рекомендаций по толщине срезаемой стружки ( $h_{ex}$ )
- Убедитесь, что мощность станка соответствует выбранным режимам резания





### Закрепление инструмента

- Особое внимание следует уделять требованиям по мощности, необходимой для осуществления нагруженных проходов, имеющих место при обработке длиннокрайными фрезами
- При большой глубине резания огромное значение имеет размер и жесткость соединения инструмента. Это связано со значительными радиальными усилиями резания при обработке прямоугольных уступов, особенно длиннокрайными фрезами
- Соединение Coromant Capto обеспечивает максимальную жесткость и минимальное отжатие всех типов фрез, что является особенно важным при работе инструментом с большим вылетом



# Профильное фрезерование

К профильному фрезерованию относится обработка выпуклых и вогнутых двухмерных и трехмерных поверхностей.

- Черновое и чистовое фрезерование рекомендуется выполнять на разных станках с применением специализированного инструмента
- Чистовое фрезерование рекомендуется выполнять на четырех- и пятикоординатном оборудовании с современным программным обеспечением. Это позволит обеспечить высокую геометрическую точность и высокое качество обработанной поверхности



## CoroMill® 300

- Первый выбор для черновой и получистовой обработки
- Широкий диапазон размеров пластин
- Фрезы небольшого диаметра
- Фрезы большого диаметра

### Оптимальные геометрии / сплавы

E-SL                      S30T  
                                  (S40T, GC2040)



## CoroMill® 200

- Первый выбор для черновой и получистовой обработки в тяжелых условиях
- Широкий диапазон размеров пластин
- Фрезы большого диаметра

### Оптимальные геометрии / сплавы

Легкая:                    S30T  
PL/ML                    (S40T, GC2040)

Средняя:                S30T  
PM/MM                 (S40T, GC2040)

Тяжелая:                S40T  
PM/MM                 (GC2040)



## CoroMill® 216

- Первый выбор для получистовой и чистовой обработки
- Первый выбор для обработки радиусов
- Размер пластин: 5, 6, 8, 10, 12.5, 16, 20 и 25 мм

### Оптимальные геометрии / сплавы

M – обеспечивает      GC1025  
высокую надежность    (GC1030)

E – с острыми            GC1025  
режущими кромками    (GC1030)  
для высокой точности обработки

Режимы резания см. на стр. 96-97



### CoroMill® Plura

- Первый выбор для материалов группы ISO S, когда требуется обработка цельными твердосплавными фрезами

#### Оптимальные геометрии / сплавы

Фрезы с переменной глубиной

стружечной канавки:

R216.34-xxx50-BCxxP,

R216.24-xxx50xBCxxP,

R216.34-xxx50-AKxxP,

R216.24-xxx50xAKxxP

Выбор сплава зависит от области применения

Для чистовой обработки:

Чистовая фреза R215.36-xxx50-ACxxL

GC1620



### CoroMill® 316

- Первый выбор, когда необходима фреза небольшого диаметра
- Для всех видов фрезерования
- Большой ассортимент корпусов

#### Оптимальные геометрии / сплавы

GC1030

Режимы резания см. на стр. 96-97

## Практические советы и рекомендации

При чистовой обработке цельными твердосплавными концевыми фрезами CoroMill Plura:

- Рекомендуется работать с шириной фрезерования ( $a_e$ ) менее 40% от диаметра фрезы для уменьшения толщины стружки
- Увеличивайте глубину резания для сокращения числа проходов
- Используйте всю длину режущие кромки
- Контролируйте ширину фрезерования ( $a_e$ ), если она составляет менее 20% от диаметра фрезы, чтобы сократить нагрузку на режущие кромки и иметь возможность назначить оптимальные режимы резания
- Небольшая ширина фрезерования ( $a_e$ ) уменьшает отжатие инструмента
- Используйте инструмент с высокой изгибной жесткостью для достижения высокой размерной и геометрической точности обработанной поверхности
- Используйте метод попутного фрезерования для снижения тепловыделения и повышения стойкости инструмента

Существует два метода профильного фрезерования цельными твердосплавными фрезами, каждый из которых предъявляет особые требования к инструменту:

#### **Двухкоординатное профильное фрезерование**

- Длинная режущая кромка для обработки карманов и выпуклых профилей
- Корректный радиус для обработки углов в карманах
- Фрезы "с шейкой" для обработки карманов глубиной более  $2 \times D_c$
- Рекомендуется использовать фрезы с большим углом подъема винтовой канавки и с большим количеством зубьев

#### **Трехкоординатное профильное фрезерование**

- Для обработки криволинейных поверхностей применяются концевые фрезы со сферическим концом
- Для трехкоординатного фрезерования с небольшим вылетом используйте стандартные концевые фрезы со сферическим концом
- Для пятикоординатного фрезерования с большим вылетом используйте более жесткие конические концевые фрезы со сферическим концом

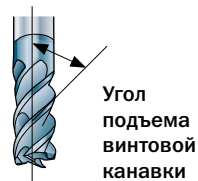
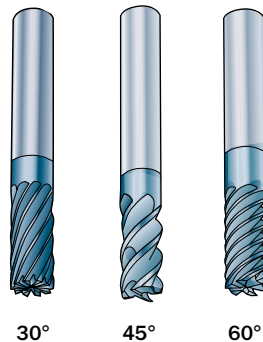


### Угол подъема винтовой канавки

- Угол подъема винтовой канавки соответствует углу наклона режущей кромки
- Угол подъема винтовой канавки определяет эффективную длину режущей кромки для данной глубины резания, а также влияет на эффективность обработки и направление отвода стружки
- Большой угол подъема винтовой канавки увеличивает длину режущей кромки, повышает стойкость инструмента и снижает радиальные силы резания

**Для чистовой обработки** – используйте фрезы с большим углом подъема винтовой канавки

**Для черновой обработки** – используйте фрезы с небольшим углом подъема винтовой канавки, так как они более прочные



## Фрезерование пазов

Глубокие пазы обычно имеет большую длину и небольшую ширину. Они встречаются на многих деталях, выполненных из титана, таких как кронштейны подвески двигателя, шассийные балки и пилоны крыльев. Эти детали требуют эффективной черновой обработки с сохранением минимального остаточного припуска под последующую чистовую обработку.

- Выбор инструмента определяется шириной и глубиной паза, а в некоторых случаях его длиной
- Тип оборудования и серийность производства определяют выбор между концевыми, длиннокрайковыми или трёхсторонними дисковыми фрезами



### CoroMill® 331

- Первый выбор для обработки глубоких пазов
- Широкий выбор размеров

#### Оптимальные геометрии / сплавы

E-SL	S30T (S40T, GC2040)
H-WL	GC1030



### CoroMill® 327

- Хороший выбор для обработки неглубоких узких пазов
- Обработка внутренних пазов
- Возможность обработки фасок и резьбофрезерования
- Фрезы небольшого диаметра

#### Оптимальные геометрии / сплавы

GM	GC1025
----	--------



### CoroMill® 690, CoroMill® 390 длиннокромочная

- Хороший выбор для обработки пазов средней глубины
- Рекомендуются фрезы с крупным шагом
- Широкие канавки для эвакуации стружки

#### Оптимальные геометрии / сплавы

Легкая:	S30T
E-SL	(S40T, GC2040)

Режимы резания см. на стр. 96-97



### CoroMill® 390

- Хороший выбор для обработки широких неглубоких пазов
- Размер пластин: 11,17 и 18 мм
- Широкий диапазон диаметров

#### Оптимальные геометрии / сплавы

Легкая: S30T  
E-PL/ML (GC1010, S40T, GC2040)

Среднелегкая: S30T  
M-PL/ML (GC1010, S40T, GC2040)

Средняя: S30T  
M-PM/MM (GC1010, S40T, GC2040)



### CoroMill® Plura

- Первый выбор для материалов группы ISO S, когда требуется обработка цельными твердосплавными фрезами

#### Оптимальные геометрии / сплавы

От черновых до чистовых операций:  
Фрезы с переменной глубиной стружечной канавки:  
R216.34-xxx50-BCxxP,  
R216.24-xxx50xBCxxP,  
R216.34-xxx50-AKxxP,  
R216.24-xxx50xAKxxP  
Выбор сплава зависит от области применения

Для чистовых операций:  
R215.36-xxx50-ACxxL 1620



### CoroMill® 316

- Первый выбор, когда необходима фреза небольшого диаметра
- Для всех видов фрезерования
- Большой ассортимент корпусов

#### Оптимальные геометрии / сплавы

GC1030

Режимы резания см. на стр. 96-97

## Практические советы и рекомендации

- Размер фрезы, шаг зубьев и расположение фрезы должны обеспечивать условие, при котором в резании находится, по крайней мере, один зуб
- Контролируйте толщину срезаемой стружки для достижения оптимального значения подачи на зуб
- Снижайте подачу при врезании в начальный момент, так как на выходе зубьев из резания образуется толстая стружка
- Для обработки глубоких и узких пазов выбирайте трехсторонние дисковые фрезы, так как они обеспечивают высокую стабильность и производительность

## Плунжерное фрезерование

При плунжерном фрезеровании обработка осуществляется не периферийной, а торцевой частью инструмента, при этом преобладают осевые, а не радиальные усилия резания.

Плунжерное фрезерование применяется, когда использование традиционных методов невозможно из-за чрезмерных вибраций.



### CoroMill® 210

- Первый выбор для обработки с большим вылетом
- Хороший выбор для черновой и получистовой обработки деталей аэрокосмической промышленности
- Высокая подача и небольшая глубина резания
- Широкий диапазон диаметров

#### Оптимальные геометрии / сплавы

Первый выбор: S30T(GC1010,  
E-PM/MM S40T, GC2040)

Альтернативный  
выбор: S30T (GC1010,  
M-PM/MM S40T, GC2040)



### 215A

- Первый выбор для тяжелого плунжерного фрезерования
- Фрезы большого диаметра

#### Оптимальные геометрии / сплавы



### CoroMill® 390

- Хороший выбор для черновой и получистовой обработки
- Для торцевого фрезерования и обработки уступов
- Размер пластин: 11, 17 и 18 мм
- Широкий диапазон диаметров

#### Оптимальные геометрии / сплавы

Легкая: S30T (GC1010,  
E-PL/ML S40T, GC2040)

Среднелегкая: S30T(GC1010,  
M-PL/ML S40T, GC2040)

Средняя: S30T  
M-PM/MM (GC1010, S40T,  
GC2040)



### CoroMill® 316

- Первый выбор, когда необходима фреза небольшого диаметра
- Для всех видов фрезерования
- Большой ассортимент корпусов

#### Оптимальные геометрии / сплавы

GC1030

Режимы резания см. на стр. 96-97



# Резьбофрезерование

На деталях из титана выполняется большое количество резьбовых отверстий. Ключевым фактором для обеспечения высокой точности и производительности обработки является выбор надлежащего метода получения резьбы.

- Всегда обеспечивайте плавные врезание и выход из резания резьбовых фрез
- Рекомендуется использовать метод попутного фрезерования
- Отношение диаметра резьбы к диаметру фрезы должно быть не менее 1.5



## Практические советы и рекомендации

- Использование фрезы небольшого диаметра позволяет обеспечить высокое качество резьбы и минимальную погрешность ее профиля
- Диаметр фрезы должен составлять не более 70% от диаметра резьбы
- Для резьбофрезерования требуется станок с возможностью одновременного перемещения по трем координатам: X, Y и Z

## Высокоскоростная обработка

Данный вид обработки осуществляется с высокой частотой вращения инструмента. Для высокоскоростного фрезерования широко используются цельные твердосплавные концевые фрезы, так как они предлагают следующие преимущества:

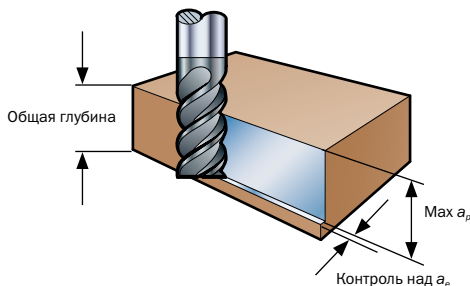
- Обеспечивают высокую производительность обработки титана
- Обеспечивают возможность обработки с большой глубиной резания по отношению к диаметру фрезы за счет большой эффективной длины режущей кромки

Высокоскоростная обработка предполагает высокую частоту вращения инструмента и большую глубину резания ( $a_p$ ) при небольшой ширине фрезерования ( $a_e$ ) и низкой подаче на зуб ( $f_z$ ).

Большая глубина резания	$a_p = 1-2$ диаметра
Небольшая ширина фрезерования	$a_e = 4 - 20\%$ от диаметра
Небольшая толщина стружки	$f_z = 0.05 - 0.1$ мм (0.02-0.004")
Скорость резания зависит от величины $a_e$	$v_c = 120-225$ м/мин (394-738 фут/мин)

### Высокоскоростное фрезерование возможно благодаря:

Условие	Эффект	Преимущества
Тонкая стружка	Небольшие силы резания / отжатию инструмента	Большая глубина резания
Небольшая ширина фрезерования	Пониженная температура в зоне резания	Высокая скорость резания



### Требования

- Высокая частота вращения шпинделя: шпиндель станка должен обеспечивать скорость, достаточно высокую для работы концевыми фрезами небольшого диаметра
- Особые требования к жесткости оборудования не предъявляются, однако это также должно приниматься во внимание

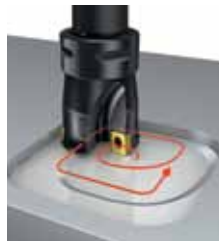
# Специализированные методы обработки

## Винтовая интерполяция (по 3 координатам)

Винтовая интерполяция применяется для получения выборки/кармана/отверстия с помощью фрезерного инструмента

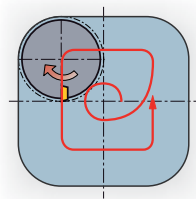
### Область применения

- Черновая обработка отверстий диаметром более 30 мм (1.181")
- Обработка на станках небольшой мощности
- Обработка деталей с криволинейными поверхностями
- Обработка прерывистых поверхностей и тонкостенных деталей
- Обработка глухих отверстий с плоским дном



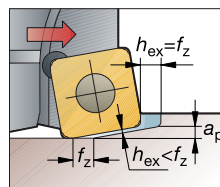
### Преимущества

- Один инструмент для обработки отверстий разных диаметров, формы и глубины
- Высокая скорость съема материала, меньше заусенцев
- Для станков любых типов и конфигураций
- Круглость отверстий лучше, чем при растачивании/сверлении
- Снижение вибраций



### Практические рекомендации

- Заход в просверленное отверстие рекомендуется осуществлять с тах шириной фрезерования, равной 30% от диаметра фрезы
- Осуществляйте осевую подачу с одновременным круговым врезанием
- Попутное фрезерование обеспечивается движением инструмента против часовой стрелки
- При обработке углов задавайте максимально возможный радиус закругления



## Плунжерное фрезерование

При плунжерном фрезеровании обработка осуществляется не периферийной, а торцевой частью инструмента. Этот метод является идеальным решением для фрезерования труднообрабатываемых материалов, включая титан.

### Область применения

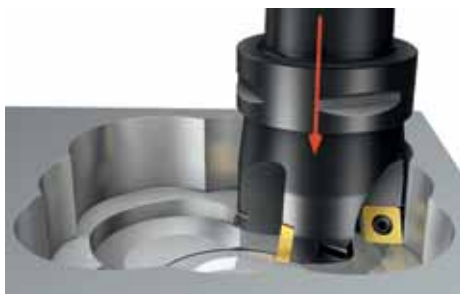
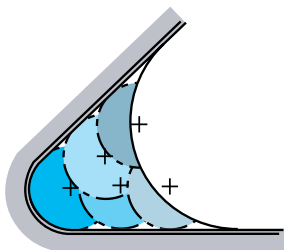
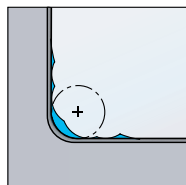
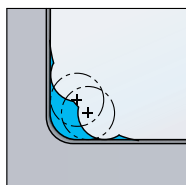
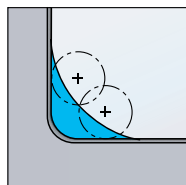
- Обработка в тяжелых условиях: низкая жесткость системы, большой вылет инструмента
- Для инструмента с вылетом более  $4 \times D_c$
- Для полуступенчатой обработки углов
- При ограниченной мощности или крутящем моменте станка
- Горизонтальное положение шпинделя облегчает эвакуацию стружки

### Практические рекомендации

- Осуществляйте врезание с осевой подачей
- Ведите обработку торцом фрезы (не периферией)
- Постепенно уменьшайте глубину врезания для снижения вибраций
- Рекомендуемый шаг между проходами фрезы не более 0.75 от ее диаметра
- В выборках рекомендуется начинать обработку от дна с постепенным подъемом
- Используйте сверление и плунжерное фрезерование при обработке узких пазов для облегчения эвакуации стружки

### Преимущества

- Для плунжерного фрезерования используются концевые фрезы со сменными пластинами и фрезы с круглыми пластинами
- Низкое потребление мощности/низкий уровень шума



## Фрезерование с малой шириной контакта

Данный метод предназначен для производительной и надежной черновой или получерновой обработки с небольшой глубиной резания ( $a_p$ ) и небольшой шириной фрезерования ( $a_e$ ). Существует две области применения фрезерования с малой шириной контакта.

**Трохоидальное фрезерование** – в основном для обработки пазов

**Фрезерование в углах** – для получерновой обработки в углах

### Трохоидальное фрезерование

Метод представляет собой круговое фрезерование с одновременным линейным перемещением, используется для черновой обработки закрытых карманов и пазов. Это идеальный метод для обработки таких труднообрабатываемых материалов, как титан.

#### Область применения

- Черновая обработка закрытых выборок, карманов и канавок
- Идеальный выбор для обработки пазов, когда необходимо снизить вибрации

#### Практические рекомендации

- Метод предъявляет повышенные требования к программированию и возможностям станка
- Программируйте врезание и выход из резания по круговой траектории с небольшим радиальным шагом
- Максимальная ширина фрезерования ( $a_e$ ) не должна превышать 20% от диаметра фрезы

#### Преимущества

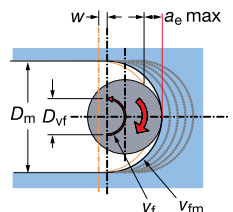
- Контролируемая величина дуги контакта инструмента ведет к уменьшению усилий резания и позволяет повысить глубину резания
- Используется вся длина режущей кромки, что позволяет равномерно распределить температуру и износ, в результате повышается стойкость в сравнении с традиционным фрезерованием
- Применение инструмента с большим количеством режущих кромок позволяет увеличить подачу без риска снижения стойкости

$$a_p \leq 2 \times D_c$$

$a_e$  = небольшая

$v_f$  = высокая

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

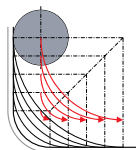
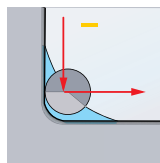
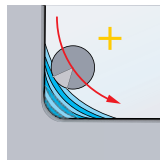


## Фрезерование в углах

Это многопроходный метод полуступицовой обработки, используемый для снятия припуска в углах, который невозможно снять инструментом большего диаметра, применяемым для предварительной обработки

### Область применения

- Корпусные детали летательных аппаратов
- Штампы и пресс-формы
- Для успешного применения метода обработки в углах необходим станок с хорошей динамической стабильностью и функцией контроля снижения подачи центра инструмента
- Для данного метода необходим цельный твердосплавный инструмент

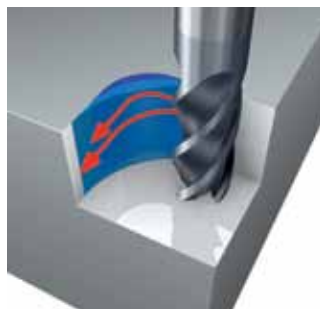


### Практические рекомендации

- Не требуется врезание и выход из резания по касательной
- Многопроходная стратегия с последовательным съемом материала обеспечивает постоянную небольшую ширину фрезерования и низкие усилия резания
- Подача центра инструмента ( $v_f$ ) должна быть уменьшена по сравнению с подачей периферийной части инструмента ( $v_{fm}$ )
- Последовательно уменьшайте подачу для каждого прохода, так как отношение диаметра круговой траектории перемещения фрезы ( $D_{vf}$ ) к диаметру отверстия ( $D_m$ ) постоянно растет по мере приближения к окончательному размеру угла

### Преимущества

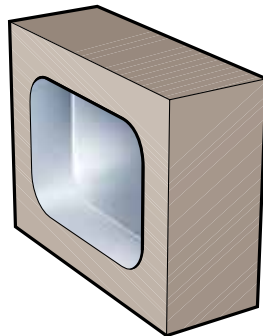
- Высокая скорость резания – небольшое время контакта режущей кромки и заготовки
- Большая глубина резания – низкие усилия резания
- Большая подача – небольшая толщина стружки



## Примеры типовых операций

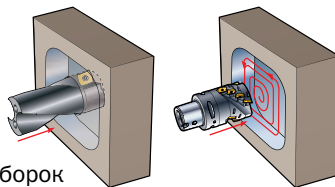
Одними из самых распространенных элементов конструкций аэрокосмической промышленности являются карманы.

Наиболее распространенные и оптимизированные методы обработки выборок/карманов приводятся ниже.



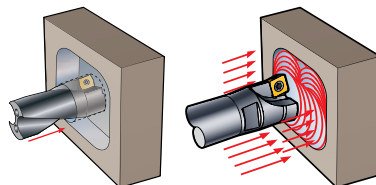
### 1. Сверление и круговая интерполяция/ круговое расфрезерование

- Основной выбор для обработки карманов
- Первый выбор для обработки корпусных элементов летательных аппаратов
- Высокая скорость снятия материала при обработке выборок
- Необходимо оборудование с высокой жесткостью
- Высокие требования к программированию



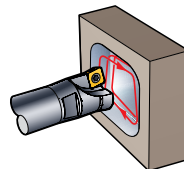
### 2. Сверление и плунжерное фрезерование

- Применяется при работе с большим вылетом инструмента
- Простота программирования, обработка может осуществляться на традиционных/ многошпиндельных станках
- Низкая скорость съема материала



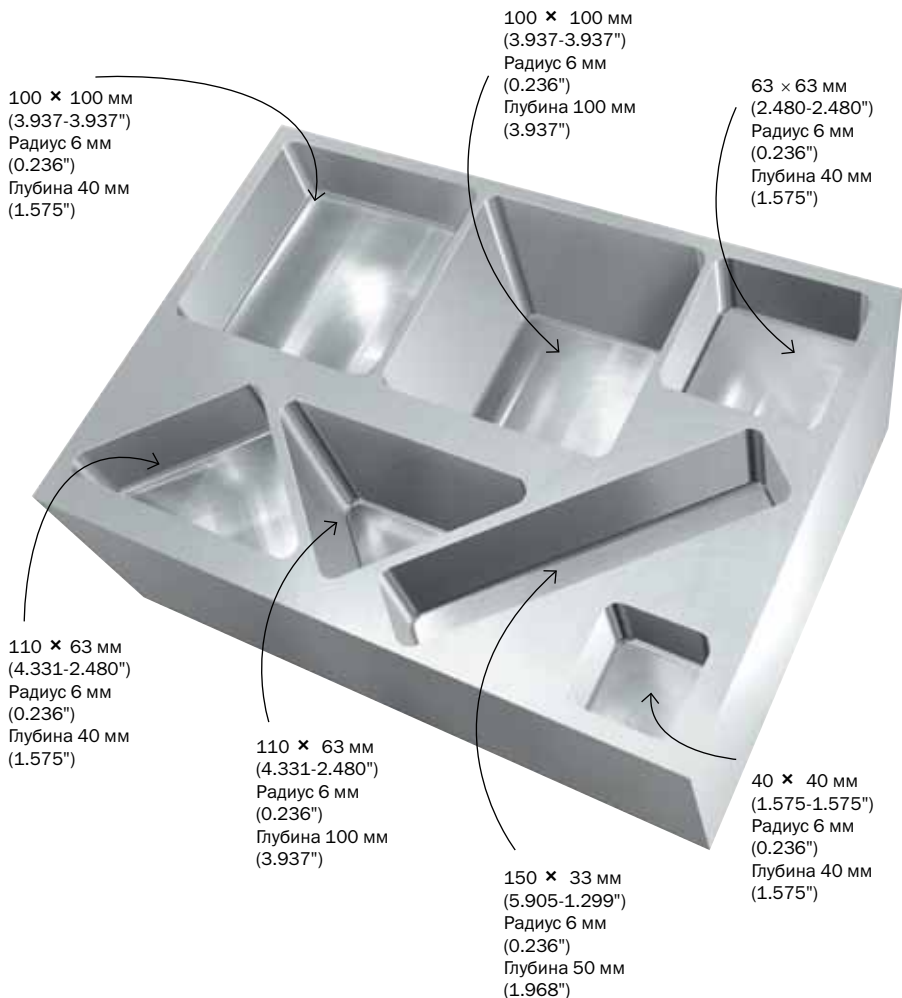
### 3. Винтовая интерполяция

- Требуется меньшее количество инструментов, не требует предварительного сверления
- Возможность обработки широкого диапазона выборок разного размера
- Может осуществляться на станках всех типов любой конфигурации
- Невысокая производительность при обработке больших выборок



## Методы обработки стандартных элементов

Эти семь карманов являются примерами характерных элементов, встречающихся на компонентах из титана.





## Обработка тонкостенных деталей (чистовая операция)

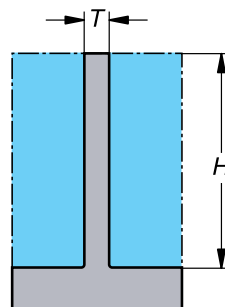
Тонкие стенки делятся на три группы в зависимости от величины отношения высоты к толщине стенки. Каждая группа требует определенной стратегии обработки.

Стенки с небольшим соотношением высоты и толщины      $H:T < 15:1$

Стенки со средним соотношением высоты и толщины      $H:T < 30:1$

Стенки с большим соотношением высоты и толщины      $H:T > 30:1$

Вследствие силового воздействия происходит отжатие тонкой стенки, поэтому обработку необходимо осуществлять за несколько проходов для снижения трения и вибраций.

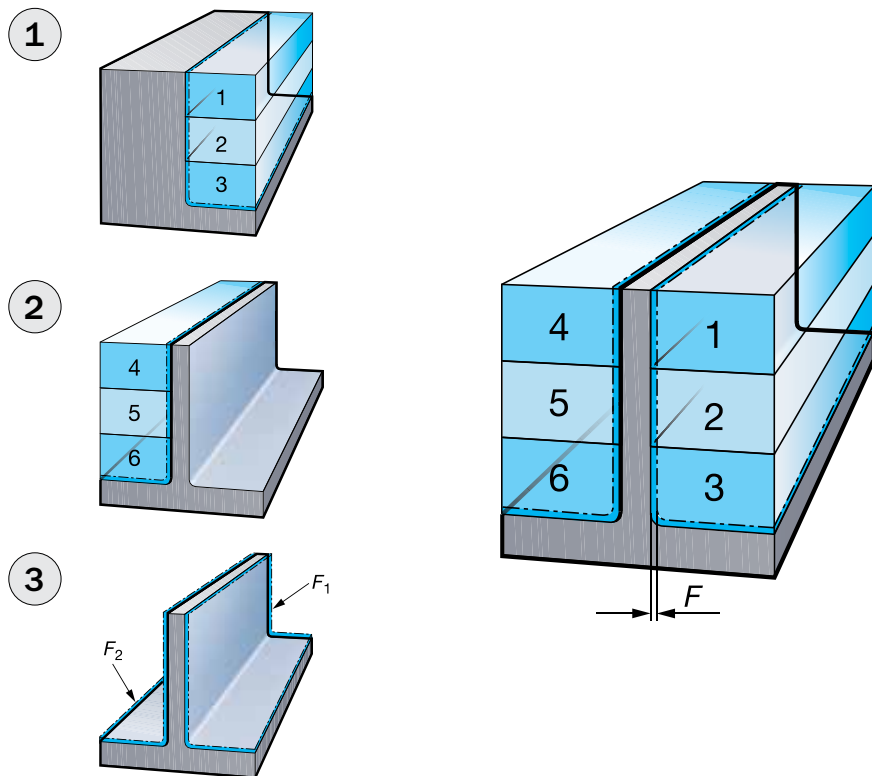


## 1. Чистовая обработка стенок с небольшим соотношением высоты и толщины

Н:Т <15:1

**Жесткость стенки: относительно высокая**

- Обработайте одну сторону стенки за несколько проходов, затем другую
- Оставьте припуск для последующей чистовой обработки

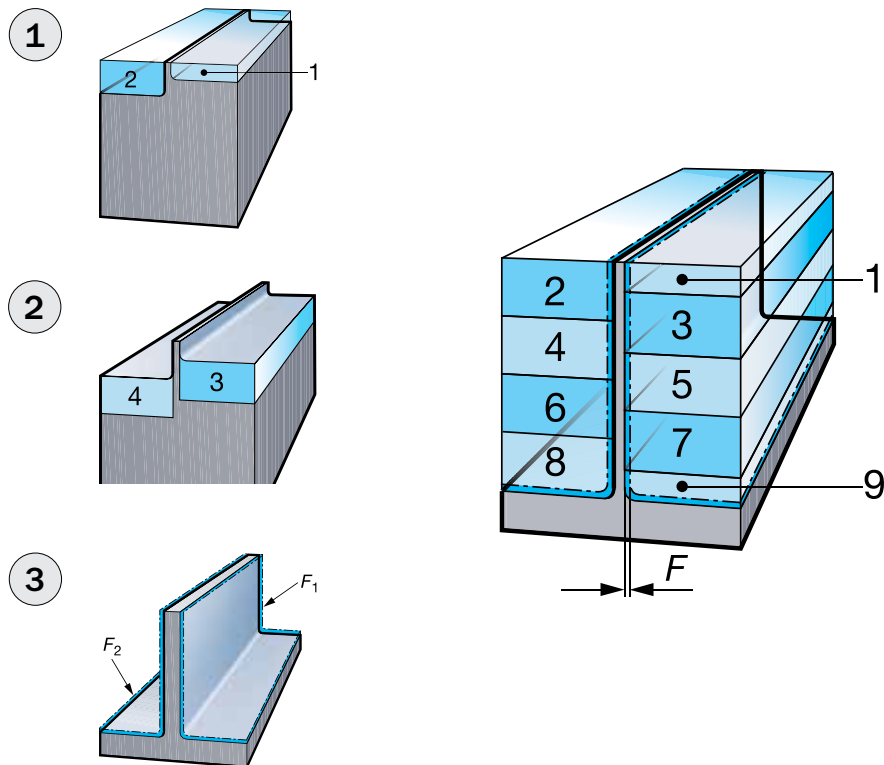


## 2. Чистовая обработка стенок со средним соотношением высоты и толщины

Н:Т <30:1

**Жесткость стенки: невысокая, склонность к отжатию**

- При обработке чередуйте стороны стенки для каждого последующего прохода
- Проходы с перекрытием обеспечат поддержку стенки в месте фрезерования, повысив жесткость
- Припуск для последующей чистовой обработки должен составлять 0.2-1 мм (0.008-0.04")

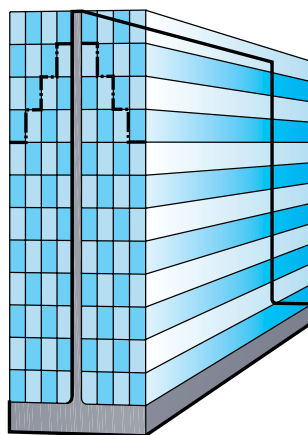
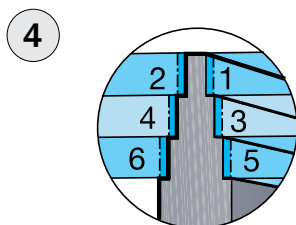
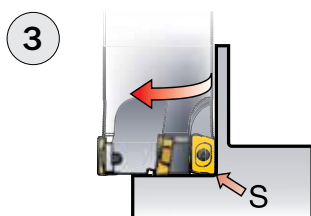
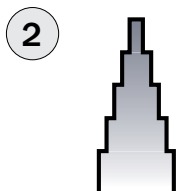
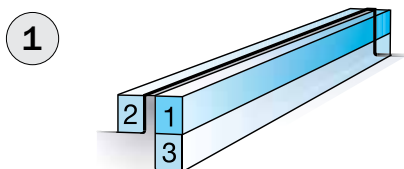


### 3. Чистовая обработка стенок с большим соотношением высоты и толщины

Н:Т >30:1

**Жесткость стенки: очень низкая**

- При обработке чередуйте стороны стенки для каждого последующего прохода
- Достигайте нужную толщину стенки за несколько этапов
- При обработке более тонкая часть стенки должна поддерживаться более толстой
- Поэтапно ведите обработку сверху вниз с отводом инструмента для образования ступеней



## Обработка тонкостенного основания

Основание детали считается тонкостенным, если его толщина  $< 1/30$  ширины кармана, max 2.5 мм (0.098").

При обработке тонкостенного основания следует внимательно подходить к выбору инструмента и стратегии обработки.

### Пример

Материал	Ti6Al4V
Заготовка	215 × 200 × 60 мм (8.465 × 7.874 × 2.362")

**Задача:** обработать вторую сторону основания без опоры

### Сторона 1

Шаг 1: сверление заготовки, сверло со сменными пластинами диаметром 40 мм (1.575")

Шаг 2: черновое фрезерование (методом винтовой интерполяции), длиннокрючковая фреза диаметром 32 мм (1.26")

Шаг 3: чистовая обработка, концевая фреза с max  $a_e = 30\%$  от диаметра фрезы

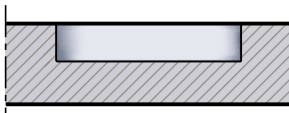
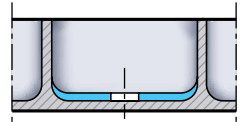
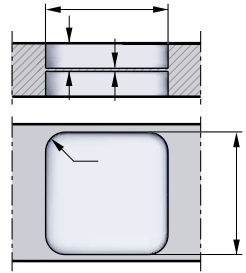
### Сторона 2

Шаг 4 и 5: повторить шаги 1, 2 (как описано выше), оставив припуск 4 мм (0.157") у основания для повышения жесткости при последующей обработке

Шаг 6: чистовая обработка, концевая фреза с  $a_e$  max 60%

### Результат

Повышение max ширины фрезерования ( $a_e$ ) с 30% до 60% от диаметра фрезы приводит к снижению качества поверхности, но также снижает вибрации и отжатие стенки



## Рекомендации по выбору режимов резания, T6A14V

## CoroMill® 390

Геометрия пластины	Размер пластины	$f_z$ , мм/зуб (дюйм/зуб)		$v_c$ , М/мин (фут/мин)		
		Начальное значение	min-max	Сплавы	Рек.	min-max
E-PL/ML Легкая	11	0.08 (0.003)	0.05-0.12 (0.002-0.005)	GC1010	70 (229.7)	50-80 (164.0-262.5)
	17	0.08 (0.003)	0.05-0.15 (0.002-0.006)	S30T	60 (196.8)	40-70 (131.2-229.7)
	18	0.10 (0.004)	0.05-0.19 (0.002-0.007)	S40T GC2040	50 (164.0) 40 (131.2)	30-60 (98.4-196.8) 30-50 (98.4-164.0)
M-PL/ML Среднелегкая	11	0.10 (0.004)	0.05-0.15 (0.002-0.006)	GC1010	70 (229.7)	50-80 (164.0-262.5)
	17	0.10 (0.004)	0.05-0.15 (0.002-0.006)	S30T	60 (196.8)	40-70 (131.2-229.7)
	18	0.10 (0.004)	0.05-0.15 (0.002-0.006)	S40T GC2040	50 (164.0) 40 (131.2)	30-60 (98.4-196.8) 30-50 (98.4-164.0)
M-PM/MM Средняя	11	0.12 (0.005)	0.08-0.15 (0.003-0.006)	GC1010	70 (229.7)	50-80 (164.0-262.5)
	17	0.15 (0.006)	0.08-0.20 (0.003-0.008)	S30T	60 (196.8)	40-70 (131.2-229.7)
	18	0.20 (0.008)	0.08-0.30 (0.003-0.012)	S40T GC2040	50 (164.0) 40 (131.2)	30-60 (98.4-196.8) 30-50 (98.4-164.0)

## CoroMill® 790

H-PL Легкая	12	0.15 (0.006)	0.03-0.20 (0.001-0.008)	GC1010	200 (656.2)	150-250 (492.1-820.2)
	16					

## CoroMill® 690

E-SL Легкая	10	0.10 (0.004)	0.05-0.15 (0.002-0.006)	S30T	60 (196.8)	40-70 (131.2-229.7)
				S40T	50 (164.0)	30-60 (98.4-196.8)
				GC2040	40 (131.2)	30-50 (98.4-164.0)
E-SL Легкая	14	0.12 (0.005)	0.07-0.17 (0.003-0.007)	S30T	60 (196.8)	40-70 (131.2-229.7)
				S40T	50 (164.0)	30-60 (98.4-196.8)
				GC2040	40 (131.2)	30-50 (98.4-164.0)

## CoroMill® 331

H-PL/ML Легкая	04	0.05 (0.164)	0.02-0.15 (0.066-0.492)	S30T GC2040	60 (196.8) 40 (131.2)	40-70 (131.2-229.7) 30-50 (98.4-164.0)
	05	0.05 (0.164)	0.02-0.15 (0.066-0.492)			
	08	0.06 (0.20)	0.03-0.15 (0.098-0.492)			
	11	0.06 (0.20)	0.03-0.15 (0.098-0.492)			
H-PM/MM Среднелегкая	04	0.07 (0.230)	0.04-0.18 (0.131-0.591)	S30T GC2040	50 (164.0) 40 (131.2)	30-60 (98.4-196.8) 30-50 (98.4-164.0)
	05	0.07 (0.230)	0.04-0.18 (0.131-0.591)			
	08	0.09 (0.295)	0.05-0.20 (0.164-0.656)			
	11	0.09 (0.295)	0.05-0.20 (0.164-0.656)			
14	0.09 (0.295)	0.05-0.20 (0.164-0.656)				

## CoroMill® 245

E-PL Легкая	12	0.15 (0.006)	0.07-0.20 (0.003-0.008)	GC1010	60 (196.8)	40-70 (131.2-229.7)
				S30T	50 (164.0)	30-60 (98.4-196.8)
				S40T	40 (131.2)	30-50 (98.4-164.0)
M-PL Среднелегкая	12	0.17 (0.007)	0.08-0.21 (0.003-0.008)	GC1010	60 (196.8)	40-70 (131.2-229.7)
				S30T	50 (164.0)	30-60 (98.4-196.8)
				S40T	40 (131.2)	30-50 (98.4-164.0)
K-MM M-MM	12	0.23 (0.009)	0.10-0.28 (0.004-0.001)	S30T	50 (164.0)	30-60 (98.4-196.8)
	18	0.25 (0.010)	0.10-0.30 (0.004-0.012)	S40T GC2040	40 (131.2) 40 (131.2)	25-50 (82.0-164.0) 25-50 (82.0-164.0)

## CoroMill® 210 для фрезерования с высокой подачей

E-PM/MM Первый выбор	09 14	0.8 (0.031) 1.0 (0.04)	0.5-1.2 (0.02-0.047) 0.5-1.5 (0.02-0.059)	GC1010	60 (196.8)	40-70 (131.2-229.7)
				S30T	50 (164.0)	30-60 (98.4-196.8)
				S40T	40 (131.2)	30-50 (98.4-164.0)
				GC2040	40 (131.2)	30-50 (98.4-164.0)
M-PM/MM	09 14	0.8 (0.031) 1.0 (0.04)	0.5-1.2 (0.02-0.047) 0.5-1.5 (0.02-0.059)	GC1010	60 (196.8)	40-70 (131.2-229.7)
				S30T	50 (164.0)	30-60 (98.4-196.8)
				S40T	40 (131.2)	30-50 (98.4-164.0)
				GC2040	40 (131.2)	30-50 (98.4-164.0)

## CoroMill® 210 для плунжерного фрезерования

E-PM/MM Первый выбор	09 14	0.15 (0.006) 0.20 (0.008)	0.1-0.2 (0.004-0.008) 0.1-0.25 (0.004-0.01)	GC1010	60 (196.8)	40-70 (131.2-229.7)
				S30T	50 (164.0)	30-60 (98.4-196.8)
				S40T	40 (131.2)	30-50 (98.4-164.0)
				GC2040	40 (131.2)	30-50 (98.4-164.0)
M-PM/MM	09 14	0.15 (0.006) 0.20 (0.008)	0.1-0.2 (0.004-0.008) 0.1-0.25 (0.004-0.01)	GC1010	60 (196.8)	40-70 (131.2-229.7)
				S30T	50 (164.0)	30-60 (98.4-196.8)
				S40T	40 (131.2)	30-50 (98.4-164.0)
				GC2040	40 (131.2)	30-50 (98.4-164.0)

## CoroMill® 300

Геометрия пластины	$f_z$ , мм/зуб (дюйм/зуб)			$v_c$ , м/мин (фут/мин)		
	Размер пластины	Начальное значение	min-max	Сплавы	Рек.	min-max
E-PL/ML Легкая	08	0.12 (0.005)	0.05-0.15 (0.002-0.006)	GC1010 S30T S40T GC2040	70 (229.7) 60 (196.8) 50 (164.0) 40 (131.2)	50-80 (164.0-262.5) 40-70 (131.2-229.7) 30-60 (98.4-196.8) 30-50 (98.4-164.0)
	10	0.15 (0.006)	0.05-0.18 (0.002-0.007)			
	12	0.15 (0.006)	0.05-0.20 (0.002-0.008)			
	16	0.18 (0.007)	0.05-0.25 (0.002-0.01)			
	20	0.2 (0.008)	0.05-0.25 (0.002-0.01)			
25.4	0.23 (0.009)	0.05-0.28 (0.002-0.011)				
M-PL/ML Среднелегкая	08	0.13 (0.005)	0.05-0.21 (0.002-0.008)	GC1010 S30T S40T GC2040	70 (229.7) 60 (196.8) 50 (164.0) 40 (131.2)	50-80 (164.0-262.5) 40-70 (131.2-229.7) 30-60 (98.4-196.8) 30-50 (98.4-164.0)
	10	0.18 (0.007)	0.05-0.25 (0.002-0.01)			
	12	0.18 (0.007)	0.05-0.25 (0.002-0.01)			
	16	0.2 (0.008)	0.05-0.30 (0.002-0.012)			
	20	0.25 (0.01)	0.05-0.40 (0.002-0.016)			
M-PM/MM Средняя	08	0.13 (0.006)	0.07-0.20 (0.003-0.008)	GC1010 S30T S40T GC2040	70 (229.7) 60 (196.8) 50 (164.0) 40 (131.2)	50-80 (164.0-262.5) 40-70 (131.2-229.7) 30-60 (98.4-196.8) 30-50 (98.4-164.0)
	10	0.15 (0.006)	0.07-0.25 (0.003-0.01)			
	12	0.15 (0.006)	0.07-0.25 (0.003-0.01)			
	16	0.18 (0.007)	0.07-0.25 (0.003-0.01)			
	20	0.2 (0.008)	0.07-0.30 (0.003-0.012)			
25.4	0.23 (0.009)	0.07-0.33 (0.003-0.012)				
M-PH/MH Тяжелая	08	0.15 (0.006)	0.07-0.25 (0.003-0.01)	GC1010 S30T S40T GC2040	70 (229.7) 60 (196.8) 50 (164.0) 40 (131.2)	50-80 (164.0-262.5) 40-70 (131.2-229.7) 30-60 (98.4-196.8) 30-50 (98.4-164.0)
	10	0.2 (0.008)	0.07-0.30 (0.003-0.012)			
	12	0.2 (0.008)	0.07-0.30 (0.003-0.012)			
	16	0.25 (0.01)	0.07-0.40 (0.003-0.016)			
	20	0.35 (0.014)	0.07-0.55 (0.003-0.022)			
25.4	0.4 (0.016)	0.07-0.60 (0.003-0.022)				

## CoroMill® 200

PL/ML Легкая	10	0.12 (0.005)	0.07-0.17 (0.003-0.007)	S30T S40T GC2040	60 (196.8) 50 (164.0) 40 (131.2)	40-70 (131.2-229.7) 30-60 (98.4-196.8) 30-50 (98.4-164.0)
	12	0.12 (0.005)	0.07-0.17 (0.003-0.007)			
	16	0.12 (0.005)	0.07-0.17 (0.003-0.007)			
	20	0.12 (0.005)	0.07-0.17 (0.003-0.007)			
PM/MM Средняя	10	0.17 (0.007)	0.10-0.28 (0.004-0.011)	S30T S40T GC2040	60 (196.8) 50 (164.0) 40 (131.2)	40-70 (131.2-229.7) 30-60 (98.4-196.8) 30-50 (98.4-164.0)
	12	0.17 (0.007)	0.10-0.28 (0.004-0.011)			
	16	0.17 (0.007)	0.10-0.28 (0.004-0.011)			
	20	0.17 (0.007)	0.10-0.28 (0.004-0.011)			
PM/MM Тяжелая	10	0.28 (0.011)	0.10-0.42 (0.004-0.017)	S30T S40T GC2040	50 (164.0) 40 (131.2)	30-60 (98.4-196.8) 30-50 (98.4-164.0)
	12	0.28 (0.011)	0.10-0.42 (0.004-0.017)			
	16	0.28 (0.011)	0.10-0.42 (0.004-0.017)			
	20	0.28 (0.011)	0.10-0.42 (0.004-0.017)			

## CoroMill® 316 (для стабильных условий обработки)

## Скорость резания

ISO	СМС	НВ	Профильная обработка		
			Большая ширина контакта	Небольшая ширина контакта	Профильная обработка
			$a_e \leq 1.0 \times D_c$ $a_p \leq 0.5 \times D_c$	$a_e \leq 0.3 \times D_c$ $a_p \leq 0.5 \times D_c$	$a_e \leq 0.005 \times D_c$
$v_c$ , м/мин (фут/мин)	$v_c$ , м/мин (фут/мин)	$v_c$ , м/мин (фут/мин)			
P	01.1	125	190 (625)	280 (920)	630 (2065)
	01.2	150	170 (560)	255 (835)	580 (1905)
	01.4	210	150 (490)	225 (740)	510 (1675)
	02.1	175	165 (540)	245 (805)	555 (1820)
	02.2	300	100 (330)	150 (490)	340 (1115)
03.11	200	170 (560)	250 (820)	570 (1870)	
03.22	380	80 (260)	120 (395)	280 (920)	
M	05.11	200	70 (230)	110 (360)	240 (785)
	05.21	200	55 (180)	85 (280)	190 (625)
	05.51	230	45 (150)	70 (230)	155 (510)
K	07.1	130	120 (395)	180 (590)	395 (1295)
	08.1	180	130 (425)	190 (625)	420 (1380)
	08.2	245	110 (360)	160 (525)	360 (1180)
	09.2	250	105 (345)	155 (510)	350 (1150)
N	30.22	90	1000 (3280)	1100 (3610)	1300 (4265)
	S	20.22	350	25 (80)	35 (115)
23.22		350	40 (130)	80 (260)	150 (490)

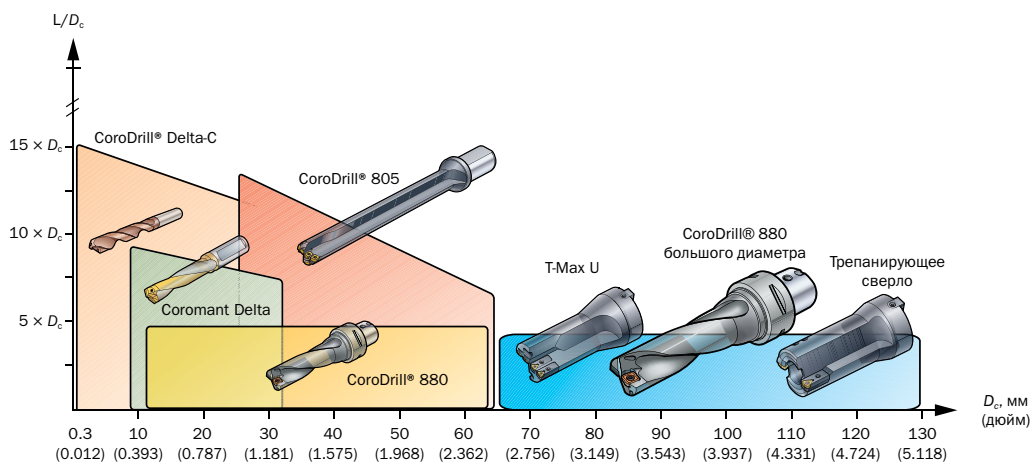
## Подача

$D_c$ , мм (дюйм)	Профильная обработка		
	Большая ширина контакта	Небольшая ширина контакта	Профильная обработка
	$a_e \leq 1.0 \times D_c$ $a_p \leq 0.5 \times D_c$	$a_e \leq 0.3 \times D_c$ $a_p \leq 0.5 \times D_c$	$a_e \leq 0.005 \times D_c$
$f_z$ , мм (дюйм)	$f_z$ , мм (дюйм)	$f_z$ , мм (дюйм)	
10 (0.375)	0.045 (0.0018)	0.07 (0.0028)	0.12 (0.0047)
12 (0.500)	0.055 (0.0022)	0.085 (0.0033)	0.14 (0.0055)
16 (0.625)	0.065 (0.0026)	0.11 (0.0043)	0.16 (0.0063)
20 (0.750)	0.08 (0.0031)	0.13 (0.0051)	0.18 (0.0071)

# 4. Сверление

На сегодняшний день существуют разнообразные инструменты и методы обработки для успешного сверления титана с оптимальной производительностью.

Однако сверление титана – это достаточно трудный и дорогостоящий процесс, который требует тщательного планирования, проведения испытаний и выбора верной стратегии обработки.





## Области сверления

Сверление и применяемый для этой операции инструмент подразделяются на две области.

### Сверление коротких отверстий

Эта область охватывает обработку отверстий глубиной до 10 диаметров сверла. Для обработки таких отверстий не требуется специальная оснастка или специальное оборудование.

### Глубокое сверление

Это область обработки отверстий с относительно большим отношением глубины к диаметру, которое может достигать значения 150:1. Отверстия глубиной более 10 диаметров сверла требуют применения специальной стратегии сверления.

В этой области по-прежнему применимы основные принципы сверления, но необходимо обеспечить эффективное дробление и эвакуацию стружки во избежание поломки инструмента или заготовки.

### Типовые элементы деталей

Для успешной обработки детали необходимо проанализировать ее конструкцию, выбрать наиболее подходящую стратегию обработки и учесть, есть ли на детали следующие элементы:

- Прямые короткие ( $<10 \times D_c$ ) и глубокие ( $>10 \times D_c$ ) отверстия
- Глухие или сквозные отверстия
- Ступенчатые отверстия и отверстия с фасками
- Карманы и пазы

# Основные положения

## Рекомендации по применению СОЖ

- Всегда применяйте СОЖ для поддержания стабильного процесса обработки
- Рекомендуется внутренний подвод СОЖ
- Подача СОЖ под высоким давлением (НРС) улучшает дробление и эвакуацию стружки
- Рекомендуется использовать водную эмульсию с присадками высокого давления (EP) и с концентрацией масла 9-12%
- Расход СОЖ – более важный параметр, чем давление, но давление необходимо для обеспечения требуемого расхода жидкости

## Подача СОЖ под высоким давлением (НРС)

- Всегда рекомендуется при сверлении титана
- Применяется для улучшения процесса стружкообразования
- Применяется для улучшения процесса эвакуации стружки

## Пример обработки: стружкообразование

Инструмент	CoroDrill 880
Диаметр, глубина сверления	25 мм (0.984"), 5 × D
$v_c$ , м/мин (фут/мин)	80 (262.5)
$f_n$ , мм/об (дюйм/об)	0.12 (0.005)

На данных режимах резания невозможно выполнить отверстие без подачи СОЖ под высоким давлением (НРС)



Давление 10 бар

## Стружкообразование

Инструмент	CoroDrill 846
Диаметр, глубина сверления	8 мм (0.315"), 5 × D
$v_c$ , м/мин (фут/мин)	45 (147.6)
$f_n$ , мм/об (дюйм/об)	0.14 (0.006)



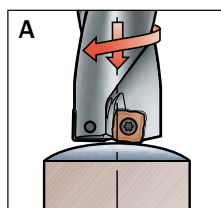
Давление 65 бар

Подача СОЖ под высоким давлением (НРС) улучшает процесс стружкодробления и поэтому предпочтительна при сверлении титана

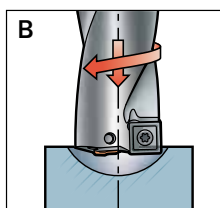
## Врезание в неплоскую поверхность

При засверливании в неплоскую поверхность возникает риск «увода» сверла. Этого можно избежать за счет снижения подачи на входе согласно приведённым ниже рекомендациям (для сверл со сменными пластинами)

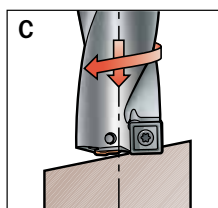
- **А Выпуклая поверхность** – нет необходимости снижать подачу
- **В Вогнутая поверхность** – снизьте подачу до  $1/3$  от рекомендованной
- **С Наклонная поверхность** – снизьте подачу до  $3/4-1/3$  от рекомендованной, если угол наклона поверхности равен  $2-89^\circ$
- **Д Изогнутая поверхность** – снизьте подачу до  $1/9$  (или  $1/3$  от рекомендованной для вогнутых поверхностей)



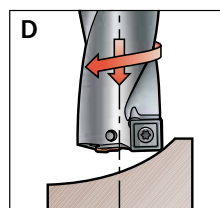
**Выпуклая  
поверхность**



**Вогнутая  
поверхность**



**Наклонная  
поверхность**



**Изогнутая  
поверхность**

## Жесткость

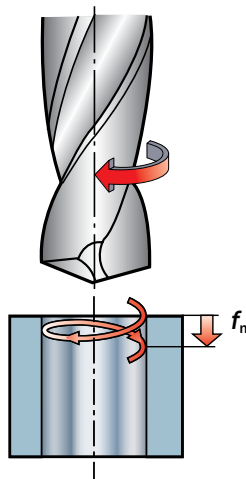
При сверлении титана важно обеспечить высокий уровень стабильности обработки. При этом необходимо учесть:

- Станок и приспособления
- Тонкостенные детали
- Консольные элементы детали
- Инструмент с большим вылетом

## Влияние режимов резания

**Подача ( $f_n$ )** влияет на:

- Стружкообразование
- Качество отверстия, главным образом, на чистоту поверхности
- Повышенная подача = высокое усилие подачи
- Механические и термические нагрузки



## Скорость резания ( $v_c$ )

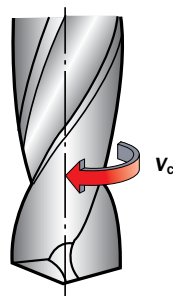
Оказывает наибольшее влияние на стойкость сверла

**Слишком низкая скорость резания:**

- Наростообразование
- Неэффективное дробление/эвакуация стружки
- Низкая производительность

**Слишком высокая скорость резания:**

- Быстрый износ по задней поверхности
- Низкое качество отверстия
- Низкая точность отверстия
- Износ по периферии
- Пластическая деформация



## Стружкообразование

Недостаточный контроль над стружкообразованием может привести к поломке сверла и низкому качеству обработанной поверхности

- Если не удастся достичь удовлетворительного стружкообразования (формирования короткой спиральной стружки), то необходимо увеличить подачу
- Если увеличение подачи не помогло или если применяется сверло CoroDrill Delta-C, то необходимо использовать прерывистый цикл сверления с периодическим отводом сверла примерно на 0.3 мм (0.012") от дна отверстия



Предпочтительная форма стружки  
CoroDrill Delta-C



Приемлемая форма стружки  
CoroDrill Delta-C



Пакетирование стружки  
CoroDrill Delta-C

## Обзор инструмента

Выбор сверла для обработки титана зависит от надежности, безопасности и серийности производства.

### Основные типы сверл:

Цельные твердосплавные сверла	< 20 мм (0.787")
Сверла со сменными пластинами	12.7-58 мм (0.449-2.283")
Сверла для глубокого сверления	15.6-183.9 мм (0.614-7.240")

### Рекомендации по выбору инструмента – первый выбор

Короткое отверстие	Короткое отверстие	Короткое отверстие	Глубокое отверстие
3 - 12 мм (0.118 - 0.472")	12 - 63 мм (0.0472 - 2.480")	65 - 125 мм (2.559 - 4.921")	25 - 65 мм (0.984 - 2.559")
CoroDrill® Delta-C 846 	CoroDrill® 880 	CoroDrill® 880 - большого диаметра 	CoroDrill® 805 

# Сверление коротких отверстий

## CoroDrill® Delta-C (846)

- Семейство универсальных сверл для обработки большинства материалов
- Современные цельные твёрдосплавные сверла с покрытием
- Для обработки титана рекомендуются сверла с геометрией 846 из сплава GC1220
- Диапазон диаметров 3 - 12 мм (0.118 - 0.472") для сверл с рекомендуемыми геометрией и сплавом



### Глубина сверления:

Короткое исполнение  $2-3 \times D_c$

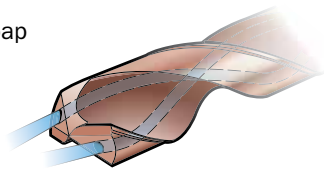
Длинное исполнение  $4-5 \times D_c$

Точность отверстия IT8-9-10

Шероховатость Ra 1-2 мкм

### Рекомендации по применению СОЖ

- Рекомендуется внутренний подвод СОЖ
- Min давление СОЖ 10 бар, предпочтительнее выше
- Хорошие результаты при обработке с давлением СОЖ 65 бар



### Рекомендации по выбору режимов резания

#### – титановые сплавы

CoroDrill Delta-C 846 сплав GC1220		
Диаметр сверла $D_c$ , мм (дюйм)	Скорость резания $v_c$ , м/мин (дюйм/мин)	Подача $f_z$ , мм/об (дюйм/об)
3.00 - 6.00 (0.118 - 0.236)	20 - 60 (65.6-196.8)	0.06 - 0.12 (0.002 - 0.005)
6.01 - 10.00 (0.236 - 0.393)	20 - 60 (65.6-196.8)	0.08 - 0.20 (0.003 - 0.007)
10.01 - 12.00 (0.397 - 0.472)	20 - 60 (65.6-196.8)	0.14 - 0.28 (0.005 - 0.011)

## CoroDrill® 880

- Диапазон диаметров: 12-63 мм (0.472-2.480")
- Глубина сверления: 2, 3, 4 и 5 × диаметр (стандартные исполнения)
- Другая глубина сверления по запросу
- Соединение Coromant Capto® и цилиндрический хвостовик



## Рекомендации для обработки титана

### Геометрия

-LM

### Сплавы,

диапазон диаметров 12.00-16.49 мм

GC1044 – центральная пластина

GC4044 – периферийная пластина



GC1044

### Сплавы,

диапазон диаметров 16.50-63.00 мм

GC1044 – центральная пластина

H13A – периферийная пластина



H13A

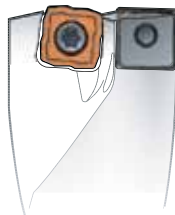


GC4044

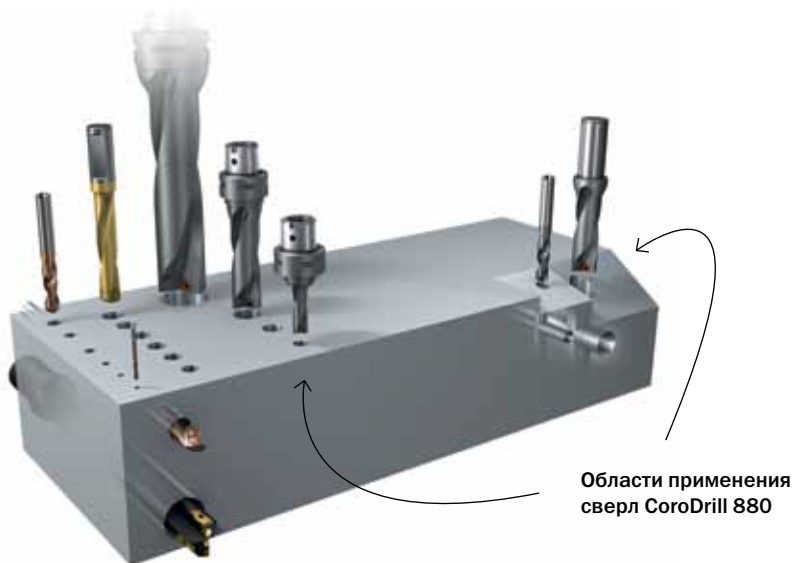
## Если необходимы пластины без покрытия

Используйте сплав H13A для пластин

обоих типов (размер 02-09)







Области применения  
сверл CoroDrill 880

#### Рекомендации по выбору режимов резания для сверл CoroDrill 880 – титановые сплавы

ISO S Титан	Геометрия -LM			Скорость подачи, мм/об (дюйм/об)		
	Диаметр сверла, мм (дюйм)	Размер пластины	Скорость резания, м/мин (фут/мин)	Глубина сверления 2-3 x Dc	Глубина сверления 4 x Dc	Глубина сверления 5 x Dc
GC4044	12.00 - 13.99 (0.472 - 0.550)	01	40 - 135 (131 - 442)	0.06 - 0.14 (0.002 - 0.005)	0,04 - 0.12 (0.001 - 0.004)	0.04 - 0.10 (0.001 - 0.003)
	14.00 - 16.49 (0.551 - 0.649)	02	40 - 135 (131 - 442)	0.06 - 0.14 (0.002 - 0.005)	0.06 - 0.12 (0.002 - 0.004)	0.06 - 0.09 (0.002 - 0.003)
	16.50 - 19.99 (0.649 - 0.787)	03	40 - 135 (131 - 442)	0.08 - 0.16 (0.003 - 0.006)	0.08 - 0.14 (0.003 - 0.005)	0.08 - 0.11 (0.003 - 0.004)
	20.00 - 23.99 (0.787 - 0.944)	04	40 - 135 (131 - 442)	0.08 - 0.16 (0.003 - 0.006)	0.08 - 0.14 (0.003 - 0.005)	0.08 - 0.11 (0.003 - 0.004)
H13A	24.00 - 29.99 (0.944 - 1.180)	05	40 - 135 (131 - 442)	0.12 - 0.18 (0.004 - 0.007)	0.10 - 0.16 (0.003 - 0.006)	0.12 - 0.12 (0.004 - 0.004)
	30.00 - 35.99 (1.181 - 1.416)	06	40 - 135 (131 - 442)	0.12 - 0.18 (0.004 - 0.007)	0.12 - 0.18 (0.004 - 0.007)	0.12 - 0.12 (0.004 - 0.004)
	36.00 - 43.99 (1.417 - 1.731)	07	40 - 135 (131 - 442)	0.12 - 0.18 (0.004 - 0.007)	0.12 - 0.18 (0.004 - 0.007)	0.12 - 0.12 (0.004 - 0.004)
	44.00 - 52.99 (1.732 - 2.086)	08	40 - 135 (131 - 442)	0.12 - 0.18 (0.004 - 0.007)	0.12 - 0.18 (0.004 - 0.007)	—
	53.00 - 63.50 (2.086 - 2.499)	09	40 - 135 (131 - 442)	0.14 - 0.20 (0.005 - 0.007)	0.14 - 0.20 (0.005 - 0.007)	—

## CoroDrill® 880 большого диаметра

### Кассетное исполнение

- Стандартные пластины для CoroDrill® 880
- Размер пластин: 06-09

### Одна центральная пластина

- Геометрия -LM и сплав GC1044 для обработки титана

### Три периферийные пластины

- Геометрия -LM и сплав H13A для обработки титана



### Режимы резания

(оптимизированы для горизонтального станка)

Рекомендуемые начальные значения (диаметр 80 мм)

$v_c = 45$  м/мин (147.6 фут/мин)

$f_n = 0.14$  мм/об (0.006 дюйм/об)

### Мощность

При сверлении отверстия  $\varnothing 80$  мм (3.15") в титане с

$v_c = 45$  м/мин (147.6 фут/мин),

$f_n = 0.14$  мм/об (0.006 дюйм/об),

приблизительная величина потребляемой мощности составит

4.6 кВт.

### Крутящий момент

При сверлении отверстия  $\varnothing 80$  мм (3.15") в титане с

$v_c = 45$  м/мин (147.6 фут/мин),

$f_n = 0.14$  мм/об (0.006 дюйм/об)

приблизительная величина требуемого крутящего момента

составит 240 Нм.

## CoroDrill® 805

- Сверло со сменными пластинами для глубоких отверстий
- Для надежной и производительной обработки глубоких отверстий на горизонтальных станках

Сверло оснащено такими же режущими и опорно-направляющими пластинами, как и сверло CoroDrill 800

Сплав первого выбора для обработки титана:

- Сплав GC1025 для режущих пластин
- Сплав PM1 (или H13A в качестве специального) для опорно-направляющих пластин

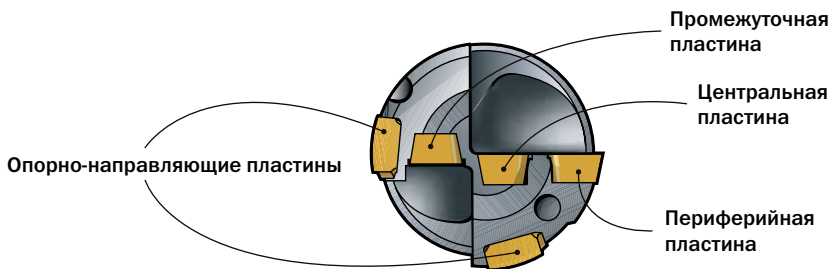


### Режимы резания

- Используйте такие же режимы резания, как для сверл CoroDrill® 800
- Необходимо снизить подачу до 75% от рекомендуемой для CoroDrill 800 из-за сокращенного пространства для эвакуации стружки (с учетом получения удовлетворительного процесса стружкообразования)

### СОЖ

- Водная эмульсия с присадками высокого давления (EP) и с концентрацией масла 10%
- Расход и давление СОЖ такие же, как для сверл со сменными пластинами для обработки коротких отверстий такого же диаметра



## CoroDrill 805 – отношение длина/диаметр

Диапазон диаметров 25.00-65.00 мм  
(0.984-2.559")

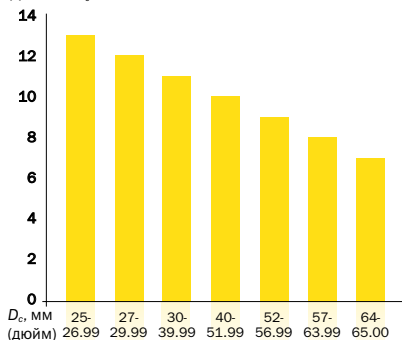
Глубина отверстия 13-7 × диаметр

Точность отверстия IT 10

Шероховатость Ra 2 мкм

### Отношение длина/диаметр

Длина × D<sub>c</sub>



### Рекомендации по выбору режимов резания для CoroDrill 805

Геометрия/сплав пластины			Опорно-направляющая пластина Сплав	Скорость резания м/мин (фут/мин)	Диаметр сверла, мм (дюйм)	
P	I	C			25.00 - 43.00 (0.984 - 1.692)	43.01 - 65.00 (1.693 - 2.559)
-G1025	-G1025	-G1025	PM1	30 - 60 (98 - 196)	0.07 - 0.23 (0.003 - 0.009)	0.15 - 0.25 (0.006 - 0.01)
P=периферийная, I=промежуточная, C=центральная					Подача, мм/об (дюйм/об)	

## Потребляемая мощность

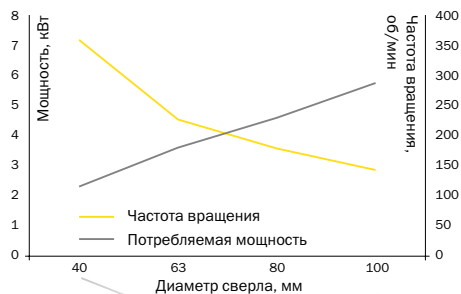
Рекомендации по потребляемой мощности при обработке титана (Ti-6Al-4V) действительны для неизношенного инструмента. При обработке инструментом с нормальной степенью износа требуется на 10-30% больше мощности, в зависимости от диаметра сверла.

Материал: Ti-6Al-4V, 330HB

Режимы резания:

$v_c = 45$  м/мин (148 фут/мин)

$f_n = 0.14$  мм/об (0.006 дюйм/об)



## Крутящий момент

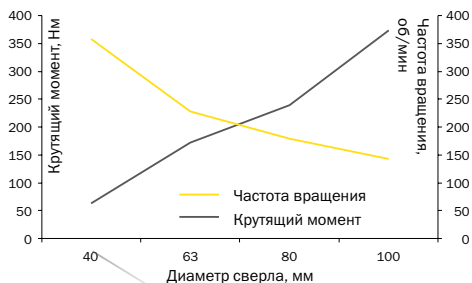
Приблизительная величина крутящего момента, требуемого для обработки титана.

Материал: Ti-6Al-4V, 330HB

Режимы резания:

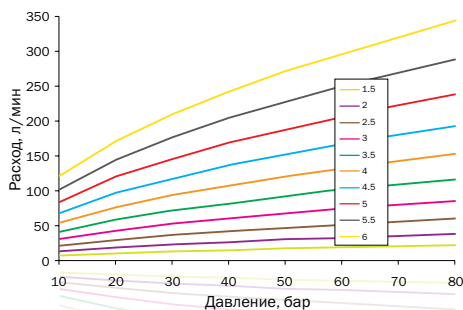
$v_c = 45$  м/мин (147.6 фут/мин),

$f_n = 0.14$  мм/об (0.006 дюйм/об)



## Требуемый расход СОЖ

Требования по расходу СОЖ в зависимости от диаметра отверстий (мм) для подачи СОЖ (через сверла с 2 отверстиями).



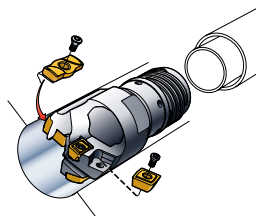
## Глубокое сверление

Регулируемые головки для сверления T-MAX одноштанговой системы (STS) являются предпочтительным инструментом для обработки глубоких отверстий на деталях из титана.

Это лучший выбор для обработки очень глубоких отверстий в материалах, которым свойственно плохое стружкодробление, включая титан.

### Регулируемые головки для сверления T-MAX

- Хорошая прямолинейность при сверлении отверстий большой глубины
- Возможность регулировки диаметра
- Возможность работы с высокой подачей
- Диапазон диаметров 65-130 мм (2.6-5.118") для стандартного ассортимента сверл
- С опорно-направляющими пластинами для повышения надежности процесса сверления



### CoroDrill® 800

Самый производительный выбор для обработки отверстий диаметром 25-65 мм (0.984-2.6"). Для отверстий глубиной до  $150 \times D_c$

- Уникальная конструкция опорно-направляющих пластин
- Низкая стоимость обработки отверстия
- Стабильность обработки в широком диапазоне применения
- Стандартная номенклатура



### CoroDrill® 805

См. сверла для обработки коротких отверстий.

## 5. Растачивание

Растачивание – это метод обработки отверстий, полученных на предварительных этапах, с целью увеличения их диаметра или достижения требуемого качества. Sandvik Coromant предлагает ряд расточных систем с широким диапазоном обрабатываемых диаметров для черногового и чистового растачивания, а также для развертывания.

Два основных вида растачивания:

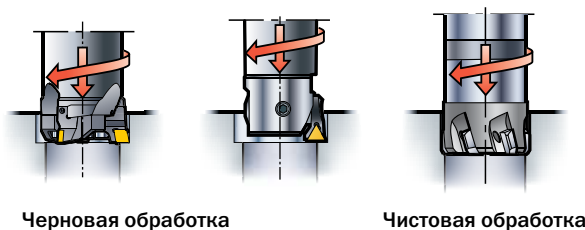
### Черновое растачивание

- Предназначено для увеличения диаметра предварительно обработанного отверстия перед его окончательной чистовой обработкой, характеризуется большим объемом снимаемого материала
- Точность отверстия IT9 и выше

### Чистовое растачивание

- Предназначено для повышения точности и качества поверхности отверстия
- Небольшая глубина резания < 0.5 мм (0.020")
- Точность отверстия IT6 - IT8

Требуемое качество отверстия определяет выбор типа операции и расточного инструмента.



# Основные положения

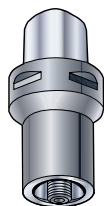
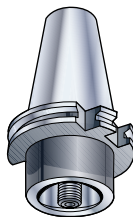
## Стружкообразование

Процесс формирования стружки – это одна из важнейших характеристик операции растачивания. Основной задачей является обеспечение беспрепятственной эвакуации стружки без повреждения инструмента и обработанной поверхности.

## Закрепление инструмента

На операции растачивания наиболее важным фактором является снижение и, по возможности, исключение вибраций. Инструмент должен обладать высокой изгибной прочностью и способностью передавать большой крутящий момент. При выборе расточного инструмента необходимо придерживаться следующих рекомендаций:

- Используйте адаптеры Coromant Capto® и патроны Hydro-Grip для повышения жесткости наладки и качества обработанного отверстия
- Выбирайте адаптер минимально возможной длины
- При работе с большим вылетом ( $>4 \times D$ ) используйте антивибрационные адаптеры Silent Tools®
- Для повышения жесткости и уменьшения отжатия инструмента, по возможности, используйте адаптеры конического исполнения
- При работе с большим вылетом убедитесь в достаточной жесткости закрепления наладки в шпинделе



## Инструментальная наладка

Как правило, инструментальная наладка для операции растачивания включает несколько составных элементов:

- Резцовые вставки/картриджи
- Корпус
- Переходники/удлинители
- Базовый держатель

## Режимы резания

- Основным фактором, влияющим на выбор режимов резания, является необходимость обеспечения стабильной эвакуации стружки и снижения вибраций
- Выбирайте режимы резания, исходя из рекомендаций для токарных пластин с данными геометрией и сплавом
- Снижайте скорость резания при работе с большим вылетом инструмента



## Обзор инструмента

### CoroBore® 825

- Основной выбор для чистовой обработки
- Высокая точность отверстий
- Первый выбор для обработки с низкой шероховатостью
- Возможность обратного растачивания
- Возможность регулировки диаметра с высокой точностью



Диапазон диаметров:	19-315 мм (0.748-12.402")
Диапазон диаметров (с демпфером):	19-315 мм (0.748-12.402")
Глубина растачивания:	до $4 \times D$
Глубина растачивания (с демпфером):	до $6 \times D_{5m}$
Точность регулировки	0.002 мм
Мах величина регулировки	15 мм (0.591")

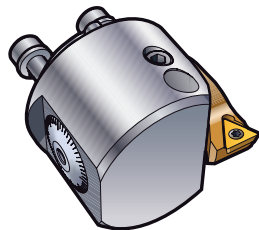
### Типовые области применения

Высокоточные отверстия среднего и большого диаметра в пределах 19-981.6 мм (0.748-38.646") с высоким качеством поверхности (при использовании стандартного исполнения и CoroBore XL)

- Традиционное и обратное растачивание
- Обработка глубоких отверстий и обработка с большим вылетом
- Наружная обработка
- Необходимо регулировать диаметр от меньшего к большему для исключения люфта в механизме настройки

## CoroBore® 826

- Головки подходят к корпусам CoroBore 825 с диапазоном растачиваемых диаметров 150-300 мм (5.905-11.811")
- Удобная регулировка диаметра для обработки отверстий высокой точности
- Один щелчок – приращение диаметра на величину дискретности
- Дискретность регулировки – 0.002 мм
- Пластины CoroTurn 107 с геометрией Wiper обеспечивают высокое качество и производительность обработки
- Шаг величина регулировки: 1 мм (0.039")
- Необходимо регулировать диаметр от меньшего к большему для исключения люфта в механизме настройки



## CoroBore® 820

- Первый выбор для черного растачивания
- Регулируемые ползуны позволяют обрабатывать широкий диапазон диаметров одним инструментом
- Производительное многолезвийное растачивание

Диапазон диаметров: 35-306 мм (1.378-12.047")

Глубина растачивания: до 4 × D

Точность отверстия: до IT9

### Типовые области применения

- Отверстия среднего и большого диаметра
- Максимальная производительность
- Растачивание тремя или одной режущей кромкой, ступенчатое растачивание
- Станки средней и высокой мощности



## Развертка 830

- Многолезвийная развертка для работы с высокой подачей
- Дополнение к сверлу CoroDrill 880 для получения точных отверстий с высокой подачей
- Сменная головка с высокоточным фронтальным креплением
- Подвод СОЖ к каждой режущей кромке для эффективной эвакуации стружки

### Типовые области применения

- Сквозные отверстия диаметром 10-31.75 мм (0.394-1.25") с высоким качеством поверхности
- Массовое производство
- Высокая подача

Глубина развертывания: 45-106 мм (1.772-4.173")



## CoroBore® XL

CoroBore XL – это комплексная система расточного инструмента для черновой и чистовой обработки отверстий большого диаметра с новыми корпусами и картриджами для обеспечения повышенной надежности:

- Высокая жесткость для надежной обработки отверстий большого диаметра
- Удобная сборка инструмента
- Новые картриджи с осевой регулировкой для черновой обработки

### Ассортимент

#### CoroBore® 825 XL

- Чистовое растачивание отверстий в диапазоне диаметров 298-1275 мм (11.73-50.20")

#### CoroBore® 826 XL

- Чистовое растачивание отверстий в диапазоне диаметров 298-1260 мм (11.73-49.61")

#### CoroBore® 820 XL

- Черновое растачивание отверстий в диапазоне диаметров 298-780 мм (11.73-30.71")
- Полуцистовое растачивание отверстий в диапазоне диаметров 298-1260 мм (11.73-49.61")



Начальное значение max скорости резания:

- Черновое растачивание: 200 м/мин (656.2 фут/мин)
- Чистовое растачивание: 240 м/мин (787.4 фут/мин)

Max глубина резания:

- 0.5 мм (0.020")

На чистовых операциях будьте внимательны при выводе инструмента из отверстия: картридж или головка не должны задевать обработанную поверхность, чтобы избежать ее повреждения.



## 6. Выбор инструментальной оснастки

### Модульная или цельная оснастка?

Модульная система оснастки Coromant Capto может использоваться на станках с любым типом шпиндельного узла (CAT, BT, ISO, HSK, Big Plus), позволяя собирать множество разнообразных инструментальных наладок. Это предполагает возможность использования одной инструментальной системы для всего оборудования на производстве. Таким образом, при выборе станка следует предусмотреть возможность применения единой инструментальной платформы.

Многие станки оснащены системой подвода СОЖ в стандартном исполнении с давлением в пределах 70-100 бар. Этого достаточно для реализации подачи СОЖ под высоким давлением, что существенно повышает эффективность и надежность резания и является необходимым условием при обработке титана.

Для подачи СОЖ под высоким давлением необходимо использовать модульную оснастку: это обеспечит быструю смену инструмента, сократит количество и время простоев станка, а также позволит подавать СОЖ непосредственно на режущую кромку.

Конус ISO

HSK



Для станков с шпинделем большого размера (с конусом ISO 50 и HSK100) часто требуются наладки с большим вылетом, поэтому наиболее экономически выгодным решением является модульная оснастка.

Для станков с шпинделем меньшего размера (с конусом ISO 40 и HSK63) обычно требуется обеспечить минимально возможный вылет инструмента, поэтому здесь целесообразно использовать цельную оснастку.

Рекомендуется подходить к сборке каждой наладки индивидуально и выбирать цельную или модульную оснастку в зависимости от требуемой длины. Возможность собирать практически неограниченное число наладок из стандартных элементов обеспечивает высокую гибкость производственного процесса.

Лучшим выбором среди фрезерного инструмента с интегрированным соединением Coromant Capto являются фрезы с увеличенной по отношению к диаметру хвостовика режущей частью. Это обеспечивает оптимальный зазор между инструментом и заготовкой, одновременно повышая жесткость наладки.

	Размер соединения	Диаметр реж. части
C3	32	35
C4	40	44
C5	50	54
C6	63	66
C8	80	84



### Оснастка для осевого инструмента

Изделия из титана для аэрокосмической промышленности часто обрабатываются с помощью цельного твердосплавного осевого инструмента, так как имеют большое количество сложнопрофильных элементов и углов с небольшим радиусом закругления.

Высокоскоростная обработка применяется на полуставных и чистовых операциях с большой глубиной резания ( $2x D_c$ ) и небольшой шириной фрезерования ( $5\% D_c$ ).

Выбор оптимальной скорости резания зависит от допустимой толщины срезаемого слоя.

Эффективность обработки в большой степени зависит от величины биения. Для обеспечения оптимальных усилий зажима инструмента и снижения биения рекомендуется использовать гидравлические патроны или патроны с термозажимом.

Патроны Weldon и цанговые патроны ER являются менее дорогостоящими альтернативами, но их использование снижает эффективность обработки.

При обработке титана, особенно деталей для аэрокосмической промышленности, цельным твердосплавным осевым инструментом необходимо обеспечить два важных параметра:

#### Возможность обработки труднодоступных участков

В связи со сложной геометрией деталей для их получения широко применяется пятикоординатное фрезерование. К типовым деталям с большим количеством труднодоступных элементов относятся корпусные детали с глубокими карманами и небольшими радиусами закругления в углах, блиски двигателей и импеллеры.

Небольшой радиус фрезы, большой вылет и оптимальная геометрическая проходимость сочетаются в конической фрезе со сферическим концом конусностью  $5^\circ$ . Альтернативой данной фрезе является специализированная модульная оснастка Coromant Carpo конического исполнения, включая патроны с термозажимом и интегрированные корпуса для сменных головок EN.

К преимуществам данной оснастки можно отнести существенное снижение затрат на инструмент и возможность использования стандартного инструмента.





## Надежное закрепление инструмента – фрезы семейства Plura с системой крепления iLock для термopатронов

Осевые нагрузки, возникающие при обработке титана цельными твердосплавными концевыми фрезами, могут достигать очень больших значений. Это связано с необходимостью использовать фрезы с большим углом подъема винтовой канавки, что в сочетании с большими глубиной резания и шириной фрезерования приводит к увеличению сил резания. В некоторых случаях чрезмерные нагрузки могут вырвать инструмент из патрона, даже если он обладает очень высоким усилием зажима.

При обработке дорогостоящих деталей для аэрокосмической промышленности внезапное разжатие инструмента может нанести существенный ущерб. В некоторых случаях обеспечение максимальной надежности процесса обработки является основой для высокой эффективности.

Часто во избежание раскрепления инструмента используют патроны Weldon, но большое биение этих патронов не позволяет обеспечить требуемого уровня эффективности обработки и приводит к увеличению затрат на обслуживание инструмента.



### Система крепления iLock

Система iLock обеспечивает высокую надежность и точность закрепления инструмента, что позволяет осуществлять тяжелую обработку с оптимальной эффективностью. Данная система крепления позволяет избежать вырывания инструмента из патрона даже при обработке в чрезвычайно тяжелых условиях.

Появляется возможность повысить глубину резания, сохранив прежнюю подачу. При этом сокращается время обработки, что повышает эффективность, а также в 2-3 раза увеличивает продолжительность использования инструмента.



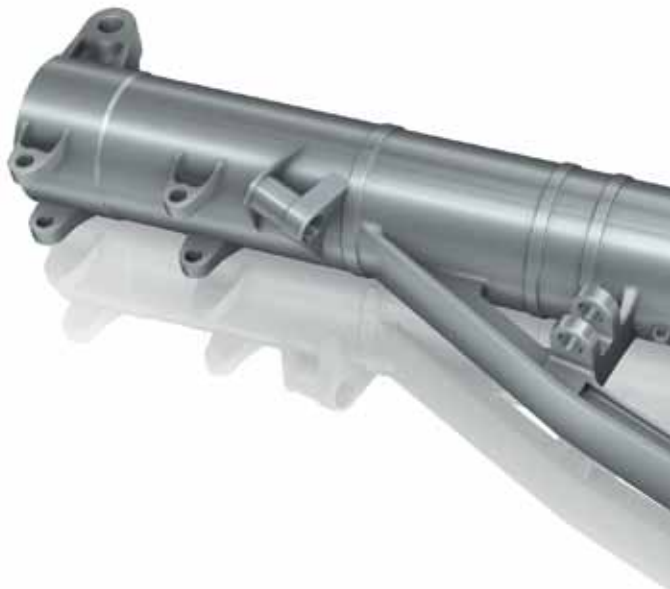
## 7. Обработка типовых деталей летательных аппаратов

### Шасси – основная опора

Постепенно развивается производство деталей шасси из титановых сплавов, таких как Ti-5553.

#### Основные задачи:

- Глубокое сверление
- Профильное фрезерование
- Внутреннее точение



#### Глубокое сверление

- T-MAX 424.10
- Жесткий допуск на диаметр
- Высокая чистота поверхности
- Диаметр: 65-130 мм (2.560-5.118")



### Профильное фрезерование

- CoroMill 216
- Контурное, профильное фрезерование
- Макс глубина резания: 44 мм (1.732")
- Пластины из сплава S30T, оптимизированного для обработки титана



### Внутреннее точение

- Расточные оправки Silent Tools
- Диаметр: до 250 мм (9.842")
- Вылет: до 14 × D



## Крыло – пилон крыла

Пилоны относятся к деталям крыла и могут быть с открытой или закрытой малкой.

### Основные задачи

- Черновая обработка закрытых карманов
- Чистовая обработка закрытых карманов
- Фрезерование глубоких пазов

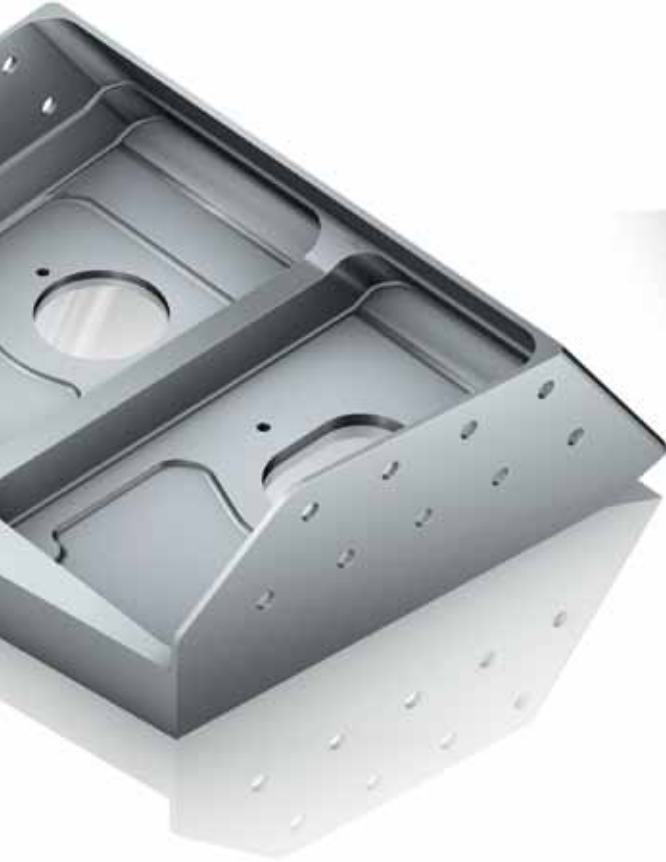
### Фрезерование пазов

- Трехсторонняя дисковая фреза обеспечивает высокую стабильность обработки
- CoroMill 331 с регулируемыми кассетами и пластинами из сплавов S30T и S40T для обработки титана



### Черновая обработка закрытых карманов

- Послойная обработка: фрезой CoroMill Plura со сферическим концом
- Плулжерное фрезерование: фрезой CoroMill 390



### Чистовая обработка закрытых карманов

- Конические фрезы со сферическим концом: для обеспечения высокого качества поверхности



## Двигатель – импеллер

Импеллер – деталь вспомогательной силовой установки (ВСУ).  
Обработка импеллера очень похожа на обработку блиска.



Операция

### Фрезерование методом точечного контакта – черновая обработка паза

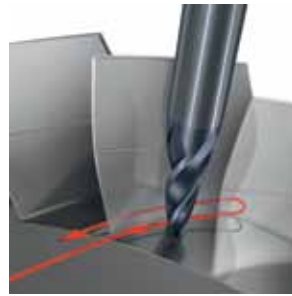
- Формирование профиля за счет последовательных проходов
- Инструмент контактирует с заготовкой в точке на радиусе при вершине
- Точка контакта меняется в зависимости от требуемого профиля

Выбор инструмента

### CoroMill® 316

- Глубина резания ограничена половиной диаметра фрезы
- Сменные головки со сферическим концом обеспечивают баланс производительности и экономичности





Операция

### **Фрезерование методом контакта по линии – чистовая обработка лопаток**

- За счет большей глубины резания при обработке профиля требуется меньшее число проходов
- В обработке радиуса галтели участвует только радиусная часть фрезы

Выбор инструмента

### **Коническая фреза со сферическим концом**

- Метод обработки с большой глубиной резания является наиболее эффективным, при условии использования соответствующих инструмента и программного обеспечения
- Данный инструмент разработан специально для этой операции и обеспечивает высокую геометрическую проходимость и стабильность обработки

## 8. Формулы и определения

### Точение – метрическая система

Скорость резания, м/мин

$$v_c = \frac{\pi \times D_m \times n}{1000}$$

Частота вращения шпинделя, об/мин

$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times D_m}$$



Время обработки, мин

$$T_c = \frac{l_m}{f_n \times n}$$

Скорость съема материала, см<sup>3</sup>/мин

$$Q = v_c \times a_p \times f_n$$

Потребляемая мощность, кВт

$$P_c = \frac{v_c \times a_p \times f_n \times k_c}{60 \times 10^3}$$

Обозначение	Параметр	Единицы измерения
$D_m$	Диаметр обработки	мм
$f_n$	Подача на оборот	мм/об
$a_p$	Глубина резания	мм
$v_c$	Скорость резания	м/мин
$n$	Частота вращения шпинделя	об/мин
$P_c$	Потребляемая мощность	кВт
$Q$	Скорость съема материала	см <sup>3</sup> /мин
$h_m$	Средняя толщина стружки	мм
$h_{ex}$	Максимальная толщина стружки	мм
$T_c$	Время обработки	мин
$l_m$	Длина обработки	мм
$k_c$	Удельная сила резания	Н/мм <sup>2</sup>
$\kappa_r$	Угол в плане	град. °



## Точение – дюймовая система

Скорость резания, ft/min

$$v_c = \frac{\pi \times D_m \times n}{12}$$

Частота вращения шпинделя,

rpm

$$n = \frac{v_c \times 12}{\pi \times D_m}$$



Время обработки, min

$$T_c = \frac{l_m}{f_n \times n}$$

Скорость съема материала,  
inch<sup>3</sup>/min

$$Q = v_c \times a_p \times f_n \times 12$$

Потребляемая мощность, HP

$$P_c = \frac{v_c \times a_p \times f_n \times k_c}{33 \times 10^3}$$

Обозначение Параметр		Единицы измерения
$D_m$	Диаметр обработки	inch
$f_n$	Подача на оборот	inch/rev
$a_p$	Глубина резания	inch
$v_c$	Скорость резания	ft/min
$n$	Частота вращения шпинделя	rpm
$P_c$	Потребляемая мощность	HP
$Q$	Скорость съема материала	inch <sup>3</sup> /min
$h_m$	Средняя толщина стружки	inch
$h_{ex}$	Максимальная толщина стружки	inch
$T_c$	Время обработки	min
$l_m$	Длина обработки	inch
$k_c$	Удельная сила резания	lbs/inch <sup>2</sup>
$\Psi_r$	Угол в плане	deg °

## Фрезерование – метрическая система

Скорость подачи, мм/мин

$$v_f = f_z \times n \times z_c$$

Скорость резания, м/мин

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

Частота вращения шпинделя, об/мин

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

Подача на зуб, мм

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

Подача на оборот, мм/об

$$f_n = \frac{v_f}{n}$$

Скорость съема материала, см<sup>3</sup>/мин

$$Q = \frac{a_p \times a_e \times v_f}{1000}$$

Потребляемая мощность, кВт

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

Крутящий момент, Нм

$$M_c = \frac{P_c \times 30 \times 10^3}{\pi \times n}$$



Обозначение	Параметр	Единицы измерения
$a_e$	Ширина фрезерования	мм
$a_p$	Глубина резания	мм
$D_{\text{сир}}$	Диаметр резания при фактической глубине резания $a_p$	мм
$D_m$	Обрабатываемый диаметр (диаметр детали)	мм
$f_z$	Подача на зуб	мм
$f_n$	Подача на оборот	мм/об
$n$	Частота вращения шпинделя	об/мин
$v_c$	Скорость резания	м/мин
$v_f$	Скорость подачи	мм/мин
$z_c$	Эффективное число зубьев	шт
$h_{\text{ex}}$	Максимальная толщина стружки	мм
$h_m$	Средняя толщина стружки	мм
$k_c$	Удельная сила резания	Н/мм <sup>2</sup>
$P_c$	Потребляемая мощность	кВт
$M_c$	Крутящий момент	Нм
$Q$	Скорость съема материала	см <sup>3</sup> /мин
$K_r$	Угол в плане	град, °

## Фрезерование – дюймовая система

Скорость подачи, inch/min

$$v_f = f_z \times n \times z_c$$

Скорость резания, ft/min

$$v_c = \frac{\pi \times D_{\text{cap}} \times n}{12}$$

Частота вращения шпинделя, rpm

$$n = \frac{v_c \times 12}{\pi \times D_{\text{cap}}}$$

Подача на зуб, inch

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

Подача на оборот, inch/rev

$$f_n = \frac{v_f}{n}$$

Скорость съема материала, inch<sup>3</sup>/min

$$Q = a_p \times a_e \times v_f$$

Потребляемая мощность, HP

$$P_c = \frac{a_e \times a_p \times v_f \times k_c}{396 \times 10^3}$$

Крутящий момент, lbf ft

$$M_c = \frac{P_c \times 16501}{\pi \times n}$$



Обозначение	Параметр	Единицы измерения
$a_e$	Ширина фрезерования	inch
$a_p$	Глубина резания	inch
$D_{\text{cap}}$	Диаметр резания при фактической глубине резания $a_p$	inch
$D_m$	Обрабатываемый диаметр (диаметр детали)	inch
$f_z$	Подача на зуб	inch
$f_n$	Подача на оборот	inch/rev
$n$	Частота вращения шпинделя	rpm
$v_c$	Скорость резания	ft/min
$v_f$	Скорость подачи	inch/min
$z_c$	Эффективное число зубьев	pcs
$h_{\text{ex}}$	Максимальная толщина стружки	inch
$h_m$	Средняя толщина стружки	inch
$k_c$	Удельная сила резания	lbs/inch <sup>2</sup>
$P_c$	Потребляемая мощность	HP
$M_c$	Крутящий момент	lbf ft
$Q$	Скорость съема материала	inch <sup>3</sup> /min
$\Psi_r$	Угол в плане	deg, °

## Сверление – метрическая система

Скорость подачи, мм/мин

$$v_f = f_n \times n$$

Скорость резания, м/мин

$$v_c = \frac{\pi \times D_c \times n}{1000}$$



Частота вращения шпинделя, об/мин

$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times D_c}$$

Усилие подачи, Н

$$F_f \approx 0.5 \times k_c \times \frac{D_c}{2} \times f_n \times \sin \kappa_r$$

Скорость съема материала, см<sup>3</sup>/мин

$$Q = \frac{v_c \times D_c \times f_n}{4}$$

Потребляемая мощность, кВт

$$P_c = \frac{v_c \times D_c \times f_n \times k_c}{240 \times 10^3}$$

Крутящий момент, Нм

$$M_c = \frac{P_c \times 30 \times 10^3}{\pi \times n}$$

Обозначение	Параметр	Единицы измерения
$D_c$	Диаметр сверления	мм
$f_n$	Подача на оборот	мм/об
$n$	Частота вращения шпинделя	об/мин
$v_c$	Скорость резания	м/мин
$v_f$	Скорость подачи	мм/мин
$F_f$	Усилие подачи	Н
$k_c$	Удельная сила резания	Н/мм <sup>2</sup>
$M_c$	Крутящий момент	Нм
$P_c$	Потребляемая мощность	кВт
$Q$	Скорость съема материала	см <sup>3</sup> /мин
$\kappa_r$	Угол в плане	град, °

## Сверление – дюймовая система

Скорость подачи, inch/min

$$v_f = f_n \times n$$

Скорость резания, ft/min

$$v_c = \frac{\pi \times D_c \times n}{12}$$

Частота вращения шпинделя, rpm

$$n = \frac{v_c \times 12}{\pi \times D_c}$$

Усилие подачи, lbs

$$F_f \approx 0.5 \times k_c \times \frac{D_c}{2} \times f_n \times \sin \kappa_r$$

Скорость съема материала, inch<sup>3</sup>/min

$$Q = v_c \times D_c \times f_n \times 3$$

Потребляемая мощность, HP

$$P_c = \frac{v_c \times D_c \times f_n \times k_c}{132 \times 10^3}$$

Крутящий момент, lbf ft

$$M_c = \frac{P_c \times 16501}{\pi \times n}$$



Обозначение	Параметр	Единицы измерения
$D_c$	Диаметр сверления	inch
$f_n$	Подача на оборот	inch/rev
$n$	Частота вращения шпинделя	rpm
$v_c$	Скорость резания	ft/min
$v_f$	Скорость подачи	inch/min
$F_f$	Усилие подачи	lbs
$k_c$	Удельная сила резания	lbs/inch <sup>2</sup>
$M_c$	Крутящий момент	lbf ft
$P_c$	Потребляемая мощность	HP
$Q$	Скорость съема материала	inch <sup>3</sup> /min
$\Psi_r$	Угол в плане	deg. °





## **Дополнительная информация**

Полезную информацию об инструменте и методах обработки можно найти в наших каталогах, технических руководствах и брошюрах, а также на сайте компании Sandvik Coromant. Посетите наш сайт и узнайте о последних новинках!

**[www.sandvik.coromant.com/ru](http://www.sandvik.coromant.com/ru)**

**[www.aero-knowledge.com](http://www.aero-knowledge.com)**

**Sandvik Coromant Россия/СНГ**  
127018, Москва  
ул. Полковая, 1, ООО "Сандвик"  
[www.sandvik.coromant.com/ru](http://www.sandvik.coromant.com/ru)  
[coromant.ru@sandvik.com](mailto:coromant.ru@sandvik.com)

C-2920:35 RUS/01 Бумага подлежит утилизации.  
Напечатано в Швеции, AB Sandvikens Tryckeri. © AB Sandvik Coromant 2011.12



Your success in focus