SANDVIK
Coromant



Учебное пособие

ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ



Учебное пособие «Технология обработки металлов резанием»

Это учебное пособие послужит основным источником информации для изучения программы Sandvik Coromant по основам металлорезания и справочником в повседневной работе.

Учитесь вместе с нами

Углубляйте и расширяйте ваши знания с помощью наших учебных программ. Мы предлагаем обучения различного уровня в наших Центрах по всему миру, что позволит вам объединить теорию с практикой, используя современное оборудование и станки.

Посетите sandvik.coromant.com, чтобы ознакомиться с графиком проведения семинаров и зарегистрироваться.



© AB Sandvik Coromant 2017.11
www.sandvik.coromant.com
Все права защищены.

Полное или частичное копирование материалов, размещение в информационно-поисковых системах, а также передача информации в любой форме запрещены без предварительного разрешения Sandvik Coromant.

Содержание

Точение

Теория A 4
Процедура выбора инструмента A 12
Обзор систем A 16
Выбор пластин A 22
Выбор инструмента
- Наружное точение A 49
- Внутреннее точение A 54
Система обозначения A 64
Решение проблем A 68

Отрезка и обработка канавок

Теория B 4
Процедура выбора инструмента B 7
Обзор систем B 11
Особенности применения B 16
- Отрезка B 22
- Общая обработка канавок B 26
- Канавки под стопорные кольца B 28
- Торцевые канавки B 29
- Профильная обработка B 32
- Точение B 34
- Обработка выборок B 36
Решение проблем B 37

Резьбонарезание

Теория C 4
Процедура выбора инструмента C 9
Обзор систем C 13
Особенности применения C 19
Решение проблем C 24
Нарезание резьбы метчиком C 28

Фрезерование

Теория D 4
Процедура выбора инструмента D 9
Обзор систем D 13
Выбор пластин и особенности применения D 24
Выбор инструмента и особенности применения D 29
Решение проблем D 36

Сверление

Теория E 4
Процедура выбора инструмента E 15
Обзор систем E 20
Особенности применения E 26
Качество и точность отверстий E 38
Решение проблем E 43

Растачивание

Теория F 4
Процедура выбора инструмента F 8
Обзор систем F 13
Выбор инструмента F 16
Особенности применения F 22
Решение проблем F 27

Инструментальная оснастка

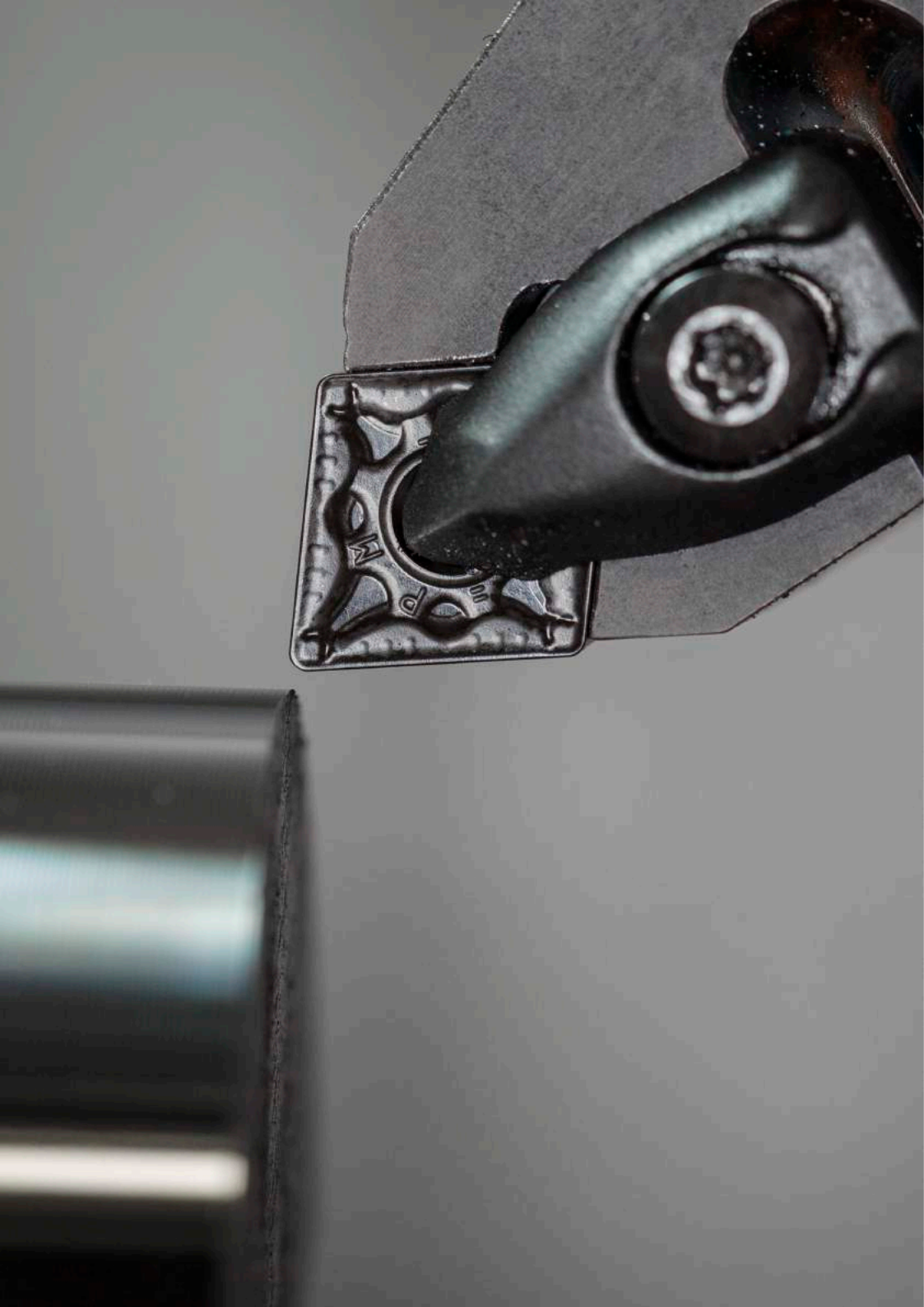
История и предпосылки G 4
Преимущества модульной оснастки G 8
Токарные центры G 16
Обрабатывающие центры G 25
Многоцелевые станки G 30
Патроны G 35

Обрабатываемость

Обрабатываемые материалы H 4
Производство твердосплавных пластин H 18
Режущая кромка H 29
Инструментальные материалы H 40
Износ и обслуживание инструмента H 52

Прочая информация

Экономика металлообработки H 63
ISO 13399 - промышленный стандарт H 78
Формулы и определения H 81
Онлайн-обучение H 92



Точение

Токарная обработка позволяет получать цилиндрические и фасонные поверхности с помощью однокромочного инструмента. В большинстве случаев инструмент имеет линейное перемещение, а заготовка вращается.

• Теория A 4

• Процедура выбора инструмента A 12

• Обзор систем A 16

• Выбор пластины A 22

• Выбор инструмента
- Наружное точение A 49
- Внутреннее точение A 54

• Система обозначения A 64

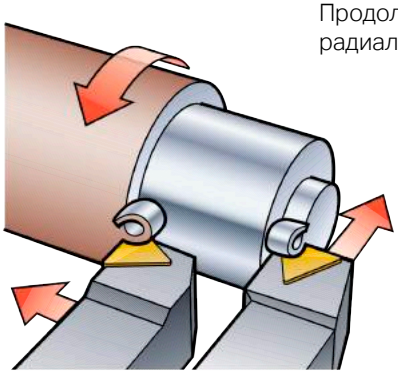
• Решение проблем A 68

Операции общего точения

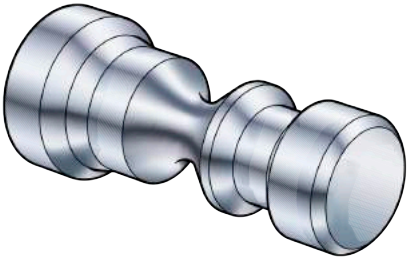
Точение представляет собой сочетание двух движений – вращения заготовки и линейного перемещения инструмента.

При подаче инструмента вдоль оси заготовки обеспечивается диаметральный размер детали. При подаче инструмента к оси заготовки обеспечивается линейный размер детали (подрезка торца).

Зачастую комбинируются подачи в двух этих направлениях, в результате чего образуются конические или профильные поверхности.



Продольное точение и обработка торца – осевое и радиальное перемещение резца.

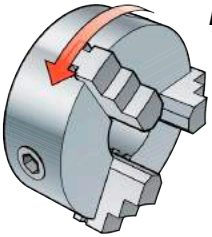


Три основные токарные операции:

- Продольное точение
- Подрезка торца
- Профильная обработка

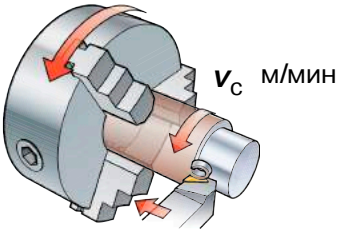
Термины и определения

Частота вращения шпинделя



Частота вращения шпинделя — это скорость вращения патрона и заготовки, измеряемая в оборотах в минуту (об/мин).

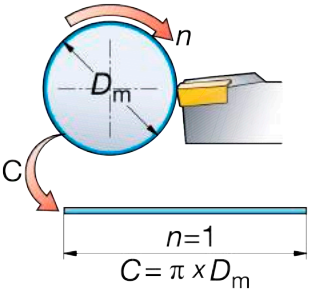
Скорость резания



Скорость резания — это скорость движения поверхности заготовки относительно режущей кромки, измеряемая в метрах в минуту (м/мин).

Расчёт скорости резания

Скорость резания (v_c) зависит от диаметра заготовки и частоты вращения шпинделя (n). Длина окружности (C) — это расстояние, проходимое режущей кромкой за один оборот заготовки.



v_c = скорость резания, м/мин
D_m = обрабатываемый диаметр, мм
n = частота вращения шпинделя, об/мин
Длина окружности C = π x D_m, мм
π (пи) = 3,14

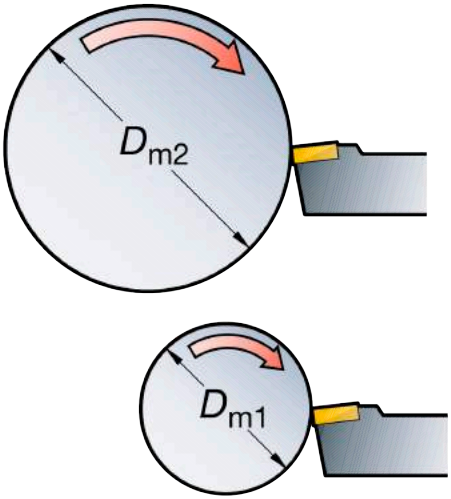
Метрическая система

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

Дюймовая система

$$v_c = \frac{\pi \times D_m \times n}{12} \text{ фут/мин}$$

Расчёт длины окружности (C)



- Длина окружности = π x диаметр
- π = 3,14

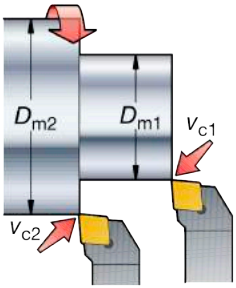
Пример:

D_{m2} = 100 мм
C = 3,14 x 100 = 314 мм

D_{m1} = 50 мм
C = 3,14 x 50 = 157 мм

Пример расчёта скорости резания

Скорость резания изменяется в зависимости от диаметра заготовки.



Дано:

частота вращения шпинделя,
n = 2000 об/мин

Диаметр, D_{m1} = 50 мм

Диаметр, D_{m2} = 80 мм

Метрическая система

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

$$v_{c1} = \frac{3.14 \times 50 \times 2000}{1000} = 314 \text{ м/мин}$$

$$v_{c2} = \frac{3.14 \times 80 \times 2000}{1000} = 502 \text{ м/мин}$$

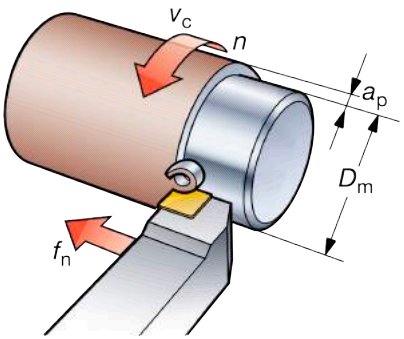
Дюймовая система

$$v_c = \frac{\pi \times D_m \times n}{12} \text{ фут/мин}$$

$$v_{c1} = \frac{3.14 \times 1.969 \times 2000}{12} = 1030 \text{ фут/мин}$$

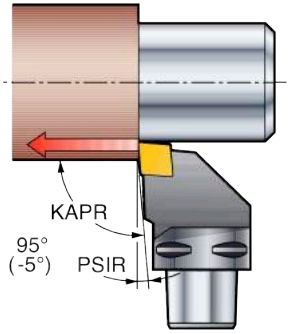
$$v_{c2} = \frac{3.14 \times 3.150 \times 2000}{12} = 1649 \text{ фут/мин}$$

Термины и определения



n	= частота вращения шпинделя, об/мин
v_c	= скорость резания, м/мин
f_n	= подача, мм/об
a_p	= глубина резания, мм
KAPR	= главный угол в плане

Главный угол в плане = 95°



Частота вращения шпинделя

Заготовка, закрепленная в шпинделе, вращается с определенной частотой вращения (n), которая измеряется числом оборотов в минуту (об/мин).

Скорость резания

Скорость резания (v_c) в м/мин — это скорость движения поверхности обрабатываемой заготовки относительно режущей кромки.

Подача

Подача (f_n) в мм/об — это расстояние, на которое инструмент перемещается за один оборот заготовки. Подача оказывает ключевое влияние на качество обработанной поверхности и на процесс формирования стружки в рамках геометрии инструмента. Величина подачи влияет не только на толщину стружки, но и на то, как стружка формируется в зависимости от геометрии пластины.

Глубина резания

Глубина резания (a_p) в мм — это половина разности обрабатываемого и обработанного диаметра заготовки. Глубина резания всегда измеряется в направлении, перпендикулярном направлению подачи инструмента.

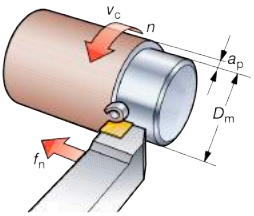
Главный угол в плане

Главный угол в плане (KAPR) — это угол между проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи. Он является важной величиной, определяющей выбор токарного инструмента для различных операций. В дюймовой системе используется угол PSIR.

Расчёт режимов резания

Скорость резания

Пример расчёта частоты вращения шпинделя (n) исходя из скорости резания (v_c).



Дано:

Скорость резания, v_c = 400 м/мин

Диаметр D_m = 100 мм

Метрическая система

$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times D_m} \text{ об/мин}$$

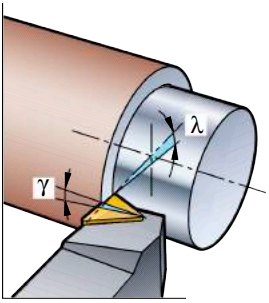
$$n = \frac{400 \times 1000}{3.14 \times 100} = 1274 \text{ об/мин}$$

Дюймовая система

$$n = \frac{v_c \times 12}{\pi \times D_m} \text{ об/мин}$$

$$n = \frac{1312 \times 12}{3.14 \times 3.937} = 1274 \text{ об/мин}$$

Передний угол и угол наклона режущей кромки



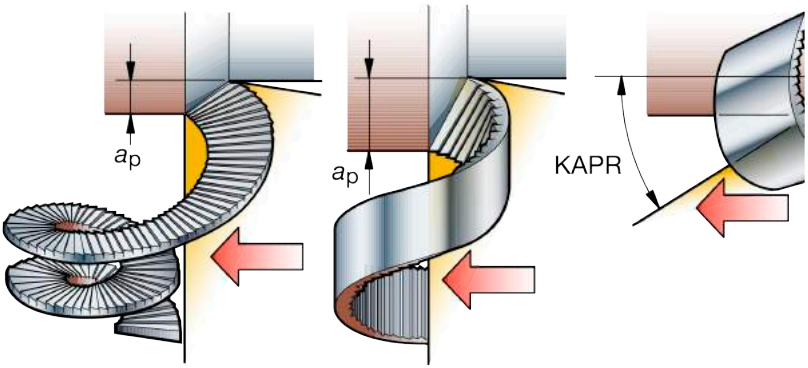
Передний угол

Передний угол, γ (GAMO) — это угол между основной плоскостью и передней поверхностью пластины. Передний угол пластины обычно положительный, а режущая кромка может иметь форму радиуса или фаски, что влияет на прочность инструмента, потребляемую мощность, качество обработанной поверхности, устойчивость к вибрациям и стружкообразование.

Угол наклона режущей кромки

Угол наклона, λ (LAMS) — угол установки режущей пластины в державке. Геометрия и наклон режущей пластины определяют итоговую величину углов резания инструмента.

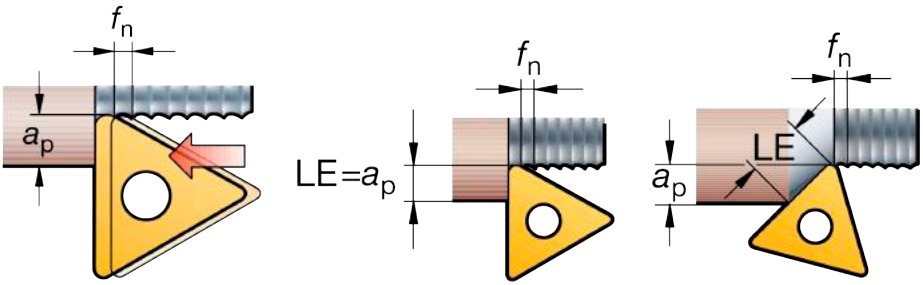
Глубина резания и формирование стружки



Глубина резания (a_p) — это величина припуска, снимаемого за один проход.

Стружкообразование зависит от глубины резания, главного угла в плане, подачи, обрабатываемого материала и геометрии режущей пластины.

Подача и эффективная длина режущей кромки



Подача

Подача (f_n) — это расстояние, на которое перемещается вдоль оси детали режущая кромка инструмента за один оборот заготовки.

Длина режущей кромки

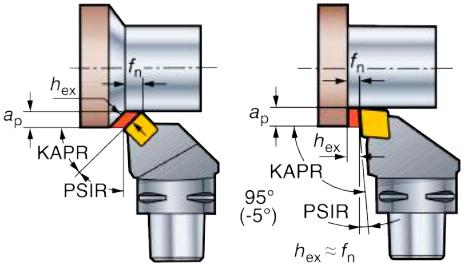
Эффективная длина режущей кромки (LE) зависит от глубины резания и главного угла в плане.

Влияние формы пластины и главного угла в плане на толщину стружки

Главный угол в плане (KAPR) инструмента и радиус при вершине (RE) пластины влияют на стружкообразование, так как в зависимости от их значений меняется сечение стружки.

При уменьшении главного угла в плане толщина стружки уменьшается, а её ширина увеличивается.

Кроме того, изменяется направление схода стружки.



KAPR = 45°
PSIR = 45°
$h_{ex} \approx f_n$ x 0.71

Главный угол в плане KAPR

- Определяется углом установки пластины в державке и выбранной формой пластины

Максимальная толщина стружки h_{ex}

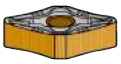
- Уменьшается относительно величины подачи при уменьшении главного угла в плане

Величина угла в плане в зависимости от формы пластины



CNMG

Главный угол в плане KAPR:
95°



DNMG

Главный угол в плане KAPR:
107,5°, 93°, 62,5°



WNMG

Главный угол в плане KAPR:
95°



SNMG

Главный угол в плане KAPR:
45°, 75°



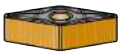
RCMT

Главный угол в плане KAPR:
Переменный



TNMG

Главный угол в плане KAPR:
93°, 91°, 60°



VNMG

Главный угол в плане KAPR:
117,5°, 107,5°, 72,5°

Влияние главного угла в плане на толщину стружки

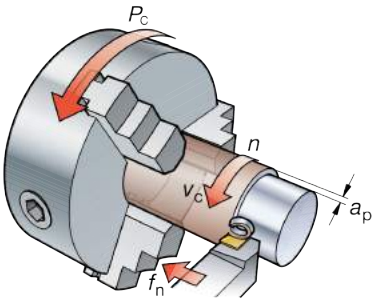
Максимальная толщина стружки h_{ex} уменьшается относительно величины подачи при уменьшении главного угла в плане.

Главный угол в плане KAPR	 95°	 75°	 60°	 45°	 90° min
Отношение толщины стружки к подаче	1	0.96	0.87	0.71	Переменная
Эффективная длина режущей кромки l_a, мм, при a_p=2 мм	2	2.08	2.3	2.82	Переменная

Расчёт потребляемой мощности

Потребляемая мощность (P_c) в кВт —это мощность, необходимая для осуществления процесса резания. Этот параметр особо важен при черновой обработке, когда для выполнения операции требуется обеспечить достаточную мощность станка. Также большое значение имеет коэффициент полезного действия станка.

Сведения о значении k_c смотрите на стр. H 16



n = частота вращения шпинделя, об/мин

v_c = скорость резания, м/мин

f_n = подача, мм/об

a_p = глубина резания, мм

k_c = удельная сила резания, Н/мм^2

P_c = потребляемая мощность, кВт

кВт = киловатты

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

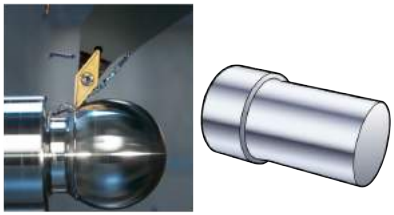
$$P_c = \frac{v_c \times a_p \times f_n \times k_c}{33 \times 10^3} \text{ л. с.}$$

Процедура выбора инструмента

Процесс планирования производства

1 Анализ детали

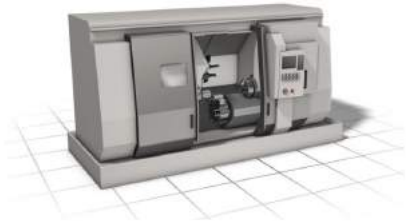
Размеры детали и тип операции



Материал заготовки и размер партии

2 Анализ оборудования

Параметры станка



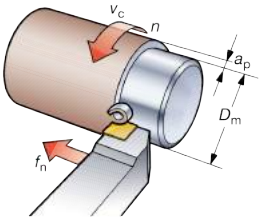
3 Выбор инструмента

Тип токарного инструмента:
- для наружной/внутренней обработки
- для продольной обработки
- для обработки торцов
- для профильной обработки



4 Способ применения

Режимы резания, стратегия обработки и т.п.



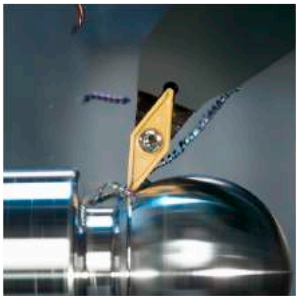
5 Решение проблем

Проблемы и их решение



1. Деталь и материал заготовки

Параметры, которые необходимо учитывать



Деталь

- Анализ требований к размерам и качеству обработанной поверхности
- Тип операции (продольная, торцевая и профильная обработка)
- Наружная, внутренняя обработка
- Черновая, получистовая или чистовая обработка
- Стратегия обработки
- Число проходов
- Допуски

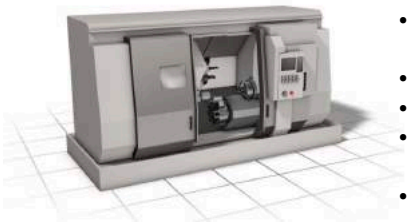
P	Сталь
M	Нержавеющая сталь
K	Чугун
N	Цветные металлы
S	Жаропрочные сплавы и титан
H	Сталь высокой твёрдости

Материал заготовки

- Обрабатываемость
- Состояние заготовки (отливка или предварительно обработанная)
- Стружкодробление
- Твёрдость
- Содержание легирующих элементов

2. Параметры станка

Состояние станка



Основные требования к станку:

- Стабильность, мощность и крутящий момент, особенно для обработки больших диаметров
- Закрепление заготовки
- Расположение инструмента
- Время смены инструмента/количество инструментов в револьверной головке
- Ограничения частоты вращения шпинделя (об/мин), подача прутка
- Наличие контршпинделя или заднего центра
- Возможность использовать люнеты
- Простота программирования
- Давление подачи СОЖ

3. Выбор инструмента

Общее применение – точение ромбическими пластинами



Преимущества
- Гибкость применения
- Большой угол в плане
- Для точения и подрезки торцов
- Достаточная прочность для черновой обработки

Недостатки
- Возможно возникновение вибрации при точении тонких, длинных деталей

Точение пластинами с геометрией Wiper



Преимущества
- Возможность работать с высокой подачей
- Повышение качества поверхности при обычной величине подачи
- Увеличение производительности

Недостатки
- Неэффективно при обратном и профильном точении

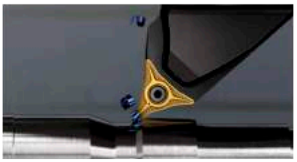
Уникальные решения Coromant для точения



Преимущества
- Повышенные режимы резания при профильной обработке
- Повышенная точность обработки



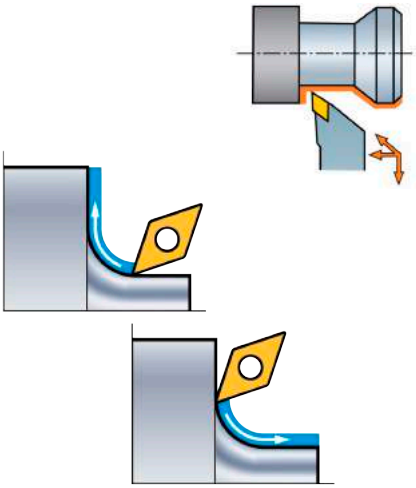
Преимущества
- Большое количество режущих кромок
- Контроль над стружкодроблением и прогнозируемая стойкость инструмента



Преимущества
- Точение во всех направлениях
- Эффективное и производительное точение

4. Способ применения

Параметры, которые необходимо учитывать



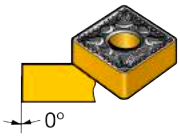
Траектория перемещения инструмента относительно заготовки — важный параметр процесса обработки.

Траектория влияет на:
- Стружкообразование
- Износ пластин
- Качество поверхности
- Стойкость инструмента

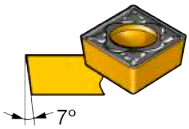
На практике, державка, геометрия и сплав пластины, материал заготовки и траектория перемещения инструмента значительно влияют на длительность цикла обработки и производительность.

5. Решение проблем

Параметры, которые необходимо учитывать



Пластина без задних углов



Пластина с задними углами

Тип пластины

- Используйте пластины с задними углами для снижения сил резания при наружной и внутренней токарной обработке

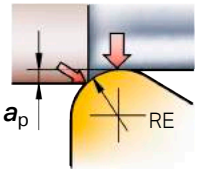


Стружкодробление

- Оптимизируйте стружкодробление путем изменения глубины резания, подачи или геометрии пластины

Радиус при вершине

- Глубина резания должна быть не меньше радиуса при вершине (RE)



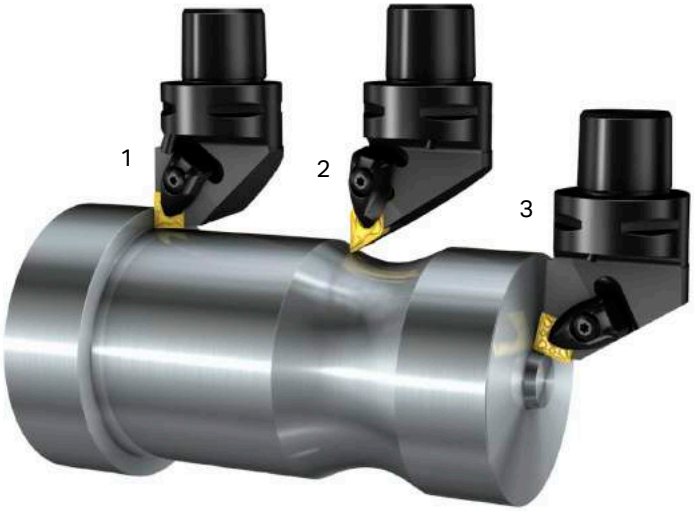


Износ пластины

- Убедитесь, что износ пластины по задней поверхности не превышает общей рекомендованной величины 0,5 мм

Наружное точение – пластины без задних углов

1. Продольное точение
2. Профильное точение
3. Подрезка торца



Обзор державок



- Режущая пластина без задних углов
- Прижим повышенной жёсткости
- Модульные/ призматические державки



- Режущая пластина без задних углов
- Прижим рычагом за отверстие
- Модульные/ призматические державки



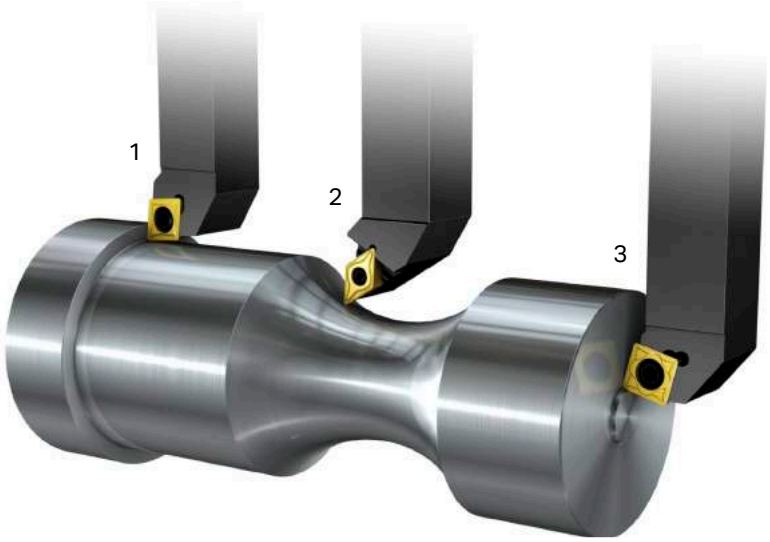
- Пластины без задних углов/с задними углами
- Все системы крепления
- Резцовые головки
- Модульные/ призматические державки



- Пластины без задних углов
- Прижим рычагом за отверстие
- Высокоточная подача СОЖ
- Модульные/ призматические державки

Наружное точение – пластины с задними углами

1. Продольное точение
2. Профильное точение
3. Подрезка торца



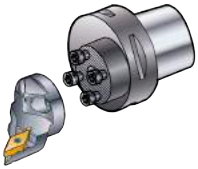
Обзор державок



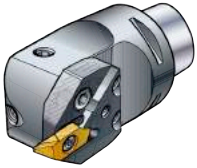
- Пластина с задними углами
- Закрепление винтом
- Модульные/ призматические державки
- Высокоточная подача СОЖ



- Пластина с задними углами
- Закрепление винтом
- Крепление iLock™
- Модульные/ призматические державки



- Пластина без задних углов/с задними углами
- Все системы крепления
- Резцовые головки
- Модульные/ призматические державки



- Пластина с задними углами
- Закрепление пластин винтом
- Модульные/ призматические державки

Внутреннее точение – пластины без задних углов/с задними углами



Пластины с задними углами



Пластины без задних углов

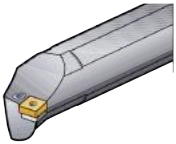
Обзор расточных оправок



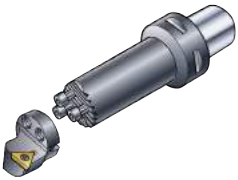
- Пластина без задних углов/с задними углами
- Антивибрационные расточные оправки
- Расточные оправки



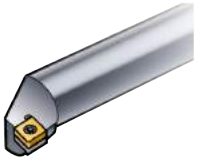
- Пластина без задних углов
- Прижим повышенной жёсткости
- Модульные/расточные оправки



- Пластина без задних углов
- Прижим рычагом за отверстие
- Модульные/расточные оправки



- Пластина без задних углов/с задними углами
- Все системы крепления
- Резцовые головки
- Антивибрационные модульные/расточные оправки
- Высокоточная подача СОЖ

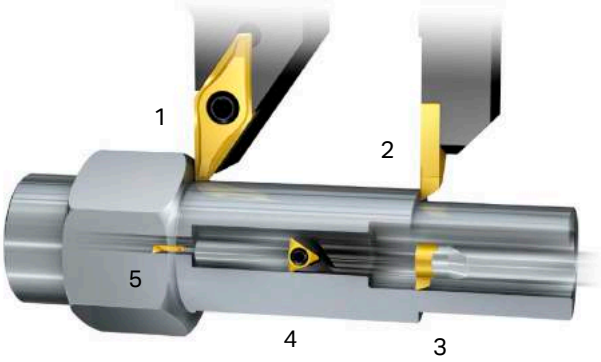


- Пластина с задними углами
- Закрепление пластин винтом
- Резцовые головки
- Модульные/расточные оправки
- Высокоточная подача СОЖ



- Антивибрационные расточные оправки
- Расточные оправки

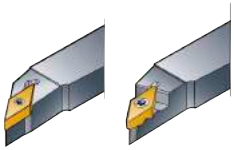
Инструмент для мелкоразмерной обработки



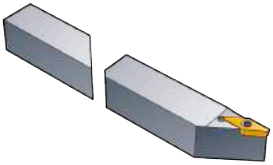
1. Наружное точение
2. Наружное точение (автоматы продольного точения)
3. Внутреннее точение (сменные пластины с торцевым креплением)
4. Внутреннее точение
5. Внутреннее точение (твердосплавные вставки)

Обзор державок

Инструмент для наружной обработки



- Пластина с задними углами
- Закрепление пластин винтом
- Призматические державки
- Высокоточная подача СОЖ



- Быстросменный инструмент
- Пластина с задними углами
- Закрепление пластин винтом

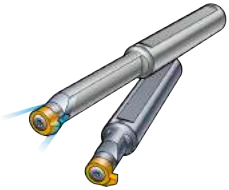


- Пластина с задними углами
- Закрепление пластин винтом

Инструмент для внутренней обработки



- Пластина с задними углами
- Закрепление пластин винтом
- Высокоточная подача СОЖ



- С задними углами
- Закрепление винтом

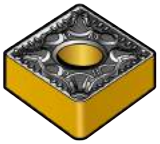


- С задними углами
- Твердосплавные вставки
- Адаптированные оправки

Обзор систем крепления пластин

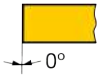
Закрепление пластин без задних углов





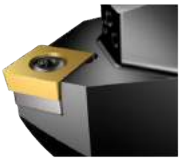


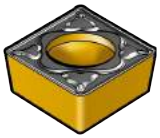
Прижим повышенной жёсткости



Прижим рычагом за отверстие

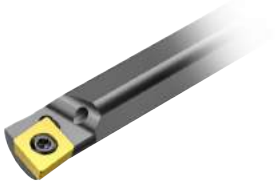
Закрепление пластин с задними углами

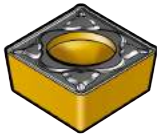




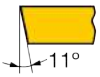
Закрепление пластин винтом





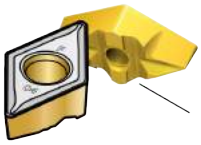


Закрепление пластин винтом

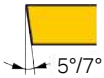


Закрепление пластин с задними углами, система iLock™



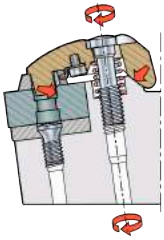


Закрепление пластин винтом



Современные системы закрепления пластин для токарного инструмента

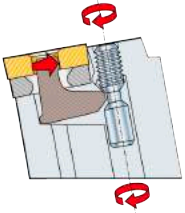
Прижим повышенной жёсткости



- Пластины без задних углов
- Превосходная жёсткость
- Простота замены пластин



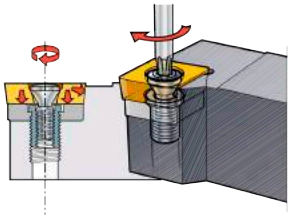
Прижим рычагом за отверстие



- Пластины без задних углов
- Свободный сход стружки
- Простота замены пластин



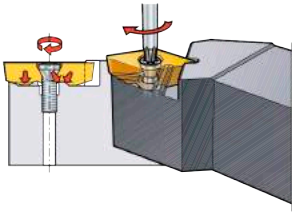
Закрепление пластин винтом



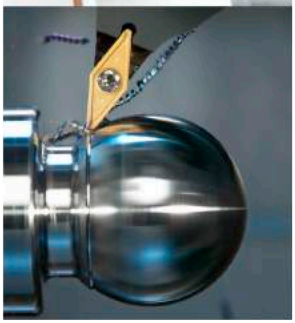
- Пластины с задними углами
- Надёжное закрепление пластин
- Свободный сход стружки

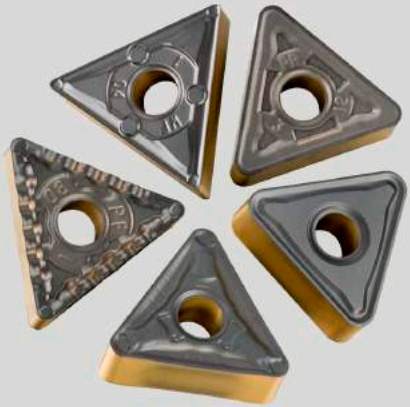


Закрепление пластин винтом, iLock™



- Пластины с задними углами
- Очень надёжное крепление
- Высокая точность



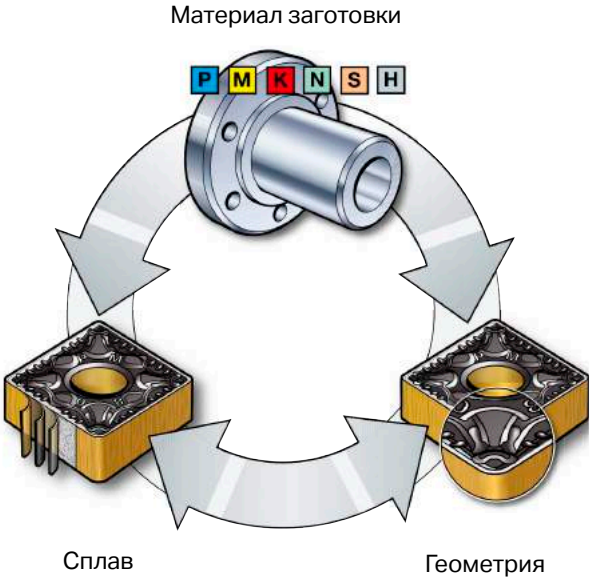


Выбор пластин

- Основные положения A 23
- Геометрии пластин A 31
- Сплавы пластин A 38
- Форма, размер, радиус при вершине A 41
- Влияние режимов резания на стойкость инструмента A 47

Комплексный подход в металлообработке

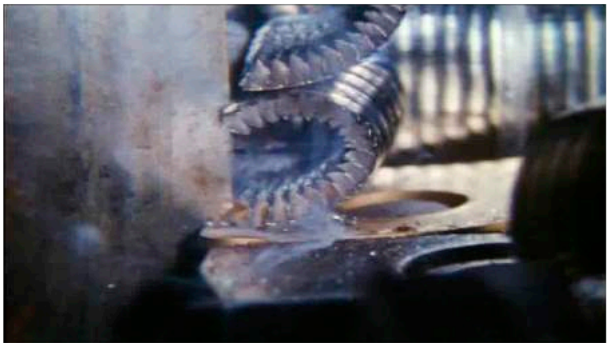
Правильный подход к процессу металлообработки означает понимание особенностей материала заготовки и рациональный выбор геометрии и сплава пластины с учётом конкретной области применения.



- Сочетание оптимизированной геометрии и сплава пластины для определенного обрабатываемого материала — это ключ к успешному процессу обработки
- Эти три основные составляющие должны быть тщательно проанализированы и адаптированы к каждой операции обработки
- Для успешного выполнения операций чрезвычайно важно знать и понимать, как эти факторы влияют на процесс резания

Процесс резания начинается с режущей кромки

Типичный процесс формирования стружки — съёмка высокоскоростной камерой



Шесть групп обрабатываемых материалов

В металлообрабатывающей отрасли встречается множество деталей разной конструкции, изготавливаемых из различных материалов. Каждый обрабатываемый материал имеет свои уникальные характеристики, которые зависят от легирующих элементов, термообработки, упрочнения и т.д. Всё это сильно влияет на выбор геометрии режущего инструмента, сплава и режимов резания.

Поэтому обрабатываемые материалы делятся на 6 основных групп согласно стандарту ISO, причем каждая группа характеризуется своим уровнем обрабатываемости.

Группы обрабатываемых материалов

P Сталь



- ISO P – Сталь. Наиболее широкая группа материалов в области металлообработки, включающая различные виды сталей — от нелегированных до высоколегированных, а также стальное литье, ферритные и мартенситные нержавеющие стали. Обрабатываемость этих сталей, как правило, хорошая, но сильно варьируется в зависимости от твёрдости материала, содержания углерода и пр.

M Нержавеющая сталь



- ISO M – Нержавеющая сталь. Это сплавы с содержанием хрома не менее 12%, а также с другими легирующими элементами, такими как никель и молибден. Эта обширная группа обрабатываемых материалов включает различные типы нержавеющих сталей — ферритные, мартенситные, аустенитные и аустенитно-ферритные (дуплекс). Общим для всех этих материалов является то, что в процессе резания в зоне обработки возникает высокая температура, что приводит к возникновению проточин и нароста на режущей кромке инструмента.

K Чугун



• ISO K – Чугун. В отличие от стали, при обработке даёт короткую стружку, так называемую стружку надлома. Серый чугун (GCI) и ковкие чугуны (MCI) обрабатываются довольно легко, в то время как чугун с шаровидным графитом (NCI), чугун с вермикулярным графитом (CGI) и отпущенный ковкий чугун (ADI) гораздо хуже поддаются обработке. Все чугуны содержат карбид кремния (SiC), который обладает высокими абразивными свойствами.

N Алюминий



• ISO N – Цветные металлы. Сюда включены более мягкие типы металлов, например, алюминий, медь, латунь и пр. Алюминий с 13% содержанием кремния (Si) – очень высокоабразивный материал. При использовании режущих пластин с острыми кромками можно применять высокие скорости резания с обеспечением высокой стойкости инструмента.

S Жаропрочные сплавы



• ISO S – Жаропрочные сплавы. Включают в себя множество высоколегированных материалов на основе железа, никеля, кобальта и титана. Они обладают повышенной вязкостью, вызывают наростообразование на режущей кромке, повышенное выделение тепла и склонны к наклепу, т.е. очень схожи с группой ISO M, но гораздо хуже поддаются обработке, и в результате стойкость режущих кромок снижается.

H Материалы высокой твёрдости



• ISO H – Материалы высокой твёрдости. В эту группу входят стали с твёрдостью 45-65 HRc и отбеленный чугун с твёрдостью 400-600 HB. Высокая твёрдость усложняет обработку всех представителей этой группы. При резании эти материалы выделяют много тепла и характеризуются очень сильным абразивным действием.

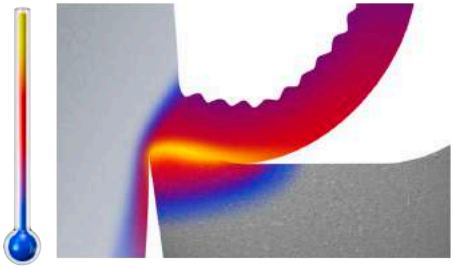
Силы резания

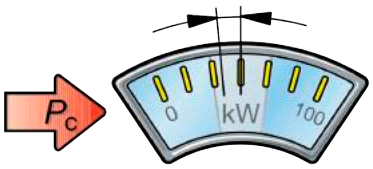
Другим фактором, в котором проявляется разница между шестью группами материалов, является сила резания (F_T), необходимая для удаления стружки заданного сечения в определенных условиях.

Для различных типов обрабатываемых материалов определяется значение удельной силы резания (k_c), которое используется при расчете мощности, необходимой для осуществления процесса обработки.

k_{c1} = удельная сила резания для стружки толщиной 1 мм.

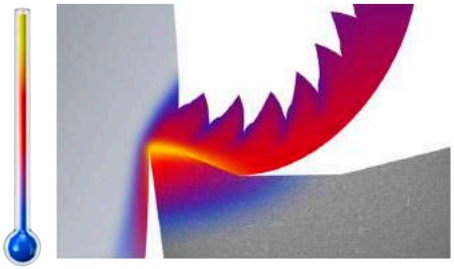
P Сталь

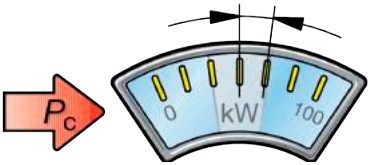




• Для материалов группы P диапазон k_{c1}: 1500-3100 Н/мм²

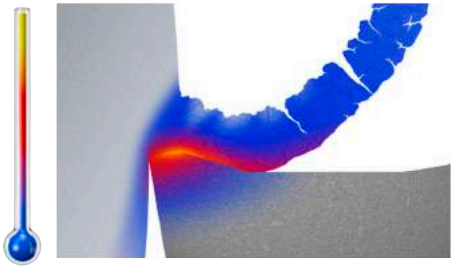
M Нержавеющая сталь

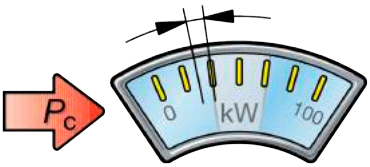




• Для материалов группы M диапазон k_{c1}: 1800-2850 Н/мм²

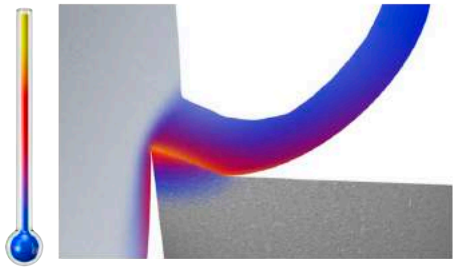
K Чугун

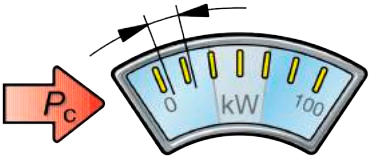




• Для материалов группы K диапазон k_{c1}: 790-1350 Н/мм²

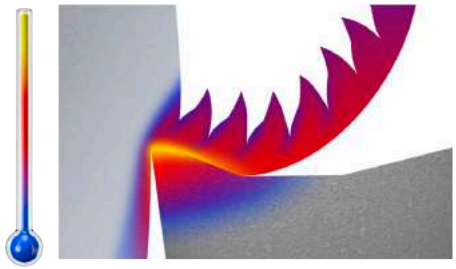
N Алюминий

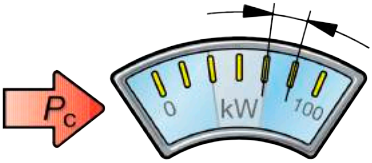




- Для материалов группы N диапазон k_{c1}: 350-1350 Н/мм²

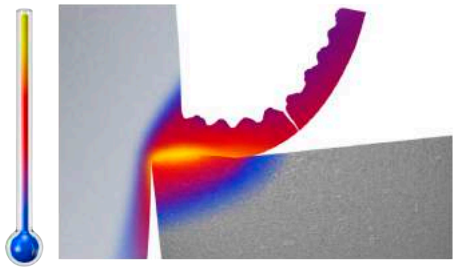
S Жаропрочные сплавы

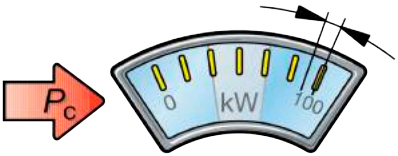




- Для материалов группы S диапазон k_{c1}: 2400-3100 Н/мм² для жаропрочных сплавов
  1300-1400 Н/мм² для титановых сплавов

H Материалы высокой твердости



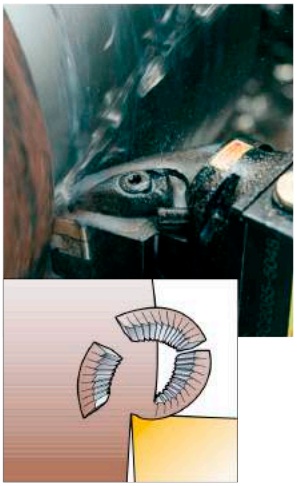


- Для материалов группы H диапазон k_{c1}: 2550 – 4870 Н/мм²

Формирование стружки

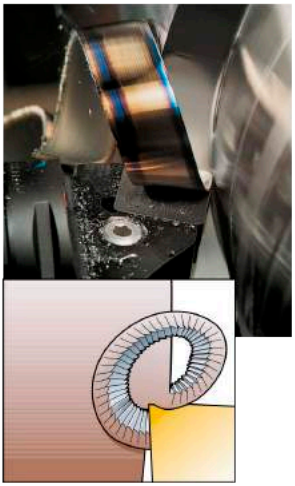
Существует три типа дробления стружки.

Самодробление



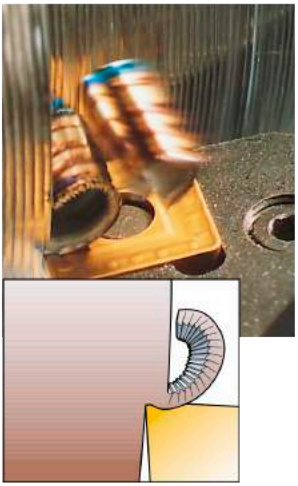
Самодробление происходит под действием внутренних напряжений. В процессе резания стружка изгибается и ломается.

Об инструмент



Стружка изгибается в сторону инструмента, соприкасается с задней поверхностью режущей пластины или державкой и ломается в результате возникающих напряжений. Этот метод, несмотря на частое применение, в определенных случаях может приводить к повреждению режущей пластины стружкой.

О заготовку

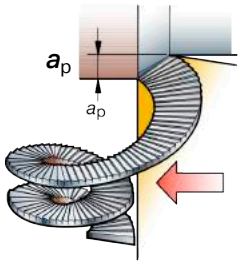


Стружка ломается о заготовку, в том числе при контакте с уже обработанной поверхностью. Этот тип стружкодробления обычно не применяется на операциях, требующих высокого качества обработанной поверхности, вследствие вероятного повреждения детали.

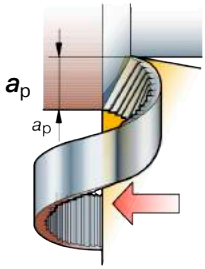
На формирование стружки влияют различные параметры

Стружкообразование зависит от глубины резания, подачи, материала заготовки и геометрии инструмента.

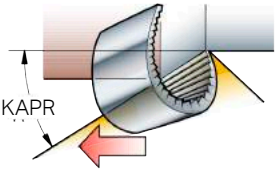
Самодробление



Об инструмент



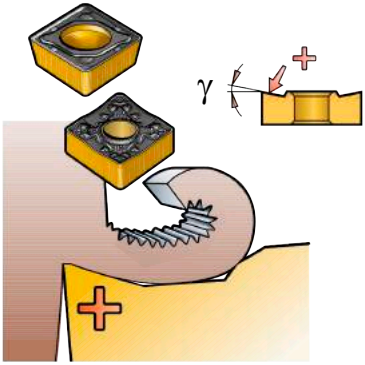
О заготовку



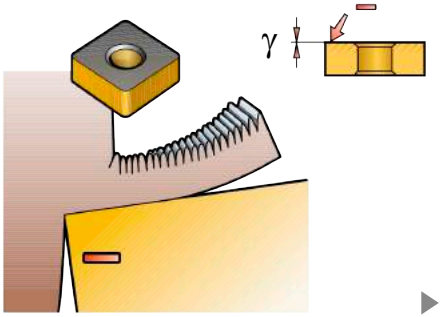
Передний угол пластины

Передний угол (γ, GAMO) — угол между передней поверхностью и основной плоскостью. Передний угол может быть как положительным, так и отрицательным. Это зависит от того, какая пластина используется: с задними углами или без задних углов. В случае отсутствия у пластины заднего угла, он обеспечивается наклоном пластины в державке, что, в свою очередь, определяет величину переднего угла при обработке.

Положительный передний угол



Отрицательный передний угол

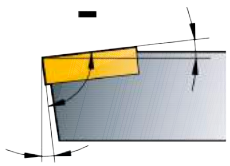


Передний угол пластины

Различия геометрий пластин с задними углами и без задних углов:
- Пластина без задних углов имеет угол заострения 90°
- Пластина с задними углами имеет угол заострения менее 90°

Пластина без задних углов должна быть наклонена в державке под отрицательным углом, чтобы обеспечить наличие заднего угла в процессе резания. Для пластин с задними углами этот вопрос решен конструктивно.

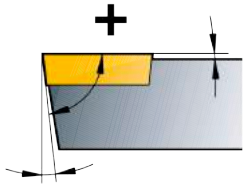
Пластины без задних углов



- Двусторонние/односторонние
- Прочная режущая кромка
- Нулевой задний угол
- Наружная/внутренняя обработка
- Тяжёлые условия обработки

Примечание: **Задний угол — угол между задней поверхностью пластины и плоскостью резания.**

Пластины с задними углами



- Односторонние
- Низкие силы резания
- Задний угол обеспечивается пластиной
- Внутренняя/наружная обработка
- Нежёсткие детали, малые диаметры

Геометрии пластин

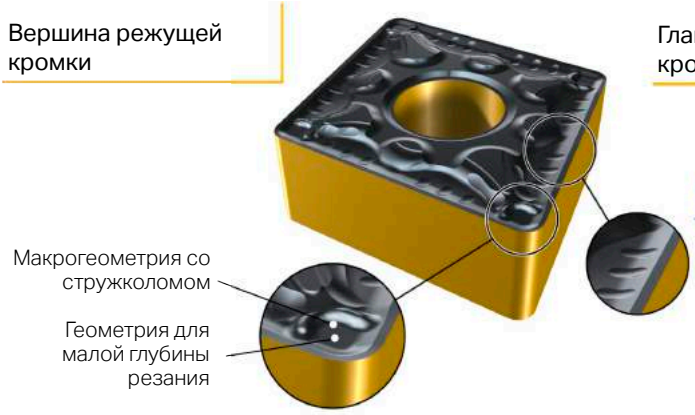
При обработке металлов большое внимание уделяется вопросу отвода стружки из зоны резания в необходимом направлении. Длина и форма стружки должны обеспечивать её легкую эвакуацию.

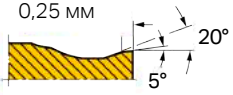


- При фрезеровании и сверлении на стружкообразование влияет значительно больше факторов, чем при точении
- Точение — это единственная операция, где резание осуществляется невращающимся инструментом, а вращается заготовка
- Передний угол режущей пластины, геометрия и подача играют важную роль в процессе стружкообразования
- Основное тепло, выделяющееся в процессе резания (80%), отводится со стружкой

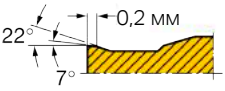
Конструкция современной режущей пластины

Назначение конструктивных элементов и виды геометрии



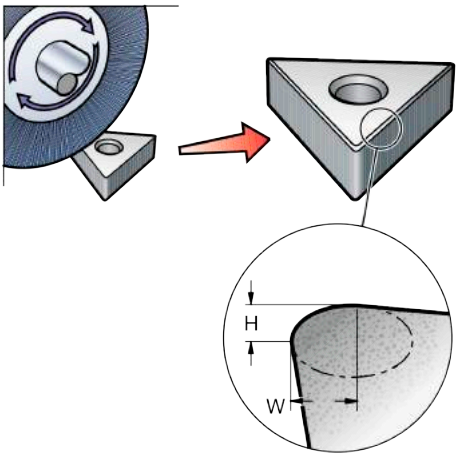


- Ширина фаски 0,25 мм
- Передний угол 20°
- Угол фаски 5°



Усиление режущей кромки

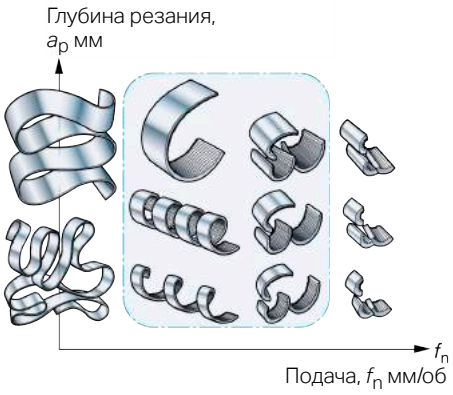
Формирование радиуса округления (ER) режущей кромки обеспечивает её окончательную микрогеометрию.



- Округление кромки ER выполняется перед нанесением покрытия и придаёт ей окончательную форму (микрогеометрия)
- Соотношение W/H определяет возможность использования пластины в различных областях применения

Область применения геометрий пластин

Диаграмма стружкодробления для конкретной геометрии пластины определяет область устойчивого стружкодробления в зависимости от подачи и глубины резания.



- Глубину резания (a_p) и подачу (f_n) необходимо выбирать в соответствии с областью устойчивого стружкодробления для заданной геометрии
- Стружка слишком большой толщины может привести к поломке режущей пластины
- Слишком длинная стружка может привести к нарушению процесса обработки и снижению качества обработанной поверхности

Три основные области применения пластин

R = Черновая обработка

M = Получистовая обработка

F = Чистовая обработка



Черновая обработка

- Максимальная скорость съема металла и/или обработка в тяжёлых условиях
- Сочетание большой глубины резания и подачи
- Большие силы резания

Получистовая обработка

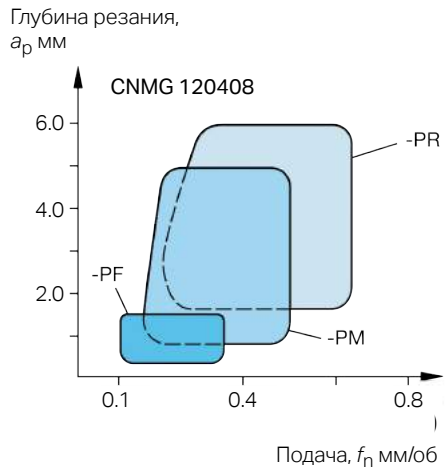
- Большинство операций общего назначения
- Операции получистовой и лёгкой черновой обработки
- Широкий диапазон сочетаний глубины резания и подачи

Чистовая обработка

- Малые глубины резания и подачи
- Низкие силы резания

Стружкодробление в зависимости от области применения

Точение низколегированных сталей



Черновая обработка – R
Сочетания больших глубин резания и подач. Операции, требующие высокой прочности кромки.

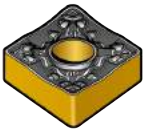
Получистовая обработка – M
Операции получистовой и лёгкой черновой обработки.
Широкий диапазон сочетаний глубины резания и подачи.

Чистовая обработка – F
Операции с небольшой глубиной резания и низкими подачами.
Обработка с низкими силами резания.

Диаграмма стружкодробления

Черновая обработка стали CMC 02.1

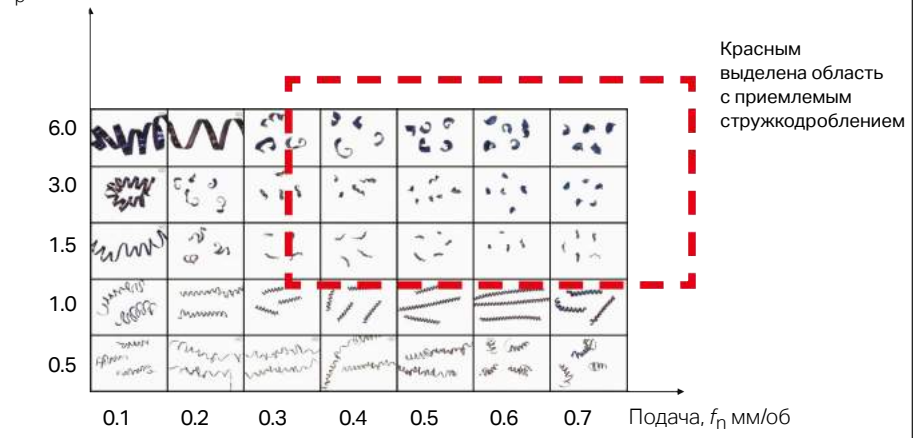
P R



CNMM 120412-PR

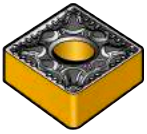
Область стружкодробления:

a_p = 5.0 (1.0 - 7.5) мм
f_n = 0.5 (0.25 - 0.7) мм/об



Получистовая обработка стали CMC 02.1

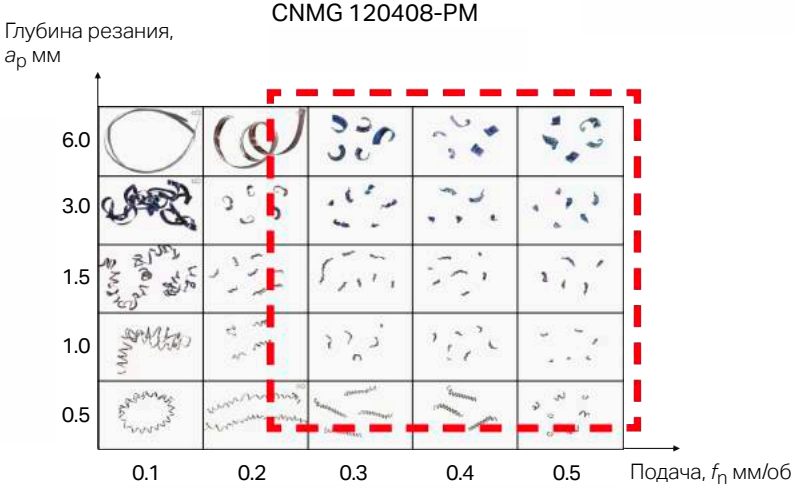
P M



CNMG 120408-PM

Область стружкодробления:

a_p = 3.0 (0.5 - 5.5) мм
f_n = 0.3 (0.15 - 0.5) мм/об



Чистовая обработка стали CMC 02.1

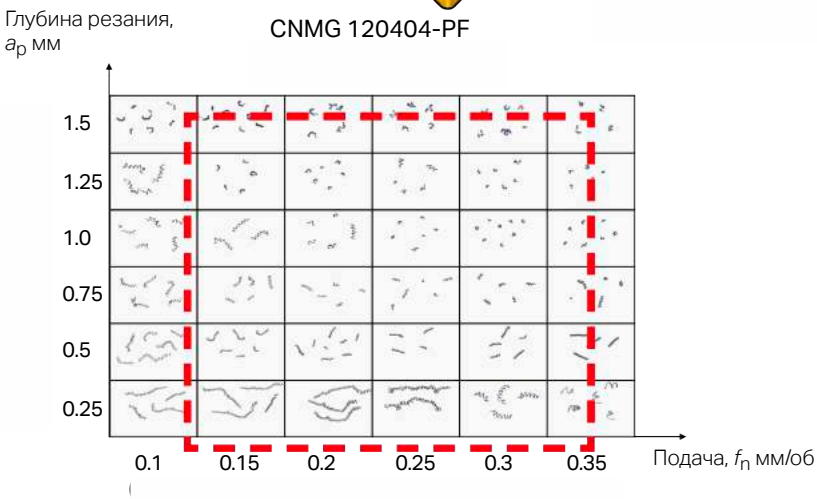
P F



CNMG 120404-PF

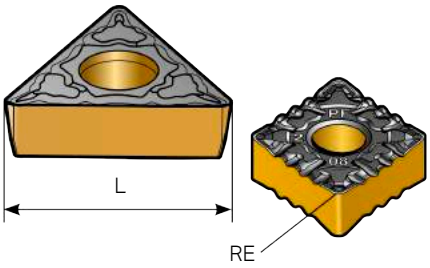
Область стружкодробления:

a_p = 0.4 (0.25 - 1.5) мм
f_n = 0.15 (0.07 - 0.3) мм/об



Выбор режущих пластин

Факторы, влияющие на выбор пластин



L = длина режущей кромки (размер пластины)
RE = радиус при вершине

Для обеспечения удовлетворительного дробления стружки важно правильно выбрать размер пластины, ее форму, геометрию и радиус при вершине.

- Выбирайте максимально возможный угол при вершине пластины для обеспечения прочности и экономии
- Выбирайте максимально возможный радиус при вершине пластины для обеспечения прочности режущей кромки
- Выбирайте меньший радиус при вершине для снижения вибрации

Пластины для обработки материалов групп ISO P, ISO M, ISO K и ISO S

Различные микро- и макрогеометрии адаптированы к различным областям применения.

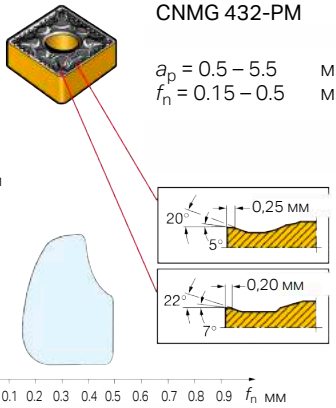
Обрабатываемый материал	Чистовая обработка	Получистовая обработка	Черновая обработка
P	17°, 4°, 0,07 мм	22°, 7°, 0,2 мм	22°, 3°, 0,32 мм
M	15°	22°, 12°, 0,29 мм	22°, 8°, 0,32 мм
K	6°, 15°, 0,1 мм	2°, 15°, 0,25 мм	0°
S	15°	25°, 15°	10°

Описание геометрий

Каждая режущая пластина имеет область устойчивого стружкодробления.

В каталогах доступны описание геометрий и информация по области применения.

Область устойчивого стружкодробления	Описание геометрии	Применение
-PM	CNMG 432-PM a_p = 0.5 – 5.5 мм f_n = 0.15 – 0.5 мм/об	**-PM – для получистового точения** различных видов сталей **Подача (f_n):** 0,1 – 0,65 мм/об **Глубина резания (a_p):** 0,4 – 8,6 мм **Операции:** продольное точение, обработка торцов и профильная обработка **Преимущества:** универсальность, надежность, обеспечение устойчивого стружкодробления **Детали:** оси, валы, ступицы, шестерни и т.п. **Ограничения:** большие глубины резания и подачи могут привести к поломке пластины **Общие рекомендации:** в сочетании с износостойким сплавом обеспечивают максимальную производительность **Возможная оптимизация:** геометрия WMX

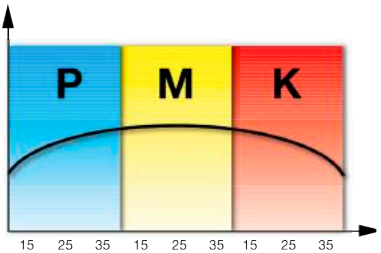


Универсальные и оптимизированные токарные пластины

Универсальные пластины

- Универсальная геометрия
- Оптимизация сплавами
- Компромисс производительности



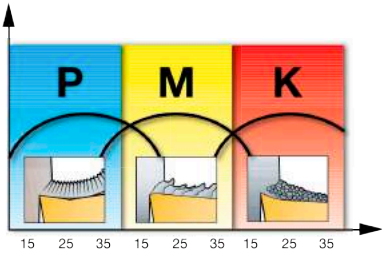


Область применения

Оптимизированные пластины

- Специализированные сплавы и геометрии
- Оптимизированная работоспособность в соответствии с материалом заготовки и обрабатываемостью





Область применения

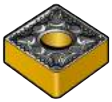
Пластины для общего точения

Выбор типа пластины

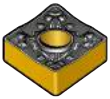
Без задних углов, двух-/односторонние пластины

- Пластина без задних углов имеет угол заострения 90°
- Доступны в двухстороннем/одностороннем исполнении, с отверстием или без

Плоские пластины



Двух-сторонняя



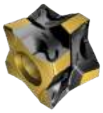
Одно-сторонняя



Без отверстия



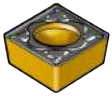
С отверстием



Много-кромочные, не ISO

С задними углами, односторонние пластины

- Пластина с задними углами имеет угол заострения менее 90°
- Доступно исполнение с задним углом 7° или 11°
- Пластины с креплением iLock™ имеют задний угол 5° или 7°



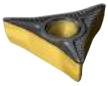
С задним углом 11°



С задним углом 7°



С задним углом, крепление iLock™



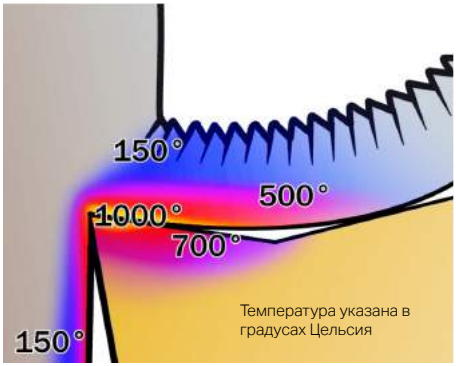
Не ISO, крепление iLock™



Не по стандарту ISO

Стружкообразование при высоких температурах и давлении

Выбор сплава имеет определяющее значение для успешной обработки



Идеальный материал режущего инструмента должен:

- быть устойчивым к износу по задней поверхности и деформации
- быть устойчивым к выкрашиванию
- быть химически инертным к материалу заготовки
- быть химически устойчивым к окислению и диффузии
- быть устойчивым к резким изменениям температуры

Основные группы инструментальных материалов

Большинство инструментальных материалов можно отнести к следующим группам:

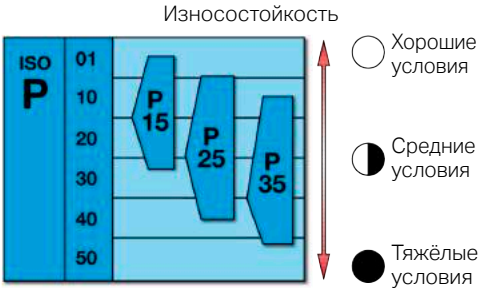
- Твёрдый сплав без покрытия (HW)
- Твёрдый сплав с покрытием (HC)
- Кермет (HT, HC)
  - HT Кермет без покрытия, содержит в основном карбиды (TiC) или нитриды (TiN) титана или и те, и другие вместе
  - HC Вышеописанный кермет, но с покрытием
- Керамика (CA, CM, CN, CC)
  - CA Оксидная керамика, состоящая преимущественно из оксида алюминия (Al_2O_3)
  - CM Смешанная керамика на основе оксида алюминия (Al_2O_3), но содержащая также другие элементы
  - CN Нитридная керамика, содержащая в основном нитриды кремния (Si_3N_4)
  - CC Вышеописанная керамика, но с покрытием
- Кубический нитрид бора (BN)
- Поликристаллический алмаз (DP, HC)
  - DP Поликристаллический алмаз
  - HC Поликристаллический алмаз с покрытием



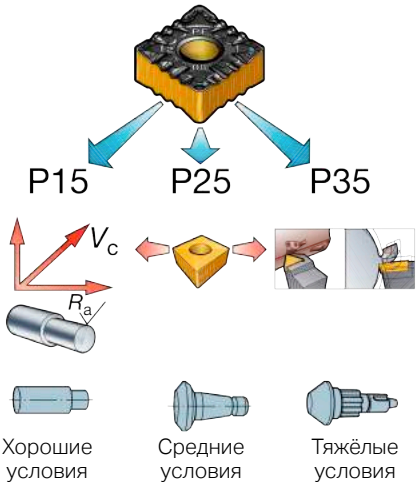
Выбор геометрии и сплава пластины

Выберите геометрию и сплав в соответствии с областью применения.

Область применения сплава



Условия обработки

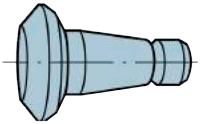


Условия обработки

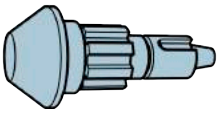
Хорошие условия
- Непрерывное резание
- Высокая скорость резания
- Предварительно обработанная заготовка
- Высокая жёсткость закрепления заготовки
- Небольшой вылет



Средние условия
- Профильная обработка
- Умеренные скорости резания
- Поковки и отливки
- Хорошая жёсткость закрепления заготовки



Тяжёлые условия
- Прерывистое резание
- Низкие скорости резания
- Литейная корка или окалина на заготовке
- Нежёсткое закрепление заготовки

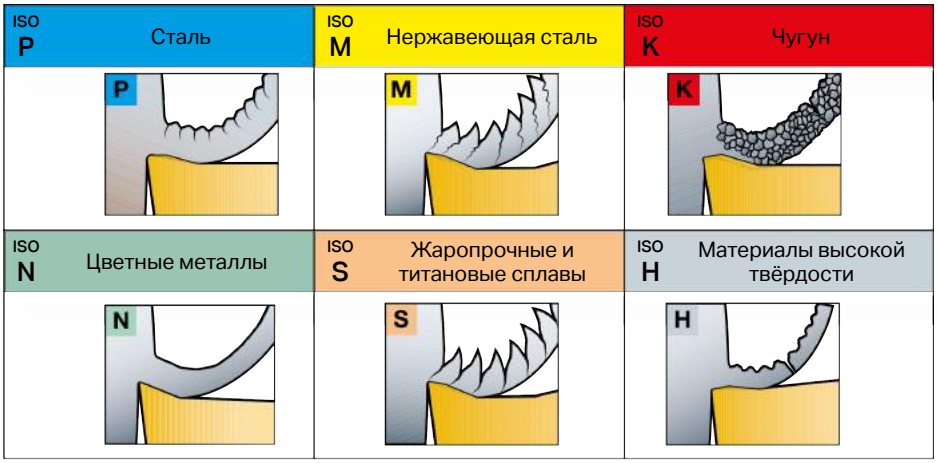


Специализированные сплавы для разных групп материалов

Специализированные сплавы сводят к минимуму износ инструмента

Материал заготовки по-разному влияет на износ в процессе резания. Поэтому разрабатываются специализированные сплавы с повышенной стойкостью к основным видам износа, например:

- Износ по задней поверхности, лункообразование и пластическая деформация
- Наростообразование и образование проточин



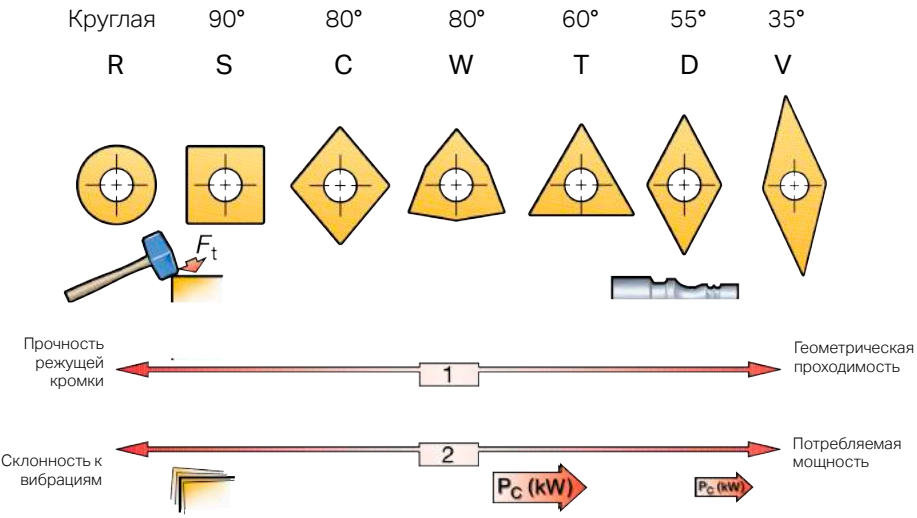
Выбор формы пластины

Влияние угла при вершине пластины

Форма пластины может меняться в широких пределах: от ромба с углом при вершине 35° до круглой.

Каждая форма пластины обладает уникальными свойствами:
- одни обеспечивают максимальную прочность при черновой обработке
- другие обеспечивают наилучшую геометрическую проходимость при профильной обработке

Каждая форма пластины также имеет уникальные ограничения.
К примеру:
- малый угол при вершине снижает прочность режущей кромки во время обработки



Большой угол при вершине

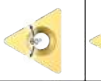
- Прочная режущая кромка
- Более высокие подачи
- Высокие силы резания
- Больше вероятность возникновения вибраций

Малый угол при вершине

- Менее прочная режущая кромка
- Повышенная геометрическая проходимость
- Низкие силы резания
- Меньше вероятность возникновения вибраций

Факторы, влияющие на выбор формы пластины

Выбор формы пластины определяется необходимой геометрической проходимостью инструмента. Для обеспечения прочности и надёжности режущей пластины следует выбирать максимально возможный угол при вершине.

Форма пластины							
Черновая обработка	++	++	++	+	+		
Легкая черновая/ получистовая обработка		+	++	+	++	++	
Чистовая обработка			+	+	++	++	++
Продольное точение			++	+	+	++	+
Профильная обработка	+				+	++	++
Подрезка торца	+	++	++	+	+	+	
Универсальность	+		++	+	+	++	+
Ограниченная мощность станка			+	+	++	++	++
Склонность к вибрациям				+	++	++	++
Материалы высокой твёрдости	++	++					
Прерывистое резание	++	++	+	+	+		

++ = предпочтительно + = возможно

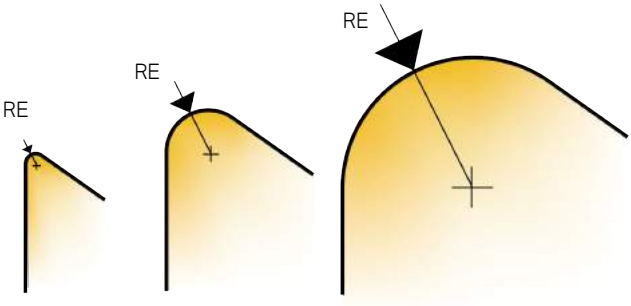
Количество режущих кромок

Форма пластины							
Обозначение по ISO	R	S	C	W	T	D	V
Количество кромок, пластины без задних углов	8*	8	4	6	6	4	4
Количество кромок, пластины с задними углами	4*	4	2	3	3	2	2

*В зависимости от a_p

Выбор радиуса при вершине

Влияние большого и малого радиуса при вершине



Малый радиус при вершине

- Идеален для небольшой глубины резания
- Снижение вибрации
- Низкая прочность режущей кромки

Большой радиус при вершине

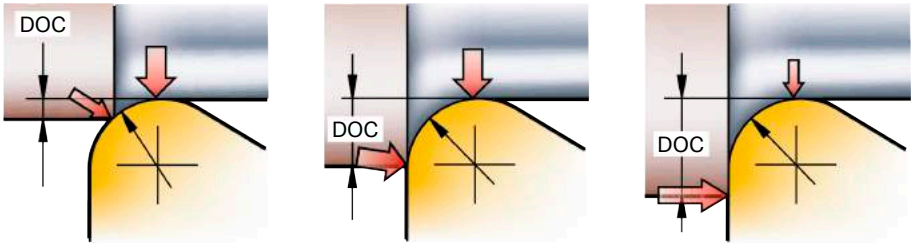
- Высокие подачи
- Большая глубина резания
- Высокая прочность режущей кромки
- Увеличенная радиальная составляющая силы резания

Основное правило

Глубина резания не должна быть меньше радиуса при вершине (RE)

Малый радиус при вершине должен быть первым выбором

При малом радиусе при вершине радиальная составляющая силы резания может сводиться к минимуму. Преимуществами использования большого радиуса при вершине являются более прочная режущая кромка, лучшее качество обработанной поверхности и более равномерное давление на режущую кромку.

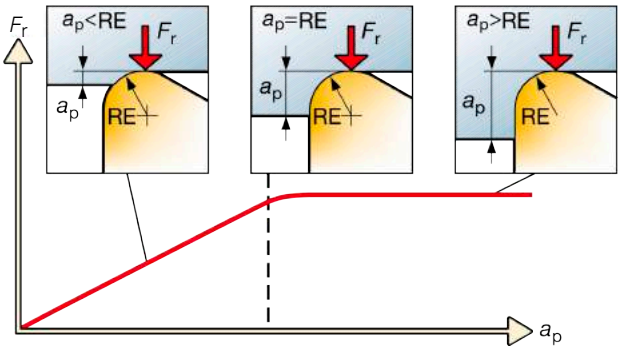


- Отношение радиуса при вершине к глубине резания (DOC) влияет на склонность к вибрациям. Рекомендуется выбирать радиус при вершине меньше, чем глубина резания.

Влияние радиуса при вершине и глубины резания

Радиальная сила, действующая на заготовку, линейно возрастает, пока радиус при вершине пластины превышает глубину резания. Далее она остаётся постоянной на уровне максимального значения.

При использовании круглой пластины радиальное давление никогда не будет стабилизировано, так как теоретический радиус при вершине равен половине диаметра пластины (IC).

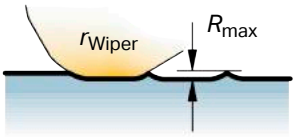


Точение пластинами Wiper с высокими подачами

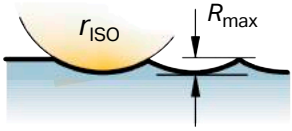
Wiper – общая информация



Пластина Wiper



Обычная пластина



Зачем использовать Wiper

- Для увеличения подачи и повышения производительности
- Для улучшения качества поверхности без снижения подачи

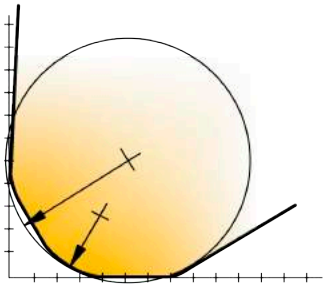
Когда использовать Wiper

- По возможности, используйте пластины Wiper в качестве первого выбора

Ограничения

- Основное ограничение — вибрация
- Поверхность может выглядеть грубой, но измерения показывают высокое качество поверхности

Wiper – технические особенности

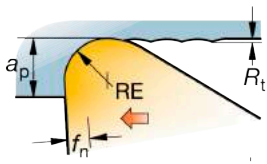


- Каждая режущая кромка Wiper имеет при вершине комбинацию из 3-9 радиусов
- Суммарная длина режущей кромки пластины Wiper больше, чем у обычной пластины
- Увеличенная длина режущей кромки повышает качество обработанной поверхности
- Большая длина контакта увеличивает силы резания, вследствие чего пластина Wiper более чувствительна к вибрации при обработке нежёстких деталей

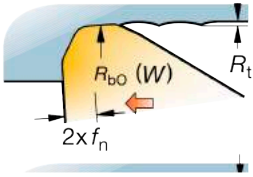


Радиус при вершине обычной пластины в сравнении с радиусом при вершине пластины Wiper

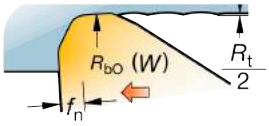
Wiper – качество обработанной поверхности



Обычная пластина



Пластина Wiper - удвоенная подача, то же значение R_a



Пластина Wiper - та же подача, значение R_a вдвое меньше

TECHNOLOGY Wiper

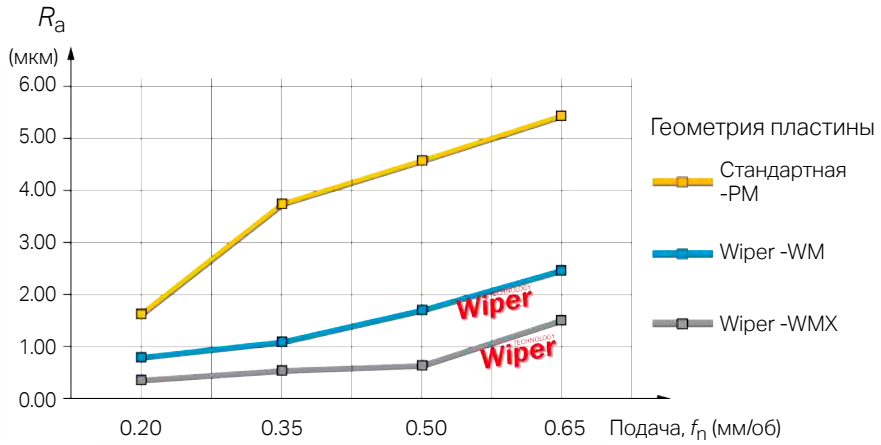
Основное правило

- Обработка пластиной Wiper с удвоенной подачей обеспечивает такое же качество поверхности, как и при обработке обычными пластинами с нормальной подачей
- Обработка пластиной Wiper с нормальной подачей обеспечивает вдвое лучшее качество поверхности по сравнению с обработкой обычными пластинами

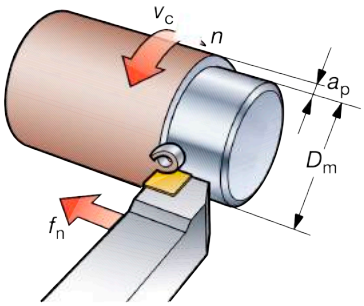
R_t = Максимальное значение высоты профиля

R_a = Средняя арифметическая высота профиля

Качество поверхности: обычные пластины и пластины Wiper



Параметры режимов резания влияют на стойкость инструмента



Используйте потенциал:

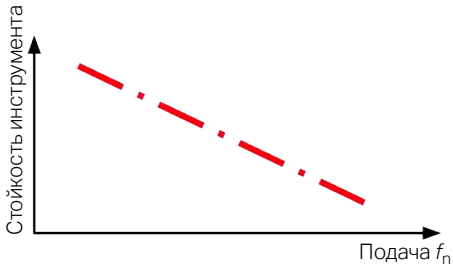
- a_p – для уменьшения числа проходов
- f_n – для сокращения времени резания
- v_c – для оптимизации стойкости инструмента



Скорость резания

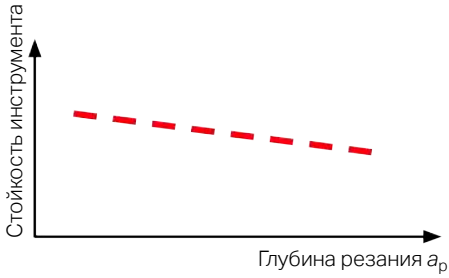
v_c – сильное влияние на стойкость инструмента

Корректируйте v_c для повышения экономичности обработки



Подача

f_n – среднее влияние на стойкость инструмента

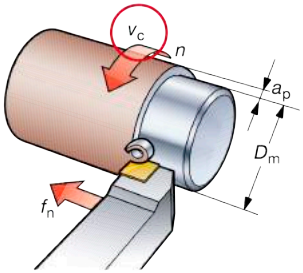


Глубина резания

a_p – минимальное влияние на стойкость инструмента

Влияние скорости резания на стойкость

Основной фактор, определяющий стойкость инструмента



Слишком высокая скорость резания

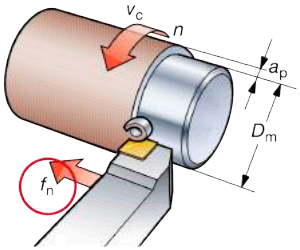
- Интенсивный износ по задней поверхности
- Низкое качество обработанной поверхности
- Быстрое лункообразование
- Пластическая деформация

Слишком низкая скорость резания

- Наростообразование
- Низкая эффективность обработки

Влияние подачи на стойкость

Основной фактор, определяющий производительность



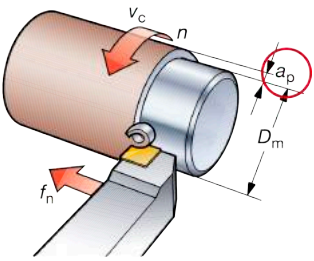
Слишком высокая подача

- Потеря контроля над стружкообразованием
- Неудовлетворительное качество обработанной поверхности
- Лункообразование, пластическая деформация
- Высокая потребляемая мощность
- "Приваривание" стружки
- Повреждение кромок стружкой

Слишком низкая подача

- Сливная стружка
- Низкая эффективность обработки

Влияние глубины резания на стойкость



Слишком большая глубина резания

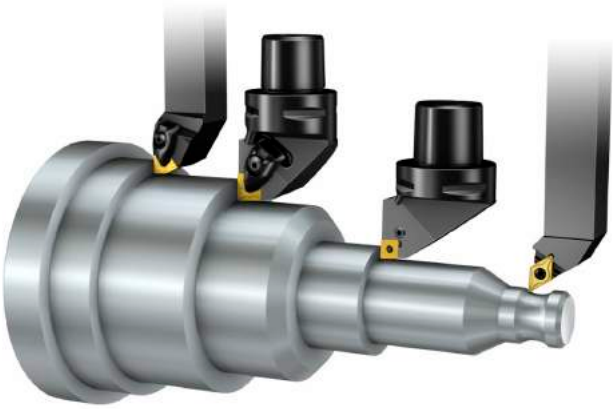
- Высокая потребляемая мощность
- Поломка режущей пластины
- Повышенные силы резания

Слишком маленькая глубина резания

- Потеря контроля над стружкообразованием
- Вибрации
- Чрезмерный нагрев
- Низкая эффективность обработки

Наружное точение

Выбор инструмента и особенности применения

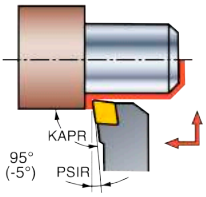


Основные рекомендации

- Надёжное закрепление пластины и державки — основа стабильности токарной обработки
- Тип державок определяется главным углом в плане, а также формой и размером используемой пластины
- Выбор инструмента основан, прежде всего, на типе операции
- Другой важный аспект — выбор между пластинами без задних углов и пластинами с задними углами
- По возможности используйте модульный инструмент

Четыре основных области применения

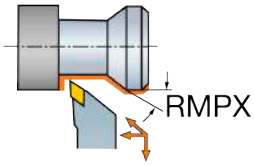
Продольное точение/подрезка торца



Наиболее распространенные операции точения

- Часто используется пластина формы C (ромб 80°)
- Обычно используются державки с углами в плане 95° и 93°
- Альтернативные пластины – формы D (55°), W (80°) и T (60°)

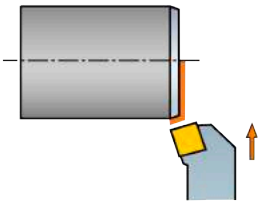
Профильное точение



Определяющие факторы — универсальность и геометрическая проходимость

- Для обеспечения удовлетворительной обработки необходимо учитывать эффективный угол в плане (KAPR)
- Наиболее часто используется главный угол в плане 93°, так как он позволяет обеспечить угол врезания 22°-27°
- Наиболее часто используются пластины формы D (55°) и V (35°)

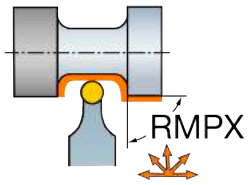
Подрезка торца



Инструмент подается по направлению к оси заготовки

- Учитывайте скорость резания, которая постепенно меняется по мере приближения к оси заготовки
- Обычно используются главные углы в плане 75° и 95/91°
- Наиболее часто используются пластины формы C (80°) и S (90°)

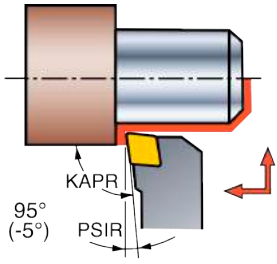
Обработка карманов



Метод получения или расширения мелких канавок

- Круглые пластины очень хорошо подходят для трохоидального точения, так как могут работать как с радиальной, так и с осевой подачей
- Для круглых пластин обычно используются нейтральные державки 90°

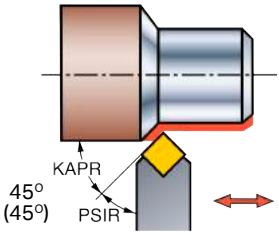
Большой угол в плане



Особенности/преимущества

- Направление сил резания вдоль оси вращения заготовки
- Возможность обработки до уступа
- Повышенные силы резания при врезании и выходе из резания
- Склонность к образованию проточин при обработке жаропрочных сплавов и материалов высокой твёрдости

Малый угол в плане



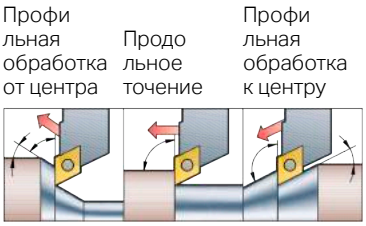
Особенности/преимущества

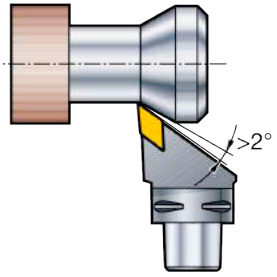
- Более тонкая стружка
  - Возможность повышения производительности
- Снижение склонности к образованию проточин
- Невозможность обработки до уступа

Главный угол в плане

Важный фактор при профильном точении

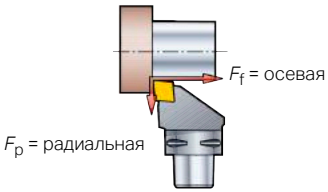
- При профильном точении параметры резания могут изменяться — глубина резания, толщина стружки и скорость резания
- Для достижения прочности и экономичности обработки следует выбирать максимально возможный угол при вершине пластины, но при этом необходимо также учитывать геометрическую проходимость для обеспечения необходимого зазора между заготовкой и режущей кромкой
- Наиболее часто используются углы при вершине 55° и 35°
- Главный угол в плане и угол при вершине пластины являются важными факторами для обеспечения геометрической проходимости. Для выбора наиболее подходящего угла обработки необходимо проанализировать профиль заготовки
- Необходимо поддерживать угол между заготовкой и режущей пластиной не менее 2°





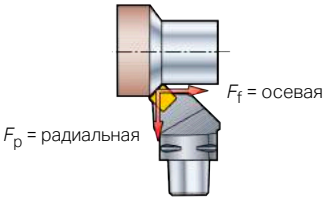
Осевые и радиальные силы резания

Большой главный угол в плане



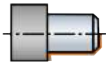
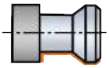
- Силы резания направлены к патрону. Меньше склонность к вибрации
- Высокие силы резания, особенно при входе в резание и выходе из резания

Малый главный угол в плане

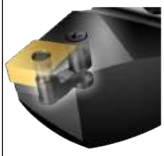
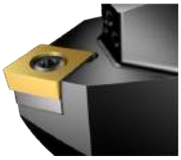


- Силы действуют в осевом и радиальном направлении
- Пониженная нагрузка на режущую кромку
- Склонность к вибрациям

Выбор формы пластины в зависимости от типа обработки

Форма пластины ++ = Рекомендуемый выбор + = Альтернативный выбор	Продольное точение 	Профильная обработка 	Подрезка торца 	Обработка карманов 
 Ромб с углом 80°	++		+	
 Ромб с углом 55°	+	++	+	
 Круглая пластина	+	+	+	++
 Квадратная пластина	+		++	
 Треугольная пластина	+	+	+	
 Ломаный треугольник с углом 80°	+		+	
 Ромб с углом 35°		+		

Выбор системы крепления пластин

Прижим рычагом за отверстие	Прижим повышенной жёсткости	Прижим клин-прихватом сверху	Закрепление пластин винтом	Концеп-туальное крепление
				

Внутреннее точение

Выбор инструмента и особенности применения



Основные рекомендации

- При внутренней токарной обработке (растачивании) выбор инструмента определяется диаметром и глубиной отверстия
  - Выбирайте расточную оправку с максимально возможным диаметром и минимально возможным вылетом
  - Крайне важно обеспечить эффективную эвакуацию стружки
  - Жёсткость закрепления инструмента оказывает решающее влияние на эффективность и результат обработки
  - Использование СОЖ позволяет улучшить эвакуацию стружки

Факторы выбора инструмента

Геометрия инструмента и пластины

- Главный угол в плане
- Форма пластины, без задних углов/с задними углами
- Геометрия пластины
- Радиус при вершине

Эвакуация стружки

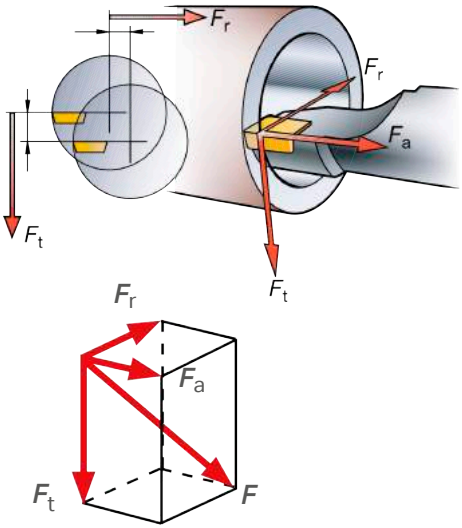
- Размер стружки
- Контроль над стружкодроблением
- Стратегии обработки
- СОЖ

Требования к инструменту

- Уменьшенный вылет
- Увеличенный диаметр
- Оптимизированная форма
- Инструментальный материал
- Закрепление
- Антивибрационные решения

Влияние сил резания при внутреннем точении

Радиальная и тангенциальная силы резания



Тангенциальная сила резания, F_t

- Отгибает инструмент вниз от линии центров
- Уменьшает задний угол

Радиальная сила резания, F_r

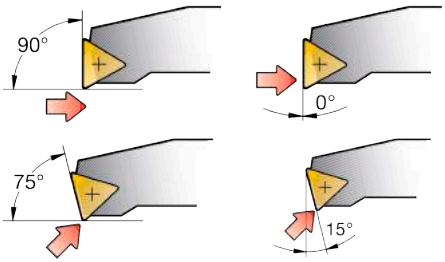
- Изменяет глубину резания и толщину стружки
- Не позволяет получить размер в пределах допуска, способствует возникновению вибраций

Осевая сила резания, F_a

- Действует в направлении, противоположном подаче инструмента

Выбор угла в плане

Угол в плане и силы резания

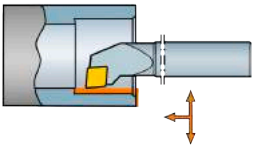


- Выбирайте главный угол в плане близкий к 90°
- Не рекомендуется главный угол в плане менее 75°, так как это приводит к резкому увеличению радиальной составляющей силы резания F_r

  - Снижение силы резания в радиальном направлении = уменьшение отжатия

Четыре основных области применения

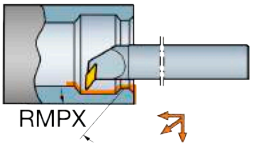
Продольное точение/подрезка торца



Наиболее распространенные операции

- Часто используются пластины формы C (ромб 80°)
- Обычно используются расточные оправки с углом в плане 95° и 93°
- Также часто используются пластины формы D (55°), W (80°) и T (60°)

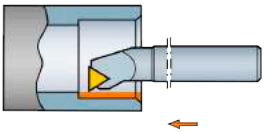
Профильное точение



Определяющий фактор — универсальность и геометрическая проходимость

- Необходимо учитывать эффективный угол в плане (KAPR)
- Обычно используются расточные оправки с главным углом в плане 93°, что позволяет обеспечить угол обработки в диапазоне 22–27°
- Часто используются пластины формы D (55°) и V (35°)

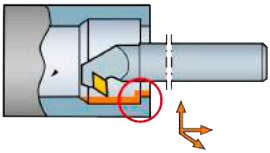
Продольное точение



Расточные операции выполняются для увеличения диаметра существующего отверстия

- Рекомендуется угол в плане близкий к 90°
- Используйте минимально возможный вылет
- Часто используются пластины формы C (80°), S (90°) и T (60°)

Обратное растачивание

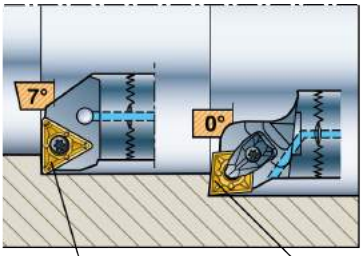


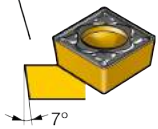
Обратное растачивание — операция растачивания с обратной подачей

- Используется для обработки уступов с углом 90°
- Обычно используются расточные оправки с главным углом в плане 93° и пластины формы D (55°)

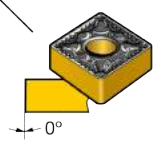
Выбор типа пластины

Пластины с задними углами уменьшают силы резания и отжатие





Односторонние пластины с задним углом 7°



Двухсторонние пластины без задних углов

- Пластины с задним углом 7°
  - Первый выбор для обработки отверстий малых и средних диаметров, от 6 мм
- Для повышения экономичности
  - Используйте пластины без задних углов в стабильных условиях с коротким вылетом инструмента

Выбор формы пластины в зависимости от типа обработки

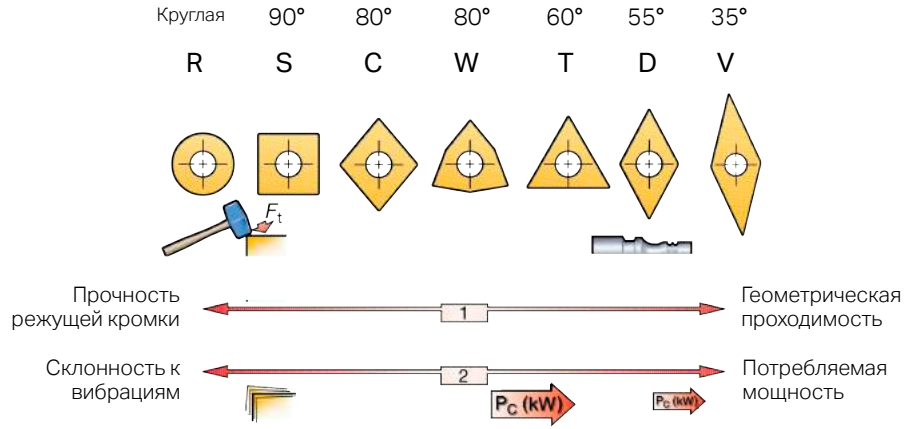
Форма пластины ++ = Рекомендованный выбор + = Альтернативный выбор	Продольное точение	Профильная обработка	Подрезка торца
Ромб с углом 80°	+		++
Ромб с углом 55°	+	++	+
Круглая пластина	+		+
Квадратная пластина	+		
Треугольная пластина	++		+
Ломаный треугольник с углом 80°	+		+
Ромб с углом 35°		+	

Угол при вершине пластины

Большой угол при вершине:
- Более прочная режущая кромка
- Более высокие подачи
- Повышенные силы резания
- Повышение вибрации

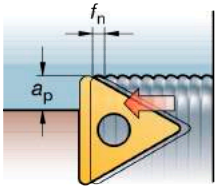
Малый угол при вершине:
- Хорошая геометрическая проходимость
- Снижение вибрации
- Пониженные силы резания

Используйте минимально возможный угол при вершине, обеспечивающий приемлемую прочность и экономичность

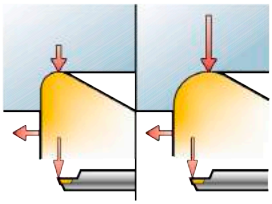


Глубина резания и радиус при вершине

Силы резания и отжатие инструмента



- Как малое, так и большое соотношение радиуса при вершине и глубины резания может вызывать вибрацию:
  - Большое — из-за слишком больших сил резания
  - Малое — из-за слишком сильного трения между пластиной и заготовкой



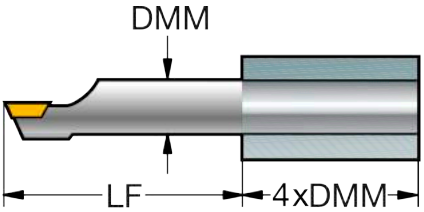
- Отношение RE (радиуса при вершине) к a_p (глубине резания) влияет на склонность к вибрациям
- Снижение радиальной составляющей силы резания = уменьшение отжатия

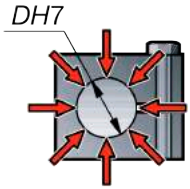
Основное правило!

Радиус при вершине следует выбирать так, чтобы он был немного меньше, чем глубина резания

Закрепление расточных оправок

Важные факторы для обеспечения жёсткости и оптимальной работоспособности

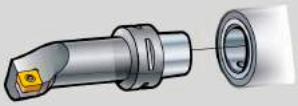




- Максимальная площадь контакта между державкой и опорной поверхностью держателя (конструкция, размерная точность)
- Длина закрепления 3–4 диаметра оправки (для уравновешивания сил резания)
- Высокая жёсткость держателя инструмента

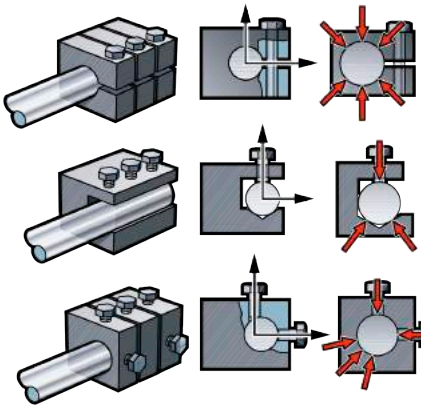
Требования к закреплению инструмента

Максимальный контакт между инструментом и держателем



Соединение Coromant Capto®

Лучший выбор



Приемлемо

Не рекомендуется

Не рекомендуется

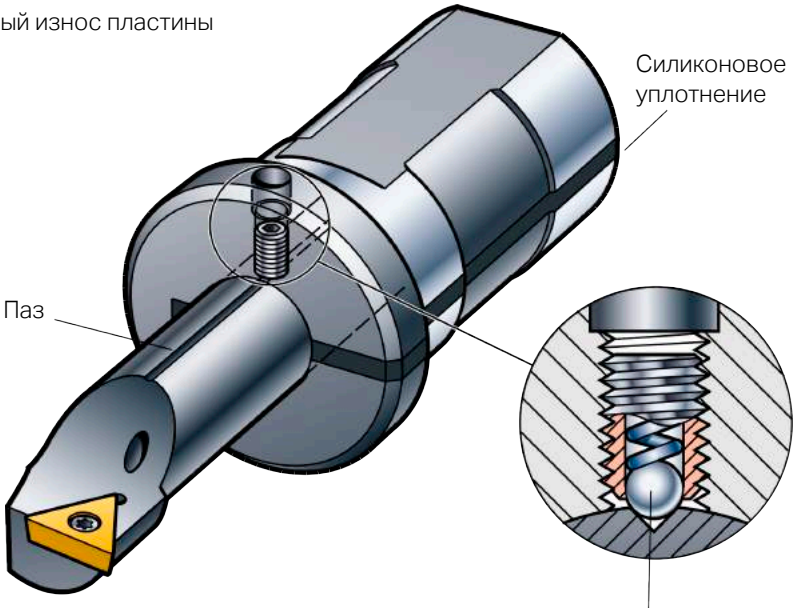
Втулки EasyFix

Для точного закрепления цилиндрических расточных оправок

Гарантируют правильную установку по высоте центров

Преимущества:

- Точное положение режущей кромки
- Высокое качество обработанной поверхности
- Сокращенное время наладки инструмента
- Равномерный износ пластины

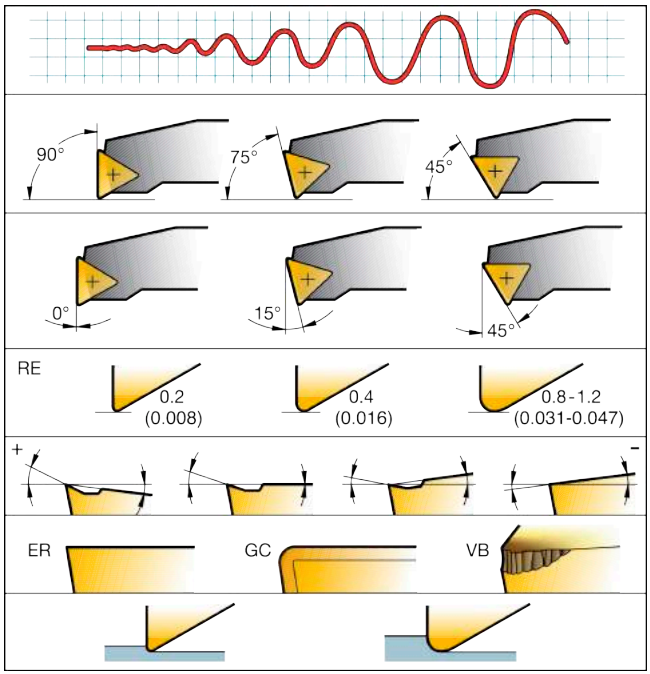


Подпружиненный шариковый фиксатор, находящийся внутри втулки, защелкивается в пазу расточной оправки, гарантируя точное расположение режущей кромки по высоте центров станка.

В пазу втулки размещено силиконовое уплотнение, что позволяет работать с внутренним подводом СОЖ.

Факторы, влияющие на склонность к вибрации

Склонность к вибрациям растёт слева направо



Угол в плане

- Выбирайте главный угол в плане максимально близкий к 90° и не менее 75°

Радиус при вершине

- Радиус при вершине следует выбирать так, чтобы он был несколько меньше, чем глубина резания

Микро- и макрогеометрия

- Используйте пластину с задними углами, так как она снижает силы резания по сравнению с пластинами без задних углов

Состояние кромки

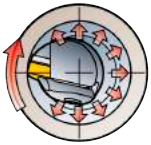
- Износ пластины изменяет задний угол. Это может повлиять на процесс резания и привести к вибрациям
- Рекомендуется использовать режущие пластины с тонким покрытием или без покрытия, поскольку они, как правило, обеспечивают низкие силы резания

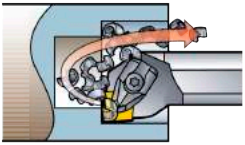
Глубина резания

- Глубина резания должна быть больше, чем радиус при вершине пластины

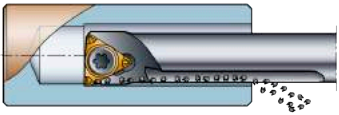
Эвакуация стружки

Эвакуация стружки — определяющий фактор для успешной внутренней обработки



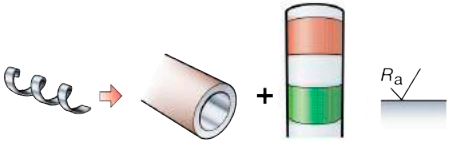


- Центробежная сила прижимает стружку к стенке отверстия
- Стружка может повредить поверхность отверстия

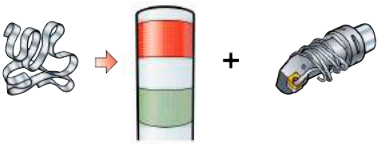


- Внутренний подвод СОЖ облегчает эвакуацию стружки
- Используйте инструмент в перевернутом положении для отвода стружки от режущей кромки

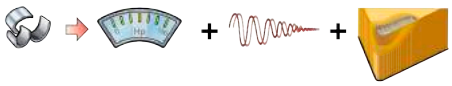
Виды стружки и её эвакуация



Короткая спиралевидная стружка
- Наиболее предпочтительна. Легко эвакуируется, не создает больших напряжений на режущей кромке при дроблении стружки



Длинная стружка
- Может осложнять эвакуацию стружки
- Низкая склонность к вибрациям, однако при автоматизированном производстве возможны проблемы, вызванные плохой эвакуацией стружки



Затрудненное стружкодробление, короткая стружка
- Повышенные требования к мощности и склонность к вибрации
- Возможно усиленное лункообразование, снижение стойкости инструмента и пакетирование стружки

Рекомендуемый вылет инструмента

Максимальный вылет для различных типов расточных оправок

Стальная оправка
– до 4 x DMM

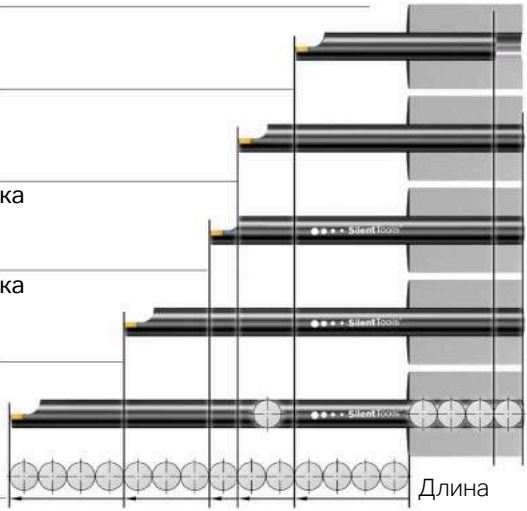
Твердосплавная оправка
– до 6 x DMM

Стальная антивибрационная оправка короткого исполнения
– до 7 x DMM

Стальная антивибрационная оправка длинного исполнения
– до 10 x DMM

Усиленнная твердосплавная антивибрационная оправка
– до 14 x DMM

Вылет: ... x DMM



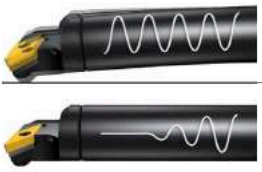
Исключение вибраций

Внутренняя обработка с помощью антивибрационных расточных оправок

- Повышение производительности при обработке глубоких отверстий
- Минимизация вибрации
- Повышение эффективности обработки
- Антивибрационные расточные оправки диаметром от 10 мм
- Максимальный вылет 14 x DMM (усиленная твердосплавная оправка)

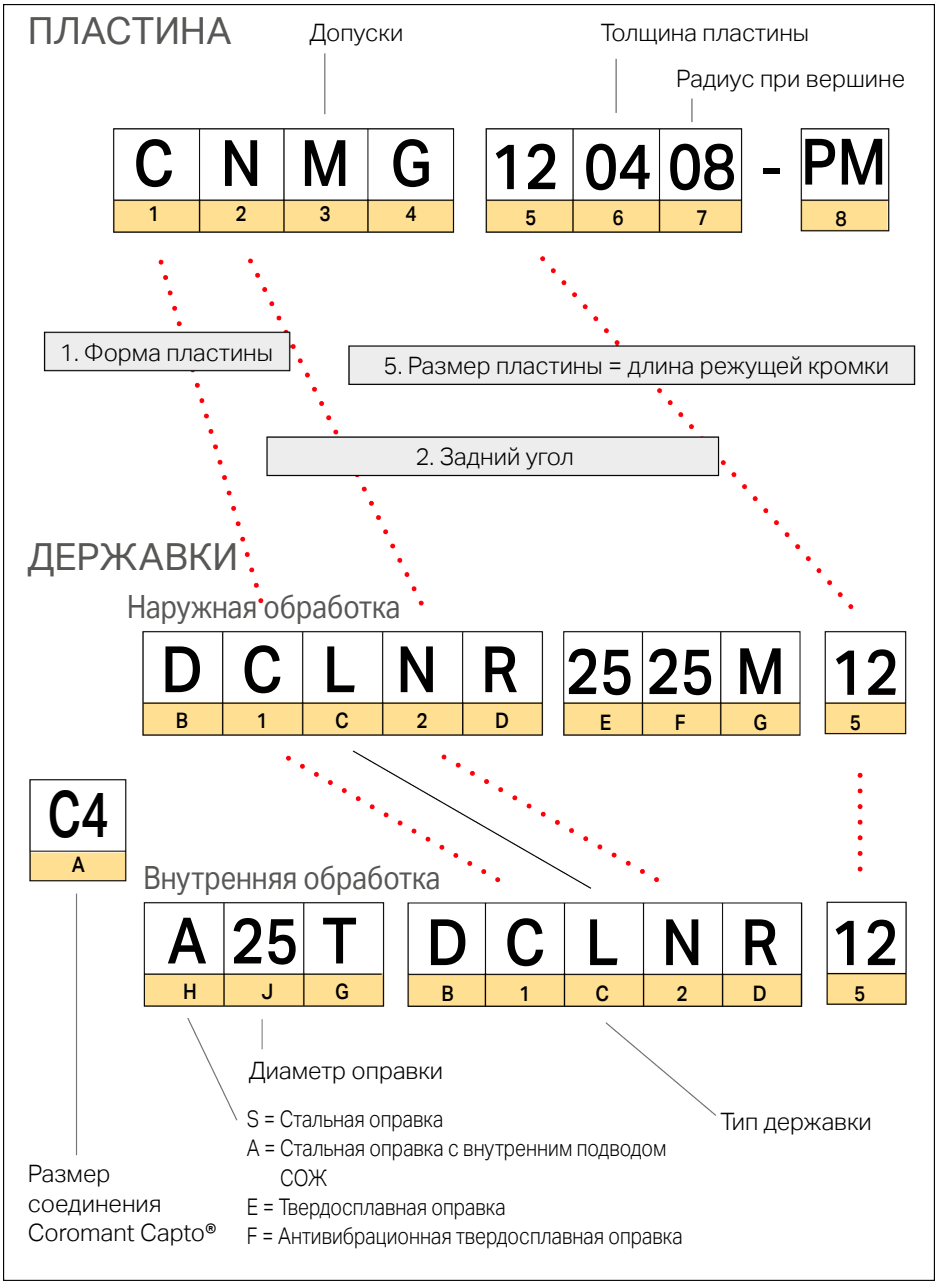


SilentTools®



Система обозначения пластин и державок – МЕТРИЧЕСКАЯ

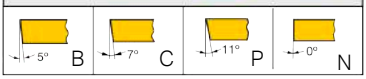
Выдержка из стандарта ISO 1832:1991



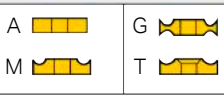
1. Форма пластины



2. Задний угол пластины



4. Тип пластины



5. Размер пластины = длина режущей кромки



l мм:	06–25	07–15	06–32	09–25	06–27	11–16	06–08

7. Радиус при вершине



02	RE = 0.2
04	RE = 0.4
08	RE = 0.8
12	RE = 1.2
16	RE = 1.6
24	RE = 2.4

Радиус при вершине первого выбора:

	T-MAX P	CoroTurn 107
Чистовая	08	04
Получистовая	08	08
Черновая	12	08

8. Геометрия — обозначение изготовителя

Изготовитель может добавить два символа к коду, указывающих на геометрию пластины, например,

-PF = ISO P чистовая
-MR = ISO M черновая

B. Система крепления



D — Прижим повышенной жёсткости (RC)

M — Прижим сверху и поджим за отверстие

P — Прижим рычагом за отверстие

S — Закрепление пластин винтом

D. Исполнение инструмента



R — Правое исполнение



L — Левое исполнение

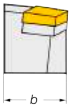


N — Нейтральное исполнение

E. Высота хвостовика державки

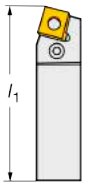


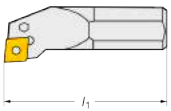
F. Ширина хвостовика державки



G. Длина инструмента

Длина инструмента = l_1, мм

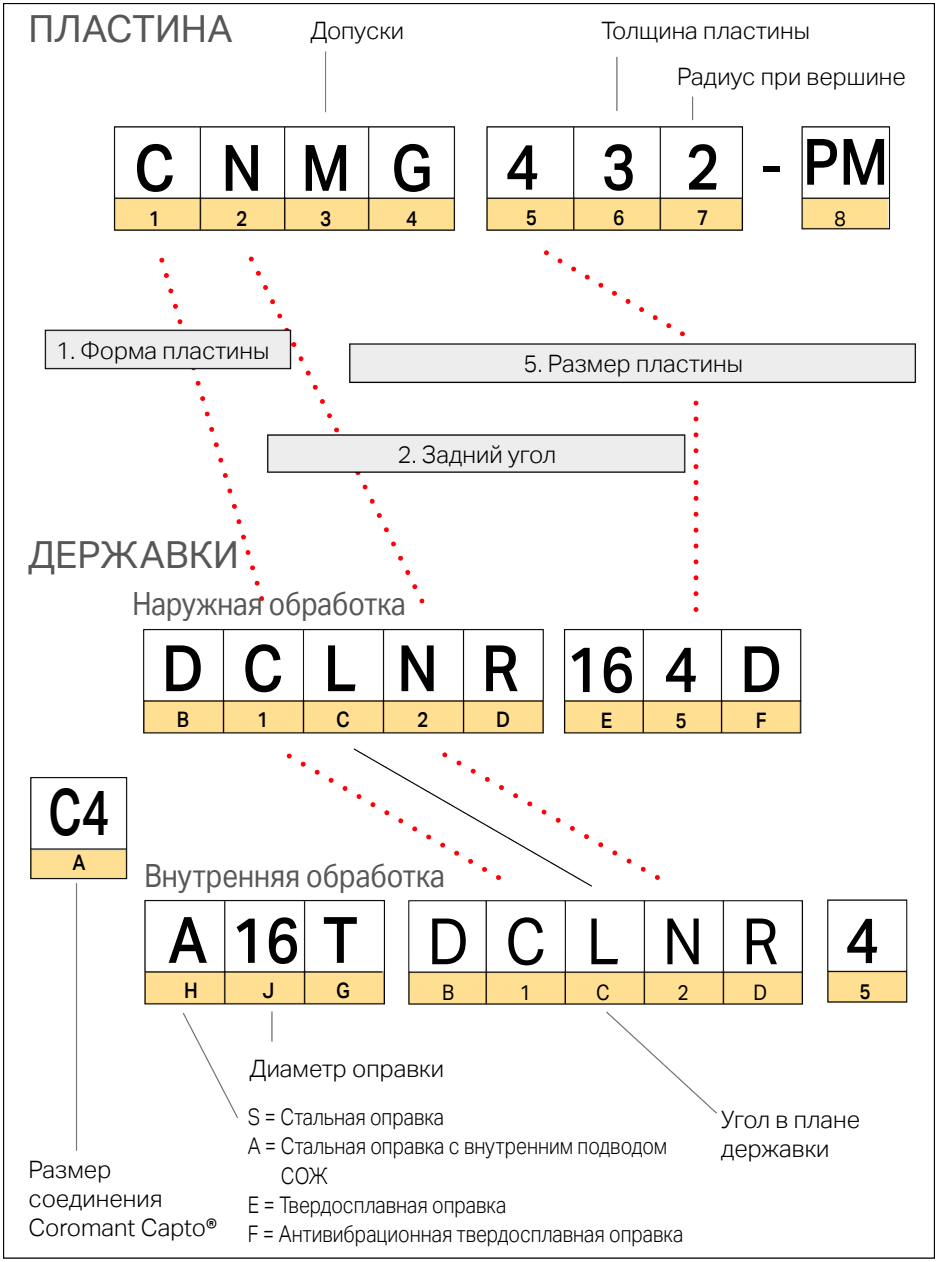




H = 100	S = 250
K = 125	T = 300
M = 150	U = 350
P = 170	V = 400
Q = 180	W = 450
R = 200	Y = 500

Система обозначения пластин и державок – ДЮЙМОВАЯ

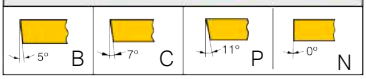
Выдержка из стандартов ANSI/ISO



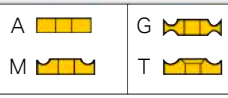
1. Форма пластины



2. Задний угол пластины



4. Тип пластины



5. Размер пластины

Размер вписанной окружности указан в 1/8"



7. Радиус при вершине



0	RE = .008
1	RE = 1/64
2	RE = 1/32
3	RE = 3/64
4	RE = 1/16
6	RE = 3/32

Радиус при вершине первого выбора:

	T-MAX P	CoroTurn 107
Чистовая	2	1
Получистовая	2	2
Черновая	3	2

8. Геометрия — обозначение изготовителя

Изготовитель может добавить два символа к коду, указывающих на геометрию пластины, например,

-PF = ISO P чистовая
-MR = ISO M черновая

B. Система крепления



C	D	M,W	P	S
Прижим сверху	Прижим повышенной жёсткости (RC)	Прижим сверху и поджим за отверстие	Прижим рычагом за отверстие	Закрепление пластин винтом

D. Исполнение инструмента



R Правое исполнение



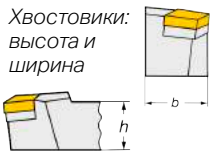
L Левое исполнение



N Нейтральное исполнение

E. Размер хвостовика или оправки

Хвостовики: высота и ширина

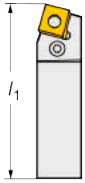


Оправки:



G. Длина инструмента

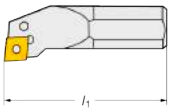
Наружный, l_1 в дюймах



A = 4.0
B = 4.5
C = 5.0
D = 6.0

M = 4.0

Внутренний, l_1 в дюймах



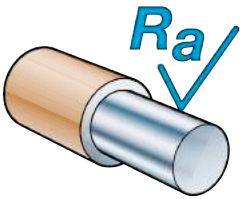
M= 6.0
R= 8.0
S= 10.0
T= 12.0
U= 14.0

Решение проблем

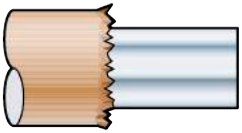
Контроль над стружкообразованием

Проблема	Причины	Решение
Длинная спиральная стружка, наматывающаяся на инструмент или заготовку.	• Слишком низкая подача для выбранной геометрии	• Увеличьте подачу • Выберите геометрию пластины с более оптимальным стружкодроблением • Используйте инструмент с высокоточной подачей СОЖ
	• Недостаточная глубина резания для выбранной геометрии	• Увеличьте глубину резания или выберите геометрию с более оптимальным стружкодроблением
	• Слишком большой радиус при вершине	• Выберите пластину с меньшим радиусом при вершине
	• Неподходящий угол в плане	• Выберите державку с как можно большим углом в плане KAPR=90°
Мелкая сегментная стружка, часто слипающаяся между собой, из-за слишком затрудненного стружкодробления. Это часто становится причиной снижения стойкости инструмента и даже поломки режущих пластин из-за слишком высоких нагрузок на режущую кромку.	• Слишком высокая подача для выбранной геометрии	• Выберите геометрию, рассчитанную на большую подачу, предпочтительно одностороннюю пластину • Уменьшите подачу
	• Неподходящий главный угол в плане	• Выберите державку с как можно меньшим главным углом в плане KAPR = 45–75°
	• Слишком малый радиус при вершине	• Выберите пластину с большим радиусом при вершине

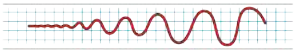
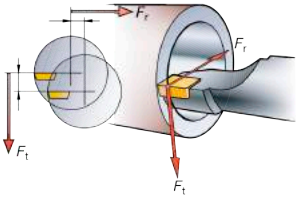
Качество обработанной поверхности

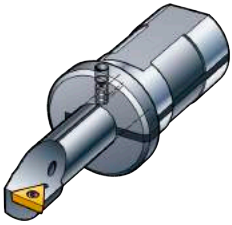
Проблема	Причины	Решение
Поверхность грубая на ощупь, не отвечает требованиям по шероховатости. 	• Стружка ломается о деталь, оставляя отметины на обработанной поверхности	• Выберите геометрию с лучшими характеристиками отвода стружки • Измените главный угол в плане • Уменьшите глубину резания • Выберите инструментальную систему с пластиной с задними углами и нейтральным углом наклона кромки
	• Низкое качество поверхности, вызванное образованием проточины	• Выберите сплав с большей стойкостью к химическому износу, например кермет • Уменьшите скорость резания
	• Слишком большая подача в сочетании со слишком малым радиусом при вершине ухудшают качество поверхности	• Выберите пластину Wiper или пластину с большим радиусом при вершине • Снизьте подачу

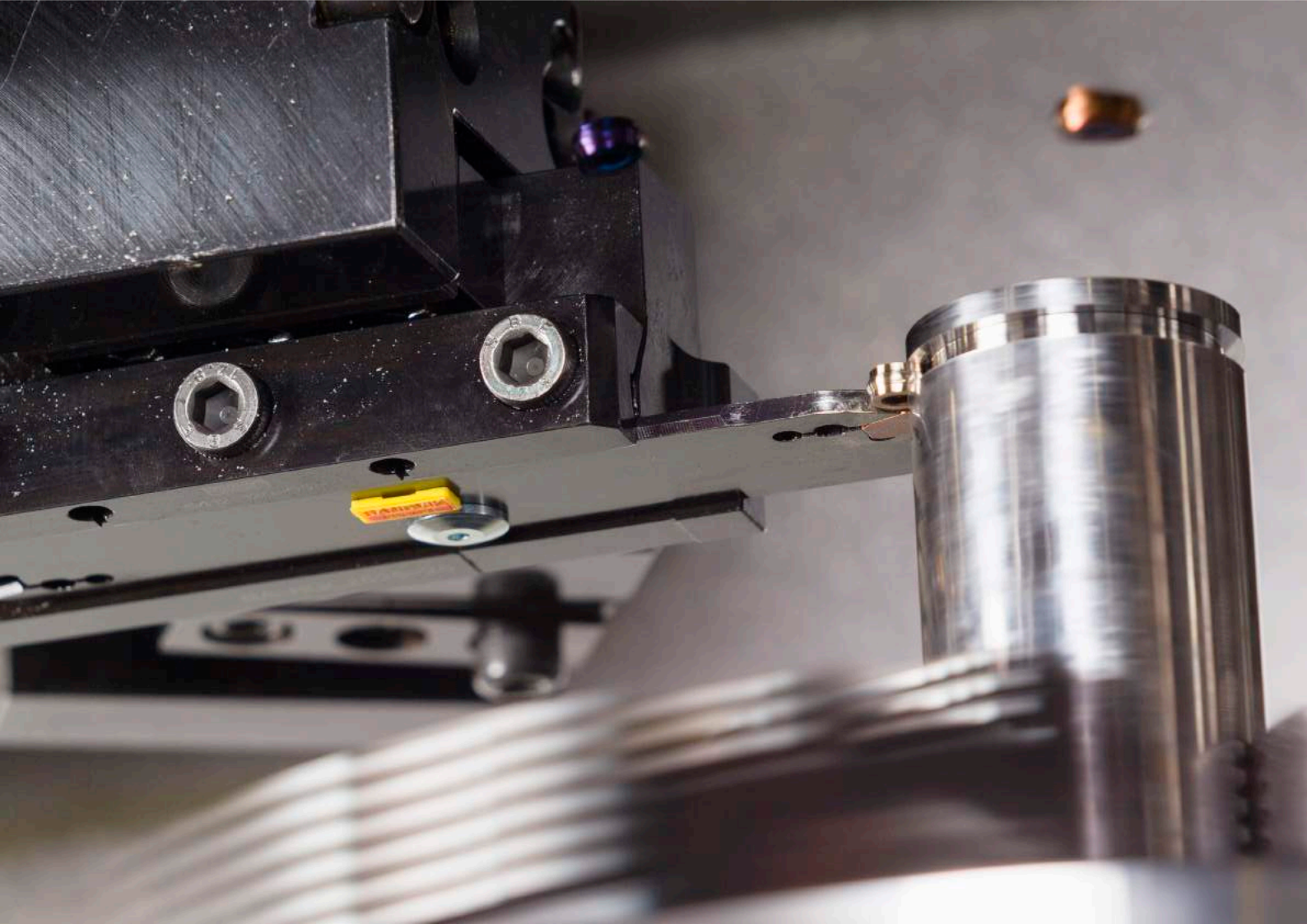
Образование заусенцев

Образование заусенцев происходит при выходе режущей кромки из материала заготовки. 	• Режущая кромка недостаточно острая • Слишком низкая подача для данного радиуса округления кромки	• Используйте режущие пластины с острыми кромками: - пластины с покрытием PVD - шлифованные пластины с небольшими подачами, < 0,1 мм/об
	• Образование проточин на глубине резания или выкрашивание кромки	• Используйте державку с небольшим углом в плане
		• Формируйте фаску или радиус при выходе из резания

Вибрация

Проблема	Причины	Решение
Большая радиальная составляющая силы резания.  Следы от вибраций на обработанной поверхности, вызванные нежестким закреплением инструмента. Характерно для внутренней обработки расточными оправками.	• Неподходящий главный угол в плане	• Выберите державку с как можно большим главным углом в плане (KAPR =90°)
	• Слишком большой радиус при вершине	• Выберите меньший радиус при вершине
	• Неподходящее округление кромки или отрицательная фаска	• Выберите более позитивную геометрию или сплав с тонким покрытием или без покрытия
	• Чрезмерный износ по задней поверхности пластины	• Выберите более износостойкий сплав или уменьшите скорость резания
Большая тангенциальная составляющая силы резания. 	• Геометрия пластины создает большие силы резания	• Выберите более острую позитивную геометрию пластины
	• Затруднено стружкодробление, вследствие чего создаются большие силы резания	• Уменьшите подачу или выберите геометрию для большей подачи
	• Недостаточная глубина резания, что вызывает разнонаправленные или очень низкие силы резания	• Немного увеличьте глубину резания для обеспечения процесса резания
	• Некорректное расположение инструмент	• Выставьте пластину по высоте центров

Проблема	Причины	Решение
	• Низкая жёсткость наладки из-за увеличенного вылета инструмента	• Уменьшите вылет • Используйте оправку максимально возможного диаметра • Используйте антивибрационную оправку Silent Tools или твердосплавную оправку
	• Нестабильное закрепление снижает жёсткость наладки	• Увеличьте длину закрепления расточной оправки • Используйте втулки EasyFix для закрепления цилиндрических расточных оправок



Отрезка и обработка канавок

Отрезка и обработка канавок - это отдельная категория токарной обработки. В ней объединён широкий спектр операций обработки, требующих применения специализированного инструмента.

Эти инструменты для отрезки и обработки канавок иногда можно использовать для общего точения.

• Теория B 4

• Процедура выбора инструмента B 7

• Обзор систем B 11

• Особенности применения B 16

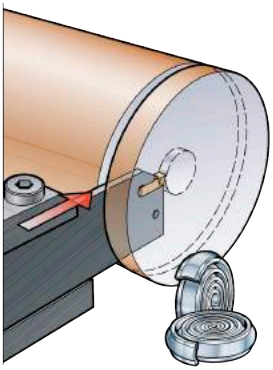
• Решение проблем B 37

Теория отрезки и обработки канавок

Отрезка

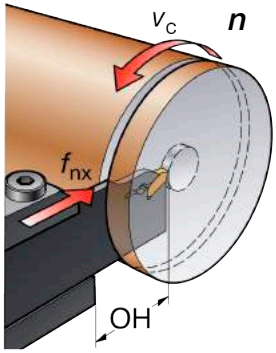
Эвакуация стружки чрезвычайно важна

Эвакуация стружки — критически важный фактор операций отрезки. Очень сложно обеспечивать надёжное стружкодробление в замкнутом пространстве, когда инструмент находится глубоко в заготовке. Геометрия режущей кромки разрабатывается главным образом для формирования стружки, которую можно будет легко эвакуировать. Последствием плохого стружкоотвода является заклинивание стружки, приводящее к плохому качеству обработанной поверхности, пакетированию стружки и даже поломке инструмента.



- Надёжная эвакуация стружки является важнейшим фактором операций отрезки
- При отрезке на большой глубине стружкодробление сильно затруднено
- Для отрезки характерна стружка в форме часовой пружины с меньшей шириной, чем ширина канавки
- Геометрия режущей пластины сгибает стружку, уменьшая её ширину

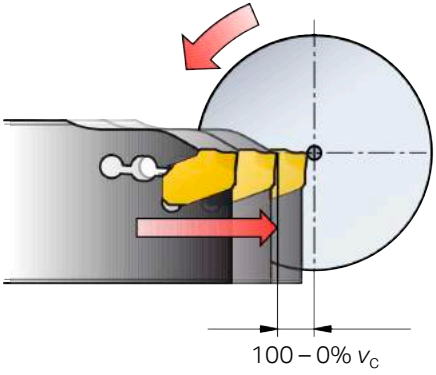
Отрезка – термины и определения



n = частота вращения шпинделя, об/мин
v_c = скорость резания, м/мин
f_{nx} = радиальная подача, мм/об
OH = рекомендуемый вылет, мм

Значение скорости резания

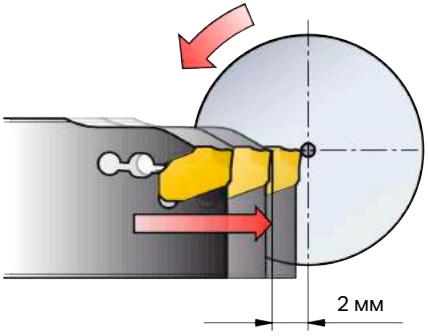
При отрезке до центра заготовки скорость резания постепенно снижается до нуля, когда станок достигает предельной частоты вращения.



- Скорость резания уменьшается до нуля у центра заготовки

Снижение подачи при подходе к центру

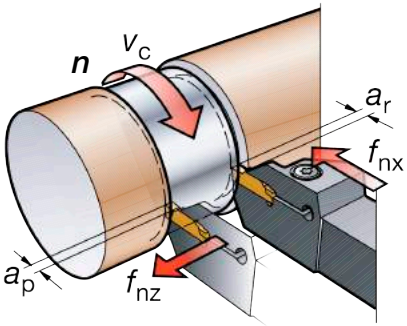
Скорость резания снижается по мере приближения к оси заготовки, вызывая дисбаланс. Величину подачи необходимо снизить, чтобы уравновесить силы резания во время отрезки. Подачу следует уменьшить до рекомендованного минимума, что составляет примерно 0,05 мм/об за 2 мм до оси заготовки.



- Начните резание с рекомендованной величиной подачи, указанной на упаковке пластины
- Уменьшите подачу до 0,05 мм/об за 2 мм до осевой линии
- Снижение подачи уменьшает вибрацию и увеличивает стойкость инструмента
- Кроме того, снижение подачи уменьшает величину бобышки

Обработка канавок – термины и определения

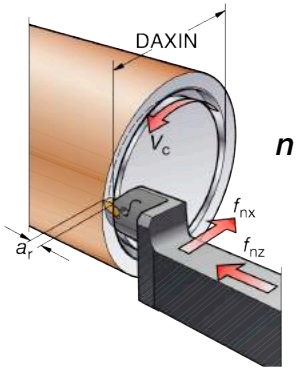
Перемещение инструмента в направлениях X и Z называется подачей (f_n) или (f_{nx}/f_{nz}), мм/об. При подаче по направлению к центру (f_{nx}) частота вращения будет расти, пока не достигнет предельного значения для шпинделя станка. По достижении предельных оборотов скорость резания (v_c) будет уменьшаться, пока не достигнет 0 м/мин в центре детали.



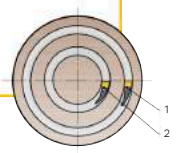
n = частота вращения шпинделя, об/мин
v_c = скорость резания, м/мин
f_{nz} = осевая подача, мм/об
f_{nx} = радиальная подача, мм/об
a_r = глубина канавки, мм (расстояние от наружного диаметра до центра или до внутреннего диаметра канавки)
a_p = глубина резания при точении, мм

Обработка торцевых канавок – термины и определения

Подача оказывает огромное влияние на формирование стружки и стружкодробление. Она определяет не только толщину стружки, но и её форму в соответствии с геометрией режущей пластины. При продольном точении и профильной обработке (f_{nz}) на стружкообразование будет также влиять глубина резания (a_p). При обработке торцевых канавок диаметр первого врезания должен находиться в диапазоне, указанном на применяемой державке.



n = частота вращения шпшпинделя, об/мин
v_c = скорость резания, м/мин
f_{nz} = осевая подача, мм/об
f_{nx} = радиальная подача, мм/об
a_r = глубина канавки, мм
DAXIN = min диаметр первого врезания (2 на данном рисунке)
DAXX = max диаметр первого врезания (1 на данном рисунке)

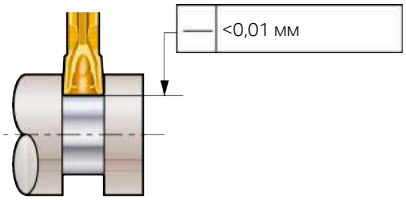


Процедура выбора инструмента

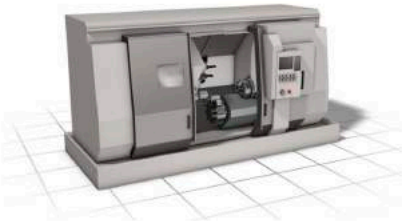
Процесс планирования производства

1 **Анализ детали**

Размеры и качество канавки или торца



Материал заготовки, эвакуация стружки



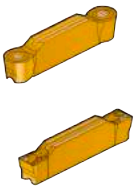
2 **Анализ оборудования**

Параметры станка

3 **Выбор инструмента**

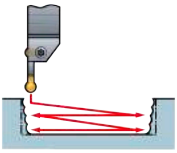
Тип инструмента:
- Пружинное крепление
- Закрепление пластин винтом
- Тип пластины

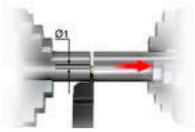




4 **Способ применения**

Режимы резания, стратегия обработки, СОЖ и т.д

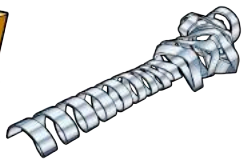




5 **Решение проблем**

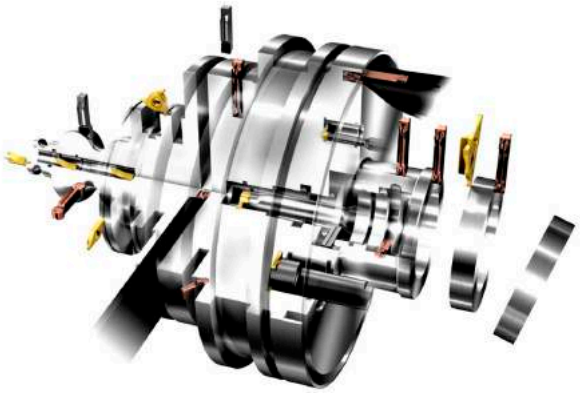
Проблемы и их решение





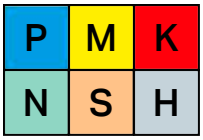
1. Деталь и материал заготовки

Параметры, которые необходимо учитывать



Деталь

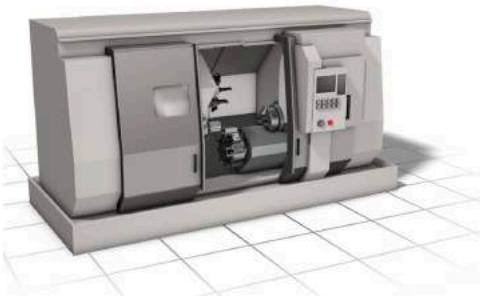
- Проанализируйте требования к размерам и качеству обрабатываемой канавки или торца
- Тип операции: отрезка, обработка канавок
- Глубина канавки
- Ширина канавки
- Радиусы в углах



Материал заготовки

- Обрабатываемость
- Стружкодробление
- Твёрдость
- Легирующие элементы

2. Параметры станка



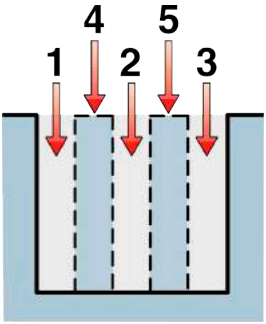
Состояние станка

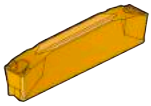
- Жёсткость, мощность и крутящий момент, особенно для обработки больших диаметров
- Закрепление заготовки
- Интерфейс револьверной головки
- Время смены инструмента/количество инструментов в револьверной головке
- Эвакуация стружки
- Система подачи СОЖ

3. Выбор инструмента

Примеры методов обработки

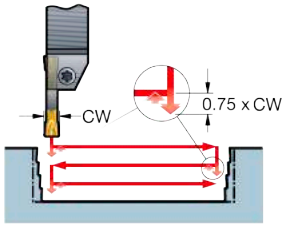
Многократное врезание

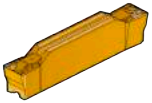




- Наилучший способ черновой обработки канавок, если глубина канавки больше ширины
- Делайте «вилку». Это улучшает отвод стружки и повышает стойкость инструмента

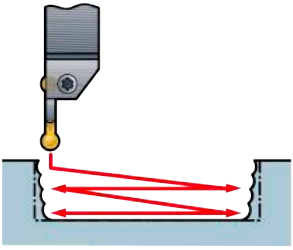
Плунжерное точение

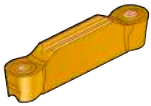




- Лучший выбор при обработке сталей и нержавеющих сталей, а также когда ширина канавки больше глубины
- Хороший контроль над стружкообразованием

Обработка с врезанием под углом

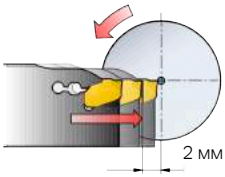




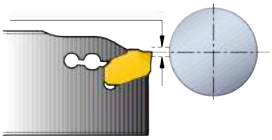
- Предотвращает вибрацию и уменьшает радиальные силы резания
- Круглые пластины наиболее прочные
- Удвоенное число врезаний/проходов
- Первый выбор для обработки жаропрочных сплавов (HRSA). Уменьшает образование проточин

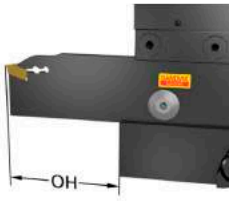
4. Способ применения

Параметры, которые необходимо учитывать



Max ±0,1 мм



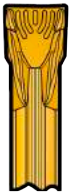


- Важно обеспечить точность установки по высоте центров, ±0,1 мм
- Уменьшайте подачу до 0,05 мм/об примерно за 2 мм до центра заготовки
- Используйте минимально возможный вылет, OH
- Используйте лезвия с максимально возможной высотой для обеспечения жёсткости на изгиб
- Используйте СОЖ для улучшения отвода стружки

5. Решение проблем

Параметры, которые необходимо учитывать







Износ и стойкость пластины

- Контролируйте вид износа, при необходимости, скорректируйте режим резания

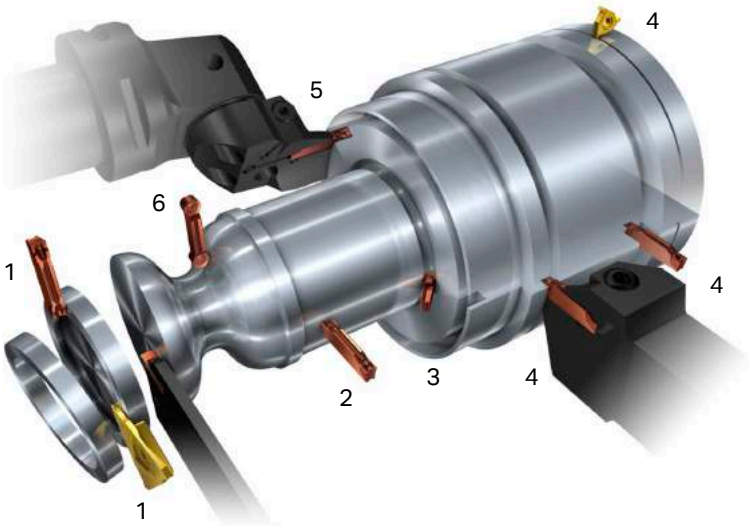
Для улучшения стружкообразования и уменьшения износа

- Используйте рекомендованную геометрию стружколома
- Используйте нейтральные пластины
- Проверьте установку по высоте центров
- Используйте СОЖ

Обзор систем

Отрезка и обработка наружных канавок

1. Отрезка прутков и труб
2. Точение
3. Обработка выборок
4. Обработка мелких и глубоких канавок
5. Обработка торцевых канавок
6. Профильная обработка

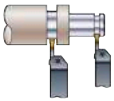
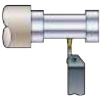


Обработка внутренних канавок

1. Обработка канавок и обработка фаски под отрезку
2. Обработка торцевых канавок
3. Профильная обработка



Различные системы

Применение \ Тип пластин		CoroCut2	CoroCut1	CoroCut3	CoroCut QD	CoroCut QF	Circlip 266
Отрезка		Средняя	Глубокая	Неглубокая	Глубокая		
Обработка канавок		●	○		●		
Обработка торцевых канавок		○	○			●	
Точение		●	○				
Профильное точение		●	○				
Обработка выборок		●			○		
Обработка канавок под стопорные кольца		○		●			●

● Первый выбор ○ Второй выбор

Наружная отрезка и обработка канавок

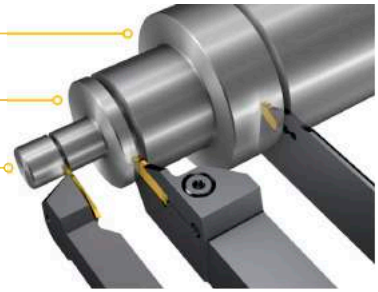
Различные системы

Отрезка – диапазоны диаметров

Глубокая отрезка – Ø < 160 мм

Средняя отрезка – Ø < 40 мм

Неглубокая отрезка – Ø < 12 мм



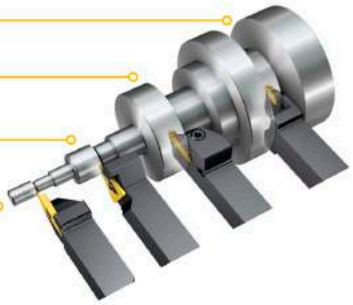
Обработка канавок – диапазоны глубин

Глубокие канавки – глубина < 100 мм

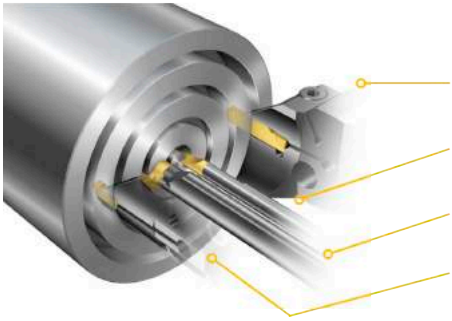
Средние канавки – глубина < 50 мм

Неглубокие канавки – глубина < 6 мм

Неглубокие канавки – глубина < 3,7 мм



Обработка торцевых канавок – диапазоны диаметров



Большие диаметры > 34 мм

Малые диаметры > 0,2 мм

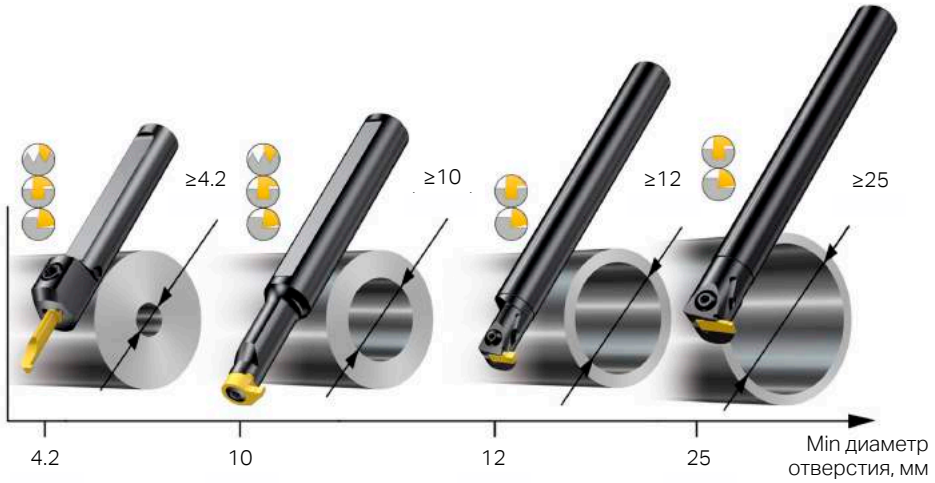
Малые диаметры > 6 мм

Средние и большие диаметры > 16 мм

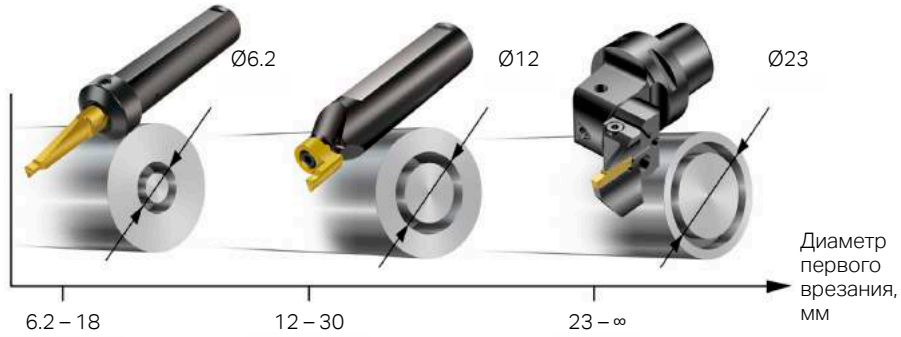
Внутренняя отрезка и обработка канавок

Различные системы

Внутренняя обработка канавок – min диаметр отверстия

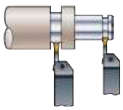
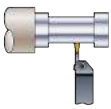
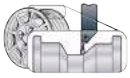


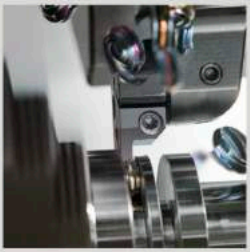
Обработка торцевых канавок – диапазон диаметров первого врезания



Пластины

Обзор геометрий

Область применения / Геометрии	 Отрезка	 Обработка канавок	 Точение	  Профильная обработка
Чистовая	**CF** 	**GF** 	**TF** 	
Получистовая	**CM** 	**GM** 	**TM** 	**RM**  **AM** 
Черновая	**CR** 			
Оптимизированная				**RO** 
	CS 			**RS** 
		GE 		**RE** 







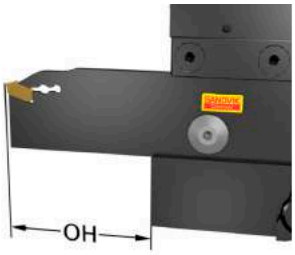
Отрезка и обработка канавок – особенности применения

- Общая информация по отрезке и обработке канавок B 17
- Отрезка B 22
- Обработка канавок B 26
- Обработка канавок под стопорные кольца B 28
- Обработка торцевых канавок B 29
- Профильная обработка B 32
- Точение B 34
- Обработка выборок B 36

Вылет инструмента и отжатие заготовки

Вылет инструмента должен быть минимально возможным для повышения жёсткости. При отрезке и обработке канавок требуется обеспечить глубину отрезки и ширину канавки, а это означает, что всегда необходимо достигать компромисса между стабильностью и геометрической проходимостью.

Максимальная стабильность



- Вылет (OH) инструмента должен быть минимально возможным
- Используйте максимально возможный размер посадочного гнезда

Внутренняя обработка



Типы оправок:

- Стальные оправки ≤3 x DMM
- Антивибрационные стальные оправки ≤5 x DMM
- Твердосплавные оправки ≤5 x DMM
- Антивибрационные твердосплавные оправки, до 7 x DMM



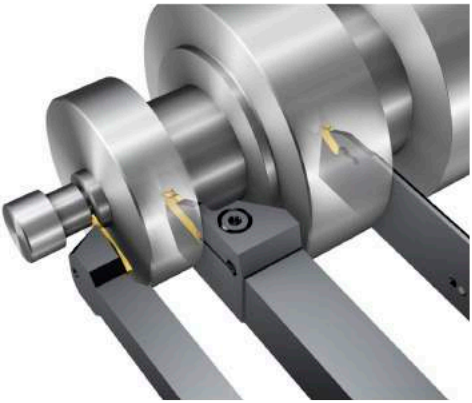


Пластины:

- Используйте пластины минимально возможной ширины
- Используйте геометрии для ненагруженного резания

Критерии выбора державки

Особенности систем



Глубокая отрезка

Неглубокая отрезка

Средняя отрезка

Глубокая отрезка

- Первый выбор — лезвия для глубокой отрезки с пружинным закреплением однокромочных пластин

Средняя отрезка

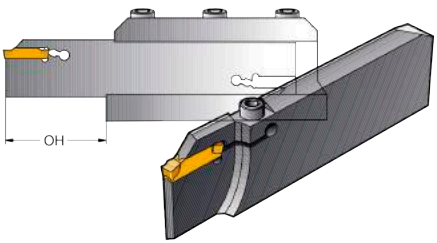
- Первый выбор — державки с механическим закреплением двухкромочных пластин

Мелкая отрезка

- Для неглубокой отрезки в массовом производстве используйте пластины с тремя режущими кромками

Особенности выбора державок

Инструментальный блок для державок/лезвий с пружинным закреплением пластин позволяет настраивать вылет.



- Минимально возможный вылет, OH мм
- Максимальный размер хвостовика державки
- Максимальная высота лезвия
- Максимальная ширина лезвия

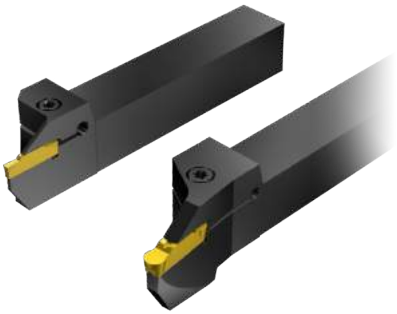
Пружинное закрепление пластин



Особенности/преимущества

- Быстрая замена пластины
- Отрезка большего диаметра
- Возможность регулировки вылета
- Обработка глубоких канавок
- Двухсторонние лезвия
- Только радиальная подача
- Высокоточная подача СОЖ

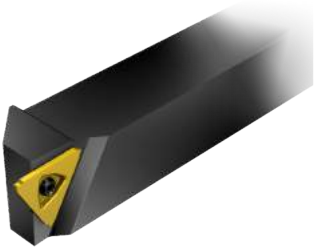
Закрепление пластин винтом и пружинное закрепление



Особенности/преимущества

- Обработка небольших диаметров
- Обработка неглубоких канавок
- Радиальные и осевые подачи
- Повышенная жёсткость
- Односторонние державки
- Высокоточная подача СОЖ

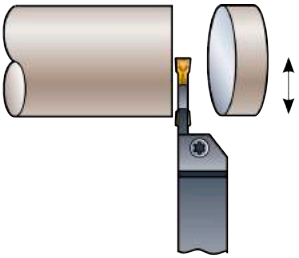
Закрепление винтом трёхкромочных пластин



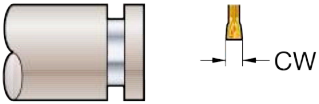
Особенности/преимущества

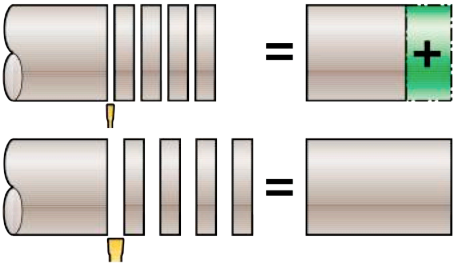
- Исключительно малая ширина пластины
  - обработка канавок шириной от 0,5 мм
  - отрезка шириной от 1 мм
- Глубина резания до 6 мм
- Одна державка для пластин любой ширины
- Высокая точность положения пластины
- Максимальная эффективность, 3 режущие кромки

Отрезка прутков



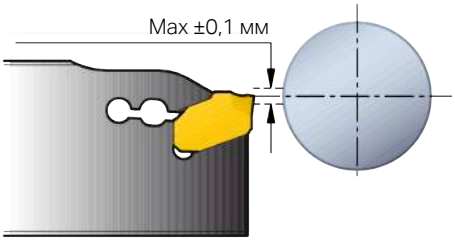
Используйте пластину минимально возможной ширины:
- Экономия материала
- Снижение сил резания
- Сохранение окружающей среды





Сэкономленный материал

Расположение инструмента

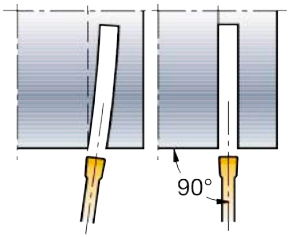


Максимальное отклонение от высоты центров ±0,1 мм

Режущая кромка выше оси центров
- Уменьшение заднего угла
- Затирание режущей кромки (поломка)

Режущая кромка ниже оси центров
- Образование бобышки при отрезке

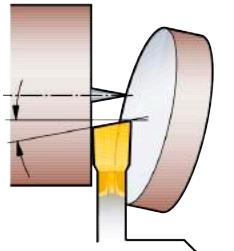
Расположение инструмента



Под углом 90° к оси вращения

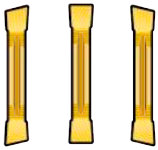
- Перпендикулярная поверхность
- Снижение вибрации

Исполнение пластин



Правое исполнение (R)

Исполнения пластин

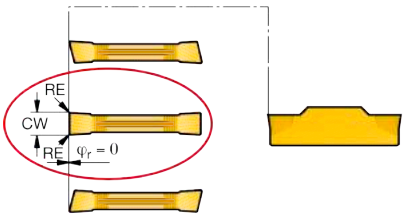


Три типа пластин с различным углом в плане:

- Правого исполнения (R)
- Нейтрального исполнения (N)
- Левого исполнения (L)

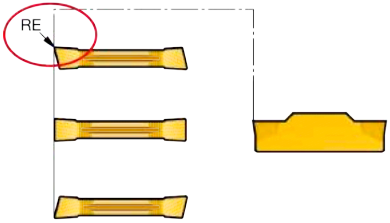
Геометрия пластин

Нейтральный угол в плане



- Повышение прочности
- Увеличение подачи/ производительности
- Улучшение качества обработанной поверхности
- Более прямая поверхность среза
- Бобышка на отрезанной детали

Малый/большой радиус при вершине



Малый радиус при вершине

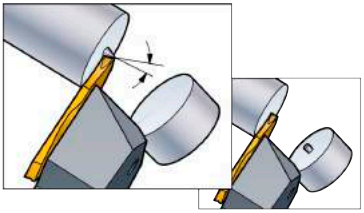
- Небольшая бобышка
- Улучшенный контроль над стружкодроблением
- Снижение подачи

Большой радиус при вершине

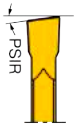
- Увеличение подачи
- Повышение стойкости инструмента

Отрезка

Уменьшение бобышки при использовании пластин с различными углами в плане





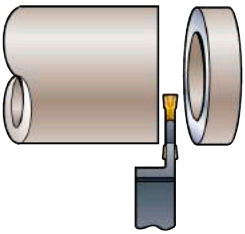


Пример угла в плане на 1-, 2- и 3-кромочных пластинах:
KAPR = 95°, 98°, 100°, 102°, 105°, 110°
(PSIR = 5°, 8°, 10°, 12°, 15°, 20°)

- Выбирайте правое или левое исполнение пластины для контроля над образованием бобышки или заусенца
- Когда угол в плане:
  - увеличивается - бобышка/заусенец уменьшаются
  - уменьшается - контроль над стружкодроблением и стойкость инструмента улучшаются
- Центробежная сила всегда будет отрывать отрезаемую деталь от заготовки
  - Инструмент будет оставлять материал по центру (бобышку)

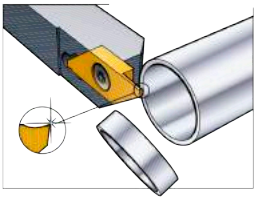
Примечание!
Пластина с отличным от 0° углом в плане (PSIR) снижает контроль над стружкодроблением вследствие бокового направления схода стружки (нейтральная пластина направляет стружку прямо из канавки)

Отрезка труб



Используйте пластину с минимально возможной шириной (CW) для экономии материала, снижения сил резания и уменьшения воздействия на окружающую среду.

Отрезка тонкостенных труб



Убедитесь, что в процессе обработки возникают минимально возможные силы резания. Используйте пластины минимально возможной ширины и с максимально острыми кромками.

Выбор инструмента – обзор



Общие рекомендации:

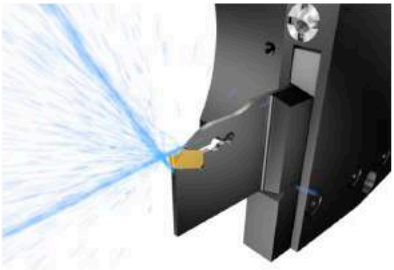
- Нейтральные пластины
- Минимально возможная ширина пластины
- Максимально возможный размер державки

Учитывайте следующие параметры:

- Глубина обработки
- Ширина пластины
- Угол в плане
- Радиус при вершине

Применение СОЖ

СОЖ выполняет важную функцию, так как доступ в зону обработки затруднён и ограничен стружкой. Важно использовать высокоточную подачу СОЖ в достаточном количестве с направлением на режущую кромку в течение всей длительности операции.



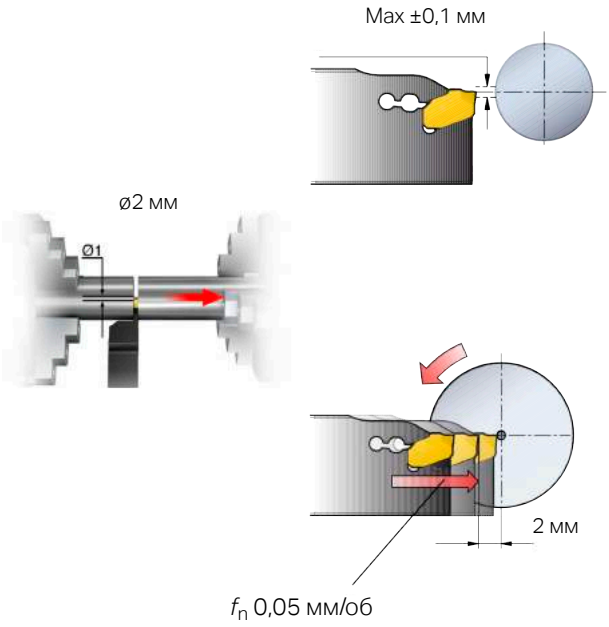
Применяйте СОЖ:

- В больших объёмах
- Прямо на режущую кромку
- С высокоточной подачей

Результат:

- Положительно влияет на стружкообразование
- Предотвращает пакетирование стружки
- Повышает стойкость инструмента

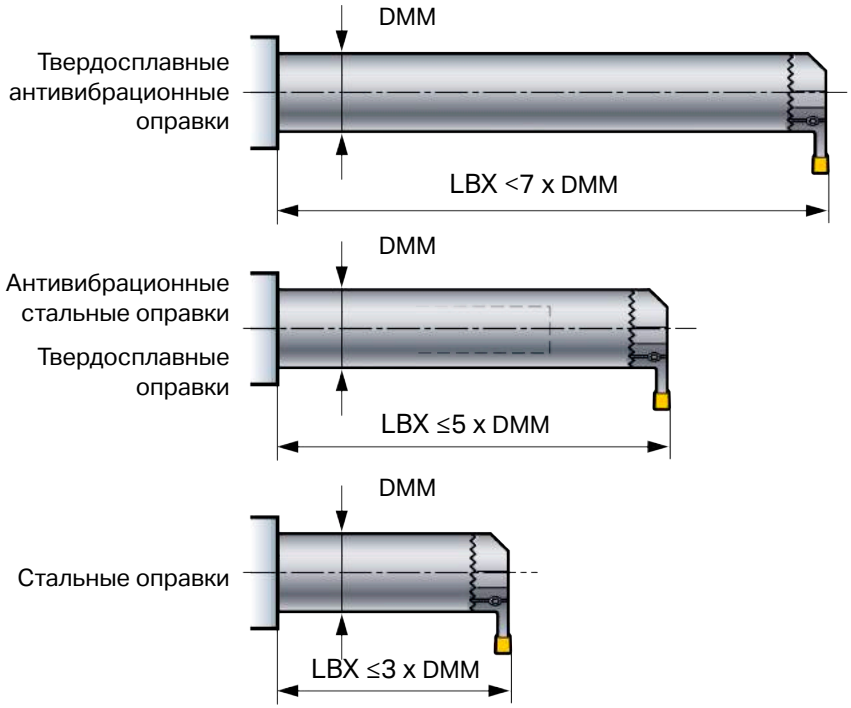
Практические рекомендации



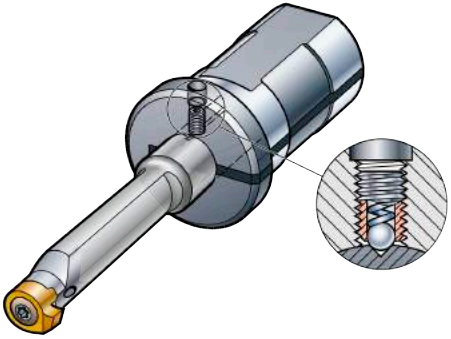
- Точность установки по высоте центров ±0,1 мм
- При использовании контршпинделя оторвите деталь от заготовки примерно за 2 мм до подхода инструмента к центру детали
- Рекомендуется снизить подачу до 0,05 мм/об примерно за 2 мм до центра детали — также для отрезки труб

Рекомендации по выбору расточных оправок

Рекомендуемый вылет

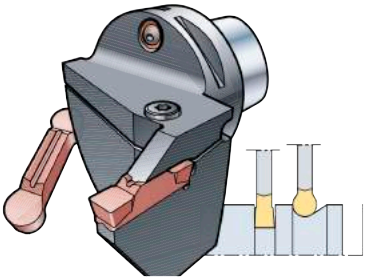


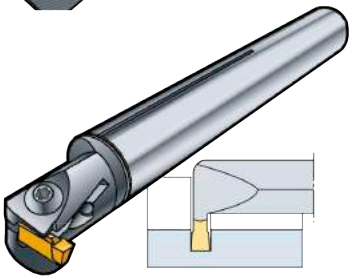
Втулки EasyFix



Используйте втулки EasyFix для снижения вибраций и обеспечения высокой точности позиционирования режущей кромки

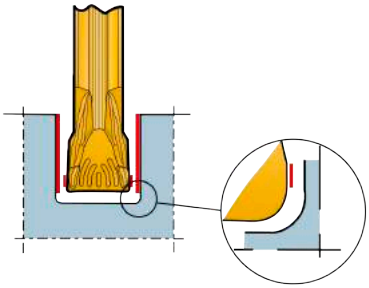
Обработка канавок



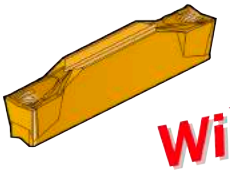


- Обработка канавок за один проход – наиболее экономичный и производительный способ изготовления канавок
- Если глубина канавки больше её ширины, используйте метод многопроходного врезания для черновой обработки
- Для обработки канавок следует выбирать державки с закреплением пластин винтом или с пружинным креплением

Обработка канавки однократным врезанием

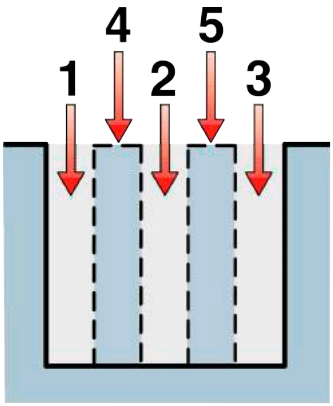


- Экономичный и производительный способ изготовления канавок
- Пластины с геометрией для чистовой обработки имеют допуск по ширине ±0,02 мм и хорошо работают при низкой подаче
- Пластины с геометрией Wiper обеспечивают исключительно высокое качество боковых поверхностей канавки



TECHNOLOGY Wiper

Обработка канавок многократным врезанием

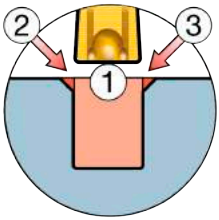


- Наилучший метод черновой обработки канавок, глубина которых больше, чем ширина
- Используйте всю ширину пластины для выполнения канавок, после чего удалите кольца

Практические рекомендации

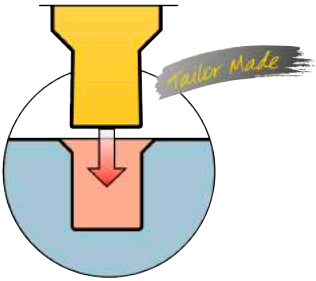
При обработке канавок высокого качества часто требуется снятие фасок.

A



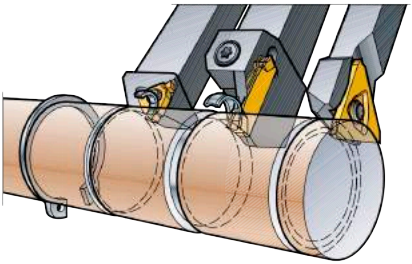
- Один из способов — использование вершины пластины, например пластины для чистовой обработки канавок, для снятия фаски; см. рисунок A.

B



- Лучший способ изготовления канавки с фасками в серийном производстве — заказать пластину Tailor Made с точной формой фаски; см. рисунок B.

Обработка канавок под стопорные кольца



Стопорные кольца часто встречаются на различных валах и осях.

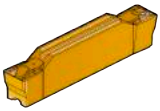
- Канавки под стопорные кольца могут быть выполнены 2-х и 3-х кромочными пластинами
- Для внутренней обработки канавок доступен широкий выбор режущих пластин и расточных оправок

Основные системы

3-кромочные пластины



2-кромочные пластины



- Наиболее экономичны 3-кромочные пластины шириной 1,00 - 3,18 мм
- Или 2-кромочные пластины шириной 1,50 - 6,00 мм

Пластины для внутренней обработки



Твердосплавные вставки



- Пластины для внутренней обработки в отверстиях диаметром от 10 мм и с шириной канавок 1,10 - 4,15 мм
- Твердосплавные вставки для обработки в отверстиях диаметром от 4,2 мм и с шириной канавки 0,78 - 2,00 мм

Внутренние канавки



Диаметр фрезы 9,7 – 34,7 мм

Внутренние/ наружные канавки



Диаметр фрезы 39 – 80 мм

Фрезерование — альтернативный метод обработки канавок на невращающихся деталях

- Фрезы диаметром 9,7 – 34,7 мм для обработки канавок шириной 0,7 - 5,15 мм
- Фрезы диаметром 39 – 80 мм для обработки канавок шириной 1,10 - 5,15 мм

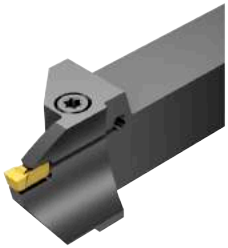
Обработка торцевых канавок



Осевая обработка канавок на торцах детали требует специализированных инструментов.

- Выбор изгиба лезвия инструмента зависит от радиуса заготовки
- При выборе инструмента необходимо учитывать внутренний и наружный диаметр канавки

Инструмент для обработки торцевых канавок



- Изогнутый инструмент для обработки торцевых канавок, прямая державка 0°

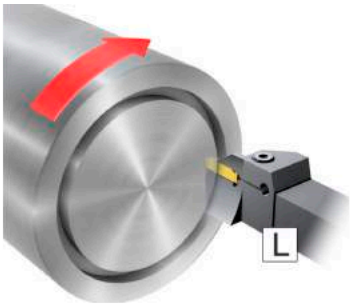


- Изогнутый инструмент для обработки торцевых канавок, угловая державка 90°

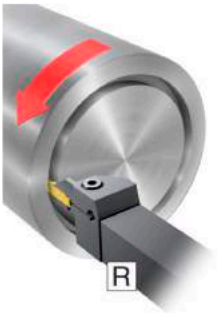


- Сменные резцовые головки позволяют получить специализированный инструмент из стандартных элементов

Выбор державок правого и левого исполнения в зависимости от направления вращения



Левое исполнение (L) инструмента

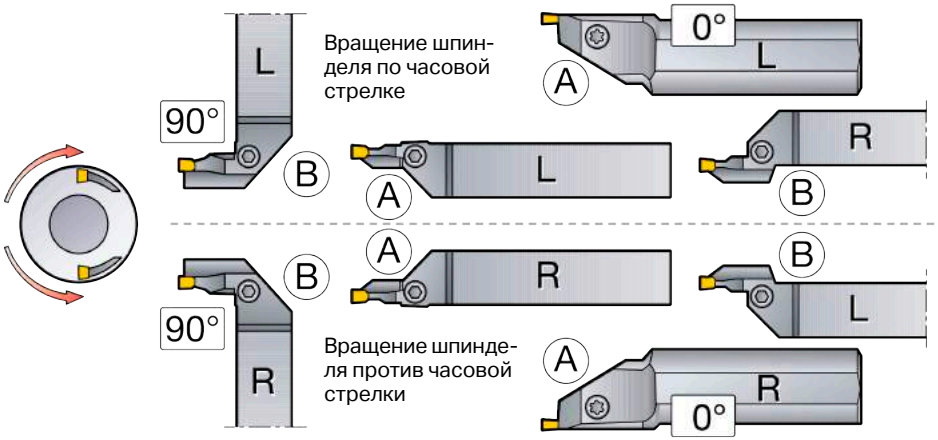


Правое исполнение (R) инструмента

- Инструмент подаётся в осевом направлении, врезаясь в торец детали
- Изгиб лезвия инструмента должен соответствовать радиусу канавки
- Для лучшего контроля над стружкой начинайте вести обработку с большего диаметра канавки

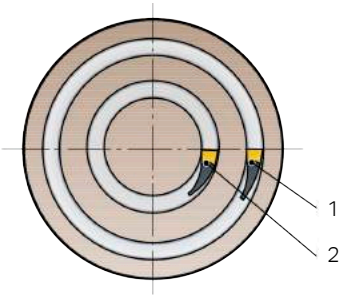
Выбор варианта державки A и B, правого или левого исполнения

Выберите правильный инструмент: A- или B-исполнение, право- или левосторонний, в зависимости от наладки станка и направления вращения заготовки.



www.tool-builder.com

Особенности первого врезания

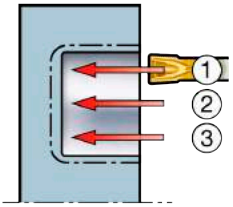


1 **Если инструмент затирает обрабатываемую поверхность по меньшему диаметру:**
- выбрана державка с неправильным диапазоном врезания
- инструмент не параллелен оси вращения заготовки
- проверьте положение кромки по высоте центров
- установите инструмент ниже оси центров

2 **Если инструмент затирает обрабатываемую поверхность по большему диаметру:**
- выбрана державка с неправильным диапазоном врезания
- инструмент не параллелен оси вращения заготовки
- проверьте положение кромки по высоте центров
- установите инструмент выше оси центров

Черновая и чистовая обработка торцевых канавок

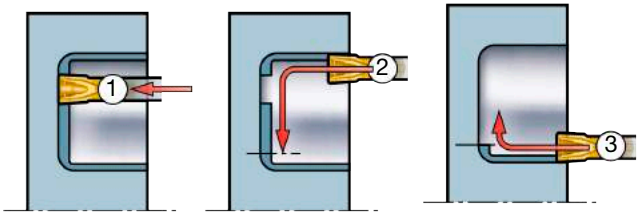
Черновая обработка



Первое врезание (1) начинайте с большего диаметра, последующие врезания — в направлении к центру. Первое врезание позволяет контролировать отвод стружки и, в меньшей степени, стружкодробление.

Ширина врезания при втором (2) и третьем (3) проходе должна составлять 0,5–0,8 от ширины пластины. На этих проходах обеспечивается хорошее стружкодробление, поэтому подачу можно немного увеличить.

Чистовая обработка



Первый проход (1) выполняйте в пределах заданного диапазона диаметров.

Второй проход (2) обеспечивает окончательный диаметр. Всегда ведите обработку контура канавки и её дна в направлении от периферии к центру и вглубь.

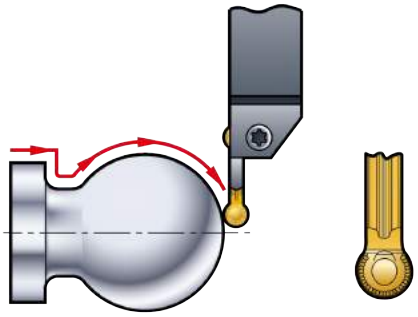
Третий проход (3) обеспечивает формирование меньшего диаметра канавки.

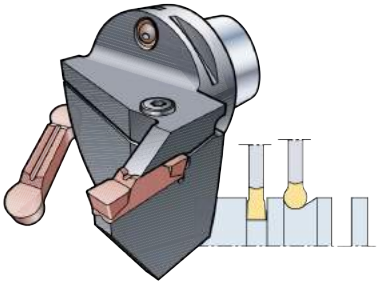
Профильная обработка

Пластины для профильной обработки позволяют решить задачи обработки деталей сложной формы.

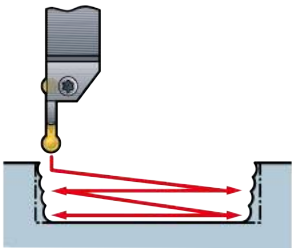


- Современные инструментальные системы для отрезки и обработки канавок способны также выполнять операции точения
- Для достижения максимальной жёсткости при токарной и профильной обработке необходимо применять державки с закреплением пластин винтом
- Нейтральная державка подходит как для точения, так и для обработки выборок
- Пластины круглой формы имеют специализированную геометрию для данных операций





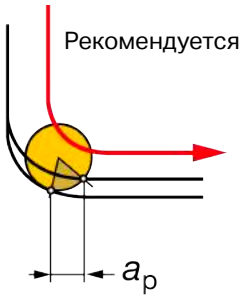
Обработка с врезанием под углом



- Используйте круглые пластины - они обеспечивают превосходный контроль над стружкодроблением и хорошее качество обработанной поверхности
- При нежёсткой технологической системе используйте метод врезания под углом для предотвращения вибраций

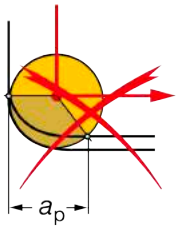
Профильное точение

Радиус пластины < радиуса сопряжения



- При большом контакте режущей кромки с заготовкой возрастают силы резания, поэтому следует снижать подачу
- По возможности, используйте пластину с радиусом меньше радиуса на детали
- Если радиус при вершине пластины равен радиусу на обрабатываемой детали, то рекомендуется применять прерывистое резание для дробления стружки и снижения риска возникновения вибраций

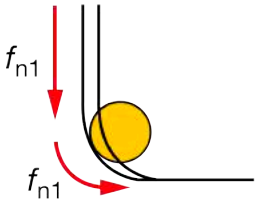
Не рекомендуется

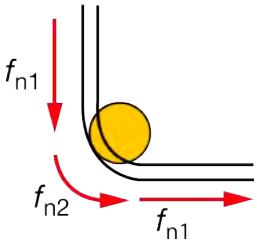


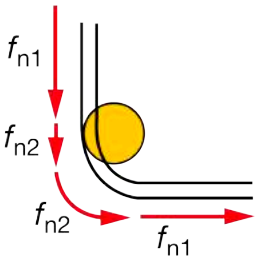
Не рекомендуется применять инструмент с радиусом больше, чем радиус обрабатываемого сопряжения

f_{n1} = прямые проходы – max толщина стружки 0,15–0,40 мм

f_{n2} = обработка по радиусу – 50% от max толщины стружки

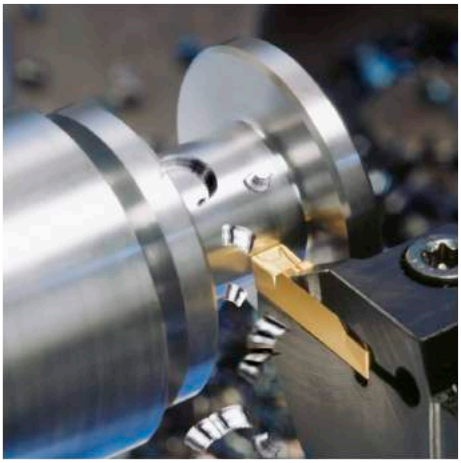






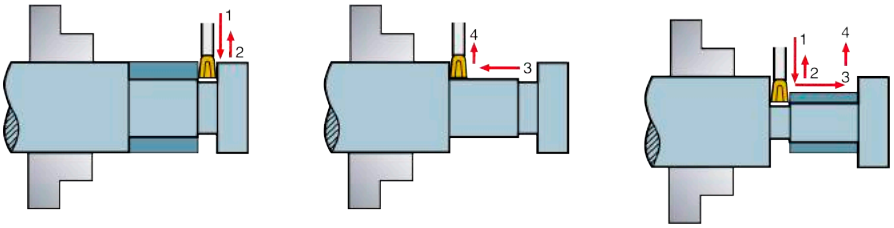
Точение

Наиболее распространёнными способами изготовления широких канавок или выемок являются обработка многократным врезанием, плунжерное точение или точение с врезанием под углом. Все три метода используются для черновых операций и требуют последующей чистовой обработки. Основное правило: если ширина канавки меньше её глубины, то следует применять метод обработки за несколько врезаний, в противном случае применяется метод плунжерного точения. В случае обработки тонких нежёстких деталей можно использовать точение с врезанием под углом.



- Используйте державки с минимально возможным вылетом, закрепление пластин винтом или пружинным креплением, а также пластины с направляющей на посадочной поверхности
- По возможности, используйте жёсткие модульные инструментальные системы
- Усиленное лезвие способствует повышению жёсткости

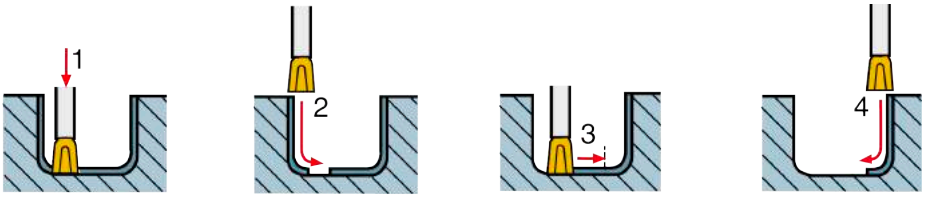
Черновая обработка



1. Радиальное врезание на требуемую глубину +0,2 мм (max 0,75 x ширина пластины)
2. Радиальный отвод инструмента на 0,2 мм
3. Точение в осевом направлении, к противоположному уступу
4. Радиальный отвод инструмента на 0,5 мм

Чистовая обработка

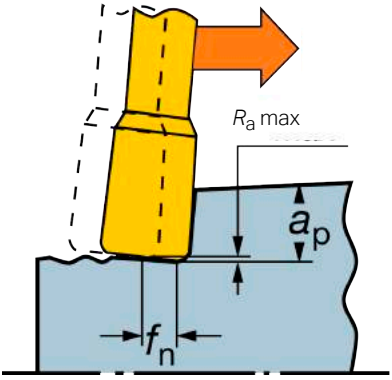
При обработке режущая кромка следует по контуру детали, перемещение инструмента происходит преимущественно в направлении продольной оси Z. При этом вдоль основной режущей кромки образуется очень тонкая стружка, что может привести к затиранию и вибрациям.



- Осевая и радиальная глубина резания должна составлять 0,5–1,0 мм

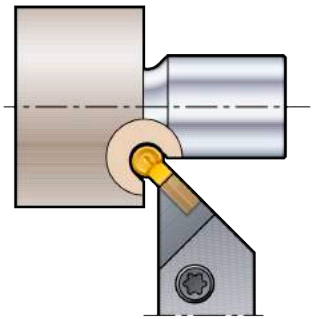
Осевое точение

Качество обработанной поверхности



- Эффект аналогичный Wiper обеспечивает высокое качество обработанной поверхности
- Наилучший зачистной эффект достигается при правильном сочетании подачи (f_n) и отжатия инструмента
- Шероховатость R_a ниже 0,5 мкм достигается при использовании оборудования с высокой жёсткостью

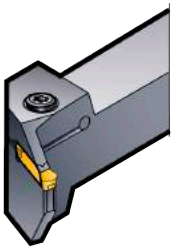
Обработка выборок



- Для получения канавки под выход инструмента
- Для таких операций требуются специализированные пластины круглой формы с острой кромкой и высокой размерной точностью
- Допуск на размер этих пластин ±0,02 мм

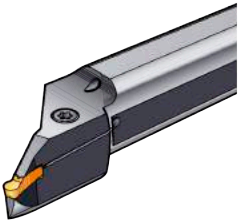
Инструмент для обработки выборок

Угловые
7°, 45° и 70°



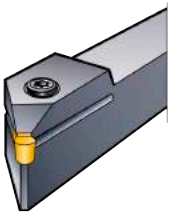
- Державка для наружной обработки выборок. Пластина с двумя режущими кромками.

Угловой 20°



- Державка для внутренней обработки выборок. Пластина с двумя режущими кромками.

Угловой 45°



- Державка для наружной обработки выборок. Пластина с одной режущей кромкой.

Решение проблем

Износ инструмента

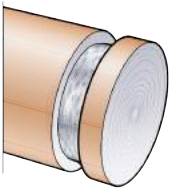
Проблема / Решение	 Износ по задней поверхности	 Пластическая деформация	 Лунко-образование	 Выкрашивание	 Проточина	 Наросто-образование
Более острая геометрия						++
Более прочный сплав				++		
Более износостойкий сплав	++	+	+			
Увеличьте скорость резания						+
Снизьте скорость резания	+	+	++			
Уменьшите подачу		++		+	+	
Выберите более прочную геометрию				+	++	

++ = лучшее решение

+ = возможное решение

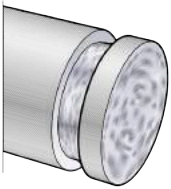
Проблема	Решение

Неудовлетворительное качество поверхности



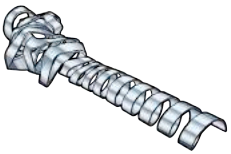
- Используйте короткий и жёсткий инструмент
- Обеспечьте отвод стружки от обработанной поверхности за счёт геометрии пластины с лучшим контролем стружкообразования
- Используйте инструмент с высокоточной подачей СОЖ
- Проверьте рекомендации по скорости резания/подаче
- Используйте геометрию Wiper
- Проверьте правильность установки инструмента

Неудовлетворительное качество поверхности на алюминии



- Выберите самую острую геометрию пластины
- Используйте геометрию с хорошим контролем над стружкодроблением
- Выберите специальную эмульсионную СОЖ для данного материала
- Используйте инструменты с высокоточной подачей СОЖ

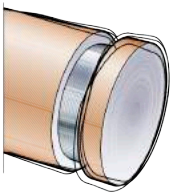
Плохое стружкодробление



- Выберите другую геометрию
- Увеличьте подачу
- Используйте прерывистое резание (с периодическим отводом инструмента)
- Используйте инструмент с высокоточной подачей СОЖ

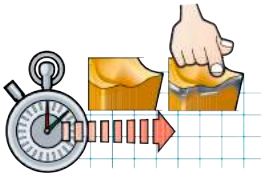
Проблема	Решение

Вибрация

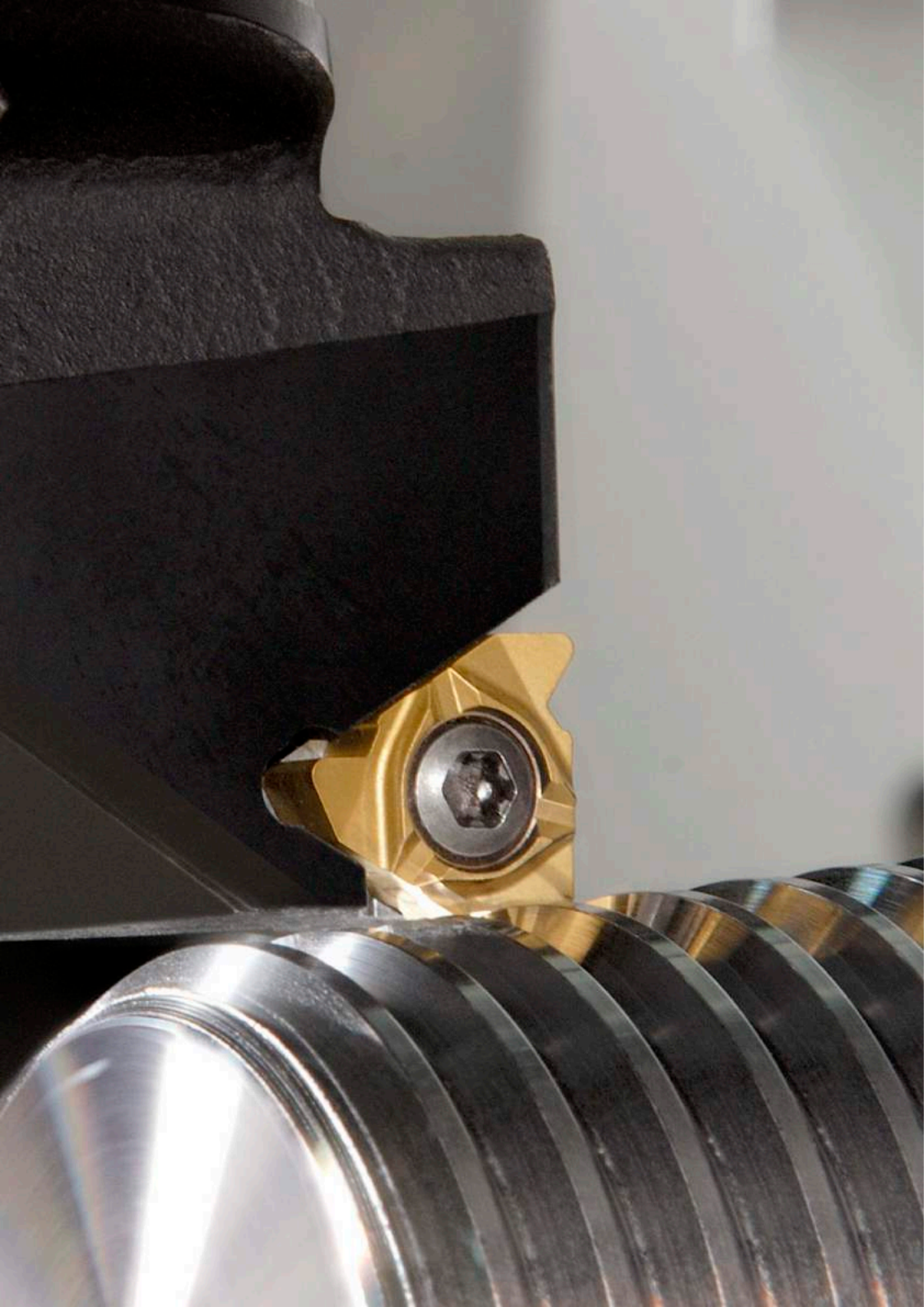


- Используйте жёсткую наладку
- Проверьте рекомендации по скорости резания/подаче
- Уменьшите вылет инструмента и детали
- Выберите другую геометрию пластины
- Проверьте состояние инструмента
- Проверьте правильность установки инструмента по высоте центров

Низкая стойкость инструмента



- Проверьте точность установки по высоте центров
- Проверьте перпендикулярность установки инструмента относительно оси вращения детали
- Проверьте состояние державки. Если она изношена, то режущая пластина может быть нежёстко закреплена в гнезде
- Используйте инструмент с высокоточной подачей СОЖ



Резьбонарезание

Точение резьбы — процесс, при котором токарный инструмент выполняет несколько синхронизированных с вращением шпинделя проходов вдоль участка заготовки, на котором требуется нарезать винтовую резьбу.

При снятии припуска за несколько проходов с небольшой глубиной резания снижается нагрузка на режущую кромку и исключается риск поломки инструмента.

• Теория С 4

• Процедура выбора инструмента С 9

• Обзор систем С 13

• Особенности применения С 19

• Решение проблем С 24

• Нарезание резьбы метчиком С 28

Теория резьбонарезания

Методы получения резьбы

Основные функции резьбовых соединений:

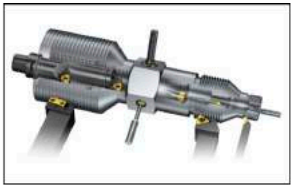
- Крепежная - механическое соединение деталей
- Передача движения - преобразование вращательного движения в поступательное и наоборот (ходовые винты)
- Обеспечение передаточного отношения - повышение значения крутящего момента

Различные способы получения резьбы

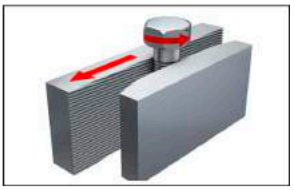
Литье под давлением



Нарезание

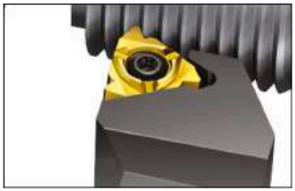


Накатывание



Методы обработки резьбы резанием

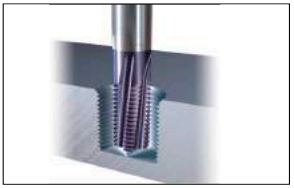
Точение резьбы



Нарезание резьбы метчиком



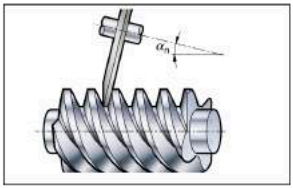
Фрезерование резьбы



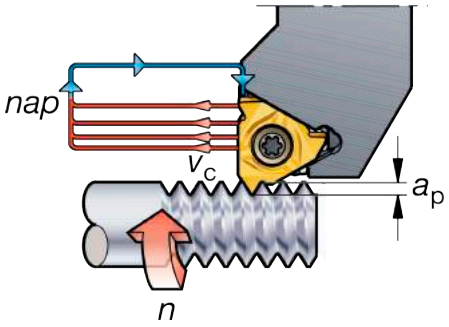
Вихревое резьбонарезание



Шлифование резьбы



Термины и определения

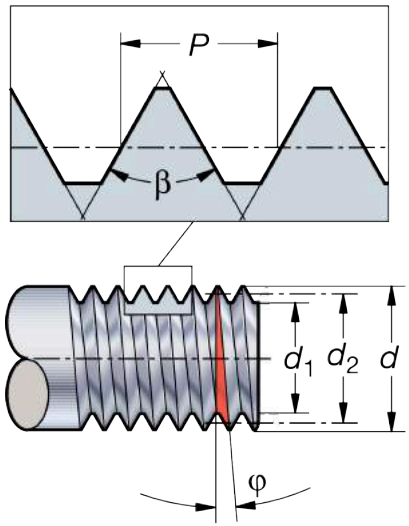


v_c = скорость резания, м/мин

n = частота вращения шпинделя, об/мин

a_p = общая глубина врезания, мм

nap = количество проходов



P = шаг резьбы в мм или нитках на дюйм (TPI)

β = угол профиля резьбы

d_1 = внутренний диаметр наружной резьбы

D_1 = внутренний диаметр внутренней резьбы

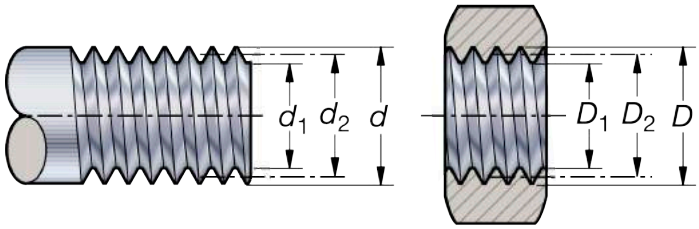
d_2 = средний диаметр наружной резьбы

D_2 = средний диаметр внутренней резьбы

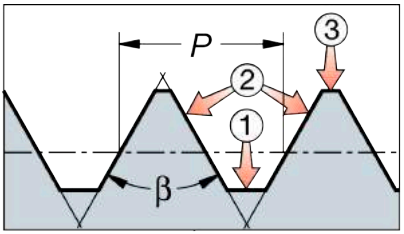
d = наружный диаметр наружной резьбы

D = наружный диаметр внутренней резьбы

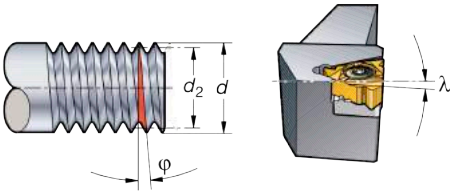
φ = угол подъема винтовой линии резьбы



Термины и определения



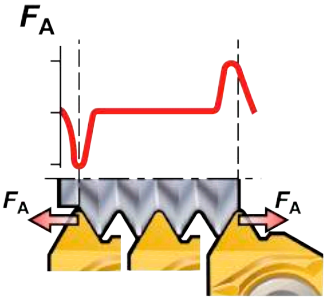
1. Впадина
   - Поверхность у основания, соединяющая две боковые стороны соседних зубьев
2. Боковая сторона
   - Поверхность резьбы, соединяющая вершину и впадину резьбы
3. Вершина
   - Поверхность, соединяющая две боковые стороны одного зуба



Угол наклона винтовой линии резьбы

- Угол наклона винтовой линии резьбы (φ) зависит от диаметра и шага (*P*) резьбы
- Боковой задний угол режущей пластины регулируется посредством замены опорных пластин
- Угол наклона режущей пластины (λ) обеспечивается опорной пластиной. Опорная пластина, поставляемая в комплекте с державкой, имеет угол наклона 1°

Силы резания

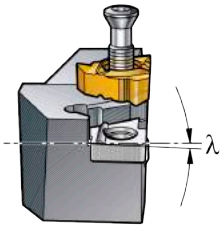


- Наибольшая осевая сила действует на режущую кромку в момент входа и выхода из резания
- Высокие режимы резания могут приводить к смещениям режущей кромки в случае недостаточно надежного закрепления пластины

Обеспечения бокового заднего угла

Выбор опорной пластины

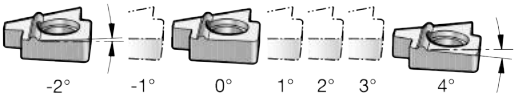
Угол наклона режущей пластины может корректироваться путем подбора опорных пластин. Выбирайте опорную пластину в зависимости от параметров резьбы согласно диаграмме в основном каталоге. В стандартном исполнении все державки поставляются с опорной пластиной, которая имеет угол наклона 1°.



Угол наклона

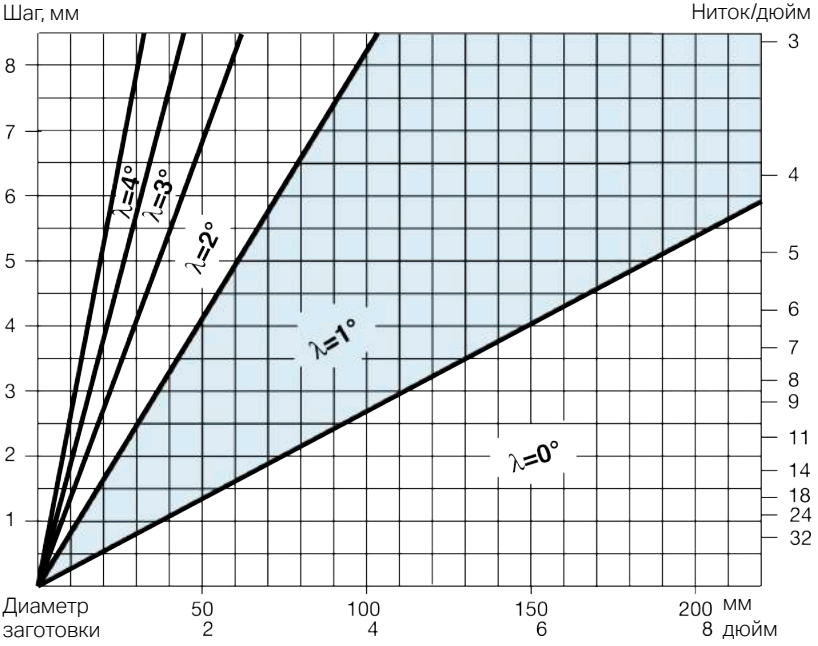
Примечание! Для выполнения некоторых операций резбонарезания необходима установка пластин с отрицательным углом наклона.

Стандартная опорная пластина = 1°



$$\tan \lambda = \frac{P * ns}{\pi \times d_2}$$

* ns = число заходов резьбы

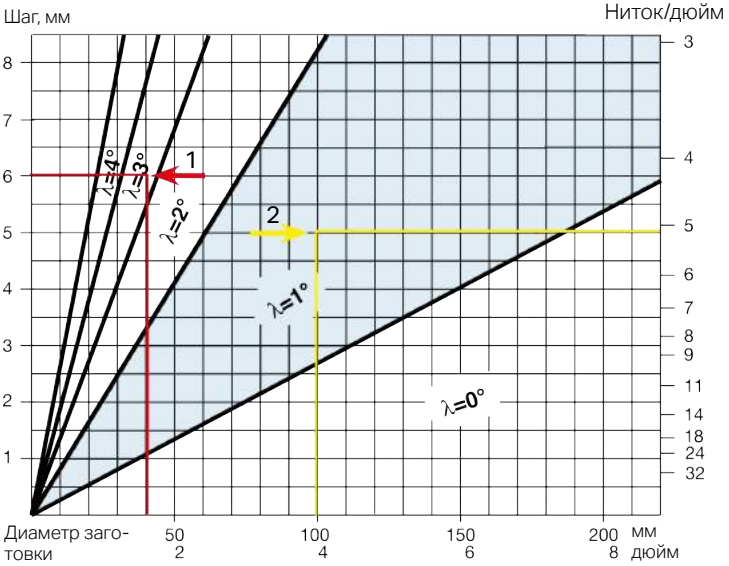


Выбор опорной пластины для обеспечения угла наклона

Диаметр и шаг резьбы определяют угол наклона пластины.

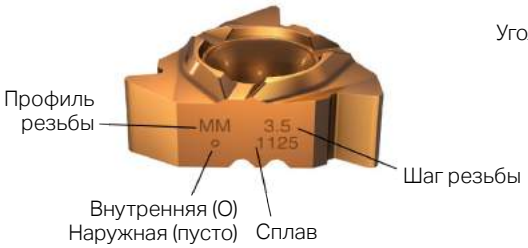
Пример использования диаграммы.

1. Диаметр заготовки равен 40 мм, шаг резьбы составляет 6 мм. По диаграмме определяем, что необходимая опорная пластина должна иметь угол наклона 3° (стандартную пластину использовать нельзя).
2. Диаметр заготовки равен 4", шаг резьбы составляет 5 ниток на дюйм. По диаграмме определяем, что необходимая опорная пластина должна иметь угол наклона 1° (можно использовать стандартную пластину).



Маркировка режущих и опорных пластин

Расшифровка маркировки



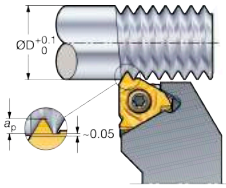


Процедура выбора инструмента

Процесс планирования производства

1 Анализ детали

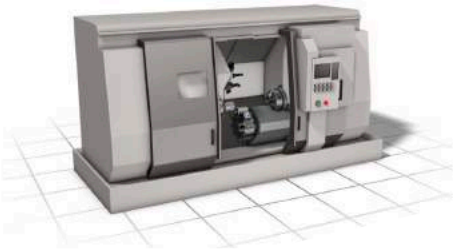
Параметры и качество резьбы



Материал заготовки, профиль резьбы и размер партии

2 Анализ оборудования

Параметры станка



3 Выбор инструмента

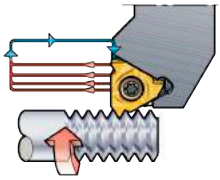
Тип инструмента:
- Многозубый
- Полный профиль
- V-профиль





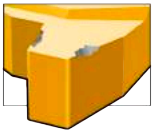
4 Способ применения

Режимы резания, метод врезания и т.д.



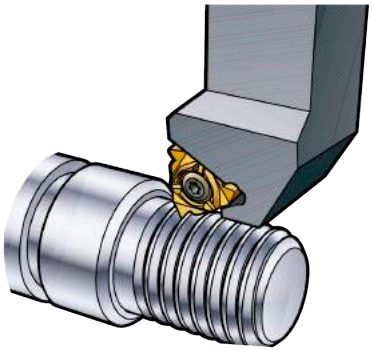
5 Способ применения

Проблемы и их решение





1. Деталь и материал заготовки



Деталь

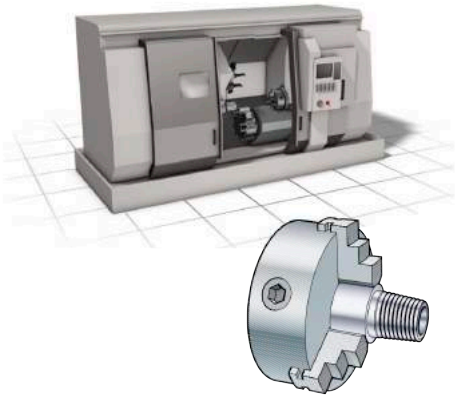
- Проанализируйте требования к размерам и качеству обрабатываемой резьбы
- Тип операции (наружная или внутренняя резьба)
- Правая или левая резьба
- Тип профиля (метрическая резьба, UN и т.д.)
- Шаг зубьев
- Число заходов резьбы
- Допуски (профиль, положение)



Материал заготовки

- Обрабатываемость
- Стружкодробление
- Твёрдость
- Легирующие элементы

2. Параметры станка



Состояние и настройки станка

- Интерфейс шпинделя
- Жёсткость станка
- Частота вращения шпинделя
- Подвод СОЖ
- Закрепление заготовки
- Мощность и крутящий момент
- Наличие встроенных циклов резьбонарезания
- Геометрическая проходимость и зазор между инструментом и заготовкой
- Вылет инструмента

3. Выбор инструмента

Варианты обработки резьбы

Многозубые пластины



Применение пластин полного профиля с несколькими вершинами сокращает количество проходов, что увеличивает производительность. Например, применение пластины с двумя вершинами вдвое сокращает количество проходов.

В данном случае силы резания увеличиваются пропорционально количеству зубьев, поэтому возрастают требования к жёсткости наладки и требуется уменьшение вылета инструмента. Кроме того, потребуется достаточное пространство для выхода инструмента.

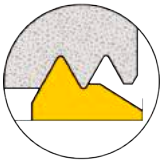
Преимущества

- Уменьшение количества проходов
- Высокая производительность

Недостатки

- Требуется жёсткая технологическая система
- Требуется достаточное пространство для выхода инструмента

Пластины полного профиля



Профиль резьбы полностью формируется пластиной, что обеспечивает высокую геометрическую точность профиля.

Каждому шагу резьбы соответствует своя режущая пластина.

Поскольку пластина создаёт как впадину, так и вершину профиля, инструмент подвергается высоким нагрузкам, что предъявляет повышенные требования к наладке и вылету инструмента.

Преимущества

- Упрощение контроля формы профиля резьбы
- Уменьшение задиров и заусенцев

Недостатки

- Для каждого шага и профиля резьбы необходима отдельная пластина

Пластины с V-профилем (неполным)



Одна пластина может нарезать резьбу с разными шагами, что позволяет сократить номенклатуру инструмента. Впадина и боковые стороны профиля формируются резьбовой пластиной. Образование вершины происходит на предыдущей операции точения с высокой точностью обработки.

Для снижения сил резания и уменьшения риска возникновения вибраций следует применять пластины с неполным профилем (V-профилем).

Преимущества

- Гибкость - одна пластина может использоваться для обработки резьб с разными шагами

Недостатки

- Возможность образования заусенцев, требующих последующего удаления

4. Способ применения

Параметры, которые необходимо учитывать



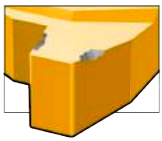
Метод врезания может оказывать существенное влияние на процесс обработки резьбы.

Он влияет на:
- контроль стружкообразования
- износ пластин
- качество резьбы
- стойкость инструмента

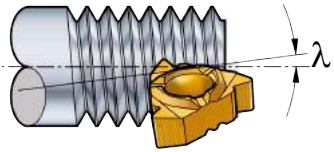
На практике выбор метода врезания зависит от станка, геометрии пластины, материала заготовки, шага резьбы.

5. Решение проблем

Параметры, которые необходимо учитывать







В случае возникновения проблем, связанных со стойкостью инструмента, контролем стружкообразования или качеством резьбы, следует обратить внимание на следующие параметры.

Метод врезания
- Оптимизируйте метод врезания (количество проходов и глубину врезания за проход)

Угол наклона пластины
- Убедитесь в том, что обеспечивается достаточный и равномерный задний угол (за счет опорной пластины)

Геометрия пластины
- Убедитесь в том, что используется подходящая геометрия режущей пластины (A, F или C)

Сплав пластины
- Выберите сплав в соответствии с обрабатываемым материалом и требованиями к прочности

Режимы резания
- При необходимости, измените скорость резания и количество проходов

Обзор систем

Точение наружной резьбы

1. Мелкоразмерное точение резьбы
2. Традиционное точение резьбы
3. Точение резьбы нефтяного сортамента



Точение внутренней резьбы



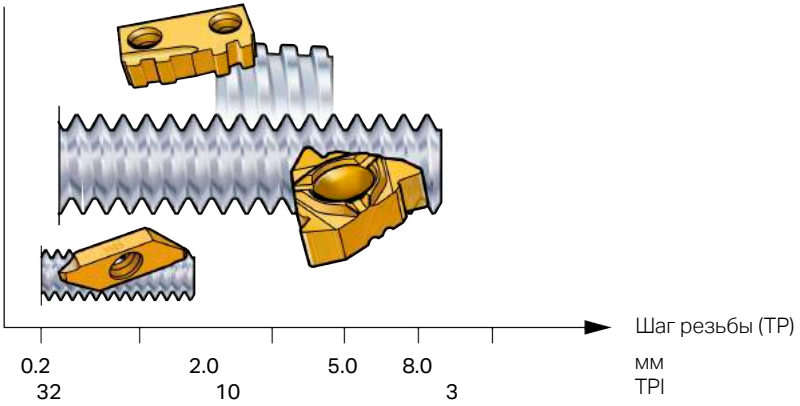
1. Твердосплавные вставки для точения резьбы
2. Сменные пластины с торцевым креплением для точения резьбы
3. Традиционная система нарезания резьбы
4. Нарезание резьбы нефтяного сортамента

*TPI = ниток на дюйм
*TP = шаг резьбы

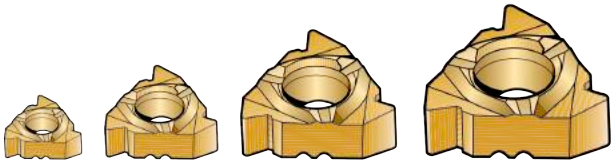
Точение наружной резьбы

Программа инструмента

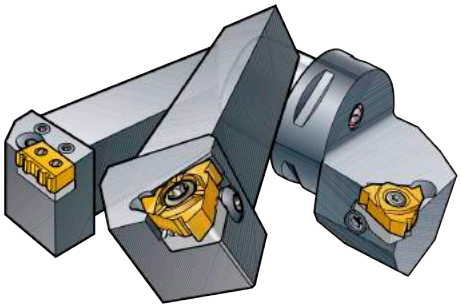
Пластины



- Четыре типоразмера пластин (L) / (IC): 11, 16, 22, 27 мм



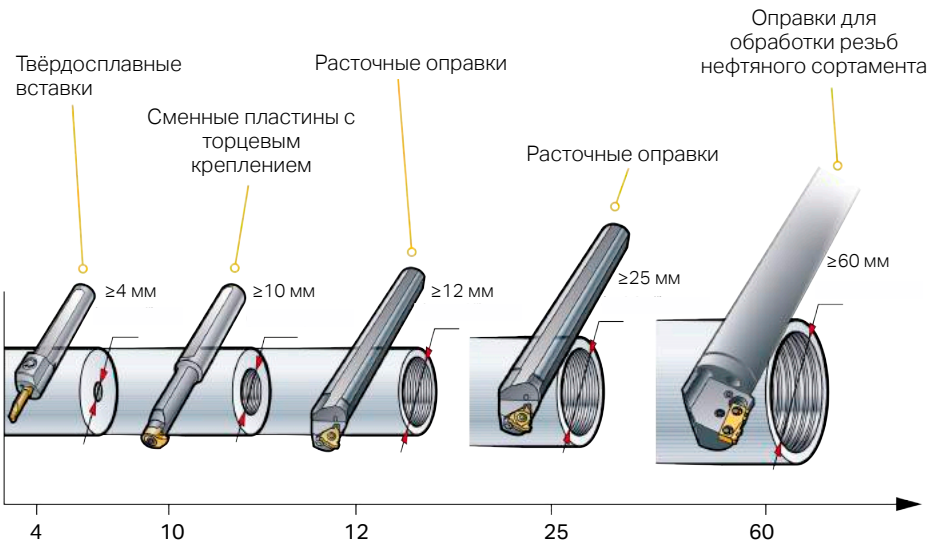
Державки



- Резцовые головки Coromant Capto®
- Державки QS
- Призматические державки
- Сменные резцовые головки
- Картриджи

Точение внутренней резьбы

Программа инструмента



Обработка высокоточных резьб в отверстиях малого диаметра

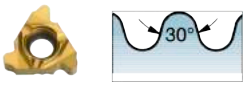
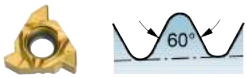
Твердосплавный инструмент (вставка)



Сменные пластины с торцевым креплением



Форма профиля резьбы

Область применения	Пластина/Форма профиля	Тип резьбы	Обозначение
Общего назначения		Метрическая ISO Дюймовая UN	MM UN
Трубная резьба		Whitworth, Британский стандарт (BSPT), NPT, NPTF, американская стандартная трубная резьба	WH, NT PT, NF
Пищевая промышленность и пожарное оборудование		Круглая DIN405	RN
Аэрокосмическая промышленность		MJ UNJ	MJ NJ
Нефтегазовая промышленность		API круглая API V-профиль 60°	RD V38, 40, 50
Нефтегазовая промышленность		Buttress, VAM	BU
Ходовые винты Общего назначения		Трапецеидальная ACME Stub ACME	TR AC SA

Резьбы общего назначения
- Хороший баланс между несущей способностью и прочностью профиля резьбы

Трубные резьбы
- Способность выдерживать большие нагрузки
- Герметичные соединения (часто применяется коническая резьба)

Резьбы для пищевой промышленности и пожарного оборудования
- Аналогичны трубной резьбе, но профиль резьбы круглый, для упрощения чистки и использования в пищевой промышленности
- Простое многократное использование для пожарной фурнитуры

Резьбы аэрокосмической промышленности
- Высокая точность и минимальный риск концентрации напряжений и поломки

Резьбы нефтегазовой промышленности
- Способность выдерживать высокие нагрузки даже в тонкостенных соединениях

Резьбы ходовых винтов
- Симметричная форма
- Большая поверхность контакта
- Прочный профиль

Типы пластин

Три типа резьбовых пластин





Пластины полного профиля

- Высокая производительность при нарезании резьбы





Пластины V-профиля (неполного) — 60° и 55°

- Нарезание резьбы при минимальной номенклатуре инструмента





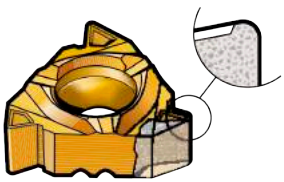
Многозубые пластины

- Высокопроизводительное экономичное точения резьбы в условиях массового производства

Три геометрии пластин

Геометрия A

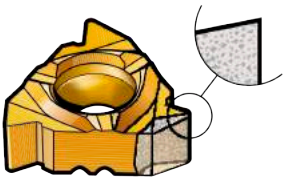
Первый выбор для большинства операций



Хорошее стружкообразование в широком диапазоне обрабатываемых материалов

Геометрия F

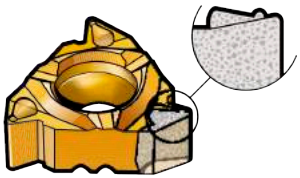
Острая режущая кромка



Хорошее качество поверхности при обработке вязких материалов и материалов, склонных к упрочнению

Геометрия C

Стружколомающая геометрия



Оптимизированная геометрия для обработки низкоуглеродистых, низколегированных и легкообрабатываемых нержавеющих сталей

Решения для резьбонарезания

iLock™
ingenious locking interface



- Сверхжёсткая система, исключающая микросмещения пластин в процессе обработки
- Режущая пластина базируется на выступ опорной пластины
- Винт прижимает режущую пластину к одной из сторон гнезда державки (контактные поверхности обозначены красным)
- Надёжное закрепление пластины обеспечивает высокую стойкость инструмента и высокое качество резьбы

Различные типы державок



Особенности применения

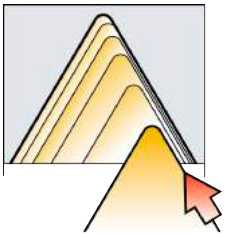
Три метода врезания

Метод врезания может оказывать существенное влияние на процесс обработки резьбы. Он влияет на:

- контроль стружкообразования
- износ пластин
- качество резьбы
- стойкость инструмента

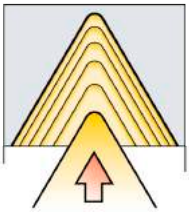
На практике выбор метода врезания зависит от станка, геометрии пластины, материала заготовки и шага резьбы.

Одностороннее боковое врезание



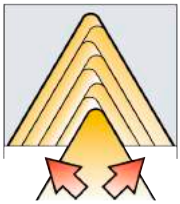
- Большинство станков с ЧПУ имеют встроенные циклы для обработки резьбы методом одностороннего бокового врезания
- Используйте геометрию C и метод бокового одностороннего врезания в случае неудовлетворительного стружкодробления при радиальном врезании
- Осевое направление силы резания снижает риск вибраций
- Контроль над направлением схода стружки
- Применяется с пластинами любой геометрии
- Геометрия C используется только для одностороннего бокового врезания

Радиальное врезание



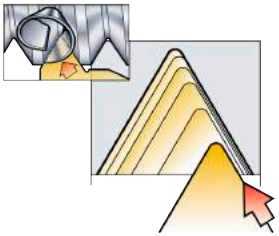
- Используется на универсальных станках и на большинстве станков с ЧПУ
- Первый выбор для обработки материалов, склонных к упрочнению в процессе резания, а также для нарезания резьбы с мелким шагом

Двухстороннее боковое врезание



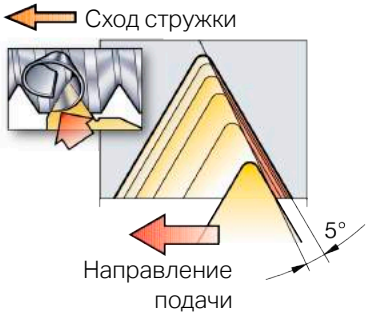
- Рекомендуется для обработки резьб с крупными профилем и шагом, при длительных рабочих циклах обработки резьбы, когда требуется высокая стойкость инструмента
- Требует специального программирования

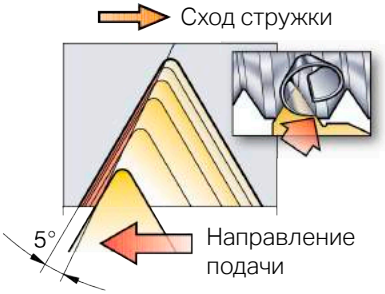
Одностороннее боковое врезание



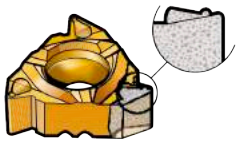
- Большинство станков с ЧПУ имеют циклы резьбонарезания с врезанием данного типа
- Форма стружки приближена к форме стружки при обычном точении — стабильный отвод из зоны резания
- Осевое направление силы резания снижает риск вибраций
- Стружка большей толщины, но в основном имеет контакт только с одной гранью пластины
- Меньше нагрев пластины
- Первый выбор для большинства операций резьбонарезания

Направление врезания



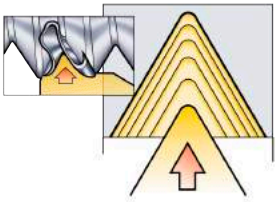


Пластина с геометрией C



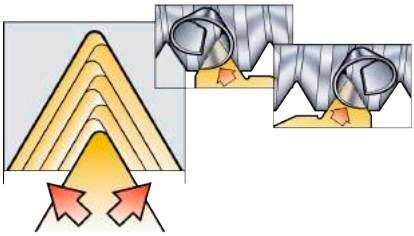
- Улучшенный контроль над стружкообразованием
- Высокое качество поверхности резьбы
- Единственно возможный метод врезания для геометрии C — это одностороннее боковое врезание

Радиальное врезание



- Наиболее часто используемый метод и единственно возможный для старых станков без ЧПУ
- Образует жёсткую V-образную стружку
- Равномерный износ режущих кромок пластины
- Вершина пластины испытывает сильный нагрев, что, в свою очередь, ограничивает глубину резания
- Подходит для обработки резьб с мелким шагом
- Возможны вибрации и плохое качество поверхности при обработке резьбы с крупным шагом
- Первый выбор для обработки материалов, склонных к упрочнению в процессе резания

Двухстороннее боковое врезание

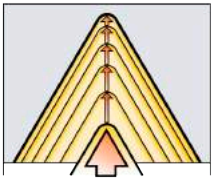


- Рекомендуется для резьб с крупным профилем
- Равномерный износ режущих кромок и высокая стойкость инструмента при обработке очень крупных резьб
- Направление схода стружки изменяется на противоположное при каждом проходе, что затрудняет контроль

Методы программирования

Пути оптимизации процесса обработки

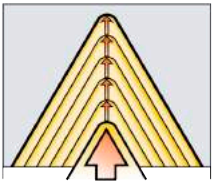
Постепенное уменьшение глубины резания (постоянная площадь сечения стружки)



Данный метод позволяет получить стружку с постоянной площадью сечения. Наиболее распространенный метод программирования.

- Наибольшая глубина резания при первом проходе
- Соответствует рекомендациям, указанным в каталоге
- Сбалансированная площадь сечения стружки
- Глубина последнего прохода примерно 0,07 мм

Постоянная глубина резания



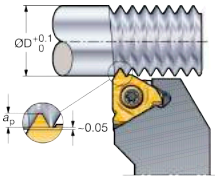
Каждый проход выполняется с постоянной глубиной резания, независимо от количества проходов.

- Высокая нагрузка на пластину
- Хороший контроль стружкообразования
- Не рекомендуется для обработки резьб с шагом более 1,5 мм или 16 ниток на дюйм

Точение резьбы пластинами полного профиля

Пластина удаляет весь припуск/материал при формировании резьбы

Для большинства пластин предварительная обработка ведётся с припуском 0,03–0,07 для последующего формирования вершины профиля.



- При обработке резьбы пластинами полного профиля нет необходимости обрабатывать поверхность под резьбу в окончательный размер
- Оставляйте небольшой припуск на диаметр (0,06 – 0,14 мм) для формирования полного профиля резьбы

Рекомендации по глубине резания

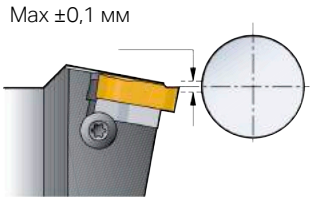
Число проходов и глубина врезания за проход

ISO метрическая и дюймовая, наружная

Номер прохода *(nap)*	Шаг, мм ← Снижение скорости резания														
	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
	Радиальное врезание за проход, мм														
1	0.11	0.17	0.19	0.20	0.22	0.22	0.25	0.27	0.28	0.34	0.34	0.37	0.41	0.43	0.46
2	0.09	0.15	0.16	0.17	0.21	0.21	0.24	0.24	0.26	0.31	0.32	0.34	0.39	0.40	0.43
3	0.07	0.11	0.13	0.14	0.17	0.17	0.18	0.20	0.21	0.25	0.25	0.28	0.32	0.32	0.35
4	0.07	0.07	0.11	0.11	0.14	0.14	0.16	0.17	0.18	0.21	0.22	0.24	0.27	0.27	0.30
5	0.34	0.50	0.08	0.10	0.12	0.12	0.14	0.15	0.16	0.18	0.19	0.22	0.24	0.24	0.27
6			0.67	0.08	0.08	0.10	0.12	0.13	0.14	0.17	0.17	0.20	0.22	0.22	0.24
7				0.80	0.94	0.10	0.11	0.12	0.13	0.15	0.16	0.18	0.20	0.20	0.22
8						0.08	0.08	0.11	0.12	0.14	0.15	0.17	0.19	0.19	0.21
9						1.14	1.28	0.11	0.12	0.14	0.14	0.16	0.18	0.18	0.20
10								0.08	0.11	0.12	0.13	0.15	0.17	0.17	0.19
11								1.58	0.10	0.11	0.12	0.14	0.16	0.16	0.18
12									0.08	0.08	0.12	0.13	0.15	0.15	0.16
13									1.89	2.20	0.11	0.12	0.12	0.13	0.15
14											0.08	0.10	0.10	0.13	0.14
14											2.50	2.80	3.12	0.12	0.12
16														0.10	0.10
														3.41	3.72

Номер прохода *(nap)*	Шаг, TPI																	
	32	28	24	20	18	16	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4.5	4
	Радиальное врезание за проход,																	
1	.007	.006	.007	.007	.008	.007	.007	.008	.009	.008	.008	.008	.009	.010	.009	.012	.011	.013
2	.006	.005	.006	.007	.007	.007	.007	.007	.008	.008	.008	.008	.008	.009	.009	.011	.011	.012
3	.005	.005	.006	.006	.007	.007	.007	.007	.008	.008	.008	.008	.008	.009	.009	.011	.011	.012
4	.003	.004	.005	.006	.006	.006	.006	.007	.007	.007	.007	.007	.008	.009	.009	.011	.010	.012
5		.003	.003	.005	.005	.006	.006	.006	.007	.007	.008	.007	.007	.008	.008	.010	.010	.011
6				.003	.003	.005	.005	.006	.006	.006	.006	.007	.007	.008	.008	.010	.010	.011
7						.003	.005	.005	.005	.006	.006	.006	.007	.008	.008	.010	.010	.011
8							.003	.003	.003	.005	.006	.006	.006	.007	.008	.009	.009	.010
9										.003	.005	.005	.006	.007	.007	.009	.009	.010
10											.003	.005	.005	.006	.007	.008	.008	.010
11												.003	.005	.005	.007	.008	.008	.009
12													.003	.003	.006	.007	.008	.008
13															.005	.006	.007	.008
14															.004	.004	.007	.007
14																	.006	.006
16																	.004	.004
																	3.72	3.72

Позиционирование инструмента



Отклонение от высоты центров не более ±0,1 мм.

Режущая кромка выше оси центров

- Уменьшение заднего угла
- Затирание или поломка режущей кромки

Режущая кромка ниже оси центров

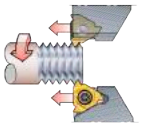
- Погрешность профиля резьбы

Методы точения резьбы

Пластины и резьбы правого и левого исполнения

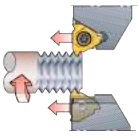
Наружная

Правая резьба

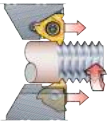


Правое исполнение державки/пластины

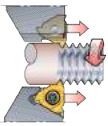
Левая резьба



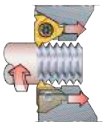
Левое исполнение державки/пластины



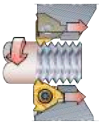
Правое исполнение державки/пластины



Левое исполнение державки/пластины



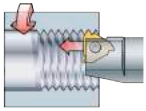
Левое исполнение державки/пластины



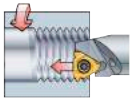
Правое исполнение державки/пластины

Внутренняя

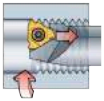
Правая резьба



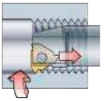
Правое исполнение державки/пластины



Правое исполнение державки/пластины

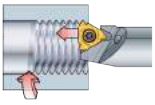


Левое исполнение державки/пластины

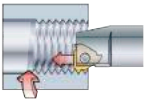


Левое исполнение державки/пластины

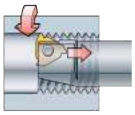
Левая резьба



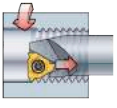
Левое исполнение державки/пластины



Левое исполнение державки/пластины



Правое исполнение державки/пластины



Правое исполнение державки/пластины

Применяется опорная пластина с отрицательным углом наклона

Рекомендации по точению резьбы

Важные факторы успешного резьбонарезания

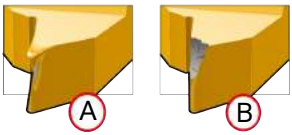
- Проверьте наличие дополнительного припуска на диаметр заготовки 0,1– 0,14 мм для формирования полного профиля резьбы
- Точно установите инструмент в станке
- Проверьте расположение режущей кромки в соответствии со средним диаметром резьбы
- Убедитесь в правильном выборе геометрии пластины (A, F или C)
- Убедитесь в том, что обеспечивается достаточный и равномерный задний угол и получите правильный боковой задний угол с помощью соответствующей опорной пластины
- В случае получения бракованной резьбы убедитесь в правильности настройки станка
- Проверьте программу ЧПУ для точения резьбы
- Оптимизируйте метод врезания, количество и глубину проходов
- Обеспечьте скорость резания, требуемую для конкретной операции
- В случае погрешности шага резьбы, проверьте правильность программирования цикла резьбонарезания
- Обеспечьте дополнительное расстояние до начальной точки резьбы (примерно три шага резьбы)
- Высокоточная подача СОЖ улучшает контроль над стружкодроблением и повышает стойкость инструмента
- Быстросменная система позволяет быстро и легко выполнить настройку инструмента
- Для достижения наилучшей производительности и стойкости инструмента первым выбором является многозубая пластина, вторым – однозубая полного профиля и третьим – пластина с V-профилем (неполным)



Решение проблем

Проблема	Причины	Решение

Пластическая деформация

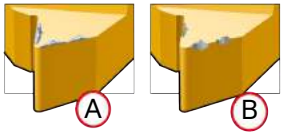


(A) Возникает пластическая деформация,
(B) что приводит к выкрашиванию кромки.

1. Повышенная температура в зоне резания
2. Недостаточный подвод СОЖ
3. Неподходящий сплав

1. Уменьшите скорость резания, увеличьте количество проходов.
   Уменьшите глубину первого прохода, проверьте диаметр заготовки
2. Увеличьте подачу СОЖ
3. Выберите сплав, более стойкий к пластической деформации

Наростообразование (BUE)

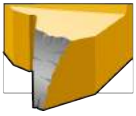


Образование нароста (A) и выкрашивание кромки (B) часто сопутствуют друг другу. Нарост отрывается вместе с небольшими кусочками материала пластины, что вызывает выкрашивание.

1. Характерно для обработки нержавеющей и низкоуглеродистой стали
2. Неподходящий сплав или слишком низкая температура в зоне резания

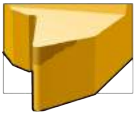
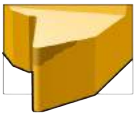
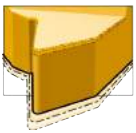
1. Увеличьте скорость резания
2. Выберите более прочную пластину, предпочтительно с покрытием PVD

Поломка режущей пластины



1. Неправильная величина предварительно обработанного диаметра под резьбу
2. Чрезмерно высокая нагрузка на режущую кромку
3. Неподходящий сплав
4. Неудовлетворительный контроль над стружкообразованием
5. Некорректное положение кромки по высоте центров

1. Обработайте диаметр под резьбу с припуском 0,03–0,07 мм относительно наружного диаметра резьбы
2. Увеличьте количество проходов.
   Уменьшите глубину максимального врезания
3. Выберите более прочный сплав
4. Используйте пластину с геометрией C и одностороннее боковое врезание
5. Скорректируйте режущую кромку по высоте центров

Проблема	Причины	Решение
Интенсивный износ по задней поверхности		
	1. Очень абразивный материал заготовки 2. Слишком высокая скорость резания 3. Слишком малая глубина врезания 4. Режущая кромка выше оси центров	1. Неподходящий сплав. Выберите более износостойкий сплав 2. Уменьшите скорость резания 3. Уменьшите количество проходов 4. Установите пластину точно по высоте центров
Неравномерный износ по задней поверхности		
  Низкое качество обработки одной из боковых поверхностей резьбы	1. Неподходящий метод врезания 2. Угол наклона пластины не соответствует углу подъема винтовой линии резьбы	1. Измените метод врезания. Для геометрии F и A рекомендуется угол 3–5°, для геометрии C — 1°. 2. Замените опорную пластину для получения нужного угла наклона режущей пластины
Вибрация		
	1. Недостаточно жёсткое закрепление заготовки 2. Неправильная настройка инструмента 3. Некорректные режимы резания 4. Неправильная установка по высоте центров	1. Используйте кулачки из более мягкого материала 2. При использовании задней бабки, оптимально расположите центровочное отверстие детали и проверьте давление зажима и поджима задним центром Уменьшите вылет инструмента до минимума Убедитесь, что не изношена втулка для закрепления расточной оправки Используйте антивибрационные оправки 570-3 3. Увеличьте скорость резания, и если это не поможет, то значительно снизьте скорость и попробуйте геометрию F 4. Установите кромку точно по высоте центров

Проблема	Причины	Решение
Низкое качество обработанной поверхности		
	1. Слишком низкая скорость резания 2. Режущая кромка установлена выше оси центров 3. Плохой контроль стружкообразования	1. Увеличьте скорость резания 2. Установите кромку точно по высоте центров 3. Используйте геометрию C и метод одностороннего бокового врезания
Плохой контроль над стружкообразованием		
	1. Неподходящий метод врезания 2. Неверная геометрия пластины	1. Используйте одностороннее боковое врезание 3–5° 2. Используйте геометрию C и одностороннее боковое врезание 1°
Занижен профиль резьбы		
	1. Неправильное положение кромки по высоте центров 2. Поломка пластины. Чрезмерный износ	1. Установите кромку точно по высоте центров 2. Смените режущую кромку
Неправильный профиль резьбы		
	1. Непригодный профиль пластины (угол профиля резьбы и радиус при вершине), пластины для наружной резьбы используются для изготовления внутренней и наоборот 2. Неправильное положение кромки по высоте центров 3. Державка расположена не перпендикулярно оси заготовки 4. Погрешность станка по шагу	1. Выберите державку, режущую и опорную пластины в соответствии с нарезаемой резьбой 2. Установите кромку точно по высоте центров 3. Установите державку строго под углом 90° к оси заготовки 4. Исправить ошибку в управляющей программе
Разрушение режущих кромок		
	1. Слишком маленькая глубина резания при обработке материалов, склонных к упрочнению 2. Чрезмерная нагрузка на режущую кромку, вызывающая выкрашивание 3. Недостаточный угол профиля резьбовой пластины	1. Уменьшите количество проходов. Выберите пластину с геометрией F 2. Выберите более прочный сплав 3. Используйте одностороннее боковое врезание

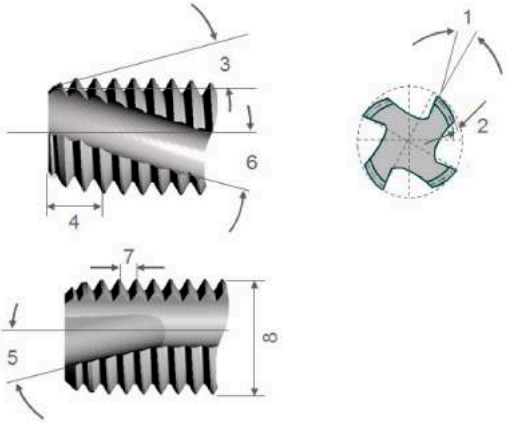


Нарезание резьбы метчиком

- Теория С 29
- Процесс нарезания резьбы метчиком С 30
- Размеры и допуски отверстий С 33
- СОЖ С 34
- Инструментальная оснастка С 35

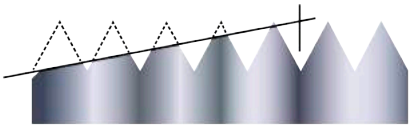
Теория нарезания резьбы метчиком

Термины и определения



1. Передний угол
2. Задний угол (затыловка)
3. Угол режущей части
4. Длина режущей части
5. Угол спиральной подточки
6. Угол подъема стружечной канавки
7. Шаг
8. Наружный диаметр

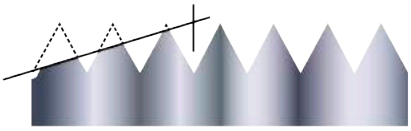
Длинная режущая часть



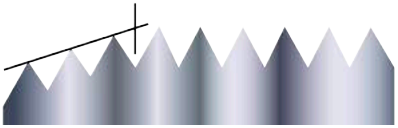
- Высокий крутящий момент
- Наилучшее качество обработанной поверхности
- Тонкая стружка
- Низкое давление на режущую часть
- Высокая стойкость инструмента
- Наиболее распространенный вариант для метчиков со спиральной подточкой

Режущая часть средней длины

Метчик

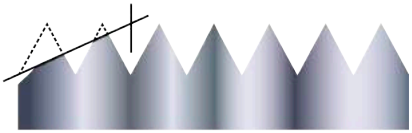


Метчик-раскатник

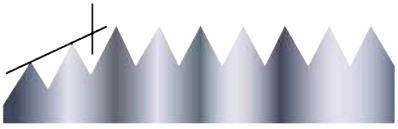


Короткая режущая часть

Метчик



Метчик-раскатник



Различные стандарты



- ISO
- ANSI

Метчики стандартов ISO и ANSI обладают достаточно небольшой общей длиной (OAL) и очень похожи между собой, за исключением диаметра хвостовика, который выражается в дюймах для стандарта ANSI и в мм для ISO.



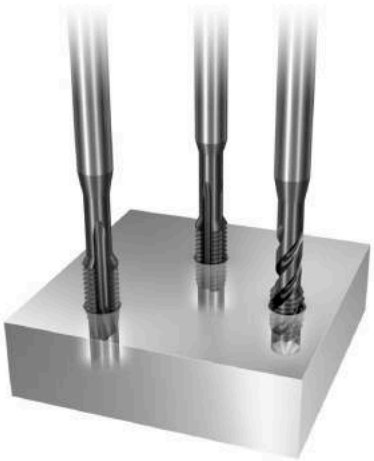
- DIN
- DIN/ANSI

Метчики DIN имеют длинное исполнение с метрическим хвостовиком и большим значением OAL. Стандарт DIN/ANSI – это сочетание двух стандартов с хвостовиком по ANSI и величиной OAL по DIN

Процесс нарезания резьбы метчиком

Различные способы нарезания резьбы метчиком





Геометрии для нарезания резьбы в отверстиях разных типов

Метчик со спиральной подточкой для сквозных отверстий



- Самая прочная конструкция
- Подходит для тяжёлых условий обработки
- Выталкивает стружку вперед через отверстие
- Предназначен для нарезания резьбы в сквозных отверстиях

Метчик со спиральными стружечными канавками для глухих отверстий



- Наиболее распространенный тип метчика
- Выводит стружку вверх вдоль хвостовика
- Предназначен для нарезания резьбы в глухих отверстиях

Метчик с прямыми стружечными канавками для любых отверстий



- Для обработки материалов, дающих короткую стружку, в частности чугуна
- Часто используется в автомобильной промышленности, например при производстве насосов и клапанов
- Может использоваться для обработки резьбы в отверстиях любых типов и любой глубины

Метчик-раскатник — бесстружечное решение



- Бесстружечное решение
- Для обработки резьбы в мягкой стали, нержавеющей стали и алюминии
- Может использоваться для обработки резьбы в отверстиях любых типов и любой глубины
- Увеличивает прочность резьбы в некоторых материалах, например алюминии

Процессы раскатывания и нарезания

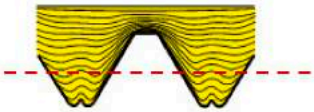


Метчик-раскатник

Резьба образуется путем деформации материала.

Стружка не образуется.





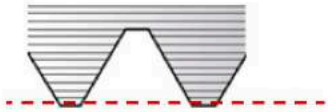


Метчик

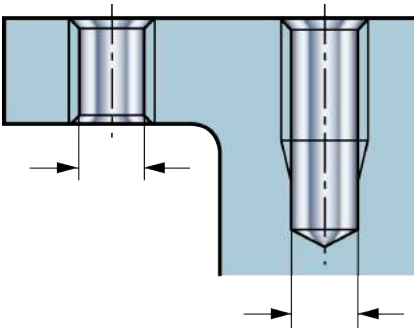
Метчик срезает материал.

Образуется стружка.





Размеры и допуски отверстий



Расчет диаметра предварительного отверстия для метчика

D = TD - TP

D = диаметр отверстия (мм)

TD = номинальный диаметр резьбы (мм)

TP = шаг резьбы (мм)

Размер отверстия для метчика M10 x 1,5 = 8,5 мм
(8,5 = 10 - 1,5)

Расчет диаметра предварительного отверстия для метчика-раскатника

D = TD - (TP/2)

D = диаметр отверстия (мм)

TD = номинальный диаметр резьбы (мм)

TP = шаг резьбы (мм)

Размер сверла для метчика-раскатника M10 x 1,5 = 9,25
(9,25 = 10 - 1,5/2)

СОЖ

Факторы успешной обработки



Подвод СОЖ является важным аспектом нарезания резьбы метчиком и влияет на следующее:

- Эвакуация стружки
- Качество резьбы
- Стойкость инструмента

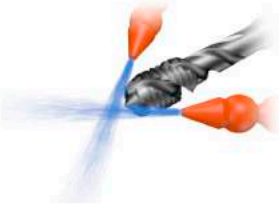
Подвод СОЖ

Внутренний подвод СОЖ



- Всегда рекомендуется для лучшей эвакуации стружки, особенно при нарезании резьбы на деталях из длинностружечных материалов или в глубоких отверстиях (2-3 x D)
- Предпочтителен в случае, когда глубина отверстия более чем в 3 раза превышает диаметр

Наружный подвод СОЖ



- Наиболее распространенный способ подачи СОЖ
- Может использоваться при хорошем стружкообразовании
- Для улучшения эвакуации стружки по крайней мере одно сопло (два при стационарном инструменте) должно быть направлено как можно ближе к оси инструмента

Различные СОЖ/ эмульсия

Три основных вида

- На основе минерального масла
- Синтетическая СОЖ
- Минеральное масло без присадок

Дополнительные виды

- На основе растительного масла
- Полусинтетические СОЖ

Всегда учитывайте

- Тип используемой в станке СОЖ
- Состав масла

Резьбовые патроны

Обзор

Резьбовой патрон с прорезиненной цангой

Имеет возможность осевой компенсации для обеспечения надлежащей обработки резьбы. Часто используется на станках с ручным управлением и небольших токарных станках.



Coromant Capto®

Преимущества и рекомендации

- Прорезиненные цанги допускают широкий диапазон закрепляемых диаметров
- Патрон с осевой компенсацией

Резьбовой цанговый патрон ER

Жёсткие патроны без осевой компенсации. Это означает, что вращение шпинделя и осевое перемещение должны быть точно синхронизированы. Для этого требуется более сложный контроллер ЧПУ.



Жёсткое нарезание резьбы с помощью цангового патрона ER

Преимущества и рекомендации

- Высокая производительность за счет жёсткого резьбового патрона
- Меньшая стоимость оснастки (жёсткие патроны стоят меньше, чем патроны с компенсацией)
- Более компактные и надёжные, чем патроны с компенсацией
- Более высокая точность резьбы

Внимание! Повышенные усилия, действующие на метчик, приводят к сокращению стойкости инструмента. Не рекомендуется отводить метчик на большой скорости, снижайте частоту вращения до 6000 об/мин.

Быстросменный резьбовой патрон

Первый выбор для стандартных операций нарезания резьбы метчиком. Мелкосерийное производство с широкой номенклатурой деталей. Преимущественно для старых нежёстких станков.

Преимущества и рекомендации

- Легкое закрепление метчиков за счет быстросменной системы
- Патрон с осевой компенсацией
- Используется с быстросменными адаптерами для метчиков с предохранительной муфтой или без предохранительной муфты



Coromant Capto®



С конусом HSK



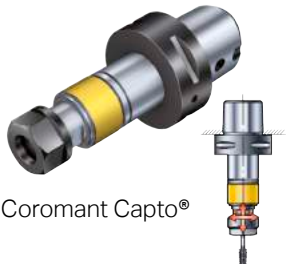
С хвостовиком Weldon

Резьбовой патрон с синхронизацией

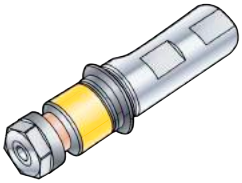
Жёсткий резьбовой патрон с микрокомпенсацией для исключения вероятности обработки резьбы большего диаметра. Первый выбор для станков с ЧПУ и синхронизированных операций резьбонарезания.

Преимущества и рекомендации

- Для крупносерийного производства и высокой точности резьбонарезания
- Снижение нагрузки на заднюю поверхность зуба метчика
- Отсутствие компенсации способствует увеличению точности глубины резьбонарезания
- Возможность подачи СОЖ под высоким давлением



Coromant Capto®



С креплением Weldon



Цельный с конусом MAS-BT



Фрезерование

Фрезерование представляет собой обработку вращающимся многокромочным инструментом, перемещающимся по заданному циклу или программе.

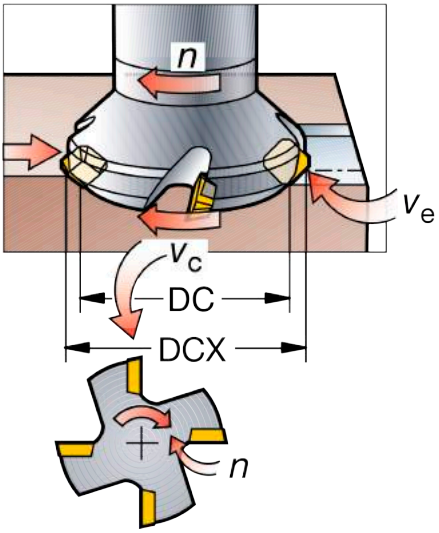
Фрезерование в основном применяется для обработки плоскостей, но с развитием станков и программного обеспечения повышается возможность получать другие формы и поверхности.

- Теория D 4
- Процедура выбора инструмента D 9
- Обзор систем D 13
- Выбор пластин и особенности применения D 24
- Выбор инструмента и особенности применения D 29
- Решение проблем D 36

Теория фрезерования

Термины и определения

Частота вращения шпинделя, скорость резания и диаметр фрезы



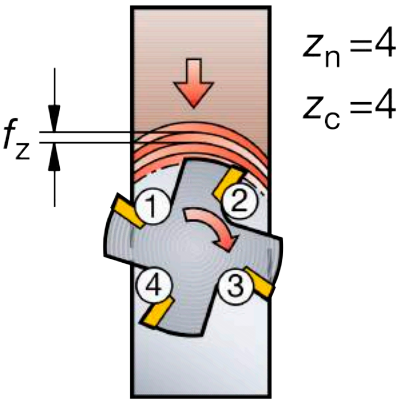
n = частота вращения шпинделя, об/мин
v_c = скорость резания, м/мин
v_e = эффективная скорость резания, м/мин
DC = диаметр фрезы, мм
DCX = максимальный диаметр резания, мм

Частота вращения шпинделя (n, об/мин) - это число оборотов фрезерного инструмента, закрепленного в шпинделе, совершаемое за минуту.

Скорость резания (v_c, м/мин) - окружная скорость перемещения режущих кромок фрезы в процессе обработки.

Диаметр фрезы (DC), который указан в каталоге, и эффективный диаметр резания (DCX) на определенной глубине резания используются для расчета скоростей резания v_c или v_e.

Подача на зуб, число зубьев и частота вращения шпинделя



f_z = подача на зуб, мм/зуб
v_f = минутная подача, мм/мин
z_n = число зубьев фрезы, шт
z_c = эффективное число зубьев, шт
f_n = подача на оборот, мм/об [$f_z \times z_c$]
n = частота вращения шпинделя, об/мин

$$v_f = f_z \times z_c \times n \quad \text{мм/мин}$$

Подача на зуб (f_z, мм/зуб) используется для расчета минутной подачи при фрезеровании. Значение подачи на зуб определяется исходя из рекомендованных значений максимальной толщины стружки.

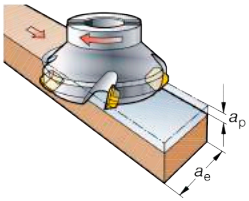
Скорость подачи (v_f, мм/мин) или минутная подача — это скорость движения инструмента относительно заготовки, измеряемая в пройденном пути за единицу времени. Зависит от подачи на зуб и числа зубьев фрезы.

Число зубьев фрезы (z_n) может превышать эффективное число зубьев (z_c), то есть количество зубьев в резании. Для определения минутной подачи используется эффективное число зубьев фрезы.

Подача на оборот (f_n, об/мин) используется для расчета минутной подачи и, зачастую, является определяющим параметром в отношении чистовой обработки.

Термины и определения

Глубина резания



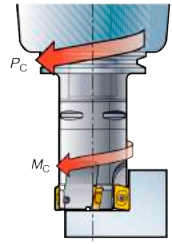
a_e = ширина фрезерования, мм

a_p = глубина резания, мм

Глубина резания (a_p мм), показывает, сколько материала удаляется с заготовки торцем фрезы. Это расстояние между обработанной и необработанной поверхностями, измеряемое вдоль оси фрезы.

Ширина фрезерования (a_e мм) - это величина срезаемого припуска, измеряемая в радиальном направлении. Это длина сечения удаляемого слоя материала.

Потребляемая мощность, крутящий момент и удельная сила резания



a_p = глубина резания, мм
a_e = ширина фрезерования, мм
v_f = минутная подача, мм/мин
k_c = удельная сила резания, Н/мм^2
P_C = потребляемая мощность, кВт
M_C = крутящий момент, Нм

Потребляемая мощность (P_C) — это мощность, которую должен сообщать станок режущей кромке для осуществления процесса резания. При выборе и назначении режимов резания необходимо учитывать КПД станка.

Крутящий момент (M_C) — это внутреннее усилие, возникающее в процессе резания под действием внешних нагрузок на инструмент.

Удельная сила резания (k_{c1}) — величина, характеризующая обрабатываемый материал с точки зрения затрат мощности на резание и толщины стружки, измеряется в Н/мм^2. Значения этой величины указаны в основном каталоге и техническом руководстве.

Метрическая система

$$P_C = \frac{a_p \times a_e \times v_f \times k_c}{60 \times 10^6} \text{ кВт}$$

Дюйовая система

$$P_C = \frac{a_p \times a_e \times v_f \times k_c}{396 \times 10^3} \text{ л.с.}$$

Метрическая система

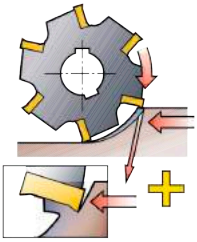
$$M_C = \frac{P_C \times 30 \times 10^3}{\pi \times n} \text{ Нм}$$

Дюймовая система

$$M_C = \frac{P_C \times 16501}{\pi \times n} \text{ фунт-сила-фут}$$

Попутное и встречное фрезерование

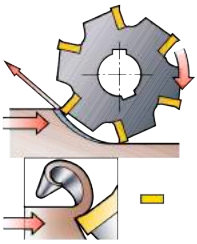
Попутное фрезерование – предпочтительный метод



При попутном фрезеровании скорость резания и движение подачи сонаправлены. В этом случае снижается эффект затирания и, как следствие, обеспечивается меньший нагрев инструмента и минимальное упрочнение материала.

- При попутном фрезеровании толщина стружки при входе зуба в резание максимальна

Встречное фрезерование



При встречном фрезеровании скорость резания и движение подачи заготовки направлены в противоположные стороны

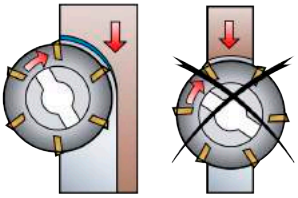
- При встречном фрезеровании в момент врезания толщина стружки равна нулю, а на выходе из резания — максимальна

Всегда используйте попутное фрезерование для обеспечения лучших условий резания

Диаметр и положение фрезы

Выбор диаметра фрезы обычно делается на основе ширины заготовки с учетом мощности, необходимой для осуществления процесса обработки.

Положение фрезы относительно заготовки и число зубьев в резании — ключевые факторы успешного выполнения операции.

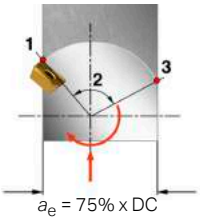


- Диаметр инструмента должен быть на 20–50% больше ширины фрезерования
- Правило 2/3 (например, для фрезы 160 мм)
  - 2/3 перекрытие (100 мм)
  - 1/3 вне резания (50 мм)
- При обработке инструмент следует располагать со смещением относительно оси симметрии детали для оптимизации направления действия сил резания

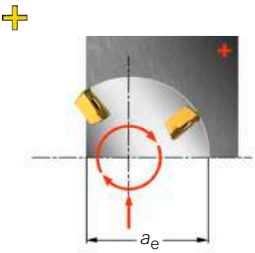
Образование стружки в зависимости от положения фрезы

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

1. Вход в резание
2. Резание по дуге контакта
3. Выход из резания

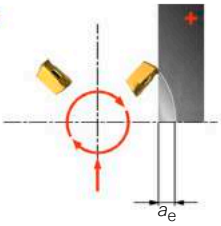


DC = диаметр фрезы
a_e = ширина фрезерования



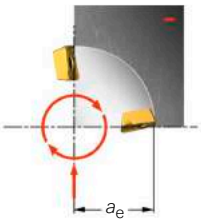
Ось вращения фрезы находится внутри заготовки, a_e >75% от DC.

- Наиболее благоприятные условия резания и эффективное использование диаметра фрезы
- При врезании точка первого контакта удалена от вершины пластины
- Постепенный выход из резания



Ось вращения фрезы находится вне заготовки, a_e <25% от DC

- Положительный угол входа кромки в резание
- При врезании точка первого контакта находится на вершине пластины, и инструмент нагружается постепенно



Ось вращения фрезы совпадает с краем детали, a_e = 50% от DC..

- Не рекомендуется
- Высока вероятность поломки режущей кромки при входе в резание

= Рекомендованное положение фрезы

= Нерекомендованное положение фрезы

Процедура выбора инструмента

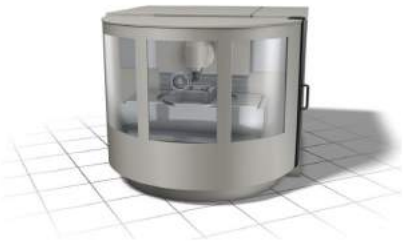
Процесс планирования производства

1 Анализ детали

Тип операции и метод обработки



Материал заготовки и размер партии



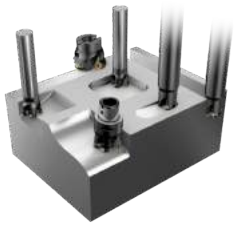
2 Анализ оборудования

Параметры станка



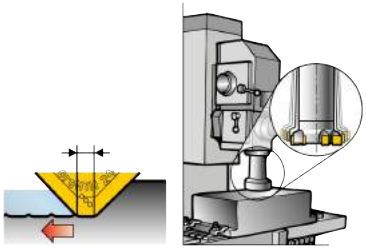
3 Выбор инструмента

Выбор типа фрезы



4 Способ применения

Режимы резания, стратегия обработки и т.д.



5 Решение проблем

Проблемы и их решение

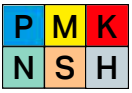
1. Деталь и материал заготовки

Параметры, которые необходимо учитывать



Геометрическая форма

- Плоская поверхность
- Глубокие впадины
- Тонкие стенки/основания
- Пазы



Материал

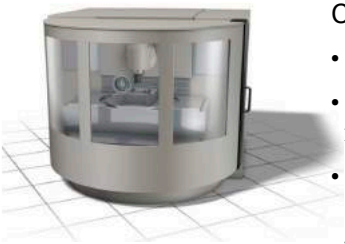
- Обрабатываемость
- Отливка или предварительно обработанная деталь
- Стружкообразование
- Твёрдость
- Легирующие элементы

Точность/качество

- Размерная точность
- Шероховатость поверхности
- Погрешность формы
- Качество поверхности

2. Параметры станка

Состояние и настройки станка



Станок

- Мощность станка
- Возраст/состояние – жёсткость
- Горизонтальное/вертикальное исполнение
- Тип и размер шпинделя
- Количество осей/конфигурация
- Закрепление заготовки

Оснастка

- Вылет
- Надёжность закрепления
- Осевое/радиальное биение

3. Выбор инструмента

Пути оптимизации процесса фрезерования

Фрезы с круглыми пластинами



Преимущества

- Надёжность конструкции
- Высокая универсальность — для торцевого и профильного фрезерования
- Высокая производительность

Недостатки

- Круглые пластины требуют повышенной жёсткости оборудования

Торцевые фрезы с углом в плане 45°



Преимущества

- Первый выбор для торцевого фрезерования
- Сбалансированность осевых и радиальных сил резания
- Плавное врезание

Недостатки

- Максимальная глубина фрезерования 6–10 мм

Фрезы для обработки прямоугольных уступов с углом в плане 90°



Преимущества

- Высокая универсальность
- Большая глубина резания
- Низкие осевые силы резания (обработка тонкостенных деталей)
- Острокромочные пластины с четырьмя режущими кромками

Недостатки

- Относительно низкая подача на зуб, так как $f_z = h_{ex}$

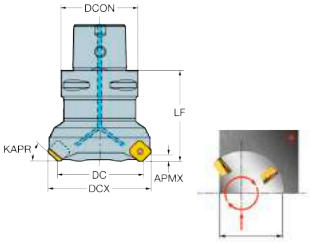
4. Способ применения

Рекомендации



Количество режущих кромок/шаг

- Очень важно правильно выбрать количество режущих кромок
- Этот выбор влияет как на производительность, так и на стабильность процесса обработки



Геометрия пластин

- Выбирайте пластины геометрий L (легкая), M (средняя) или H (тяжелая) в соответствии с условиями обработки

Жёсткость

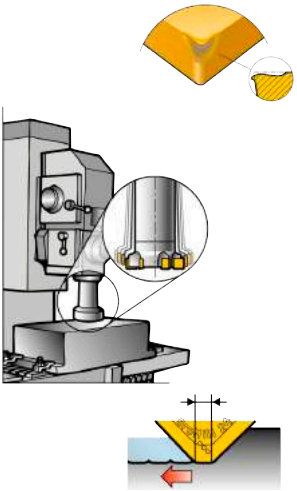
- Используйте шпиндель максимально возможного типоразмера

Положение фрезы

- Всегда применяйте попутное фрезерование
- Смещайте фрезу относительно оси симметрии детали
- Используйте фрезу с диаметром на 20–50% больше ширины фрезерования

5. Решение проблем

Параметры, которые необходимо учитывать



Износ и стойкость пластины

- Контролируйте вид износа и, при необходимости, вносите коррекцию в режимы резания

Вибрация

- Нежёсткое закрепление
- Большой вылет инструмента
- Нежёсткая заготовка
- Неподходящий размер шпинделя

Неудовлетворительное качество поверхности

- Проверьте биение шпинделя
- Используйте пластины Wiper
- Уменьшите подачу на зуб

Обзор систем

Торцевое фрезерование

Фрезы общего назначения

Фрезы для обработки плоскостей и прямоугольных уступов в хороших условиях

Торцевые фрезы с круглыми пластинами для тяжёлой обработки

Торцевые фрезы общего назначения с главным углом в плане 45°



Специализированные фрезы

Высокопроизводительное фрезерование

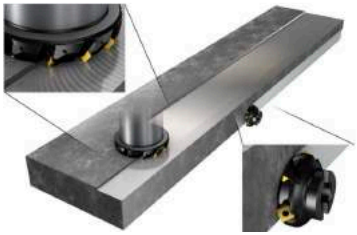


Торцевые фрезы для обработки чугуна

K



Тяжёлое фрезерование



Торцевые фрезы для обработки алюминия

N



Фрезерование уступов

Фрезы общего назначения

Фрезы для обработки уступов в хороших условиях

Фрезы для тяжёлой обработки



Дисковые фрезы для обработки уступов

Концевые и длиннокромочные фрезы

Концевые фрезы со сменными твердосплавными головками

Концевые фрезы со сменными пластинами



Длиннокромочные фрезы

Цельные твердосплавные концевые фрезы

Фрезерование глубоких уступов



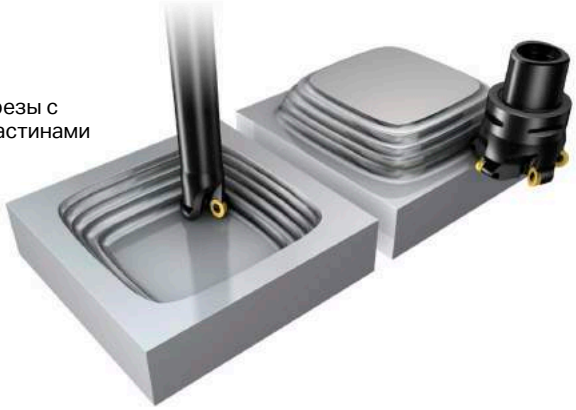
Фрезерование кромок фрезами для обработки прямоугольных уступов



Профильное фрезерование

Фрезы общего назначения – черновая обработка

Концевые фрезы с круглыми пластинами



Фрезы с круглыми пластинами

Фрезы общего назначения – чистовая обработка

Цельные твердосплавные фрезы со сферическим концом



Концевые фрезы со сменными твердосплавными головками

Другие методы

Фрезерование поверхностей тел вращения



Обработка лопаток турбин

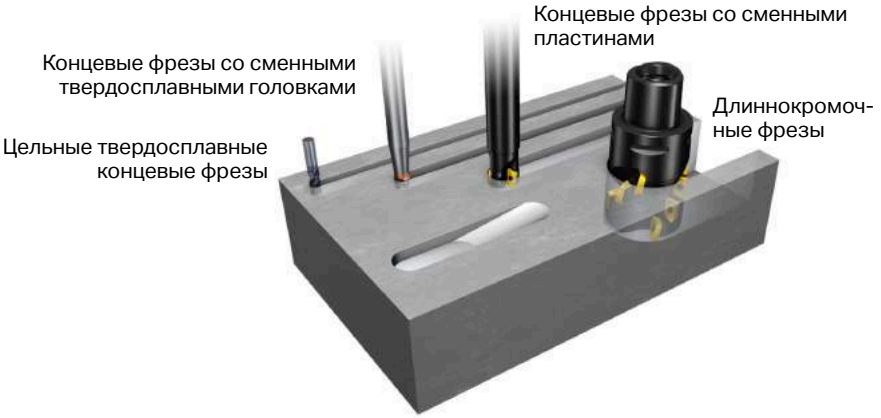


▶ Фрезерование канавок

Фрезы общего назначения – радиальное фрезерование канавок



Фрезы общего назначения – осевое фрезерование пазов



Резьбофрезерование

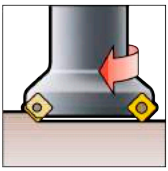
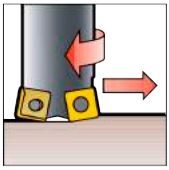
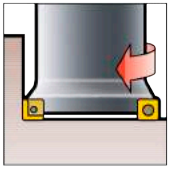
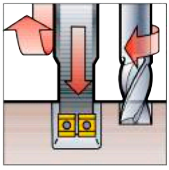
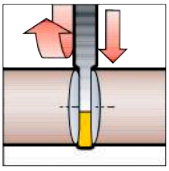
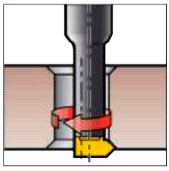
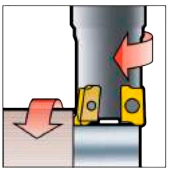
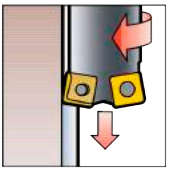
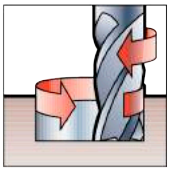
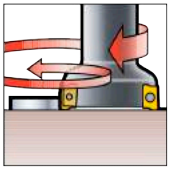
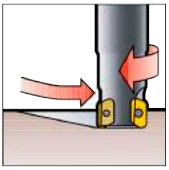
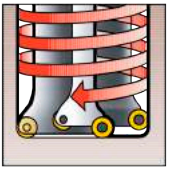
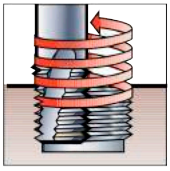




Обзор фрезерных операций

Фрезерование является одним из самых универсальных методов обработки. В течение последних нескольких лет, двигаясь рука об руку с быстро развивающимся станочным оборудованием, фрезерование эволюционировало в тип обработки, который имеет сегодня много стратегий и методов. Их большой выбор, вместе с использованием многоосевых станков, позволяет с высокой производительностью обрабатывать отверстия, карманы, поверхности вращения, резьбы и т.д.

Развитие конструкций фрезерного инструмента также вносит вклад в рост производительности и надёжности и повышение качества выпускаемой продукции. Всё это обеспечивается новейшими технологиями производства сменных пластин и цельного твердосплавного инструмента.

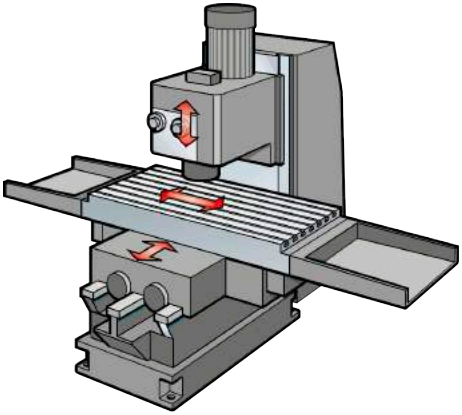
Торцевое фрезерование	Фрезерование с высокими подачами	Фрезерование уступов	Фрезерование канавок
			
Отрезка	**Обработка фасок**	**Профильное фрезерование**	**Фрезерование поверхностей тел вращения**
			
Плунжерное фрезерование	**Трохоидальное фрезерование**	**Круговая интерполяция**	**Фрезерование с врезанием под углом**
			
Винтовая интерполяция	**Резьбофрезерование**		
			

Методы фрезерования

Станки для фрезерования могут быть управляемыми вручную, механически автоматизированными или иметь систему числового программного управления (ЧПУ).

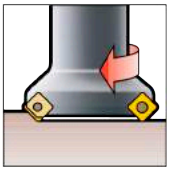
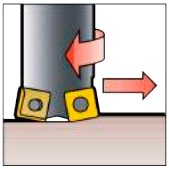
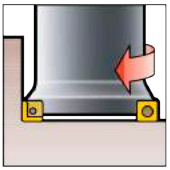
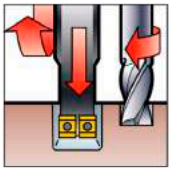
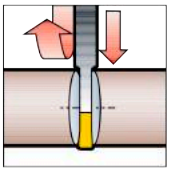
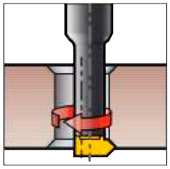
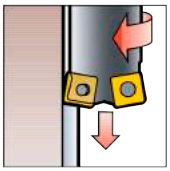
Традиционные методы фрезерования

Вертикальный фрезерный станок



Традиционно, на 3-осевых станках обрабатываются плоскости, уступы и пазы.

Ввиду растущей потребности в обработке поверхностей и форм, отличающихся от описанных выше, количество пятикоординатных обрабатывающих центров и многоцелевых станков также постоянно растет.

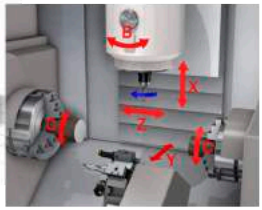
Торцевое фрезерование	Фрезерование с высокими подачами	Фрезерование уступов	Фрезерование канавок
			
Отрезка	**Обработка фасок**	**Плунжерное фрезерование**	
			

Современные методы фрезерования

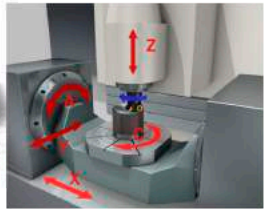
Современные четырех- и пятикоординатные станки

Сегодня станки развиваются во всех направлениях. Токарные станки имеют возможность фрезерования с помощью приводного инструмента, обрабатывающие центры имеют возможность выполнять токарные операции — токарно-фрезерные или фрезерно-токарные станки. Развитие CAM-систем упрощает использование пятиосевой обработки.



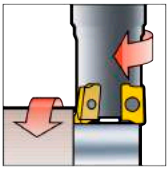
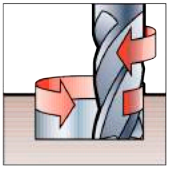
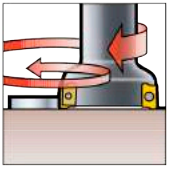
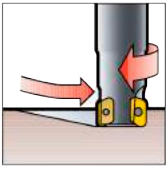
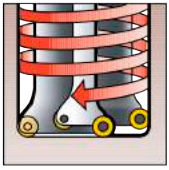
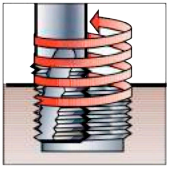




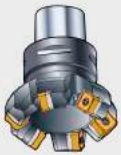


Вышеописанные тенденции и развитие технологий обработки определили следующие новые требования и возможности по отношению к инструменту:

- Повышенная универсальность
- Меньшее количество станков/наладок для изготовления детали
- Снижение жёсткости
- Работа при большом вылете
- Меньшая глубина резания

Профильное фрезерование	Фрезерование поверхностей тел вращения	Трохоидальное фрезерование	Круговая интерполяция
			
Фрезерование с врезанием под углом	**Винтовая интерполяция**	**Фрезерование резьбы**	
			

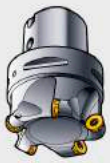
Фрезы для торцевого фрезерования

Тип фрезы / Параметры				
	С круглыми пластинами	10-25°	45°	90°
Размер шпинделя	ISO 40, 50	ISO 40, 50	ISO 40, 50	ISO 30, 40, 50
Требования к жёсткости	Высокие	Высокие	Средние	Низкие
Черновая обработка	Очень хорошо	Хорошо	Очень хорошо	Возможно
Чистовая обработка	Возможно	Возможно	Очень хорошо	Хорошо
Глубина резания a_p	Средняя	Малая	Средняя	Большая
Универсальность	Высокая	Хорошая	Хорошая	Высокая
Производитель-ность	Высокая	Высокая	Высокая	Хорошая

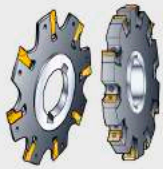
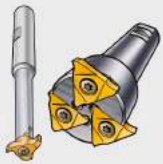
Фрезы для обработки уступов

Тип фрезы / Параметры				
	90°	90°	90°	90°
Размер шпинделя	ISO 40, 50	ISO 30, 40, 50	ISO 40, 50	ISO 30, 40, 50
Требования к жёсткости	Высокие	Высокие	Средние	Низкие
Черновая обработка	Очень хорошо	Хорошо	Возможно	Хорошо
Чистовая обработка	Возможно	Возможно	Очень хорошо	Хорошо
Глубина резания a_p	Большая	Средняя	Малая	Большая
Обрабатываемый материал	Все	Все	Алюминий	Алюминий
Универсальность	Высокая	Высокая	Приемлемая	Хорошая

Фрезы для профильной обработки

Тип фрезы / Параметры	 С круглыми пластинами	 Со сферическим концом, сменные пластины	 Со сферическим концом, сменные головки	 Со сферическим концом, цельные твердосплавные
Размер шпинделя	ISO 40, 50	ISO 40, 50	ISO 30, 40	ISO 30, 40
Требования к жёсткости	Высокие	Средние	Средние	Низкие
Черновая обработка	Очень хорошо	Хорошо	Возможно	Возможно
Чистовая обработка	Возможно	Возможно	Очень хорошо	Очень хорошо
Глубина резания a_p	Средняя	Средняя	Малая	Малая
Универсальность	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая
Производительность	Высокая	Хорошая	Хорошая	Хорошая

Фрезы для обработки пазов и канавок

Тип фрезы / Параметры	 Дисковые	 Для обработки канавок	 Длиннокромочные
Размер шпинделя	ISO 50	ISO 40, 50	ISO 40, 50
Открытый паз	+	+	+
Закрытый паз	+	+	+
Ширина резания	Малая	Малая	Большая
Глубина резания a_p	Средняя-большая	Малая	Средняя-большая
Универсальность	Ограничена	Хорошая	Хорошая

Тип фрезы / Параметры	 Концевая со сменными пластинами	 Концевая со сменными головками	 Цельная твердосплавная концевая
Размер шпинделя	ISO 30, 40, 50	ISO 30, 40, 50	ISO 30, 40, 50
Открытый паз	+	+	+
Закрытый паз	+	+	+
Ширина резания	Средняя	Малая	Малая
Глубина резания a_p	Средняя	Малая	Большая
Универсальность	Высокая	Высокая	Высокая

Выбор пластин и особенности применения

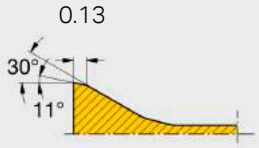


Современные пластины для фрезерного инструмента

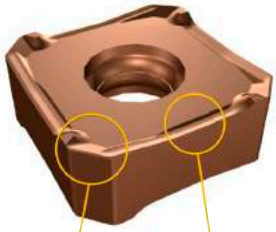
Конструкция современной фрезерной пластины

Определения и геометрии

Вершина



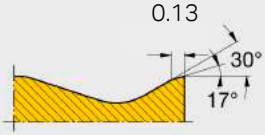
- Ширина фаски 0,13 мм
- Передний угол 30°
- Угол фаски 11°



Усиление вершины

Стружколом

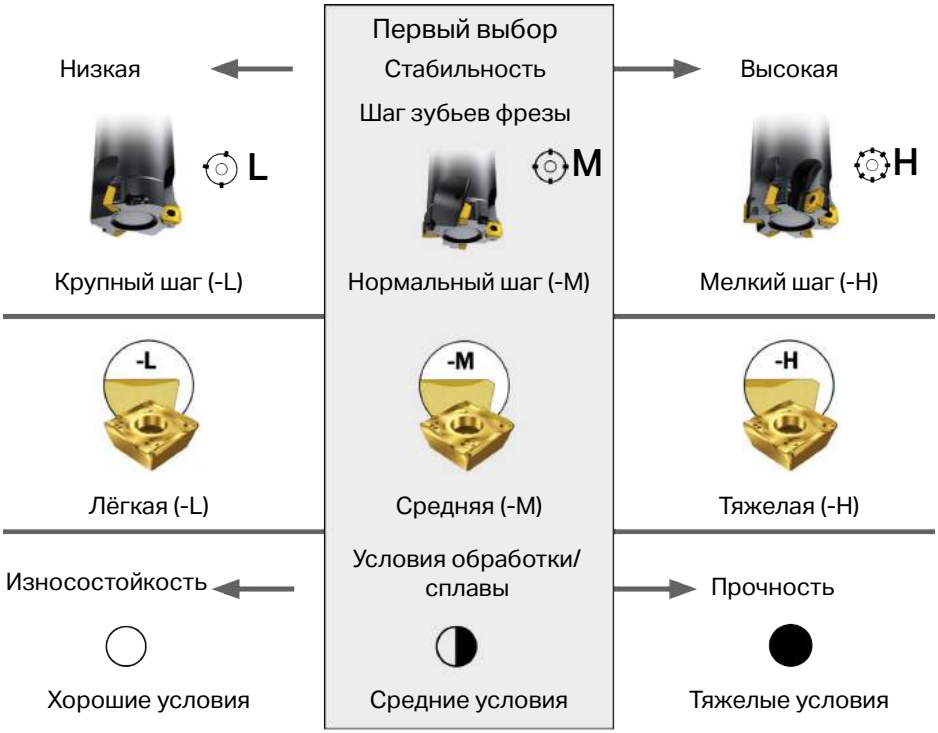
Главная режущая кромка



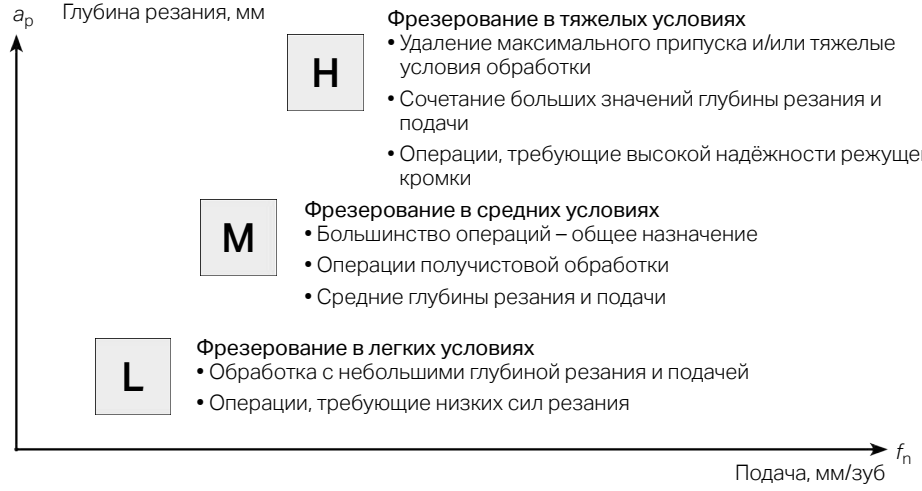
- Ширина фаски 0,13 мм
- Передний угол 30°
- Угол фаски 17°

Конструкция главной режущей кромки

Выбор фрезерного инструмента



Области применения



Выбор геометрии пластины



Лёгкая (-L)

- Очень острая
- Лёгкие условия обработки
- Низкие силы резания
- Низкие подачи



Средняя (-M)

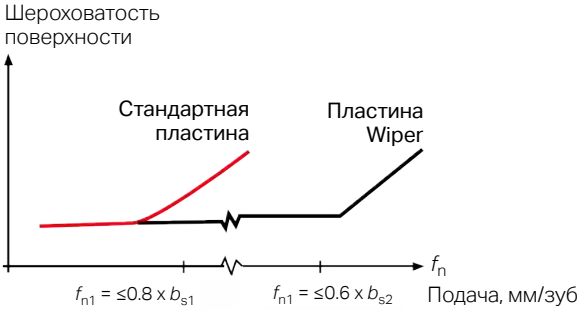
- Геометрия общего назначения
- Средние подачи
- Лёгкая черновая и получистовая обработка

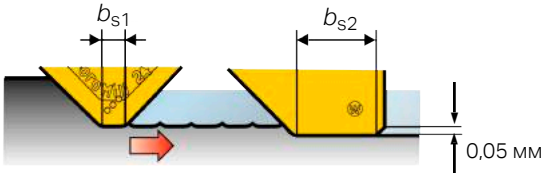


Тяжелая (-H)

- Особо прочная режущая кромка
- Тяжёлые условия обработки
- Высокая надёжность режущей кромки
- Высокие подачи

Обеспечение хорошей шероховатости при фрезеровании





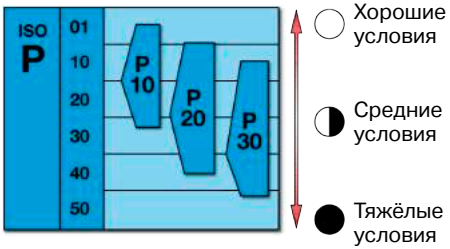
b_s, мм	2.0	8.2

- Используйте пластины Wiper для повышения производительности и качества обработанной поверхности
- Подача на оборот не должна превышать 60% от ширины зачистной фаски
- Правильно устанавливайте пластину Wiper

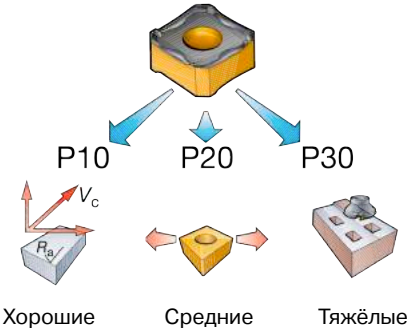
Выбор сплава пластины

Выберите геометрию и сплав в соответствии с условиями обработки

Область применения сплава



Условия обработки



Определение условий обработки







Хорошие условия

- Глубина резания — 25% от максимальной a_p или меньше
- Вылет менее двух диаметров
- Непрерывное резание
- Обработка с СОЖ и без СОЖ

Средние условия

- Глубина резания 50% от максимальной a_p или больше
- Вылет от двух до трех диаметров
- Прерывистое резание
- Обработка с СОЖ и без СОЖ

Тяжёлые условия

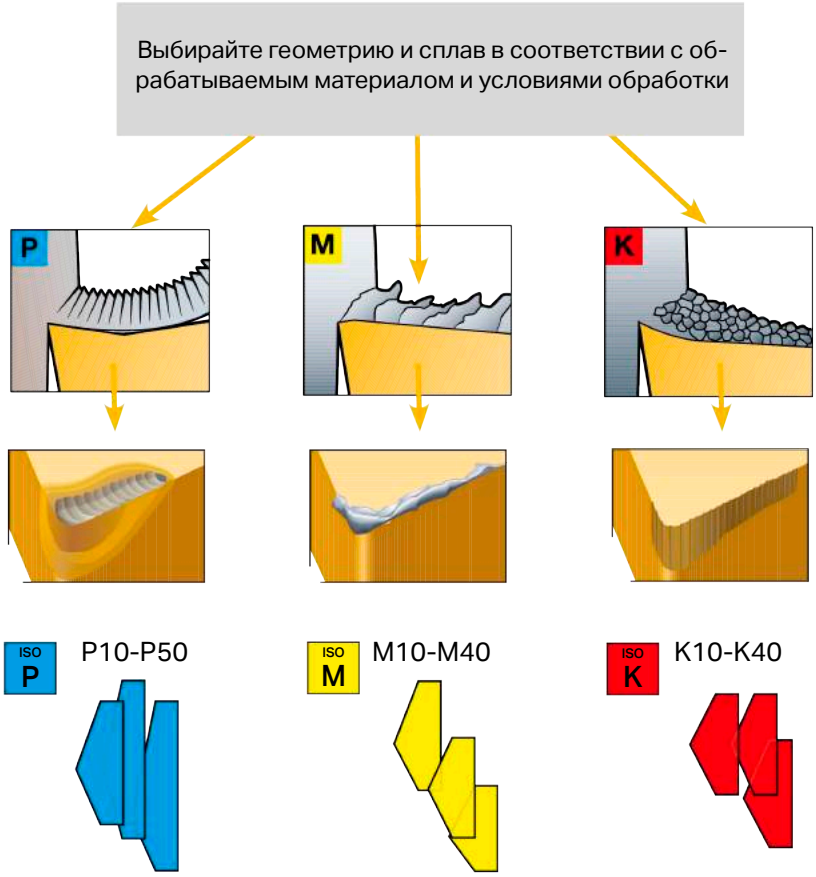
- Глубина резания 50% от максимальной a_p или больше
- Вылет более трех диаметров
- Прерывистое резание
- Обработка с СОЖ и без СОЖ

▶ Сплавы для материалов групп ISO P, M и K

Специализированные сплавы сводят к минимуму износ

Материал заготовки по-разному влияет на износ в процессе резания. Поэтому специализированные сплавы разрабатываются с учетом стойкости к основным механизмам износа, например:

- Износ по задней поверхности, лункообразование и пластическая деформация при обработке сталей
- Наростообразование и образование проточин при обработке нержавеющих сталей
- Износ по задней поверхности и пластическая деформация при обработке чугунов

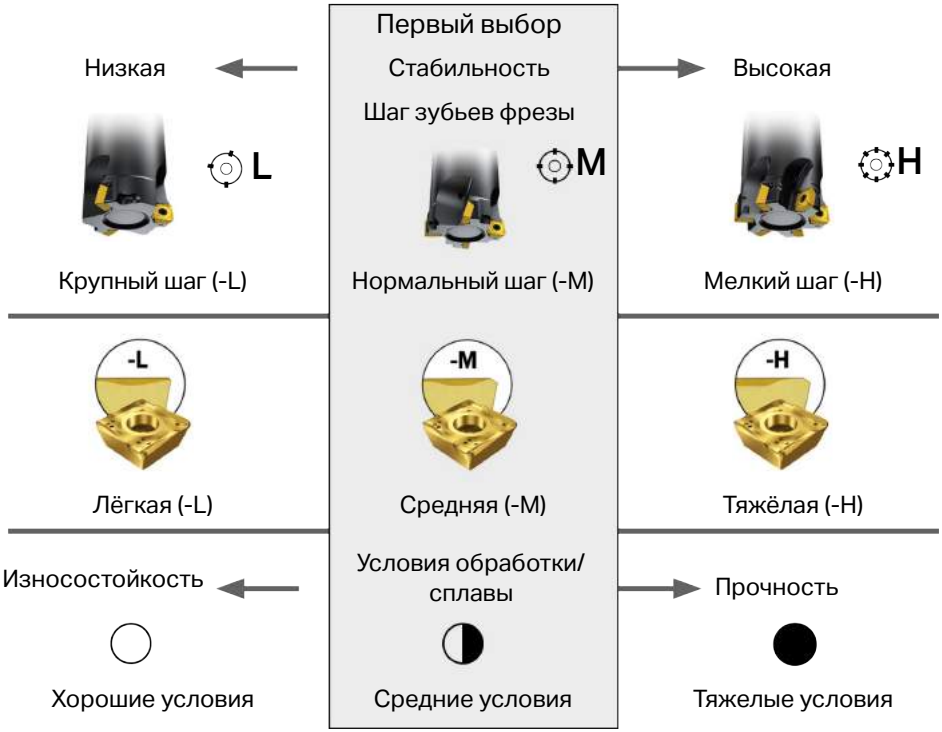


Выбор инструмента и особенности применения



Высокопроизводительные фрезы для работы с малой и средней глубиной резания

Выбор фрезерного инструмента



Выбор шага фрезы

Первый выбор

Стабильность

Шаг зубьев фрезы

Низкая ← → Высокая







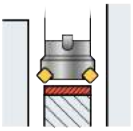
L

Крупный шаг (-L)

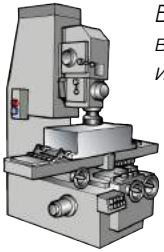
- Меньшее количество пластин
- Низкая жесткость
- Большой вылет инструмента
- Небольшие станки/ ограниченная мощность
- Обработка в полный паз с большой глубиной
- Неравномерный шаг



Низкая жёсткость



Большой вылет инструмента



Ограниченная мощность

M

Нормальный шаг (-M)

- Общее назначение
- Многономенклатурное производство
- Малые и средние станки
- Обычно первый выбор



Первый выбор

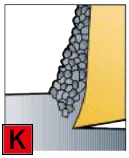
H

Мелкий шаг (-H)

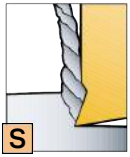
- Большое количество пластин для максимальной производительности
- Стабильные условия обработки
- Материалы, дающие короткую стружку
- Жаропрочные материалы



Стабильные условия



Чугун (CMC 08)

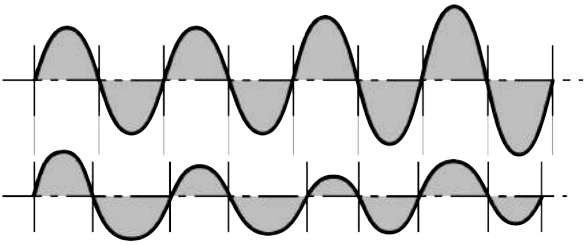


Жаропрочные сплавы (CMC 20)

Неравномерный шаг зубьев

Как правило, чем крупнее шаг фрезы, тем меньше вероятность возникновения гармонических колебаний. Иногда замена 16-зубой фрезы на 12-зубый инструмент помогает устранить вибрацию. В более сложных случаях для устранения больших вибраций может потребоваться фреза с неравномерным шагом.

Зубья фрез с неравномерным шагом расположены на неравном расстоянии, что влияет на амплитуду вибраций каждого зуба. В результате снижается риск возникновения вибрации.

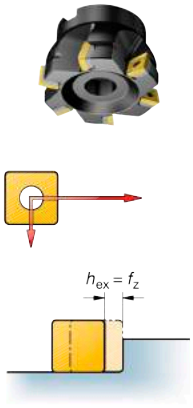
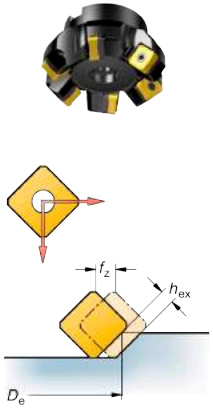
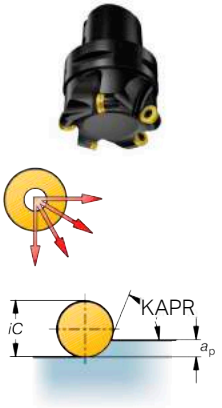
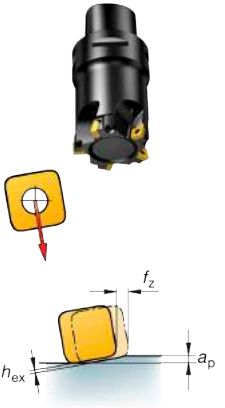


Равномерный шаг зубьев

Неравномерный шаг зубьев

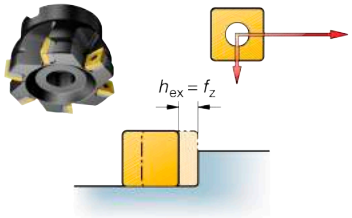
Неравномерный шаг зубьев снижает риск возникновения вибрации.

Силы резания и угол в плане

Главный угол в плане 90°	Главный угол в плане 45°	Фреза с круглыми пластинами	Главный угол в плане 10-25°
			

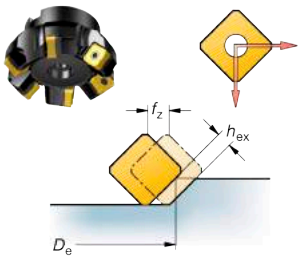
Радиальные и осевые силы резания

Главный угол в плане 90°



- Тонкостенные детали
- Детали, слабо закрепленные в осевом направлении
- Прямоугольные уступы
- $h_{ex} = f_z$ (в случае a_e > 50% x DC)

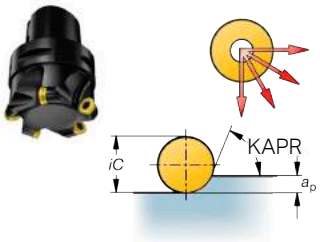
Главный угол в плане 45°



- Первый выбор для общего применения
- Снижает вибрации при большом вылете
- Эффект утоньшения стружки дает возможность повысить производительность
- f_z = 1,41 x h_{ex} (коэффициент увеличения подачи зависит от угла в плане)

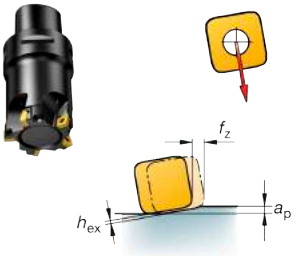
Круглые пластины (переменный угол в плане)

При использовании фрез с круглыми пластинами толщина снимаемой стружки и угол в плане зависят от глубины резания.



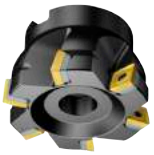
- Наиболее прочная режущая кромка
- Фрезы общего назначения
- Более выраженный эффект утоньшения стружки, что важно при обработке жаропрочных сплавов
- h_{ex} = зависит от a_p

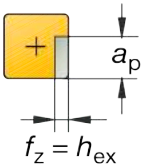
Главный угол в плане 10-25°



- Фрезерование с высокими подачами
- Образуется тонкая стружка, что позволяет работать с высокими подачами на зуб
- Осевые силы резания направлены к шпинделю, что увеличивает жёсткость системы

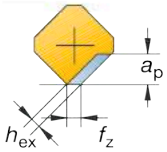
Коэффициент увеличения подачи для различных углов в плане





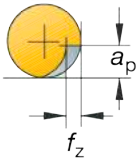
90° = (f_z или h_{ex}) × 1.0





45° = (f_z или h_{ex}) × 1.41



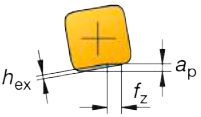


Круглые = зависит от a_p

$$\sqrt{\frac{iC}{a_p}}$$

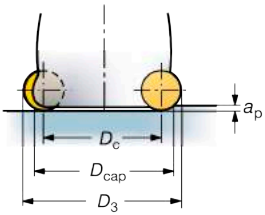
Формула расчета коэффициента увеличения подачи

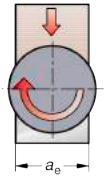


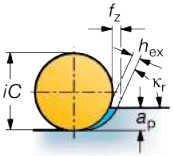


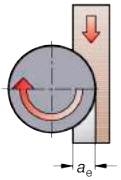
10° = (f_z или h_{ex}) x 5.76

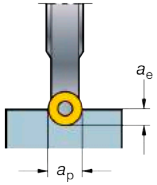
Формулы для фрез с круглыми пластинами











Max диаметр резания при заданной глубине

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

Торцевые фрезы с круглыми пластинами (a_p<iC/2)

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

Концевые фрезы (a_e<D_{cap}/2) и круглые пластины (a_p<iC/2)

$$f_z = \frac{h_{ex} \times iC \times D_{cap}}{4 \times \sqrt{a_p \times iC - a_p{}^2} \times \sqrt{D_{cap} \times a_e - a_e{}^2}}$$

Расчет режимов резания

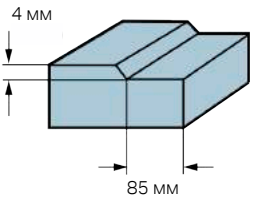
Пример для торцевого фрезерования

Дано:

- Скорость резания, v_c = 225 м/мин
- Подача на зуб, f_z = 0,21 мм
- Число зубьев, z_n = 5
- Диаметр фрезы, DC = 125 мм
- Глубина резания, a_p = 4 мм
- Ширина фрезерования, a_e = 85 мм

Рассчитать:

- Частота вращения шпинделя, n (об/мин)
- Минутная подача, v_f (мм/мин)
- Скорость съема материала, Q (см^3/мин)
- Потребляемая мощность, кВт



Частота вращения шпинделя

Дано: v_c = 225 м/мин

Метрическая система

$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times DC} \quad \text{(об/мин)}$$

$$n = \frac{225 \times 1000}{3.14 \times 125} = 575 \text{ об/мин}$$

Дюймовая система

$$n = \frac{v_c \times 12}{\pi \times DC} \quad \text{(об/мин)}$$

$$n = \frac{738 \times 12}{3.14 \times 4.921} = 575 \text{ об/мин}$$

Минутная подача

Дано: n = 575 об/мин

Метрическая система

$$v_f = n \times f_z \times z_n \quad \text{(мм/мин)}$$

$$v_f = 575 \times 0.21 \times 5 = 600 \text{ мм/мин}$$

Дюймовая система

$$v_f = n \times f_z \times z_n \quad \text{(дюйм/мин)}$$

$$v_f = 575 \times .0082 \times 5 = 23.6 \text{ дюйм/мин}$$

Скорость съема металла

Дано: v_f = 600 мм/мин

Метрическая система

$$Q = \frac{a_p \times a_e \times v_f}{1000} \quad \text{(см}^3\text{/мин)}$$

$$Q = \frac{4 \times 85 \times 600}{1000} = 204 \text{ см}^3\text{/мин}$$

Дюймовая система

$$Q = a_p \times a_e \times v_f \quad \text{(дюйм}^3\text{/мин)}$$

$$Q = .157 \times 3.346 \times 23.6 = 12.4 \text{ дюйм}^3\text{/мин}$$

Расчет потребляемой мощности

Дано: Материал CMC 02.1

Метрическая система

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

Дюймовая система

$$P_c = \frac{a_e \times a_p \times v_f \times k_c}{396 \times 10^3} \text{ (л.с.)}$$

Фрезерование с большой шириной контакта

ISO	CMC No.	Material	Specific cutting force kc 1 N/mm²	Hardness Brinell HB	mc	CT530 Max chip thickne 0.1 – 0.15 – 0.2 Cutting speed v_c	Specific cutting force k_c .016 lbs/in²	Hardness Brinell HB
P		**Steel**						
		Unalloyed						
	01.1	C = 0.10 – 0.25%	1500	125	0.25	430–390–50	216,500	125
	01.2	C = 0.25 – 0.55%	1600	150	0.25	385–350–15	233,000	150
	01.3	C = 0.55 – 0.80%	1700	170	0.25	365–330–00	247,000	170
	01.4		1800	210	0.25	315–290–60	260,500	210
	01.5		2000	300	0.25	235–210–95	291,500	300
		Low alloyed (alloying elements 5%)						
	02.1	Non-hardened	1700	175	0.25	300–275–45	246,500	175
	02.2	Hardened and tempered	1900	300	0.25	195–180–60	276,500	300
		High alloyed (alloying elements > 5%)						
	03.11	Annealed	1950	200	0.25	230–205–85	282,000	200
	03.13	Hardened tool steel	2150	200	0.25	190–170–55	311,000	200
	03.21		2900	300	0.25	165–150–35	420,000	300
	03.22		3100	380	0.25	105–95–85	448,500	380
		Castings						
	06.1	Unalloyed	1400	150	0.25	305–280–50	204,000	150
	06.2	Low alloyed (alloying elements 5%)	1600	200	0.25	245–220–00	230,500	200
	06.3	High alloyed (alloying elements > 5%)	1950	200	0.25	180–160–45	283,500	200

$$P_c = \frac{85 \times 4 \times 600 \times 1700}{60 \times 10^6} = 5.8 \text{ кВт} \qquad P_c = \frac{3.346 \times .157 \times 23.6 \times 246500}{396 \times 10^3} = 7.7 \text{ л.с.}$$

Приведенные расчеты приблизительны и действительны для максимальной толщины стружки (h_{ex}) 0,1 мм. Для получения более точных значений потребляемой мощности (P_c) необходимо рассчитать значение k_c.

Метрическая система

$$k_c = k_{c1} \times h_m^{-mc} \times \left(1 - \frac{\gamma_o}{100}\right) \text{ (Н/мм²)}$$

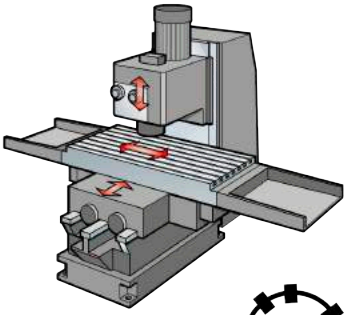
Дюймовая система

$$k_c = k_{c1} \times h_m^{-mc} \times \left(1 - \frac{\gamma_o}{100}\right) \text{ (фнт/дюйм²)}$$

h_m = средняя толщина стружки
γ_o = передний угол пластины
m_c = коэффициент толщины стружки
k_c = удельная сила резания
k_{c1} = удельная сила резания для средней толщины стружки 0,1 мм

Практические рекомендации по фрезерованию









Мощность привода
- Проверьте мощность привода и шпинделя станка, сравните с расчетными значениями потребляемой мощности для инструмента необходимого диаметра

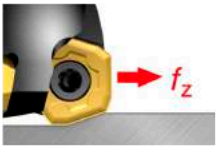
Жёсткость заготовки
- Условия и особенности крепления детали

Вылет
- Проводите обработку с минимально возможным вылетом инструмента

Шаг фрезы
- Выбирайте корректный шаг фрезы, так как чрезмерное количество зубьев, одновременно находящихся в резании, может привести к вибрациям

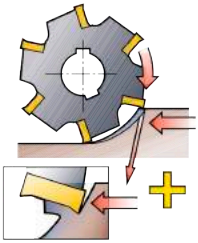
Процесс резания
- Убедитесь, что при обработке узких деталей или деталей с карманами в резании находится достаточное число режущих кромок

Выбор геометрии пластины
- Используйте пластины с острой геометрией для обеспечения плавного процесса резания и минимального потребления мощности



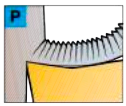
До 0,50 мм

Подача
- Убедитесь, что выбрана правильная подача на зуб, исходя из рекомендованной максимальной толщины стружки для данной геометрии



Направление резания
- По возможности используйте попутное фрезерование

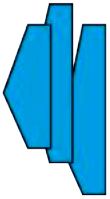
Параметры детали
- Материал заготовки и конфигурация, а также требования к качеству обрабатываемой поверхности







P10-P50



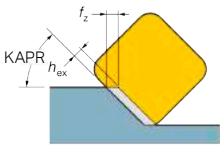
Выбор сплава пластины

- Выбирайте сплав в соответствии с обрабатываемым материалом заготовки и областью применения

Антивибрационный фрезерный инструмент

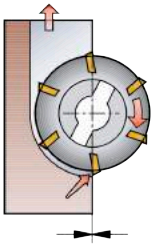
- При работе с большим вылетом, более чем в 4 раза превышающим диаметр инструмента, могут появиться вибрации. В таких случаях использование антивибрационного фрезерного инструмента позволит значительно повысить производительность





Главный угол в плане

- Выбирайте фрезу с оптимальным углом в плане исходя из условий обработки

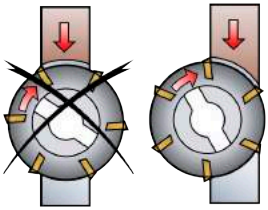


Диаметр фрезы

- Выбирайте диаметр инструмента в соответствии с размером заготовки

Положение фрезы

- Правильно располагайте инструмент относительно заготовки

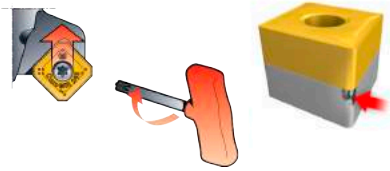


Вход в резание и выход из резания

- При врезании фрезы по дуге толщина стружки на выходе зуба из резания равна нулю. Это увеличивает период стойкости инструмента и позволяет работать с более высокими подачами

СОЖ

- Используйте охлаждение только в случае необходимости. Как правило, фрезерные операции лучше осуществлять без СОЖ



Обслуживание

- Контролируйте износ инструмента и следуйте рекомендациям по техническому обслуживанию инструмента



Сверление

Сверление — это метод получения цилиндрических отверстий в деталях с помощью металлорежущего инструмента.

• Теория E 4

• Процедура выбора инструмента E 15

• Обзор систем E 20

• Особенности применения E 26

• Качество и точность отверстий E 38

• Решение проблем E 43

Процесс сверления



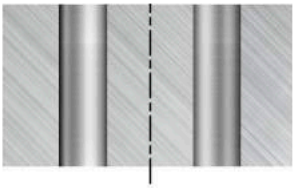
- При обработке отверстия сверло находится внутри заготовки, что не даёт возможности наблюдать за процессом резания
- Очень важен контроль над стружкообразованием
- Беспрепятственная эвакуация стружки важна для обеспечения необходимого качества отверстия, стойкости инструмента и надёжности операции

Методы сверления отверстий

Обычное сверление



Трепанирование

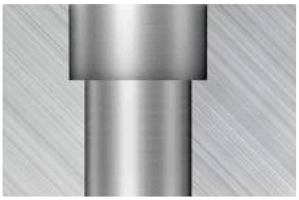


Различают следующие методы сверления:
- Обычное сверление
- Трепанирование
- Сверление отверстия с обработкой фаски
- Ступенчатое сверление

Сверление отверстия с фаской



Ступенчатое сверление



Типовые отверстия



1 2 3 4 5 6 7

Наиболее распространенные виды отверстий:

1 Отверстия под болтовое соединение

2 Отверстия с винтовой резьбой

3 Отверстия с цековкой

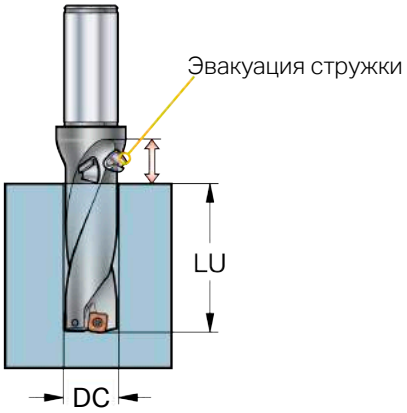
4 Точные отверстия (для соединений с натягом)

5 Отверстия со свободной посадкой

6 Отверстия, образующие каналы

7 Балансировочные отверстия

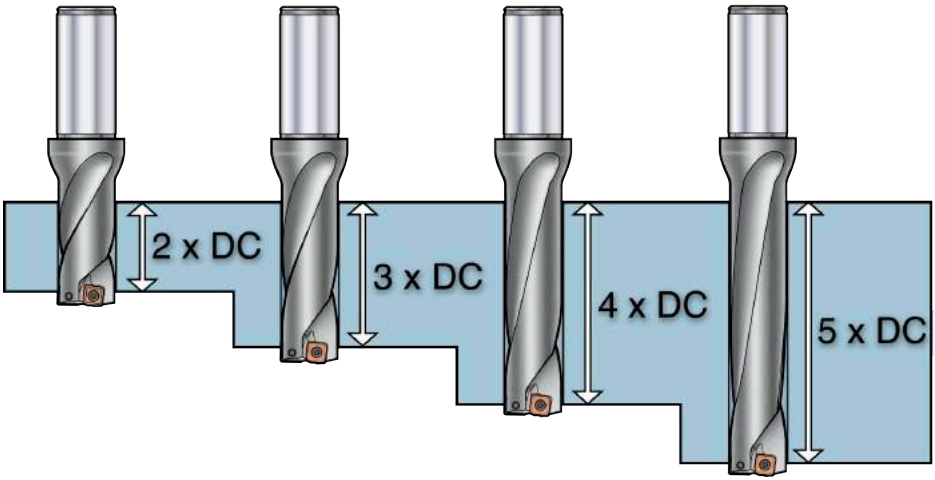
Максимальная глубина отверстия



Выбор длины инструмента зависит от глубины отверстия (LU).

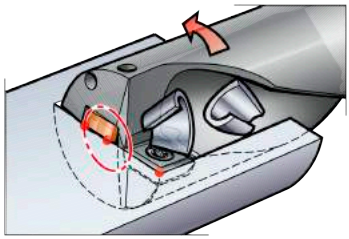
Максимальная глубина сверления выражается количеством диаметров сверла DC.

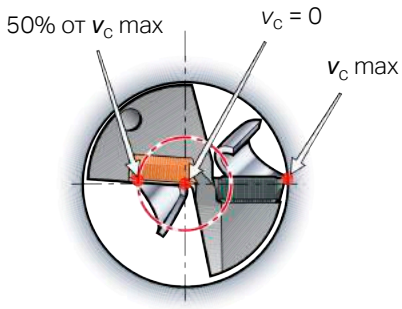
Пример: Max глубина сверления
LU = 3 x DC



Теория сверления

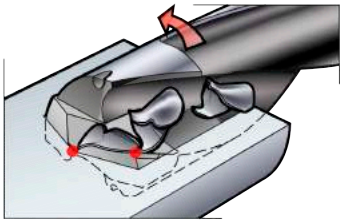
Скорость резания для свёрл со сменными пластинами

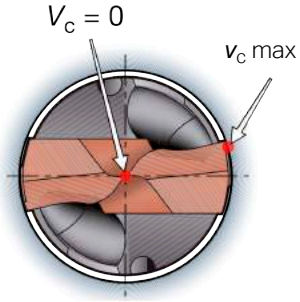




- Скорость резания (v_c) для свёрл со сменными пластинами изменяется от 100% на периферии до 0 в центре
- Центральная пластина работает со скоростью от 0 до примерно 50% от максимального значения v_c. Скорость резания для периферийной пластины изменяется от 50% до максимального значения v_c.
- Одна эффективная режущая кромка z_c.

Скорость резания для цельных твердосплавных свёрл и свёрл со сменными головками



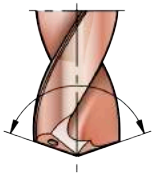


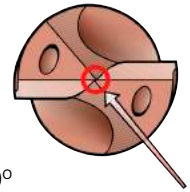
- Две эффективные режущие кромки
- Скорость резания (v_c) для цельных свёрл изменяется от 100% на периферии до 0 в центре и минимальных значений в районе перемычки сверла

Сравнение цельных твердосплавных свёрл и свёрл из быстрорежущей стали

Угол при вершине и перемычка

Цельные твердосплавные свёрла

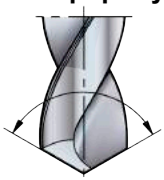


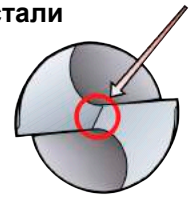


Угол при вершине 140°

Свёрла из быстрорежущей стали

Перемычка

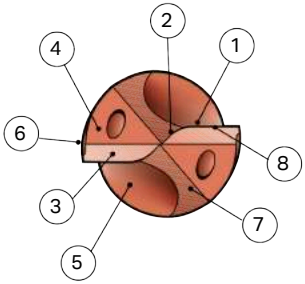


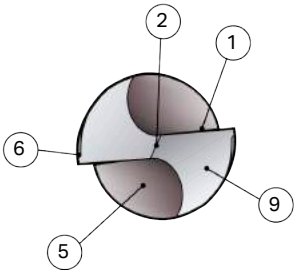


Угол при вершине 118°

- Перемычка на цельных твердосплавных свёрлах значительно меньше
- В связи с меньшим размером перемычки снижается осевая сила резания
- Результатом является лучшее центрирование и стабильное резание вблизи центра. Соответственно, для цельных твердосплавных свёрл нет необходимости в предварительной центровочной операции

1 Главная режущая кромка
2 Перемычка
3 Задняя поверхность
4 Вспомогательная задняя поверхность
5 Стружечная канавка
6 Ленточка
7 Дополнительная задняя поверхность
8 Отрицательная фаска
9 Задняя поверхность



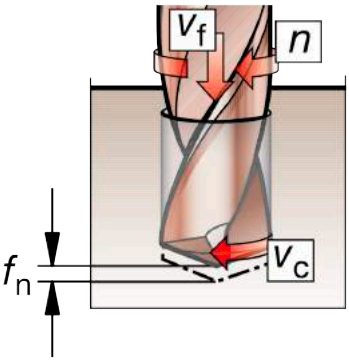


Твердосплавное сверло – Преимущества

- Перемычка практически отсутствует
- Главная режущая кромка достигает центра инструмента
- Выше стойкость и производительность
- Меньше осевая нагрузка и крутящий момент
- Выше точность отверстия

Термины и определения

Скорость резания



Производительность при сверлении определяется минутной подачей, v_f

n = частота вращения шпинделя, об/мин
v_c = скорость резания, м/мин
f_n = подача на оборот, мм/об
v_f = минутная подача, мм/мин
DC = диаметр сверла, мм

Метрическая система

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

Дюймовая система

$$v_c = \frac{\pi \times DC \times n}{12} \text{ фут/мин}$$

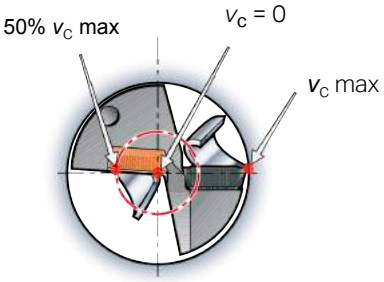
$$v_f = f_n \times n \text{ мм/мин}$$

Скорость резания для свёрл со сменными пластинами

Скорость резания (v_c) для свёрл со сменными пластинами изменяется от 100% на периферии до 0 в центре.

Центральная пластина работает со скоростью от 0 до примерно 50% от v_c max. Скорость резания для периферийной пластины изменяется от 50% v_c max до 100% v_c max.

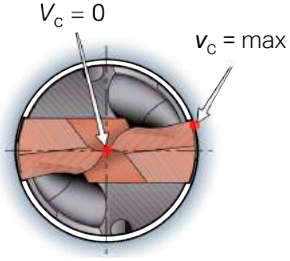
Одна эффективная режущая кромка (z_c)



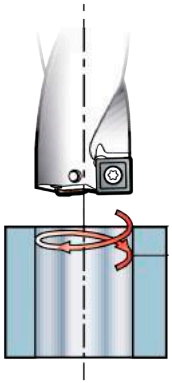
Скорость резания для цельных твердосплавных свёрл и свёрл со сменными головками

Две эффективные режущие кромки.

Скорость резания (v_c) для цельных свёрл изменяется от 100% на периферии до 0 в центре и минимальных значений в районе перемычки сверла.

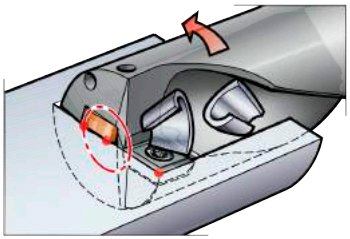


Влияние скорости резания – v_c (м/мин)

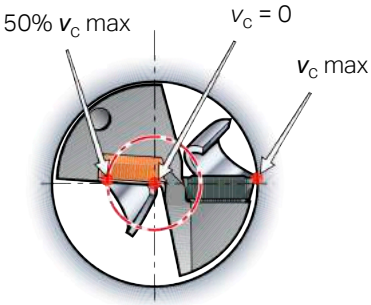


- Влияет на мощность P_c кВт и крутящий момент M_c Нм
- Наиболее важный фактор, определяющий стойкость инструмента
- Повышенная скорость резания генерирует высокую температуру в зоне обработки и приводит к ускоренному износу по задней поверхности, особенно на периферии (в уголках)
- Высокая скорость резания улучшает процесс формирования стружки при обработке длинностружечных и мягких материалов, например низкоуглеродистой стали
- Влияет на уровень шума

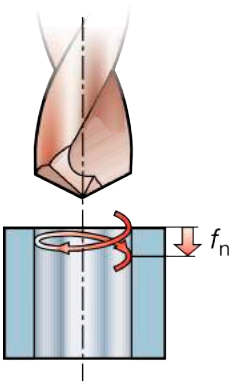
Слишком высокая скорость резания приводит к:
- быстрому износу по задней поверхности
- пластической деформации режущих кромок
- низкому качеству обработки
- получению отверстия вне поля допуска



Слишком низкая скорость резания приводит к:
- образованию нароста на режущих кромках
- ухудшению эвакуации стружки
- увеличению времени обработки
- повышению риска поломки сверла
- ухудшению качества отверстия



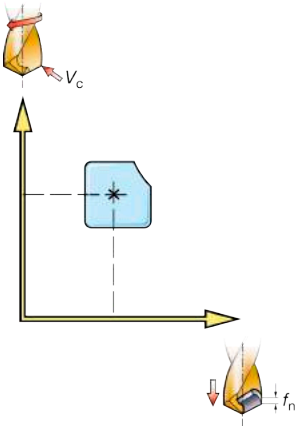
Подача



Влияние подачи – f_n (мм/об)

- Влияет на усилие подачи F_f (Н), потребляемую мощность P_c (кВт) и крутящий момент M_c (Нм)
- Контролирует стружкообразование
- Влияет на точность отверстия
- Определяет качество обработанной поверхности
- Является причиной возникновения износа и термотрещин

$$f_n = f_z \times 2 \quad \text{мм/об}$$



Высокое значение подачи:
- устойчивое стружкодробление
- сокращение времени обработки

Низкое значение подачи:
- образование длинной тонкой стружки
- улучшение качества обработки
- ускоренный износ инструмента
- увеличение времени обработки

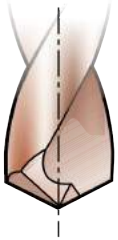
**Примечание:* Величина подачи должна соотноситься со скоростью резания.

Приблизительный расчёт потребляемой мощности

CoroDrill® 880



CoroDrill®Delta-C



n = частота вращения шпинделя, об/мин
v_c = скорость резания, м/мин
f_n = подача на оборот, мм/об
v_f = минутная подача, мм/мин
DC = диаметр сверла, мм
f_z = подача на кромку, мм
k_{c1} = удельная сила резания, Н/мм^2
P_c = потребляемая мощность, кВт
F_f = усилие подачи, Н
M_c = крутящий момент, Нм

Метрическая система

$$P_c = \frac{f_n \times v_c \times DC \times k_c}{240 \times 10^3} \text{ кВт}$$

Дюймовая система

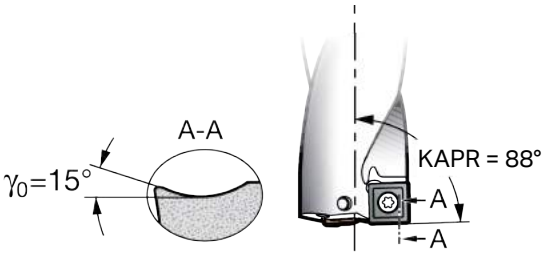
$$P_c = \frac{f_n \times v_c \times DC \times k_c}{132 \times 10^3} \text{ л.с.}$$

ISO P Код МС	Код СМС	Обрабатываемый материал	Удельная сила резания k_{c1} 1,0 Н/мм^2	Удельная сила резания k_{c1} 0,0394 фнт/дюйм^2	Твердость по Бринеллю НВ	mc
		Нелегированная сталь				
P1.1.Z.AN	01.1	C = 0.1-0.25%	1500	216.500	125	0.25
P1.2.Z.AN	01.2	C= 0.25-0.55%	1600	233.000	150	0.25
P1.3.Z.AN	01.3	C = 0.55-0.80%	1700	247.000	170	0.25
P1.3.Z.AN	01.4	Высокоуглеродистая, отпущенная	1800	260.500	210	0.25
P1.3.Z.HT	01.5	Закаленная и отпущенная сталь	2000	291.500	300	0.25
		Низколегированная сталь (легирующих элементов ≤5%)				
P2.1.Z.AN	02.1	Незакаленная сталь	1700	246.500	175	0.25
P2.5.Z.HT	02.2	Закаленная и отпущенная сталь	1900	278.500	300	0.25

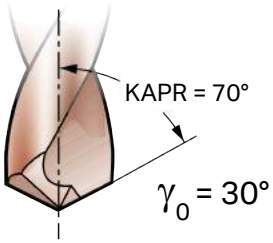
Значение k_{c1} смотрите на стр. H16

Точный расчёт потребляемой мощности

CoroDrill® 880



CoroDrill®Delta-C



Метрическая система

$$P_c = \frac{f_n \times v_c \times DC \times k_c}{240 \times 10^3} \text{ кВт}$$

Дюймовая система

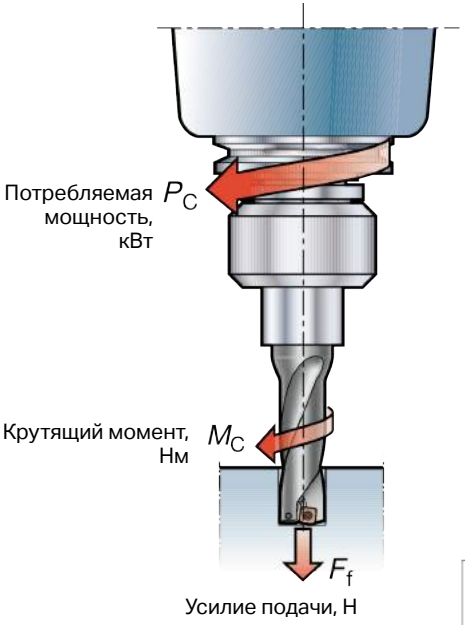
$$P_c = \frac{f_n \times v_c \times DC \times k_c}{132 \times 10^3} \text{ Hp}$$

$$k_c = k_{c1} \times (f_z \times \sin KAPR)^{-m_c} \times \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right)$$

ISO P Код MC	Код CMC	Обрабатываемый материал	Удельная сила резания k_{c1} 1,0 Н/мм^2	Удельная сила резания k_{c1} 0,0394 фнт/дюйм^2	Твердость по Бринеллю HB	mc
		Нелегированная сталь				
P1.1.Z.AN	01.1	C = 0.1-0.25%	1500	216.500	125	0.25
P1.2.Z.AN	01.2	C= 0.25-0.55%	1600	233.000	150	0.25
P1.3.Z.AN	01.3	C = 0.55-0.80%	1700	247.000	170	0.25
P1.3.Z.AN	01.4	Высокоуглеродистая, отпущенная	1800	260.500	210	0.25
P1.3.Z.HT	01.5	Закаленная и отпущенная сталь	2000	291.500	300	0.25
		Низколегированная сталь (легирующих элементов ≤5%)				
P2.1.Z.AN	02.1	Незакаленная сталь	1700	246.500	175	0.25
P2.5.Z.HT	02.2	Закаленная и отпущенная сталь	1900	278.500	300	0.25

Значение k_{c1} смотрите на стр. H16

Расчёт момента и усилия подачи



n = частота вращения шпинделя, об/мин
f_n = подача на оборот, мм/об
DC = диаметр сверла, мм
k_{c1} = удельная сила резания, Н/мм^2
F_f = усилие подачи, Н
M_C = крутящий момент, Нм

$$F_f \approx 0.5 \times k_c \times \frac{DC}{2} f_n \times \sin KAPR \text{ (Н)}$$

Метрическая система

$$M_C = \frac{P_C \times 30 \times 10^3}{\pi \times n} \text{ (Нм)}$$

Дюймовая система

$$M_C = \frac{P_C \times 16501}{\pi \times n} \text{ (фунт-сила-фут)}$$

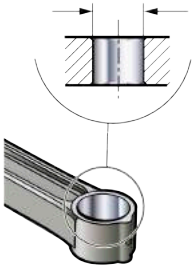
Процедура выбора инструмента

Процесс планирования производства

1 **Анализ детали**

Размеры и качество отверстия

Материал заготовки, форма детали и размер партии



2 **Анализ оборудования**

Параметры станка



3 **Выбор инструмента**

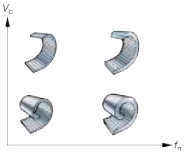
Тип инструмента и метод обработки



4 **Способ применения**

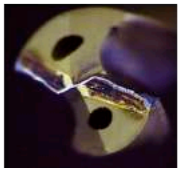
Режимы резания, СОЖ и т.д.

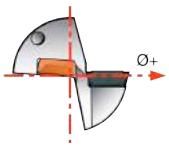




5 **Решение проблем**

Проблемы и их решение

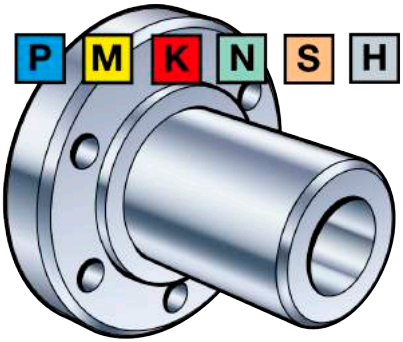




1. Деталь и материал заготовки

Материал:

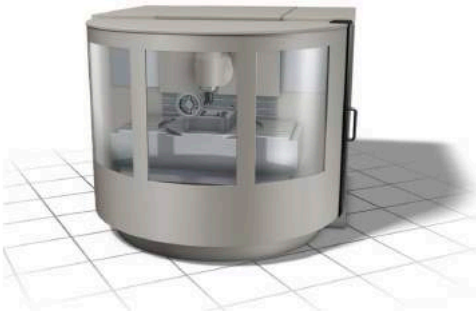
- Обрабатываемость
- Стружкодробление
- Твёрдость
- Легирующие элементы



Деталь:

- Симметрично ли отверстие относительно оси вращения детали? Можно ли обработать отверстие невращающимся сверлом?
- Закрепление, размер и глубина отверстия. Склонна ли деталь к воздействию усилия подачи и/или вибрациям?
- Необходим ли удлинитель инструмента, чтобы достать до поверхности, где будет сверлиться отверстие, например, потребуется ли больший вылет инструмента?
- Есть ли какие-либо особенности детали, осложняющие процесс обработки? Есть ли у детали наклонные, выпуклые или вогнутые поверхности? Есть ли пересекающиеся отверстия?

2. Параметры станка



Состояние станка:

- Жёсткость станка
- Частота вращения шпинделя
- Подвод СОЖ
- Расход и давление СОЖ
- Закрепление заготовки
- Горизонтальный или вертикальный шпиндель
- Мощность и крутящий момент
- Инструментальный магазин

3. Выбор инструмента

Различные способы получения отверстий

Основные параметры отверстия:

- Диаметр
- Глубина
- Качество (точность, шероховатость поверхности, прямолинейность)

Тип отверстия и требования по точности определяют выбор инструмента.

На процесс сверления влияют такие факторы, как вход и выход инструмента в наклонную или криволинейную поверхность, а также сверление пересекающихся отверстий.

Сверление



Преимущества

- Простой стандартный инструмент
- Относительно гибкое применение

Недостатки

- Два инструмента, переходники и базовые держатели
- Требуется дополнительный инструмент и операция, если необходимо выполнить отверстие со ступенями и/или фасками
- В зависимости от типа сверла
  - Производительность
  - Качество отверстия

Сверление отверстий со ступенями/фаской



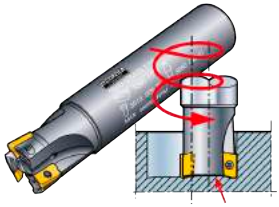
Преимущества

- Сокращение числа операций
- Самый быстрый способ выполнить отверстия со ступенями и/или фасками

Недостатки

- Требуется больше мощности и жёсткости
- Низкая гибкость применения

Фрезерование методом винтовой интерполяции



Преимущества

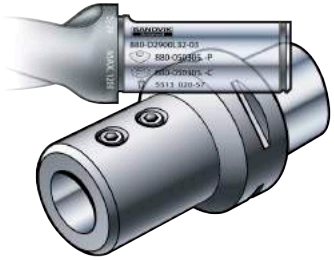
- Простой стандартный инструмент
- Высокая гибкость применения
- Низкие силы резания

Недостатки

- Большое время цикла обработки

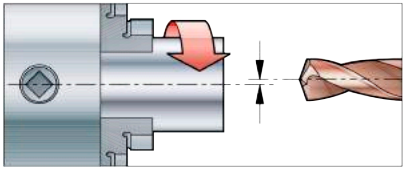
4. Способ применения

Параметры, которые необходимо учитывать



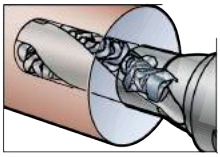
Инструментальная оснастка

- Всегда используйте инструмент с минимально возможным вылетом, чтобы уменьшить отжатие инструмента и риск возникновения вибраций, но при этом обеспечить надлежащую эвакуацию стружки
- Для лучшей стабильности и качества отверстия используйте модульную оснастку, гидромеханические или гидропластовые патроны



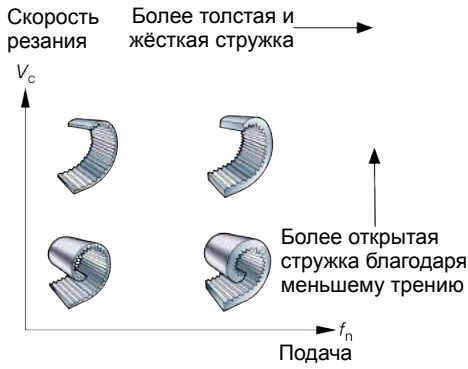
Биение инструмента

- Минимальное биение — основа успешного сверления



Эвакуация стружки и применение СОЖ

- Формирование и эвакуация стружки при сверлении — основной фактор, влияющий на качество получаемого отверстия



Сплав и геометрия

- Используйте рекомендованные сплав и геометрию
- Используйте рекомендованные параметры резания
- Для достижения непрерывного процесса обработки обеспечьте хорошее стружкообразование за счет корректировки параметров резания

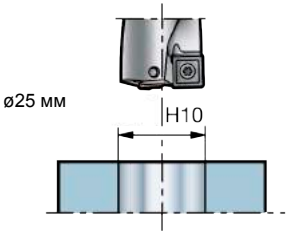
5. Решение проблем

Параметры, которые необходимо учитывать



Износ пластин и стойкость инструмента

- Контролируйте износ инструмента и, при необходимости, корректируйте режимы резания или выберите другой сплав пластины



Эвакуация стружки

- Убедитесь в удовлетворительном дроблении стружки и обеспечьте требуемый расход СОЖ, а при необходимости, замените стружколом и/или поменяйте параметры резания

Качество и точность отверстия

- Проверьте закрепление сверла/заготовки, значение подачи, состояние станка и эвакуацию стружки

Режимы резания

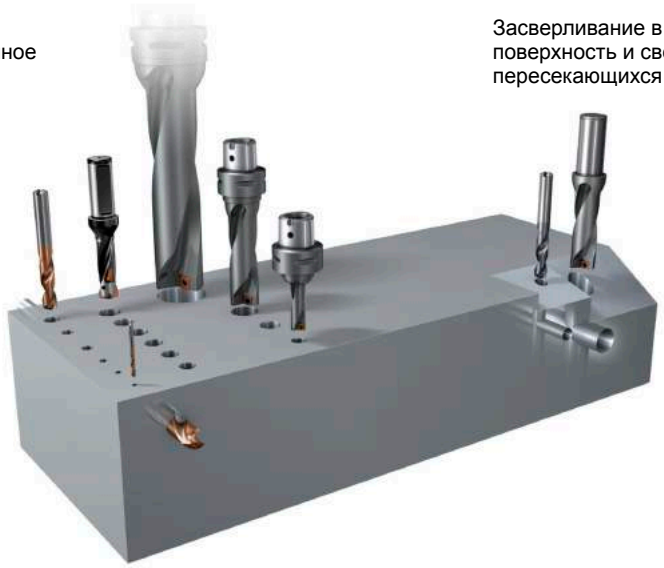
- Назначьте корректные скорости резания и подачи для обеспечения высокой производительности и стойкости инструмента

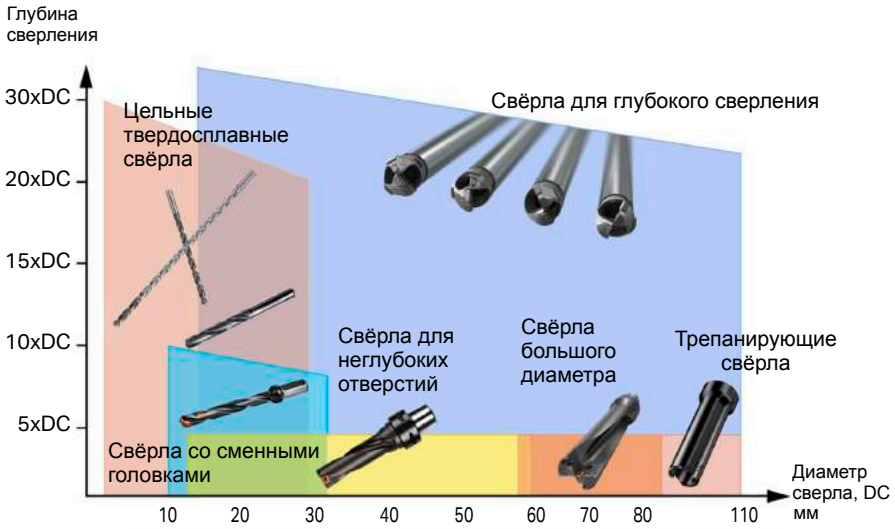
Свёрла

В стандартной программе представлены свёрла для обработки отверстий диаметром от 0,30 до 110 мм. Есть возможность заказа инженерного инструмента для обработки отверстий большего диаметра.

Традиционное сверление

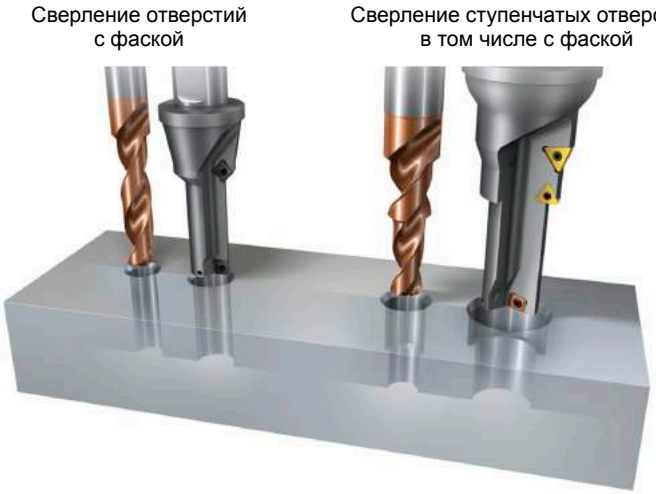
Засверливание в неровную поверхность и сверление пересекающихся отверстий



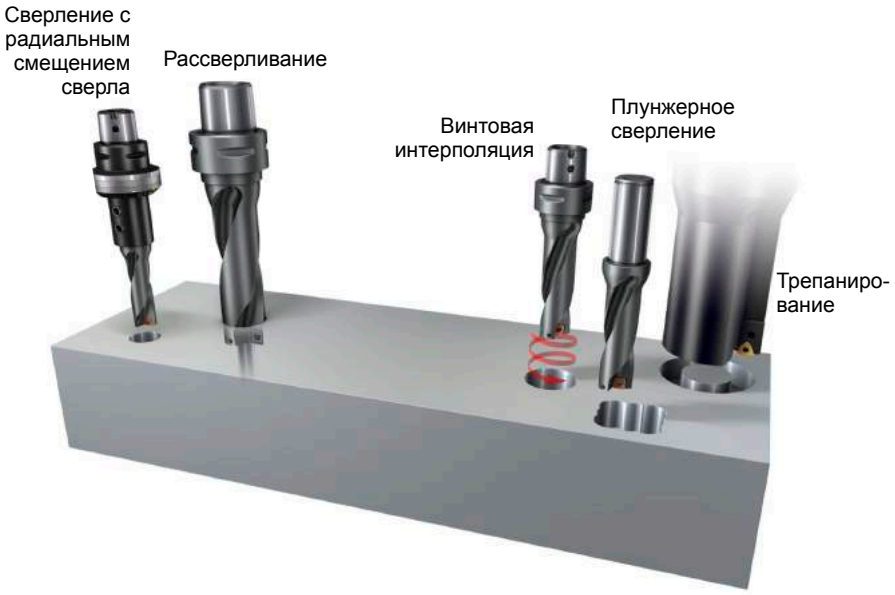


Выбор инструмента

Сверление ступенчатых отверстий и отверстий с фаской



Другие методы



Диаметр и глубина отверстия

Свёрла для обработки неглубоких отверстий

Свёрла со сменными пластинами



Всегда должны рассматриваться как первый выбор, позволяющий снизить затраты на отверстие. Это наиболее универсальный инструмент.

Области применения

- Отверстия среднего и большого диаметра
- Средние требования по точности
- Глухие отверстия с «плоским» дном
- Плунжерное сверление или растачивание

Цельные твердосплавные свёрла



Первый выбор для отверстий малого диаметра с жёстким допуском.

- Малый диаметр
- Высокие требования к точности отверстия
- Отверстия небольшой и относительно большой глубины

Свёрла со сменной головкой



Первый выбор для отверстий среднего диаметра, так как обеспечивают экономичность обработки.

- Отверстия среднего диаметра
- Высокая точность отверстий
- Стальной корпус с высокой прочностью
- Отверстия небольшой и относительно большой глубины

Свёрла со сменными пластинами

Преимущества









- Наиболее экономичный выбор для сверления отверстий
- Для всех обрабатываемых материалов
- Доступны стандартные, Tailor Made и специальные корпуса
- Универсальный инструмент, который выполняет не только операции сверления

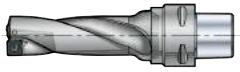
Типы закрепления

Доступны различные варианты соединений, что позволяет закреплять свёрла на станках почти всех конфигураций. Сегодня производители станков предлагают типы крепления, интегрированные в шпиндель.

Цилиндрический хвостовик



Coromant Capto®



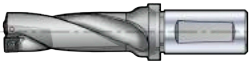
Цилиндрический хвостовик с лыской



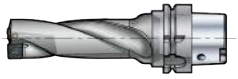
P-хвостовик



Whistle Notch



Другие модульные системы



Цельные твердосплавные свёрла

Основной выбор



P M K N S H

Оптимизированные по обрабатываемому материалу



P M K N S

Оптимизированные по применению

Свёрла для обработки фасок



P M K N S H

Свёрла для сталей высокой твёрдости, точность отверстия IT6-IT7



P H



Области применения свёрл по группам материалов

Группа материалов по ISO		P	M	K	N	S	H
	Цельные твердосплавные свёрла	+++	+++	+++	+++	+++	+++
	Свёрла со сменной головкой	+++	+++	+++	++	++	+
	Свёрла со сменными пластинами	+++	+++	+++	+++	+++	+++

Отверстия большого диаметра

Сверло большого диаметра



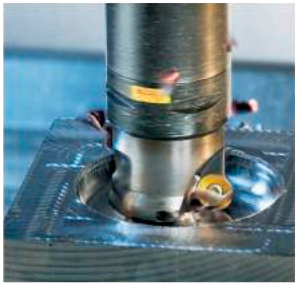
Свёрла со сменными пластинами доступны до диаметра 84 мм.

Трепанирующее сверло



Трепанирование используется для обработки больших отверстий при ограниченной мощности станка, поскольку этот процесс менее энергоёмкий по сравнению со сверлением в сплошном материале. В стандартной программе трепанирующие свёрла доступны до диаметра 110 мм.

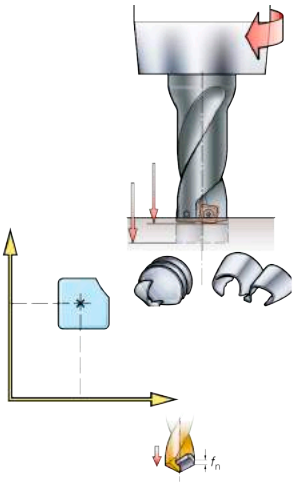
Фрезерование методом винтовой интерполяции



Фреза, работающая методом винтовой или круговой интерполяции, может использоваться для получения отверстий или в качестве расточного инструмента. Этот метод менее производителен, но может использоваться как альтернативный при возникновении проблем со стружкодроблением.

Особенности применения

Свёрла со сменными пластинами



Рекомендации по настройке

- Используйте сверло минимально возможной длины
- Проверьте запрограммированную длину
- Начинайте сверлить со средних рекомендованных значений подачи и скорости резания
- Проверьте стружкообразование и измерьте диаметр отверстия
- Осмотрите сверло на наличие износа и убедитесь, что не было затирания корпуса
- Увеличьте или уменьшите подачу в зависимости от стружкообразования, вибраций, качества поверхности и т.п.

Стружкообразование – Свёрла со сменными пластинами

- Хорошая эвакуация стружки изначально достигается за счет хорошего стружкообразования
- Длинная стружка может пакетироваться в стружечных канавках сверла
- Также может ухудшиться качество обработанной поверхности, существует риск поломки пластины и корпуса
- Стружкообразование корректируется изменением геометрии пластины и отладкой режимов резания
- Используйте геометрию пластины в соответствии с обрабатываемым материалом и условиями резания





Отлично



Приемлемо



Не приемлемо

Обработка вращающимся сверлом

Соосность



- Если диаметр полученного отверстия больше или меньше номинального диаметра сверла, или если центральная пластина склонна к сколам, то, как правило, ось вращения сверла смещена относительно оси вращения шпинделя
- Повернув сверло на 180° в держателе, можно решить данную проблему
- Для получения точного отверстия необходимо обеспечить совмещение осей вращения сверла и шпинделя
- Шпиндель станка и оснастка должны быть в хорошем состоянии

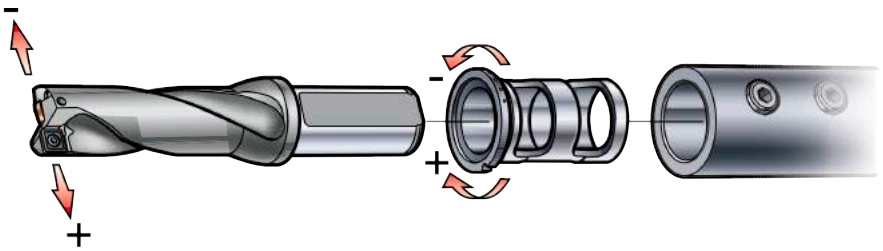
Радиальная регулировка

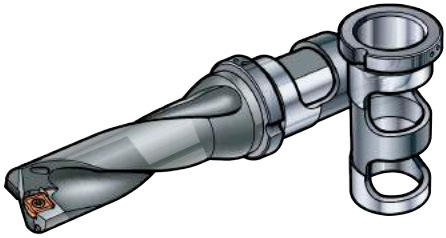


Регулируемый патрон

- Регулировка осуществляется поворотом кольца со шкалой на патроне. Шкала имеет величину деления 0,05 мм и показывает диаметральное перемещение инструмента
- Радиальная регулировка -0,2 /+0,7 мм. Обратите внимание, что диапазон регулировки не должен превышать максимальных/минимальных значений для каждого типоразмера сверла. (Максимальная величина радиального смещения указана в каталоге)
- Применение регулируемого патрона может вызвать необходимость снижения подачи (f_n) из-за увеличенного вылета инструмента и несбалансированных сил резания, созданных смещением
- Используйте втулки для закрепления хвостовиков разных размеров в одном патроне

Регулировочные втулки для хвостовиков по ISO 9766





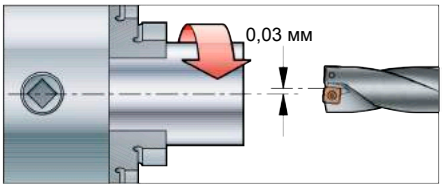
Вращающееся сверло — эксцентриковые втулки

Диаметр сверления может быть отрегулирован для получения более точного диаметра отверстия. Диапазон регулировки ±0,3 мм, но изменение диаметра в отрицательном направлении допустимо только для свёрл, формирующих отверстия большего диаметра, чем требуется (чтобы не получить отверстие недостаточного диаметра).

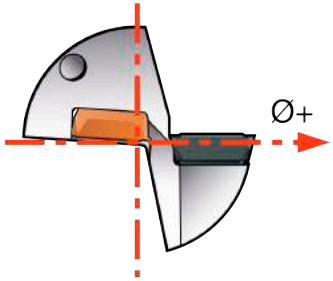
- Одно деление на пояске втулки увеличивает/уменьшает диаметр на 0,10 мм
- При вращении втулки по часовой стрелке диаметр сверления увеличивается
- При вращении втулки против часовой стрелки диаметр сверления уменьшается
- Используйте оба винта для закрепления сверла, предварительно убедившись, что их длины достаточно для надежной фиксации инструмента в патроне

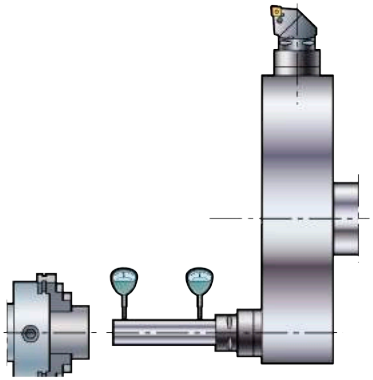
Обработка невращающимся сверлом

Центрирование



- Суммарная несоосность между линией центров станка и осью вращения обрабатываемой детали не должна превышать 0,03 мм
- Сверло должно быть установлено таким образом, чтобы передняя поверхность периферийной пластины была параллельна поперечному движению станка (обычно ось X)





Часовой индикатор и эталон

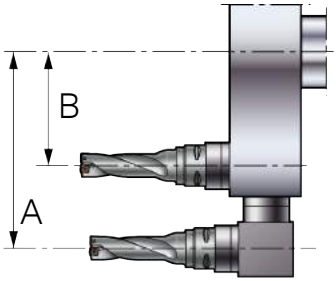
- Несоосность может быть также скорректирована смещением инструмента в радиальном направлении, в противном случае можно получить отверстие неправильного диаметра
- Замер можно сделать с помощью часового индикатора и эталона

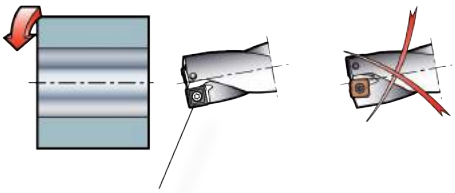


Сверло с четырьмя лысками

- Другой способ — изготовить сверло с 4-мя лысками, равномерно расположенными по хвостовику сверла
- Отверстия сверлятся и измеряются при установке в каждом положении лыски на хвостовике. Результаты измерения отверстия показывают точность настройки станка

Отклонение револьверной головки



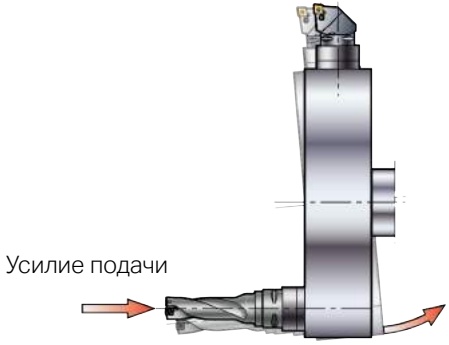


Периферийная пластина

Решение проблемы

- Отклонение револьверной головки на токарном станке с ЧПУ может быть вызвано усилием подачи

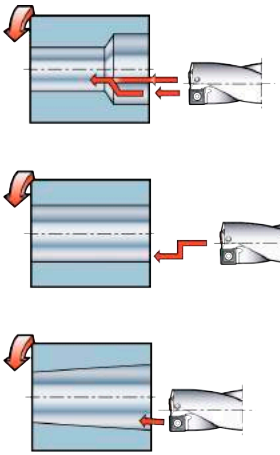
- Проверьте возможность минимизации изгибающего момента, устанавливая инструмент по-другому. Позиция B предпочтительней позиции A.



- Во избежание износа на корпусе сверла и повреждения отверстия при отводе инструмента, сверло устанавливается периферийной пластиной так, как показано на рисунке

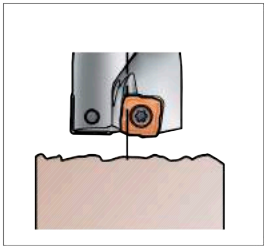
- Также можно снизить подачу на оборот (f_n), чтобы минимизировать усилие подачи

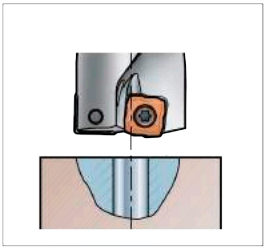
Радиальное смещение



- Можно просверлить отверстие диаметром больше, чем номинальный диаметр сверла. Также можно рассверлить и сделать чистовой проход — расточить отверстие
- Невращающимся сверлом со сменными пластинами можно обработать коническую поверхность
- Можно обработать фаску и получить ступенчатое отверстие
- Отверстие, в котором будет нарезаться резьба, можно выполнить за один проход с обработкой фаски

Неровная поверхность и рассверливание

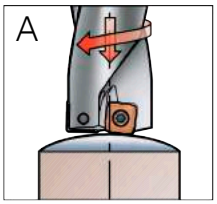




При входе и выходе в неровную поверхность есть риск скалывания пластины.

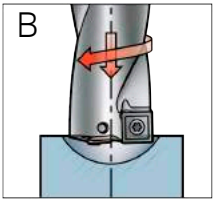
- Чтобы избежать этого, подача должна быть уменьшена на входе в резание
- Предварительное отверстие должно быть небольшим — не более 25% диаметра сверления — во избежание отклонения сверла
- Рассверливание осуществляется при сниженной подаче

Врезание в неплоскую поверхность



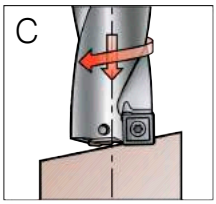
Выпуклая поверхность

- Обычно нет необходимости снижать подачу



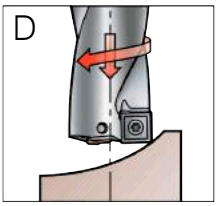
Вогнутая поверхность

- Уменьшите подачу до 1/3 от рекомендованного значения



Наклонная поверхность

- Когда наклон составляет 2º–89º, необходимо снизить подачу до 1/3 от рекомендованного значения



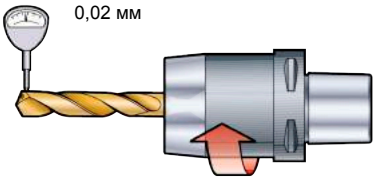
Изогнутая поверхность

- Уменьшите подачу до 1/3 от рекомендованного значения

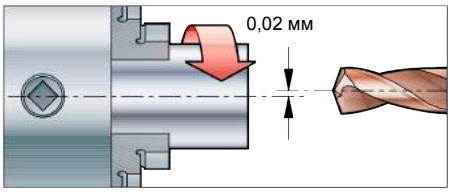
Цельные твердосплавные свёрла и свёрла со сменными головками

Центрирование

Вращающееся сверло



Невращающееся сверло

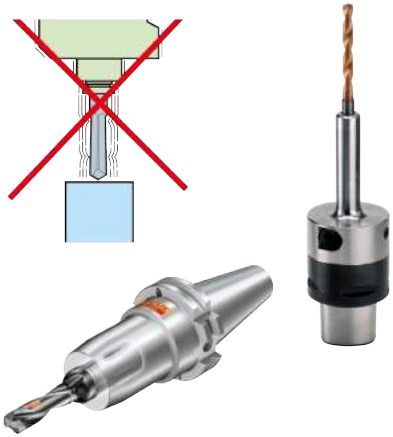


Минимальное биение инструмента — это один из основных критериев для успешного применения цельных твердосплавных свёрл.

Биение не должно превышать 0,02 мм, что позволит обеспечить:

- высокую точность отверстия
- хорошее качество обработанной поверхности
- стабильно высокую стойкость инструмента

Инструментальная оснастка



- Плохое состояние цанги и хвостовика полностью испортит даже превосходную во всём остальном инструментальную наладку
- Убедитесь, что суммарное биение не превышает 0,02 мм
- Биение может быть временно уменьшено путем поворота сверла или цанги на 90° или 180° для обеспечения минимального общего биения

Для лучшей работоспособности инструмента используйте гидропластовые или термозажимные патроны

Цельные твердосплавные свёрла и свёрла со сменными головками



Цельные твердосплавные свёрла

- Не рекомендуются в связи с риском выкрашивания режущей кромки

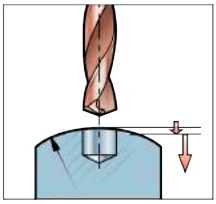


Свёрла со сменной головкой

- Не рекомендуется рассверливать существующие отверстия в связи с проблемами со стружкодроблением

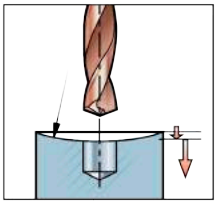
Врезание в неплоскую поверхность

При врезании в неплоскую поверхность существует риск увода сверла. Во избежание этого необходимо снизить подачу на входе.



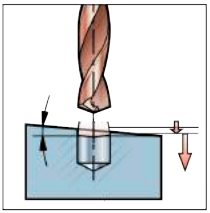
Выпуклая поверхность

Сверление возможно, если радиус поверхности в 4 раза больше диаметра сверла и ось отверстия перпендикулярна поверхности.
При входе уменьшите подачу на 50% от рекомендованного значения.



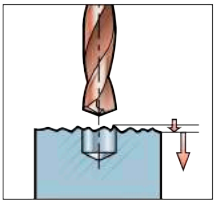
Вогнутая поверхность

Сверление возможно, если радиус поверхности в 15 раза больше диаметра сверла и ось отверстия перпендикулярна поверхности.
При входе уменьшите подачу на 25% от рекомендованного значения.



Наклонная поверхность

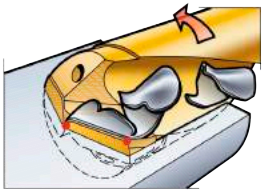
При наклоне до 10°, уменьшите подачу на входе до $^1/_3$ от рекомендуемого значения. Более 10° — сверление не рекомендуется. Отфрезеруйте небольшую плоскость на поверхности, после чего просверлите отверстие.



Волнистая поверхность

Уменьшите величину подачи до ¼ от рекомендуемого значения во избежание выкрашивания режущих кромок.

Стружкообразование – Цельные твердосплавные свёрла и свёрла со сменными головками





Начальная стружка

Примечание: В начале процесса сверления всегда образуется длинная стружка, которая не вызывает проблем.

- Хорошая эвакуация стружки изначально достигается за счет хорошего стружкообразования
- Длинная стружка может пакетироваться в стружечных канавках сверла
- Также может ухудшиться качество обрабатываемой поверхности и существует риск поломки пластины и корпуса
- Убедитесь, что используются правильные режимы резания и геометрия сверла/головки в соответствии с обрабатываемым материалом и условиями резания



Превосходно



Приемлемо



Пакетирование стружки

Применение СОЖ



Внутренний подвод СОЖ

- Всегда предпочтителен, особенно при обработке материалов, образующих при резании длинную стружку, и при сверлении глубоких отверстий (4-5 x DC)

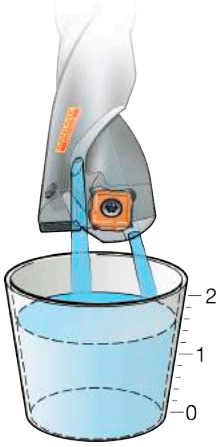
Наружный подвод СОЖ

- Может использоваться при хорошем стружкообразовании и малой глубине отверстия

Сжатый воздух, минимальная смазка или сверление без СОЖ

- Могут быть использованы при благоприятных условиях, но в основном не рекомендуются

СОЖ



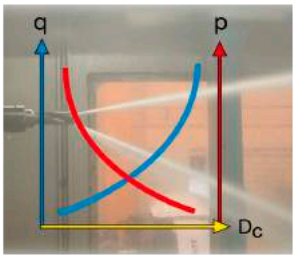
Содержащая масло (эмульсия)
- От 5 до 12% масла (10–25% для нержавеющей стали)
- Присадки EP (высокого давления)

Чистое масло
- Всегда с присадками EP
- Повышает стойкость инструмента при обработке материалов ISO-M и ISO-S
- Используется как для твердосплавных свёрл, так и для свёрл со сменными пластинами

Масляный туман или минимальная смазка
- Может использоваться при хорошем стружкообразовании

Обработка без применения СОЖ
- Может осуществляться при обработке материалов, дающих короткую стружку
- Для выполнения отверстий глубиной до 3 x D
- Предпочтительна при горизонтальном положении инструмента
- Отрицательно влияет на стойкость

Применение СОЖ — важно для успешного сверления

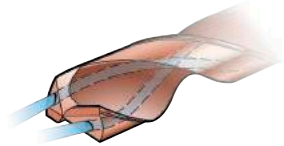


Применение СОЖ при сверлении влияет на:
- эвакуацию стружки
- качество отверстий
- стойкость инструмента

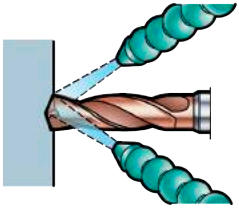
- Объем бака для СОЖ должен быть в 5–10 раз больше, чем минутный расход насоса
- Расход можно проверить, используя секундомер и мерную тару

СОЖ

Внутренний или наружный подвод



Внутренний подвод СОЖ
- Всегда предпочтителен, чтобы избежать пакетирования стружки
- Должен всегда использоваться при глубине отверстия больше 3 x D
- При горизонтальном расположении сверла напор СОЖ должен быть горизонтальным на вылете минимум 30 см

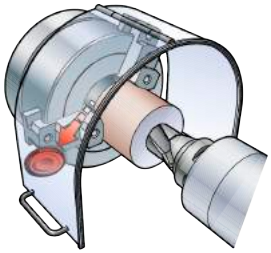


Наружный подвод СОЖ
- Может применяться при обработке материалов, дающих короткую стружку
- Чтобы улучшить эвакуацию стружки, по крайней мере одно сопло (два при невращающемся сверле) должно быть направлено вдоль оси сверла
- Иногда может помочь избежать возникновения нароста из-за больших температур в зоне резания

Сжатый воздух, минимальная смазка или сверление без СОЖ
- Могут использоваться для свёрл со сменными головками в благоприятных условиях при сверлении материалов, дающих короткую стружку
- Цельные твердосплавные свёрла хорошо работают в данных условиях

Меры безопасности

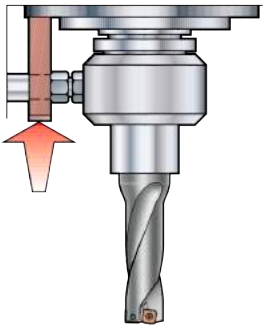
Внутренний подвод СОЖ



Ограждение от дисков

- Защита от вылета дисков важна для обеспечения безопасности, особенно при сверлении невращающимся сверлом

Наружный подвод СОЖ

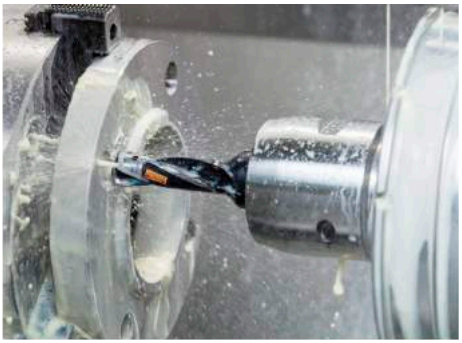


Упор для предотвращения проворота патрона

- Необходима надёжная фиксация патрона для вращающегося сверла
- Если СОЖ содержит частицы стружки, то подшипники могут заклинить и корпус может начать вращаться
- Если патрон не использовался долгое время, прежде чем запускать шпиндель, убедитесь в легкости вращения подшипников (инструмента) в патроне

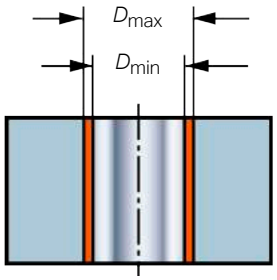
Качество и точность отверстия

Гарантия хорошего качества отверстия



- Хорошее состояние станка
- Надёжность и жёсткость оснастки
- Использование сверла с минимальным вылетом для максимальной стабильности
- Обеспечение удовлетворительного стружкодробления и эвакуации стружки
- Обеспечение подвода СОЖ с требуемым расходом и давлением

Допуск на отверстие



Размер отверстия характеризуется тремя параметрами:

- номинальный размер (теоретически точное значение)
- величина поля допуска (число), например IT7 по ISO
- расположение поля допуска (обозначенное заглавными буквами по ISO)

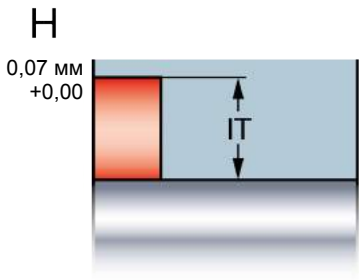
D_{max} - D_{min} = величина поля допуска, например IT7

Допуски на отверстия по ISO

Допуск	Диапазон диаметров, мм							Примеры
	3–6	6–10	10–18	18–30	30–50	50–80	80–120	
	.118–.236	*.236–.394*	*.394–.709*	*.709–1.181*	*1.181–1.969*	*1.969–3.150*	*3.150–4.724*	
IT6	0.008	0.009	0.011	0.013	0.016	0.019	0.022	Подшипники
	.0003	*.0004*	*.0004*	*.0005*	*.0006*	*.0007*	*.0009*	
IT7	0.012	0.015	0.018	0.021	0.025	0.030	0.035	
	.0005	*.0006*	*.0007*	*.0008*	*.0010*	*.0012*	*.0014*	
IT8	0.018	0.022	0.027	0.033	0.039	0.046	0.054	[1] Отверстия под резьбу
	.0007	*.0009*	*.0011*	*.0013*	*.0015*	*.0018*	*.0021*	
IT9	0.030	0.036	0.043	0.052	0.062	0.074	0.087	
	.0012	*.0014*	*.0017*	*.0020*	*.0002*	*.0029*	*.0034*	
IT10	0.048	0.058	0.070	0.084	0.100	0.120	0.140	Отверстия под обычную резьбу
	.0019	*.0022*	*.0028*	*.0033*	*.0039*	*.0047*	*.0055*	
IT11	0.075	0.090	0.110	0.130	0.160	0.190	0.220	
	.0030	*.0035*	*.0043*	*.0051*	*.0062*	*.0074*	*.0089*	
IT12	0.120	0.150	0.180	0.210	0.250	0.300	0.350	
	.0047	*.0059*	*.0071*	*.0083*	*.0098*	*.0118*	*.0138*	
IT13	0.180	0.220	0.270	0.330	0.390	0.460	0.540	
	.0071	*.0087*	*.0106*	*.0130*	*.0154*	*.0181*	*.0213*	

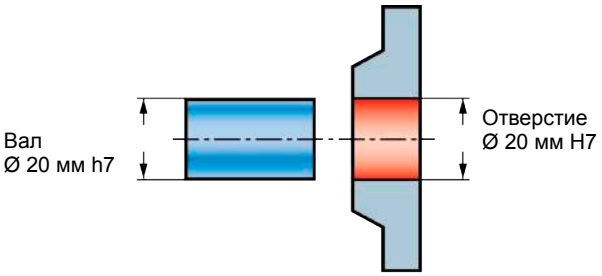
[1] Отверстие под обработку резьбы метчиком-раскатником

- Чем меньше квалитет IT, тем меньше допуск
- Допуск для одного квалитета IT увеличивается по мере увеличения диаметра



Пример:	Ø 15,00 мм H10
Номинальный диаметр:	15,00 мм
Поле допуска:	0,07 мм (IT 10 по ISO)
Отклонение:	0 + (H по ISO)

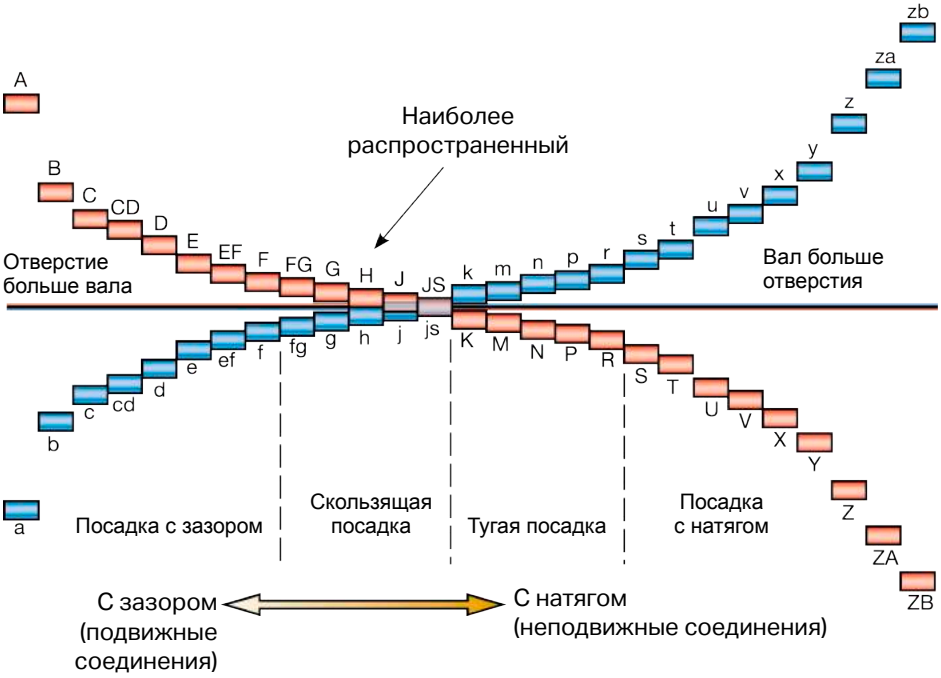
Точность вала и отверстия по ISO



Точность отверстия зачастую связана с точностью вала, который устанавливают в отверстие.

Точность отверстия и вала по ISO

Основное отклонение вала обозначается строчными латинскими буквами и соответствует полю допуска отверстия, обозначенному прописными буквами. На рисунке представлена подробная схема.



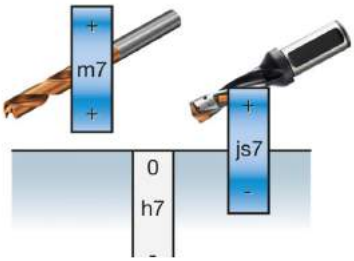
Допуск на отверстие и инструмент

Достижимая точность отверстий при обработке различными свёрлами

Допуск на диаметр сверла (DC)



Допуск на DC для цельного твердосплавного сверла и сверла со сменными головками



Допуск на сверло

- Сверло шлифуется по диаметру с определенным допуском, который обозначается строчными буквами в соответствии с ISO

Допуск на отверстие

- Современные цельные твердосплавные свёрла и свёрла со сменными головками позволяют получать отверстия, точность которых очень близка к точности самого сверла

Допуск	Цельные твердосплавные свёрла	Свёрла со сменной головкой	Свёрла со сменными пластинами
IT6			
IT7			
IT8			
IT9			
IT10			
IT11			
IT12			
IT13			







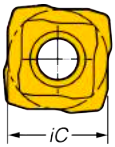
Свёрла со сменными пластинами

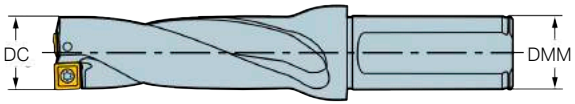
Допуск на диаметр сверла

- Допуск на диаметр сверла со сменными пластинами складывается из допуска изготовления посадочного гнезда под пластину и допуска изготовления режущей пластины

Точность отверстия

- Сверло со сменными пластинами обеспечивает оптимальный баланс сил резания. Отверстия всегда получаются с положительным допуском, поскольку большинство отверстий имеют допуск квалитета H



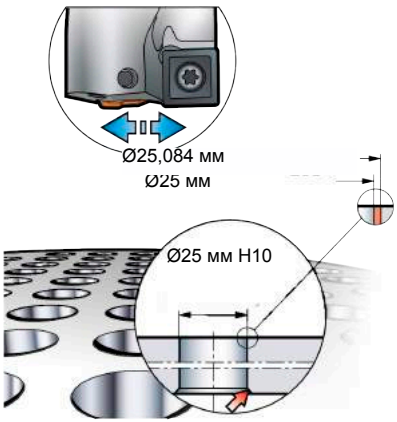


Глубина сверления 2–3 x DC

Диаметр сверла, мм	12 – 43.99	44 – 52.99	53 – 63.5
Точность отверстия, мм	0/+0.25	0/+0.28	0/+0.3
Допуск DC, мм	0/+0.2	0/+0.25	0/+0.28

Глубина сверления 4–5 x DC

Диаметр сверла, мм	12 – 43.99	44 – 52.99	53 – 63.5
Точность отверстия, мм	0/+0.4	0/+0.43	0/+0.45
Допуск DC, мм	+0.04/+0.24	+0.04/+0.29	+0.04/+0.32



Как улучшить точность отверстия

Один из способов исключить влияние допусков изготовления корпуса сверла и пластины — произвести регулировку сверла в радиальном направлении.

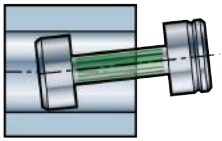
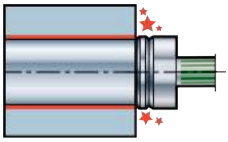
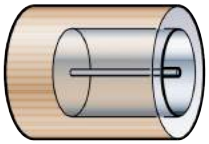
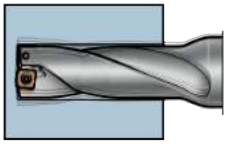
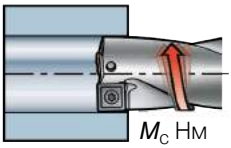
Регулировка может быть выполнена на станке, а также с помощью регулировочной втулки или регулируемого патрона, см. стр. E28.

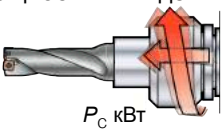
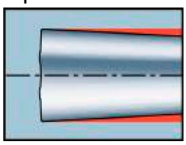
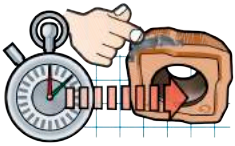
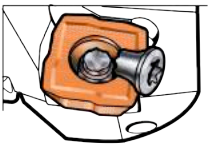
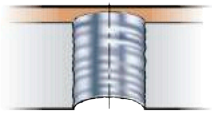
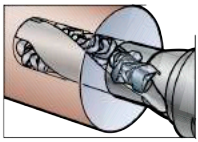
Достижимая величина поля допуска (IT) — в пределах 0,10 мм.

На размер отверстия может повлиять изменение геометрии одной из пластин.

Решение проблем

Свёрла со сменными пластинами

Проблема	Решение	
Диаметр отверстия вышел за верхний предел поля допуска 	Вращающееся сверло 1. Увеличьте расход СОЖ, очистите фильтр, прочистите каналы для внутреннего подвода СОЖ в сверле 2. Выберите более прочную геометрию для периферийной пластины (центральную пластину не меняйте)	Невращающееся сверло 1. Проверьте соосность сверла и шпинделя 2. Поверните сверло на 180° 3. Выберите более прочную геометрию для периферийной пластины (центральную пластину не меняйте)
Диаметр отверстия вышел за нижний предел поля допуска 	Вращающееся сверло 1. Увеличьте расход СОЖ, очистите фильтр, прочистите каналы для внутреннего подвода СОЖ в сверле 2. Выберите более прочную геометрию для центральной пластины и более острую геометрию для периферийной пластины	Невращающееся сверло 1. Проверьте соосность сверла и шпинделя 2. Поверните сверло на 180° 3. Выберите более прочную геометрию для центральной пластины (периферийные пластины не меняйте)
Стержень в отверстии 	Вращающееся сверло 1. Увеличьте подачу СОЖ, очистите фильтр, прочистите каналы для внутреннего подвода СОЖ в сверле 2. Попробуйте различные геометрии для периферийной пластины и назначьте подачу в соответствии с рекомендациями 3. Уменьшите вылет инструмента 4. Используйте небольшую подачу при входе на первые 3 мм	Невращающееся сверло 1. Проверьте соосность сверла и шпинделя 2. Увеличьте подачу СОЖ, очистите фильтр, прочистите каналы для внутреннего подвода СОЖ в сверле 3. Уменьшите вылет инструмента 4. Попробуйте различные геометрии для периферийной пластины и назначьте подачу в соответствии с рекомендациями
Вибрации 	1. Уменьшите вылет инструмента, повысьте жёсткость заготовки 2. Уменьшите скорость резания 3. Попробуйте различные геометрии для периферийной пластины и назначьте подачу в соответствии с рекомендациями	
Недостаточный крутящий момент 	1. Уменьшите подачу 2. Выберите более острую геометрию режущих пластин, чтобы снизить силы резания	

Проблема	Решение
Недостаточная мощность шпинделя  P_C кВт	1. Уменьшите скорость резания 2. Уменьшите подачу 3. Выберите более острую геометрию режущих пластин, чтобы снизить силы резания
Несимметричность отверстия 	Отверстие вблизи дна расширяется (замятие стружки на центральной пластине) 1. Увеличьте подачу СОЖ, очистите фильтр, прочистите каналы для внутреннего подвода СОЖ в сверле 2. Попробуйте различные геометрии для периферийной пластины и назначьте подачу в соответствии с рекомендациями 3. Уменьшите вылет инструмента
Низкая стойкость инструмента 	1. Увеличьте или уменьшите скорость резания в зависимости от типа износа 2. Выберите более острую геометрию режущих пластин, чтобы снизить силы резания 3. Увеличьте подачу
Поломка винта пластины 	1. Затягивайте винты с помощью динамометрического ключа и с использованием смазки 2. Регулярно проверяйте и заменяйте винты пластин
Низкое качество поверхности 	1. Важно обеспечить хороший отвод стружки 2. Уменьшите подачу (если важно сохранить v_f, увеличьте скорость) 3. Увеличьте подачу СОЖ, очистите фильтр, прочистите каналы для внутреннего подвода СОЖ в сверле 4. Уменьшите вылет инструмента, повысьте жёсткость заготовки
Пакетирование стружки в канавках 	Причина — длинная стружка 1. Проверьте геометрии пластин и режимы резания 2. Увеличьте подачу СОЖ, очистите фильтр, прочистите каналы для внутреннего подвода СОЖ в сверле 3. Уменьшите подачу в пределах рекомендованных значений 4. Увеличьте скорость резания в пределах рекомендованных значений

Износ инструмента — свёрла со сменными пластинами

Проблема	Причины	Решение
Износ по задней поверхности		
	a) Слишком высокая скорость резания b) Недостаточно износостойкая марка сплава	a) Уменьшите скорость резания b) Выберите более износостойкий сплав
Лункообразование		
	Периферийная пластина • Диффузионный износ, вызванный слишком высокой температурой на передней поверхности Центральная пластина: • Абразивный износ, вызванный наростом на режущей кромке и налипанием обрабатываемого материала	Периферийная пластина • Выберите более износостойкий сплав • Снизьте скорость резания Центральная пластина: • Уменьшите подачу Общая рекомендация: • Выберите более острую геометрию, т.е. -LM
Пластическая деформация (периферийная пластина)		
	a) Слишком высокая температура (скорость резания) в сочетании с высоким усилием (подача, твёрдость заготовки) b) Как результат износа по задней поверхности и лункообразования	a–b) Выберите более износостойкую марку сплава с лучшим сопротивлением пластической деформации a–b) Уменьшите скорость резания a) Уменьшите подачу
Выкрашивание		
	a) Недостаточно прочный сплав b) Слишком острая геометрия пластины c) Наростообразование d) Неудовлетворительное качество поверхности e) Недостаточная жёсткость системы f) Абразивные включения (чугун)	a) Выберите более прочный сплав b) Выберите более прочную геометрию c) Увеличьте скорость резания или выберите более острую геометрию d) Уменьшите подачу на входе e) Увеличьте жёсткость f) Выберите более прочную геометрию. Уменьшите подачу

Проблема	Причины	Решение
Наростообразование		
	a) Низкая скорость резания (слишком низкая температура на режущей кромке) b) Неподходящая геометрия c) Вязкий материал, такой как нержавеющая сталь или алюминий d) Слишком низкий процент масла в СОЖ	a) Увеличьте скорость резания или выберите сплав с покрытием b) Выберите более острую геометрию, т.е. -LM c-d) Увеличьте концентрацию и объем/давление СОЖ

Эвакуация стружки — общие рекомендации

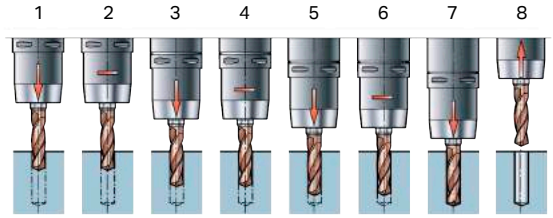


Ключевые моменты и решения проблем

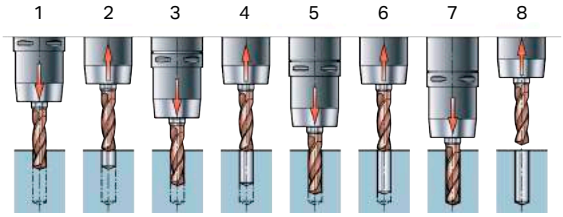
1. Убедитесь в правильности режимов резания и выбранных геометрий
2. Проанализируйте форму стружки (сравните с образцами на стр. E 26)
3. Проверьте возможность увеличения подачи и давления СОЖ
4. Проверьте состояние режущих кромок. Выкрашивание на кромке может вызвать образование длинной стружки. Кроме того, сильное наростообразование может ухудшить стружкообразование
5. Проверьте, не изменилась ли обрабатываемость материала после получения новой партии заготовок. Возможно, необходима корректировка режимов резания
6. Отрегулируйте подачу и скорость резания. См. график на стр. E 18.

Сверление за несколько проходов — цельные твердосплавные свёрла/свёрла со сменными головками

Допустимо использовать сверление с отводом сверла, если невозможно применить другие решения.
Существует два метода реализации данного способа сверления:

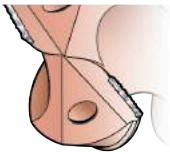
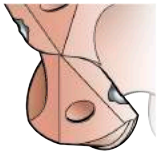
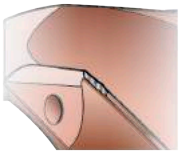


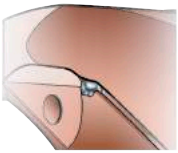
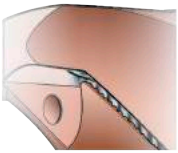
- Метод 1, обеспечивающий лучшую производительность
Не отводите сверло более чем на 0,3 мм от дна отверстия. В качестве альтернативы, делайте периодические остановки осевой подачи без прерывания вращения.



- Метод 2, обеспечивающий лучшую эвакуацию стружки
После каждого цикла сверления полностью выводите сверло из отверстия, чтобы убедиться в отсутствии налипания стружки на сверле.

Износ инструмента — твердосплавные свёрла/ свёрла со сменными головками

	Причины	Решение
Наростообразование		
	1. Слишком низкая скорость резания и температура на режущей кромке 2. Слишком большая отрицательная фаска 3. Отсутствие покрытия 4. Слишком низкое содержание масла в СОЖ	1. Увеличьте скорость резания или используйте наружный подвод СОЖ 2. Выберите более острую геометрию пластины 3. Выберите сплав с покрытием 4. Увеличьте процентное содержание масла в СОЖ
Выкрашивание в углах режущих кромок		
	1. Недостаточная жёсткость закрепления 2. Большое биение 3. Прерывистое резание 4. Недостаточная подача СОЖ (термические трещины) 5. Нежёсткий патрон	1. Проверьте закрепление 2. Проверьте радиальное биение 3. Уменьшите подачу 4. Увеличьте подачу СОЖ 5. Проверьте патрон
Износ режущих кромок по задней поверхности		
	1. Слишком высокая скорость резания 2. Слишком низкая подача 3. Слишком мягкий сплав 4. Недостаточное количество СОЖ	1. Уменьшите скорость резания 2. Увеличьте подачу 3. Выберите более прочный сплав 4. Увеличьте подачу СОЖ
Выкрашивание режущих кромок		
	1. Нестабильные условия обработки 2. Превышение максимально допустимого износа 3. Слишком твёрдый сплав	1. Проверьте жёсткость наладки 2. Немедленно замените сверло 3. Выберите более мягкий сплав
Увеличенный износ по ленточке		
	1. Слишком большое биение 2. Слишком низкий процент масла в СОЖ 3. Слишком высокая скорость резания 4. Материал с абразивными включениями	1. Проверьте радиальное биение 2. Используйте чистое масло или более концентрированную эмульсию 3. Уменьшите скорость резания 4. Выберите более твёрдую марку сплава

	Причины	Решение
Износ по перемычке		
	1. Слишком низкая скорость резания 2. Слишком высокая подача 3. Слишком маленькая величина перемычки	1. Увеличьте скорость резания 2. Снизьте подачу 3. Проверьте размеры сверла
Пластическая деформация		
	1. Слишком высокая скорость резания и/или подача 2. Недостаточное количество СОЖ 3. Неправильно выбран тип сверла или марка сплава	1. Уменьшите скорость резания и/или подачу 2. Увеличьте давление подачи СОЖ 3. Выберите более твёрдую марку сплава
Термотрещины (проточины)		
	1. Неверно организована подача СОЖ	1. Проверьте подачу СОЖ 2. Долейте охлаждающей жидкости в бак



Растачивание

Операции растачивания вращающимися инструментами применяются для обработки отверстий, полученных на предварительных операциях путём сверления, литья, ковки, экструзии, газовой резки и т.д.

• Теория F 4

• Процедура выбора инструмента F 8

• Обзор систем F 13

• Выбор инструмента F 16

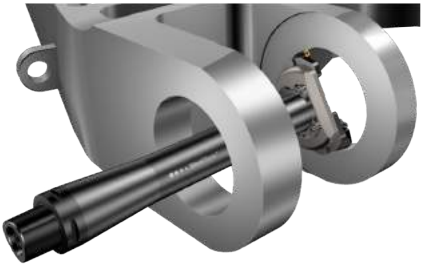
• Особенности применения F 22

• Решение проблем F 27

Теория растачивания

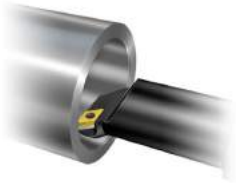
Описание процесса

- Как правило, операции растачивания выполняются на обрабатывающих центрах и горизонтальных расточных станках
- Вращающийся инструмент работает с осевой подачей
- Большинство отверстий - сквозные, часто в призматических деталях, таких как корпуса



Три основных метода увеличения размера отверстия

Растачивание невращающимся инструментом



- Применяется только для обработки симметричных деталей на токарных станках
- Профильную обработку можно выполнять стандартными расточными оправками
- Очень гибкие инструментальные решения со сменными резцовыми головками

Растачивание вращающимся инструментом



- Для обработки несимметричных деталей на обрабатывающих центрах
- Гибкие инструментальные решения с регулируемыми диаметрами
- Высокая производительность на черновых операциях
- Высокое качество и точность отверстий

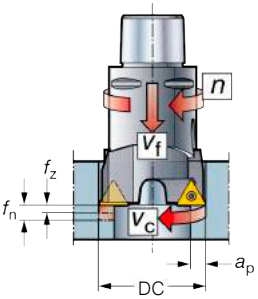
Фрезерование методом винтовой нтерполяции



- Очень гибкое решение, одна фреза может использоваться для обработки различных диаметров
- Экономия места в инструментальном магазине
- Хорошее решение при затрудненном стружкодроблении
- Высокие требования к оборудованию (для чистовой обработки)

Формулы и определения

Формулы для расчёта режимов резания



n = частота вращения шпинделя, об/мин
a_p = глубина резания, мм
v_c = скорость резания, м/мин
f_n = подача на оборот, мм/об
DC = диаметр растачивания, мм
v_f = минутная подача, мм/мин
f_z = подача на зуб, мм/зуб
z_c = эффективное число режущих кромок

Скорость резания

Расточной инструмент вращается с определенным числом оборотов (n) в минуту, обрабатывая заданный диаметр (DC). Этот процесс обеспечивает определенную скорость резания (v_c), измеряемую в м/мин на режущей кромке.

Метрическая система

$$v_c = \frac{\pi \times DC \times n}{1000} \quad \text{м/мин}$$

Дюймовая система

$$v_c = \frac{\pi \times DC \times n}{12} \quad \text{фут/мин}$$

Подача

Осевое перемещение инструмента называется подачей на оборот (f_n) и измеряется в мм/об. Подача на оборот получается путём умножения подачи на зуб на количество эффективных зубьев (z_c). Подача на оборот является ключевой величиной, определяющей качество обработанной поверхности и обеспечивающей стружкообразование в допустимых пределах геометрии режущей пластины.

$$v_f = f_n \times n \quad \text{мм/мин}$$

$$f_n = z_c \times f_z \quad \text{мм/об}$$

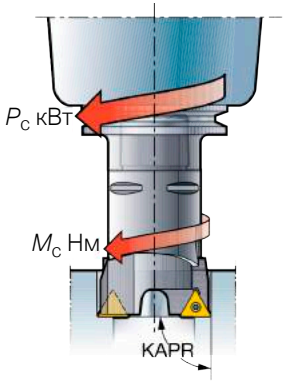
Минутная подача

Минутная подача (v_f) — скорость осевого перемещения инструмента, значительно влияющая на производительность.

Глубина резания

Глубина резания (a_p) — разность радиусов предварительного отверстия и отверстия после растачивания.

Расчёт крутящего момента и потребляемой мощности



n = частота вращения шпинделя, об/мин
v_c = скорость резания, м/мин
f_n = подача на оборот, мм/об
DC = диаметр растачивания, мм
k_c = удельная сила резания, Н/мм^2
P_c = потребляемая мощность, кВт
M_c = крутящий момент, Нм
KAPR = главный угол в плане

Крутящий момент

Крутящий момент (M_c) — величина момента вращения расточного инструмента в процессе резания, которую должен обеспечить станок.

Потребляемая мощность

Потребляемая мощность (P_c) — это мощность, которую станок должен передавать режущей кромке для осуществления процесса резания. При выборе режимов резания должны приниматься во внимание механические и электрические характеристики станка.

Удельная сила резания

Определяется как отношение силы резания к единице площади срезаемого слоя в тангенциальном направлении. Значение k_c показывает обрабатываемость определенного материала и выражается в Н/мм^2.

Метрическая система

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

Дюймовая система

$$M_c = \frac{P_c \times 16501}{\pi \times n} \text{ фунт-сила/фут}$$

Потребляемая мощность, кВт

$$P_c = \frac{v_c \times a_p \times f_n \times k_c}{60 \times 10^3} \left(1 - \frac{a_p}{DC}\right)$$

Потребляемая мощность, л.с.

$$P_c = \frac{v_c \times a_p \times f_n \times k_c}{132 \times 10^3} \left(1 - \frac{a_p}{DC}\right)$$

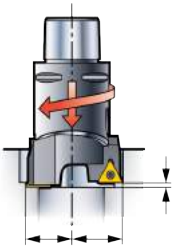
Методы растачивания

Многолезвийное растачивание



При многолезвийном растачивании используется 2-3 режущих кромки. Метод применяется для черновой обработки отверстий с классом точности IT9 и более, когда первым приоритетом является скорость съема металла. При многолезвийном растачивании все ползуны настроены на одинаковые диаметр и высоту. Подача на оборот вычисляется умножением подачи для каждой режущей пластины на количество пластин ($f_n = f_z \times z$). Это базовая наладка для большинства операций растачивания.

Ступенчатое растачивание



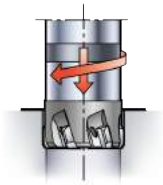
При ступенчатом растачивании ползуны настроены на различные диаметры и с разной осевой высотой. Ступенчатое растачивание используется там, где требуется большая радиальная глубина резания или при обработке мягкого материала (дающего длинную стружку). При этом методе ширина стружки делится на 2 мелких части, которые легко эвакуируются. Подача на оборот и качество обработанной поверхности такие же, как при использовании одной режущей пластины ($f_n = f_z$).

Растачивание одной режущей кромкой



Черновое растачивание одной режущей кромкой применяется в случаях, когда возникают сложности с контролем стружкодробления (материал даёт длинную стружку) и/или когда ограничена мощность станка. Используется только один ползун. Поверхности неиспользуемых ползунов защищены заглушками. При чистовом растачивании используется регулируемый однокромочный инструмент для получения отверстий более высокой точности, ($f_n = f_z$).

Развёртывание



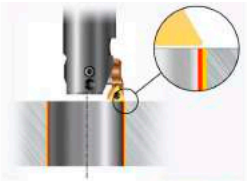
Развёртывание — это чистовая операция, выполняемая многозубой развёрткой с высокими подачами.

Процедура выбора инструмента

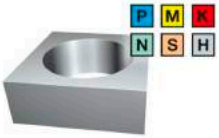
Процесс планирования производства

1 **Анализ детали**

Размеры и качество поверхности отверстия



Материал и форма заготовки, размер партии



2 **Анализ оборудования**

Параметры станка



3 **Выбор инструмента**

Тип инструмента

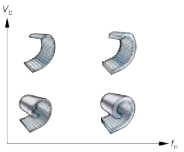




4 **Способ применения**

Режимы резания, СОЖ и т.д.

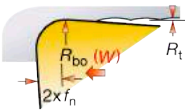




5 **Решение проблем**

Проблемы и их решение





1. Деталь и материал заготовки

Параметры, которые необходимо учитывать





Деталь

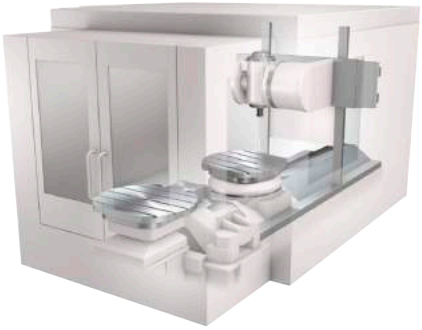
- Определите тип операции и параметры обрабатываемого отверстия, а также материал заготовки и состояние станка
- Закрепление, зажимные усилия и силы резания. Склонна ли деталь к вибрациям?
- Выберите инструмент с требуемым диапазоном диаметров и глубины растачивания, удовлетворяющий требованиям конкретной операции, в том числе по шероховатости и точности отверстия

Материал заготовки

- Обрабатываемость
- Стружкодробление
- Твёрдость
- Легирующие элементы

2. Анализ оборудования

Состояние станка

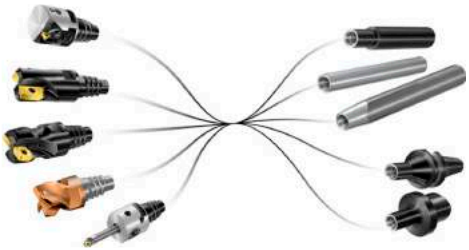


- Интерфейс шпинделя
- Жёсткость станка
- Частота вращения шпинделя
- Подвод СОЖ
- Давление СОЖ
- Закрепление заготовки
- Горизонтальный или вертикальный шпиндель
- Мощность и крутящий момент
- Инструментальный магазин

3. Выбор инструмента

Жёсткость при изгибе и передача крутящего момента — это самые важные факторы при выборе инструмента для расточных операций. Выбирайте инструмент согласно своим конкретным потребностям:





- Инструмент для различных материалов, областей применения и условий обработки
- Механизмы точной регулировки и высокоточная подача СОЖ для чистовой обработки
- Повышение производительности благодаря инструментам с несколькими режущими кромками
- Инструменты малых и больших диаметров
- Антивибрационные инструменты для обработки с большими вылетами без вибрации
- Уменьшение массы и инерции инструментальной сборки для повышения удобства работы

Инженерные решения



- Выполнение нескольких операций одним инструментом
- Несколько операций за один проход

4. Способ применения

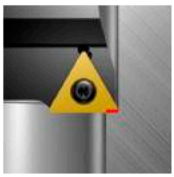
Параметры, которые необходимо учитывать



Инструментальная оснастка

- Всегда используйте наиболее жёсткий тип соединения и минимально возможный вылет инструмента
- Для лучшей стабильности и качества отверстий применяйте модульную систему Coromant Capto®, антивибрационные инструменты и конические хвостовики



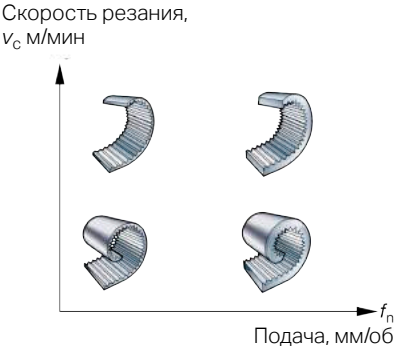


Инструмент

- Выберите угол в плане, геометрию и сплав пластины

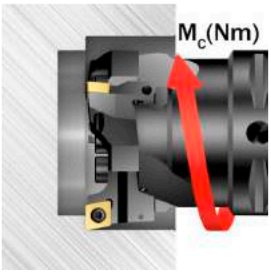
Эвакуация стружки и СОЖ

- Стружкообразование и эвакуация стружки — важные факторы при растачивании, влияющие на качество и точность отверстий



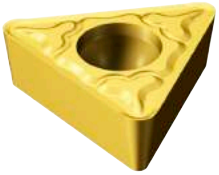
Режимы резания

- Для обеспечения высокой производительности, стойкости инструмента и качества отверстий важно правильно подобрать скорости резания и подачи
- Обязательно учитывайте крутящий момент и мощность станка



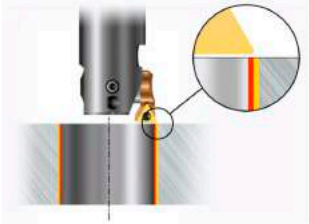
5. Решение проблем

Практические рекомендации



Износ пластины и стойкость инструмента

- При растачивании крайне важно правильно выбрать геометрию и сплав пластин, а также режимы резания

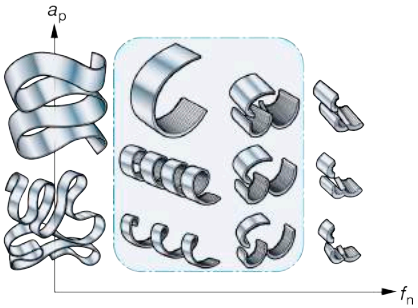


Эвакуация стружки

- Проверьте дробление стружки и подачу СОЖ

Качество и точность отверстия

- Проверьте закрепление расточного инструмента/заготовки, величину подачи, состояние станка и эвакуацию стружки



Режимы резания

- Для обеспечения высокой производительности, стойкости инструмента и предотвращения вибрации важно правильно подобрать скорость резания и подачу



Обзор систем

Инструмент для чернового растачивания

Черновое растачивание выполняется для увеличения диаметра существующего отверстия и подготовки к последующей чистовой обработке.

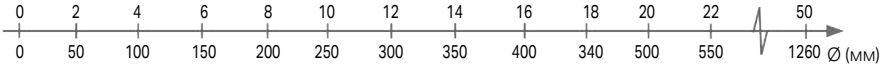


Инструмент для чистового растачивания

Чистовое растачивание выполняется для получением требуемых точности и шероховатости поверхности.



Черновое растачивание





Инструмент для чернового растачивания с двумя пластинами Ø23-170 мм



Инструмент для чернового растачивания с тремя пластинами Ø36-306 мм



Антивибрационный инструмент для чернового растачивания с двумя пластинами Ø25-150 мм



Инструмент большого диаметра для чернового растачивания с двумя пластинами Ø150-1260 мм



Инструмент большого диаметра для чернового растачивания с двумя пластинами (со сниженной массой) Ø148-300 мм



Инструмент большого диаметра для чернового растачивания с двумя пластинами (антивибрационный) Ø148-300 мм

Чистовое растачивание отверстий малого диаметра





Чистовые расточные головки с цельной твердосплавной оправкой Ø1-8,2 мм



Чистовые расточные головки с оправкой со сменными пластинами Ø6-20 мм



Чистовые расточные головки с оправкой со сменными пластинами или оправкой для обработки канавок Ø8-32 мм



Многолезвийная развёртка Ø3,97–31,75 мм

Чистовое растачивание — средние диаметры





Система сменных головок Ø19-36 мм



Инструмент с цилиндрическим хвостовиком Ø19-36 мм



Инструмент с модульной системой Coromant Capto Ø19-167 мм



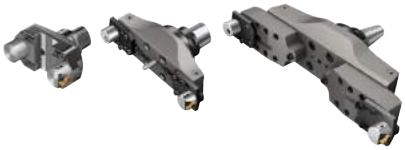
Антивибрационный инструмент с модульной системой Coromant Capto Ø23-167



Инструмент с модульной системой Coromant Capto (со сниженной массой) Ø69-167 мм

Чистовое растачивание — большие диаметры





Инструмент для чистового растачивания Ø150-1275 мм



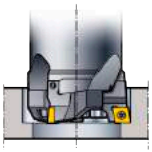
Антивибрационный инструмент для чистового растачивания Ø150-315 мм



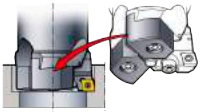
Инструмент с соединением Coromant Capto или с креплением на оправке (со сниженной массой) Ø150-315 мм

Выбор инструмента

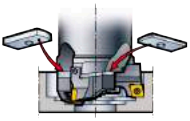
Черновая обработка



Многолезвийное растачивание



Растачивание одной режущей кромкой



Ступенчатое растачивание

Многолезвийное растачивание

- Высокая скорость съёма металла
- Высокая производительность, пластины на одном уровне

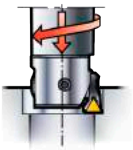
Растачивание одной режущей кромкой

- Улучшенный контроль над стружкодроблением
- Пониженные требования к мощности станка

Ступенчатое растачивание

- Черновое растачивание с большим припуском
- Улучшенный контроль над стружкодроблением

Чистовая обработка



Растачивание одной режущей кромкой



Развёртывание

Растачивание одной режущей кромкой

- Высокоточное чистовое растачивание
- Класс точности IT6
- Возможность регулировки с точностью до 0,002 мм

Развёртывание

- Высокое качество обработанной поверхности при большой минутной подаче
- Возможность применения в массовом производстве

Инженерные решения



- Выполнение нескольких операций одним инструментом
- Несколько операций за один проход

Инструмент для чернового растачивания

Инструмент для черновой обработки с тремя пластинами



Первый выбор для станков средней и высокой мощности — инструмент для чернового растачивания с тремя режущими кромками для обеспечения максимальной производительности. Также может иметь наладку для однолезвийного и ступенчатого растачивания.

Инструмент для черновой обработки с двумя пластинами



Черновой расточной инструмент с двумя режущими кромками — первый выбор для станков низкой и средней мощности, нестабильных условий обработки и больших диаметров.

Инструмент для черновой обработки со сниженной массой



Уменьшает массу инструментальной сборки, её инерцию, упрощает смену инструмента и его эксплуатацию. Для растачивания отверстий больших диаметров с повышенной стабильностью без увеличения веса инструмента.

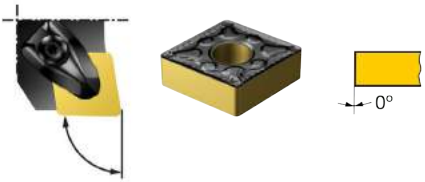
Антивибрационный инструмент для черновой обработки с большими вылетами



Выбирайте антивибрационный инструмент для чернового растачивания при работе с вылетом более 4 x D.

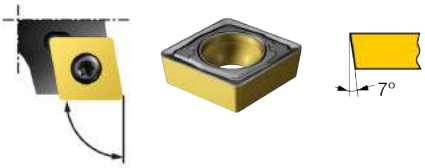
Пластины для чернового растачивания

Пластины без задних углов



- Для стабильных условий выбирайте пластины без задних углов с целью повышения стойкости
- Используйте режущие пластины без задних углов для обработки в тяжёлых условиях, когда требуется повышенная прочность режущей кромки и надёжность процесса обработки

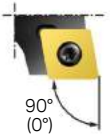
Пластины с задними углами



- При черновом растачивании целесообразно использовать режущие пластины с задними углами, так как они обеспечивают меньшие силы резания по сравнению с пластинами без задних углов
- Малый угол при вершине и малый радиус при вершине также способствуют снижению сил резания

Главный угол в плане и форма пластины

Главный угол в плане расточного инструмента влияет на направление и величину осевой и радиальной составляющих сил резания. Большой угол в плане вызывает значительные осевые силы резания, а малый угол в плане — значительные радиальные силы резания.

Пластины с задними углами			Пластины без задних углов
		Для прерывистого резания, обработки материалов с песчаными включениями, для растачивания пакетов и т. д. Только для сквозных отверстий	
		Первый выбор для общих операций растачивания, ступенчатого растачивания и для обработки уступов	
		Для обработки с высокими подачами или повышения качества обработанной поверхности при использовании пластин Wiper в стабильных условиях	

Инструмент для чистового растачивания

Инструмент для чистовой обработки с одной пластиной



Однолезвийный чистовой расточной инструмент — первый выбор для чистового растачивания.

Инструмент для чистовой обработки со сниженной массой



Уменьшает массу инструментальной сборки, её инерцию, упрощает смену инструмента и его эксплуатацию. Для растачивания отверстий больших диаметров с повышенной стабильностью без увеличения веса инструмента.

Чистовая расточная головка с чистовыми расточными оправками



Для чистовой обработки отверстий малого диаметра.

Антивибрационный инструмент для чистовой обработки с большими вылетами



Антивибрационные инструменты Silent Tools — первый выбор при работе с вылетами более 4 x D.

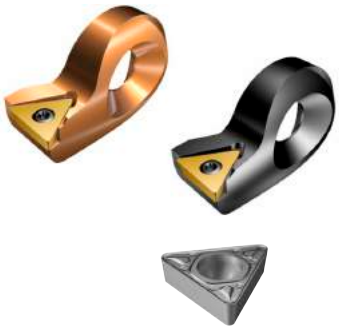
Многолезвийная развёртка



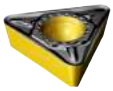
Применяется для обработки с высокими подачами в массовом производстве.

Резцовые вставки для чистового расточного инструмента

Общие рекомендации



Пластины с задним углом 7°



Пластины с задним углом 11°

Главный угол в плане

Влияет на направление и величину осевой и радиальной составляющих силы резания. С увеличением главного угла в плане увеличиваются осевые силы, что благоприятно при растачивании. Напротив, с уменьшением главного угла в плане увеличиваются радиальные силы и, соответственно, возникает вибрация.

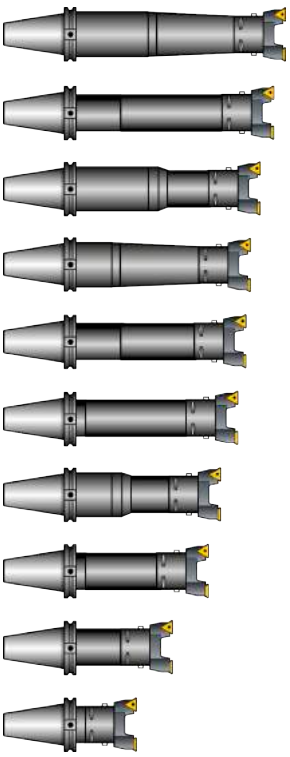
Форма пластины

Должна выбираться в зависимости от степени врезания режущей кромки. Больший угол при вершине повышает прочность и надёжность пластины, однако при этом требует большую мощность станка и может приводить к вибрациям из-за более сильного врезания режущей кромки. Уменьшение угла при вершине может повысить стабильность инструмента и исключить радиальные смещения, в результате чего снижаются вибрации и сила резания. Первый выбор — пластины с задними углами 7°.

Радиус при вершине пластины

Ключевой фактор при растачивании. Выбор радиуса при вершине зависит от глубины резания и подачи и влияет на качество обработанной поверхности, стружкодробление и прочность режущей пластины. Большой радиус при вершине будет отклонять расточной инструмент сильнее, чем небольшой радиус при вершине, инструмент будет больше подвержен вибрации. Использование геометрии пластин для ненагруженного резания, тонкого покрытия и небольшого радиуса при вершине с меньшей глубиной резания способствует уменьшению сил резания.

Вылет инструмента



- Выбирайте адаптер минимально возможной длины
- Выбирайте адаптеры с максимально возможным диаметром/размером соединения
- При длинных вылетах (более 4 x D) выбирайте антивибрационные адаптеры
- По возможности используйте конический адаптер для повышения статической жёсткости и уменьшения отжатия
- Для работы с большим вылетом по возможности обеспечивайте жёсткое закрепление инструмента в шпинделе с контактом по фланцу

Особенности применения

Точность отверстия

На точность оказывают влияние:

- закрепление инструмента
- закрепление детали
- износ режущих пластин и т. д.

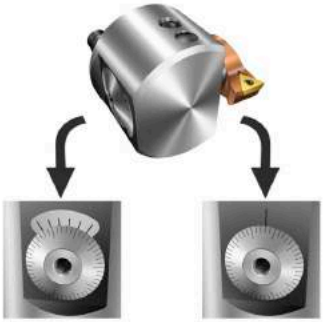
Всегда выполняйте окончательную регулировку после измерения диаметра отверстия, пока инструмент находится в шпинделе станка. Это позволяет компенсировать возможные отклонения от заданного положения между шпинделем станка и инструментом, а также радиальные отклонения и износ пластины.

Инструмент для растачивания и развёртывания

	Многолезвийный инструмент для чернового растачивания 	Однолезвийный инструмент для чистового растачивания 	Многолезвийная развёртка для чистовой обработки с высокими подачами 
IT6			
IT7			
IT8			
IT9			

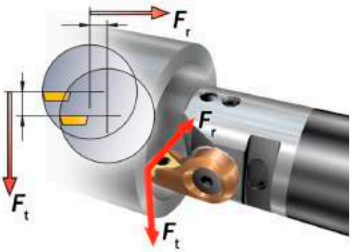
Инструмент для чистового растачивания

Механизм регулировки чистового расточного инструмента



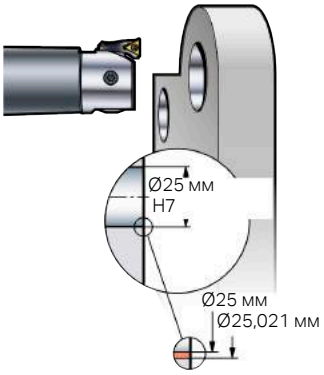
Инструмент для чистовой обработки с одной режущей кромкой имеет возможность точной регулировки диаметра в пределах микрометра.

Отжатие инструмента



- Расточной инструмент для чистовой обработки с одной режущей кромкой будет испытывать радиальное отклонение, возникающее в процессе обработки в результате действия радиальных сил резания
- Радиальное отжатие расточного инструмента зависит от глубины резания и вылета
- Отжатие инструмента может стать причиной уменьшения диаметра отверстия и возникновения вибраций
- Обычно требуется пробный проход, после которого выполняется окончательная регулировка инструмента

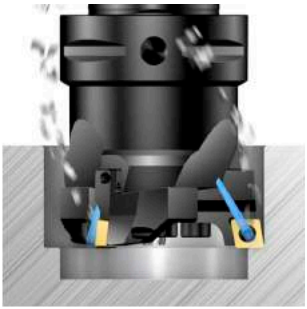
Точность отверстия



Общие рекомендации

Применение СОЖ

Эвакуация стружки, охлаждение и смазывание поверхности контакта инструмента и заготовки являются основными функциями смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ).

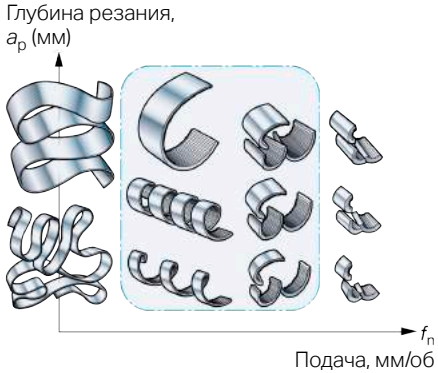


- Применяйте СОЖ для улучшения отвода стружки, охлаждения и смазывания
- СОЖ влияет на качество отверстия и стойкость инструмента
- Рекомендуется внутренний подвод СОЖ в зону резания

Контроль над стружкодроблением и эвакуация стружки

Стружкообразование и эвакуация стружки являются критическими вопросами на операциях растачивания, особенно при обработке глухих отверстий.

Идеальная форма стружки напоминает запятую или короткую спираль.



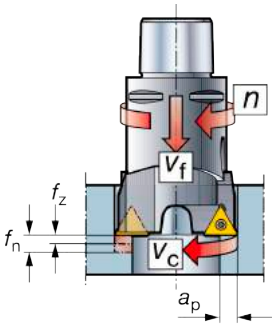
Факторы, влияющие на стружкодробление:

- микро- и макрогеометрия пластины
- радиус при вершине
- главный угол в плане
- глубина резания
- подача
- скорость резания
- обрабатываемый материал



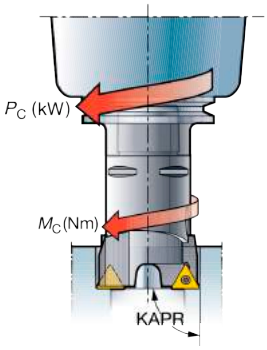


Рекомендуемые режимы резания



Выбор скорости резания (v_c) и подачи (f_n) зависит от области применения. С ростом скорости резания и/или подачи повышается риск снижения надёжности процесса обработки и, как следствие, неудовлетворительной эвакуации стружки, пакетирования стружки и поломки пластин. Особенно при обработке глубоких отверстий. Небольшие скорости резания могут повысить вероятность наростообразования на режущей кромке (BUE), что приводит к неудовлетворительному качеству обработанной поверхности, повышению сил резания и снижению стойкости инструмента. Режимы резания для пластин с определенной геометрией и сплавом выбираются с учётом следующих общих рекомендаций:

- Черновое растачивание
  Max начальное значение v_c = 200 м/мин
- Чистовое растачивание с адаптерами для чистовой обработки:
  Max начальное значение v_c = 240 м/мин
- Чистовое растачивание с расточными оправками для чистовой обработки:
  Max начальное значение v_c = 90 – 120 м/мин
- Чистовое растачивание:
  Max APMX = 0,5 мм



Скорость резания ограничивается в основном следующими факторами:

- склонность к вибрациям
- сложность эвакуации стружки
- длинные вылеты

Глубина резания и подача

Слишком большое врезание режущей кромки, большая глубина резания (a_p) и/или подача (f_n) могут вызвать вибрацию и повысить потребляемую мощность. При слишком малой глубине резания пластина будет скользить по предварительно обработанной поверхности, царапая и истирая ее, что также приводит к увеличению износа инструмента и снижению качества обработанной поверхности.

Потребляемая мощность и крутящий момент

При растачивании убедитесь, что станок может обеспечить достаточные мощность и крутящий момент.

Обслуживание инструментов и применение динамометрического ключа



- Всегда используйте динамометрический ключ и затягивайте винты пластины и элементы сборки с рекомендуемым моментом
- Регулярно проверяйте режущие пластины и их гнезда на предмет загрязнений и повреждений. Очищайте все сборочные единицы перед их сборкой
- Смазывайте все сборочные единицы и механизм точной регулировки диаметра растачивания как минимум раз в год
- Заменяйте изношенные сборочные элементы и комплектующие
- Используйте подходящие сборочные приспособления и устройства для предварительной наладки инструментов
- Никогда не зажимайте антивибрационный инструмент за корпус адаптера. Адаптеры легко деформируются из-за малой толщины стенок
- Проверяйте шпиндель станка, биение, износ и усилие зажима

Рекомендации по применению развёрток



- Применение развёрток не исправляет погрешностей прямолинейности и позиционирования отверстия
- Отклонение от прямолинейности предварительно изготовленного отверстия не должно превышать 0,05 мм
- При развёртывании отверстий необходимо максимально сократить биение
- Максимально допустимое биение составляет 5 мкм
- Убедитесь, что оси развёртки и предварительно обработанного отверстия концентричны
- Выбирайте как можно более короткий держатель и хвостовик
- Использование эмульсии в качестве СОЖ увеличивает стойкость инструмента по сравнению с маслом
- Используйте рекомендуемые режимы резания

Решение проблем

Факторы, влияющие на возникновение вибраций

Склонность к вибрациям растёт вправо на рисунке.

Главный угол в плане

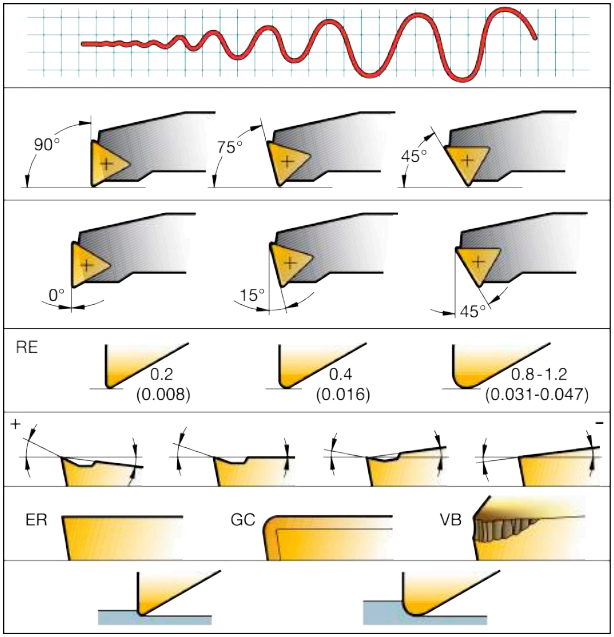
Угол в плане (дюймовый)

Радиус при вершине

Микро- и макрогеометрия

Конструкция кромки

Глубина резания (DOC)



- Уменьшите скорость резания
- Применяйте ступенчатое растачивание
- Выбирайте инструмент для чернового растачивания с 2 режущими кромками
- Выбирайте геометрию и сплав, снижающие силы резания
- Используйте меньший радиус при вершине пластины
- Проверьте закрепление заготовки
- Проверьте шпиндель станка, закрепление, износ и т. д.
- Увеличьте глубину резания (чистовая обработка)
- Уменьшите глубину резания (черновая обработка)
- Используйте антивибрационные инструменты при больших вылетах
- Проверьте, что все элементы инструментальной сборки правильно собраны и затянуты с рекомендуемым моментом
- Уменьшите или увеличьте подачу
- Используйте инструмент максимально возможного диаметра
- Выбирайте минимально возможный вылет инструмента

Износ пластины

Вид износа пластин и пути решения проблем при растачивании, как правило, очень схожи с точением.

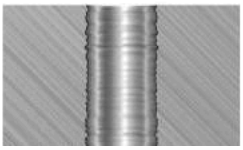
Стружкодробление

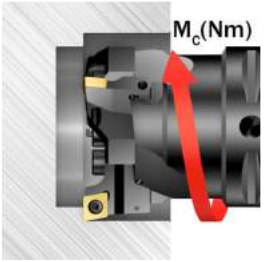
	Причина	Решение
	Слишком короткая, твёрдая стружка	• Увеличьте скорость резания • Уменьшите подачу • Выберите геометрию с более открытым стружколомом
	Слишком длинная стружка	• Увеличьте подачу • Уменьшите скорость резания • Выберите геометрию с более закрытым стружколомом

Вибрация инструмента

	Слишком высокая подача Слишком высокая скорость резания Слишком большая глубина резания	• Уменьшите подачу • Уменьшите скорость резания • Применяйте ступенчатое растачивание
	Слишком большие силы резания	• Уменьшите глубину резания • Используйте пластины с задними углами • Используйте меньший радиус при вершине пластины

Следы механической обработки

	Слишком высокая подача	• Выберите пластину с геометрией Wiper • Используйте больший радиус при вершине пластины • Уменьшите подачу

	Причина	Решение
Износ пластины		
	Некорректные режимы резания	• Смените режущую кромку и определите причину износа: режимы резания, геометрия пластины или сплав пластины
Царапины от стружки на обработанной поверхности		
	Неудовлетворительное стружкодробление	• Измените режимы резания • Измените геометрию пластины
Шероховатость обработанной поверхности		
	Неудовлетворительная шероховатость обработанной поверхности	• Увеличьте скорость резания • Используйте СОЖ • Используйте кермет
Ограничение мощности станка		
	Недостаточная мощность станка	• Уменьшите режимы резания • Применяйте ступенчатое растачивание • Уменьшите количество пластин, участвующих в резании • Уменьшите глубину резания
Потребляемая мощность и крутящий момент		
	При черновом растачивании убедитесь, что станок может обеспечить достаточные мощность и крутящий момент	Важные параметры: • Подача • Количество режущих пластин • Диаметр • Глубина резания



Инструментальная оснастка

Закрепление режущего инструмента оказывает существенное влияние на его эксплуатационные характеристики и производительность обработки. Поэтому большое значение приобретает выбор правильной системы крепления. В этой главе описан процесс выбора инструментальной оснастки и даны рекомендации по её корректной эксплуатации и обслуживанию.

• История и предпосылки G 4

• Преимущества модульной оснастки G 8

• Токарные центры G 16

• Обрабатывающие центры G 25

• Многоцелевые станки G 30

• Патроны G 35

Системы крепления инструмента

- Система крепления инструмента на станке играет важную роль в процессе резания
- Стабильность, время смены инструмента, точность, гибкость, модульность, удобство применения и хранения являются основными характеристиками оснастки, влияющими на процесс обработки
- По сравнению с традиционными державками, быстросменная оснастка позволяет повысить эффективное время резания на 25% при обработке на токарных центрах



Современные системы крепления



- Появление новых видов инструментальной оснастки вызвано необходимостью создания новых машиностроительных стандартов
- Как правило, оснастка разрабатывалась для определенного типа шпиндельного узла и не была стандартизирована
- На сегодняшний день существует более 35 типов шпинделей для различных инструментальных систем, поэтому взаимозаменяемость и возможность закрепления различных видов инструмента резко снижается

История инструментальных конусов



- Первая версия конуса была представлена в 1920-х годах и стандартизирована (DIN) в 1974 году
- Конус использовался для большинства шпинделей станков благодаря конструкции с длинным конусом, обеспечивающей надежный контакт и стабильность
- Шпиндель с конусом 7/24 по-прежнему популярен и имеет несколько типоразмеров, но не подходит для применения как с вращающимся, так и с невращающимся инструментом

Системы для вращающегося инструмента



- Продолжает расти количество инструментальных систем для вращающихся инструментов
- К сожалению, эти системы не взаимозаменяемы и не обладают достаточной гибкостью для применения на различных видах обрабатывающих центров и станков с ЧПУ
- Ни одна из этих систем не подходит для применения с вращающимся и невращающимся инструментом

Coromant Capto®

Три системы в одной

- Система Coromant Capto® появилась на рынке в 1990 году
- В 2008 году система Coromant Capto® стала стандартом ISO
- Coromant Capto® — универсальная быстросменная инструментальная система для использования на:
  - токарных центрах
  - обрабатывающих центрах
  - многоцелевых станках



История системы Coromant Capto®

- Обрабатывающий центр / Вращающийся инструмент



Цельные держатели



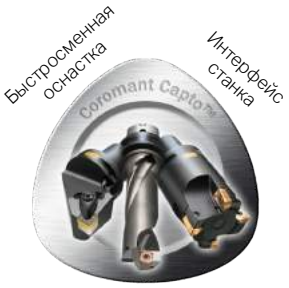
Varilock



Coromant Capto®/ Базовые держатели

1980 1990

Сегодня



Модульная оснастка

- Токарный центр / Токарный инструмент



Призматические державки



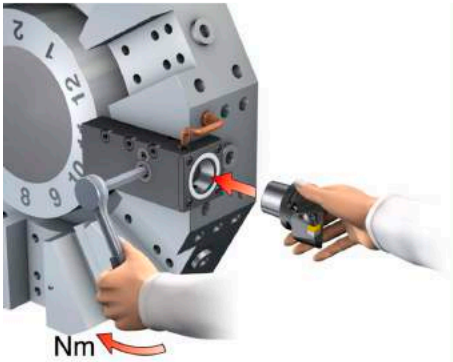
Система Block Tool



Coromant Capto®/ Инструментальные блоки

История системы Coromant Capto®

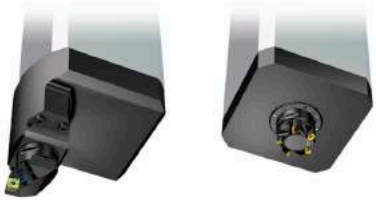
Быстросменная оснастка



- Токарные центры
- Токарно-карусельные станки

Увеличение коэффициента использования станков

Интегрированный шпиндель



- Многоцелевые станки
- Токарно-карусельные станки
- Обрабатывающие центры с возможностью точения

Повышение стабильности и универсальности

Модульные системы



- Обрабатывающие центры
- Многоцелевые станки
- Токарно-карусельные станки

Повышение технологической гибкости

Усовершенствование станочного оборудования



Тенденции

Станки и методы обработки

- Единая система крепления инструмента для револьверной головки и инструментального шпинделя на многоцелевых станках
- Наличие нескольких револьверных головок на многоцелевых станках и токарных центрах
- Более многофункциональные инструменты для многоцелевых станков
- Наличие приводного инструмента в токарных центрах
- Более совершенные системы ЧПУ, позволяющие повысить уровень автоматизации процессов
- 3D-модели инструментов и держателей для проверки процесса обработки
- Расширение технологических возможностей оборудования за счёт использования дополнительных опций
- Подача СОЖ под высоким давлением

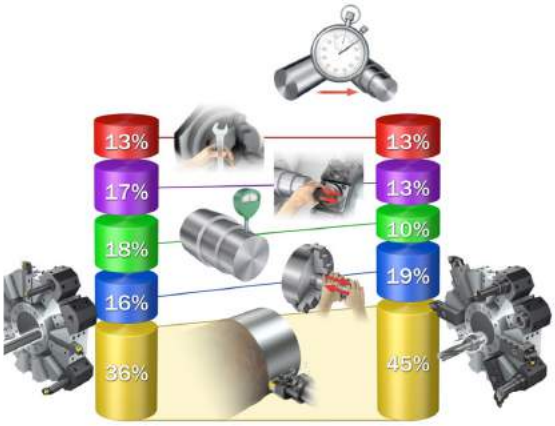
Когда применять быстросменную оснастку



- При необходимости частой переналадки станка
- При необходимости выполнения пробных проходов для настройки инструмента на размер
- При обработке с высокими режимами резания и относительно низкой стойкостью инструмента
- При обслуживании одним оператором нескольких станков

Сокращение времени простоя станка

Всего 36% машинного времени приходится непосредственно на процесс резания



Традиционные призматические державки

Быстросменная система Coromant Capto®

- -Техобслуживание и профилактика
- - Замена пластин/ инструмента
- - Привязка инструмента/ измерение заготовки
- - Смена заготовки
- - Эффективное машинное время

Быстросменная инструментальная оснастка позволяет повысить производительность на 25%

Модульная быстросменная система Coromant Capto®

На станках каких типов и размеров требуется модульная система?



Горизонтальный обрабатывающий центр

Обрабатывающий центр с:

- Coromant Capto® размера C6 и более
- Конусы 7/24 размеров 40 и более
- HSK63 и более
- Многоцелевые станки с необходимостью длинного вылета инструмента
- Вертикальные токарные центры
- Токарные центры с инструментом SL*

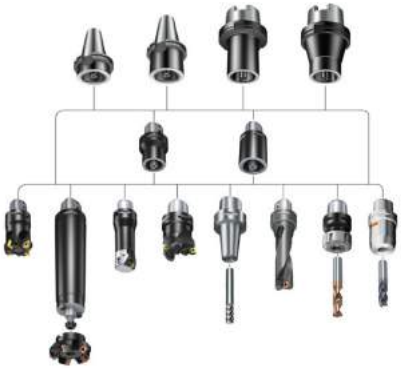
*SL — это модульная система адаптеров со сменными резцовыми головками

Сокращение номенклатуры оснастки

Комбинирование базовых держателей, адаптеров и (при необходимости) переходников или удлинителей со всевозможными инструментами позволяет получить большое количество различных инструментальных наладок для разных типов станков.

Модульная оснастка

ISO 40 ISO 50 HSK 100 HSK 63



Количество элементов модульной оснастки:
4 + 2 + 8 = 14 элементов

Цельная оснастка



4 x 2 x 8 = 64 элемента

Использование модульной оснастки позволяет получить большое число наладок при минимальном количестве инструментов

Соединение Coromant Capto®

Уникальное соединение Coromant Capto® обладает специфическими особенностями:

- Шлифованная опорная поверхность фланца в сочетании со шлифованным полигональным конусом обеспечивают максимальную стабильность соединения благодаря контакту по двум поверхностям и посадке с натягом
- Четыре канавки для захвата манипулятором позволяют производить автоматическую смену инструмента
- Предусмотрен паз для углового позиционирования режущего инструмента





Единственное универсальное соединение, которое можно использовать во всех областях применения с одинаковой эффективностью

Преимущества и особенности соединения

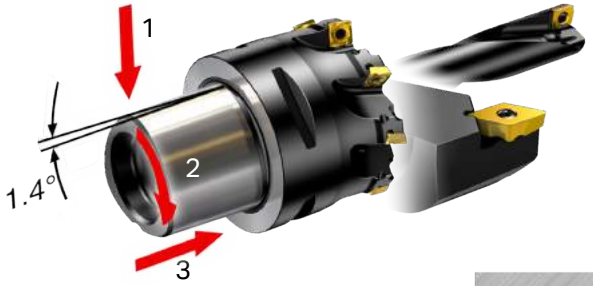
Отличительная черта соединения — геометрическое замыкание по трём координатам

1. Радиальное центрирование обеспечивается за счёт конического профиля
2. Небольшой угол конусности позволяет передавать все радиальные нагрузки через контактную поверхность фланца. Прочность полигонального соединения позволяет создавать большие усилия зажима. Это значительно повышает жёсткость на изгиб
3. Трёхгранный профиль обеспечивает самоцентрирование, а также позиционирование инструмента без помощи дополнительных пазов на торце, что гарантирует отсутствие люфтов в соединении. Полигональный профиль уникален также тем, что способен передавать большой крутящий момент за счёт наличия трёх контактных поверхностей

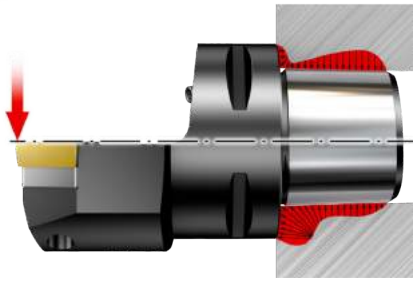
Благодаря перечисленным выше особенностям – радиальному и осевому контакту и возможности самоцентрирования – это соединение гарантирует чрезвычайно высокую повторяемость позиционирования по осям, в пределах ±2 мкм.

Канавки для захвата манипулятором призваны обеспечить максимальную жёсткость на изгиб и повысить усилие зажима за счет того, что многоугольник Capto имеет большую площадь поверхности.

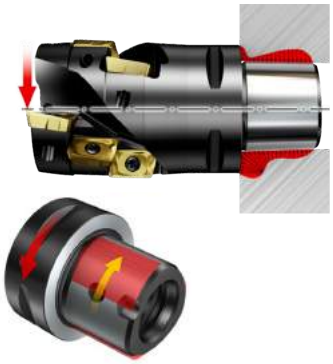




Закрепление по трём направлениям



Передача крутящего момента



Трёхгранный профиль обеспечивает передачу крутящего момента без помощи дополнительных элементов, таких как штифт или шпонка.

- Отсутствие штифтов, шпонок и пр.
- Отсутствие люфта в соединении
- Симметричное распределение нагрузок
- Контакт по двум поверхностям/ большое усилие зажима

Шесть размеров соединений



C3 C4 C5 C6 C8 C10

C3 = D 32 мм
C4 = D 40 мм
C5 = D 50 мм
C6 = D 63 мм
C8 = D 80 мм
C10 = D 100 мм

Различные методы закрепления

Одно соединение — два способа закрепления

Закрепление сегментной цангой



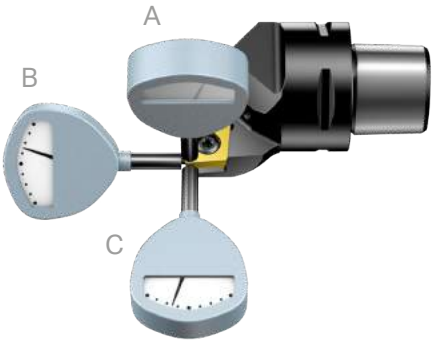
Метод закрепления для быстрой смены инструмента вручную и автоматически

Закрепление центральным болтом



Для закрепления модульного инструмента непосредственно в базовом держателе или через удлинитель

Превосходная точность и гарантированное положение по высоте оси центров



- Повторяемость позиционирования по высоте центров (A), по длине (B) и в радиальном направлении (C) составляет ±2 мкм
- При предварительной наладке инструмента требуется меньшее число пробных проходов или необходимость в них отсутствует вовсе (первая деталь выполняется в размер)

Стабильное соединение - снижение вибраций

При внутренней обработке соединение Coromant Capto является отличным решением для закрепления расточных оправок, так как оно обеспечивает жёсткий надёжный зажим по всем граням контактной поверхности.



Обычно расточная оправка крепится 2-3 винтами. Это приводит к возникновения вибраций, ухудшению качества поверхности, быстрому износу пластин и увеличению времени простоя оборудования из-за необходимости корректировки режимов резания и измерения детали.

Быстросменная оснастка для токарных центров



Что такое токарный центр?

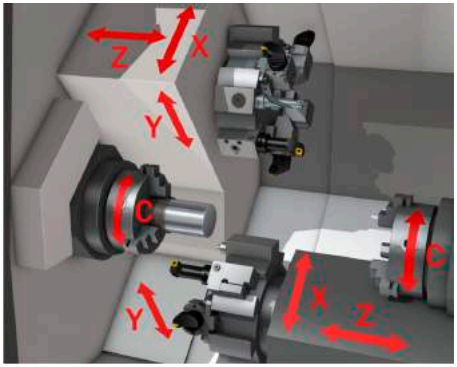
- Принцип работы токарных станков и токарных центров заключается в обработке вращающейся заготовки невращающимся инструментом
- Режущий инструмент перемещается параллельно и перпендикулярно оси заготовки, обеспечивая необходимый профиль детали
- Токарный инструмент позволяет обработать деталь, которая будет симметрична относительно оси вращения

Токарный центр может иметь несколько конфигураций

- Вертикальная и горизонтальная компоновка
- Контршпиндель для двусторонней обработки
- Приводные инструменты
- Возможность смещения по оси Y для растачивания и фрезерования с эксцентриситетом

Компоновка токарного центра

Вращение шпинделя и перемещение по осям



- Возможность программирования перемещения инструмента по нескольким осям позволяет вести черновую и чистовую токарную обработку, обработку канавок и нарезание резьбы

Быстросменная оснастка для токарных центров



Быстросменная система позволяет:

- быстрее и эффективнее осуществлять замену инструмента
- менять пластины вне станка
- выполнять предварительную настройку инструмента

Наиболее экономичная система для:

- мелкосерийного производства (быстрая переналадка)
- операций с частой сменой режущих пластин

Закрепление и раскрепление инструмента поворотом ключа менее чем на 180°

Инструментальные блоки для токарных центров

VDI, угловой
С кулачковым механизмом



Призматический хвостовик
С кулачковым механизмом



С автоматическим закреплением
Гидравлический механизм



VDI, прямой
С кулачковым механизмом



Цилиндрический хвостовик
Крепление сегментной цангой

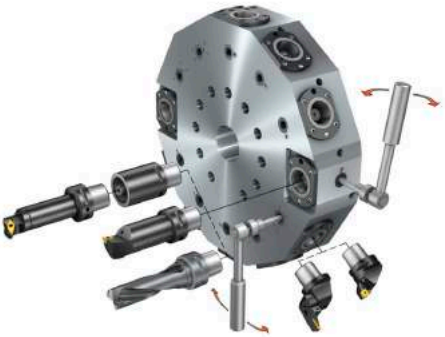


Встраиваемое исполнение
С кулачковым механизмом



Методы оснащения станка быстросменной системой

Непосредственная интеграция в револьверную головку



Система Coromant Capto, интегрированная в револьверную головку станка, является наиболее эффективным способом использования всех преимуществ данного соединения.

Методы оснащения станка быстросменной системой

Переоснащение револьверной головки посредством стандартных инструментальных блоков



Оснащение револьверной головки инструментальными блоками Coromant Capto® — хорошая альтернатива при отсутствии возможности непосредственной интеграции (существующие станки и пр.).

Смена инструмента в пять раз быстрее, чем в случае с традиционными призматическими или цилиндрическими державками.

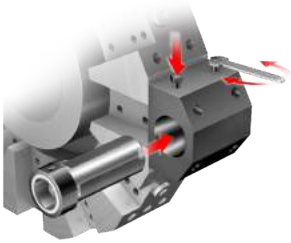
Токарные станки можно легко переналадить на быстросменную систему Coromant Capto® с использованием стандартных инструментальных блоков. При этом не требуется доработка конструкции револьверной головки или использование специальных адаптеров.



Инструмент для внутренней обработки



Инструмент для наружной обработки





Адаптированные инструментальные блоки

Дисковый интерфейс Coromant Capto (CDI)



- Гибкий и симметричный интерфейс, возможность поворота инструмента на 180°
- Единый интерфейс для невращающегося и приводного инструмента с возможностью закрепления на любой позиции
- Высокие эксплуатационные характеристики
- Повышение стойкости инструмента
- Повышение качества детали
- Увеличенная эффективная длина инструмента для операций радиального сверления
- Увеличение производительности
- Более рациональное инструментальное оснащение
- Сокращение затрат на оснастку



Блок для невращающегося инструмента, прямой



Блок для приводного инструмента, прямой



Блок для невращающегося инструмента, угловой



Блок для приводного инструмента, угловой

Болтовое соединение Coromant (CBI)



- Гибкий и симметричный интерфейс, возможность поворота инструмента на 180°
- Единый интерфейс для невращающегося и приводного инструмента
- Возможность закрепления невращающегося и приводного инструмента на любых позициях
- Высокие эксплуатационные характеристики
- Повышение стойкости инструмента
- Повышение качества детали
- Увеличенная эффективная длина инструмента для операций радиального сверления
- Увеличение производительности
- Более рациональное инструментальное оснащение
- Сокращение затрат на оснастку



Приводной инструментальный блок



Инструментальный блок для наружного точения



Инструментальный блок для внутреннего точения



Двухпозиционный блок для наружного точения со смещением по оси Y

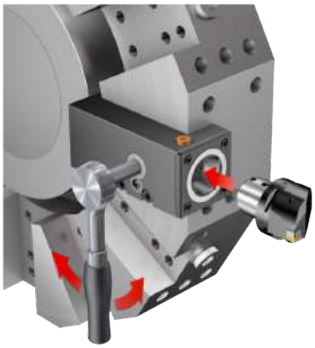
Быстросменная система

Смена пластин посредством инструмента-дублёра

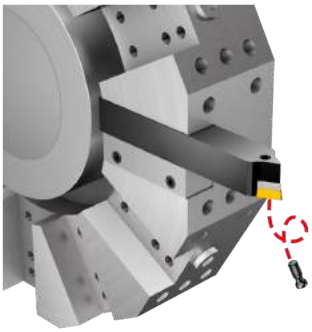


- Сокращение времени простоя
- Меньшее количество или исключение пробных проходов. Повышение рентабельности
- Отсутствие риска выпадения и потери крепёжного винта в стружечном конвейере
- Эргономичность
- Простота очистки гнезда под пластину вне станка

0,5 мин



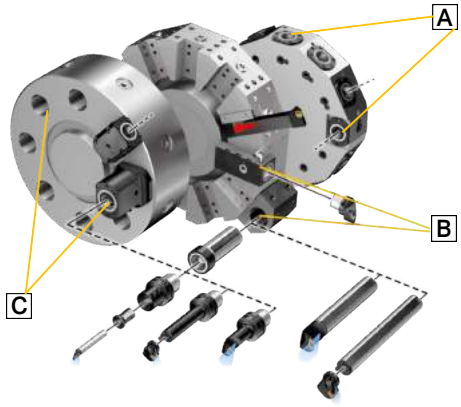
1,5 мин



Замена инструмента с соединением Coromant Capto его дублёром быстрее, чем смена пластины без снятия инструмента со станка

Варианты оснащения станка быстросменной системой

Оснастка для традиционных револьверных головок



A Инструментальные блоки с гидромеханическим приводом механизма зажима

- Полуавтоматический зажим с ручной активацией кнопкой
- Возможность полностью автоматической смены инструмента

B Инструментальные блоки с креплением за хвостовик

- Инструмент с цилиндрическим или призматическим хвостовиком, а также резцовые головки для наружной и внутренней обработки

C Инструментальные блоки для револьверных головок с креплением VDI

- Блоки прямого и углового исполнения, для наружной и внутренней обработки





Примеры оснащения

Приводные инструментальные блоки Coromant Capto®

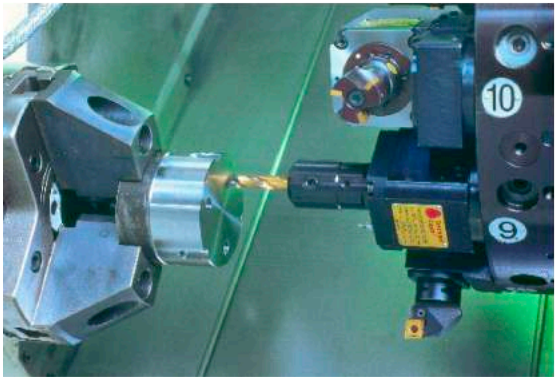
Использование инструментальных блоков для приводного инструмента позволяет существенно снизить затраты на обработку, так как операции фрезерования, точения и сверления могут выполняться за один установ заготовки.







- Приводные инструментальные блоки могут изготавливаться согласно конкретным требованиям к станку
- При выборе приводного блока учитывайте:
  - Тип и модель станка
  - Максимальный диаметр поворота револьверной головки
  - Максимальный вылет инструмента





Примеры оснащения

Модульная оснастка для обрабатывающих центров

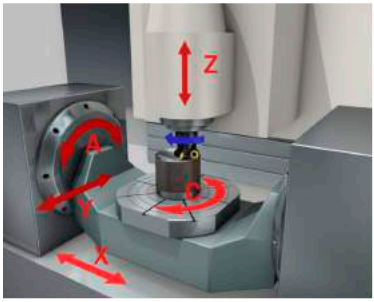


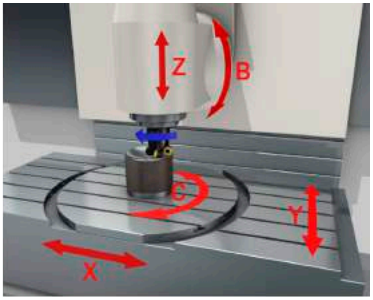
Что такое обрабатывающий центр?

- Обрабатывающий центр — это многофункциональный станок, на котором можно выполнять операции растачивания, сверления и фрезерования
- Обрабатывающие центры бывают горизонтального и вертикального исполнения
- 5-координатные центры в дополнение к трём стандартным осям (X/Y/Z) имеют две дополнительные

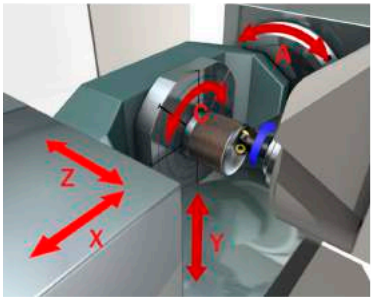
Вращение шпинделя и перемещения по осям

Компоновка вертикального обрабатывающего центра





Компоновка горизонтального обрабатывающего центра



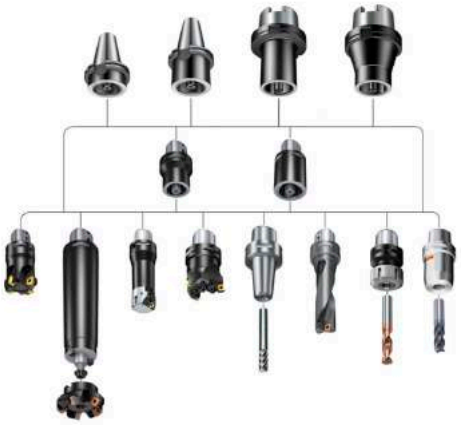
Обрабатывающие центры с горизонтальной и вертикальной компоновкой

- Базовый тип имеет 3 оси. Шпиндель расположен по оси Z
- 4- и 5-координатные обрабатывающие центры имеют больше осей (A/B/C) в дополнение к трём обычным (X/Y/Z)
- В нескольких 5-координатных обрабатывающих центрах – у тех, которые с тележкой, пятая ось движется вокруг оси X (ось A), а у обрабатывающих центров с головкой в оси B пятая ось движется вокруг оси Y (ось B).
- Зачастую ось B управляет наклоном режущего инструмента, а оси A и C позволяют вращать заготовку

Модульная оснастка для обрабатывающих центров

Модульная инструментальная система на обрабатывающих центрах имеет много преимуществ:

- Универсальная оснастка - единая инструментальная оснастка на станке или нескольких станках
- Модульная оснастка - создавайте собственные сборки и снижайте потребность в специальных инструментах
- Сокращение запасов инструмента



Создавайте свои инструментальные сборки

Используйте адаптеры Coromant Capto® для всех интерфейсов шпинделя



Сокращение номенклатуры инструмента

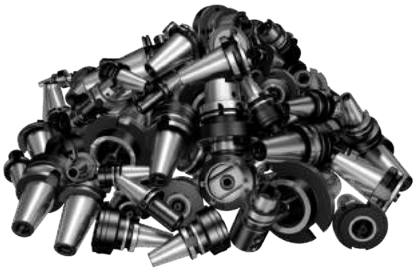
Использование модульной оснастки обеспечивает получение большого числа наладок при минимальном количестве инструментов

Модульная оснастка



Количество элементов модульной оснастки:
4 + 2 + 30 + 10 = 46 элементов

Цельная оснастка

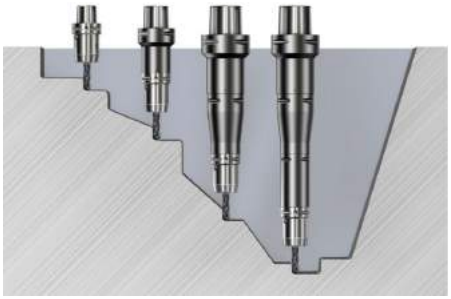


Количество элементов цельной оснастки:
4 x 3 x (30 + 10) = 480 элементов

Сборка наладок с максимальной жёсткостью

Переходники и удлинители

При обработке различных технологических элементов на обрабатывающих центрах часто требуется использование наладок с разным вылетом инструмента. Модульная система Coromant Capto предлагает различные типы переходников и удлинителей для сборки инструмента оптимальной длины.



- При работе с большим вылетом инструмента следует использовать наладку минимально возможной длины
- При использовании модульной оснастки возможна обработка с оптимальными режимами резания для обеспечения высокой производительности!
- Модульные инструменты собираются за считанные минуты!
- Обеспечивается высокая размерная точность

Доступны все основные типы креплений



CAT-V 40
CAT-V 50
CAT-V 60
ISO 40
ISO 50
ISO 60
MAS-BT 30
MAS-BT 40
MAS-BT 50
MAS-BT 60



CAT-V BIG PLUS® 40
CAT-V BIG PLUS® 50

ISO BIG PLUS® 40
ISO BIG PLUS® 50

MAS-BT BIG PLUS® 30
MAS-BT BIG PLUS® 40
MAS-BT BIG PLUS® 50

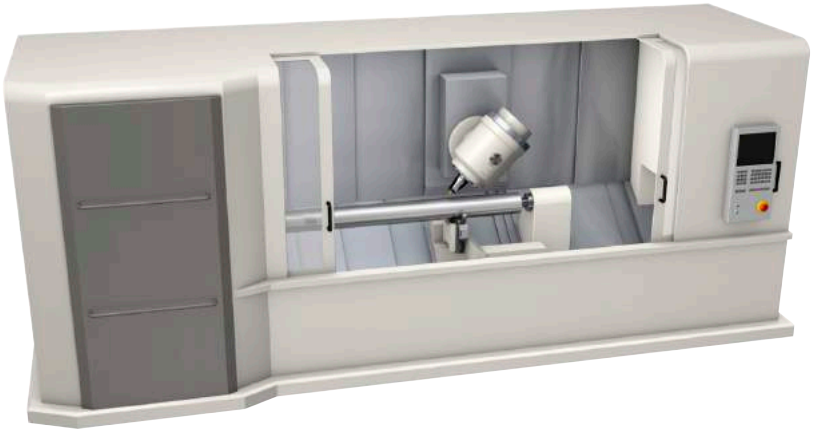


HSK A/C 40
HSK A/C 50
HSK A/C 63
HSK A/C 80
HSK A/C 100
HSK A/C 125
HSK A/C 160
HSK A/C/T 40
HSK A/C/T 63
HSK A/C/T 100
HSK F 80 (со штифтами)



Coromant Capto® C3
Coromant Capto® C4
Coromant Capto® C5
Coromant Capto® C6
Coromant Capto® C8
Coromant Capto® C10

Модульная оснастка для многоцелевых станков

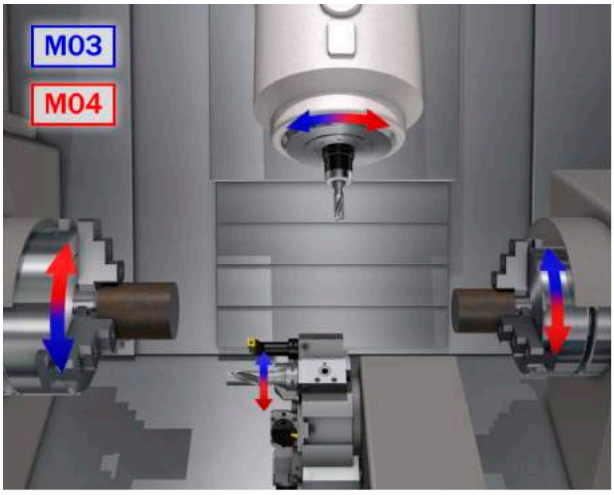


Что такое многоцелевой станок?

- Многоцелевые станки имеют различные конфигурации:
  - горизонтальная и вертикальная компоновка
  - два шпинделя (главный и контршпиндель) и шпиндель с осью B, которые позволяют выполнять операции фрезерования и точения
  - в каждом из шпинделей можно закреплять заготовку, что позволяет вести обработку детали с разных сторон
- На многоцелевом станке за один установ может быть выполнен весь цикл обработки, например, точение, фрезерование горизонтальных, вертикальных и наклонных поверхностей, контурная обработка, а также шлифование
- Многофункциональный станок — это комбинация токарного центра и обрабатывающего центра

Направления движения шпинделей

Программирование направления вращения шпинделя

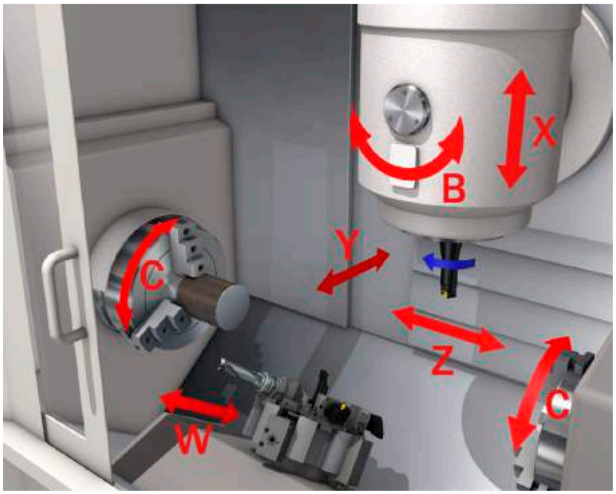


M03 = Вращение шпинделя по часовой стрелке

M04 = Вращение шпинделя против часовой стрелки

Компоновка многоцелевого станка

Вращение шпинделя и перемещения по осям

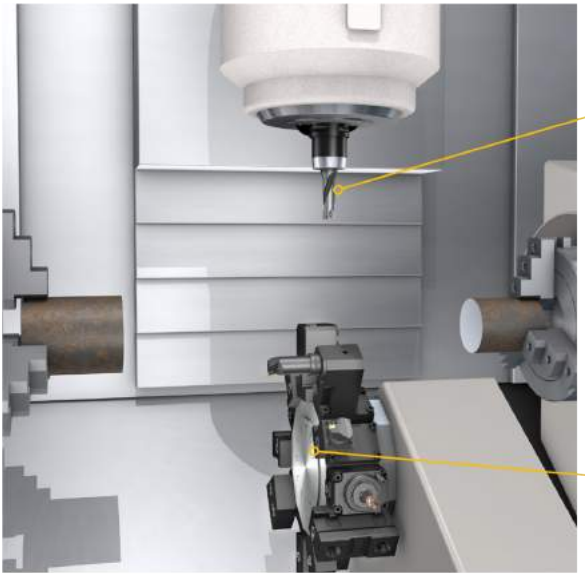


Использование модульной оснастки на многоцелевом станке

Фрезерный шпиндель многоцелевого станка должен иметь возможность закрепления как вращающегося, так и стационарного инструмента. Coromant Capto® — единственная инструментальная система, полностью отвечающая этим требованиям.

Многоцелевые станки часто используются для полной обработки деталей за один установ, начиная черновыми и заканчивая чистовыми операциями.

Поэтому инструментальная система многоцелевого станка должна обладать превосходной жёсткостью и обеспечивать повторяемость позиционирования инструмента как в радиальном, так и в осевом направлениях. Система Coromant Capto гарантирует все эти свойства.



Многоцелевой станок с системой Coromant Capto, интегрированной в шпиндель, и с револьверной головкой, оснащённой инструментальными блоками Coromant Capto



Система Coromant Capto®, интегрированная в шпиндель



Револьверная головка с системой Coromant Capto®

Новые многофункциональные инструменты для многоцелевых станков

Для использования преимуществ универсальных многоцелевых станков с максимальной эффективностью необходимо применять специализированные инструментальные решения. Эти инструменты доступны только с соединением Coromant Capto®, разработаны специально для многоцелевых станков и обеспечивают:

- геометрическую проходимость, стабильность и высокую производительность
- сокращение времени смены инструмента
- экономию позиций в инструментальном магазине
- сокращение затрат - один инструмент заменяет несколько инструментов



Многофункциональный инструмент
– один фрезерный и четыре токарных инструмента в одном



Сдвоенный инструмент
– два токарных инструмента в одном



Многопозиционный адаптер
– четыре токарных инструмента в одном

Создайте свою мини-револьверную головку

Четыре резцовые головки на одной оправке



Большой выбор сменных резцовых головок для точения, резьбонарезания, отрезки и обработки канавок для создания оптимального инструмента для конкретной детали.

- Сокращение времени смены инструмента
- Экономия гнезд в инструментальном магазине
- Для наружной и внутренней обработки

Использование обычных державок на многоцелевых станках

Адаптеры для токарного инструмента



Адаптеры для
- инструмента с призматическим хвостовиком
- оправок
- лезвий
- нескольких резцовых головок

…позволяют закреплять стандартный инструмент на многоцелевых станках с интегрированной в шпиндель модульной системой Coromant Capto.

Адаптер для отрезных лезвий



Адаптер для расточных оправок



Патроны

Преимущества использования гидропластовых патронов

Гидропластовый патрон для тяжёлой обработки



Гидропластовый патрон короткого исполнения



Гидропластовый патрон длинного исполнения



Цанги без уплотнения



Цанги с уплотнением



Непосредственное закрепление

Патрон с термозажимом





Непосредственное закрепление

Цанговый патрон ER





Цанги без уплотнения



Цанги с уплотнением

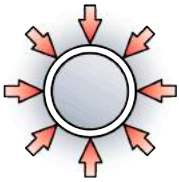
Выбор патронов

	Гидро-пластовый патрон	Патрон с термозажимом	Гидромеха-нический патрон	Цанговый патрон ER	Патроны Weldon, ISO 9766
					
Надёжность закрепления, передача крутящего момента	🟩	🟩	🟨	🟥	🟩
Удобство замены инструмента	🟩	🟥	🟨	🟨	🟩
Высокая точность (биение)	🟩	🟩	🟨	🟥	🟥
Гибкость	🟩	🟥	🟩	🟩	🟥
Геометриче-ская проходи-мость	🟩	🟩	🟥	🟨	🟥

🟩 Отлично 🟨 Хорошо 🟥 Приемлемо

Гидропластовые патроны

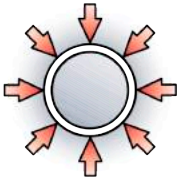




- Лучшая защита от вытягивания инструмента - постоянное усилие зажима
- Биение < 4 мкм на длине 2,5 x DC — высокая точность
- Простое и надёжное закрепление инструмента с требуемым усилием с помощью динамометрического ключа

Патрон с термозажимом

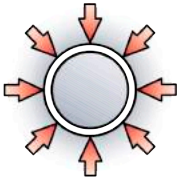




- Высокая надежность и точность закрепления инструмента
- Узкий патрон — хорошая геометрическая проходимость
- Симметричная конструкция

Гидромеханические патроны

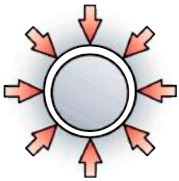




- Широкий ассортимент цанг — хорошая гибкость
- Ограниченная геометрическая проходимость в силу конструкции (часто для тяжёлой обработки)

Цанговый патрон ER





- Широкий диапазон зажатия благодаря цангам
- Точность диаметра хвостовика h6 и h7
- Передача небольшого крутящего момента, низкое биение

Патроны Weldon, ISO 9766



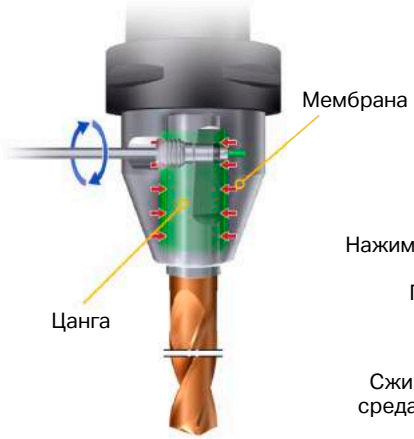


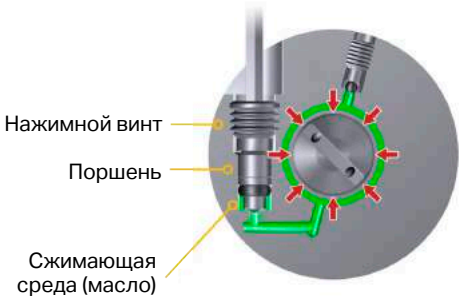
- Передача большого крутящего момента
- Невысокая точность — низкая стойкость инструмента, неудовлетворительное качество обработанной поверхности

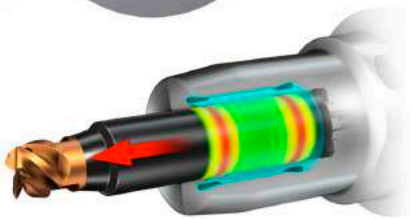
Гидропластовые патроны

Высокая надёжность и точность закрепления инструмента

- Новое поколение гидропластовых патронов обеспечивает высочайшую точность и передачу большого крутящего момента
- Высокая точность и надёжность закрепления патрона CoroChuck 930 обеспечивается оптимизированной конструкцией мембраны. Она гарантирует надёжное закрепление инструмента по двум опорным поверхностям







Обеспечьте минимальный вылет



- Для повышения жёсткости и уменьшения отжатия инструмента необходимо выбирать наладку с минимально возможной общей длиной
- Уменьшение длины наладки на 20% может значительно снизить отжатие инструмента (-50%)

Влияние биения на стойкость инструмента



- Биение должно быть < 0,006 мм
- Увеличение биения на каждые 0,01 мм приводит к снижению стойкости инструмента на 50%
- Влияние биения на стойкость инструмента увеличивается с уменьшением диаметра инструмента

Требования к патронам

Область применения — черновая и получистовая обработка



- Основной критерий = усилие зажима
- Возможность передачи большого крутящего момента
- Для лучшей работоспособности используйте цилиндрические хвостовики
- Универсальность за счет применения цанг

Область применения — чистовая обработка



- Основной критерий = биение
- Влияние на стойкость инструмента, а также качество и точность обработки

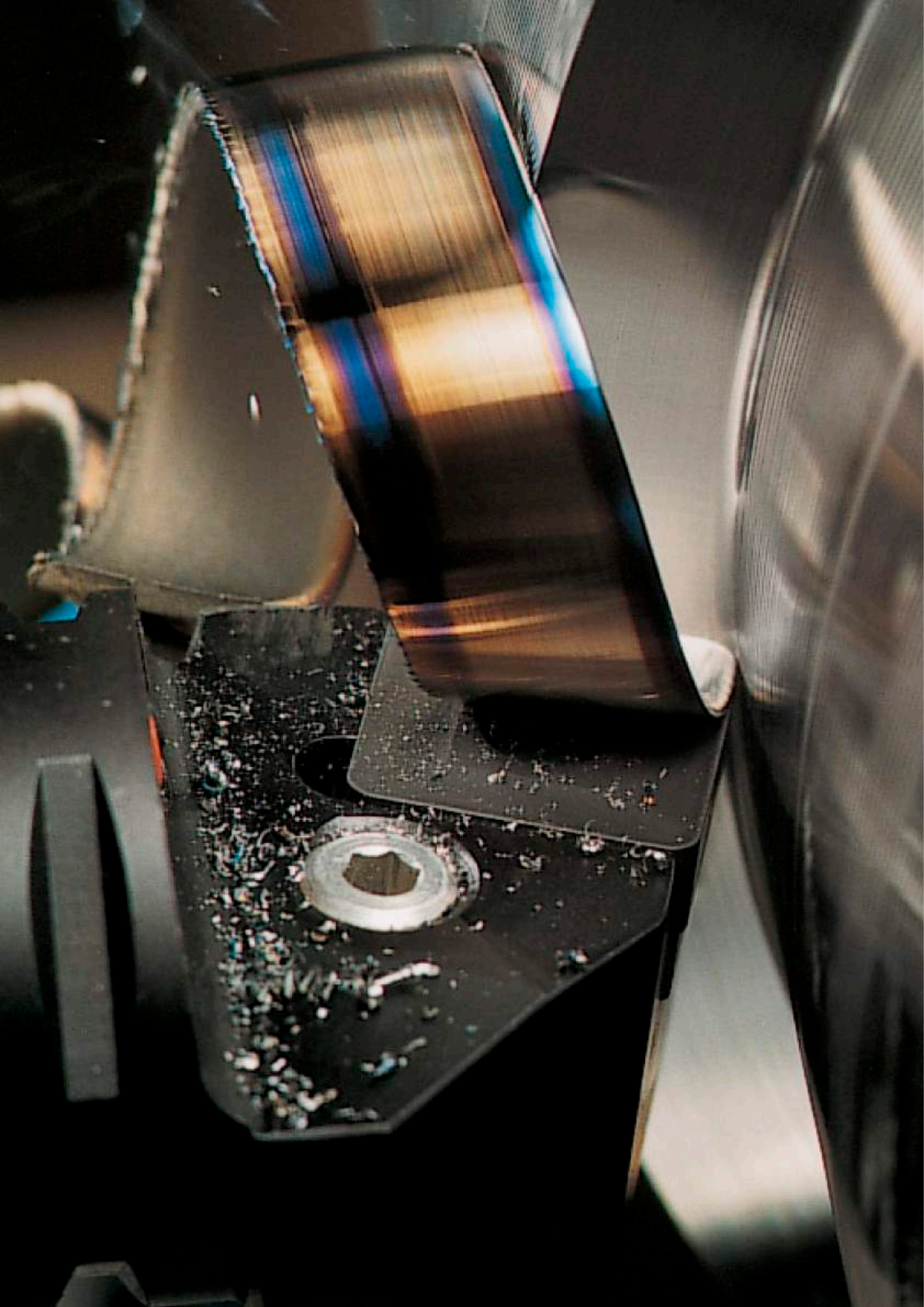
Несбалансированные патроны



Дисбаланс патрона может иметь следующие последствия:

- низкое качество обработанной поверхности
- невысокая точность деталей
- снижение стойкости инструмента
- преждевременный износ шпинделя станка





Обрабатываемость

Выбор наиболее подходящего инструментального материала (сплава) и геометрии режущей кромки в соответствии с материалом заготовки — залог успешной высокопроизводительной обработки.

• Обрабатываемые материалы H 4

• Производство твердосплавных пластин H 18

• Режущая кромка H 29

• Инструментальные материалы H 40

• Износ и обслуживание инструмента H 52

Прочая информация

• Экономика металлообработки H 63

• ISO 13399 — промышленный стандарт H 78

• Формулы и определения H 81

• Онлайн-обучение H 92

Обрабатываемые материалы

Шесть основных групп

Стандарт ISO регламентирует шесть основных групп материалов. Каждая группа имеет уникальные свойства в плане обрабатываемости, предъявляющие различные требования к режущему инструменту.

ISO P Сталь	ISO M Нержавеющая сталь	ISO K Чугун
		
ISO N Цветные металлы	**ISO S Жаропрочные сплавы**	**ISO H Материалы высокой твёрдости**
		

P Большинство разнообразных деталей изготавливается из материалов группы P. Это детали целого ряда различных сегментов промышленности.

M В группе M значительная часть приходится на производство деталей для нефтегазового оборудования, труб, фланцев, а также для медицинской промышленности.

K Материалы группы K в основном применяются для производства деталей в автомобильной промышленности и общем машиностроении.

N В группе N доминируют детали для авиационной промышленность и автомобильные легкосплавные литые колесные диски.

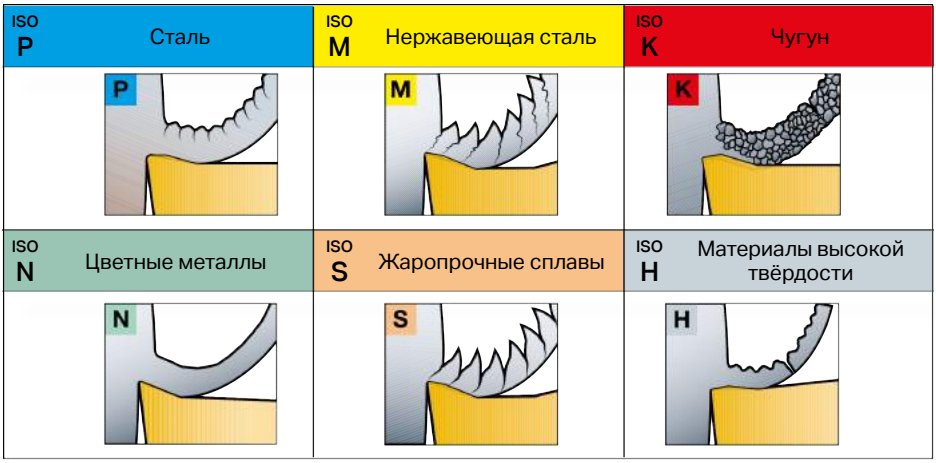
S Труднообрабатываемые материалы группы S находят широкое применение в аэрокосмической промышленности, в производстве газовых турбин и в энергетической отрасли.

H Материалы высокой твёрдости группы H применяются в целом ряде отраслей промышленности: автомобильной, включая субподрядчиков, общем машиностроении, а также в производстве штампов и пресс-форм.

Формирование и удаление стружки

Основные факторы, определяющие обрабатываемость материала:
- Классификация обрабатываемого материала по металлургическим/механическим свойствам
- Микро- и макрогеометрия режущей кромки
- Материал (марка сплава) режущего инструмента, например, твёрдый сплав с покрытием, керамика, CBN (КНБ - кубический нитрид бора), PCD (ПКА - поликристаллический алмаз) и пр.

Сочетание этих параметров будет иметь наибольшее влияние на обрабатываемость материала.



P Материалы группы ISO-P в основном являются длинностружечными и дают сливную стружку. Подразделяются в зависимости от содержания углерода.
– Низкое содержание углерода = вязкий материал
– Высокое содержание углерода = хрупкий материал
Сила резания и потребляемая мощность отличаются незначительно.

M Материалы группы ISO-M образуют ступенчатую стружку. Силы резания выше, чем при обработке обычной углеродистой стали. Существует множество типов нержавеющей стали. Стружкодробление зависит от содержания легирующих элементов и термообработки и может быть очень простым или почти невозможным.

K Формируемая стружка для группы ISO-K варьируется от порошкообразной до сливной. Потребляемая мощность для обработки материалов этой группы обычно невелика.
Существует большая разница между серым (эффект самодробления) и ковким чугуном, стружка которого больше походит на стальную.

N Небольшая потребляемая мощность на 1 мм^3, но благодаря высокой скорости съема металла необходимо рассчитать максимальную потребляемую мощность и соизмерить её с мощностью станка.

S Широкий диапазон, но в основном возникают большие силы резания.

H Обычно длинная раскалённая докрасна стружка. Высокая температура помогает снизить значение k_{c1} и значительно облегчить обработку.

Металлообработка - это комплексная задача

На процесс резания влияют множество параметров



Обрабатываемый материал

P Сталь

M Нержавеющая сталь

K Чугун

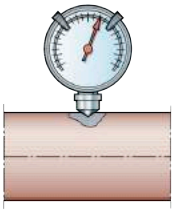
N Цветные металлы

S Жаропрочные сплавы

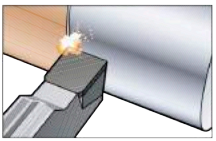
H Материалы высокой твёрдости

Стандарт ISO выделяет 6 групп обрабатываемых материалов, учитывая уникальные свойства обрабатываемости.

Твёрдость

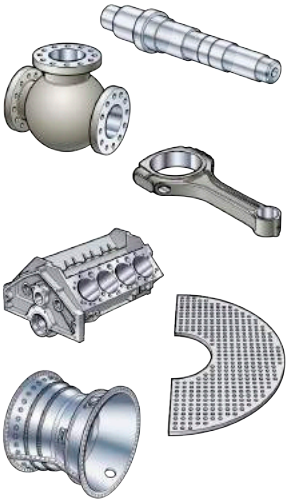


Твёрдость по Бринеллю



Существует взаимосвязь между твёрдостью обрабатываемого материала и стойкостью инструмента, а также режимами обработки, геометрией и сплавом. Чем выше твёрдость заготовки, тем ниже стойкость инструмента и более интенсивный износ режущей кромки.

Деталь



В зависимости от размера и материала заготовки, закрепления и способа обработки требуется различный инструмент - токарный, фрезерный, сверлильный и т.д.



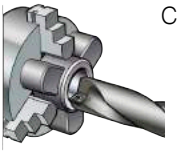
Область применения



Точение



Фрезерование



Сверление

H / R Черновая/ тяжёлая

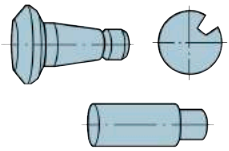
M / M Получистовая

L / F Чистовая/ лёгкая

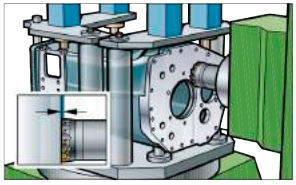
Существует три основных области применения, все они требуют разных инструментов, пластин и сплавов. Выбор инструмента также зависит от нагрузки на режущую кромку, от черновой обработки до чистовой.

Условия

Условия резания



Условия закрепления

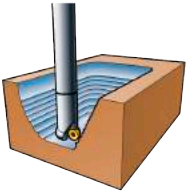


Все детали имеют разные конструкции - форму и размер. Они устанавливаются и закрепляются разными способами, что предъявляет особые требования к инструменту.

Рабочая среда



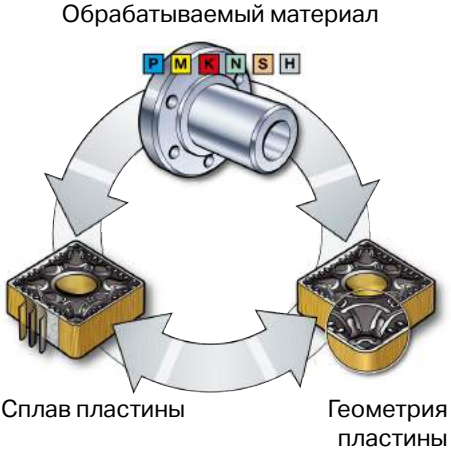
СОЖ



Без применения СОЖ

Твёрдый сплав работает лучше всего в условиях постоянно высокой температуры. Поэтому в качестве первого выбора следует рассматривать обработку без применения СОЖ, в зависимости от требований к детали и условий обработки. Однако некоторые сплавы подходят для обработки как с СОЖ, так и без СОЖ в зависимости от материала детали и требований к качеству.

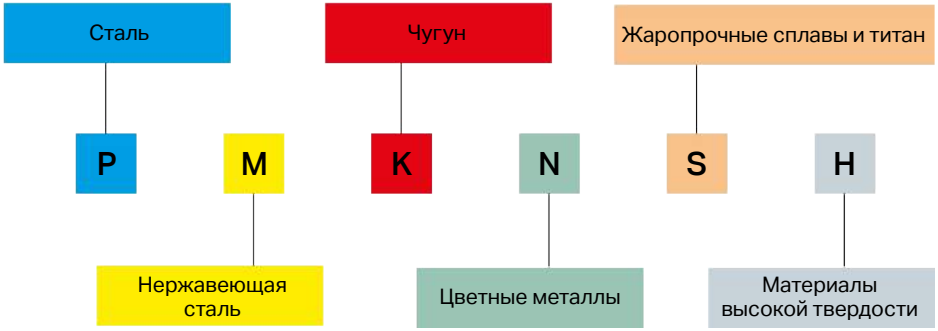
Взаимосвязь между обрабатываемым материалом, геометрией и сплавом пластины



- Выбор оптимального сочетания геометрии и сплава для определённого обрабатываемого материала — ключ к успешной обработке
- Эти три основные составляющие должны быть тщательно проанализированы и адаптированы к каждой операции обработки
- Знание и понимание степени влияния этих трёх факторов на процесс резания играет большую роль

Основные группы обрабатываемых материалов

Материалы классифицируются с помощью кодов MC



В каждой группе материалов имеются подгруппы, учитывающие твёрдость материала, величину k_{c1}, способ получения заготовки и механические свойства.

* MC = Новая классификация материалов, заменяющая коды CMC (Coromant Material Classification)

Структура кода MC

В коде MC с помощью комбинации букв и цифр зашифрованы различные свойства и характеристики обрабатываемого материала.

Пример 1:

Код **P1.2.Z.AN** расшифровывается следующим образом:

P = код ISO для стали

1 = группа материалов: нелегированная сталь

2 = подгруппа материалов: содержание углерода 0,25% ≤0,55% C

Z = метод получения заготовки: поковка/прокат/холоднотянутая

AN = термообработка: отжиг, с указанием полученной твёрдости

Пример 2:

Код **N1.3.C.UT** расшифровывается следующим образом:

N = код ISO для цветных металлов

1 = группа материалов: алюминиевые сплавы

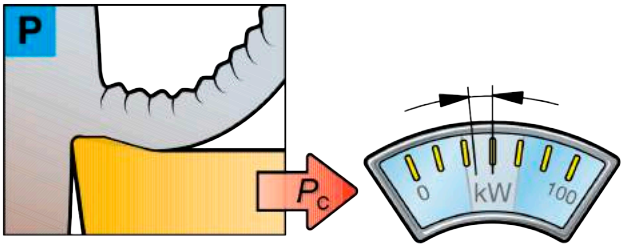
3 = подгруппа материалов: цветные металлы с содержанием Si 1-13%

C = метод получения заготовки: отливка

UT = без обработки

Если указать не только состав материала, но и технологию производства, термообработку, влияющие на механические свойства, то получится более точное описание, которое можно использовать для подготовки рекомендаций по оптимальным режимам резания.

Сталь ISO P – основные характеристики



Особенности обработки:

- Длинностружечный материал
- Относительно легко обрабатывается
- Низкоуглеродистая сталь склонна к налипанию и требует острых режущих кромок
- Удельная сила резания k_c: 1500–3100 Н/мм^2
- Сила резания, а следовательно, и мощность, необходимая для обработки материалов ISO P, остается в пределах ограниченного диапазона

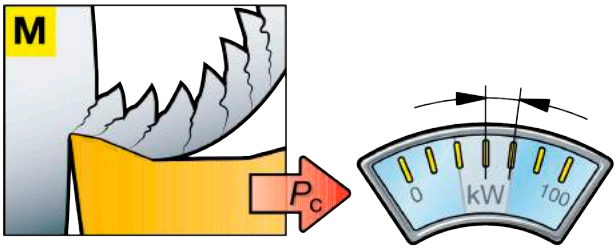
Что такое сталь?

- Сталь — самая распространенная группа обрабатываемых материалов
- Сталь может быть незакалённой, закалённой или отпущенной, твердостью до 400 HB
- Сталь представляет собой сплав на основе железа (Fe), изготавливаемый методом переплава
- В нелегированных сталях содержание углерода не превышает 0,8%. Остальной состав - железо без добавления легирующих элементов
- В легированных сталях содержание углерода не превышает 1,7%, и помимо железа присутствуют легирующие элементы, такие как Ni, Cr, Mo, V, W

ISO	MC	Материал
P	P1	**Нелегированная сталь**
	P2	**Низколегированная сталь** (легирующих элементов ≤5%)
	P3	**Высоколегированная сталь** (легирующих элементов > 5%)
	P4	**Порошковые стали**

Подробнее о кодах MC см. в каталогах продукции.

Нержавеющая сталь ISO M – основные характеристики



Особенности обработки:

- Длинностружечный материал
- Приемлемый контроль над стружкодроблением у ферритной стали, затрудненное стружкообразование у аустенитной и дуплексной сталей
- Удельная сила резания: 1800–2850 Н/мм^2
- Обработка сопровождается высокими силами резания, наростом на режущей кромке, высокой температурой в зоне резания и поверхностным деформационным упрочнением

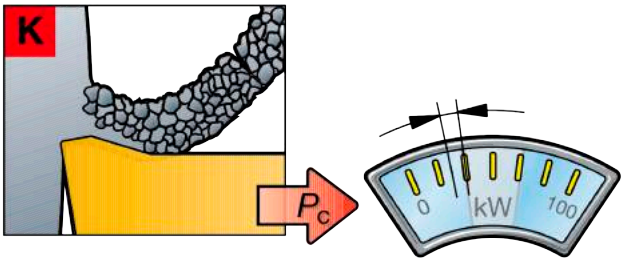
Что такое нержавеющая сталь?

- В нержавеющей стали содержится не менее 11–12% хрома
- Содержание углерода очень низкое (от 0,01 %)
- Основными легирующими элементами являются Ni (никель), Mo (молибден) и Ti (титан)
- Образующийся на поверхности слой оксида хрома Cr_2O_3 придает стали стойкость к коррозии

Подробнее о кодах MC см. в каталогах продукции

ISO	MC	Материал
M	P5	Ферритная/мартенситная нержавеющая сталь
	M1	Аустенитная нержавеющая сталь
	M2	Супер-аустенитная, Ni≥20 %
	M3	Дуплексная (аустенитно-ферритная)

Чугун ISO K — основные характеристики



Особенности обработки:

- Материал, дающий короткую стружку
- Хороший контроль над стружкодроблением в любых условиях
- Удельная сила резания: 790–1350 Н/мм²
- Обработка на высоких скоростях вызывает абразивный износ инструмента
- Умеренные силы резания

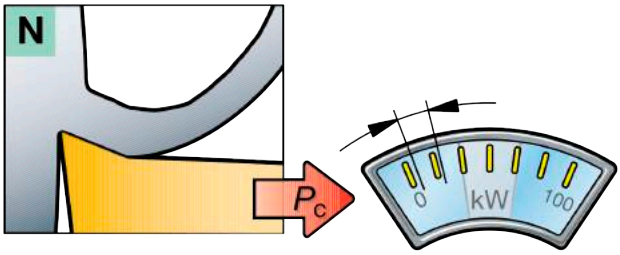
Что такое чугун?

- Существует 3 основных типа чугуна: серый (GCI), с шаровидным (NCI) и вермикулярным графитом (CGI)
- Чугун — это сплав железа с углеродом, характеризующийся относительно высоким содержанием кремния Si (1–3%)
- Содержание углерода превышает 2%, что является максимальной растворимостью углерода в аустенитной фазе
- Cr (хром), Mo (молибден) и V (ванадий) образуют карбиды, повышающие прочность и твёрдость, но ухудшающие обрабатываемость

ISO	MC	Материал
K	K1	Ковкий чугун (MCI)
	K2	Серый чугун (GCI)
	K3	Чугун с шаровидным графитом (NCI)
	K4	Чугун с вермикулярным графитом (CGI)
	K5	Отпущенный ковкий чугун (ADI)

Подробнее о кодах MC см. в каталогах продукции

Цветные металлы ISO N — основные характеристики



Особенности обработки:

- Длинностружечный материал
- Относительно простой контроль над стружкообразованием при условии легирования
- Цветные металлы (Al) склонны к налипанию, и при обработке требуются острые режущие кромки
- Удельная сила резания: 350–700 Н/мм^2
- Сила резания, а следовательно, и мощность, необходимая для обработки материалов ISO N, остаётся в пределах ограниченного диапазона

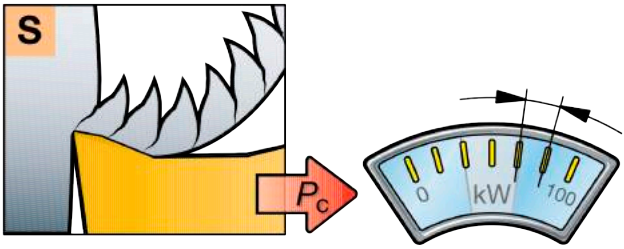
Что такое цветные металлы?

- К этой группе относятся мягкие металлы твёрдостью менее 130 HB
- Алюминиевые сплавы (Al) с содержанием кремния (Si) до 22% составляют большую часть этой группы материалов
- Медь, бронза, латунь
- Пластмасса
- Композиционные материалы (кевлар)

ISO	MC	Материал
N	N1	Сплавы на основе алюминия
	N2	Сплавы на основе магния
	N3	Сплавы на основе меди
	N4	Сплавы на основе цинка

Подробнее о кодах MC см. в каталогах продукции

Жаропрочные сплавы и титан ISO S — основные характеристики



Особенности обработки:

- Длинностружечный материал
- Сложности с контролем стружкодробления (сегментная стружка)
- Для пластин из керамики требуется отрицательный главный передний угол, для пластин из твёрдых сплавов — положительный
- Удельная сила резания:
  Для жаропрочных сплавов:
  2400–3100 Н/мм^2

  Для титана:
  1300–1400 Н/мм^2
- Требуются довольно большие силы резания и мощность

Что такое жаропрочные сплавы?

- Жаропрочные сплавы (HRSA) включают в себя множество высоколегированных материалов на основе железа, никеля, кобальта и титана

Группы: на основе железа, на основе никеля, на основе кобальта

Условия обработки: отжиг, отпуск, старение, прокат, поковка, литье

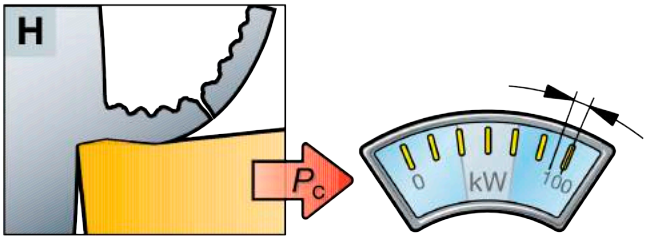
Свойства:

- Повышенное содержание легирующих элементов (кобальта больше, чем никеля) обеспечивает повышенную жаропрочность, прочность на растяжение и стойкость к коррозии

ISO	MC	Материал
S	S1	Сплавы на основе железа
	S2	Сплавы на основе никеля
	S3	Сплавы на основе кобальта
	S4	Сплавы на основе титана
	S5	Сплавы на основе вольфрама
	S6	Сплавы на основе молибдена

Подробнее о кодах MC см. в каталогах продукции

Материалы высокой твёрдости ISO H — основные характеристики



Особенности обработки:

- Длинностружечный материал
- Приемлемый контроль над стружкодроблением
- Требуется отрицательный передний угол
- Удельная сила резания: 2550–4870 Н/мм^2
- Требуются довольно большие силы резания и мощность

Что такое материалы высокой твёрдости?

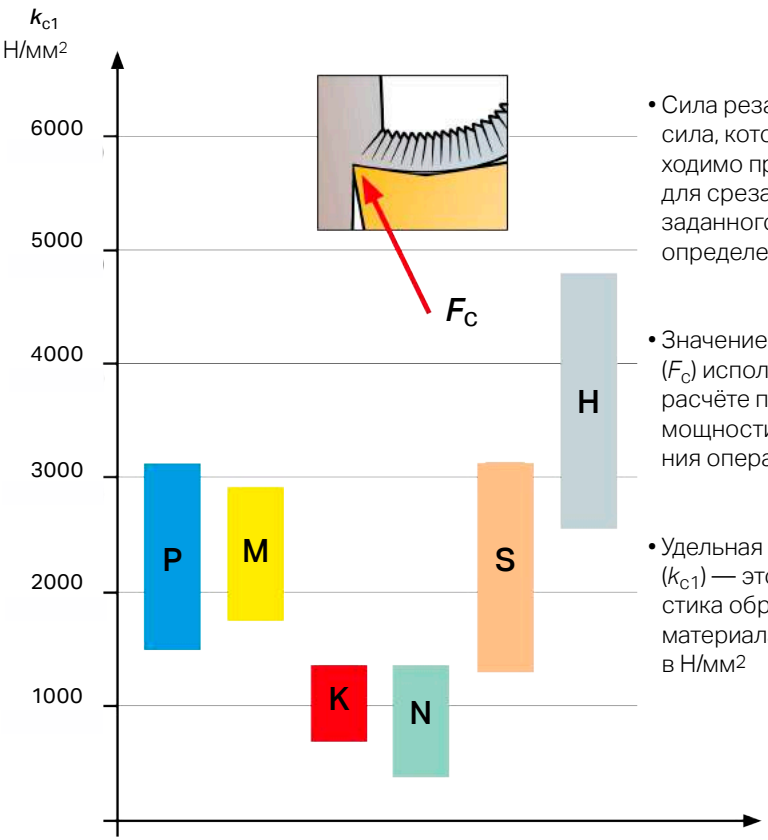
- Это самая малочисленная группа с точки зрения обработки резанием
- В эту группу входят закалённые и отпущенные стали твёрдостью >45–65 HRC и отбеленный чугун
- Однако, как правило, материалы высокой твёрдости имеют твёрдость в диапазоне 55–68 HRC

Подробнее о кодах MC см. в каталогах продукции

ISO	MC	Материал
H	H1	Сталь (45-65 HRC)
	H2	Отбеленный чугун
	H3	Стеллиты
	H4	Ferro-TiC (порошковая металлургия)

Удельная сила резания k_{c1}

k_{c1} — табличное значение k_c для толщины стружки 1 мм



- Сила резания (F_c) - это сила, которую необходимо приложить для срезания стружки заданного сечения в определенных условиях
- Значение силы резания (F_c) используется при расчёте потребляемой мощности для выполнения операции
- Удельная сила резания (k_{c1}) — это характеристика обрабатываемого материала, измеряемая в Н/мм²

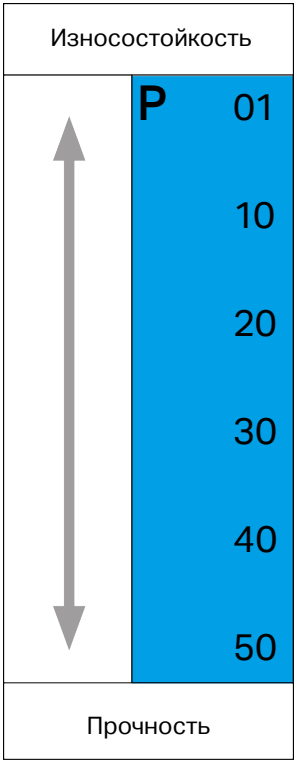
Расчеты см. в разделе «Формулы и определения»

Значения k_{c1} в Н/мм²

P	1500 – 3100	N	350 – 1350
M	1800 – 2850	S	1300 – 3100
K	790 – 1350	H	2550 – 4870

Области обработки в группе ISO-P

Операции и условия обработки



Приведенная выше схема относится к группе материалов ISO P. Эти требования также применимы ко всем прочим группам материалов ISO, т.е. M, K, N, S, H.

P01: Чистовое внутреннее и наружное точение; высокая скорость резания; небольшой припуск; хорошее качество обработанной поверхности; высокая точность; отсутствие вибрации

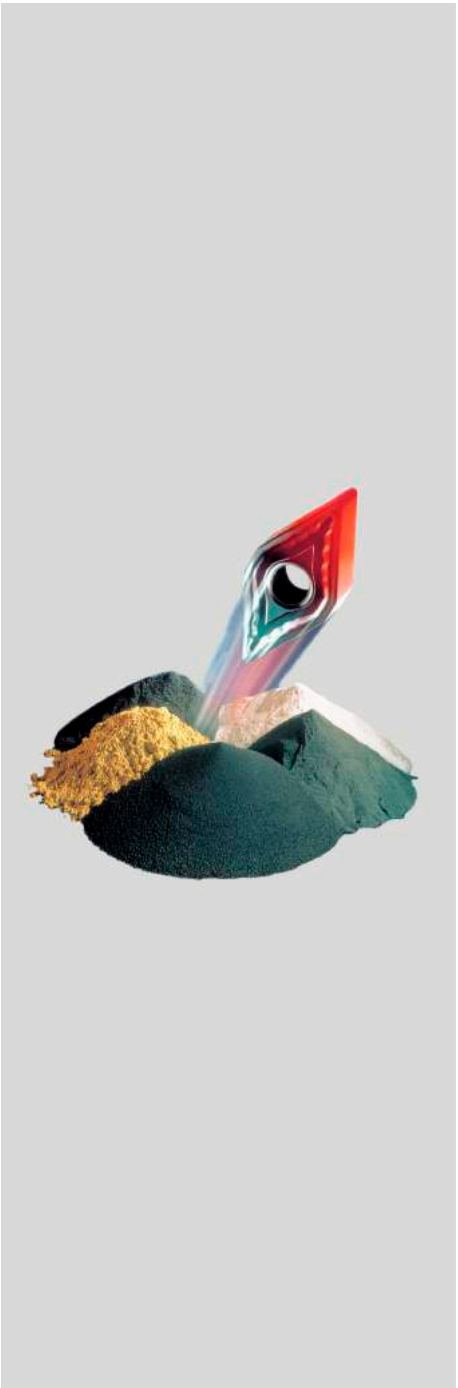
P10: Точение; профильная обработка; резьбонарезание; фрезерование; высокая скорость резания; небольшой или средний припуск

P20: Точение; профильная обработка; средняя скорость резания; обработка торцов с небольшим припуском; средние и тяжёлые условия

P30: Точение; фрезерование торцов; скорость резания от низкой до средней; средний и большой припуск; включая операции с тяжёлыми условиями обработки

P40: Точение; обработка торцов; фрезерование; отрезка; обработка канавок; низкая скорость резания; большой припуск; очень тяжёлые условия обработки

P50: Когда требуется очень высокая прочность инструмента при точении, обработке торцов, обработке канавок, отрезке, низкая скорость резания, большой припуск, крайне тяжёлые условия обработки



Производство твердосплавных пластин

Производство твердосплавных пластин — это тщательно разработанная технология получения геометрии и сплава пластины, идеально подходящих для конкретной области применения.

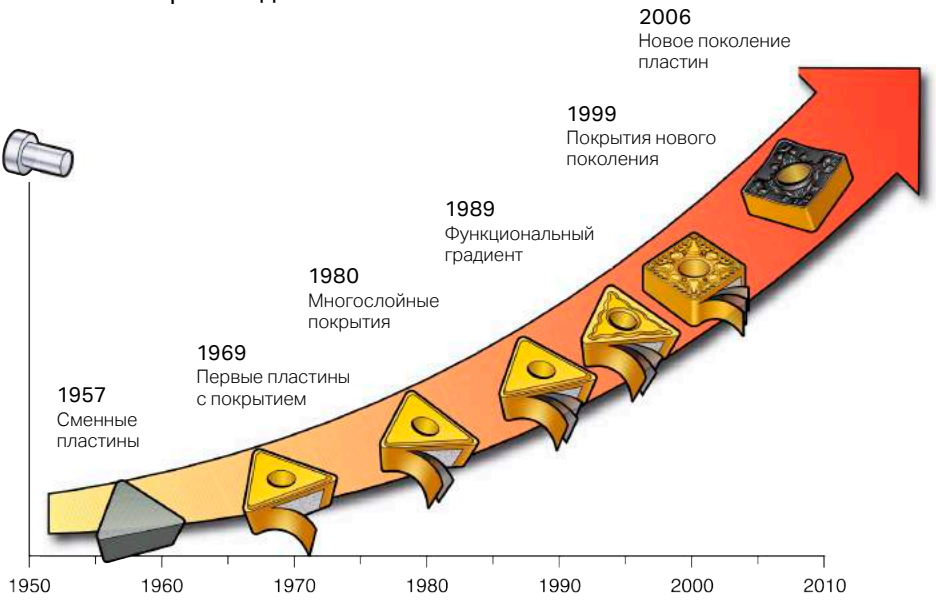
Развитие инструментальных материалов

Разработка новых твёрдых сплавов, покрытий и геометрий позволяет увеличить производительность и сократить производственные затраты.

Большой скачок в производительности произошёл в 60-х и 70-х годах, когда появились первые покрытия.

Затем развитие продолжилось за счёт совершенствования основы сплава, геометрий пластин, конструкций режущей кромки, а также за счет появления новых технологий нанесения покрытий и окончательной обработки пластины с покрытием.

Влияние на производительность



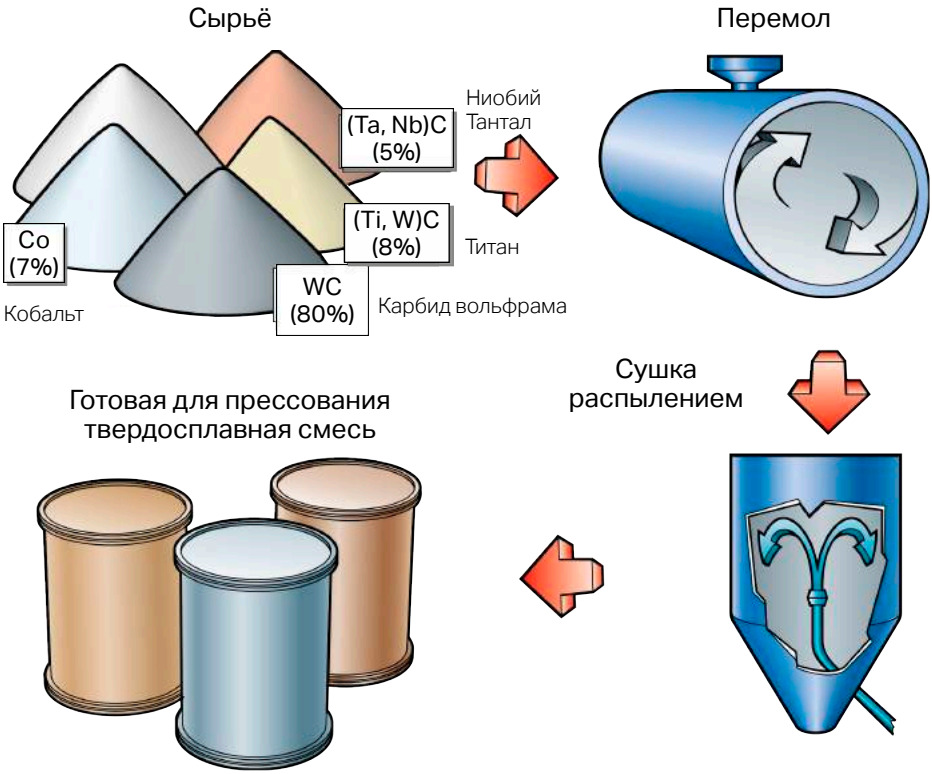
Производство порошков

Твердосплавная пластина состоит из двух основных компонентов:

- Карбид вольфрама (WC)
- Кобальт (Co)

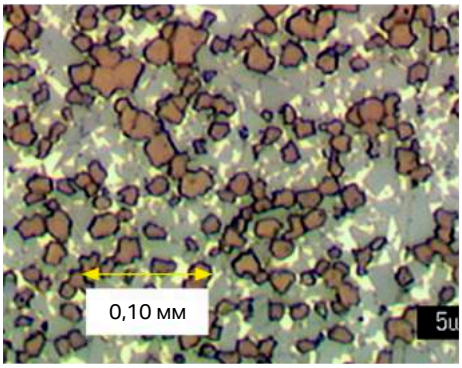
Среди других распространенных компонентов - карбиды титана, тантала и ниобия. Различные сплавы получаются в результате использования различных типов порошков в разных процентных соотношениях.

Порошок перемалывается, высушивается, просеивается и засыпается в контейнеры.



Вольфрамовый порошок

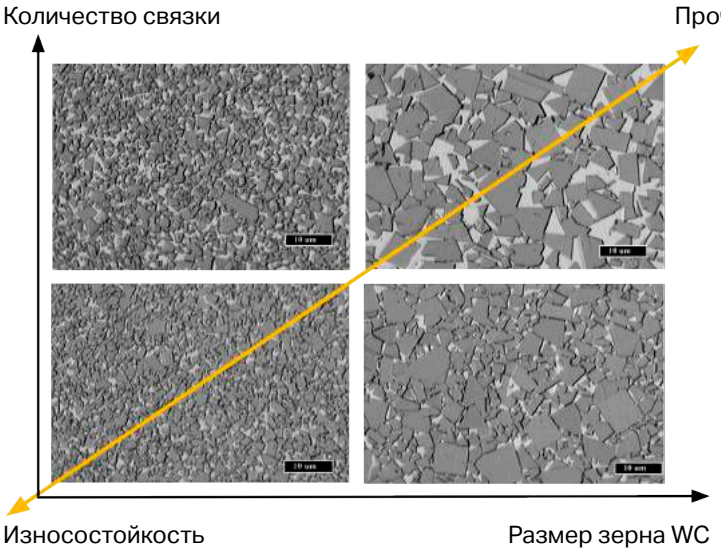
Размер зёрен карбида вольфрама



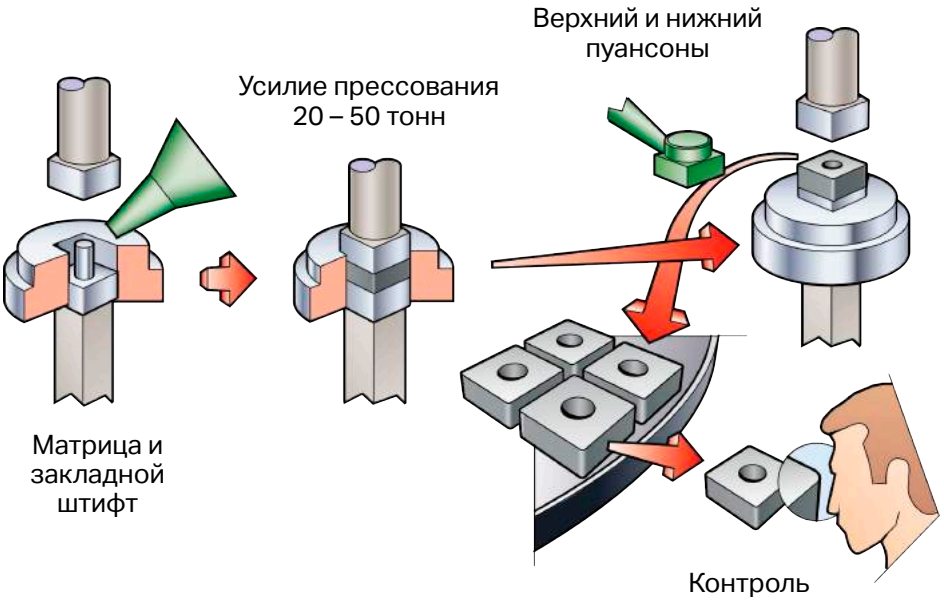
Основное сырьё для изготовления твёрдого сплава — концентрированная вольфрамовая руда. Вольфрамовый порошок изготавливается из оксида вольфрама, получаемого из руды химическим путём. При изменении условий восстановления получается вольфрамовая смесь с зёрнами различного размера. Зёрна карбида после сушки распылением становятся маленькими и различаются по размеру в зависимости от сплава.

Основные свойства твёрдого сплава

Наряду с размером зерна карбида вольфрама важным фактором, определяющим характеристики твёрдого сплава, является количество связующего вещества (кобальта). Увеличение содержания кобальта и размера зёрен карбида вольфрама приводит к повышению прочности, но вместе с тем к уменьшению твёрдости, что снижает износостойкость сплава.



Прессование заготовок пластин



Для прессования используется следующая оснастка:

- Верхний и нижний пуансоны
- Закладной штифт
- Полость

Процедура прессования:

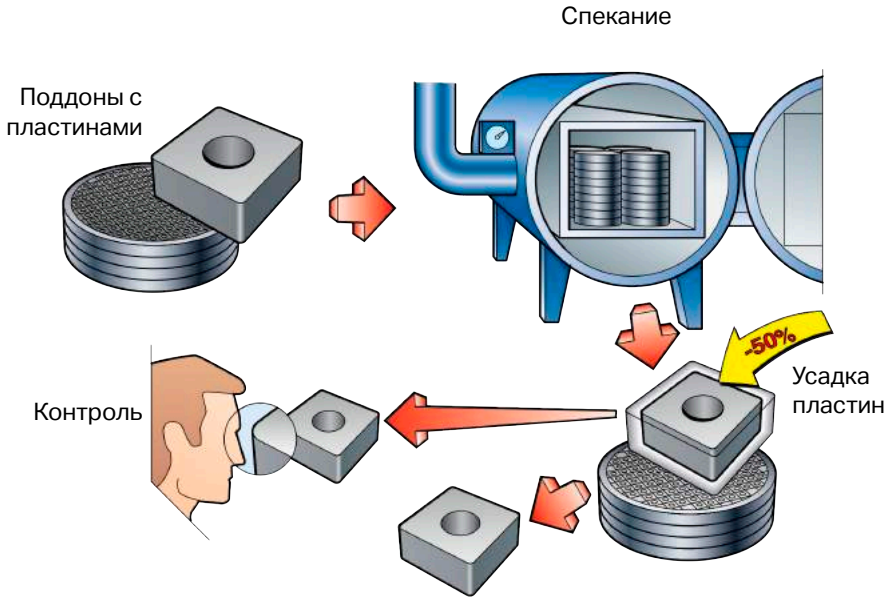
- Порошок засыпается в полость
- Верхний и нижний пуансоны сдвигаются (20-50 тонн)
- Пластина вынимается и устанавливается манипулятором на графитовый лоток
- Выполняется случайный контроль образцов для проверки веса

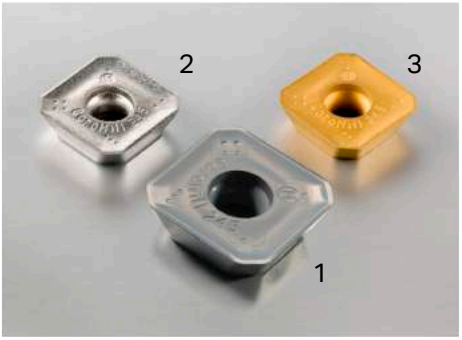
На этой стадии пластина на 50% пористая.

Спекание прессованных заготовок

Процесс спекания состоит из следующих этапов:

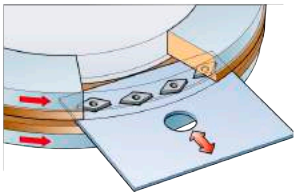
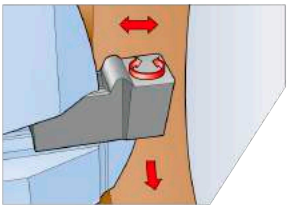
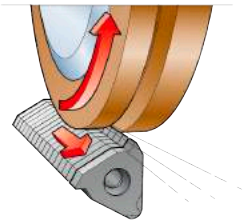
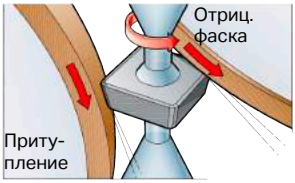
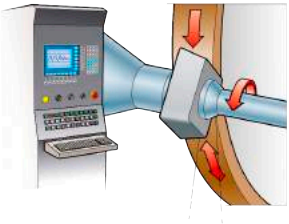
- Поддоны с пластинами загружаются в печь для спекания
- Температура повышается до ~1400 °C
- Происходит плавление кобальта, он переходит в жидкую фазу, и образуется кобальтовая связка
- Пластина уменьшается в линейных размерах на 18%, это соответствует 50% уменьшению объёма





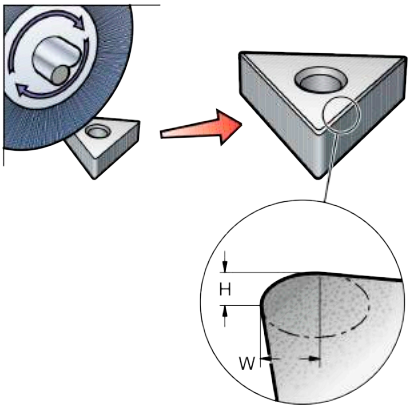
1. Пластина до спекания (прессованная)
2. Пластина после спекания
3. Пластина с покрытием

Различные типы шлифовальных операций

Шлифование базовых поверхностей	Свободная профильная обработка	Профильная обработка
		
Притупление - отрицательная фаска	**Периферийное шлифование**	
		

Упрочнение режущей кромки

Округлением кромки (ER) формирует итоговую микрогеометрию режущей кромки.

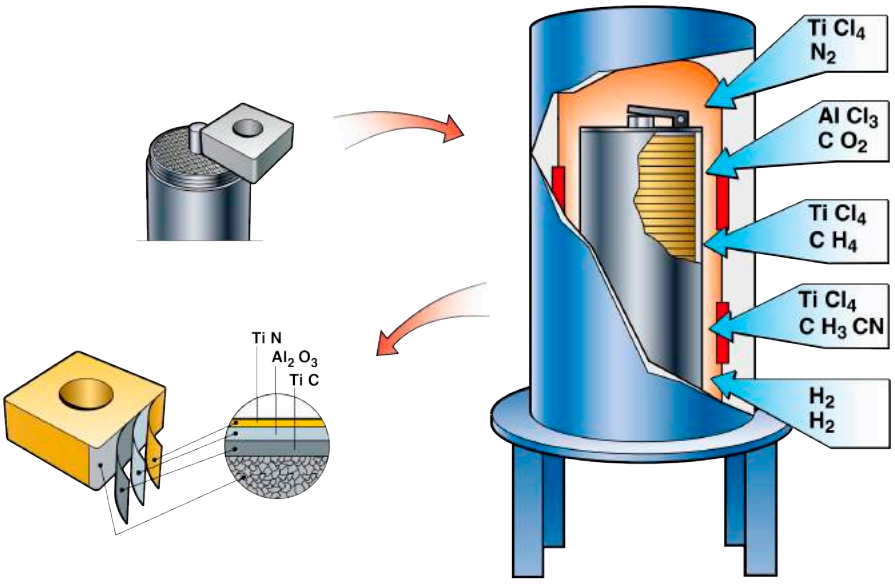


- Округлением кромки (ER = Edge Roundness) выполняется перед нанесением покрытия
- Соотношение W/H зависит от области применения

Обычно величина округления ER составляет ~80 мкм.

CVD — химическое осаждение из паровой фазы

Пластины на поддонах помещаются в печь, в камеру которой подаётся серия газов, затем трубки очищаются, и подаётся другая серия газов. Эта процедура повторяется до тех пор, пока не будут сформированы все слои покрытия. Процесс выполняется при температуре около 900 °C в течение 30 часов. Толщина покрытия составляет приблизительно 2-20 мкм.



Преимущества покрытий CVD

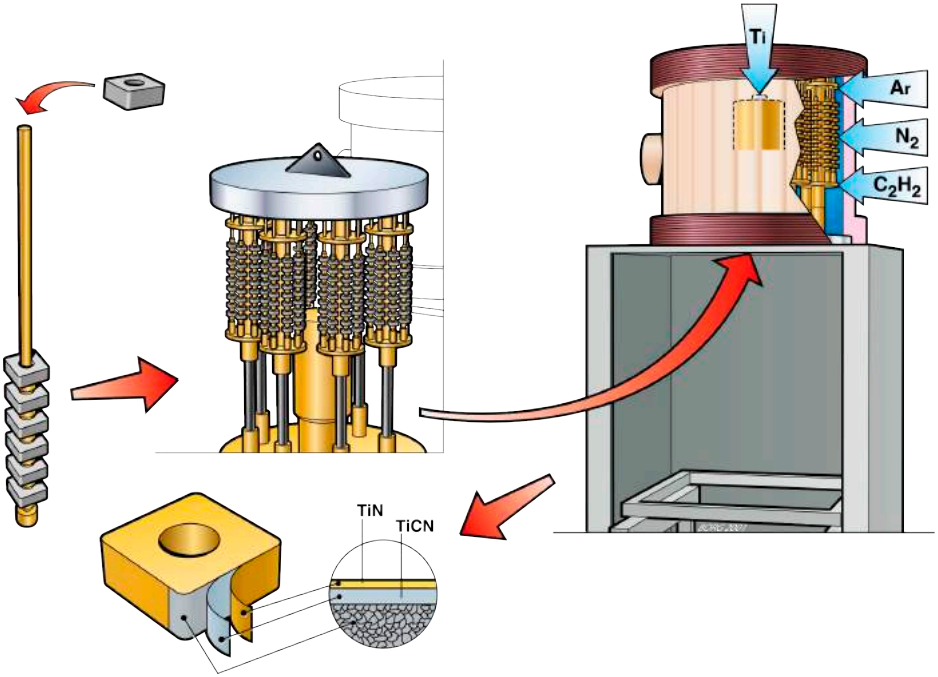


- Возможность получения покрытий большой толщины
- Возможность получения покрытий равномерной толщины
- Очень хорошая адгезия к твердосплавной основе
- Очень хорошая износостойкость
- Возможность нанесения оксидных покрытий

PVD — физическое осаждение из паровой фазы

Пластины загружаются в камеру на вращающихся приспособлениях. На стенках камеры размещаются металлические мишени. Основной компонент — титан (Ti). Мишени нагреваются до температуры ионизации металла.

С помощью газа заряженные ионы переносятся от мишеней к пластине. Поскольку температура пластин ниже, ионы конденсируются на поверхности пластин, образуя покрытие.



Толщина покрытия находится в диапазоне 2-6 мкм, в зависимости от области применения пластины.

Сегодня наиболее распространены такие PVD-покрытия, как TiN, Ti(C,N), (Ti,Al)N, (Ti,Al,Cr)N, а также оксиды цветных металлов.

Преимущества покрытий PVD

- Обеспечивают высокую прочность режущей кромки
- Способны сохранять острую режущую кромку
- Могут быть нанесены на напайной инструмент
- Могут быть нанесены на цельный твердосплавный инструмент

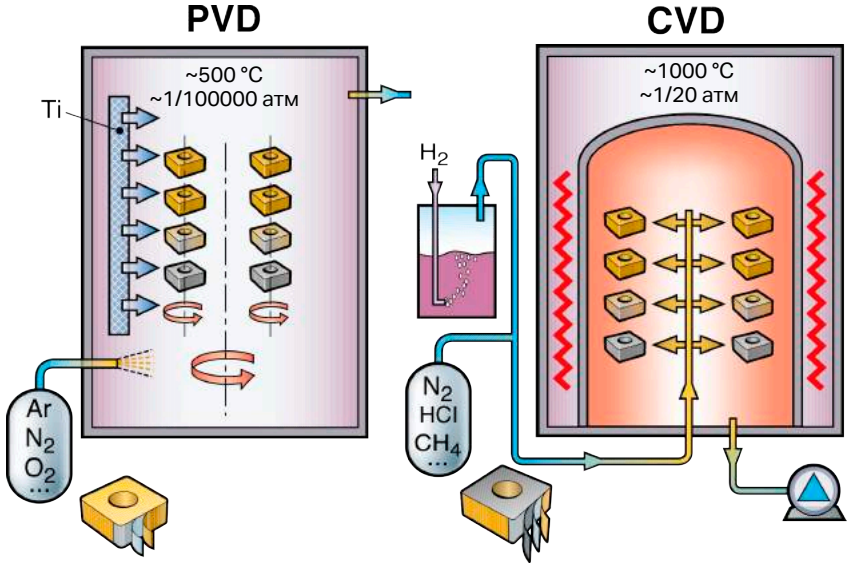
Сравнение процессов PVD и CVD

PVD (Физическое осаждение из паровой фазы)

При процессе PVD покрытие формируется путём конденсации металлического пара на поверхности пластин. Принцип создания покрытий PVD точно такой же, как при конденсации влажного воздуха на холодном дорожном покрытии с образованием корки льда. Покрытие PVD создаётся при гораздо более низкой температуре, чем покрытие CVD. Обычно процесс PVD проходит при температуре около 500 °C. Толщина покрытия составляет 2-6 мкм, в зависимости от области применения пластины.

CVD (Химическое осаждение из паровой фазы)

При процессе CVD покрытие образуется в результате химической реакции различных газов. Температура, время, расход газа, состав и пр. тщательно контролируются, чтобы регулировать формирование слоёв покрытия. В зависимости от типа покрытия температура в камере может составлять от 800 до 1100 градусов. Чем толще покрытие, тем дольше длится процесс. Самое тонкое на сегодняшний день покрытие CVD имеет толщину менее 4 мкм, а самое толстое — более 20 микрон.

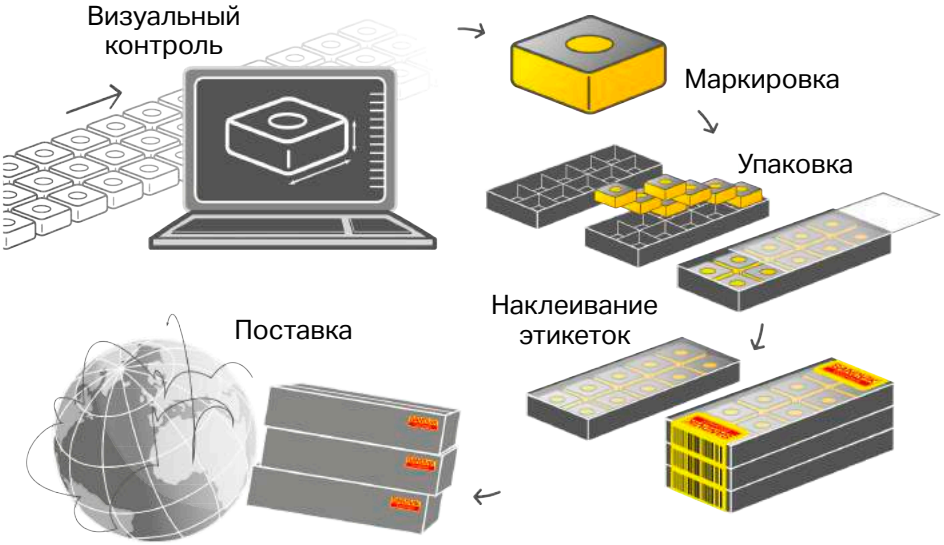


- Тонкое покрытие
- Острые кромки
- Прочное

- Покрытие большей толщины
- Более износостойкое
- Термостойкое

Визуальный контроль, маркировка и упаковка

Перед упаковкой каждая режущая пластина ещё раз проходит контроль, сверку с чертежом и номером партии. На пластине маркируется название сплава, после чего она помещается в серую коробку с этикеткой. Теперь пластины готовы к отправке заказчикам.





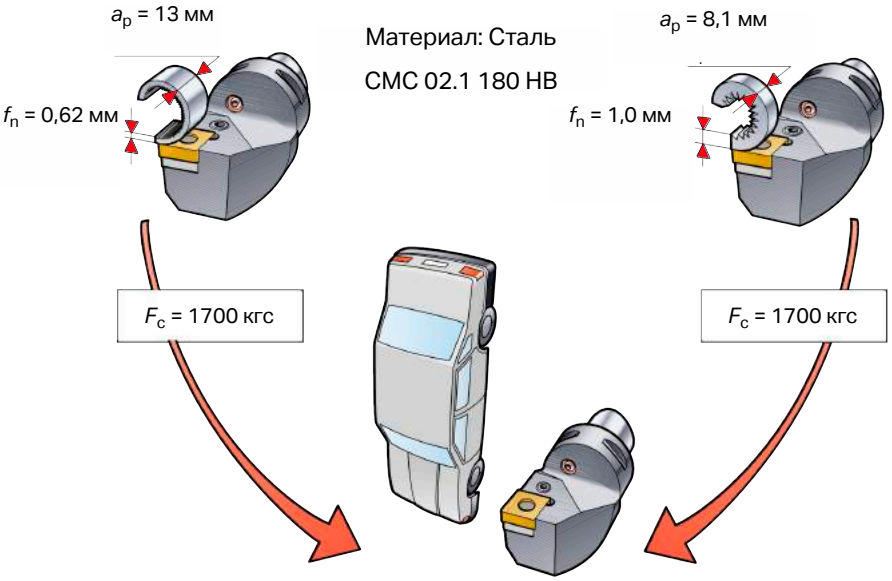
Режущая кромка

Исполнение режущей кромки и геометрия пластины оказывают большое влияние на процесс стружкообразования, стойкость инструмента и режимы резания.

Сила резания, действующая на режущую кромку

Твёрдый сплав имеет высокую прочность на сжатие и может работать при высоких температурах без пластической деформации. Он также может выдерживать большие силы резания (F_c) без поломок, если режущая пластина имеет надлежащую опору.

Чтобы понять, каким нагрузкам подвергается режущая кромка, ниже приведены два режима резания для резцовой головки. Они создают на режущей кромке примерно одинаковую силу резания (F_c).



В этих двух случаях сила резания эквивалентна весу легкового автомобиля.

Расчёт F_c
Материал: MC P2 (низколегированная сталь) 180 HB
Удельная сила резания k_{c1} = 2100 Н/мм^2

$F_c = k_{c1} \times a_p \times f_n$
F_c = 2100 Н/мм^2 x 13 мм x 0,62 мм = 16926 Ньютонов (Н) = 1700 кгс

1 Н = 0.101 кг
кгс = килограмм-сила

Обработка начинается на режущей кромке

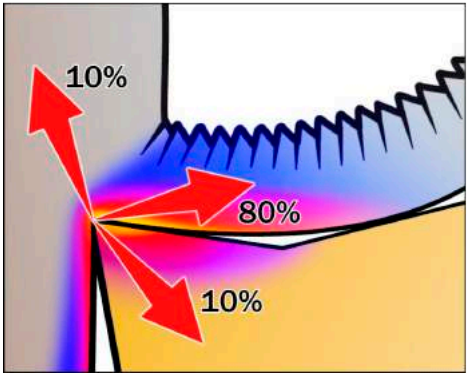


Типичное стружкообразование — съёмка высокоскоростной камерой

Температура в зоне резания

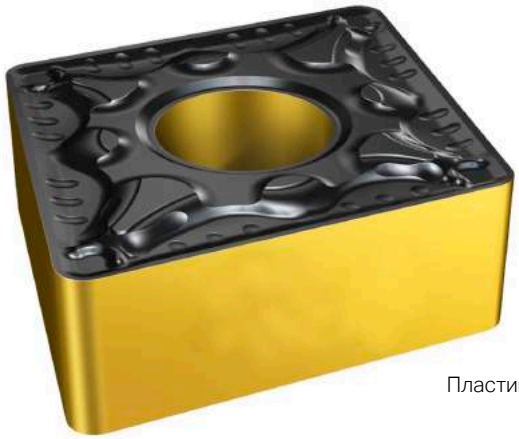
Максимальное количество тепла, образующееся в зоне резания, концентрируется в верхней части пластины: на стружколоме и непосредственно на режущей кромке.

Именно там возникает максимальное давление материала, которое, вместе с трением между стружкой и пластиной, вызывает эти высокие температуры.



- Передний угол пластины, геометрия режущей кромки и подача играют важную роль в процессе стружкообразования
- Важная задача — отведение тепла от зоны резания через стружку (80%)
- Оставшееся тепло обычно равномерно распределяется между заготовкой и инструментом

Конструкция современной пластины

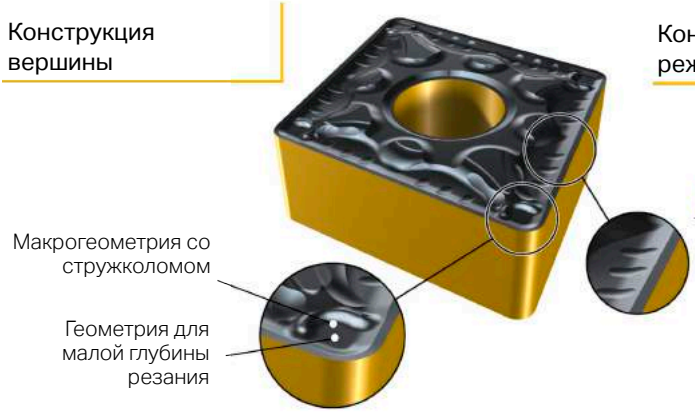


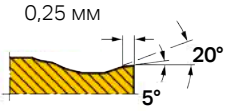
Пластина для получистового точения стали

Конструктивные элементы и геометрия

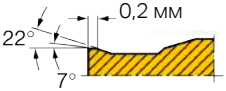
Конструкция вершины

Конструкция главной режущей кромки



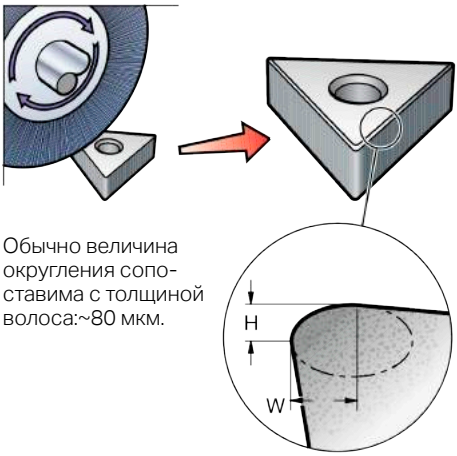


- Ширина фаски 0,25 мм
- Передний угол 20°
- Угол фаски 5°



Усиление режущей кромки

Округление режущих кромки (ER) формирует окончательную микрогеометрию

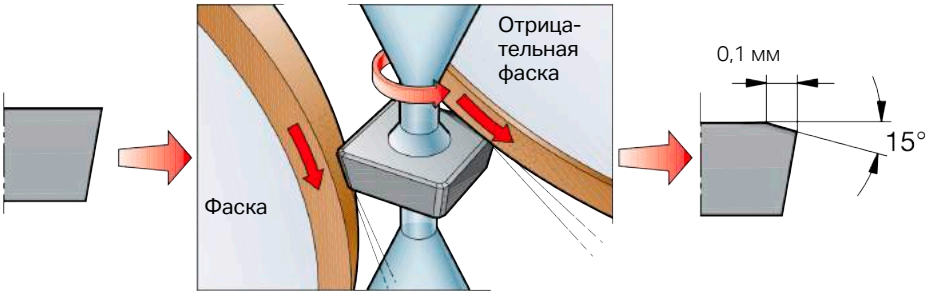


Обычно величина округления сопоставима с толщиной волоса:~80 мкм.

- Округление режущей кромки выполняется перед нанесением покрытия и придает ей итоговую форму (микрогеометрию)
- Соотношение W/H зависит от области применения

Отрицательная фаска повышает прочность режущей кромки

В некоторых случаях пластины имеют отрицательную фаску и усиленные вершины, что делает их прочнее и надёжнее при прерывистом резании.

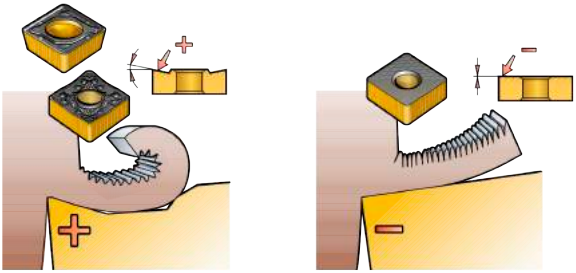


- Отрицательная фаска повышает прочность режущей кромки, но при этом создаёт большие силы резания

Передний угол

Передний угол может быть отрицательным или положительным.

В связи с этим существуют пластины без задних углов (задний угол равен нулю) и с задними углами (положительный угол). Этот параметр определяет наклон режущей пластины в державке, который обеспечивает в итоге либо отрицательный, либо положительный передний угол.



- Передний угол — угол между передней поверхностью пластины и основной плоскостью

Положительный и отрицательный передние углы

При токарной обработке требуется прочная режущая кромка, которая сможет обеспечить длительное непрерывное резание при высоких температурах. Следовательно, кромка должна обладать хорошей стружколомающей способностью и высокой стойкостью к различным типам износа и пластической деформации.

При фрезеровании, где резание всегда прерывистое, кромка должна иметь хороший запас прочности. Сильные колебания температуры режущей кромки из-за прерывистого резания также повышают значимость такого свойства, как стойкость к образованию термических трещин.

При сверлении кромка должна быть достаточно прочной для длительной работы при очень низких скоростях резания, в том числе при нулевой скорости в центре сверла.

На большинстве операций сверления применяется подвод СОЖ, в основном для эвакуации стружки, что подвергает кромку дополнительным нагрузкам из-за колебаний температуры. Для транспортировки стружки по узким стружечным канавкам из отверстия необходимо обеспечить её хорошее дробление.

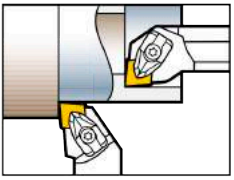
Максимальная производительность

Специализированные пластины для различных областей применения

Основные требования к геометрии и сплаву пластины обусловлены областью применения пластины: точение, фрезерование, сверление.

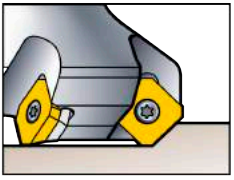
P
M
K
N
S
H

Точение



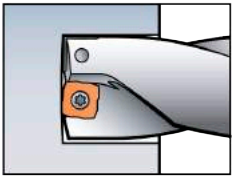
- Требуется прочная режущая кромка, которая сможет обеспечить длительное непрерывное резание при высокой температуре
- Хорошее стружкодробление
- Высокая стойкость к различным типам износа и пластической деформации

Фрезерование



- Всегда прерывистое резание, кромка должна иметь хороший запас прочности
- Из-за значительных перепадов температур на режущей кромке при прерывистом резании важным фактором становится стойкость к образованию термотрещин

Сверление

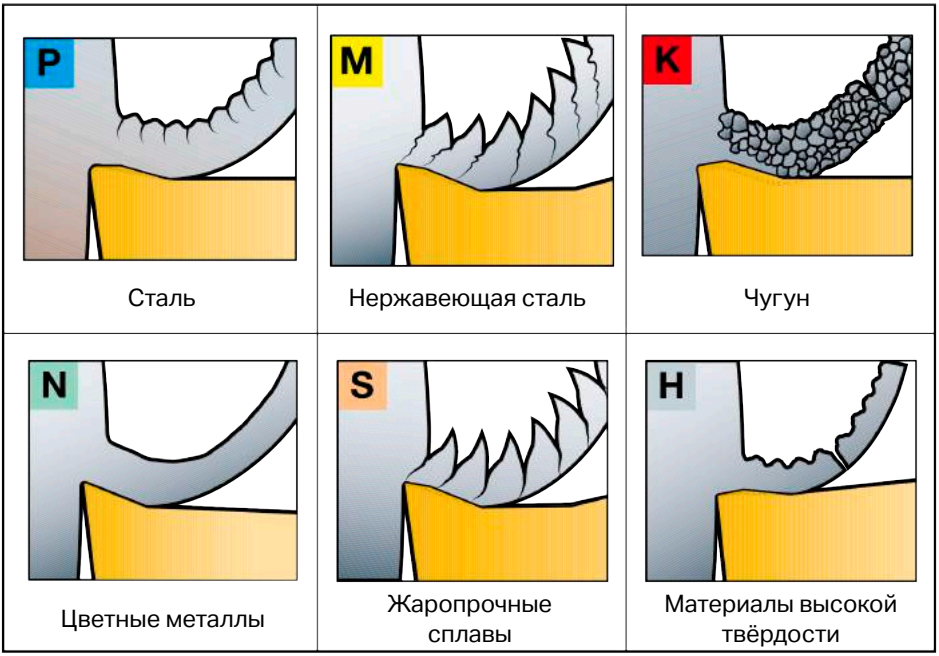


- Режущая кромка должна быть достаточно прочной, чтобы работать при низкой скорости резания, в центре сверла скорость резания равна нулю
- Режущая кромка должна быть устойчива к изменениям температуры в связи с применением СОЖ для эвакуации стружки
- Режущая кромка должна обеспечивать надёжное стружкодробление для эвакуации стружки по узким стружечным канавкам

Шесть групп обрабатываемых материалов

Различный характер формирования стружки

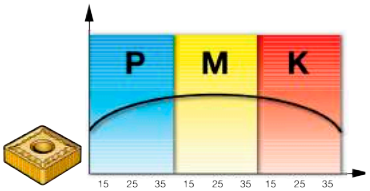
Хорошее стружкодробление обычно приводит к возникновению больших сил резания и интенсивному выделению тепла, в зависимости от материала. Это может привести к необходимости снижения скорости резания и, как следствие, адгезионному износу. С другой стороны, цветные металлы, нелегированная сталь и низкопрочный чугун создают меньшие силы резания.



Универсальные и оптимизированные токарные пластины

Универсальные пластины

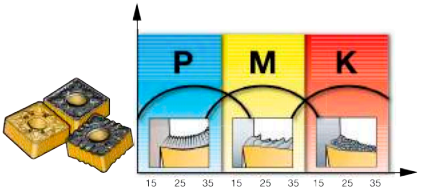
- Универсальная геометрия
- Оптимизация за счёт сплавов
- Неоптимальная производительность



Область применения

Специализированные пластины

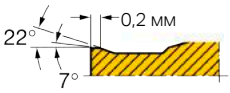
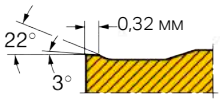
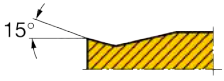
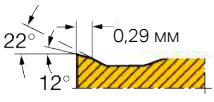
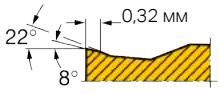
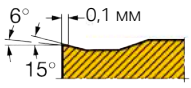
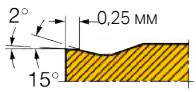
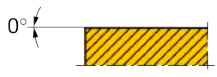
- Специализированные сплавы и геометрии
- Оптимальная производительность в зависимости от обрабатываемости материала



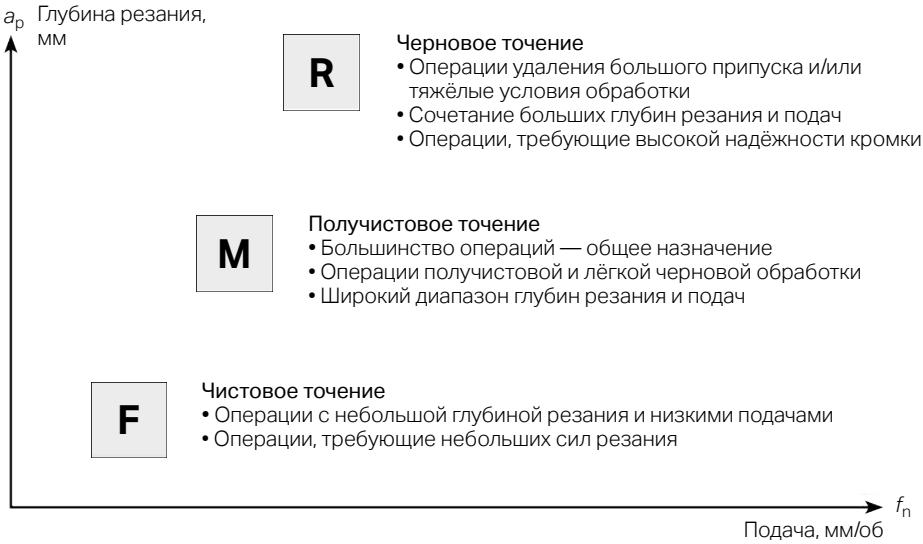
Область применения

Специализированные пластины для материалов групп ISO P, M, K и S

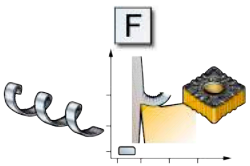
Различные микро- и макрогеометрии адаптированы в соответствии с областью применения и обрабатываемым материалом.

Обрабатываемый материал	Чистовая обработка	Получистовая обработка	Черновая обработка
P			
M			
K			
S			

Область применения — точение

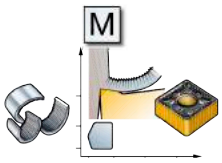


Выбор геометрии пластин для точения



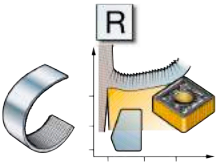
Чистовая (F)

- Очень острая
- Чистовая обработка
- Низкие силы резания
- Низкие подачи



Получистовая (M)

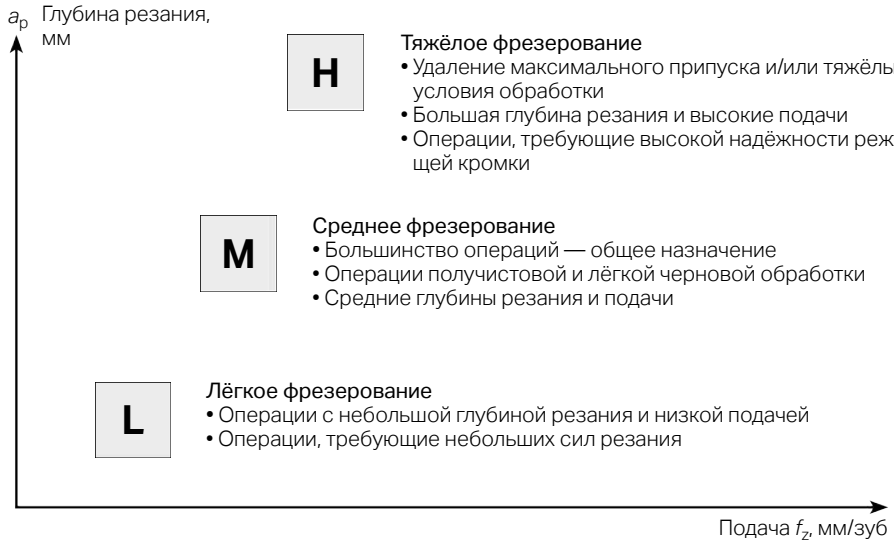
- Геометрия общего назначения
- Средние подачи
- От получистовых до лёгких черновых операций



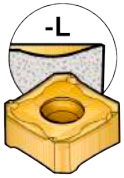
Черновая (R)

- Прочная режущая кромка
- Черновая обработка
- Наибольшая надёжность кромки
- Высокие подачи

Область применения — фрезерование

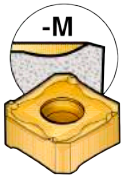


Выбор геометрии пластин для фрезерования



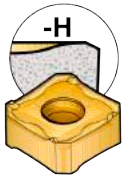
Лёгкая (-L)

- Очень острая
- Ненагруженная обработка
- Низкие силы резания
- Низкие подачи



Средняя (-M)

- Геометрия общего назначения
- Средние подачи
- От получистовых до лёгких черновых операций



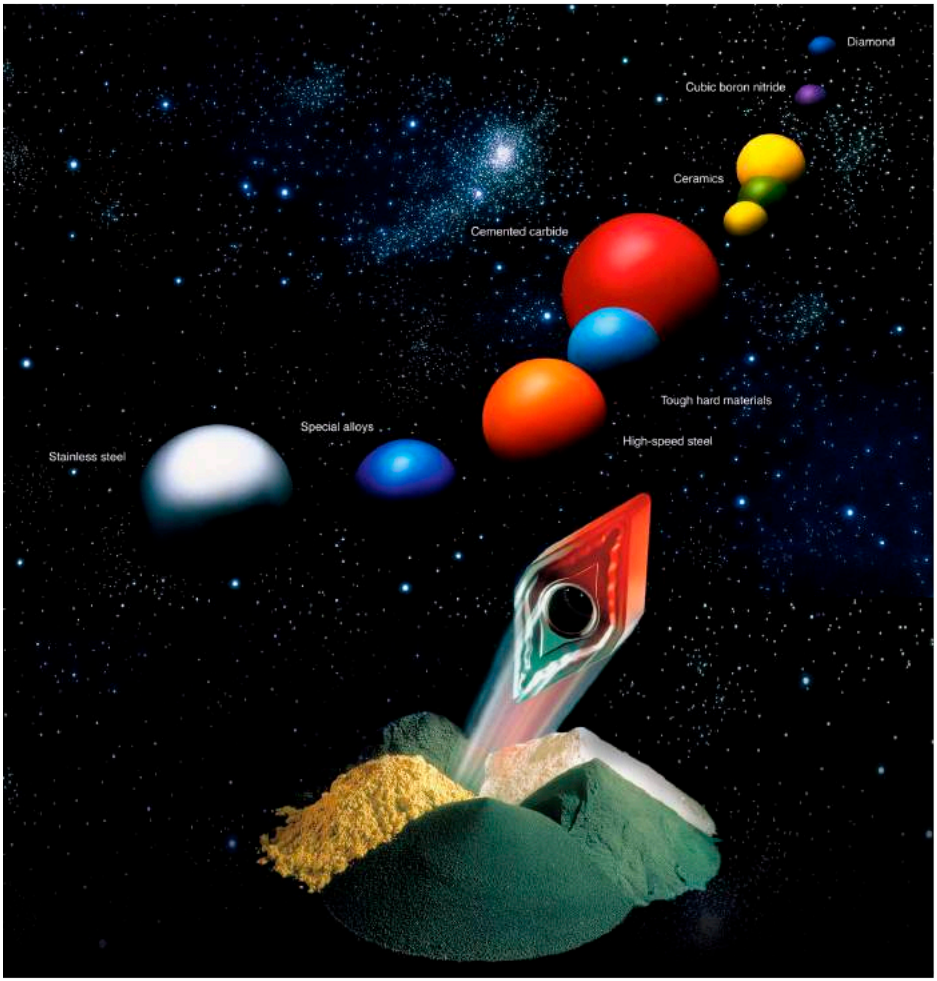
Тяжёлая (-H)

- Прочная режущая кромка
- Тяжёлая обработка
- Наибольшая надёжность режущей кромки
- Высокие подачи

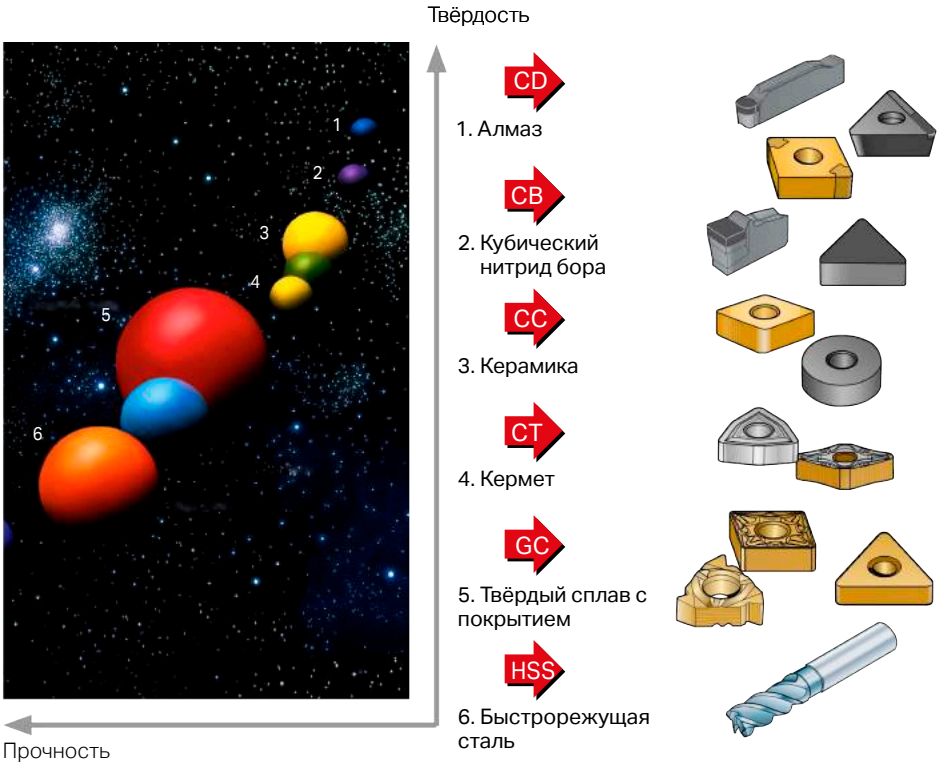
Инструментальные материалы

Выбор материала режущего инструмента — важный фактор при планировании операции металлообработки.

Базовые знания о характеристиках каждого инструментального материала позволяют сделать правильный выбор для любой области применения. При выборе материала необходимо учитывать материал заготовки, её форму, требования по точности и качеству, а также состояние оборудования.



Различные типы инструментальных материалов



Идеальный инструментальный материал должен быть:

- твёрдым, для обеспечения стойкости к износу по задней поверхности и деформации
- прочным, во избежание поломки режущей кроми
- химически инертным к материалу заготовки
- химически устойчивым к окислению и диффузии
- устойчивым к резким изменениям температуры

Основная классификация инструментальных материалов



- Твёрдый сплав без покрытия (HW)
- Твёрдый сплав с покрытием (HC)
- Кермет (HT, HC)
- Керамика (CA, CN, CC)
- Кубический нитрид бора (BN)
- Поликристаллический алмаз (DP, HC)

- (HW) Твёрдые сплавы без покрытия, содержащие в основном карбиды вольфрама (WC)
- (HT) Безвольфрамовые твёрдые сплавы без покрытия (керметы), содержащие в основном карбиды (TIC) и/или нитриды (TIN) титана
- (HC) Твёрдые сплавы с покрытием, содержащие в основном карбиды вольфрама (WC)
- (CA) Оксидная керамика, состоящая в основном из оксида алюминия (Al_2O_3)
- (CM) Смешанная керамика на основе оксида алюминия (Al_2O_3), но содержащая также и другие элементы
- (CN) Нитридная керамика, содержащая в основном нитриды кремния (Si_3N_4)
- (CC) Вышеперечисленная керамика, но с покрытием
- (DP) Поликристаллический алмаз [1]
- (BN) Кубический нитрид бора [1]

[1]) Поликристаллический алмаз и кубический нитрид бора называют сверхтвёрдыми режущими материалами

Твёрдый сплав без покрытия



Характеристики, особенности и преимущества

- Используется для точения, фрезерования и сверления стали, жаропрочных сплавов, титана, чугуна и цветных металлов в средних и тяжёлых условиях
- Хорошее сочетание высокой прочности и стойкости к абразивному износу
- Острые режущие кромки
- Надёжная режущая кромка, но недостаточная износостойкость на высокой скорости резания
- Небольшая доля в ассортименте сплавов

Твёрдый сплав с покрытием

Характеристики, особенности и преимущества



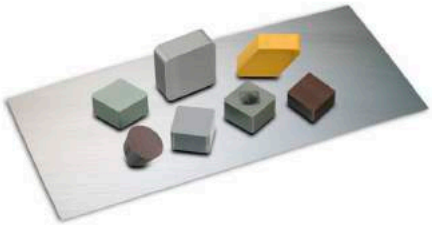
- Применяется для точения, фрезерования и сверления любых материалов на всех стадиях и этапах обработки деталей любой сложности
- Отличное сочетание износостойкости и прочности при выполнении различных операций
- Широкий выбор сплавов с твёрдыми и прочными основами, в основном полученных градиентным спеканием, с различными типами покрытий CVD и PVD
- Прогнозируемый износ при высокой стойкости
- Основная часть в ассортименте пластин, с постоянным ростом доли

Кермет



- Используется для чистовых и получистовых операций, где требуются высокая точность размеров и качество обработанной поверхности
- Высокая химическая стабильность, твёрдая и износостойкая основа
- Изготовлен на основе карбидов титана (TiC, TiCN) с кобальтом в качестве связующего вещества
- PVD-покрытие повышает износостойкость и долговечность инструмента. Свойство самозатачивания. Ограниченная прочность
- Достаточно малая доля в программе пластин

Керамика



- В зависимости от типа керамика в основном используется для обработки чугуна и стали, материалов высокой твёрдости и жаропрочных сплавов
- Сплавы из керамики имеют высокую износостойкость и хорошую красностойкость. Широкий спектр областей применения для обработки различных материалов и деталей
- Керамика хрупкая, поэтому требует стабильных условий. Для повышения прочности изготавливают армированные варианты керамических сплавов или со специальными добавками
- Довольно небольшая доля в программе пластин, но растет применение в аэрокосмической промышленности и для обработки закалённой стали и чугуна

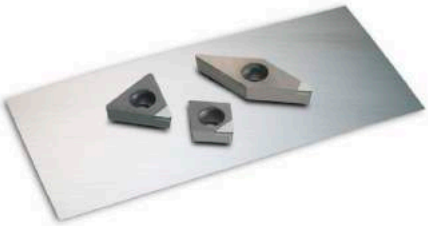
Кубический нитрид бора



Характеристики, особенности и преимущества

- Для чистового точения закалённой стали. Черновая обработка серого чугуна на высоких скоростях резания. Черновое точение отбеленного чугуна
- Для операций, требующих исключительной износостойкости и прочности
- Нитрид бора с керамической или нитрид-титановой связкой
- Имеет высокую теплостойкость при высоких скоростях резания
- Узкая область применения и небольшой ассортимент пластин. Тенденция в сторону повышения доли обрабатываемых материалов высокой твёрдости

Поликристаллический алмаз



- Точение обычных цветных металлов при низкой температуре и очень абразивных сверхэвтектических цветных металлов. Используется для обработки цветных металлов и неметаллических материалов
- Очень износостойкие сплавы. Склонность к выкрашиванию
- Напаянные вершины из поликристаллического алмаза (PCD) или тонкое алмазное покрытие
- Исключительная износостойкость и долговечность инструмента. Разрушается при высоких температурах. Легко растворяется в железе
- Довольная небольшая доля в ассортименте пластин, ограниченное применение

Развитие инструментальных материалов

Развитие материалов режущего инструмента в период с 1900 года до наших дней можно проследить по сокращению времени, необходимого для обработки детали длиной 500 мм и диаметром 100 мм.

В начале прошлого века инструментальные материалы были незначительно твёрже обрабатываемого материала. Поэтому стойкость инструмента была невысокой, а скорость резания и подачу приходилось сильно ограничивать.

С появлением быстрорежущей стали (HSS) металлообработка сделала огромный шаг вперёд: длительность резания сократилась.

Спустя 20 лет твёрдый сплав без покрытия позволил сократить время обработки до ошеломляющих 6 минут.

С появлением твёрдых сплавов с покрытием длительность резания сократилась до полутора минут.

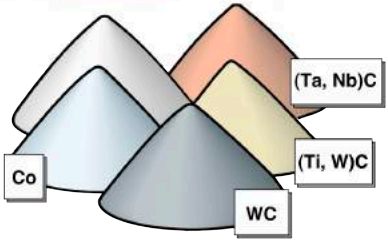
Сегодня благодаря улучшенным геометриям и новым технологиям нанесения покрытий время обработки стального прутка длиной 500 мм составляет менее 1 минуты.

В дополнение к традиционным твёрдым сплавам с покрытием и без покрытия появились новые инструментальные материалы, такие как кермет, керамика, кубический нитрид бора и поликристаллический алмаз, которые ещё больше повысили производительность обработки.



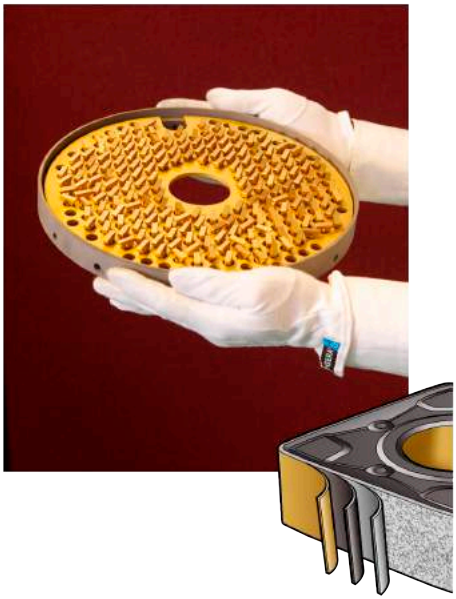
Что такое твёрдый сплав и инструментальный сплав?





- Твёрдый сплав — это материал, получаемый методом порошковой металлургии, состоящий из:
  - твёрдых частиц карбида вольфрама (WC)
  - кобальтовой связки (Co)
  - твёрдых частиц Ti, Ta, Nb (карбидов титана, тантала и ниобия)
- Инструментальный сплав — это материал определённой твёрдости и прочности, из которого изготовлена пластина. Характеристики сплава определяются комбинацией исходных материалов, составляющих его основу.

Покрытия для твёрдого сплава



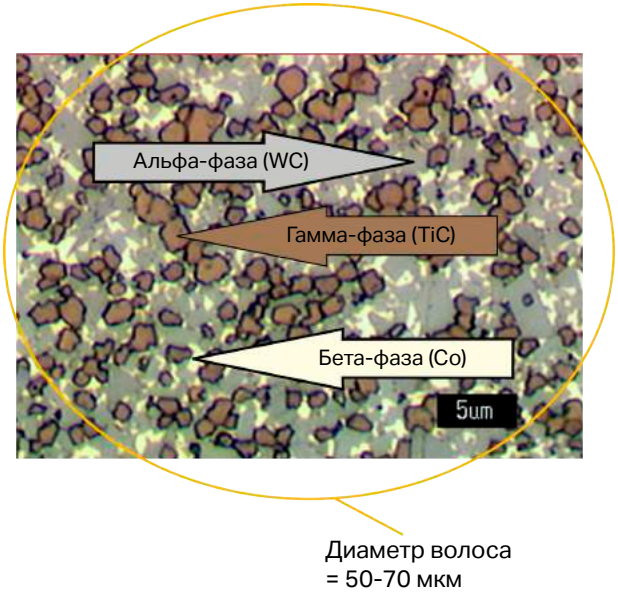
- Первое покрытие для твёрдых сплавов было разработано в 60-е годы 20 века
- Был нанесен тонкий слой нитрида титана толщиной всего несколько микрометров. Это сразу повысило работоспособность твёрдого сплава
- Покрытия повышают износостойкость, благодаря чему инструмент служит дольше и работает на более высоких режимах резания
- Современные сплавы покрывают слоями различных карбидов, нитридов и оксидов

Микроструктура твёрдого сплава

Твёрдый сплав состоит из твёрдых частиц (карбидов) в связующей матрице.

Как правило, в качестве связующего используют кобальт (Co), но может использоваться и никель (Ni). Твёрдые частицы в основном состоят из карбида вольфрама (WC) с возможным добавлением гамма-фазы (карбиды и нитриды Ti, Ta, Nb).

Гамма-фаза обладает лучшей стойкостью и менее химически активна при высоких температурах, таким образом, она часто встречается в сплавах, предназначенных для обработки с высокими температурами. Карбид вольфрама имеет более высокую стойкость к абразивному износу.



Элементы:

Альфа-фаза
WC (карбид вольфрама)

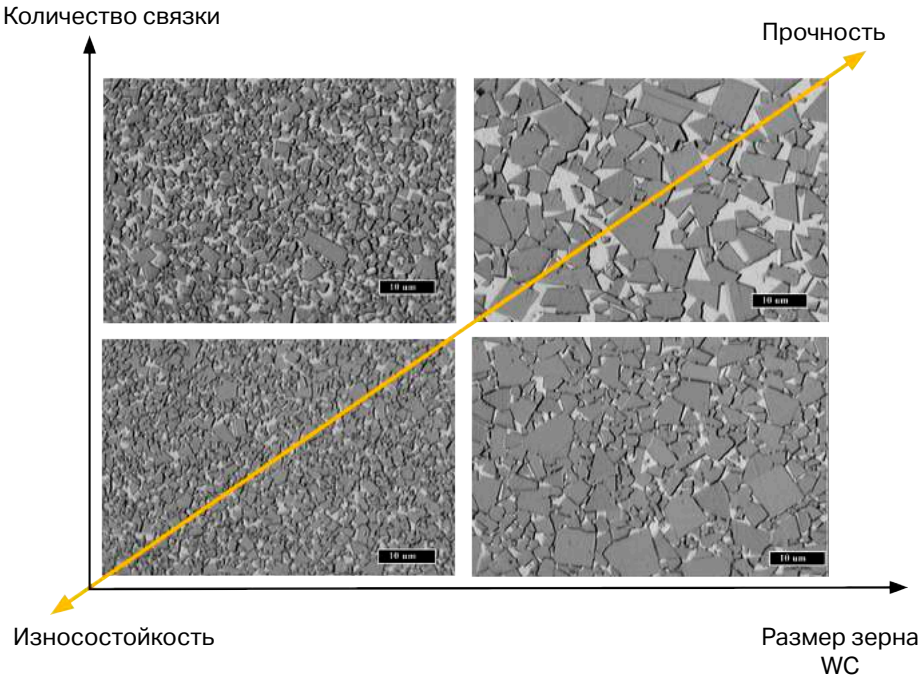
Гамма-фаза
(Ti,Ta,Nb)C
(карбиды титана, тантала, ниобия)

Бета-фаза
Co (кобальт)

Основные характеристики

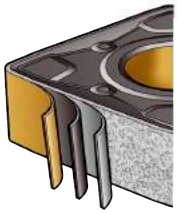
Наряду с размером зерна карбида вольфрама, количество связующего вещества (кобальта) является важным фактором, определяющим характеристики твёрдого сплава. Содержание кобальта в сплавах Sandvik Coromant обычно составляет 4–15% от общей массы.

Увеличение содержания кобальта и зернистости карбида вольфрама способствует повышению прочности, но при этом снижается твёрдость. В результате основа становится менее стойкой к пластической деформации, что означает снижение износостойкости и срока службы инструмента.



Структура покрытия



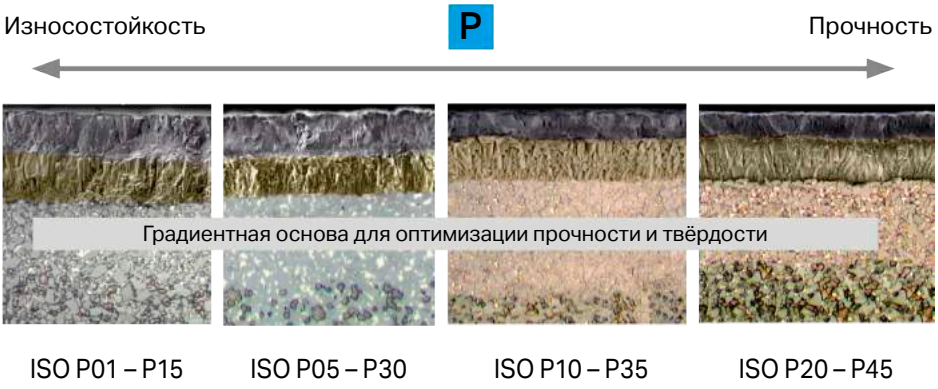


Факторы, влияющие на работоспособность пластины:

- Процесс нанесения покрытия
- Материал покрытия
- Толщина покрытия
- Последующая обработка
- Структура поверхности

Пример современных сплавов для точения стали

Структура и расположение слоёв покрытия

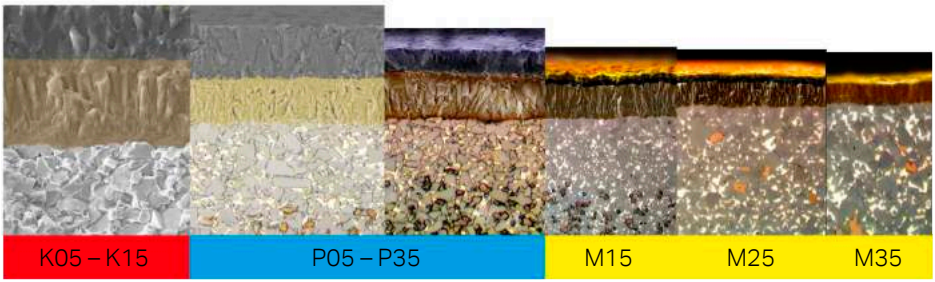


Чем больше толщина покрытия, тем выше износостойкость

Чем твёрже основа, тем выше стойкость к пластической деформации

Структура сплава

Типы покрытий и основы зависят от области применения

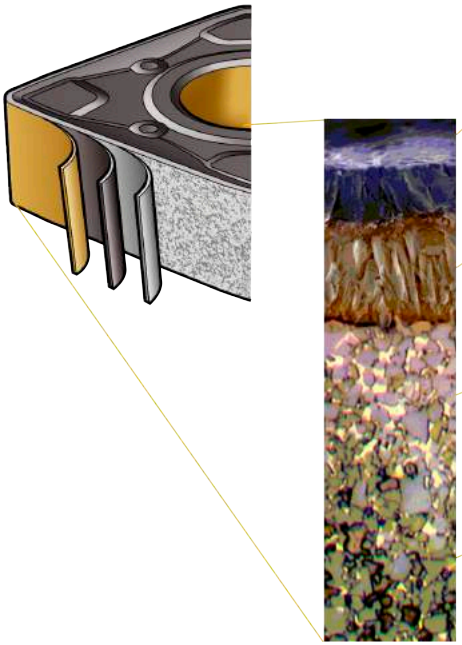


Чем больше толщина покрытия, тем выше износостойкость.

Чем выше твёрдость основы, тем выше стойкость к деформации.

Покрытие современного сплава для точения

Сплав оказывает большое влияние на производительность пластин



Al_2O_3
– Покрытие для обеспечения химической и термической стойкости

TiCN
– Покрытие MTCVD для повышения износостойкости

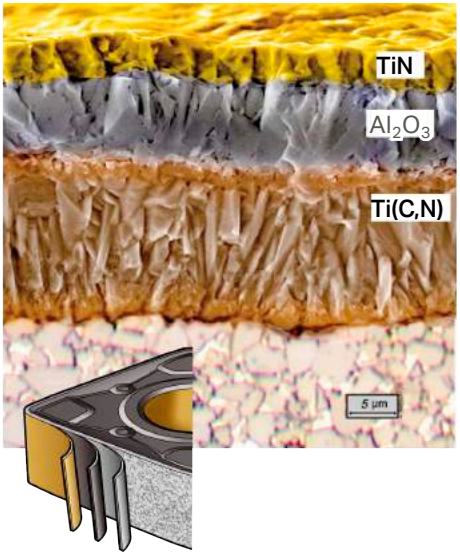
Функциональный градиент
– Для оптимального сочетания прочности и твёрдости

Твёрдый сплав
– Стойкость к пластической деформации

Свойства различных типов покрытий

Покрытие CVD (Chemical Vapor Deposition)

Химическое осаждение из паровой фазы

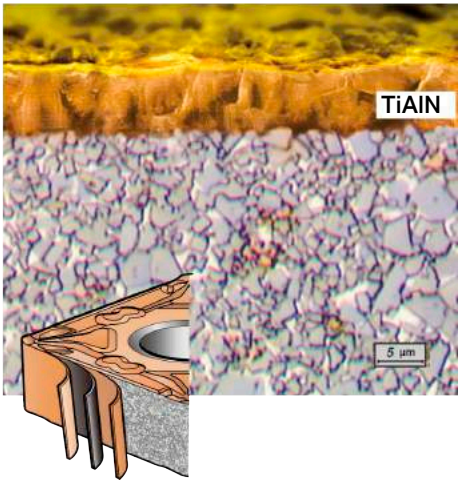


- Сегодня наиболее распространены такие CVD-покрытия, как TiN, Ti(C,N) и Al_2O_3
- TiCN обеспечивает стойкость к износу по задней поверхности
- Al_2O_3 обеспечивает теплостойкость (стойкость к пластической деформации)
- TiN позволяет легко выявить износ

TiN = нитрид титана
Ti(C,N) = карбонитрид титана
Al_2O_3 = оксид алюминия

Покрытие PVD (Physical Vapor Deposition)

Физическое осаждение из паровой фазы



- Покрытия PVD обычно прочнее, чем покрытия CVD
- Покрытия PVD часто используются в сочетании с мелкозернистой основой для получения острых режущих кромок
- Общая толщина покрытия PVD, как правило, составляет 3–6 мкм
- Покрытие наносится при температуре около 500 °C

TiAlN = нитрид титан алюминия



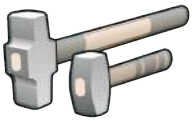
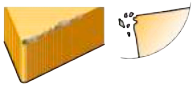
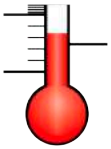
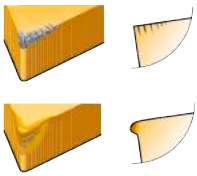
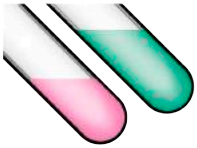
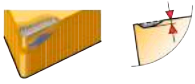
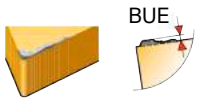
Износ и обслуживание инструмента

• Износ инструмента H 53

• Обслуживание H 61

Тяжёлые условия металлообработки

Различные механизмы износа пластин

Тип износа	Обозначение	Изображение износа	Причина
Механический			Сколы на режущей кромке — это результат механических перегрузок
Термический			Перепады температуры вызывают образование трещин, а высокая температура приводит к пластической деформации (PD) режущей кромки
Химический			Возникает из-за химической реакции между материалом заготовки и режущим инструментом
Абразивный			Происходит из-за истирания, вызываемого твёрдыми компонентами материала заготовки, например SiC в случае чугуна
Адгезионный			При обработке вязкого материала происходит наростообразование на кромке

BUE = наростообразование на кромке

PD = пластическая деформация

Виды износа, причины и решения

Основные виды износа режущих кромок

Износ по задней поверхности (абразивный)

Износ по задней поверхности — один из наиболее распространённых видов износа, он возникает на задней поверхности пластины (инструмента). Это предпочтительный вид износа.



Причины
При резании пластина истирается по задней поверхности из-за трения о поверхность заготовки. Износ, как правило, начинается на режущей кромке и постепенно распространяется вниз.

Решение
Снижение скорости резания и одновременное увеличение подачи повышает стойкость инструмента при сохранении производительности.

Лункообразование (химический износ)



Причины
Лункообразование возникает в результате контакта стружки с передней поверхностью пластины (инструмента).

Решение
Снижение скорости резания, выбор подходящей геометрии и более износостойкое покрытие пластины (инструмента) повышают стойкость инструмента.

Пластическая деформация (термический износ)

Пластическая деформация — необратимое изменение формы режущей кромки, где имело место либо вдавливание кромки, либо ее проседание.



Проседание кромки



Вдавливание кромки

Причины
Режущая кромка подвергается воздействию больших сил резания и высоких температур, в результате чего возникает напряжение, превышающее предел текучести материала инструмента.

Решение
Пластическую деформацию можно предотвратить путем использования более теплостойких сплавов. Покрытия повышают стойкость к пластической деформации пластины (инструмента).

Отслаивание

Отслаивание обычно происходит при обработке вязких материалов, склонных к налипанию.



Причины
Когда режущая кромка подвергается растягивающему напряжению, может возникнуть адгезионный износ. Это может привести к отслоению покрытия, обнажению нижних слоев или основы.

Решение
Повышение скорости резания и выбор пластины с более тонким покрытием уменьшит отслаивание.

Термические трещины

Трещины — это узкие разрывы на режущей кромке. Некоторые трещины не выходят за пределы покрытия, другие же достигают основы. Трещины обычно перпендикулярны кромке и чаще всего являются термическими.



Причины
Трещины образуются в результате частых колебаний температуры.

Решение
Во избежание образования трещин следует выбирать более прочный сплав и обеспечить обильную подачу СОЖ либо исключить подачу СОЖ.

Выкрашивание (механический износ)

Выкрашивание — это незначительное повреждение кромки. Разница между выкрашиванием и сколами состоит в том, что при выкрашивании можно продолжать использование режущей пластины.

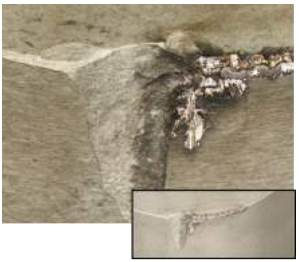


Причины
Существует множество комбинаций механизмов износа, вызывающих выкрашивание. Однако наиболее распространены термомеханический и адгезивный.

Решение
Для минимизации выкрашивания можно принять различные профилактические меры, в зависимости от того, какие механизмы износа его вызвали.

Образование проточин

Образование проточин характеризуется чрезмерным локализованным повреждением главной режущей кромки на максимальной глубине резания, но может иметь место и на вспомогательной кромке.



Причины
Наиболее частой причиной образования проточин является химический износ, как показано на рисунке. Другой причиной может быть неравномерное увеличение адгезионного или термического износа. В последнем случае важными факторами образования проточин являются деформационное упрочнение и образование заусенцев.

Решение
В случае с материалами, подверженными деформационному упрочнению, выбирайте меньший угол в плане и/или варьируйте глубину резания.

Сколы/поломка

Сколы — это отламывание большого участка режущей кромки, при котором режущая пластина больше не может работать.



Причины
Режущая кромка подверглась большей нагрузке, чем она способна выдержать. Это может быть следствием слишком сильного износа, который привёл к увеличению сил резания. Скол также может преждевременно произойти из-за неправильного выбора режима резания или проблем со стабильностью наладки.

Решение
Выясните вид износа и предотвратите его, выбрав подходящий режим резания и проверив стабильность наладки.

Наростообразование (адгезионный износ)

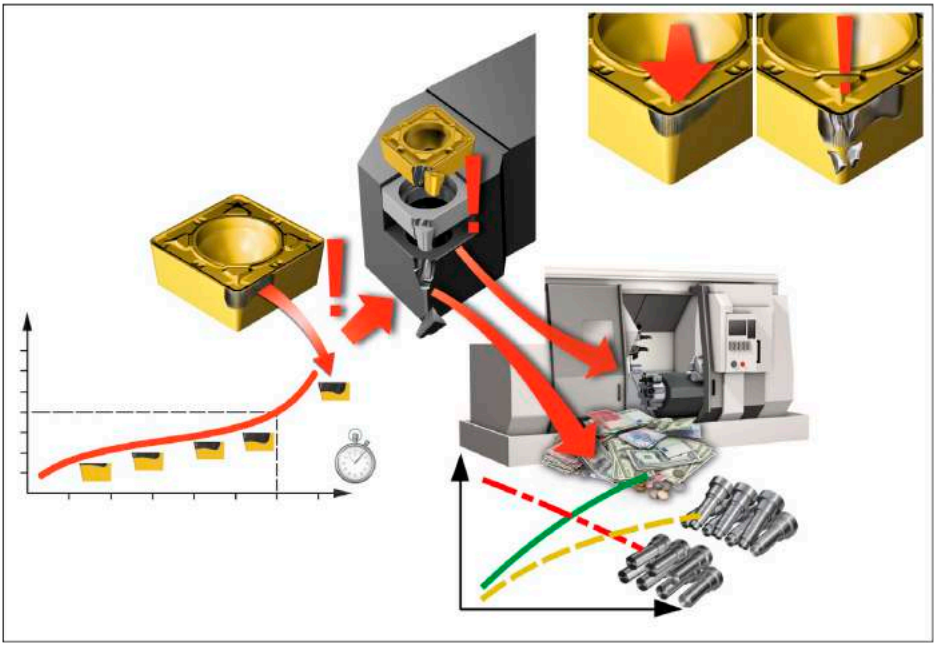
Наростообразование (BUE) — это скопление материала на передней поверхности пластины (инструмента).



Причины
Обрабатываемый материал нарастает на верхней части режущей кромки, в результате кромка изолируется от заготовки. Увеличиваются силы резания, что приводит к отслаиванию и снятию частей покрытия и даже слоёв основы.

Решение
Предотвратить наростообразование можно увеличением скорости резания. При обработке более мягких, вязких материалов поможет более острая кромка.

Последствия неудовлетворительного обслуживания инструмента

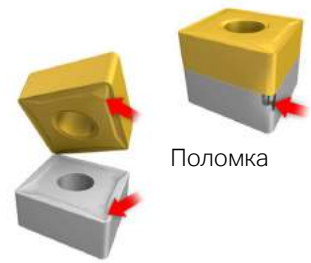


- Поломка режущих пластин
- Поломка опорных пластин
- Поломка державок
- Поломка деталей
- Поломка станка

Результат:

- Снижение производительности
- Рост производственных затрат

Контроль износа инструмента

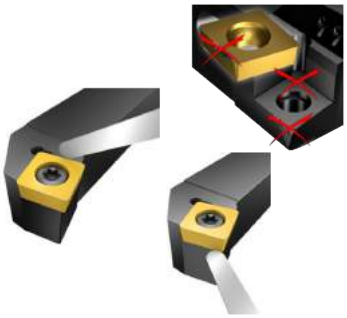


Поломка

Отпечаток стружколома

Визуальный контроль опорной пластины и гнезда под опорную пластину

- Проверьте опорную пластину на предмет повреждений
- Очистите гнездо пластины и поврежденное место и опору режущей кромки
- При необходимости поверните или замените опорную пластину
- Убедитесь, что пластина находится в правильном положении относительно опорных точек
- Убедитесь, что вершины опорной пластины не сбиты при обработке или установке



Контроль посадочного гнезд

- Проверяйте гнездо на предмет повреждения или деформации
- Посадочное гнездо увеличено вследствие износа. Пластина не установится в гнезде по всем опорным поверхностям. Используйте щуп толщиной 0,02 мм для контроля зазора
- Небольшой зазор на углах, между опорной поверхностью пластины и основанием гнезда

Важность правильного выбора ключа



Почему необходим подходящий ключ?

- Продлевается срок службы винта и ключа
- Снижается риск срыва резьбы винта

Как правильно затягивать винт пластины?

- Важно использовать подходящий ключ
- Затягивайте винт с правильным моментом. Значения момента указано на инструменте и в каталоге
- Не забывайте о здравом смысле!

Динамометрические ключи Torx Plus®

Динамометрические ключи Torx Plus® от Sandvik Coromant

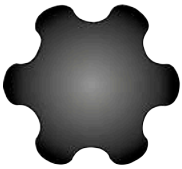




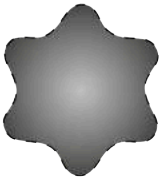
Torx Plus® в сравнении с Torx

Поперечное сечение

Torx Plus®



Torx



Torx Plus® является зарегистрированной торговой маркой Camcar Textron (США).

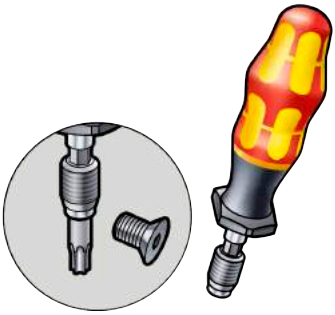


Torx Plus®



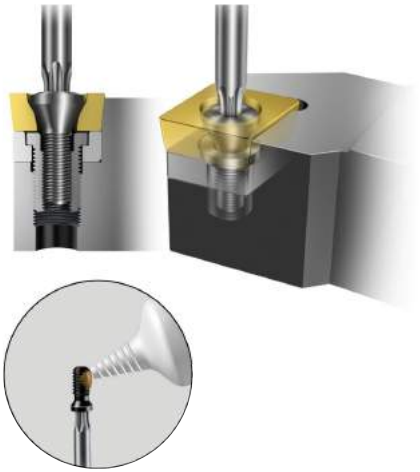
Стандартный винт с внутренним шестигранником-звездочкой (Torx)

Ключи Torx Plus® с регулируемым моментом затяжки



- Инструментам для отрезки и обработки канавок требуется ключ с регулируемым моментом затяжки, поскольку момент затяжки не связан с размером винта пластины
- Данный ключ следует использовать для всех инструментов с крепежными винтами

Винты пластин/крепёжные винты



- Резьбы, головки винтов и шестигранные гнезда Torx должны быть в хорошем состоянии
- Используйте подходящие ключи
- Обеспечьте правильный момент затяжки винта
- Во избежание заклинивания нанесите достаточное количество смазки. Наносите смазку как на резьбу, так и на головку винта
- Изношенные или поврежденные винты заменяйте

Важно!

Используйте специальный состав для смазывания резьбы и головок винтов

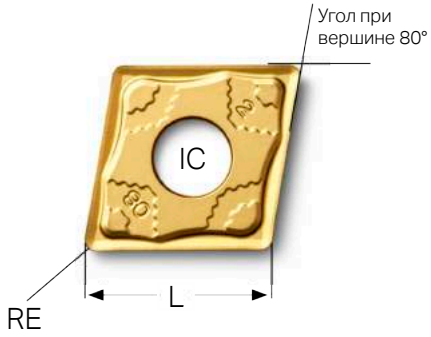
Обслуживание инструмента





Опорные поверхности

- Проверьте опорные и контактные поверхности державок, корпусов фрез и свёрл и убедитесь в отсутствии повреждений и загрязнений
- При растачивании необходимо обеспечить самое надёжное закрепление. Если расточная оправка не упирается в торец базового держателя, то вылет будет увеличен, что приведёт к возникновению вибраций



L = длина режущей кромки (размер пластины)

RE = радиус при вершине

Безопасность производства

- Для достижения хорошего контроля над стружкодроблением важно выбрать правильный размер пластины, её форму, геометрию, а также радиус при вершине пластины.
  - Для обеспечения прочности и экономии выбирайте максимально возможный угол при вершине режущей пластины
  - Для обеспечения прочности пластины выбирайте максимально возможный радиус при вершине пластины
  - При возможном возникновении вибраций выбирайте пластины с меньшим радиусом при вершине

Стабильность



- Стабильность — ключевой фактор успешной металлообработки, от которого зависят затраты на обработку и производительность
- Убедитесь, что обеспечены минимальный вылет инструмента и максимальная жёсткость технологической системы

Эксплуатация пластин



Режущие пластины хранятся в специальной упаковке во избежание контакта пластин между собой, поскольку в результате может произойти повреждение кромок (микротрещины и/или выкрашивание). Эти повреждения могут снизить производительность и стойкость инструмента. Рекомендуется оставлять пластины в заводской упаковке до их непосредственного применения.

Этапы технического обслуживания

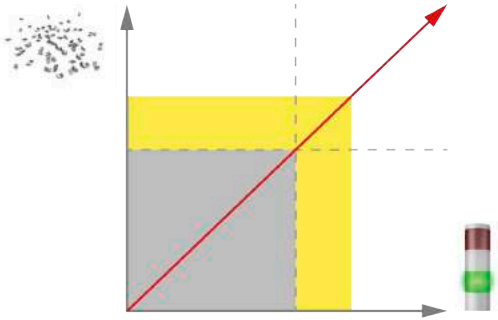
- ☐ Проверяйте инструмент и опорные пластины на предмет износа и повреждений
- ☐ Убедитесь, что гнездо под режущую пластину чистое
- ☐ Убедитесь, что режущая пластина правильно установлена в гнезде
- ☐ Убедитесь, что используются правильные ключи
- ☐ Контролируйте момент затяжки винта
- ☐ Перед сборкой инструмента смажьте винты
- ☐ Убедитесь, что опорные поверхности на инструментах, оснастке и шпинделях чистые и не имеют повреждений
- ☐ Убедитесь, что расточная оправка хорошо закреплена и оснастка не повреждена
- ☐ Правильная систематизация, хорошее обслуживание и документирование запасов инструмента снижают производственные затраты
- ☐ Стабильность всегда является важнейшим фактором при выполнении любой операции металлорезания



Экономика металлообработки

Как повысить эффективность H 64

Большее количество деталей за единицу времени



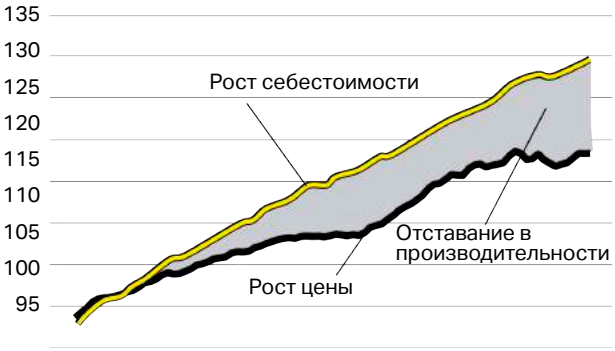
Определение производительности

Отношение стоимости произведённой продукции к стоимости затраченных ресурсов

= выпуск/затраты

Борьба с отставанием в уровне производительности

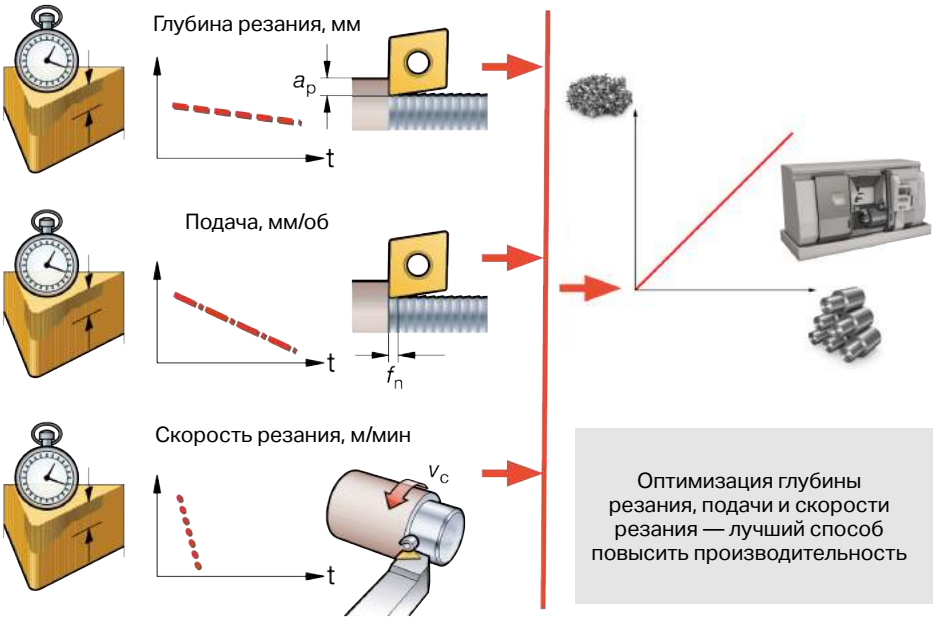
Во всех отраслях промышленности затраты на производство, например, на рабочую силу, сырьё, оборудование и т.д., растут быстрее, чем цена товара на рынке. Чтобы преодолеть это отставание, необходимо постоянно повышать эффективность и производительность. Это единственный способ сохранить конкурентоспособность и, в конечном итоге, остаться в бизнесе.



Источник: Машиностроительная отрасль в ОЭСР.

Повышение производительности

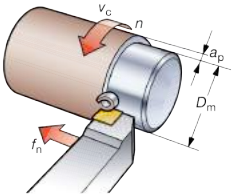
Рассмотрим три основных параметра механической обработки — скорость резания, подачу и глубину резания, — каждый из которых влияет на стойкость инструмента. Глубина резания оказывает наименьшее влияние, величина подачи оказывает большее воздействие. Скорость резания в наибольшей степени влияет на стойкость инструмента.



Оптимизация глубины резания, подачи и скорости резания — лучший способ повысить производительность

Производительность (Q) — это количество материала, удаляемого за единицу времени, в см³/мин

Точение



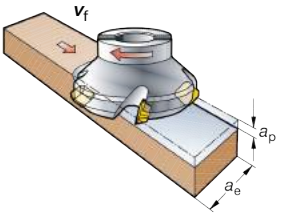
Метрические единицы

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

Дюймовые единицы

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

Фрезерование



Метрические единицы

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

Дюймовые единицы

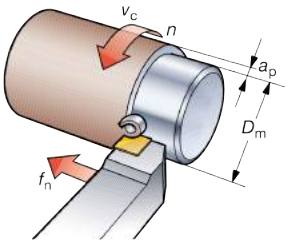
$$Q = a_p \times a_e \times v_f$$

Повышение производительности — примеры

Скорость съёма металла при фиксированной глубине резания 3,0 мм:

P Низколегированная сталь, MC P2

Твердость, HB 180



Режущая пластина: CNMG 120408-PM 4225

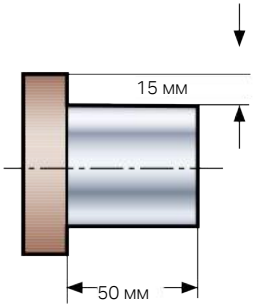
a_p, мм	3.0	3.0	3.0
f_n, мм/об	0.15	0.3	**0.5**
v_c, м/мин	425	345	**275**
Q, см³/мин	191	310	412*

* Min скорость резания при max подаче = максимальная производительность

Сравнение пластины формы W (ломаный треугольник) с одно- и двухсторонней пластинами формы C (ромб)

P Низколегированная сталь, MC P2

Твёрдость, HB 180



Ломаный треугольник

Пластина: двухсторонняя для получистовой обработки



Кол-во проходов/ глубина резания, a_p	3/4 мм 1/3 мм
Время обработки, T_c	22 секунды

Ромб

Пластина: двухсторонняя для получистовой обработки



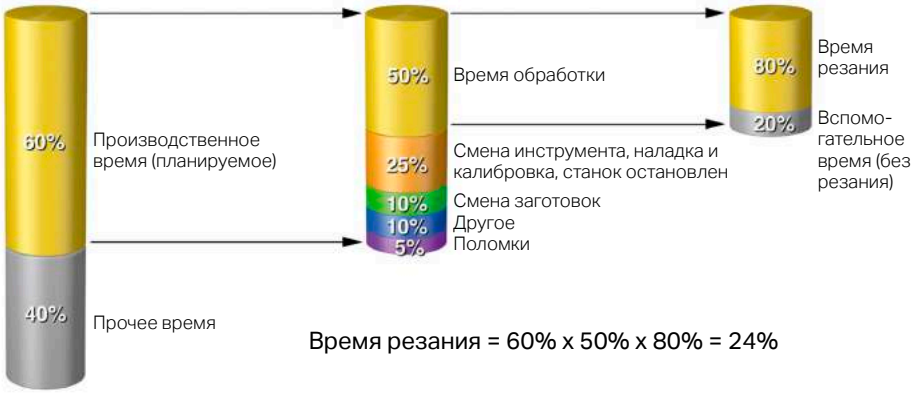
Кол-во проходов/ глубина резания, a_p	3/5 мм
Время обработки, T_c	16 секунды

Пластина: односторонняя для черновой обработки



Кол-во проходов/ глубина резания, a_p	2/7,5 мм
Время обработки, T_c	8 секунды

Время, в течение которого создаётся ценность



Время резания = 60% x 50% x 80% = 24%

Экономика металлообработки



- **Переменные затраты**
  Затраты, возникающие только во время производства:
  - режущий инструмент (3%)
  - материал заготовок (17%)

- **Постоянные затраты**
  Затраты, возникающие независимо от производства:
  - обслуживание станков и оснастки (27%)
  - оплата труда (31%)
  - здания, административные затраты (22%)

Коэффициент использования станка

Затраты, стойкость инструмента или производительность

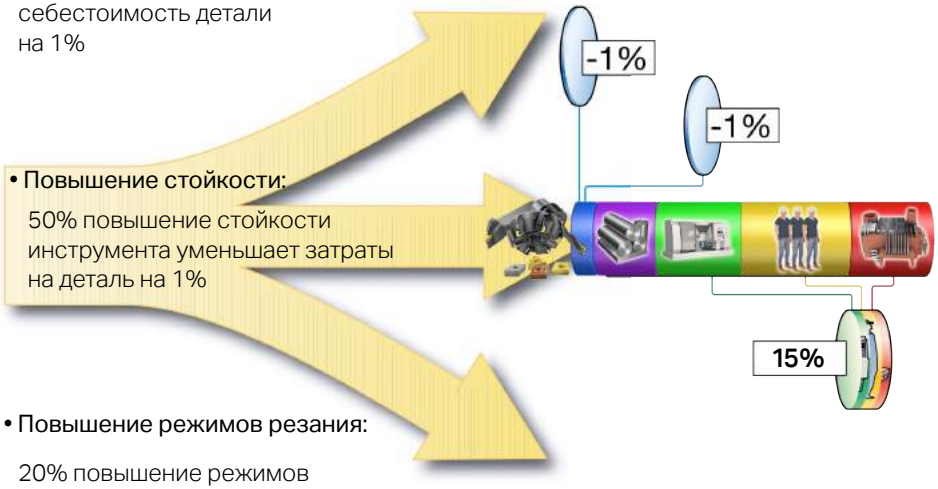
Стоимость инструмента - это легко измеряемая величина, так как известны цены и уровень скидки. Но даже при снижении цены на 30% себестоимость детали уменьшится всего на 1%.

Аналогичный результат — экономия затрат в 1% — получается при повышении стойкости инструмента на 50%.

Повышение режимов резания всего на 20% значительно снижает затраты на деталь и уменьшает её себестоимость на 15%.

• Снижение затрат:

30% снижение цены на инструмент уменьшает себестоимость детали на 1%



• Повышение стойкости:

50% повышение стойкости инструмента уменьшает затраты на деталь на 1%

• Повышение режимов резания:

20% повышение режимов резания уменьшает себестоимость детали более чем на 15%

Коэффициент использования станка

Затраты, стойкость инструмента или производительность

Пример:
Завод тратит $10000 на изготовление 1000 деталей.

Затраты на деталь составляют $10.



Переменные затраты	Сегодня	Снижение цены	Повышение стойкости	Увеличение режимов резания
– Инструмент	$ .30	$ .21	$ .20	$ .45
– Заготовка	$ 1.70	$ 1.70	$ 1.70	$ 1.70
Постоянные затраты				
– Оборудование	$ 2.70	$ 2.70	$ 2.70	$ 2.16
– Оплата труда	$ 3.10	$ 3.10	$ 3.10	$ 2.48
– Здание	$ 2.20	$ 2.20	$ 2.20	$ 1.76
Затраты на деталь	$ 10.00	$ 9.91	$ 9.90	$ 8.55
Экономия		1%	1%	15%

Экономика металлообработки

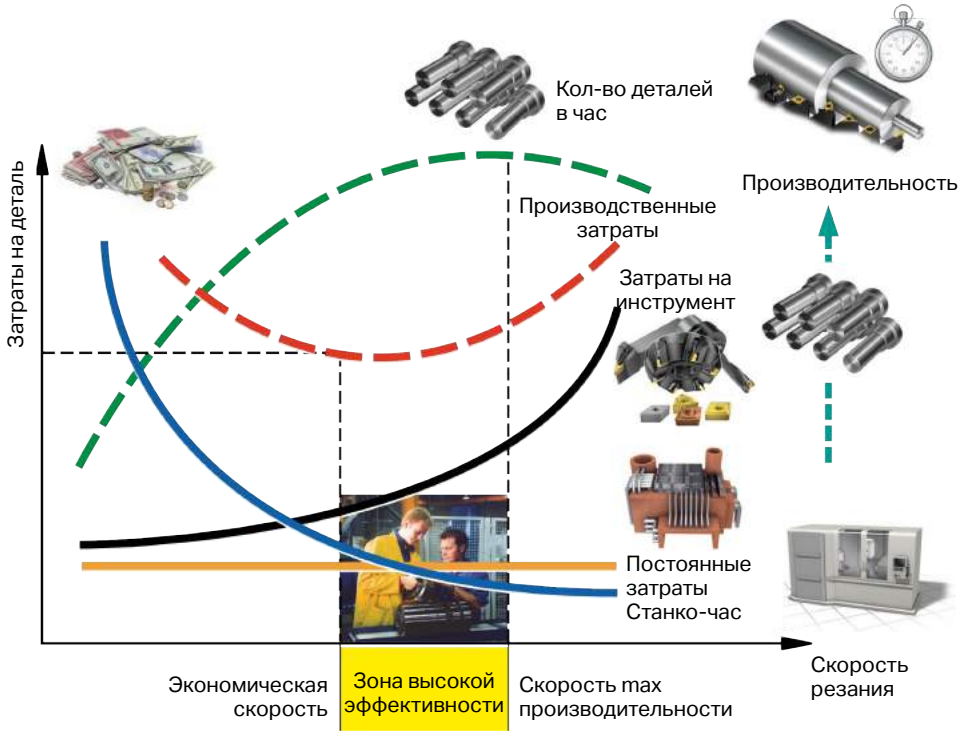
Режимы резания и затраты

- Скорость резания не влияет на постоянные затраты
- При увеличении скорости резания увеличивается количество деталей, производимых за час, следовательно, уменьшается стоимость станкочаса
- При увеличении скорости резания снижается стойкость инструмента, поэтому затраты на инструмент увеличиваются

Если сложить все затраты, получим кривую суммарных Производственных затрат.

1. С ростом скорости резания повышается **Производительность**, пока мы не дойдём до уровня, когда будет затрачиваться непропорционально много времени на смену инструмента и производительность начнёт снижаться
2. Самая нижняя точка на **Кривой производственных затрат** соответствует экономической скорости резания
3. Самая верхняя точка на **Кривой количества деталей в час** соответствует скорости резания, обеспечивающей максимальную производительность

Скорость резания между этими двумя точками представляет собой **Зону высокой эффективности**, в которой следует работать.



Рекомендуемые режимы резания

Коррекция скорости резания для повышения стойкости инструмента или скорости съёма металла

Стойкость инструмента

- Все рекомендуемые режимы резания рассчитаны исходя из стойкости инструмента, равной 15 минутам
- В приведенной ниже таблице стойкость инструмента в 15 минут соответствует коэффициенту 1,0
- Умножаем коэффициент для необходимой стойкости инструмента на рекомендуемую скорость резания

Повышение стойкости (пример)

- Рекомендуемая скорость резания — 225 м/мин
- Чтобы повысить стойкость на 30%, находим коэффициент для 20 минут = 0,93
- Умножаем коэффициент для требуемой стойкости инструмента на рекомендуемую скорость резания
- 225 м/мин x 0,93 = 209 м/мин

Стойкость инструмента, мин	10	15	20	25	30	45	60
Поправочный коэффициент	1.11	1.0	0.93	0.88	0.84	0.75	0.70

Повышение скорости съёма металла

- Рекомендуемые режимы резания рассчитаны исходя из стойкости инструмента, равной 15 минутам
- Для получения более высокой скорости съёма металла нам нужно переместиться в таблице в противоположном направлении. Уменьшаем стойкость инструмента в минутах, чтобы получить более высокую скорость съёма металла
- Умножаем коэффициент для нужной стойкости инструмента на рекомендуемую скорость резания

Повышение скорости съёма металла (пример)

- Рекомендуемая скорость резания — 225 м/мин
- Чтобы повысить скорость съема металла на 10%, находим коэффициент для 10 минут = 1,11
- Умножаем коэффициент для требуемой стойкости инструмента на рекомендуемую скорость резания
- 225 м/мин x 1,11 = 250 м/мин

Коррекция скорости резания для обработки заготовок различной твёрдости

Твёрдость

- Рекомендованная скорость резания указана в зависимости от материала и его твёрдости
- Твёрдость металлов измеряется в единицах HB (твёрдость по Бринеллю) или HRC (твёрдость по Роквеллу по шкале «C»), например: ISO/ANSI **P** = 180 HB, ISO/ANSI **H** = 60 HRC
- В столбце значений твёрдости (HB) приведена базовая твёрдость для каждой группы материалов. Скорости резания рекомендованы для этой базовой твёрдости (обратите внимание: ваш материал может оказаться твёрже или мягче)
- Каждой группе материалов по ISO/ANSI соответствует определённый коэффициент для пониженной/повышенной твёрдости материала (например, твёрдости материалов ISO/ANSI **P** = 180 HB соответствует коэффициент 1,0)
- В приведенной ниже таблице найдите нужный поправочный коэффициент и умножьте его на рекомендуемую скорость резания для выбранного сплава

			Пониженная твёрдость				Повышенная твёрдость				
ISO/ANSI	**MC(1)**	**HB(2)**	**-60**	**-40**	**-20**	**0**	**+20**	**+40**	**+60**	**+80**	**+100**
P	P2	HB 180	1.44	1.25	1.11	1.0	0.91	0.84	0.77	0.72	0.67
M	M1	HB 180	1.42	1.24	1.11	1.0	0.91	0.84	0.78	0.73	0.68
K	K2	HB 220	1.21	1.13	1.06	1.0	0.95	0.90	0.86	0.82	0.79
	K3	HB 250	1.33	1.21	1.09	1.0	0.91	0.84	0.75	0.70	0.65
N	N1	HB 75			1.05	1.0	0.95				
S	S2	HB 350			1.12	1.0	0.89				
H	H1	HRC(3) 60			1.07	1.0	0.97				

1) MC = код классификации материалов
2) HB = твёрдость по Бринеллю
3) HRC = твёрдость по Роквеллу

Пример таблицы соответствия шкал твёрдости

Спецификации материала могут указываться в различном виде, например: твёрдость HB, твёрдость HRC, прочность при растяжении или удельные силы резания.

Прочность при растяжении		Твёрдость по Виккерсу	Твёрдость по Бринеллю	Твёрдость по Роквеллу	
Н/мм^2	фнт/дюйм^2	HV	HB	HRC	HRB
255	36,975	80	76.0	–	–
270	39,150	85	80.7	–	41.0
285	41,325	90	85.5	–	48.0
305	44,225	95	90.2	–	52.0
320	46,400	100	95.0	–	56.2
350	50,750	110	105	–	62.3
385	55,825	120	114	–	66.7
415	60,175	130	124	–	71.2
450	65,250	140	133	–	75.0
480	69,600	150	143	–	78.7
510	73,950	160	152	–	81.7
545	79,025	170	162	–	85.0
575	83,375	180	171	–	87.5
610	88,450	190	181	–	89.5
640	92,800	200	190	–	91.5
660	95,700	205	195	–	92.5
675	97,875	210	199	–	93.5
690	100,050	215	204	–	94.0
705	102,225	220	209	–	95.0
720	104,400	225	214	–	96.0
740	107,300	230	219	–	96.7
770	111,650	240	228	20.3	98.1
800	116,000	250	238	22.2	99.5
820	118,900	255	242	23.1	–
835	121,075	260	247	24.0	(101)
850	123,250	265	252	24.8	–
865	125,425	270	257	25.6	(102)
900	130,500	280	266	27.1	–
930	134,850	290	276	28.5	(105)
950	137,750	295	280	29.2	–
965	139,925	300	285	29.8	–
995	144,275	310	295	31.0	–

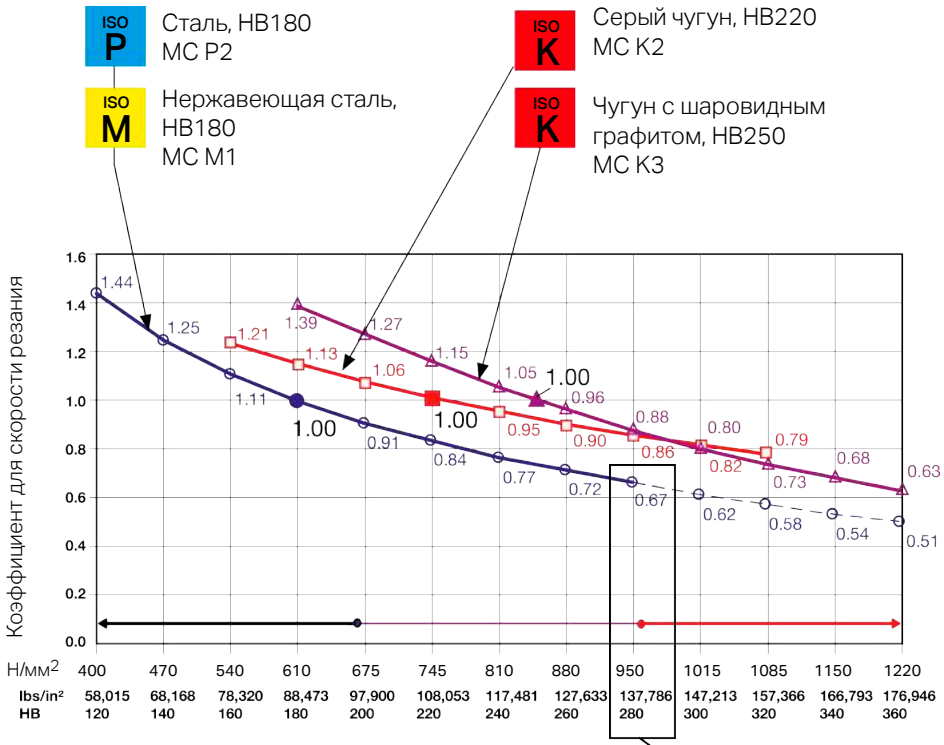
Материал заготовки (найдите соответствие информации в таблице)

Прочность на растяжение = 950 Н/мм^2

HB = 280, HRC = 29,2

Поправочный коэффициент для скорости резания в зависимости от твёрдости материала

Диаграмма для групп материалов ISO P, M и K



Удельная сила резания, Н/мм2
Твёрдость по Бринеллю (HB)

Материал заготовки заказчика
Сталь 4140
Прочность на растяжение = 950 Н/мм2
HB = 280, HRC = 29,2

Расчётный коэффициент твёрдости = 0,67

Расчёт скорости резания с учётом твёрдости материала

Пример:

- Рекомендуемая скорость резания — 415 м/мин для группы P (сталь), твёрдость 180 HB
- Материал заготовки = 280 HB, группа P (сталь)
- Расчёт коэффициента твёрдости, материал заготовки = 280 HB — эталонный материал 180 HB = +100 HB повышение твёрдости (коэффициент = 0,67)
- Используя поправочный коэффициент, пересчитайте скорость резания для твёрдости материала 415 м/мин x 0,67 = 278 м/мин

			Пониженная твёрдость ←				Повышенная твёрдость →				
ISO/ ANSI	MC(1)	HB(2)	-60	-40	-20	0	+20	+40	+60	+80	+100
P	P2	HB 180	1.44	1.25	1.11	1.0	0.91	0.84	0.77	0.72	0.67
M	M1	HB 180	1.42	1.24	1.11	1.0	0.91	0.84	0.78	0.73	0.68
K	K2	HB 220	1.21	1.13	1.06	1.0	0.95	0.90	0.86	0.82	0.79
	K3	HB 250	1.33	1.21	1.09	1.0	0.91	0.84	0.75	0.70	0.65
N	N1	HB 75			1.05	1.0	0.95				
S	S2	HB 350			1.12	1.0	0.89				
H	H1	HRC(3) 60			1.07	1.0	0.97				

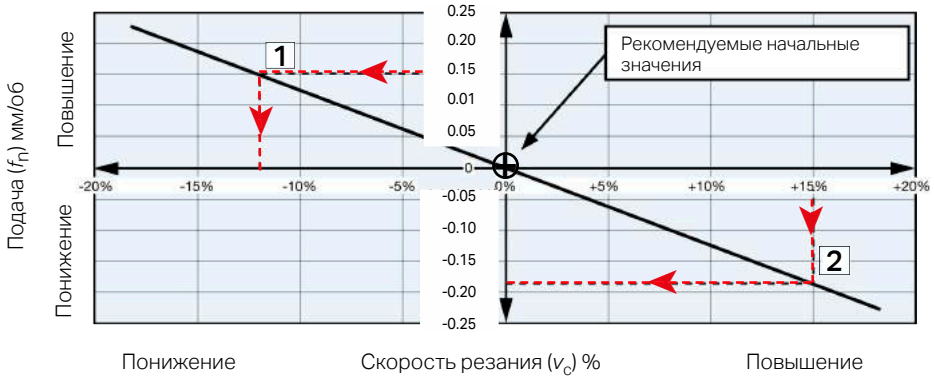
1) MC = код классификации материалов
2) HB = твёрдость по Бринеллю
3) HRC = твёрдость по Роквеллу

Коррекция скорости резания и подачи для точения

Как пользоваться диаграммой

На этой диаграмме показан простой метод коррекции начальных значений скорости резания и подачи.

Рекомендуемые режимы резания указаны исходя из стойкости инструмента, равной 15 минутам (время резания), а также обеспечения хорошего стружкообразования. Эти параметры останутся прежними при использовании значений, полученных из диаграммы.



Пример 1: Повышение производительности

- Увеличение подачи на 0,15 мм/об даёт новое начальное значение 0,45 мм/об
- На основе схемы рассчитайте новую скорость резания путём пересечения подачи с линией начального значения и осью скорости резания, что составит -12%
- Новые режим резания: подача = 0,45 мм/об, скорость резания = 415 x 0,88 = 365 м/мин.
  Скорость съёма металла +30%

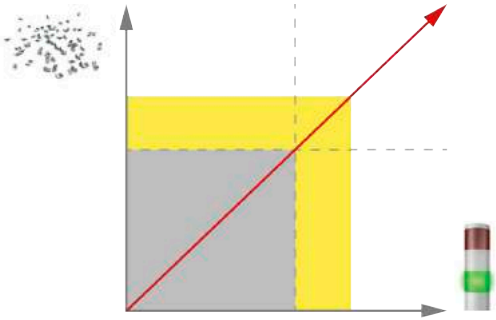
Пример 2: Улучшение качества обработанной поверхности

- Повышение скорости резания на 15% даёт новое начальное значение 477 м/мин
- На основе диаграммы рассчитайте новое значение подачи путём пересечения скорости резания с линией начального значения и осью подачи. Уменьшение подачи составит -0,175 мм/об
- Новые режимы резания: скорость резания = 477 м/мин, подача = 0,3 – 0,175 = 0,125 мм/об, улучшено качество обработанной поверхности

⊕ Рекомендуемые начальные значения

CNMG 12 04 08-PM
Сплав P15
3 мм — глубина резания
0,3 мм/об — подача
415 м/мин — скорость резания

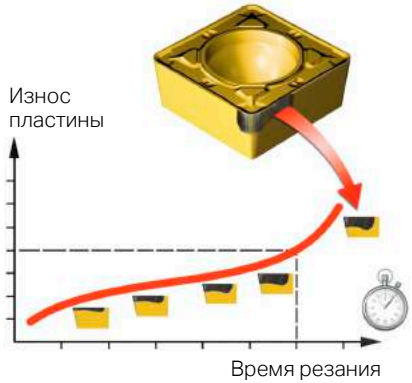
Как повысить производительность?



Рекомендации

- Определите твёрдость материала HB, удельные силы резания или прочность при растяжении Н/мм2
- Выберите подходящую геометрию
- Выберите подходящий сплав
- Назначьте режимы резания по каталогу и скорректируйте режимы в зависимости от условий обработки
- Обеспечьте стабильность детали и инструмента

Рекомендации по повышению стойкости инструмента



- Определите твёрдость материала HB, удельные силы резания или прочность при растяжении Н/мм2
- Используйте рекомендованные значения параметров резания и поправочный коэффициент для твёрдости материала
- Обеспечьте стабильность детали и инструмента
- Выберите подходящее сочетание геометрии и радиуса при вершине пластины
- По возможности применяйте попутное фрезерование
- Используйте все вершины пластины
- Изношенные пластины могут использоваться для обработки фасок

Хорошая стабильность = успешная металлообработка



Промышленный стандарт ISO 13399

ISO 13399 H 79

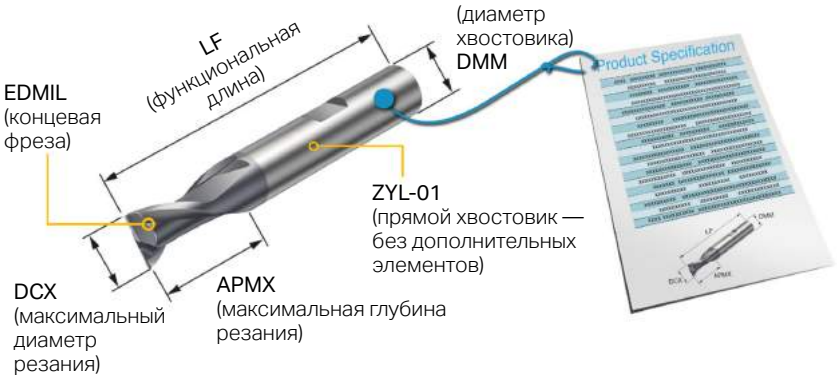
ISO 13399 — промышленный стандарт

Различия в терминологии среди поставщиков режущего инструмента усложняют сбор и передачу информации. В то же самое время, многие передовые функции современных производственных систем зависят от обеспечения точной однозначной информации.

Общий язык необходим не только с точки зрения межсистемных коммуникаций — он также упрощает работу пользователей. ISO 13399 — международный стандарт, упрощающий обмен данными о режущих инструментах и являющийся повсеместно признанным способом описания параметров режущих инструментов.

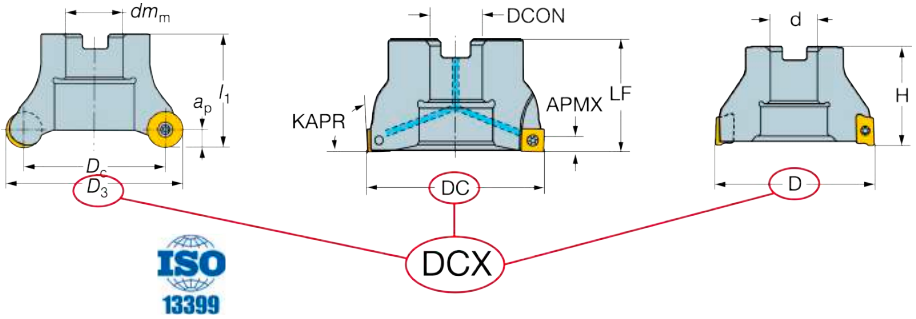
Что ISO 13399 означает для промышленности

Этот международный стандарт определяет параметры инструментов (например, функциональную длину, диаметр резания, максимальную глубину резания) унифицированным способом. Каждый инструмент определяется стандартизированными параметрами.



Что ISO 13399 означает для промышленности

Когда все инструменты в отрасли имеют одинаковые параметры и определения, обмен информацией об инструментах между системами упрощается. На рисунке показано, что три разных поставщика называют диаметр резания «D3», «DC» и «D» соответственно. Для программистов это очень неудобно. В стандарте ISO 13399 диаметр всегда будет обозначаться «DCX».



Полный список параметров приводится на сайте www.sandvik.coromant.com



Формулы и определения

Термины H 82

Точение H 84

Фрезерование H 86

Сверление H 88

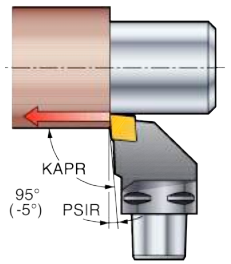
Растачивание H 90

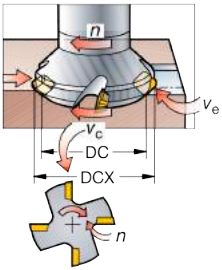
Онлайн-обучение

Онлайн-обучение и мобильные приложения H 92

Термины

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





a_e (Ширина фрезерования) — величина врезания инструмента в заготовку, измеряемая в радиальном направлении. Измеряется в миллиметрах, мм.

a_p (Глубина резания) — ширина срезаемого слоя, перпендикулярная направлению подачи. Измеряется в миллиметрах, мм.

DC (Диаметр резания) — диаметр окружности, создаваемой точкой режущей кромки, вращающейся вокруг оси инструмента и осуществляющей резание. Примечание: этот диаметр относится к обработанной периферийной поверхности. Измеряется в миллиметрах, мм

D_{cap} (Диаметр резания при данной глубине резания) — диаметр на расстоянии a_p от рабочей плоскости, измеренный в основной плоскости. Измеряется в миллиметрах, мм.

D_m (Обрабатываемый диаметр) — обрабатываемый (начальный) диаметр заготовки. Измеряется в миллиметрах, мм.

F_f (Усилие подачи) — составляющая силы резания, получаемая проекцией на направление подачи (т.е. в направлении вектора v_f). Измеряется в ньютонах, Н.

f_n (Подача на оборот) — перемещение инструмента в направлении подачи за один оборот заготовки или инструмента. Не зависит от количества эффективных режущих кромок инструмента. В случае с точением расстояние измеряется за один полный оборот заготовки. Измеряется в миллиметрах на оборот, мм/об.

f_z (Подача на зуб) — величина перемещения центра вращения инструмента в направлении подачи за время его поворота на один эффективный зуб (Z_c). Измеряется в миллиметрах на зуб, мм/зуб.

h_{ex} (Максимальная толщина стружки) — максимальная толщина недеформированной стружки, зависящая от величины радиального врезания, обработки кромок пластины и подачи на зуб. Следует помнить, что варьирование радиальной ширины резания и углов в плане требует корректировки подачи для поддержания должной толщины стружки. Измеряется в миллиметрах, мм.

h_m (Средняя толщина стружки) — средняя толщина недеформированной стружки, зависящая от величины радиального врезания, обработки кромок пластины и подачи на зуб. Следует помнить, что варьирование радиальной ширины резания и углов в плане требует корректировки подачи для поддержания должной толщины стружки. Измеряется в миллиметрах, мм.

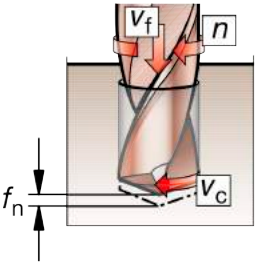
KAPR (Угол в плане) — угол в основной плоскости (параллельной плоскости xy) между плоскостью резания и рабочей плоскостью (направлением подачи).

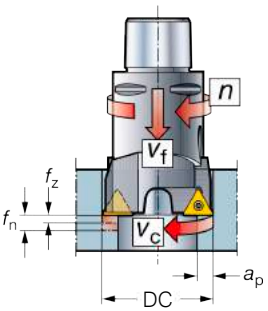
k_c (Удельная сила резания) — сила резания на единицу площади для данной толщины стружки в тангенциальном направлении. Измеряется в Н/мм^2

k_{c1} (Коэффициент удельной силы резания) — сила резания на единицу площади для толщины стружки 1 мм в тангенциальном направлении. Измеряется в Н/мм^2.

l_m (Длина обработки) — суммарная длина резания с учетом всех проходов. Измеряется в миллиметрах, мм

M_c (Увеличение удельной силы резания) — увеличение удельной силы резания с уменьшением толщины стружки. Указано в свойствах материала заготовок в таблицах параметров резания и измеряется в виде коэффициента. Также тесно связан с коэффициентом удельной силы резания (k_{c1}).





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

n (Скорость шпинделя) — частота вращения шпинделя станка. Измеряется в оборотах в минуту, об/мин.

P_c (Мощность резания) — мощность резания, создаваемая удалением стружки. Измеряется в киловаттах, кВт.

PSIR (Угол в плане, дюймовый) — угол в основной плоскости (параллельной плоскости xy) между плоскостью резания и плоскостью, перпендикулярной рабочей плоскости (направлению подачи).

Q (Скорость съёма материала) — объём материала, удаляемого инструментом за единицу времени. Параметр Q можно назвать также «мгновенной» скоростью съёма материала, то есть это скорость, с которой поперечное сечение удаляемого материала движется через заготовку. Она измеряется в $см^3$/мин.

T_c (Суммарное время резания) — время резания с учетом всех проходов. Измеряется в минутах.

v_c (Скорость резания) — мгновенная скорость режущего движения выбранной точки на режущей кромке относительно обрабатываемой детали. Измеряется в метрах в минуту, м/мин.

v_f (Скорость подачи/минутная подача) — расстояние в миллиметрах, которое режущий инструмент проходит вдоль заготовки за одну минуту. Измеряется в миллиметрах в минуту, мм/мин.

γ0 (Эффективный передний угол) — угол между передней поверхностью резца (или касательной к ней) и основной плоскостью в рассматриваемой точке главной режущей кромки. Удельная сила уменьшается на один процент на каждый градус переднего угла. Измеряется в градусах.

Z_c (Эффективное число режущих кромок) — количество режущих кромок инструмента, участвующих в резании.

Z_n (Число режущих кромок) — количество режущих кромок инструмента.

Формулы и определения для точения - 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 резания, мин

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

Скорость съёма металла, см³/мин

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

Удельная сила резания

$$k_c = k_{c1} \times \left(\frac{1}{h_m}\right)^{m_c} \times \left(1 - \frac{\gamma 0}{100}\right)$$

Средняя толщина стружки

$$h_m = f_n \times \sin \mathrm{KAPR}$$

Потребляемая мощность, кВт

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



Параметр	Значение	Единицы измерения
D_m	Обрабатываемый диаметр	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 съёма металла	см³/мин
h_m	Средняя толщина стружки	мм
h_{ex}	Максимальная толщина стружки	мм
T_c	Время резания	мин
l_m	Длина обработки	мм
k_c	Удельная сила резания	Н/мм²
KAPR	Главный угол в плане	град
$\gamma 0$	Эффективный передний угол	град

Формулы и определения для точения - Дюймовая система

Скорость резания, фут/мин

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

Частота вращения шпинделя, об/мин

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

Время резания, мин

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

Скорость съёма металла, дюйм³/мин

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

Удельная сила резания

$$k_c = k_{c1} \times \left(\frac{0.0394}{h_m}\right)^{m_c} \times \left(1 - \frac{\gamma 0}{100}\right)$$

Средняя толщина стружки

$$h_m = f_n \times \sin(90\ PSIR)$$

Потребляемая мощность, л.с.

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



Параметр	Значение	Единицы измерения
D_m	Обрабатываемый диаметр	дюйм
f_n	Подача на оборот	дюйм/об
a_p	Глубина резания	дюйм
v_c	Скорость резания	фут/мин
n	Частота вращения шпинделя	об/мин
P_c	Потребляемая мощность	л.с.
Q	Скорость съёма металла	дюйм³/мин
h_m	Средняя толщина стружки	дюйм
h_{ex}	Максимальная толщина стружки	дюйм
T_c	Время резания	мин
l_m	Длина обработки	мм
k_c	Удельная сила резания	фнт/дюйм²
PSIR	Угол в плане	град
$\gamma 0$	Эффективный передний угол	град

Формулы и определения для фрезерования - Метрическая система

Минутная подача, мм/мин

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

Скорость резания, м/мин

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

Частота вращения шпинделя, об/мин

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

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 съёма металла , см³/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

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



Параметр	Значение	Единицы измерения
a_e	Ширина фрезерования	мм
a_p	Глубина резания	мм
D_{cap}	Диаметр резания при глубине резания a_p	мм
DC	Диаметр резания	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	Минутная подача	мм/мин
z_c	Эффективное число зубьев	шт.
h_{ex}	Максимальная толщина стружки	мм
h_m	Средняя толщина стружки	мм
k_c	Удельная сила резания	Н/мм²
P_c	Потребляемая мощность	кВт
M_c	Крутящий момент	Нм
Q	Скорость съёма металла	см³/мин
KAPR	Главный угол в плане	град

Формулы и определения для фрезерования - Дюймовая система

Минутная подача, дюйм/мин

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

Скорость резания, фут/мин

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

Частота вращения шпинделя, об/мин

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

Подача на зуб, дюйм

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

Подача на оборот, дюйм/об

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

Скорость съёма металла, дюйм^3/мин

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

Потребляемая мощность, л.с.

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

Крутящий момент, фунт-сила/фут

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



Параметр	Значение	Единицы измерения
a_e	Ширина фрезерования	дюйм
a_p	Глубина резания	дюйм
D_{cap}	Диаметр резания при глубине резания a_p	дюйм
DC	Диаметр резания	дюйм
f_z	Подача на зуб	дюйм
f_n	Подача на оборот	дюйм
n	Частота вращения шпинделя	об/мин
v_c	Скорость резания	фут/мин
v_f	Минутная подача	дюйм/мин
z_c	Эффективное число зубьев	шт.
h_{ex}	Максимальная толщина стружки	дюйм
h_m	Средняя толщина стружки	дюйм
k_c	Удельная сила резания	фнт/дюйм^2
P_c	Потребляемая мощность	л.с.
M_c	Крутящий момент	фунт-сила/фут
Q	Скорость съёма металла	дюйм^3/мин
PSIR	Угол в плане	град

Формулы и определения для сверления - Метрическая система

Минутная подача, мм/мин

$$v_f = f_n \times n$$

Скорость резания, м/мин

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

Частота вращения шпинделя, об/мин

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

Усилие подачи, Н

$$F_f \approx 0.5 \times k_c \times \frac{DC}{2} f_n \times \sin KAPR$$

Скорость съёма металла , см³/мин

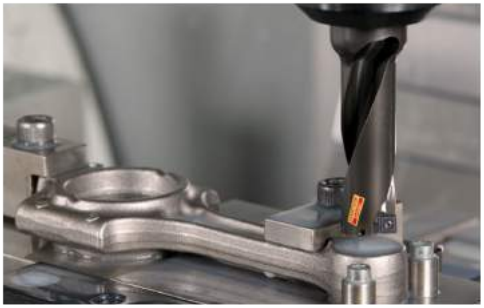
$$Q = \frac{v_c \times DC \times f_n}{4}$$

Потребляемая мощность, кВт

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

Крутящий момент, Нм

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



Параметр	Значение	Единицы измерения
DC	Диаметр сверла	мм
f_n	Подача на оборот	мм/об
n	Частота вращения шпинделя	об/мин
v_c	Скорость резания	м/мин
v_f	Минутная подача	мм/мин
F_f	Усилие подачи	Н
k_c	Удельная сила резания	Н/мм²
M_c	Крутящий момент	Нм
P_c	Потребляемая мощность	кВт
Q	Скорость съёма металла	см³/мин
KAPR	Главный угол в плане	град

Формулы и определения для сверления - Дюймовая система

Минутная подача, дюйм/мин

$$v_f = f_n \times n$$

Скорость резания, фут/мин

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

Частота вращения шпинделя, об/мин

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

Усилие подачи, Н

$$F_f \approx 0.5 \times k_c \times \frac{DC}{2} \times f_n \times \sin PSIR$$

Примечание: DC необходимо перевести в миллиметры

Скорость съёма металла, дюйм^3/мин

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

Потребляемая мощность, л.с.

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

Крутящий момент, фунт-сила/фут

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



Параметр	Значение	Единицы измерения
DC	Диаметр сверла	дюйм
f_n	Подача на оборот	дюйм/об
n	Частота вращения шпинделя	об/мин
v_c	Скорость резания	фут/мин
v_f	Минутная подача	дюйм/мин
F_f	Усилие подачи	Н
k_c	Удельная сила резания	фнт/дюйм^2
M_c	Крутящий момент	фунт-сила/фут
P_c	Потребляемая мощность	л.с.
Q	Скорость съёма металла	дюйм^3/мин
PSIR	Угол в плане	град

Формулы и определения для растачивания - Метрическая система

Минутная подача, мм/мин

$$v_f = f_n \times n$$

Скорость резания, м/мин

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

Частота вращения шпинделя, об/мин

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

Подача на оборот, мм/об

$$f_n = z_c \times f_z$$

Скорость съёма металла, см³/мин

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

Потребляемая мощность, кВт

$$P_c = \frac{v_c \times a_p \times f_n \times k_c}{60 \times 10^3} \left(1 - \frac{a_p}{DC}\right)$$

Крутящий момент, Нм

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



Параметр	Значение	Единицы измерения
DC	Диаметр растачивания	мм
f_n	Подача на оборот	мм/об
n	Частота вращения шпинделя	об/мин
v_c	Скорость резания	м/мин
v_f	Минутная подача	мм/мин
F_f	Усилие подачи	Н
k_c	Удельная сила резания	Н/мм²
M_c	Крутящий момент	Нм
P_c	Потребляемая мощность	кВт
Q	Скорость съёма металла	см³/мин
KAPR	Главный угол в плане	град
z_c	Число эффективных зубьев (z_c = 1 для ступенчатого растачивания)	шт.

Усилие подачи, Н

$$F_f \approx 0.5 \times k_c \times a_p \times f_n \times \sin KAPR$$

Формулы и определения для растачивания - Дюймовая система

Минутная подача, дюйм/мин

$$v_f = f_n \times n$$

Скорость резания, фут/мин

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

Частота вращения шпинделя, об/мин

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

Подача на оборот, дюйм/об

$$f_n = z_c \times f_z$$

Скорость съёма металла, дюйм^3/мин

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

Потребляемая мощность, л.с.

$$P_c = \frac{v_c \times a_p \times f_n \times k_c}{132 \times 10^3} \left(1 - \frac{a_p}{DC}\right)$$

Крутящий момент, фунт-сила/фут

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



Параметр	Значение	Единицы измерения
DC	Диаметр растачивания	дюйм
f_n	Подача на оборот	дюйм/об
n	Частота вращения шпинделя	об/мин
v_c	Скорость резания	фут/мин
v_f	Минутная подача	дюйм/мин
F_f	Усилие подачи	Н
k_c	Удельная сила резания	фнт/дюйм^2
M_c	Крутящий момент	фунт-сила/фут
P_c	Потребляемая мощность	л.с.
Q	Скорость съема металла	дюйм^3/мин
PSIR	Угол в плане	град
z_c	Число эффективных зубьев (z_c = 1 для ступенчатого растачивания)	шт.

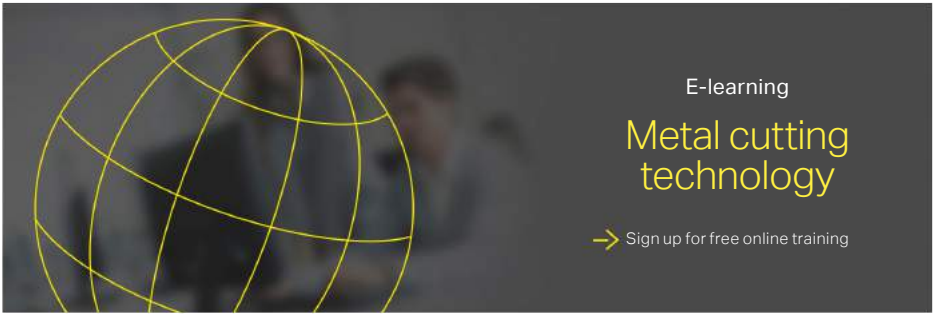
Усилие подачи, Н

$$F_f \approx 0.5 \times k_c \times a_p \times f_n \times \sin KAPR$$

Онлайн-обучение университетского уровня

Онлайн-обучение технологиям резания металлов — идеальное дополнение к занятиям в учебных заведениях, а также отличное решение для приобретения новых знаний, где бы вы ни находились. Изучите основы технологий металлорезания в рамках 75 курсов, охватывающих большинство областей обработки. По мере обучения отслеживайте свои достижения и усвоение материала.

Зарегистрируйтесь на metalcuttingknowledge.com и начните бесплатное обучение.





Наша поддержка — в вашем смартфоне

Для изучения металлообработки требуется инженерный склад ума и мощная поддержка на протяжении всего обучения. Sandvik Coromant предлагает несколько полезных калькуляторов и приложений для мобильных устройств — совершенно бесплатно.

Найдите необходимую поддержку на sandvik.coromant.com/apps

Главный офис:
127018, Москва
ул. Полковая, 1, ООО "Сандвик"
E-mail: coromant.ru@sandvik.com
www.sandvik.coromant.com

C-2920:40 ru-RU © AB Sandvik Coromant 2017.11

