

Техническая информация

Динамическая эффективность – эффективный и надежный процесс обработки

Тяжелая обработка – черновая обработка с высокими нагрузками – включая обработку труднообрабатываемых материалов, таких как титановые сплавы, материалы на никелевой основе и нержавеющей сталь, которые широко используются в аэрокосмической промышленности, имеют огромный потенциал эффективности. Когда говорят о тяжелых режимах обработки, речь, прежде всего, идет о максимальном количестве снимаемого материала за минимальное время. Именно в это время многие элементы процесса обработки функционируют на границе своих возможностей. Поэтому, для получения качественного и конкурентоспособного продукта при обработке с высокими нагрузками особенно важна отлаженная система управления технологическим процессом. Силы, возникающие при резании, подвергают станок и инструмент крайне высоким нагрузкам. Следовательно, главной целью является оптимизация объема снимаемого материала за единицу времени, максимальное увеличение стойкости инструмента и минимизация нагрузки на станок.

Понятием **Динамическая Эффективность** компания HEIDENHAIN обозначает инновационные функции системы ЧПУ, способствующие повышению надежности технологического процесса при тяжелых режимах и черновой обработке с целью увеличения эффективности. Динамическая Эффективность включает в себя три программные функции:

- ACC (Active Chatter Control, или активное управление рывью) – данная опция подавляет образование рыва и позволяет осуществлять обработку с большей подачей на глубину
- AFC (Adaptive Feed Control, или адаптивное управление подачей) – данная опция регулирует подачу в зависимости от конкретных условий обработки
- Трохоидальное фрезерование – цикл черновой обработки канавок и карманов, который снижает нагрузку на инструмент и станок



Каждая функция в отдельности по-своему оптимизирует технологический процесс. Эти функции можно комбинировать, чтобы достигнуть желаемого положительного результата.

- Снижение времени обработки, благодаря увеличению объема снимаемой стружки за единицу времени (ACC, AFC, трохoidalное фрезерование)
- Контроль инструмента (AFC)
- Увеличение стойкости режущего инструмента (ACC, трохoidalное фрезерование)

С Динамической Эффективностью Вы сможете производить быстрее, причем со снижением нагрузок на инструмент и станок, то есть более эффективно и экономично.

dynamic + efficiency

Динамическая эффективность

Повышение производительности тяжелой и черновой обработки

Концепция Динамической Эффективности сосредоточена на процессах с большими усилиями резания и большим объемом снимаемой стружки. Сюда относится процесс черновой обработки в целом, а также обработка труднообрабатываемых материалов, таких как титановые сплавы, коррозионно-стойкие никелевые сплавы (например, инконель) и многие другие материалы, которые, в силу их специфических свойств, применяются при производстве инструментов, изготовлении пресс-форм, в аэрокосмической и медицинской промышленности, а также энергетике. Силы, возникающие при резании металла, подвергают станок и инструмент крайне высоким нагрузкам. Эти высокие нагрузки в процессе обработки вызывают вибрации. Следовательно, целью оптимизации является повышение объема снимаемой стружки за единицу времени при одновременном увеличении стойкости инструмента и снижении нагрузок на станок.

Именно этому посвящена концепция **Динамической Эффективности** от HEIDENHAIN.



Понятием **Динамическая Эффективность** компания HEIDENHAIN обозначает инновационные функции системы ЧПУ, способствующие повышению надежности и эффективности технологического процесса при тяжелых режимах и черновой обработке. Поскольку речь идет о программных функциях, вмешиваться в механическую часть станка нет необходимости. **Динамическая Эффективность** помогает увеличить производительность резания и снизить время обработки.

Динамическая Эффективность включает в себя три функции:

- Активное управление рывью – опция ACC подавляет образование рыва и позволяет осуществлять обработку с большей подачей на глубину
- Адаптивное управление подачей – опция AFC регулирует подачу в зависимости от конкретных условий обработки
- Трохоидальное фрезерование – функция для черновой обработки канавок и карманов, снижающая нагрузку на инструмент и станок

Каждое решение в отдельности оптимизирует технологический процесс обработки. Однако, именно комбинация этих функций раскрывает весь потенциал станка и инструмента и одновременно снижает механическую нагрузку. При изменяющихся условиях обработки, например, при прерывистом резании, различном врезании на глубину или даже при простой выборке становится ясно, что эти функции того стоят. На практике возможно увеличение объема снимаемой стружки за единицу времени на 20-25 процентов.

Динамическая Эффективность позволяет повысить интенсивность съема материала и, как следствие, производительность: и всё это без использования специальных инструментов. Предотвращение перегрузки инструмента и преждевременного износа режущих кромок, а также повышение надежности технологического процесса существенно повышают рентабельность.

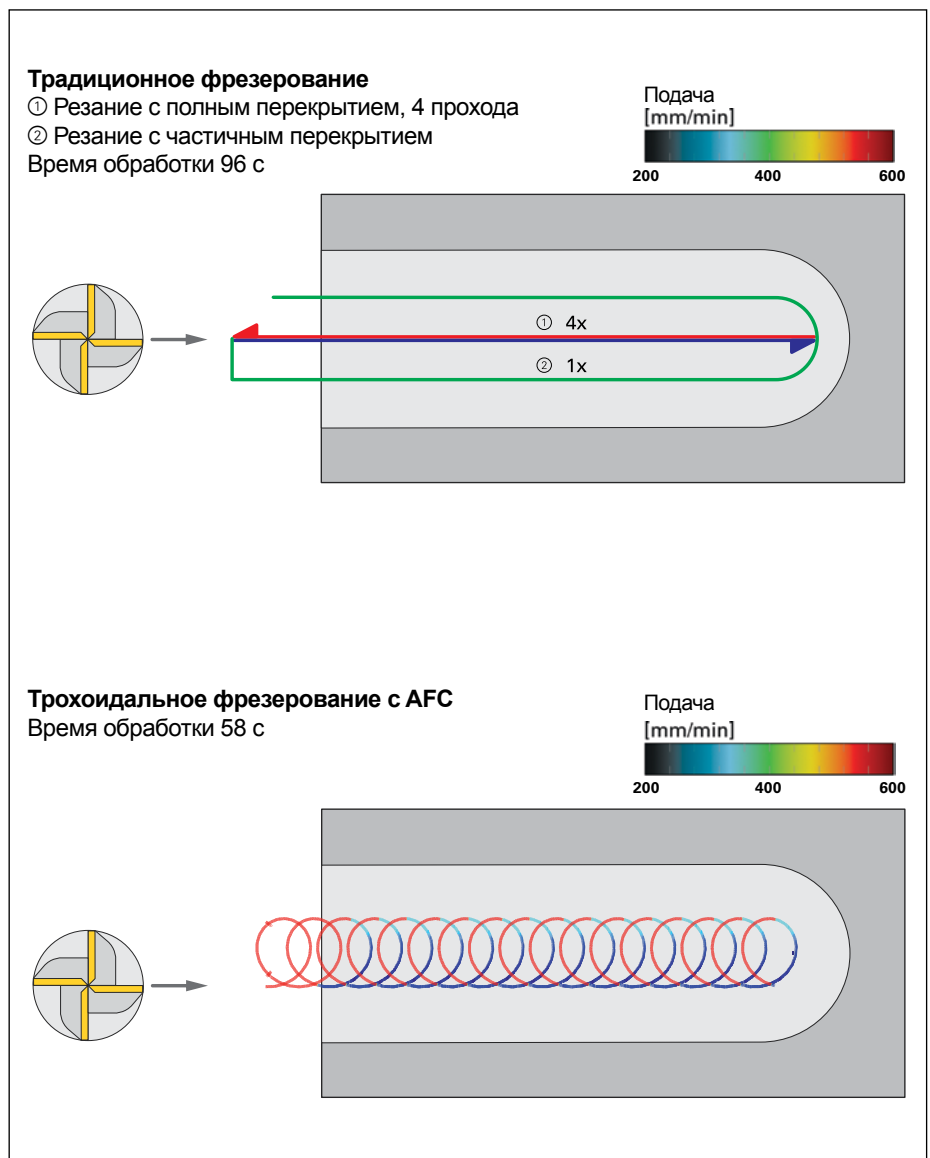
Если объединить трохойдальное фрезерование и адаптивное управление подачей AFC, можно получить заметное увеличение производительности. Поскольку инструмент входит в материал по круговой траектории, инструмент и станок испытывают меньшие нагрузки. Однако часть этого кругового движения происходит без соприкосновения с деталью. В данной ситуации AFC перемещает инструмент с более высокой скоростью подачи. При использовании циклов HEIDENHAIN в процессах обработки общая экономия времени суммируется.

Пример обработки

На примере ясно видны преимущества **Динамической Эффективности**. Эта канавка сначала сделана с применением традиционного метода обработки, а затем – с применением трохойдального фрезерования и AFC.

Традиционная обработка начинается с врезания в материал посередине. В силу имеющихся технологических данных (материал, фреза), за один проход может быть обработано не более одной четвертой требуемой глубины. После достижения нужной глубины канавка расширяется до нужной ширины (зеленая линия). Цвета линий свидетельствуют о достигнутой скорости подачи.

Для сравнения такую же канавку обработали с применением **трохойдального фрезерования** и функции **адаптивное управление подачей AFC**. Трохойдальное фрезерование снижает нагрузку на инструмент и станок, но не влияет на скорость обработки. Именно здесь начинает работать функция AFC. Когда фреза движется по круговой траектории не соприкасаясь с обрабатываемой деталью, AFC значительно увеличивает скорость подачи и снова снижает ее, как только фреза входит в контакт с материалом. Таким образом, **Динамическая Эффективность** позволяет добиться значительного снижения времени обработки.



В данном примере **Динамическая Эффективность** позволила увеличить производительность по сравнению с традиционным методом обработки примерно на 40 %.

ACC

Активное подавление ряби (опция)

При черновой обработке (фрезерование с большими нагрузками) возникают большие силы резания. При этом, в зависимости от частоты вращения инструмента, а также от резонансов, возникающих в станке, и объемов снимаемой стружки (производительность резания при фрезеровании), может возникать рябь. Поскольку при ряби как инструмент, так и сам станок подвергаются большим нагрузкам, это считается одним из факторов, значительно ограничивающим объем снимаемой стружки.

Пределы объема снимаемой стружки за единицу времени

На объем снимаемой стружки для конкретного материала влияют три основных фактора: термическая и механическая стабильность инструмента, мощность шпинделя и появление ряби. Появление ряби само по себе не является индикатором неисправности станка. При достаточной стабильности инструмента и мощности шпинделя ограничение производительности резания неизбежно.

Причины появления ряби

Рябь обозначает динамическую нестабильность процесса резания, возникающую из-за вибраций во время резания. При черновой обработке, а также обра-

ботке труднообрабатываемых материалов возникают большие силы резания. Эти периодически возникающие силы приводят к вибрации между инструментом и обрабатываемой деталью. Если между вибрацией и процессом резания возникает обратная связь, на вибрацию затрачивается больше энергии, чем может быть преобразовано трением в тепло. Вибрации усиливаются, и возникает дрожь. Возникновение обратной связи зависит от различных факторов, в том числе, от динамической жесткости станка в центральной точке инструмента (Tool Centre Point TCP), инструмента и параметров резания.

Поскольку рябь является следствием самовозбужденного колебания, частота вибрации всегда находится рядом с собственной частотой станка.

Стандартные меры

Вибрации подвергают инструмент и станок высокой нагрузке. Поэтому этого следует избегать. Появление дрожи зависит также от режимов резания (толщина и ширина стружки, скорость резания и т.п.). Чтобы этого избежать, необходимо снизить режимы резания (глубина резания, частота вращения и подача), что приведет к падению производительности.

Преимущества ACC

Опция ACC (Active Chatter Control) – эффективная функция управления для подавления дрожи и, как следствие, ряби. Благодаря дополнительному демпфированию, ACC повышает возможную производительность резания, начиная с которой появляется рябь.

При резании на тяжелых режимах функция ACC особенно эффективна:

- повышение производительности резания
- увеличение объема снимаемой стружки (до 25 % и выше)
- снижение нагрузки на инструмент и, как следствие – увеличение его стойкости
- снижение нагрузки на станок
- повышение надежности технологического процесса.

Принцип действия ACC

Поскольку ACC, или активное подавление ряби – это программная функция, вмешиваться в механическую часть станка нет необходимости. Дополнительные системы (сенсоры, исполнительные механизмы), усложняющие систему в целом, а значит, повышающие вероятность сбоев и неисправностей, не требуются. ACC обнаруживает дрожь по внутренним сигналам приводов и использует собственные приводы подачи станка для отвода энергии колебаний.



Деталь, обработанная без ACC: видны отчетливые следы ряби.



Деталь, обработанная с ACC: при одинаковой подаче и одинаковой глубине резания поверхность не имеет следов ряби. Уменьшение нагрузки на инструмент и станок.

Однако это накладывает ограничения на дрожь, которая может быть преодолена с помощью функции АСС. Приводы подачи могут отводить энергию колебаний только в частотном диапазоне до 100 Гц. Демпфирование колебаний с более высокими частотами не будет осуществляться в достаточной мере. В некоторых случаях невозможно также демпфировать колебания ниже 100 Гц, так как, к примеру, они ограничены инструментом, а привод действует на стол.

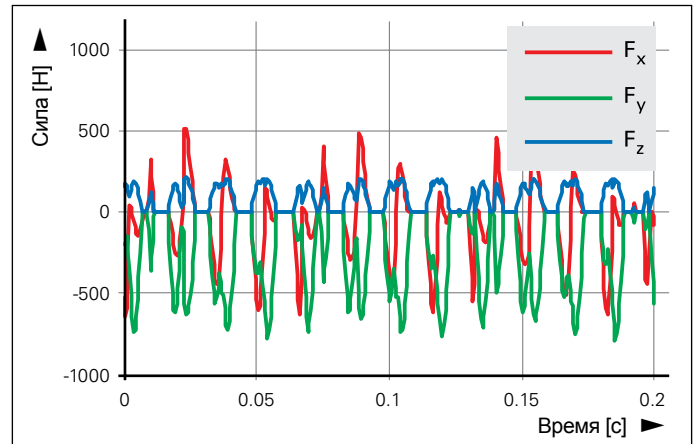
Эффекты на практике

В экспериментах по фрезерованию различных материалов с применением различных фрезерных инструментов удалось значительно повысить объем снимаемой стружки за единицу времени (до 25 % и выше) в случаях, когда рябь была ограничивающим фактором. Кроме того, устранение ряби значительно уменьшило значения сил, воздействующих на инструмент и станок. Это повышает стойкость инструмента и положительно сказывается на сроке службы компонентов станка (главный шпиндель, направляющие, шарико-винтовая передача, подшипники).

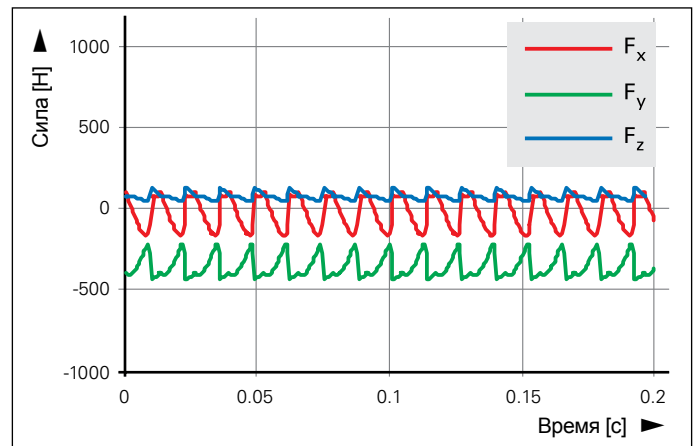
Применение АСС

АСС работает в определенном диапазоне частот, который ниже частоты входа зубьев инструмента в контакт с заготовкой. Активировать АСС или нет – решает оператор в соответствии с используемым инструментом. Поскольку геометрия конкретного инструмента влияет на усилия резания, а значит, и на характеристики возникающих вибраций, для каждого инструмента можно создать индивидуальный набор параметров. При смене инструмента система ЧПУ автоматически переключается на нужный набор параметров.

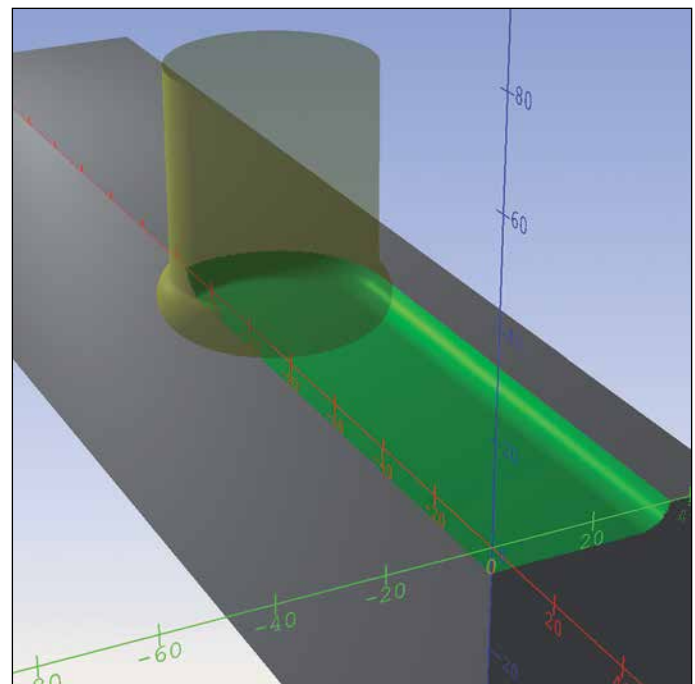
Вследствие различий в геометрии станков, производитель станка может отдельно сконфигурировать параметры АСС для всех осей подачи (для каждой в отдельности). В определенных случаях такие дополнительные параметры могут улучшить работу алгоритма АСС.



Силы резания при ряби



Силы резания с АСС



Моделирование обработки

AFC

Адаптивное управление подачей (опция)

Скорость подачи при фрезерной обработке обычно выбирается, исходя из обрабатываемого материала, используемого режущего инструмента и необходимой глубины резания. Для каждой операции фрезерования задается своя скорость подачи. Если во время обработки условия резания меняются, например, из-за неравномерной глубины резания, износа инструмента или неравномерной твердости материала, скорость подачи не меняется. С одной стороны, например, при уменьшении толщины материала, может оказаться, что скорость подачи иногда будет ниже, чем следовало бы. Поэтому на обработку уйдет больше времени, чем требуется. С другой стороны, высокая запрограммированная скорость подачи, особенно если объем снимаемого материала растет, может вызывать перегрузку инструмента и шпинделя.

Преимущества AFC

Опция адаптивного управления подачей AFC (Adaptive Feed Control) системы ЧПУ HEIDENHAIN оптимизирует контурную подачу в зависимости от мощности шпинделя и других технологических параметров. AFC обеспечивает максимально возможную подачу, что повышает эффективность. Адаптивное управление подачей имеет ряд неоспоримых преимуществ.

Оптимизация времени обработки

Особенно у литых заготовок часто встречаются отклонения припусков или материала (усадочные раковины). Путем регулирования подачи система ЧПУ поддерживает ранее измеренную максимальную мощность шпинделя на протяжении всей обработки. Общее время обработки сокращается путем увеличения подачи в тех зонах обработки, где снимается небольшое количество материала.

Контроль инструмента

Адаптивное управление подачей непрерывно контролирует необходимую мощность шпинделя для текущей подачи. Когда режущий инструмент затупляется, мощность шпинделя возрастает. В результате система ЧПУ уменьшает подачу. Как только подача достигает установленного минимального значения, система ЧПУ реагирует остановом, сообщением об ошибке или сменой инструмента на его дублер. Благодаря этому уменьшается косвенный ущерб из-за поломки или износа фрезы.

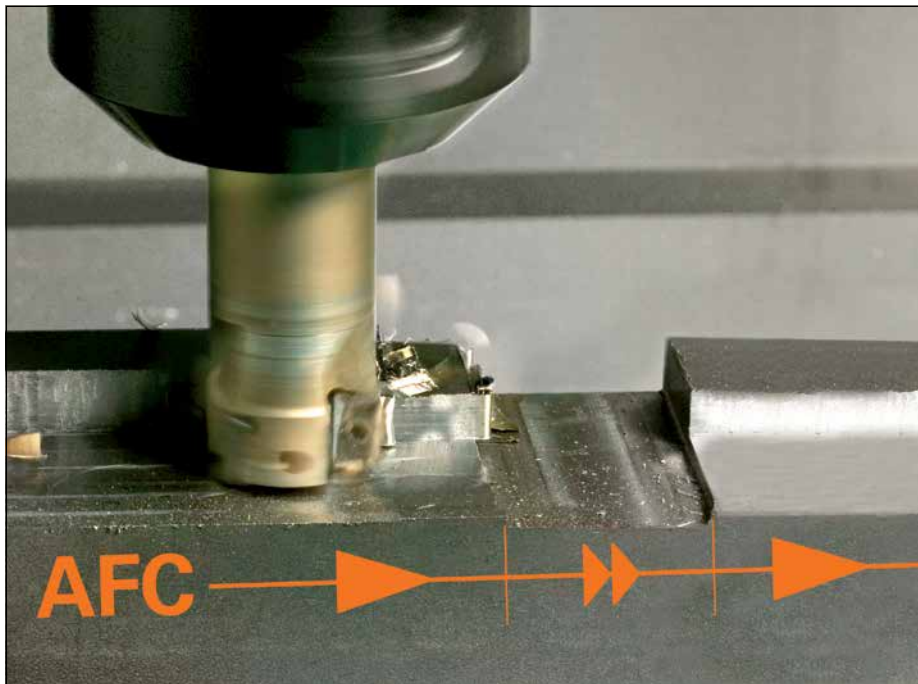
Снижение нагрузок на механику станка

Благодаря снижению подачи при превышении максимальной мощности шпинделя вплоть до эталонного значения мощности, снижаются нагрузки на механику станка. Шпиндель при этом эффективно защищен от перегрузки.

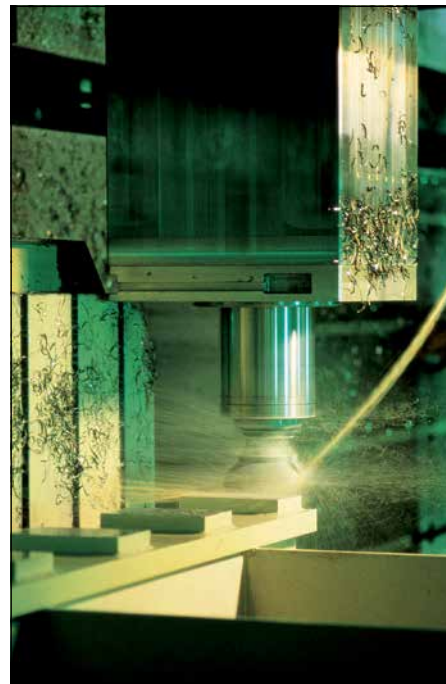
Принцип действия

Использовать эту функцию очень просто: перед выполнением обработки в таблицу заносятся максимальные и минимальные граничные значения мощности шпинделя. Для этого система ЧПУ измеряет максимальную мощность на шпинделе во время выполнения пробного прохода. Затем функция адаптивного управления подачей постоянно сравнивает мощность шпинделя с эталонной мощностью и пытается поддержать эталонную мощность шпинделя в течение всего процесса обработки, адаптируя для этого скорость подачи.

dynamic  **efficiency**



функция AFC оптимизирует скорость подачи под различные условия резания.



Трохоидальное фрезерование

изготовление любых контурных канавок методом трохоидального фрезерования

Инструменты и прочие структуры станка при обработке труднообрабатываемых материалов высокопрочных или закаленных материалов подвергаются особо высоким нагрузкам. Когда концевыми фрезами делают канавки с полным перекрытием, возникают очень большие силы резания, так как инструмент и обрабатываемая деталь при этом образуют 180-градусную дугу охвата. В результате инструмент может искривиться, что вызовет нарушение геометрии формируемой канавки. Для достижения требуемой точности детали осевую глубину резания часто ограничивают половиной диаметра инструмента. Поэтому глубокие канавки фрезеруются за несколько проходов, на что уходит много времени.

Преимущества трохоидального фрезерования

Неоспоримым преимуществом метода трохоидального фрезерования является высокоэффективная обработка любых канавок с одновременным снижением нагрузок на инструмент и станок. При этом черновая обработка выполняется круговыми движениями, на которые дополнительно налагается линейное перемещение.

Трохоидальное фрезерование позволяет производить обработку с большей глубиной резания, т.к. благодаря особым условиям резания не возникают эффекты, увеличивающие износ инструмента. Таким образом, появляется возможность использовать всю рабочую длину фрезы, в результате чего увеличивается объем снимаемой стружки на один зуб. При круговом врезании в материал на инструмент оказывается меньшее воздействие радиальных сил. Это сохраняет механику станка и препятствует возникновению вибраций. При комбинировании этого метода фрезерования со встроенным адаптивным управлением подачи AFC (опция) можно добиться значительной экономии времени.

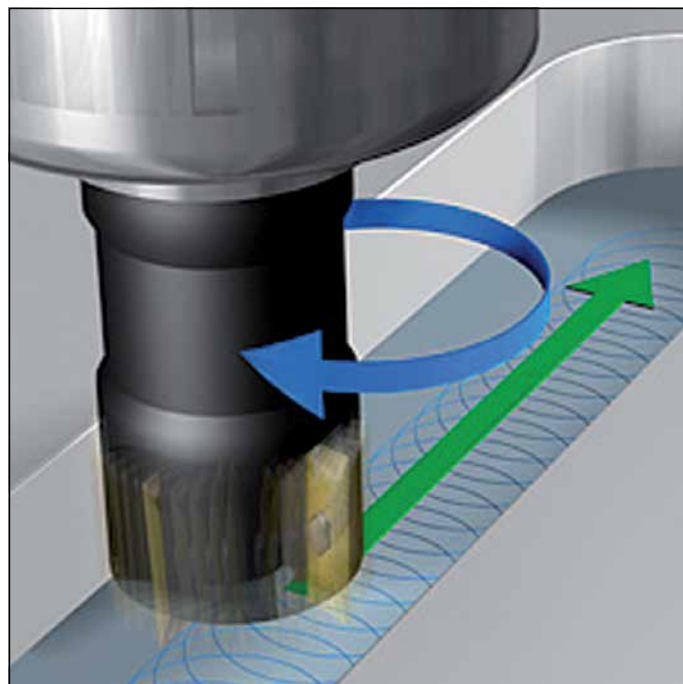
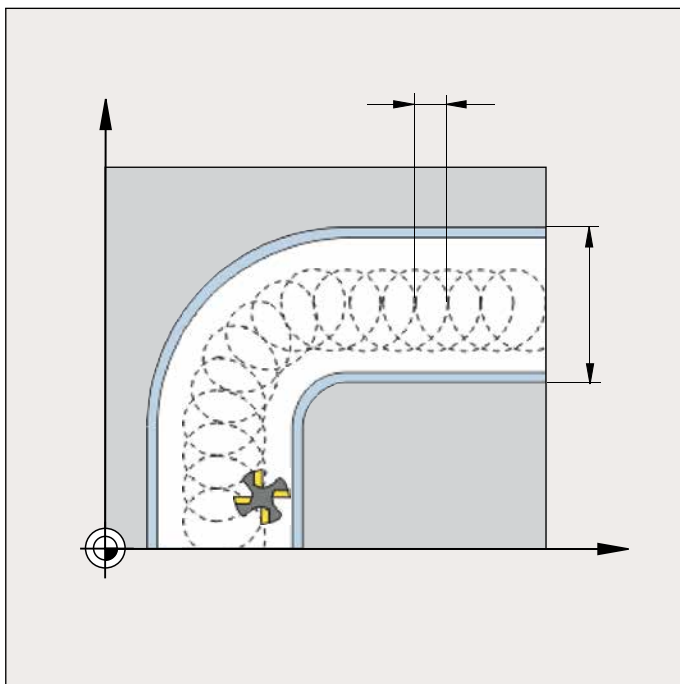
Трохоидальное фрезерование в качестве стандартной функции

Изготавливаемая канавка описывается в подпрограмме контура как последовательность контуров. В отдельном цикле задаются размеры канавки, а также режимы резания. Возможные остатки материала по окончании просто удаляются с помощью чистового прохода.

Обзор преимуществ:

- использование всей длины режущей кромки
- увеличение объема снимаемой стружки за единицу времени (в комбинации с AFC)
- уменьшение нагрузок на механику станка
- уменьшение колебаний
- встроенная чистовая обработка боковой стороны

dynamic + **efficiency**



Трохоидальное фрезерование: высокоэффективная обработка различных канавок.

Системы ЧПУ HEIDENHAIN

Системы ЧПУ для фрезерных, фрезерно-токарных и сверлильных станков, а также для обрабатывающих центров

Фрезерные системы ЧПУ компании HEIDENHAIN производятся в различных исполнениях: от простой, компактной 3-осевой позиционной системы TNC 128 до контурной системой iTNC 530 (до 18 осей плюс шпиндель), что удовлетворяет любые требования и задачи. TNC 640 – это система ЧПУ для фрезерной обработки с токарными функциями.

Системы ЧПУ HEIDENHAIN универсальны:

идеальны как для цехового, так и для внешнего программирования. Они отлично подходят для автоматизированных производств. Простые фрезерные операции они выполняют также надежно, как и высокоскоростное фрезерование с особо плавным перемещением по траектории контура или 5-осевую обработку качающейся головкой и поворотным столом.

В функциях **Динамическая Эффективность** и **Динамическая Точность** HEIDENHAIN объединяет инновационные технологии управления для эффективной высокоточной обработки.

Динамическая Эффективность помогает выполнять обработку на тяжелых режимах резания и черновую обработку эффективно и надежно. **Динамическая Эффективность** доступна в системах TNC 640 и iTNC 530.

Динамическая Точность позволяет получать более точные детали с низкой шероховатостью поверхности при высокой скорости обработки: высокая точность при высокой производительности. Программная опция **Динамическая Точность** доступна в системах TNC 640, iTNC 530 и TNC 620.



TNC 640



iTNC 530



TNC 620

	TNC 640	iTNC 530	TNC 620
Динамическая Точность	x	x	x
СТС – компенсация погрешностей из-за взаимного влияния осей	Опция	Опция	Опция
AVD – активное подавление вибраций	Опция	Опция	Опция
PAC – адаптивное управление по положению	Опция	Опция	Опция
LAC – адаптивное управление по нагрузке	Опция	Опция	Опция
MAC – адаптивное управление по движению	Опция	Опция	Опция
Динамическая Эффективность	x	x	–
ACC – активное подавление рывка	Опция	Опция	Опция
AFC – адаптивное управление подачей	Опция	Опция	–
Трохоидальное фрезерование	•	•	•

x Возможные функции
• Стандартные функции

HEIDENHAIN

DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH
Dr.-Johannes-Heidenhain-Straße 5
83301 Traunreut, Germany

☎ +49 8669 31-0

☎ +49 8669 5061

E-mail: info@heidenhain.de

www.heidenhain.de

Дополнительная информация:

- Каталог TNC 640
- Каталог iTNC 530
- Каталог TNC 620
- Техническая информация *Динамическая Точность*

