

*А.С. БАТАЛИН, В.М. МАНУЙЛЕНКО*

## **ОСНОВНЫЕ ЭФФЕКТЫ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКИ**

*В работе раскрыта физическая сущность высокоскоростной обработки и обоснованы области ее эффективного применения*

В последние годы широкое применение получили методы высокоскоростной обработки, в особенности высокоскоростное фрезерование, где скорости резания и подачи в 5-10 раз выше, чем при обычной обработке. Установлено, что при небольших сечениях среза в условиях высокоскоростной обработки (ВСО) основная масса тепла концентрируется в стружке, не успевая переходить в заготовку [1, 2, 3]. Именно это позволяет вести обработку закаленных сталей, не опасаясь отпуска поверхностного слоя. Отсюда основной принцип ВСО – малое сечение среза, снимаемое с высокой скоростью резания, и соответственно высокие обороты шпинделя и высокая минутная подача.

Для такого материал, как сталь, скорость резания составляет от 500 до 1500 м/мин и выше. Для наглядности можно привести пример: фреза диаметром 6 мм имеет скорость вращения примерно 40000 об/мин. Такая высокая скорость резания комбинируется с высокими скоростями подачи, которые повышаются по сравнению с обычной обработкой в 5-10 раз и изменяются в диапазоне от 2 до 20 м/мин. Однако есть области применения, где не возможно достичь высоких скоростей. Тогда говорят о переходной области между высокоскоростным и обычным фрезерованием. Но и здесь достигаются эффекты от применения высокоскоростной обработки.

Основной эффект ВСО состоит не в уменьшении машинного времени за счет интенсификации режимов резания, а в повышении качества обработки и возможности эффективного использования современных станков с ЧПУ. Условием успеха в высокоскоростной обработке может быть правильный выбор всех составляющих факторов, участвующих в этом процессе – станок, система ЧПУ, режущий инструмент, вспомогательный инструмент с системой закрепления инструмента, система программирования, квалификация технолога- программиста и оператора станка с ЧПУ.

Основной принцип высокоскоростной обработки состоит в том, что при очень высокой скорости резания происходит значительное увеличение температуры в зоне резания, и обрабатываемый материал становится мягче. Высокоскоростное фрезерование базируется, прежде всего, на сокращении количества тепла, возникающего при обработке резанием, которое снижает стойкость инструмента. Для получения детали точной заданной формы в процессе окончательной чистовой обработки режимы резания необходимо

выбирать таким образом, чтобы обеспечить минимально возможный перенос тепла резания в обрабатываемую деталь.

При выборе оптимальных режимов резания можно обеспечить такие условия обработки, при которых температура поверхности резания соответствует начальной температуре. Именно поэтому обращаются к высокоскоростной обработке, рис. 1. Есть даже такая рекомендация, что глубина резания не должна превышать 10% диаметра фрезы. Располагая возможностью осуществления лезвийной обработки закаленных сталей, можно обеспечить качество поверхности, соизмеримое с электроэрозионной обработкой.

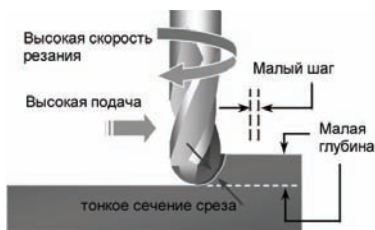


Рис. 1. Принципиальная схема осуществления высокоскоростной обработки.

При обычной обработке с увеличением скорости резания и уменьшением толщины стружки непрерывно повышается температура обрабатываемой заготовки, стружки и инструмента. Но если повысить скорость подачи в 5-10 раз, как это имеет место при высокоскоростном фрезеровании, то температура резцов повышается лишь незначительно. Причина этого заключается в том, что скорость подачи превышает скорость теплопроводности обрабатываемого резанием основного материала. Фреза «опережает» распространение тепла. Тем самым распространение тепла, образующегося в зоне контакта, в основной металл заготовки и фрезы большей частью предотвращается, а основная доля тепла от резания отводится со стружкой. За счет этого значительно увеличивается стойкость инструмента. Исследования японских специалистов показали, что во время выполнения ВСО 75% произведенного тепла отводится со стружкой, 20% - через инструмент, и 5% - через обрабатываемую деталь. Деталь в процессе резания нагревается незначительно, что положительно влияет на точность обработки. На основании исследований обработки материалов с высокими значениями прочности и твердости получены уравнения, с помощью которых возможно рассчитать температуру поверхности резания детали в зависимости от режимов резания.

Температура поверхности резания определяет также величину и направление остаточных напряжений в поверхностном слое детали после её обработки. Так, высокие тепловые нагрузки обуславливают возникновение напряжения растяжения в обработанной поверхности, что, в свою очередь, может привести к возникновению волосяных трещин в поверхности детали.

Методы высокоскоростной обработки наиболее эффективно применять в инструментальном производстве для обработки пресс-форм для литья

металлов, пресс-форм для литья пластмасс, поскольку формообразующие детали (матрицы и пуансоны) изготавливаются, как правило, из одной заготовки за одну установку. Их также эффективно применять для обработки штампов при изготовлении деталей сложной формы. Обрабатываемые материалы обладают высокой твердостью и склонны к образованию трещин. Возможность обработки заранее закаленных заготовок позволяет значительно увеличить долговечность деталей штампов.

Во всех случаях благодаря высокоскоростному фрезерованию достигается по сравнению с обычным фрезерованием обеспечивается снижение основного технологического времени (в 5-10 раз). Однако при производстве инструментов, характеризующимся обработкой сложных форм и поверхностей свободной формы, применяется другая стратегия. Во избежание трудоемкой и дорогостоящей ручной работы при фрезеровании уменьшают формат строки, т.е. расстояние между двумя параллельными, расположенными рядом друг с другом траекториями, проведенными центром фрезы.

Таким образом, можно при одинаковом основном машинном времени избежать ручной работы и тем самым сэкономить расходы.

Эффект высокоскоростного фрезерования состоит еще и в возможности обработки в надкритическом для колебаний диапазоне, так как при высоких скоростях вращения значительно превышаются частоты резонанса детали, инструмента и компонентов станка. Одновременно с этим за счет небольших поперечных сечений среза силы резания могут быть небольшими, что благоприятно сказывается на выдерживании размеров узлов. Кроме того, проблема выделения тепла сведена к минимуму, как отмечалось выше.

Стратегия обработки. По сути, это достаточно простые правила, которые должен выполнять технолог при составлении программ обработки и наличие САМ-систем, которые поддерживают эти правила.

Первое правило ВСО – необходимо обеспечить малые сечения среза, снимаемые с большой скоростью. Как отмечалось выше, это основа высокоскоростной обработки и реализуется простым заданием малых шагов между проходами, кроме случаев врезания, когда идет проход полной шириной фрезы. Такие случаи надо исключать, что достигается использованием трохойдальной обработки, когда фреза движется в процессе врезания по окружности, в конечном счете, осуществляя врезание. Идеально, когда САМ-система сама строит трохойду в местах, где надо осуществить врезание. Данная стратегия используется и при формировании пазов, которые ранее обрабатывались одним ходом фрезы того же диаметра, что и ширина паза.

В случае, когда ВСО используется для обработки закаленной заготовки с отверстием, то вследствие низкой стойкости сверл процесс сверления вызывает определенные сложности. В этом случае эффективным методом может быть спиральная расфрезеровка отверстий. Причем, как показывает практика, этот метод обработки по производительности и стойкости

инструмента превосходит обычное сверление. Как правило, объем программ для ВСО значительно превосходит объем традиционных программ силового резания. В этом случае системы ЧПУ должны обладать возможностью быстрой обработки программы, составляющие десятки мегабайт, что требует больших затрат времени на расчет траектории. Поэтому на первый план выходит скорость расчета, которую должна обеспечить САМ-система. Например, при разработке системы PowerMILL фирма Delcam уделяла этому особое внимание, и поэтому не случайно, что она является лидером по времени расчета и пересчета программ.

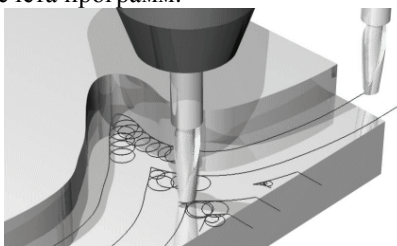


Рис. 2. Схема обработки.

Второе правило ВСО – обеспечение гладкой траектории движения инструмента. Оно вытекает из необходимости снижения динамических нагрузок во время резкой смены направления движения инструмента. Надо максимально возможно исключить углы на траектории, рис. 2. В углах, где инструмент меняет направление, он вынужден остановиться. Однако, снижение нагрузки в этот момент вызывает врезание фрезы в тело детали, и как следствие на поверхности детали остаются следы.

Третье правило – обеспечение равномерной нагрузки на инструмент. Традиционная сточная обработка, состоящая из многочисленных ходов врезания и выходов инструмента, даже если это сглаженные входы по дуге, не может быть признана оптимальной для ВСО. Предпочтение должно отдаваться спиральным стратегиям, где инструмент однажды врезавшись, сохраняет непрерывный и равномерный контакт с заготовкой или стратегиям эквидистантного смещения контура, которые сохраняют контакт инструмента с заготовкой длительное время с одним заходом и выходом. Это же правило равномерных нагрузок диктует технику обработки внутренних скруглений. При ВСО надо стремиться исключать обработку фрезами с радиусами, равными радиусам скругления на детали.

Список литературы: 1. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общей редакцией Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т.2. “Теплофизика резания материалов” – Одесса: ОНПУ, 2003. – 625 с. 2. Новиков Ф.В., Яценко С.М. Повышение эффективности технологии финишной обработки деталей пар трения поршневых насосов // Труды 13-й Межд. научн.-техн. конф. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2007. – С. 8-20. 3. Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания. – М.: Машиностроение, 1976. – 178 с.

*Поступила в редколлегию 21.04.08*