**Высокоскоростная механообработка**

Крис Виттингтон, Владимир Власов

О высокоскоростной обработке много говорят, но мало кто объясняет, что это такое и еще меньше людей реально представляют, как к ней подступиться. Типичная ситуация — купили новый станок со шпинделем на 12-25 тыс. оборотов минуту, приобрели дорогой инструмент от Sandvik Coromant или Mitsubishi Carbide, установили режимы резания, которые рекомендует фирма в своих каталогах, и начали этот инструмент ломать. А то, наслышавшись о высоком качестве поверхности при высокоскоростной обработке, безуспешно пытаются достичь подобного качества и, не добившись сколько-нибудь приемлемого результата, подвергают сомнению целесообразность денежных затрат на станок и инструмент. Где то что-то упущено, но где именно и что конкретно, кто подскажет?

Данная статья базируется на опыте, полученном специалистами фирмы Delcam plc в области высокоскоростной обработки. Фирма стояла у истоков развития высокоскоростной обработки (ВСО), участвуя совместно с рядом станкостроительных фирм и университетов в европейском проекте по исследованию ВСО, а также одной из первых использовала эту технологию в своем собственном цехе при изготовлении пресс-форм и штампов. Результатом этой работы стало появление новых стратегий и модулей в известной системе PowerMILL, давно и успешно используемой в инструментальном производстве.

Рисунок 1 - Кривые Соломона. Зависимость сил резания от скорости резания

Итак — ВСО. Теоретическим обоснованием высокоскоростной обработки являются так называемые кривые Соломона (рис. 1), которые показывают снижение сил резания в некотором диапазоне скоростей. Но наиболее важным фактором здесь является перераспределение тепла в зоне резания. При небольших сечениях среза в данном диапазоне скоростей основная масса тепла концентрируется в стружке, не успевая переходить в заготовку. Именно это позволяет производить обработку закаленных сталей, не опасаясь отпуска поверхностного слоя. Отсюда следует основной принцип ВСО: малое сечение среза, снимаемое с высокой скоростью резания, и соответственно высокие обороты шпинделя и высокая минутная подача (рис. 2). Есть даже рекомендация, что глубина резания не должна превышать 10% диаметра фрезы. Но с разработкой новых многозубых фрез для черновой обработки закаленных сталей изготовители инструмента рекомендуют традиционные глубины резания при сохранении малых шагов (рис. 3). В этом случае можно говорить о тонких сечениях среза. Имея возможность вести лезвийную обработку закаленных сталей, можно обеспечить качество поверхности, соизмеримое с электроэрозионной обработкой. Это позволяет пересмотреть структуру производственного процесса изготовления формообразующих элементов пресс-форм и штампов (рис. 4).

Рисунок 2 - Режимы резания для традиционной и высокоскоростной обработки

Рисунок 3 - Высокоскоростная обработка

Главный эффект ВСО заключается не в сокращении машинного времени за счет интенсификации режимов резания, а в общем упрощении производственного процесса и в повышении качества обработки. Условием успеха в высокоскоростной обработке может стать 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. Пренебрежение хотя бы одним из этих составляющих способно свести на нет все предыдущие усилия.

Современный станок для ВСО имеет скорость вращения шпинделя 12\_25 тыс. оборотов в минуту и оснащен средствами температурной стабилизации шпинделя. Некоторые фирмы предлагают станки со скоростью вращения до 40 тыс. оборотов в минуту. Скорости подач 40\_60 м/мин, скорость быстрых перемещений — до 90 м/мин. Станки отрабатывают малые перемещения (от 5 до 20 мкм) и имеют повышенную жесткость и температурную компенсацию. Именно прогресс в области станкостроения позволил осуществить ВСО. Ограничителем ВСО может стать система ЧПУ, если она не имеет высокой скорости обработки кадров. Для достижения высокого качества поверхности программа для ВСО содержит очень малые перемещения. Так, например, во время отработки технологии высокоскоростной обработки на фирме Delcam был отмечен дефект в виде периодических следов остановки фрезы на станке Matsuura MC\_800VF (выпуска 90\_х годов) с системой ЧПУ Yasnac i80M. Анализ программ показал, что система ЧПУ не успевает отрабатывать кадры программы при заданной подаче. Максимальную подачу, которую способна обеспечить система ЧПУ, можно определить по формуле:

Fmax = (Длина перемещения в кадре) / (Время обработки кадра) \* 60

Из приведенного отношения следует, что при перемещениях 0,01 мм и времени обработки кадра 2 мс максимальная подача ограничена значением 0,3 м/мин. Перевод обработки на более современный станок Bridgeport снял эту проблему. Современная система ЧПУ должна «смотреть вперед» со скоростью от 100 до 200 кадров в секунду, чтобы успеть сделать расчеты для торможения на подходе к углу и разгона после поворота.

Следующий фактор — режущий и вспомогательный инструмент. Ведущие инструментальные фирмы предлагают сегодня широкую гамму фрез для ВСО с подробными рекомендациями по областям их применения и режимам резания. Разрабатываются новые мелкодисперсные сплавы, способные надежно работать на высоких скоростях. Более важно обратить внимание на системы вспомогательного инструмента, которые обеспечивают крепление фрез. В связи со снижением сил резания в процессе ВСО на первый план выходят другие факторы, такие как величина биения фрезы, вибрации. Например, удвоение скорости резания увеличивает центробежные силы вследствие дисбаланса инструмента более чем в 4 раза, и эти силы становятся соизмеримыми с силами резания. Биение инструмента сильно влияет на износ. Это подтверждают данные экспериментов (рис. 4), где на графике видна практически линейная зависимость износа от биения при высоких скоростях резания. Таким образом, ВСО требует особого внимания к балансировке инструмента.

Рисунок 4 - Влияние биения на износ инструмента

Высокоскоростное резание за последние пять лет совершило революционный переворот в методах механообработки. Решающий фактор в оценке процесса ВСО обработки — производительность станков, которые определяют стоимость производства и, таким образом, амортизацию инвестиций.

В мировом станкостроении сегодня наблюдается устойчивая тенденция создания станков, предназначенных для ВСО обработки. Достижения в области технологии создания режущего инструмента позволили эффективно применять ВСО обработку в различных отраслях. Технология CAM сегодня бурно развивается, чтобы удовлетворить специфические потребности в создании новых стратегий движения инструмента для ВСО.

В процессе конструкторско-технологической подготовки производства, генерации данных и во время механообработки может быть обнаружено множество факторов, которые влияют на качество детали. Иногда скрытые, иногда очевидные; они воздействуют на точность и шероховатость поверхностей, а также на время обработки. Все эти критерии постоянно находятся во взаимосвязи, и с ними обычно сталкиваешься по мере их возникновения. Механообработка является заключительным звеном единой комплексной задачи, решение которой последовательно проходит через системы CAD, САМ и ЧПУ.

Технология ВСО относится к числу наиболее прогрессивных и быстро развивающихся. Вместе с тем, этот вид обработки резанием является относительно новым технологическим процессом, и опыт его исследования в России весьма ограничен.