

# Стратегии и методы обработки, применяемые при фрезеровании. Опыт применения в производстве

Компания SECO TOOLS AB предлагает широкую гамму фрез, которые позволяют максимально эффективно применять те или иные стратегии и методы обработки, удовлетворяя самые высокие запросы клиентов по качеству и производительности инструмента.



Повышение экономической эффективности и конкурентоспособности машиностроительных предприятий неразрывно связано с увеличением производительности труда, которое является определяющим в любом производстве. В области металлообработки основные усилия производителей качественного инструмента направлены на совершенствование (и создание новых) все более эффективных, с точки зрения производительности, технологий. Достигнутые успехи последних лет в области резания связаны с ростом скоростей работы станка и эффективности режущего инструмента.

Известно, что фрезерование — один из важных процессов при механической обработке металлов. Обычно время, затраченное на фрезерование, занимает до 35% от общего времени обработки деталей, а в некоторых случаях достигает и 100%. Это говорит о важности этого вида обработки в технологии получения изделия.

Seco Tools AB является лидером в изготовлении инструментов для металлообработки. Производство высококачественного инструмента и его постоянное совершенствование, соответственно — с происходящей трансформацией технологий и методов обработки материалов, за долгую историю существования компании Seco Tools AB стало основной стратегией работы, которая опирается на философию клиент-ориентированной политики, определяемую как: «Каждый потребитель продукции не только клиент, но и полноправный партнер по бизнесу».

Сегодня фрезерный инструмент компании Seco Tools AB считается одним из самых высокопроизводительных, качественных и надежных в мире. Потребителям оказываются такие виды технической поддержки, как технические консультации, демонстрации новой продукции, тестовые испытания и тематические семинары, потому что компания максимально заинтересована в том, чтобы производственники могли максимально эффективно использовать в работе инструмент Seco, обеспечивая своему предприятию реальный рост производительности и экономической эффективности механической обработки. Следует отметить что, кроме правильного подбора инструмента, также очень важно грамотно его использовать. Это значит использовать правильно подобранный инструмент, с оптимальными режимами резания и, что также важно, правильным образом. С этой целью применяют различные стратегии и методы фрезерования. Соответственно, для каждого метода и стратегии обработки необходимо подбирать должный инс-

трумент и режимы резания. Перечень и характеристики используемых стратегий обработки приведены в табл. 1.

**Общая обработка** — это стратегия наиболее часто используемой в машиностроении обработки. Соотношение радиальной ( $a_r$ ) и осевой глубин ( $a_p$ ) резания может отличаться в зависимости от операции.

**Характеристики применяемого инструмента** — фреза имеет относительно длинную режущую часть и тонкую основу. Нет высоких требований к допускам.

**Требования к станку:** специальных требований нет.

**Область применения:** простые операции на станках с ЧПУ. Сложные современные методы обработки не применяются. Средний результат удельного съема металла  $Q$  ( $\text{см}^3/\text{мин}$ ). Небольшие партии обрабатываемых изделий, широкий диапазон обрабатываемых материалов деталей.

**Высокоскоростная обработка (High Speed Machining, HSM).** Эта стратегия обработки характерна комбинацией малой радиальной глубины ( $a_r$ ) и вы-

Таблица						
Стратегии обработки	Общая обработка	Высокоскоростная обработка	Высокопроизводительная обработка	Обработка на высоких подачах	Прецизионная обработка	Микро обработка
Характеристики						
Глубина резания: Радиальная $a_r$ Осевая $a_p$ $a_e \times a_p$	$a_e \sim D_c$ $a_p \sim 0,4 \times D_c$ (40% $D_c$ ) 	$a_e < D_c$ $a_p \sim D_c$ $a_e$ 	$a_e \sim D_c$ $a_p \sim D_c$ $a_e$ 	$a_e \sim 0,5 \times D_c$ $a_p < D_c$ $a_e$ 	$a_e < D_c$ $a_p < D_c$ $a_e$ 	$a_e < \sim D_c$ $a_p < D_c$ $a_e$ 
Vf (подача)	++	++++	+++	+++++	++	+
Требуемая скорость резания (частота вращения) м/мин (об/мин)	++	+++++	+++	+++	+++	+++++
Объем удаляемого материала ( $\text{см}^3/\text{мин}$ )	++	+++	+++++	++++	+	+
Сила резания (F)	++	+	++++	+++	+	+
Потребляемая мощность	++	+	++++	++	+	+

+++++, ++++, +++ — высокое значение; ++ — нормальное значение; + — низкое значение

соких скоростей резания. В зависимости от метода достижимы высокие показатели удельного съема металла и низкие значения шероховатости обработанной поверхности. Для этой стратегии типичны низкие силы резания, малый разогрев инструмента и детали, малое образование заусенцев и получаемая высокая размерная точность детали. С HSM вы достигните большого удельного съема металла, и/или малой шероховатости, используя гораздо более высокие скорости резания по сравнению с обычной обработкой.

**Характеристики инструмента:** жесткий (толстый стержень и короткая режущая часть), свободное пространство для удаления стружки, покрытие.

**Требования к станку:** «быстрая» система ЧПУ, высокая частота вращения, быстрые перемещения по осям.

**Характерные применения:** обработка прессформ — получистовые и чистовые операции по упрочненным сталям (твердость 48–62 HRC), малое время обработки. Эта технология также применима для большинства других материалов при подборе правильного инструмента и режимов.

**Высокопроизводительная обработка (High performance machining, HPM).** Стратегия обработки, при которой достигается очень высокий удельный съем металла. Типичным для данного метода является то, что радиальная глубина резания ( $a_r$ ) равна диаметру фрезы ( $D_c$ ), а осевая глубина резания ( $a_p$ ) равна  $D_c$  или превышает его в полтора раза, в зависимости от материала заготовки. При HPM достигается чрезвычайно высокий удельный съем металла за счет значительно большей (по сравнению с обычной) толщины снимаемой стружки.

**Характеристики инструмента:** специально разработанные инструменты с формирующей канавкой для стружки, торец фрезы с радиусом или фаской при вершине  $45^\circ$ , специальная плавная стружечная канавка и покрытие, с хвостовиком типа Weldon или без него.

**Требования к станку:** высокая жесткость, высокая мощность, ЧПУ, жесткое крепление детали.



Рис. 1. Традиционные методы фрезерования и применяемый инструмент

**Область применения:** массовое производство, где большое значение имеет время изготовления изделия (время производственного цикла), а при штучном производстве, если требуется высокий удельный съем металла  $Q$  ( $\text{см}^3/\text{мин}$ ).

**Обработка на высоких подачах (High Feed Machining, HFM).** Технология, при которой высокие подачи могут достигаться при полном контакте диаметра инструмента ( $a_e = D_c$ ) в сочетании с малым  $a_p$ . При HFM вы достигаете высоких показателей съема металла и/или малую шероховатость, используя значительно большие подачи (больше обычных).

**Характеристики инструмента:** специальные передние зубья, очень короткая рабочая часть и покрытие.

**Требования к станку:** хорошая жесткость, ЧПУ, возможность высоких подач ( $vf$ ). Большое преимущество этой технологии в удобстве, простоте, безопасности и скорости программирования в CAM. Используя стратегию Z-обработки (обработка плоскости с последовательным врезанием при постоянной координате Z), относительно просто запрограммировать обработку сложных форм, не имея большого опыта программирования.

**Применение:** от мягких до упроченных сталей, титан и нержавеющая сталь — для предварительной обработки, перед применением обработки HSM. Также применяется для обработки глубоких карманов.

**Микрообработка.** Стратегия, при которой используются инструменты с исключительно малым диаметром.

**Характеристики инструмента:** диаметры от  $\varnothing 0,1$  мм до 2,0 мм, малая режущая часть, широкий диапазон переходных диаметров, высокая точность, покрытие.

**Требования к станку:** высокая точность шпинделя, высокая частота вращения, наличие ЧПУ, термостабильность.

**Применение:** обработка деталей с малыми пазами, выемками, карманами, отверстиями во многих типах материалов.

Перечисленные выше стратегии обработки могут комбинироваться как с базовыми (традиционными), так и с

более производительными методами фрезерования, получившими широкое применение относительно недавно.

**Фрезерование торцевыми фрезами** — операция, при которой передние зубья инструмента входят в контакт с обрабатываемой деталью и образуют плоскую поверхность. Характеристика обработки: небольшая осевая глубина резания  $a_p$  и большая радиальная глубина резания  $a_r$ .

**Обработка паза** — операция, при которой инструмент находится в контакте по всему диаметру,  $a_e$  равна  $D_c$  и  $a_p$  превышает  $D_c$  до полутора раз в зависимости от используемой стратегии обработки.

**Боковое фрезерование (Peeling)** — операция, при которой в контакте находятся периферийные кромки инструмента, большая  $a_r$  и маленькая  $a_e$ . **Объемное фрезерование** — операция, при которой инструмент находится в контакте по радиусу,  $a_p$  и  $a_e$  маленькие. Характеристика традиционных методов фрезерования приведена на рис. 1.

На современных станках при фрезеровании все более широкое применение находят более производительные обработки, такие как «Врезание под углом» (Рампинг), «Спиральное врезание под углом» (Круговая интерполяция), «Трохоидальная обработка», «Фрезерование с осевой подачей» (Plunge milling), «Реверсивная обработка» и «Плоскостная обработка при постоянной координате Z» (рис. 2).

**Врезание под углом** — формирование выемки, когда ось Z находится под углом.

**Спиральное врезание под углом** — формирование выемки круговыми движениями инструмента, когда ось Z находится под углом.

**Трохоидальная обработка** — формирование паза посредством бокового фрезерования, движения — частично круговые по оси X или Y (чередование обработки паза и бокового фрезерования).

**Реверсивная обработка** — обработка трехмерной поверхности посредством копирующих перемещений вверх-вниз по профилю формы.

**Врезное фрезерование** — формирование глубокого паза сверлением по оси Z).

**Плоскостная обработка при постоянной координате Z** — обработка поверхности посредством неглубокого сверления или врезания под углом по оси Z и последующее формирование выемки движениями по осям X и Y.

Рассмотрим некоторые практические примеры использования в производстве современных высокопроизводительных фрез и соответствующих стратегий и методов обработки.

**Боковое фрезерование (Peeling)** (рис. 1). Основная особенность метода заключается в том, что глубина резания в радиальном направлении выбирается минимальной, глубина резания в осевом направлении — максимальной, скорость резания в рассматриваемом случае выше средней. Для реализации метода наиболее подходит инструмент со спиральной режущей кромкой. Метод успешно применяется для обработки турбинных лопаток фрезами семейства «Минимастер», головками типа MM16-16019-B90A30-E06 F30M. При числе оборотов вращения шпинделя 8500 об/мин., минутной подаче 4000 мм/мин., радиальной глубине фрезерования 3–9 мм и осевой глубине 0,65 мм обработка позволяет получить величину профиля шероховатости обработанной поверхности 0,007 мм, что соответствует полированию. Машинное время обработки уменьшается в два раза при сравнении с традиционным методом.

**Высокоскоростная обработка (High speed machining)** (рис. 1). Отличительная черта стратегии — высокая скорость резания при небольшой глубине резания в осевом и в радиальном направлении, небольшая средняя

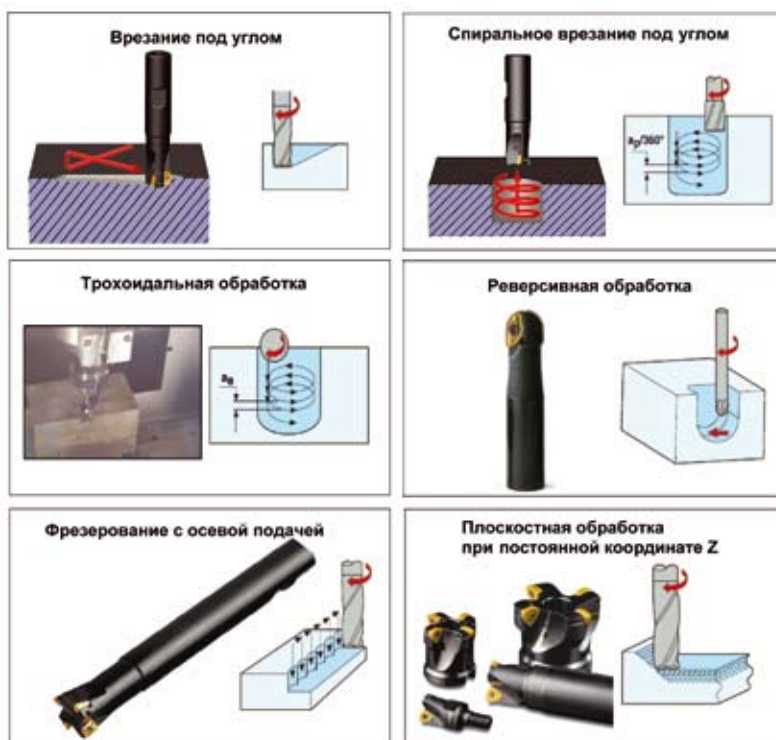


Рис. 1. Прогрессивные методы фрезерования и применяемый инструмент

толщина стружки. Типичный пример — цельные твердосплавные фрезы семейства «Торнадо». Так, проводили обработку пуансона из стали ХВГ твердостью HRC 45–48 фрезами из этого семейства  $\varnothing$  6–12 мм типа JH130160-MEGA, JH130080-MEGA, JH150060-MEGA. При этом скорость резания находилась в пределах 140–150 м/мин. Фрезерование производили на станке Mazak Variaxis 730.

**Обработка с большими подачами (High feed machining)** (рис. 1). Один из наиболее производительных методов обработки. Главная особенность — большая величина подачи, небольшая глубина и высокая скорость резания, что достигается специальной геометрией режущей кромки. Такая геометрия реализована в широком диапазоне диаметров от 1 до 208 мм, от цельных твердосплавных фрез, фрез «минимастер» до инструмента со сменными пластинами семейства R227.21. Так, обработка закаленной стали твердостью HRC56 (по классификации Seco группа обрабатываемости № 7) производится при скорости резания 195 м/мин, минутной подаче 4000 мм/мин (подача на зуб 0,53 мм/зуб). Глубина резания — 0,3 мм. Фреза R217.21-2525.0-R100.3,  $\varnothing$  25 мм. Используется пластина 218.19-100T-MD08 из твердого сплава F15M. Эффективна также новая вставка «Минимастер» для обработки с большими подачами. Она выпускается  $\varnothing$  10–16 мм. Например, при обработке глубокого

кармана детали твердостью HRC54 фрезой MM10-10045.0-007 использовалась вставка MM10-10.50-HF-MD08 F15M на режиме резания: скорость резания — 200 м/мин, подача на зуб — 0,5 мм. Такой способ фрезерования сегодня применяется для обработки формообразующей оснастки.

**Осевое фрезерование (Plunge milling)** (рис. 2). Отличительная черта этого метода — направление подачи инструмента, совпадающее с его осью. Метод наиболее эффективен при больших вылетах инструмента или для малоомощного оборудования. Скорость резания — средняя. Метод

применим для черновых операций, в т. ч. труднообрабатываемых материалов. Так, при обработке детали из легированной стали (группа обрабатываемости № 4 по классификации Seco) использовали фрезу R217.69-3232.3-12-4A с четырьмя пластинами XOMX120408TR-ME08. Обработку производили на скорости резания 200 м/мин, глубина резания — 6 мм, ширина фрезерования — 32 мм. При подаче на зуб 0,15 мм/зуб получали минутную подачу 1194 мм/мин. Метод хорошо показал себя и при обработке хвостовиков лопаток фрезами семейства «Минимастер» с использованием головок типа MM12-12008-R10-PL-MD05 F30M. В результате применения метода производительность возрастает, в среднем, в 1,5–3 раза по сравнению с традиционными методами.

Таким образом, компания SECO TOOLS AB предлагает широкую гамму фрез, которые позволяют максимально эффективно применять те или иные стратегии и методы обработки, а также способны удовлетворить самые высокие запросы клиентов по качеству и производительности инструмента.

Алексей Никоноров, к.т.н., инженер-консультант компании