

Анализ технологических методов фрезерования отверстий и карманов
в деталях ГТД

А. С. Свиридов

Московский авиационный институт

(национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия

В работе рассматриваются современные методы фрезерования отверстий и карманов. Представлены их преимущества и недостатки для производства деталей ГТД. Содержится оценка применимости данных методов в условиях промышленных предприятий и возникающий при подготовке производства технический риск.

Ключевые слова: Методы фрезерования, инструмент, технология, производство ГТД, технический риск, подготовка производства

Фрезерование (фрезерная обработка) — это механическая обработка резанием плоскостей, пазов, лысок, при которой режущий инструмент (фреза) совершает вращательное движение (со скоростью V), а обрабатываемая заготовка — поступательное (со скоростью подачи S). Различные виды фрезерования отверстий и карманов [1, 2] приведены на рис. 1.

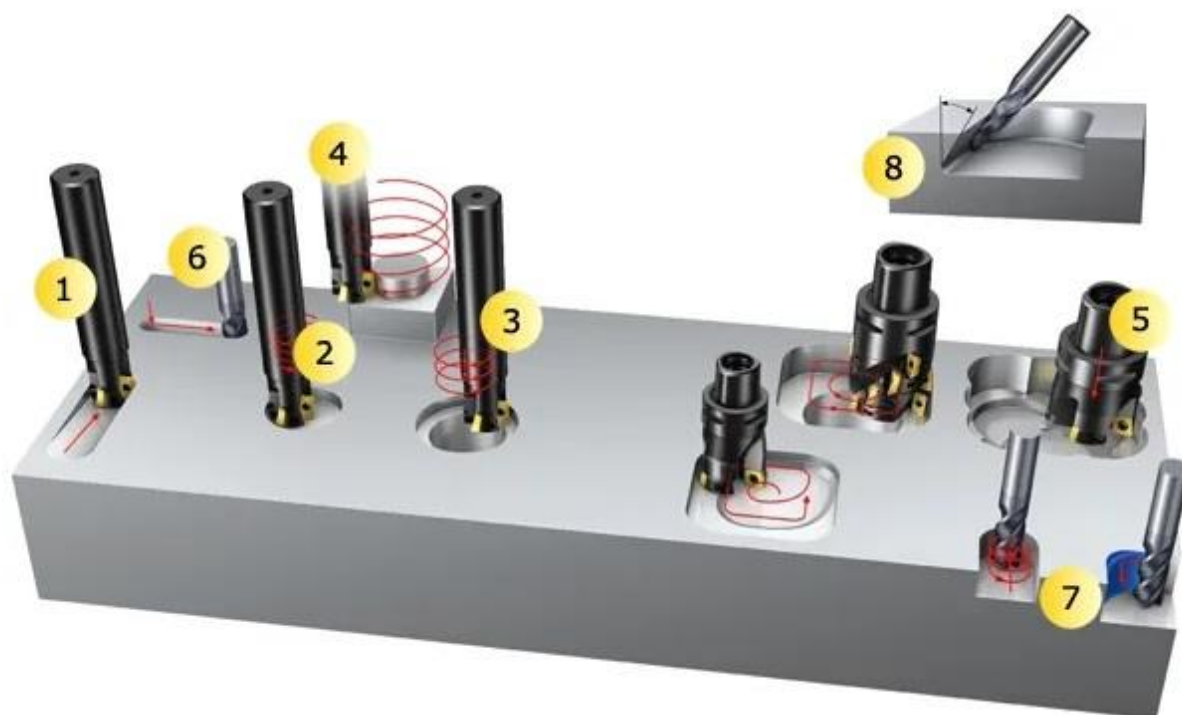


Рисунок 1 – Виды фрезерования отверстий и карманов

Существующий опыт говорит о том, что с точки зрения промышленного предприятия необходимо повышение качества [3, 4] выпускаемой продукции и, принимая во внимание особенности используемых материалов, исключение не-

которых нежелательных технологий и методов [5 - 7] из производственного процесса деталей ГТД.

Рассмотрим подробнее виды фрезерования отверстий и карманов.

1. Линейное фрезерование с врезанием под углом (по двум осям).

Принцип линейного врезания под углом (рис. 2) заключается в одновременном перемещении инструмента по оси Z и в одном из радиальных направлений (X или Y), то есть врезание по 2-м осям. Плюс данного метода заключается в исключении необходимости предварительного сверления.

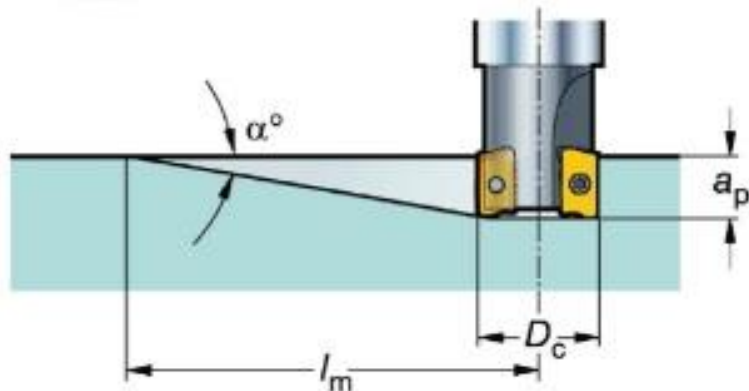


Рисунок 2 – Линейное врезание под углом

2. Винтовая интерполяция (рис. 3) – это техника фрезерования, которая может быть удобной альтернативой сверлению, когда речь идет о выполнении отверстий на фрезерных станках ЧПУ. Одновременное перемещение фрезы по трем координатам X , Y , Z с врезанием под углом используется для обработки выборок и карманов. Данный метод- альтернатива сверлению с последующим растачиванием.

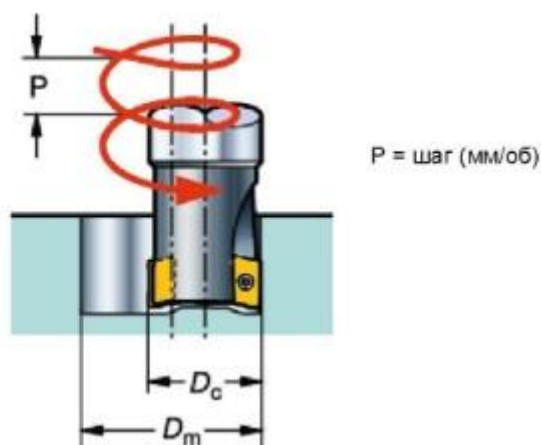


Рисунок 3 – Винтовая интерполяция

3. Расфрезеровывание отверстия.

Увеличение существующего отверстия может осуществляться как круговой интерполяцией с врезанием под углом, так и круговым расфрезеровыванием (рис. 4).

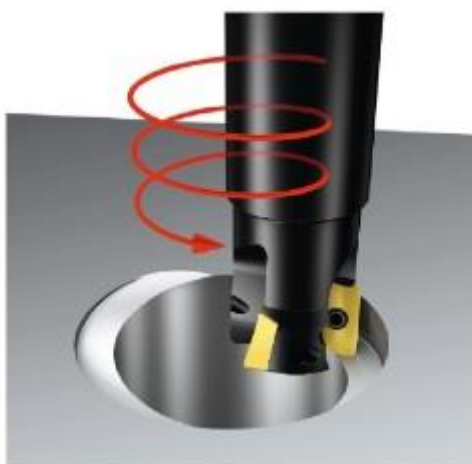


Рисунок 4 – Расфрезеровывание существующего отверстия

Метод круговой интерполяции является альтернативой использованию традиционного расточного инструмента. Круговую интерполяцию можно применять, используя большинство фрез с углом в плане 90 градусов совершая кольцевой проход.

4. Наружная круговая или винтовая интерполяция.

В сравнении с внутренней винтовой интерполяцией:

- Минутная подача центра фрезы v_f , вместо снижения должна увеличиваться.
- Радиальная глубина резания a_e , при наружном фрезеровании становится очень небольшой, при этом есть возможность повышения скорости резания.
- h_{ex} рассчитывается аналогично как для контурного фрезерования.
- Методика программирования очень схожа с методикой для внутреннего расфрезерования отверстий.

5. Плунжерное фрезерование.

При плунжерном фрезеровании (рис. 5) обработка осуществляется не периферийной, а торцевой частью инструмента, при этом преобладают преимущественно осевые, а не радиальные усилия резания.

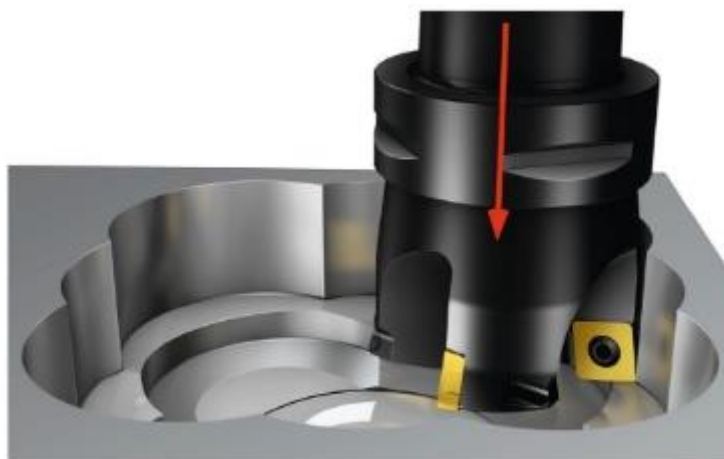


Рисунок 5 – Плунжерное фрезерование

Плунжерное фрезерование применяется, когда традиционные методы не возможны из-за чрезмерных вибраций. Так, например:

- При вылете инструмента больше чем $4xD_c$.
- При нежесткой системе.
- Для полустойковой обработки в углах.
- Для труднообрабатываемых материалов, таких как титан.

Данный метод также является альтернативой при ограниченной мощности и крутящем моменте.

6. Фрезерование с осевым врезанием.

Метод фрезерования с врезанием под углом (одновременно по 2-м осям) имеет преимущество перед методом фрезерования с осевым врезанием (рис. 6).



Рисунок 6 – Метод фрезерования с врезанием под углом (одновременно по 2-м осям)

Фрезерование с осевым врезанием может рассматриваться как альтернативный метод, при котором наблюдается неудовлетворительное стружкодробление и возникновение нежелательных вибраций инструмента.

Традиционно используемым и наиболее быстрым методом получения отверстия является сверление, но при обработке ряда материалов стружкодробление при сверлении затруднено. Кроме этого, требуется большое количество переналадок для обработки отверстий различного диаметра и некруглой формы.

Винтовое врезание под углом (одновременно по 3-м осям) по сравнению со сверлением имеет меньшую производительность, но является предпочтительным методом обработки в случае:

- Обработки отверстий большого диаметра на станках с небольшой мощностью.
- Мелкосерийного производства. Опытным путём доказано, что для отверстий диаметром более 25 мм экономически эффективно применять расфрезерование вплоть до серии из 500 отверстий.

7. Фрезерование с малой шириной контакта

Данные методы обработки были разработаны для чернового и получернового фрезерования труднообрабатываемых материалов [7], такие как закаленные стали и жаропрочные сплавы, но могут использоваться и при работе с повышенным риском возникновения вибраций (рис. 7).

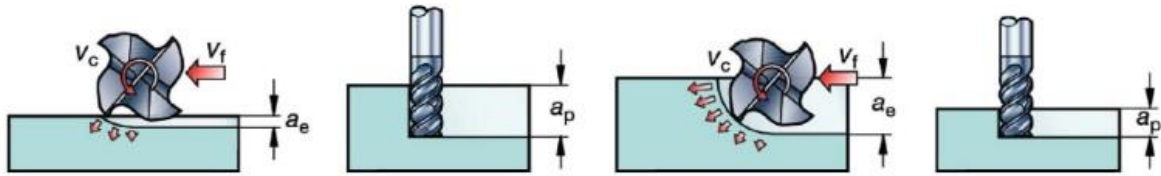


Рисунок 7 – Фрезерование с малой шириной контакта

Характеризуется высокой скоростью резания v_c , большей осевой глубиной резания a_p , но крайне малой шириной резания a_e и невысокой подачей на зуб f_z . Для процесса являются характерными следующие факторы:

- Небольшая толщина стружки.
- Небольшая длина прохода.
- Снижение усилий резания, отжима инструмента.
- Снижение температуры в зоне резания.
- Увеличение глубины резания.
- Повышение скорости резания.

8. Фрезерование острых углов и закрытых карманов.

Фрезерование с малой шириной контакта – получистовая операция, используемая для снятия припуска в углах который невозможно снять инструментом большего диаметра, примененного для предварительной обработки.

В отличие от трохoidalного фрезерования не требуется входа в резание по касательной так как процесс резания начинается с нулевого значения припуска которое в середине резания достигает максимума и затем вновь уменьшается вплоть до нуля. Многопроходная стратегия успешно применяется для эффективного съема металла обеспечивает постоянно малое значение радиального заглабления угла в плане и низкие усилия резания.

Выбор предпочтительного варианта рассмотрим на примере (рис. 8).

Рекомендации:

- Уменьшение подачи в углах также как и при контурной обработке радиуса значение подачи центра инструмента v_f должно быть уменьшено по сравнению с подачей периферийной части инструмента v_{fm} для обеспечения постоянной величины подачи на зуб.
- В отличие от линейного резания при высокой подаче глубина резания может превысить допустимое значение. Это зависит от диаметра круговой траектории перемещения фрезы по отношению к радиусу угла.
- Тем не менее разница между диаметром круговой траектории перемещения фрезы D_{vf} и диаметром отверстия D_m по мере приближения к окончательному размеру угла постоянно увеличивается. Это означает, что для

каждого прохода необходимо последовательно уменьшать подачу. Процесс становится менее стабильным и возникают вибрации.

- Для успешного применения метода обработки в углах необходим станок с хорошей динамической стабильностью и функцией контроля за снижением подачи центра инструмента.



Рисунок 8 – Пример выбора метода обработки

Винтовое врезание (одновременно по трём осям) является менее производительным методом, чем сверление отверстий, однако оно может стать хоро-

шей альтернативой в следующих случаях:

- Обработка отверстий большого диаметра при ограниченной мощности станка.
- Мелкосерийного производство.
- Обработка отверстий с широким диапазоном размеров.
- Ограничение числа позиций в инструментальном магазине для хранения множества свёрл различного размера.
- Обработка глухих отверстий с плоским дном.
- Обработка нежестких тонкостенных деталей.
- Прерывистое резание.
- Обработка материалов, при сверлении которых возникают проблемы с дроблением и эвакуацией стружки.
- Отсутствие возможности подвода СОЖ.
- Фрезерование выборок или карманов.

Окончательный выбор наиболее предпочтительного технологического метода в каждом случае остаётся на усмотрение конкретного исполнителя – промышленного предприятия по определению находящихся в условиях технических рисков [8 - 10] с учётом возможных последствий изменений при подготовке производства [11, 12].

Библиографический список

1. Руководство по металлообработке Sandvik coromant: [Электронный ресурс]. URL: <https://sandvik.com> (дата обращения 16.03.2022).
2. Каталог профессионального инструмента Norgau: [Электронный ресурс]. URL: <https://norgau.com> (дата обращения 16.03.2022).
3. Высоцкая, В. И. Повышение качества продукции авиапрома / В. И. Высоцкая, С. Б. Маликов // Восьмой международный аэрокосмический конгресс. Тезисы докладов. – 2015. – С. 199–200.
4. Высоцкая, В. И. Анализ факторов, определяющих качество продукции авиационной промышленности / В. И. Высоцкая, С. Б. Маликов, Т. В. Токмакова // Авиационная промышленность. – 2021. – № 2. – С. 51–53.
5. Высоцкая, В. И. Влияние электрофизических методов обработки на свойства КМ на основе высокотемпературных карбидов с металлическими наполнителями / В. И. Высоцкая, С. Б. Маликов, Т. В. Токмакова // Авиационная промышленность. – 2018. – № 2. – С. 41–43.
6. Бойцов, А. Г. Влияние режимов электроэрозионного фрезерования на производительность прошивки отверстий малого диаметра в деталях ГТД / А. Г. Бойцов, Т. В. Токмакова, В. И. Высоцкая, С. Б. Маликов // Авиационная промышленность. – 2018. – № 3-4. – С. 35–37.
7. Бойцов, А. Г. Воздействие электроэрозионного фрезерования на обработку деталей ГТД из титановых сплавов / А. Г. Бойцов, Т. В. Токмакова, В. И. Высоцкая, С. Б. Маликов // Авиационная промышленность. – 2019. – № 1. – С. 45–47.
8. Маликов, С. Б. Риски параллельного выполнения работ конструктор-

ско-технологической подготовки опытного производства авиационных двигателей / С. Б. Маликов, В. Н. Юрин // Пятая Всероссийская научно-практическая конференция «Применение ИПИ-технологий в производстве». Труды конференции. – Москва : ИЦ «МАТИ»–РГТУ им. К.Э. Циолковского, 2007. – С. 117–118.

9. Юрин, В. Н. Менеджмент рисков параллельного выполнения работ при конструкторско-технологической подготовке опытного производства деталей авиадвигателей / В. Н. Юрин, С. Б. Маликов // Технология машиностроения. – 2012. – № 3. – С. 54–59.

10. Юрин, В. Н. Исследование документооборота при проектировании приспособлений на двигателестроительном предприятии / В. Н. Юрин, С. Б. Маликов // Авиадвигатели XXI. II Международная научно-техническая конференция, 2005. – С. 330–331.

11. Маликов, С. Б. Метод анализа технического риска при организации подготовки опытного производства деталей: дисс. ... канд. техн. наук. - М.: МАТИ, 2012. – 195 с.

12. Маликов, С. Б. Оценка последствий внесения изменений документов конструкторско-технологической подготовки производства в условиях параллельного выполнения работ / С. Б. Маликов, В. Н. Юрин // Шестая Всероссийская научно-практическая конференция «Применение ИПИ-технологий в производстве». Труды конференции. – Москва : ИЦ «МАТИ»–РГТУ им. К.Э. Циолковского, 2008. – С. 75–76.