

УДК 621.9.06: 658.512

Анализ технологических методов обработки наружных цилиндрических поверхностей применительно к деталям ГТД

А. Ю. Зуев

Московский авиационный институт

(национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия

Работа посвящена изучению современных технологических методов обработки наружных цилиндрических поверхностей, встречающихся в деталях ГТД. Рассматриваются различные схемы обработки цилиндрических поверхностей деталей. Приводятся рекомендации с учётом производительности технологических методов обработки. Оценивается применимость данных методов в условиях промышленных предприятий и возникающий при подготовке производства деталей ГТД технический риск.

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

Наружные и внутренние цилиндрические поверхности и прилегающие к ним торцы образуют детали типа тел вращения. Детали – тела вращения делят на три типа в зависимости от соотношения длины детали L к наибольшему наружному диаметру D .

При $L/D > 1$ это валы, оси, шпиндели, штоки, шестерни, гильзы, стержни и т. п.; при $2 > L/D > 0,5$ включительно – втулки, стаканы, пальцы, барабаны и др.; при $L/D < 0,5$ включительно – диски, кольца, фланцы, шкивы и т.п.

Классификация методов обработки и достижимой точности наружных цилиндрических поверхностей [1] показана в табл. 1.

Таблица 1

Наружные цилиндрические поверхности

| $L/D = 2$ $D = 2$ | | $2 = L/D > 0,5$ $> 0,5$ | | $L/D = 0,5$ $D = 0,5$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|----------|-------------------------|------------|-----------------------|----------------------|-------|---------------------|-------|-----------|----|----|----|----|----|----|-------|-----------|-------|-----------|-------|------------|-------|-------------|-------|------------|-------|------------|
| Основные методы и виды обработки | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Точение | | | Шлифование | | Отделочная обработка | | Обработка давлением | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| IT | Ra | IT | Ra | IT | Ra | IT | Ra | IT | Ra | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | IT | Ra | IT | Ra | IT | Ra | | | | | | | | | | | | |
| 14...12 | 50 / 2,5 | 13...11 | 25...3,2 | 10...8 | 6,3...1,6 | 8...7 | 1,6...0,4 | 9...8 | 6,3...0,4 | | | | | | | 7...6 | 1,6...0,4 | 6...5 | 1,6...0,1 | 5...4 | 0,4...0,08 | 5...3 | 0,16...0,01 | 5...3 | 0,1...0,01 | 4...3 | 0,1...0,01 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

По этой таблице можно определить предельные значения квалитетов и параметров шероховатости Ra в зависимости от вида и способа обработки заготовок, имеющих наружные цилиндрические поверхности.

Для деталей из чугуна или цветных сплавов допуски на размер можно принимать на один квалитет точнее.

Вместе с этим необходимо учитывать, что в условиях промышленного предприятия одной из первоочередных задач является обеспечение должного уровня качества выпускаемой продукции [2, 3]. Также следует учитывать разнообразие и специфику используемых материалов, потребность и, в тоже время, возможные ограничения определённых технологий и методов [4 - 6] производственного процесса создания деталей ГТД.

1. Точение цилиндрических поверхностей.

Детали, имеющие поверхности вращения (цилиндрические, наружные, фасонные, цилиндрические внутренние и др.) обрабатывают на различных станках:

- токарной группы (токарно-винторезные, токарно-карусельные, токарно-револьверные,
- одношпиндельные и многошпиндельные полуавтоматы и автоматы, станки для тонкого точения и др.);
- шлифовальной группы (круглошлифовальные, бесцентрово-шлифовальные, притирочные, полировальные и т.п.).

Станки этих групп применяют как обычные, так и с числовым программным управлением (ЧПУ). Наиболее распространенным методом обработки цилиндрических наружных поверхностей является точение резцом (резцами). При установке и обработке длинных заготовок валов, осей, стержней и т. п. в качестве дополнительной опоры, повышающей жесткость технологической систе-

мы, применяют люнеты (подвижные и неподвижные). Для точения цилиндрических поверхностей и поверхностей, прилегающих к ним и ограничивающих их длину (торцы, уступы, канавки, радиусы и т.п.), применяют проходные, подрезные (прямые и отогнутые), отрезные, канавочные и другие резцы с напайными пластинами из быстрорежущей стали или твердых сплавов и композиционных материалов.

При токарной обработке различают:

- черновое точение (или обдирочное) – с точностью обработки IT13...IT12 с шероховатостью поверхности до $Ra = 6,3$ мкм;
- полуступовое точение – IT12...IT11 и шероховатость до $Ra = 1,6$ мкм;
- чистовое точение – IT10...IT8 и шероховатость до $Ra = 0,4$ мкм.

При черновом обтачивании, как и при любой черновой обработке снимают до 70 % припуска. При этом назначаются максимально возможные глубина резания t и подача S .

На черновых операциях повышения производительности обработки добиваются увеличением глубины резания (уменьшением числа рабочих ходов), а также подачи.

На чистовых операциях подача ограничивается заданной шероховатостью поверхности, поэтому сокращение основного времени возможно за счет увеличения скорости резания. На универсальных токарно-карусельных станках обрабатывают заготовки деталей типа тел вращения разнообразной формы диаметром до 10 000 мм.

Различают несколько схем точения заготовок на станках токарной группы (рис. 1 – рис. 4).

- Одноместная последовательная и параллельная обработка.
- Параллельно-последовательные схемы имеют место при одновременной обработке нескольких поверхностей заготовки и в нескольких позициях последовательно; при этом заготовка или инструменты меняют позиции путем поворота инструментального блока.
- Многоместные схемы могут осуществляться в двух вариантах: параллельном и последовательном. В многоместных схемах с одновременной установкой операционной партии время обработки заготовки определяется путем деления общих затрат времени на число заготовок в операционной партии. На обработку одной заготовки в этом случае приходится меньше времени, чем в случае одноместных схем. В многоместных схемах время часто существенно сокращается за счет времени врезания и сбегания инструмента. Время при установке операционной партии несколько возрастет, но на одну заготовку оно значительно меньше, чем в одноместных схемах.

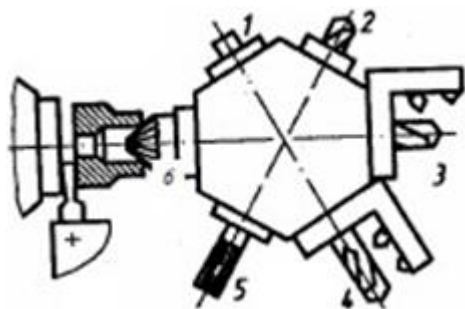


Рисунок 1 – Параллельно-последовательная схема обработки одним инструментом

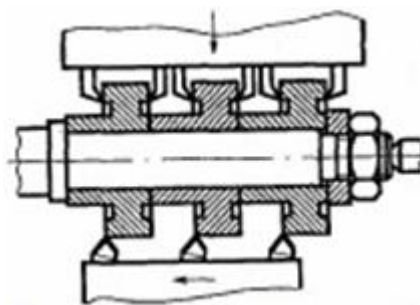


Рисунок 2 – Многоинструментальная обработка

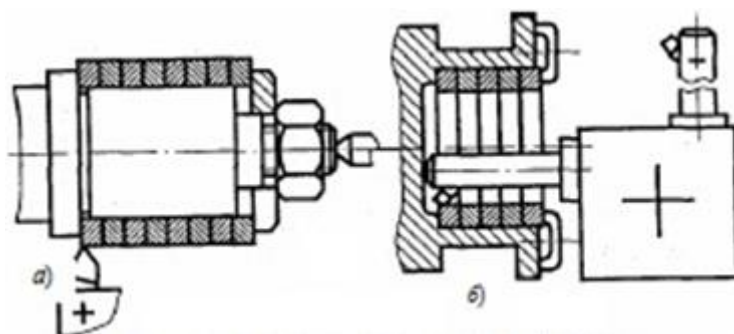


Рисунок 3 – Многоместная последовательная обработка: а – одним; б – несколькими инструментами

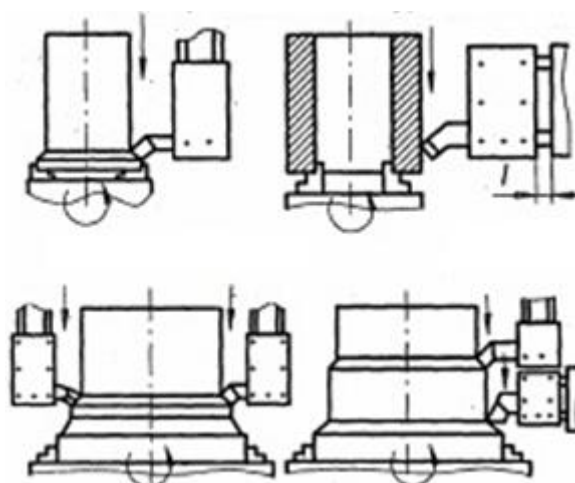


Рисунок 4 – Схемы обработки на токарно-карусельных станках

К методам чистовой обработки относятся: тонкое точение и различные методы шлифования. Они, как правило, позволяют обеспечить требуемые точность размеров, формы, взаимного расположения и, в большинстве случаев, качество поверхностного слоя.

Тонкое точение применяется, главным образом, для отделки деталей из цветных металлов и сплавов (бронза, латунь, алюминиевые сплавы и другие) и отчасти для деталей из чугуна и закаленных сталей (HRC 45...60). Объясняется это тем, что шлифование цветных металлов и сплавов значительно труднее, чем стали и чугуна, вследствие быстрого засаливания кругов. Кроме того, имеются некоторые детали, шлифование которых не допускается из-за возможного

шаржирования поверхности. Тонкое точение обеспечивает получение наружных цилиндрических поверхностей вращения правильной геометрической формы с точным пространственным расположением осей и является высокопроизводительным методом. При тонком точении используются алмазные резцы или резцы, оснащенные твердым сплавом (ТЗОК4, синтетические сверхтвердые материалы типа оксидная керамика ВОК60 и оксидно-нитридная керамика "кортинит" гексанит-Р, эльбор-Р). Тонкое точение характеризуется незначительной глубиной резания ($t = 0,05 \dots 0,2$ мм), малыми подачами ($S = 0,02 \dots 0,2$ мм/об) и высокими скоростями резания ($v = 120 \dots 1000$ м/мин). Точность размеров IT5...IT6; Ra = 0,8...0,4 мкм. Подготовка поверхности под тонкое точение сводится к чистовой обработке с точностью IT8...IT9. Весь припуск снимается за один рабочий ход. Применяются станки особо высокой точности, жесткости и виброустойчивости. На этих станках не следует выполнять другие операции.

2. Шлифование наружных цилиндрических поверхностей.

Различают черновое и чистовое шлифование [7]. При черновом шлифовании снимают 80-90% припуска с малой затратой времени, поэтому при черновом шлифовании применяют крупнозернистые и твердые круги. Режимы шлифования выбирают более высокие: продольная подача - 0,5...0,7 ширины круга, поперечная подача - 0,01...0,08 мм на один оборот детали. К шероховатости шлифуемой поверхности особо высоких требований не предъявляется, но прижогов и шлифовочных трещин не должно быть.

После чернового шлифования припуск на окончательное шлифование снимается более мелкозернистыми кругами меньшей твердости при пониженных режимах: продольная подача - 0,25...0,3 ширины круга, поперечная подача - 0,005...0,010 мм/об.

Выключив поперечную подачу после прекращения искрения при крайнем положении стола, шлифовальный круг отводят от детали. Продольное перемещение стола выключают после отвода круга.

При наружном шлифовании на круглошлифовальных станках применяются следующие способы шлифования:

- продольными проходами,
- установленным кругом,
- врезанием,
- уступами.

При способе шлифования продольными проходами стол с вращающейся деталью совершает продольное движение до встречи с упором, переключающим его движение в обратную сторону. В момент переключения скорость стола равна нулю, в этот же момент осуществляется поперечная подача, т. е. перемещение круга к детали. Поперечная подача может производиться либо в конце каждого хода стола, либо тогда, когда деталь находится в крайнем правом положении, т. е. после двойного хода стола. Упор необходимо устанавливать так, чтобы круг не сходил с детали, так как в противном случае ее края будут завалены. Если же круг недостаточно перекрывает края детали, то размер на концах детали получается выше, чем в середине. При правильно установленных упорах переключение направления движения стола происходит в процессе схода круга

за край детали на $1/3$ своей ширины.

Способом продольных проходов шлифуют главным образом детали большой длины.

При шлифовании установленным кругом, или глубинным способом, весь припуск, составляющий обычно $0,1...0,3$ мм на сторону, снимается за один проход при небольшой продольной подаче (рис. 5). Величину продольной подачи подбирают так, чтобы при возможно большем значении ее в момент отключения продольной подачи и отвода стола искрения не было.

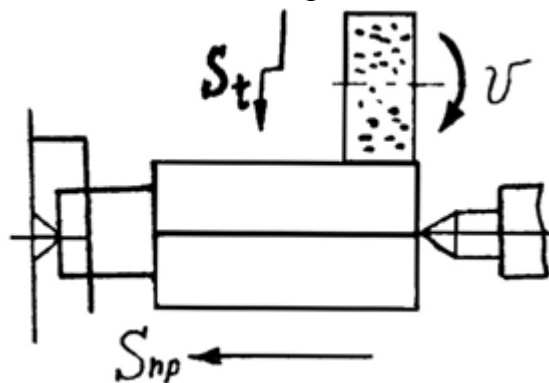


Рисунок 5 – Шлифование продольными проходами

При глубинном шлифовании (рис. 6) подача осуществляется только в одну сторону. После того как очередная деталь прошлифована, стол возвращается в исходное положение для установки следующей детали. При этом положение шлифовальной бабки остается неизменным.

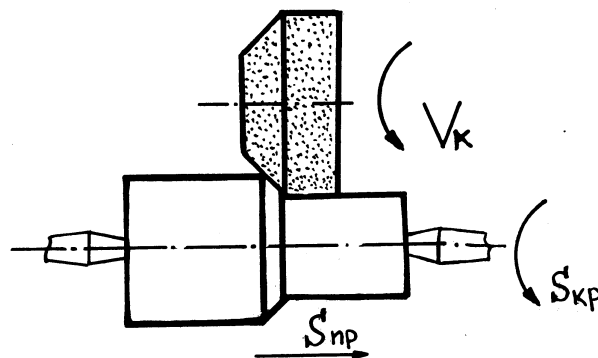


Рисунок 6 – Схема глубинного шлифования цилиндрических поверхностей

Такой метод шлифования обеспечивает постоянство размеров прошлифованных деталей, позволяет производить выборочный замер деталей. Условия резания при глубинном шлифовании более благоприятные и нагрев детали меньше, чем при шлифовании продольными проходами.

В настоящее время способ глубинного шлифования получил большое распространение, и новаторы-шлифовщики продолжают его совершенствовать.

Для заправки заходной стороны круга рекомендуются сложные устройства, на установку и снятие которых требуется много времени.

Шероховатость шлифуемой поверхности зависит от состояния цилиндрической части круга. В процессе шлифования она постепенно срабатывается и, когда ее ширина достигнет $6...8$ мм, на шлифованной поверхности появляется

спиральная полоска, указывающая на необходимость правки круга.

Если припуск на шлифование превышает 0,3 мм на сторону, то для глубинного шлифования применяют ступенчатую заправку круга или заправку удлиненным конусом.

При ступенчатой заправке разность диаметров ступеней круга составляет 0,4...0,5 мм. При заправке удлиненным конусом угол заправки берется от 1°30' до 1°45'.

В отдельных случаях применяют шлифование двумя рядом установленными кругами, причем круг для обдирки берут с более крупным зерном и большей твердостью, чем круг для чистового шлифования. Для удобства заправки первого круга между кругами устанавливается прокладка толщиной 5...6 мм. При глубинном способе шлифования требуется полный вывод круга со шлифуемой детали. Но в отдельных случаях этим способом можно шлифовать детали, у которых обрабатываемая цилиндрическая поверхность граничит с буртиком. В этом случае круг подводится к буртику до начала искрения и затем поперечной подачей при неподвижном столе шлифуют деталь до нужного размера. После выхаживания до прекращения искрения начинают продольную подачу стола от буртика до полного схода круга с детали. Чтобы приступить к обработке следующей детали, необходимо круг отвести назад. Таким образом сочетается глубинный способ шлифования со способом врезания.

Отметим, что происходящая в условиях промышленного предприятия подготовка производства сопряжена с вероятными изменениями, проявляющимися в виде технических рисков [8, 9] и наступления последствий от них [10 - 12] оказывающих влияние в целом на создание деталей ГТД.

Упомянутый технический риск, возникающий на промышленных предприятиях, как показано в работах [2, 11] и системно в работе [9], в известной степени оказывает влияние, проявляющееся в сдерживании выпуска конкурентоспособной продукции в сжатые сроки применительно к деталям ГТД.

Библиографический список

1. Методы обработки наружных цилиндрических поверхностей: [Электронный ресурс]. URL: <https://m.vuzlit.ru/953286> (дата обращения 18.03.2022).
2. 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.
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. 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.
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 // Авиацион-

ная 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. Шлифование наружных цилиндрических поверхностей: [Электронный ресурс]. URL: <https://hon1.ru/?p=1191> (дата обращения 18.03.2022).

8. 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.

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

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. Риски параллельного выполнения работ конструкторско-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.

12. 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.