

УДК 621.452.3

В.А. ПАНАСЕНКО¹, А.Я. КАЧАН², В.Ф. МОЗГОВОЙ¹¹ОАО «Мотор Сич», Запорожье, Украина²Запорожский национальный технический университет, Запорожье, Украина

ОПЫТ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОТОЧНЫХ ОТВЕРСТИЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Представлены результаты экспериментальных исследований технологии обработки высокоточных отверстий в авиационных дисках на современных обрабатывающих станках с ЧПУ фрезерной группы. Предлагаемая инструментальная оснастка одностороннего резания с механическим креплением твердосплавных пластин обеспечивает высокую производительность и стойкость режущего инструмента. Проведенные исследования показали значительное повышение эффективности обработки при использовании прецизионных расточных оправок с механическим креплением твердосплавных пластин. Рекомендуемые режимы обработки обеспечили устойчивый процесс резания, необходимые шероховатость и качество обработанных отверстий.

Ключевые слова: авиационный двигатель, диск, расточная оправка, станок с ЧПУ, корпус оправки, твердосплавная пластина, инструментальный блок, шероховатость

Введение

Современные конструкции авиационных двигателей и совершенствование их характеристик обуславливают поиск новых методов обработки и решения актуальных технологических задач. К наиболее нагруженным и трудоёмким в изготовлении деталям ГТД относят диски, подвергаемые в процессе эксплуатации действию центробежных сил и вибрационных нагрузок. Диски изготавливают из жаропрочных и титановых сплавов. Разрушение дисков компрессора происходит из-за появления коррозии и трещин усталости на поверхности полотна в зонах действия максимальных напряжений, возникающих от центробежных сил и вибрационных нагрузок [1]. Появление трещины усталости может совпадать с риском от механической обработки, расположенной на радиусной поверхности сопряжения поверхности диафрагмы и образующей отверстия. Наиболее интенсивное накопление деформаций происходит в зонах концентрации напряжений – отверстиях, пазах, выступах замкового соединения. Часть из них может явиться очагом зарождения трещин усталости, приводящим к разрушению диска [1].

В ободной части дисков и в области ступицы расположены крепёжные отверстия, являющиеся зоной концентрации напряжений. Технология получения отверстий оказывает решающее влияние на сопротивление усталости, а также на длительную прочность дисков. Обеспечение высокой надёжности и долговечности является важнейшим требованием, предъявляемым к дискам газотурбинных двигателей [2].

Цель работы: определение влияния режимов резания и условий обработки на качество получения основных отверстий в дисках авиационных двигателей методом растачивания современным режущим инструментом. Основными критериями выбора являются заданные параметры точности, надёжности и производительности технологического процесса.

Результаты экспериментальных исследований

Диски компрессора выполнены из жаропрочных и титановых сплавов. Это оказывает существенное влияние на методы получения основных отверстий. Наличие крепёжных отверстий в ободной части дисков обусловлено конструкцией компрессора и является характерной особенностью этого класса деталей (рис. 1).

Шероховатость обработанных поверхностей определяется кинематикой процесса резания, пластической и упругой деформациями обрабатываемого материала, а также вибрациями режущего инструмента.

Основным критерием несущей способности дисков компрессора является сопротивление усталостному разрушению межпазовых выступов, отверстий и галтелей, как основному виду повреждаемости дисков, которое существенно зависит от состояния поверхностного слоя [3] (рис. 2).

Для финишной обработки полотна дисков применяют обработку в псевдожизненном слое абразива (ПСА). Для уменьшения и выравнивания напряжённо-деформированного состояния и повышения стабильности механических свойств детали после механической обработки рекомендован отжиг в вакууме.

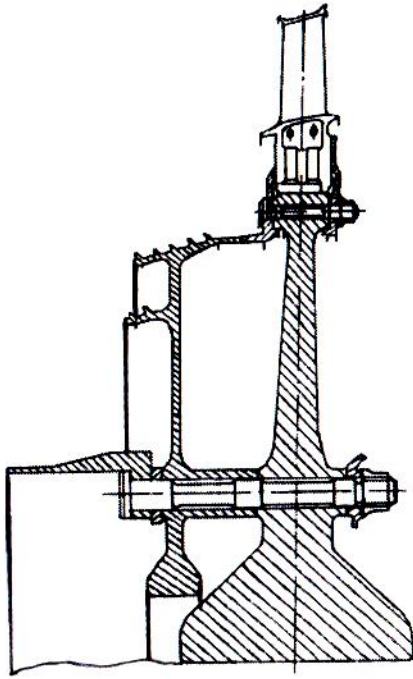


Рис. 1. Соединение лабиринтного и основного диска ГТД



Рис. 2. Межпазовые выступы диска

Применение последующей УЗУ значительно улучшает свойства поверхностного слоя и повышает характеристики выносливости детали [2].

Применение алмазного выглаживания предусматривает получение более благоприятных и стабильных свойств поверхностного слоя за счёт пластической деформации и получения сжимающих напряжений в поверхностном слое детали, позволяющих повысить надёжность и ресурс дисков компрессора [2].

Разработанные и внедрённые методы упрочнения дисков характерны для видимых поверхностей. В то же время, технология получения высокоточных отверстий малого диаметра с заданными параметрами является сложной технологической задачей.

Сложность обусловлена конструкторскими требованиями к точности расположения и необходимой шероховатости внутренней поверхности от-

верстий (рис. 3) – при допуске $0,02 \pm 0,03$ мм шероховатость отверстия $Ra=1,6$ мкм.



Рис. 3. Отверстия на ободной части дисков

Качество обработанных отверстий существенным образом влияет на эксплуатационные свойства детали. Устанавливаемые стяжные болты в дисках имеют точное сопряжение в отверстиях, что обуславливает необходимость точной обработки и достижения низкой шероховатости (рис. 4).

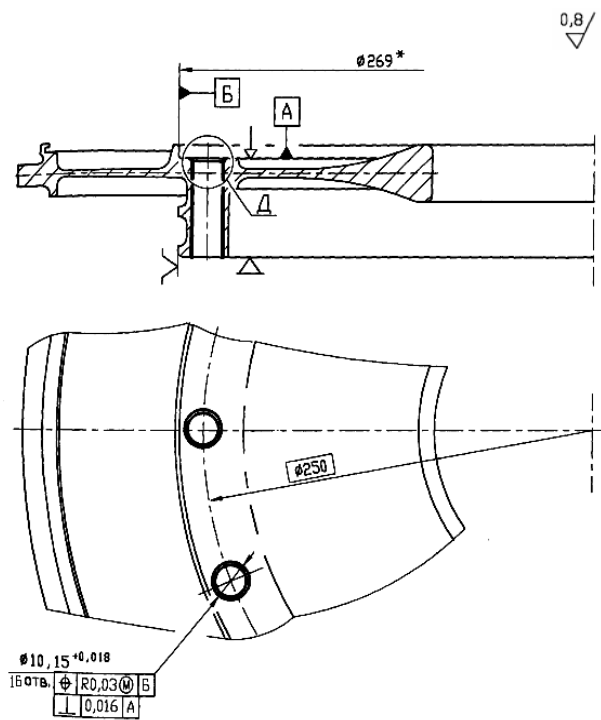


Рис. 4. Эскиз обрабатываемой детали

Наибольшую технологическую сложность представляет обработка отверстий диаметром до 10 мм. По ранее существовавшей технологии обработка отверстий в дисках выполнялась на радиально-сверлильных станках с применением кондуктора по следующей технологии:

1. Центровка.
2. Сверло.
3. Зенкер.
4. Развёртка.

Результат обработки не мог удовлетворить требований чертежа ни по точности расположения, ни по шероховатости отверстий, т.к. оценка годности деталей осуществлялась по аттестованному кондуктору. При этом трудоёмкость обработки отверстий была очень большой.

Для снижения трудоёмкости операцию обработки отверстий выполнили на современном станке с ЧПУ с применением современной расточной оснастки.

Для отработки применения современной оснастки была использована деталь-представитель из стали 14Х12ГСНА-Ш с 14-ю равномерно расположенными отверстиями (рис. 5).

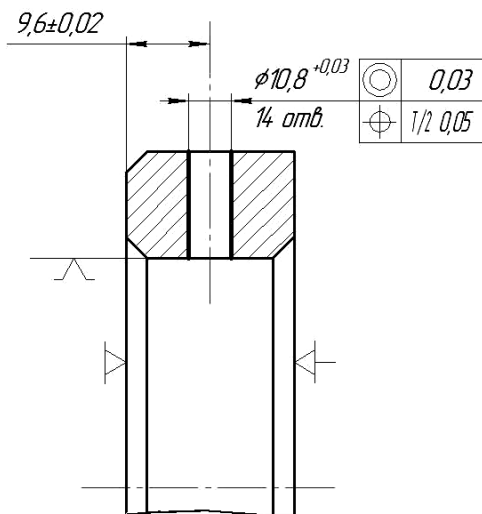


Рис. 5. Эскиз детали-представителя

Задача заключалась в получении требуемой шероховатости и точности отверстий. Обработка проводилась на высокоскоростном обрабатывающем центре K2X8-five фирмы HURON с системой ЧПУ Sinumerik-840D (рис. 6).



Рис. 6. Высокоскоростной обрабатывающий центр K2X8-five

Для достоверности исследования было обработано несколько деталей. Заготовка (рис. 7) устанавливалась в приспособление и в соответствии с управляющей программой последовательно выполнялась обработка по следующей технологии:

- 1 переход – фреза диаметром 8мм, $n = 750 \text{ об/мин}$, $F = 18 \text{ мм/мин}$;
- 2 переход – центровка, $n = 400 \text{ об/мин}$, $F = 30 \text{ мм/мин}$;
- 3 переход – сверло диаметром 10,5мм, $n = 500 \text{ об/мин}$, $F = 10 \text{ мм/мин}$;
- 4 переход – зенкер диаметром 10,7мм, $n = 500 \text{ об/мин}$, $F = 25 \text{ мм/мин}$;
- 5 переход – расточная головка диаметром 10,85мм, $n = 2500 \text{ об/мин}$, $F = 55 \text{ мм/мин}$.



Рис. 7. Заготовка и обработанная деталь

Для чистовой расточки отверстий на станке (рис. 8) была применена современная расточная головка диаметром 10,85мм одностороннего резания фирмы URMA beta-modul B05-40-20-067 с базовым модулем BH10-63A-40-065 и механическим креплением твердосплавной пластины. Машинное время обработки 14-ти отверстий составило 34 минуты, что было приемлемо для данного вида обработки.

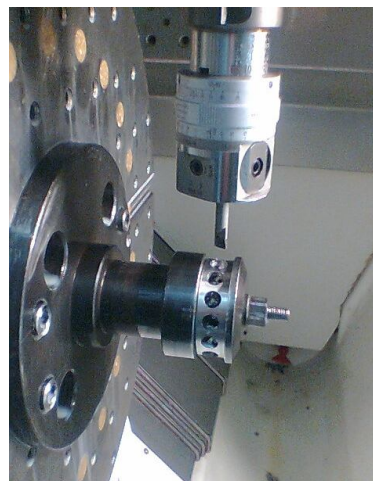


Рис. 8. Расточка отверстий расточной головкой фирмы URMA

Резец W06-16-10 с ромбической твердосплавной пластиной (рис. 9) предварительно настраивался на растачиваемый диаметр на электронном микроскопе (рис. 10) TOOL MASTER 2000. Диапазон

расточиваемых отверстий для данной головки составляет от 10 до 15мм.



Рис. 9. Расточная головка фирмы URMA B05-40-20-067



Рис. 10. Настройка расточной головки на электронном микроскопе TOOL MASTER 2000

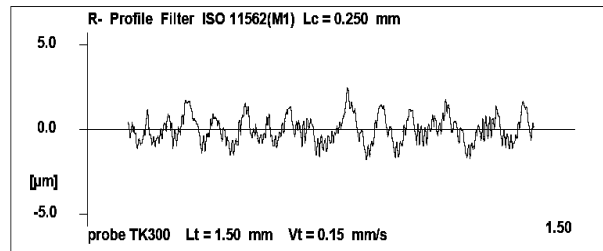
Односторонняя расточная пластина характеризовалась большим задним углом $\alpha=7^\circ$ для исключения затирания по задней поверхности пластины внутренней поверхностью отверстия.

Обработанная деталь была измерена по контролируемым параметрам. Отклонение по центральному углу расположения отверстий составило $0,012^\circ$, диаметр расточки соответствовал чертежу детали и находился в поле допуска.

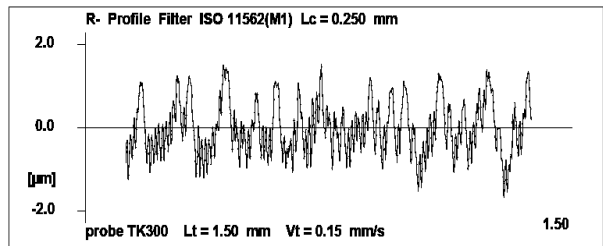
Результаты измерений высоты микронеровностей (рис. 11) нескольких отверстий находились в диапазоне $Ra=0,519\div 0,647\mu\text{м}$, при требуемом $Ra=1,6\mu\text{м}$, что соответствовало требованиям чертежа.

С целью совершенствования технологического процесса приобретённый опыт был применён в одном из цехов для растачивания отверстий малого диаметра в дисках компрессоров ГТД. Диски были выполнены из жаропрочных и титановых сплавов. На диске из сплава ХН75МВТЮБР была опробована новая технология обработки отверстий диаметром $10,85 \pm 0,018$ мм.

Ra	0.647 $\mu\text{м}$
Rz	3.467 $\mu\text{м}$
Rmax	4.271 $\mu\text{м}$



Ra	0.519 $\mu\text{м}$
Rz	2.733 $\mu\text{м}$
Rmax	3.087 $\mu\text{м}$



Ra	0.569 $\mu\text{м}$
Rz	2.939 $\mu\text{м}$
Rmax	3.233 $\mu\text{м}$

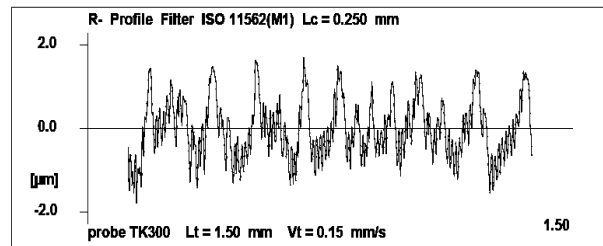


Рис. 11. Профилограмма измерения микронеровностей внутренней поверхности отверстий после расточки

Обработку отверстий проводили на высокоскоростном фрезерном станке PICOMAX-95 (рис. 12). Была применена расточная головка фирмы SANDVIK 392.41.037B-6312-090A (рис. 13) с механическим креплением твердосплавной пластины.



Рис. 12. Обработка отверстий расточной головкой

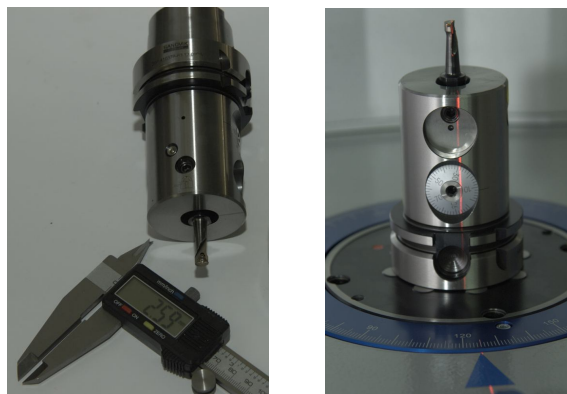


Рис. 13. Расточная головка фирмы SANDVIK 392.41.037В-6312-090А

Условия обработки диска из жаропрочного сплава были более сложные, чем для тестовой детали. С учётом этого были скорректированы режимы обработки.

Учитывая жёсткий допуск на диаметр, было использовано две расточные головки – черновую и чистовую. Припуск под чистовое растачивание составил 0,1 мм.

Для обработки отверстий диаметром 10,35 мм была применена следующая технология:

1. Центровка.
2. Сверло.
3. Калибрующая (выравнивающая) фреза.
4. Черновая расточная головка
Диаметром 10 мм,
 $n=1200$ об/мин,
 $F=20$ мм/мин.
5. Чистовая расточная головка диаметром 10,35 мм, $n=1200$ об/мин, $F=20$ мм/мин.

При использовании расточных головок было учтено, что головка имеет конструктивное ограничение по глубине расточки, равное 24мм (размер l_3) (рис. 14).

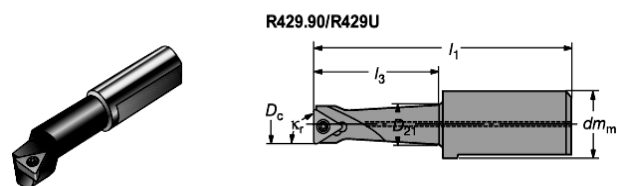


Рис. 14. Державка реза R429.90-08-24-06AB

Для растачивания точных отверстий глубиной до 22-23мм с успехом применялись расточные головки. Применяемые твердосплавные пластины имели форму ТСМТ, большой задний угол (7°), и характеризовались большим главным углом в плане. Материал пластины - сплав GC2025 (рис. 15).

Для отверстий, глубина которых превышала 23мм, использовались цельнотвердосплавные раз-

вёртки и зенкеры изготовленные из твердосплавных столбиков H10F (SANDVIK). В этом случае применялась классическая схема обработки отверстий:

1. Центровка.
2. Сверло.
3. Зенкер цельнотвердосплавный.
4. Развёртка цельнотвердосплавная.

Качество и получаемый размер отверстия соответствовали требованиям чертежа.

Треугольная пластина

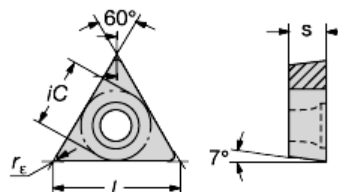


Рис. 15. Твердосплавная пластина типа ТСМТ

В результате проведенных опытно-экспериментальных работ технология обработки высокоточных отверстий с помощью расточных головок инструментальных фирм была внедрена в производство.

Заключение

Проведенные исследования с применением расточных головок свидетельствуют о высокой надёжности и технологичности выбранной стратегии обработки. Расточные головки показали перспективность использования при обработке высокоточных отверстий в дисках ГТД из жаропрочных и титановых сплавов.

Применение данных разработок в производстве позволило существенно снизить трудоёмкость высокоточной обработки отверстий.

Литература

1. Богуслаев В.А. Прочность деталей ГТД / В.А. Богуслаев, В.Б. Жуков, В.К. Яценко. – Запорожье: ОАО “Мотор Сич”, 2003. – 528 с.
2. Брагина Т.К. Повреждаемость материала дисков турбин в зонах концентрации напряжений после длительной эксплуатационной наработки ГТД / Т.К. Брагина, Л.М. Ларичева // Проблемы прочности. – 1980. – № 11. – С. 67-71.
3. Мавинатов Р.Р. Концентрации напряжений в элементах авиационных конструкций. – М.: Наука, 1981. – 141 с.
4. Каталог инструментальной оснастки фирмы URMA. – 1995.
5. Каталог инструментальной оснастки фирмы SANDVIK. – 2008.

Поступила в редакцию 14.04.2010

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. А.И. Долматов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ"; Харьков; канд. техн. наук, ст. научн. сотр. В.М. Мигунов, ОАО "Мотор Сич", Запорожье.

ДОСВІД РОЗТАЧУВАННЯ ВИСОКОТОЧНИХ ОТВОРІВ В ДИСКАХ ГТД НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

В.О. Панасенко, О.Я. Качан, В.Ф. Мозговой

Надан досвід застосування розточних приладів інструментальних фірм для розтачування високоточних отворів малого діаметра в дисках ГТД, які виготовлені з жаротримких та титанових сплавів на оброблюючих центрах з ЧПК. Застосування розточних головок з механічним кріпленням твердосплавних пластин надало можливість скоротити витрати на розточування отворів та підняти якість оброблених поверхонь. Технологія та режими обробки дозволили забезпечити оптимальну стійкість ріжучого інструмента та скоротити трудозатрати. Висока якість оброблених отворів дозволила підвищити довгострокову міцність дисків ГТД.

Ключові слова: авіаційний двигун, диск, розточна оправка, станок зЧПК, корпус оправки, твердосплавна пластина, інструментальний блок, шорсткість.

EXPERTISE BORING OF HIGH-PRECISION OPENINGS IN DISKS OF A TURBINE ENGINE ON MACHINE TOOLS FROM THE NUMERICAL CONTROL

V.A. Panasenko, A.Y. Kashan, V.F. Mozgovoj

The case record of reaming of a casing hardware of tool corporations for recessing high-precision openings of small diameter in disks (discs) of a turbine engine of the executed from heat resisting and titanium alloys on processing (treating) centers from the numerical control is introduced. The applying of reaming heads with mechanical attachment (fixing) of hard-alloy laminas has allowed to reduce the labor intensity of recessing of high-precision openings and to improve the quality of treated surfaces. Know-how and the conditions of treating have allowed to provide optimal stability of a cutting tool and to reduce the labor intensity. The high quality of treated openings has allowed to increase long-time hardness of disks (discs) of a turbine engine.

Key words: an aero-engine, disk, boring a tube expander, machine tool from the numerical control, body of a tube expander, hard-alloy lamina, block tool, unevenness.

Панасенко Валерий Александрович – начальник бюро УГТ ОАО "Мотор Сич", Запорожье, Украина, e-mail: ugt@motorsich.com.

Качан Алексей Яковлевич – д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой ЗНТУ, Запорожье, Украина, e-mail: ugt@motorsich.com.

Мозговой Владимир Фёдорович – канд. техн. наук, главный технолог ОАО "Мотор Сич", Запорожье, Украина, e-mail: ugt@motorsich.com.