

УДК 621.452.3

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

ЧЕРНОВАЯ ОБРАБОТКА ЦЕНТРОБЕЖНЫХ МОНОКОЛЁС ГТД С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЛУНЖЕРНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ НА ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕНТРАХ С ЧПУ

Представлены результаты практического применения метода плунжерного фрезерования центробежных моноколёс газотурбинных двигателей на обрабатывающих центрах с ЧПУ. Рассмотрены методы подготовки управляющих программ обработки межлопаточного пространства ЦБК. Предложенная методика и технология обеспечила высокую производительность и стабильный результат по оставляемому припуску. Проведенные исследования показали значительное снижение трудоёмкости при выполнении операций черновой обработки межлопаточного пространства относительно других методов механической обработки. При наличии сложнопрофильных лопаточных поверхностей выбранный инструмент и режимы резания обеспечили устойчивый процесс при высокой производительности и гарантированном припуске под дальнейшую механическую обработку.

Ключевые слова: центробежное колесо, авиационный двигатель, плунжерная обработка, фреза, станок с ЧПУ, корпус оправки, твердосплавная пластина, инструментальный блок.

Введение

Современные конструкции авиационных двигателей и дальнейшее их совершенствование обуславливают поиск новых методов в решении технологических задач при обработке различных авиационных деталей [1]. Примером деталей такого класса являются центробежные моноколёса (ЦБК), имеющие сложную профильную поверхность лопаток. Конструктивно ЦБК имеют небольшие габариты – диаметр до 350 мм с расположенными на ступице лопатками. Большое количество лопаток на небольших диаметрах усложняет технологию изготовления моноколёс. Сложность обусловлена узким межлопаточным пространством. Чтобы выполнить чистовую обработку профиля пера лопатки методом спирального фрезерования необходимо предварительно удалить металл из межлопаточного пространства. Выполненные из титановых и жаропрочных сплавов, заготовки ЦБК предварительно обработаны на токарных станках с профильным контуром вдоль будущей лопатки. Лопатки ЦБК обрабатываются на 5-ти координатных станках с числовым программным управлением, что является традиционным в условиях современного производства [2]. Однако физико-механические свойства современных титановых и жаропрочных сплавов оказывают существенное влияние на трудоёмкость изготовления. Особенно это актуально при необходимости съёма большого объёма металла в межлопаточных про-

странствах при черновой обработке. Трудоёмкость черновой обработки таких колёс занимает до 60% от общей трудоёмкости изготовления всего колеса.

Цель работы. Снижение трудоёмкости при черновой обработке фрезерованием центробежных моноколёс ГТД на основе применения прогрессивных методов обработки.

Результаты экспериментальных исследований

Центробежные моноколёса ГТД изготавливают из жаропрочных и титановых сплавов. Это оказывает существенное влияние на методы достижения требуемых конструктивных и точностных характеристик. Наличие узких межлопаточных каналов усложняет процесс. Эта особенность является характерной для данного класса деталей (рис. 1).



Рис. 1. Центробежное 3-х лопаточное моноколесо

Чтобы обработать такое колесо требуется проектирование и изготовление специального режущего инструмента, имеющего сложную геометрию.

Одним из методов решения данной задачи является применение плунжерного фрезерования (рис. 2) Поскольку основное усилие резания направлено вдоль оси инструмента, рабочая подача может достигать максимально возможного для станка значения и, как следствие, значительно сокращать время обработки – в полтора-два раза.



Рис. 2. Процесс плунжерного фрезерования

Сущность метода заключается в том, что инструмент – фреза совершает вертикальные или горизонтальные (в зависимости от компоновки станка с ЧПУ) рабочие перемещения от плоскости привязки конструктивного элемента до поверхности (дна). Рабочий ход фрезы заканчивается вертикальным отводом и повторным позиционированием на требуемую ширину захвата для следующего укола и позволяет быстро снимать металл без длинных продольных холостых ходов, характерных для работы торцевой фрезы (рис. 3).

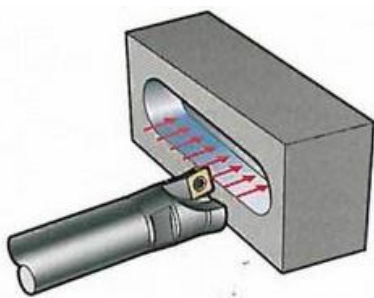


Рис. 3. Обработка паза методом плунжерного фрезерования

Нагрузка действует вертикально на шпиндель и зажим заготовки, то есть воздействует только в направлении наибольшей жесткости станка (рис. 4). В результате даже на легких станках возможно дости-

жение более высоких параметров режимов резания (рис.5).

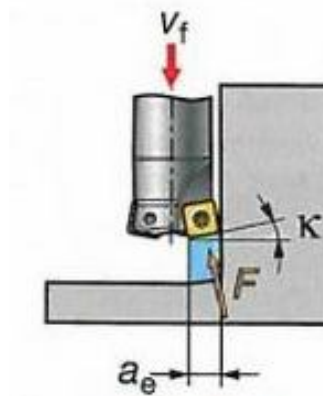


Рис. 4. Распределение усилий при плунжерной обработке

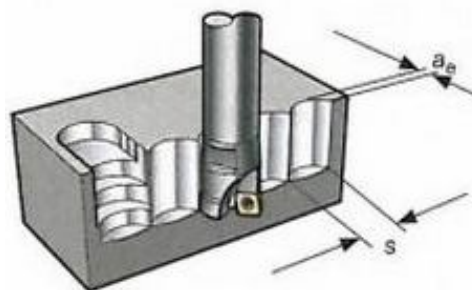


Рис. 5. Параметры плунжерной обработки

По сравнению со спиральной обработкой повышенная жёсткость вдоль оси инструмента позволяет применить большую глубину резания или увеличить подачу. При большом вылете инструмента и узком канале плунжерное фрезерование является наиболее оптимальным решением задачи максимального съёма металла в единицу времени. Данный метод можно сравнить с растачиванием при прерывистом резании. При этом снижается уровень потребляемой мощности и шум.

Принимая во внимание перечисленные преимущества данного вида обработки, на ОАО “Мотор Сич” применили технологию плунжерной обработки для черновой выборки межлопаточного пространства центробежных моноколёс. Задачей данного вида обработки является достижение максимальной производительности съёма материала в единицу времени при гарантированном припуске под дальнейшую получистовую и чистовую обработки.

Обработка проводилась на 5-ти координатном станке Но-3 с пультом Vector-80. Заготовка представляет собой предварительно обработанный диск точением с профилем лопаток по периферии заготовки (рис. 6).

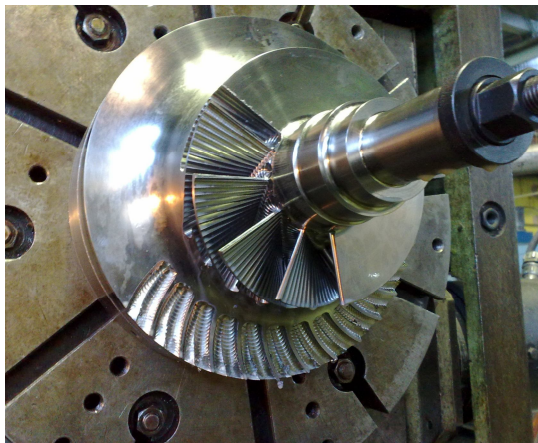


Рис. 6. Заготовка центробежного колеса

Для построения проходов фрез и расчёта управляющей программы была применена система геометрического моделирования и программирования ГеММа-3D. Для этого была построена компьютерная модель колеса (рис. 7).

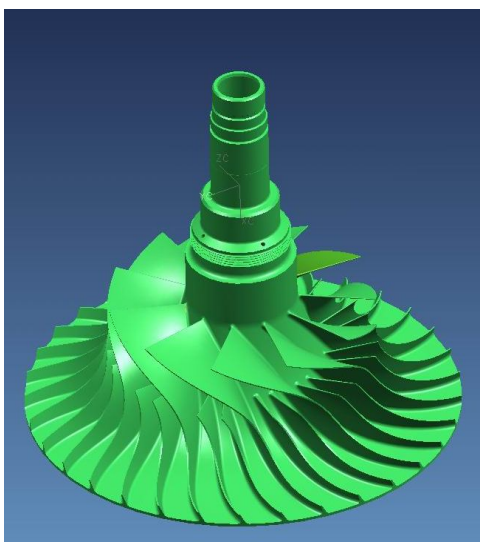


Рис. 7. Компьютерная модель центробежного колеса

Построение проходов осуществлялось по кривым с учётом максимально возможной глубины движения фрезы в межлопаточном пространстве. Величина перекрытия (шаг) была принята, исходя из соотношения

$$ae = 0,25D,$$

где D – диаметр фрезы.

Большее значение ae увеличивает высоту гребешка на боковой поверхности лопатки, а меньшее – снижает производительность обработки (рис. 8).

Машинное время черновой обработки колеса обычным методом ранее составляло около 200 часов.

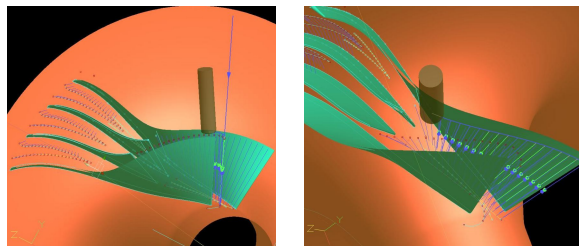


Рис. 8. Построение проходов фрезы с помощью системы ГеММа-3D

При плунжерном фрезеровании время обработки уменьшилось до 140 часов (рис. 9).

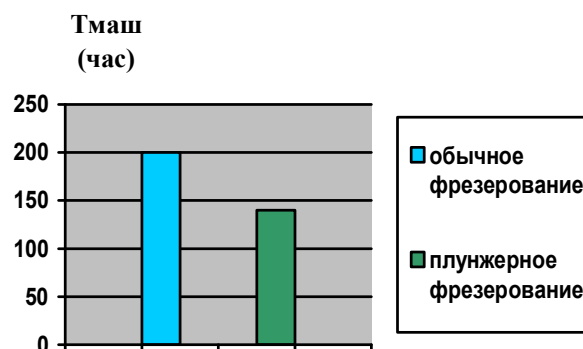


Рис. 9. Диаграмма трудоёмкости фрезерования межлопаточного пространства

Режимы резания были подобраны по рекомендациям фирмы KORLOY и практических результатов испытаний. Уколы фрезы проводились с оставлением припуска 1мм по боковым поверхностям лопаток. Припуск по дну составил 0,5мм. Оставленный припуск удалялся при дальнейшей получистовой и чистовой обработке на 5-ти координатном станке фирмы LIECHTI TB-1005.

Большое значение для стабильного процесса фрезерования имел оптимальный подбор режущего инструмента. Для выполнения плунжерной обработки после тщательного изучения номенклатуры фрез, представленных инструментальными фирмами, были выбраны фрезы компании KORLOY. Фрезы характеризовались механическим креплением пластин и адаптацией к увеличенным осевым подачам [3].

Для первоначального фрезерования применялась фреза диаметром 12 мм – LBE 120055T-S12, оснащённая пластинкой LFH 120 (рис. 10).

Для последующего фрезерования применялась фреза диаметром 8 мм – LBE 080055T-S12 с пластинкой LBH 080 (рис. 11).

Выбор специальных пластин с упрочнённой режущей кромкой предопределил возможность повышения режимов резания на станке. Специальные каналы на режущей пластине для подвода СОЖ не-

посредственно в зону резания облегчил процесс отвода стружки.



Рис. 10. Пластина LFN 120



Рис. 11. Фреза LBE 080055T-S12 и пластина

Обработка колеса (рис. 12) проводилась уколами фрез большого диаметра от входной кромки лопаток и выполнялась на режимах:

– для фрезы диаметром 12 мм – $n = 650$ об/мин, $F_m = 35 \div 40$, шаг уколов – 3 мм. При этом высота гребешка на поверхности составила – 0,2 мм;

– для фрезы диаметром 8 мм – $n = 720$ об/мин, $F_m = 15 \div 20$; шаг уколов – 2 мм. При этом высота гребешка составила – 0,15 мм.

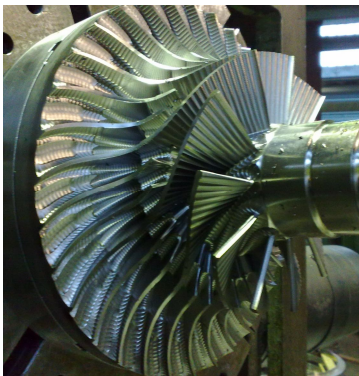


Рис. 12. Обработанное ЦБК на станке

По мере продвижения фрезы вглубь межлопаточного пространства автоматически менялась глубина уколов в соответствии с профилем дна ступицы колеса.

Эти параметры автоматически изменялись в процесс обработки колеса.

После завершения плунжерной обработки заготовка поступала на получистовую и чистовую операции, выполняемые на 5-ти координатном станке швейцарской фирмы LIECHTI Turboblisk 1005 (рис. 13).



Рис. 13. Чистовая обработка ЦБК на станке Turboblisk 1005

Заключение

Черновая обработка центробежных моноколёс ГТД с применением плунжерного фрезерования позволила сократить трудоёмкость их изготовления. Выбранные инструментальная оснастка и режимы резания могут быть применены в широком диапазоне черновой обработки деталей ГТД из жаропрочных и титановых сплавов.

Литература

1. Богуслаев В.А. Технологическое обеспечение и прогнозирование несущей способности деталей ГТД / В.А. Богуслаев, В.К. Яценко, В.Ф. Притченко. – К.: Манускрипт, 1993. – 334 с.
2. Особенности обработки деталей авиационных ГТД на станках с ЧПУ / В.А. Панасенко, С.А. Петров, С.В. Мозговой, Г.В. Карась // Вестник двигателестроения. – 2005. – № 1. – С. 138-144.
3. Металлорежущий инструмент KORLOY-Каталог. – 2010.

Поступила в редакцию 26.05.2011

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. А.И. Долматов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков, Украина.

**ЧЕРНОВА ОБРОБКА ЦЕНТРОБІЖНИХ МОНОКОЛЕС ГТД
З ЗАСТОСУВАННЯМ ПЛУНЖЕРНОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ
НА ОБРОБЛЮВАЛЬНИХ ЦЕНТРАХ З ЧПК**

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

Запропоновані результати практичного застосування метода плунжерного фрезерування центробіжних моноколес газотурбінних двигунів на оброблювальних центрах з ЧПК. Розглянуті методи підготовки керуючих програм обробки міжлопаточного простору ЦБК. Запропонована методика і технологія забезпечила високу продуктивність та стабільний результат по залишаємому припуску. Проведені дослідження показали значне зниження трудоемності при виконанні операцій чернкової обробки міжлопаточного простору відносно інших відомих методів механічної обробки. При наявності складнопрофільних лопаточних поверхонь вибраний інструмент та режими різання забезпечили стійкий процес при високій продуктивності та гарантованому припуску для подальшої механічної обробки.

Ключові слова: центробіжне колесо, авіаційний двигун, плунжерна обробка, фреза, станок з ЧПК, корпус оправки, тврдосплавна пластина, інструментальний блок.

**ROUGHING OF CENTRIFUGAL MONOSPROCKETS OF A TURBINE ENGINE
WITH APPLYING OF PLUNGER MILLING ON PROCESSING CENTERS
FROM THE MACHINES OF NUMERICAL CONTROL**

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

The results of operational use of a method of plunger milling of centrifugal monosprockets of turbine jets on processing centers from the machines of numerical control are introduced. The methods of opening-up of the pilot programs of treating of blade-to-blade room ЦБК are reviewed. The proposed method of application both know-how has provided high efficiency and stable result on a kept shrinkage allowance. The held studies have shown a considerable decrease of complexity at implementation of operations of a roughing of blade-to-blade room concerning other methods of machine work. At availability of blade surfaces the selected instrument and the cutting modes have provided stable process at high efficiency and guaranteed shrinkage allowance under further machine work.

Key words: centrifugal sprocket, aero-engine, plunger treating, milling cutter, machine tool from the numerical control, body of a tube expander, hard-alloy lamina.

Панасенко Валерий Александрович – начальник отдела 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.