

УДК 621.923.048

**С.Н. НИЖНИК<sup>1</sup>, В.И. КУЦИПАК<sup>1</sup>, В.А. МАТЮХИН<sup>2</sup>,  
О.В. ПОКАТОВ<sup>3</sup>, В.Н. ФАНДЕЕВ<sup>4</sup>**<sup>1</sup> *Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*<sup>2</sup> *ГП Харьковский машиностроительный завод «ФЭД», Украина*<sup>3</sup> *ОАО «Мотор Сич», Украина*<sup>4</sup> *ОАО «Днепропетровский агрегатный завод», Украина*

## ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ СЛОЖНОФАСОННЫХ ДЕТАЛЕЙ ГТД

Рассмотрен метод магнитно-абразивной обработки малогабаритных компрессорных лопаток ГТД из труднообрабатываемых материалов, выполнен анализ существующих методов и устройств, применяемых при изготовлении лопаток. Представлены основные узлы и описана работа спроектированной установки для магнитно-абразивной обработки, которая позволяет осуществлять обработку сложнофасонных поверхностей.

**компрессорные лопатки ГТД, магнитно-абразивная обработка, полирование**

### Введение

В настоящее время современные методы формообразования позволяют получать заготовки, по форме и размерам близкие к готовым деталям. Нерешенным остается вопрос последующего формирования заданных физико-механических и эксплуатационных свойств поверхностного слоя, а также окончательной доводки поверхности детали.

### 1. Формулирование проблемы

Определяющими в данном направлении являются финишные методы обработки как жестким, так и гибким инструментом.

Однако особые качества титановых сплавов требуют совершенствования известных и разработки новых методов обработки.

### 2. Решение проблемы. Магнитно-абразивное полирование

Одним из перспективных методов финишной обработки является метод магнитно-абразивного полирования (МАП).

Компрессорные лопатки после вальцовки и об-

сечки требуют скругления входных и выходных кромок. Известные способы и устройства, после незначительных доработок, позволяют обрабатывать боковые поверхности и снимать заусенцы по контуру.

Следующим основным недостатком известных способов и устройств обработки плоских заготовок, в том числе и лопаток, является низкая производительность. В условиях для МАП с коаксиально расположенными четырьмя парами полюсных наконечников [1], при движении лопаток, происходит вынос порошка из рабочей зоны и оседание его на нерабочих поверхностях полюса. Это явление значительно снижает производительность обработки.

Использование кольцевой магнитной системы с замкнутыми полюсами позволяет частично решить данный вопрос, выброс порошка из рабочей зоны практически отсутствует [2, 3].

Объектом исследований служат лопатки компрессора, имеющие незначительную величину закругтки (изменение угла установки лопатки по высоте пера, т.е. от корневого сечения к концевому), в данном случае  $2,618 \cdot 10^{-1}$  рад.

На операцию МАП они поступают после второй вальцовки и обсечки профиля пера. В результате второй вальцовки профиль пера считается окончательно сформированным за исключением входной и выходной кромок, которые должны иметь радиусы скругления передней кромки –  $0,3 \cdot 10^{-3}$  м, задней –  $0,15 \cdot 10^{-3}$  м. В результате обсечки кромки приобретают прямоугольную форму, на них образуются заусенцы.

В национальном аэрокосмическом университете на кафедре технологии авиадвигателестроения разработано оборудование для МАП сложнопрофильных деталей.

Установка для обработки компрессорных лопаток содержит механическую часть, электромагнитный индуктор, пульт управления и выпрямитель. Кинематическая схема установки показана на рис. 1.

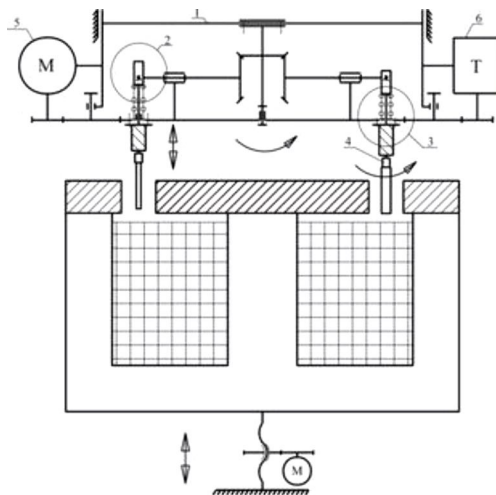


Рис. 1. Кинематическая схема установки для МАП компрессорных лопаток:

- 1 – основание;
- 2 – механизм осцилляции;
- 3 – механизм вращения заготовки;
- 4 – зажим детали;
- 5 – привод;
- 6 – тахометр

В состав механической части входят следующие узлы системы: основание установки; механизм покачивания и осцилляции; зажим детали; приводы (двигатели 4П08ОВ1 УХЛ4, 1,1 кВт, 220 В, 3000 об/мин ТУ 16-527, ЭОБ-85), тахометр (ТМГ-

30У ТУ 16.512.077-75).

Основание представляет собой сборную Г-образную раму, имеющую полозья для установки и крепления направляющих, а также необходимые посадочные отверстия для фиксации привода, тахометра и других деталей. Основание устанавливается в направляющих с возможностью перемещения в вертикальном направлении. При необходимости фиксируется в направляющих.

Приводом механизма покачивания и осцилляции, как и главного рабочего движения – вращения лопаток в кольцевой рабочей зоне, служит электродвигатель, который крепится на основании установки и через зубчатое зацепление передает крутящий момент диску, на котором крепится механизм покачивания и осцилляции.

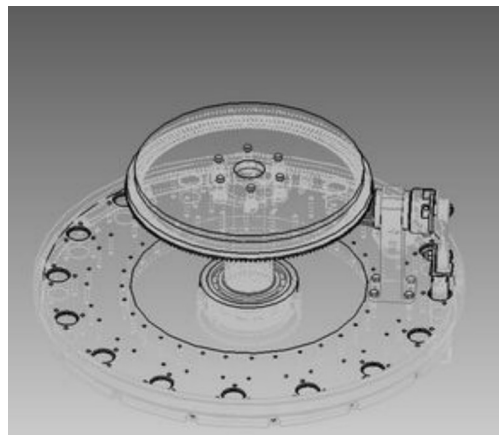


Рис. 2. Диск с механизмом осцилляции

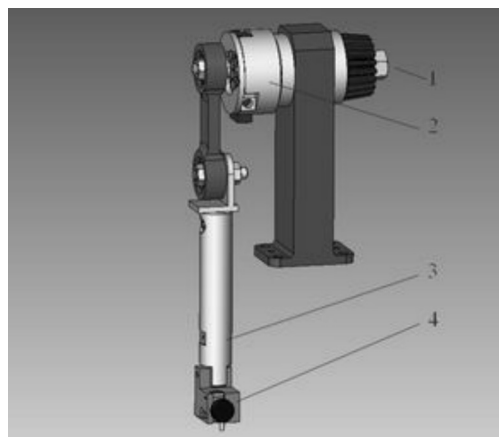


Рис. 3. Механизм осцилляции:  
1 – ось; 2 – эксцентрик;  
3 – вертикальная ось;  
4 – зажим

На диске (рис. 2) равномерно по окружности, могут крепиться до 16 механизмов осцилляции (рис. 3), т.е. одновременно обрабатываться до 16-ти лопаток.

#### Работа механизма осцилляции

Диск вращается от привода через зубчатое зацепление относительно оси основания. При помощи конического зацепления приводится во вращение ось 1, на одном конце которой крепится эксцентрик 2. Эксцентрик сообщает возвратно-поступательное движение вертикальной оси 3, на конце которой в зажиме 4 фиксируется лопатка.

Лопатки крепятся по месту замка в специальных зажимах (рис. 4). Зажим состоит из корпуса 1, прижима 2, винта 3 и пружины. Место установки лопатки представляет собой спрофилированный под замок лопатки типа «ласточкин хвост» паз. Лопатка устанавливается в паз до упора и фиксируется прижимом с помощью винта 3. Конструкция зажима позволяет крепить лопатки разных типоразмеров. С помощью болтового соединения зажим крепится на оси.

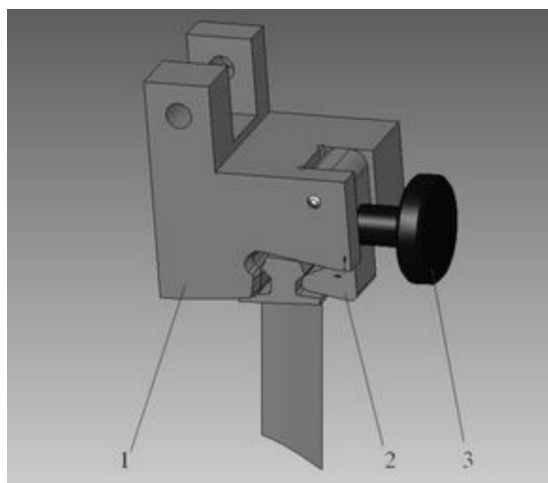


Рис. 4. Зажим:  
1 – корпус зажима;  
2 – прижим; 3 – винт

#### Работа механизма покачивания

Ось 1 (рис. 5) совершает возвратно-поступательное движение по втулке 2, установленной на диске 3.

Кроме того, ось 1 проходит через втулку 4 (рис. 6), в которой имеется паз, расположенный под углом  $\alpha$  к вертикальной оси 1. В паз установлен подшипник 5, который крепится с оси 1. Совершая возвратно-поступательное движение, ось 1 поворачивается на определенный угол  $\gamma$ . Угол разворота  $\gamma$  задается углом наклона  $\alpha$  и величиной вертикального перемещения оси 1, т.е. эксцентриситетом.

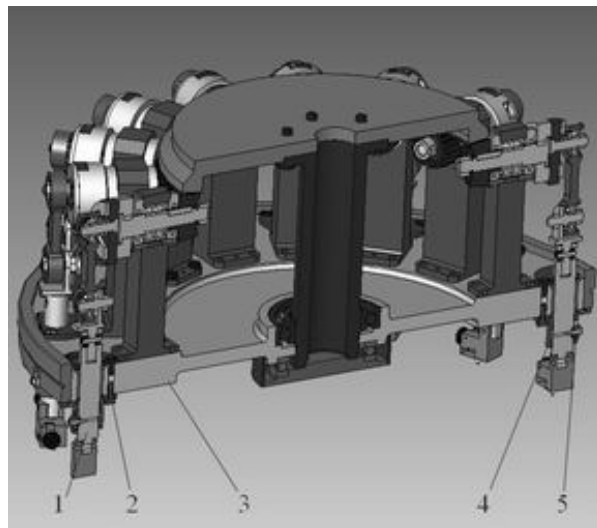


Рис. 5

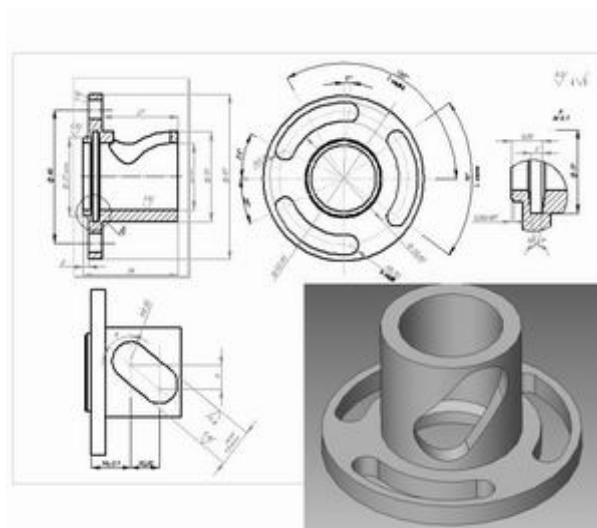


Рис. 6. Втулка направляющая

Кроме двух описанных движений осцилляции в вертикальном направлении и качении относительно вертикальной оси, лопатка совершает вращение относительно вертикальной оси основания в кольцевой рабочей зоне магнитной системы.

Электромагнитная система (рис. 7) состоит из магнитопровода Ш-образной формы в сечении, полюсных наконечников и электромагнитной катушки, обмотка которой выполнена из медной шины. Выводы катушки подсоединяются к выпрямителю и от него к пульту управления. Полюсные наконечники образуют кольцевую рабочую зону бесконечной длины. При включении выпрямителя в зазорах электромагнитов возникает магнитное поле, величина и напряженность которого определяется количеством ампервитков, материалом магнитопровода и точностью сборки магнитной системы. На рабочей поверхности полюсов равномерно нанесены концентраторы магнитного потока в виде пазов. Кольцевые полюса электромагнитной системы сменные. Толщина полюсов и величина рабочей зоны определяется размерами обрабатываемых лопаток (высотой, толщиной пера и радиусами входной и выходной кромок).

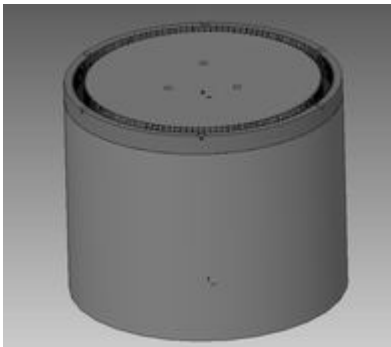


Рис. 7

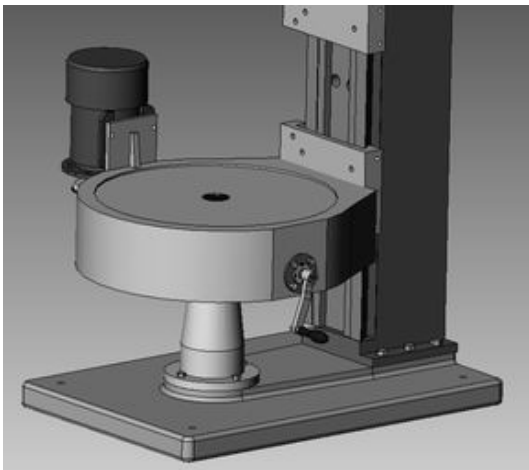


Рис. 8

Электромагнитная система устанавливается на столе (рис. 8) с возможностью вертикального перемещения.

Как видно из описанных выше механизмов, одним из достоинств разработанной установки для магнитно-абразивного полирования компрессорных лопаток, является ее простота, осуществление всех рабочих движений осуществляется от одного привода.

Регулирование скорости вращения осуществляется за счет изменения числа оборотов двигателя; частоты осцилляции – за счет изменения числа оборотов двигателя и подбор конической шестерни; амплитуды осцилляции – за счет подбора эксцентрика для изменения эксцентриситета; амплитуды угла колебаний – за счет изменения угла втулки, изменение эксцентриситета.

#### Описание работы установки

Обработка партии лопаток на установке (рис. 9) осуществляется следующим образом. Перед тем как произвести обработку, необходимо настроить установку на заданный типоразмер лопаток. Для этого выбираются и крепятся полюсные наконечники на электромагнитном индукторе с необходимой высотой и величиной рабочей зоны, соответствующей размерам обрабатываемых лопаток. Затем с помощью эксцентрика и направляющей втулки, расположенных в механической части установки, задаются требуемые величина осцилляции и угол покачивания. В рабочую зону электромагнитного индуктора (ЭМИ) засыпается магнитно-абразивный порошок (обычно 500...600 грамм). В результате подключения ЭМИ к источнику питания и с помощью регуляторов в кольцевой рабочей зоне создается электромагнитное поле, которое формирует магнитно-абразивный порошок в режущий инструмент. Изменяя мощность электромагнитного поля, можно управлять «жест-

костью» инструмента. Лопатки, по месту замка, крепятся в зажимах. При помощи подъемного устройства индуктора лопатки вводятся в кольцевую рабочую зону. Затем включается электродвигатель, служащий приводом установки, в результате чего происходит движение лопаток в кольцевой рабочей зоне ЭМИ и их обработка. С помощью описанных выше механизмов, лопатка, перемещаясь в рабочей зоне, совершает три движения:

- первое – вращение вокруг оси диска, перемещаясь кольцевой зоне со скоростью  $V$  (м/с),
- второе – совершает вертикальное перемещение, т.е. происходит движение осцилляции  $f$  ( $\text{с}^{-1}$ ) с амплитудой  $a$  (мм);
- третье – лопатка совершает колебательное движение относительно своей оси с амплитудой  $a_0$  (град.).

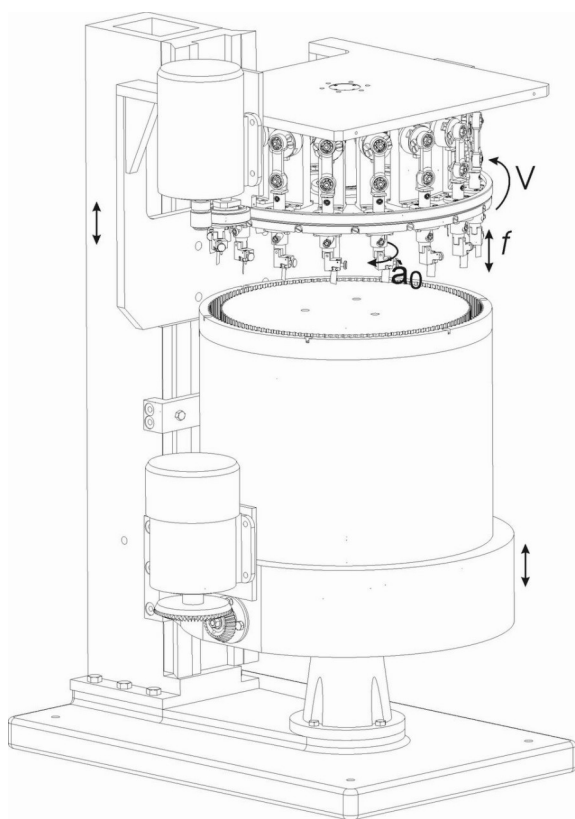


Рис. 9. Общий вид установки для магнитно-абразивного полирования компрессорных лопаток ГТД

## Заключение

Магнитно-абразивная обработка обеспечивает высокое качество обрабатываемой поверхности деталей из различных материалов, в том числе твердых сплавов. Особенности инструмента при МАО позволяют осуществлять обработку разнообразных поверхностей. Модульная конструкция позволяет без особых затрат времени переналадить оборудование на различные габариты заготовок путем замены полюсных наконечников, а механизм осцилляции может быть заменен приспособлением для крепления цилиндрических заготовок с возможностью обрабатывать детали типа плунжеров. Спроектированное оборудование позволяет снизить процент ручного труда на производстве, повысить производительность и качество обработки за счет механизации и автоматизации процессов.

## Литература

1. Шлюко В.Я., Майборода В.С., Гридасова Т.Я. Особенности перемещения порошка при магнитно-абразивной полировке малогабаритных деталей сложной конфигурации // Порошковая металлургия. – 1985. – № 7. – С. 90 – 95.
2. Кулагин А.И. Исследование, разработка технологии и оборудования для магнитно-абразивной обработки деталей авиационных двигателей с напыленными покрытиями: Дис. канд. техн. наук. – Х., 1993. – 194 с.
3. Богуслаев В.А., Долматов А.И., Жеманюк П.Д., Кулагин А.И., Михайлуца В.Г., Симоненко В.А. Детонационное нанесение на детали авиадвигателей и технологические оснащения с последующей магнитно-абразивной обработкой. – Запорожье: "Дека", 1996. – 366 с.

Поступила в редакцию 25.05.2004

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. А.Я. Мовшович, ГП "Харьковского научно-исследовательского института технологии машиностроения", Харьков.