

УДК 621.923

**С.В. СЕРГЕЕВ, А.С. КОТЛЯР**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

## **АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА СЛОЖНО-ПРОФИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ С ГАЗОТЕРМИЧЕСКИМИ ПОКРЫТИЯМИ**

Приведена принципиальная схема, схема автоматического управления и математическая модель работы установки для шлифования и полирования сложно-профильных деталей с газотермическими покрытиями, которая обеспечивает постоянство удаляемого припуска в процессе обработки независимо от угла наклона поверхности. Для регулирования технологических параметров в процессе обработки предлагается пневмомеханическая система управления.

**ресурс, лопатка, газотермические покрытия, механизация и автоматизация, припуск, пневмомеханическая следящая система, сопло-заслонка**

### **Введение**

В настоящее время авиадвигателестроение, отличающееся высокой точностью изготавливаемых деталей, а также высокими требованиями к качеству продукции и экономическим показателям производства, требует внедрения новых технологий производства, а также разработку технологий восстановления изношенных деталей и агрегатов.

К таким новым технологиям относятся и технологии нанесения газотермических покрытий, которые обеспечивают улучшение физико-механических и эксплуатационных свойств изготавливаемых деталей, повышая тем самым ресурс и надежность работы деталей, узлов и агрегатов. При этом увеличивается экономическая эффективность использования авиационных двигателей и энергетических установок.

Однако для полного внедрения технологий по нанесению покрытий необходимо также разработать и технологии по окончательной обработке нанесенных покрытий.

### **1. Особенности и проблемы производства ГТД**

Важной особенностью авиационных ГТД является то, что в их конструкцию входит большое коли-

чество лопаток. Массовый тип производства ремонта и восстановления лопаток требует максимальной автоматизации, механизации и применения специального оборудования. Однако сложная пространственная форма лопаток препятствует упрощению их обработки.

В настоящее время технологические процессы финишной обработки лопаток ГТД выполняются вручную. Это не только ухудшает экономичность производства лопаток, но также обеспечивает невысокое качество обработки.

Изготовление профильной части лопаток в строгом соответствии с расчетными данными является необходимым условием работоспособности, экономичности и надежности ГТД [1]. В связи с этим разработка технологических процессов и оборудования для механизации и автоматизации чистовых и финишных операций обработки пера лопаток и других сложно-профильных поверхностей, особенно с предварительно нанесенными покрытиями, где формируются физико-механические свойства поверхностного слоя, точность размеров и геометрической формы, являются особо актуальными.

Чтобы назначить режимы обработки деталей с нанесенными газотермическими покрытиями, необходимо провести исследование физико-механиче-

ских свойств и структуры, после чего экспериментально определить оптимальные технологические параметры обработки и подобрать абразивный материал инструмента, наиболее приемлемый для каждого покрытия.

## 2. Предлагаемая разработка

### 2.1. Принципиальная схема устройства

В данной работе предлагается схема устройства для шлифования и полирования криволинейных поверхностей с газотермическими покрытиями, которое позволяет удалить поверхностный слой, имеющий неудовлетворительные физико-механические свойства, а также достичь приемлемых параметров шероховатости и точности формы обработанной поверхности. Кроме того, использование данного устройства даст возможность ликвидировать ручной труд, а также неточности и погрешности, связанные с человеческим фактором при обработке.

На рис. 1. представлена общая схема предлагаемого устройства.

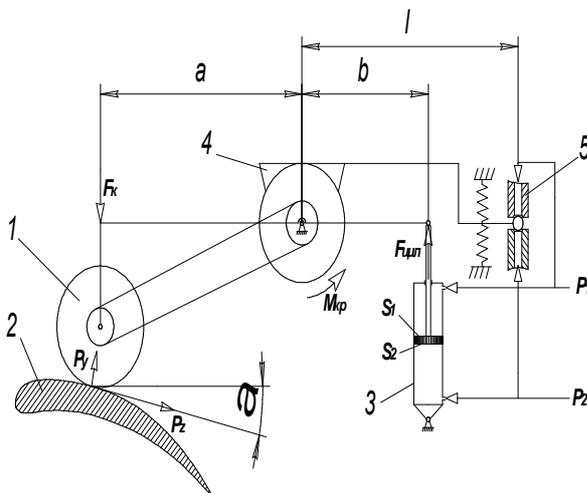


Рис. 1. Принципиальная схема установки для финишной обработки деталей с покрытиями:

- 1 – абразивный эластичный круг;
- 2 – сложно-профильная деталь с покрытием;
- 3 – исполнительный пневмоцилиндр;
- 4 – электродвигатель;
- 5 – сопло-заслонка

### 2.2. Теоретический принцип работы системы

Основной идеей, положенной в основу данной схемы, является удаление постоянного по величине припуска  $z$ , независимо от кривизны поверхности. Это можно обеспечить созданием постоянного усилия  $P_y$ , т.е. постоянной нормальной составляющей силы резания при различных углах наклона  $\alpha$  обрабатываемой поверхности по отношению к инструменту

$$z = const \text{ при } P_y = const$$

Рассмотрев общую схему силового взаимодействия абразивного круга и детали, можно сказать, что соотношение нормальной и тангенциальной составляющих сил резания имеет примерно постоянный характер, т.е.:

$$P_z \approx \mu \cdot P_y, \quad (1)$$

где  $P_z$  – тангенциальная составляющая силы резания;

$\mu$  – коэффициент трения;

$P_y$  – нормальная составляющая силы резания.

Усилие резания  $P_z$  напрямую связано с крутящим моментом  $M_{кр}$ , передаваемым от двигателя к абразивному кругу

$$P_z \cdot R_k = M_{кр}, \quad (2)$$

где  $R_k$  – радиус абразивного круга.

Таким образом, считая, что радиус круга  $R_k$  в процессе обработки изменяется незначительно, а процесс обработки – стационарный, с примерно постоянным значением  $\mu$ , то обеспечивая постоянство крутящего момента, можно удалять постоянный по толщине припуск.

Усилие  $P_y$  на данной установке обеспечивается прижатием круга к обрабатываемой поверхности с усилием  $F_k$ , причем в зависимости от угла наклона профиля  $\alpha$  требуемое усилие  $F_k$  будет определяться зависимостью

$$P_y = F_k \cdot \cos \alpha, \quad (3)$$

Сила  $F_k$  передается от пневмоцилиндра посредством рычага

$$F_k = F_{цил} \cdot (b/a). \quad (4)$$

Усилие  $F_{цил}$  регулируется давлением, которое подается в разные полости пневмоцилиндра  $P_1$  и  $P_2$ :

$$F_{цил} = P_1 \cdot S_1 - P_2 \cdot S_2. \quad (5)$$

Таким образом, при заданной величине удаляемого припуска можно назначить режимы обработки и величины давления  $P_1$  и  $P_2$ .

Особенностью схемы является использование следящей системы, обеспечивающей обратную связь между двигателем и пневмоцилиндром. Конструктивно это выполнено следующим образом. Статор электродвигателя фиксируется в цапфах, причем оси вращения ротора и статора совмещаются, а чтобы статор не проворачивался, его фиксируют упругими элементами. При этом любое изменение крутящего момента двигателя обеспечивает поворот статора на определенный угол  $\Delta\varphi$ . Зная жесткость  $k$  упругого элемента крепления статора, можем определить изменение крутящего момента

$$\Delta M_{кр} = k \cdot \Delta\varphi. \quad (6)$$

Вместе со статором поворачивается кронштейн с шариком, являющимся заслонкой сопел. Заслонка смещается при повороте статора на величину  $\Delta h$ :

$$\Delta h = \Delta\varphi \cdot l, \quad (7)$$

где  $l$  – радиус вращения шарика сопла-заслонки.

Изменение давлений  $\Delta P_1$  и  $\Delta P_2$  происходит при перемещении заслонки по нелинейным зависимостям  $\Delta P_1 = f(\Delta h)$  и  $\Delta P_2 = f(\Delta h)$ .

Таким образом, при увеличении крутящего момента  $M_{кр}$  будет происходить сброс давления  $P_1$  и

повышение давления  $P_2$ , что, в свою очередь, уменьшит прижатие круга  $F_k$  и приведет к уменьшению крутящего момента  $M_{кр}$  и восстановлению его исходного значения.

Для обеспечения устойчивости регулирования также предусматриваются демпферные устройства, которые будут обеспечивать устойчивость работы системы регулирования, противодействовать вибрациям и выходу системы из равновесия.

## Заключение

Разработанная схема установки имеет преимущества перед ранее разработанными изобретениями [1], так как угол наклона поверхности по отношению к абразивному кругу не влияет на величину снимаемого припуска, что особенно важно для обработки тонких покрытий.

## Литература

1. Капашин С.А. Разработка и внедрение технологического процесса тонкого шлифования крупногабаритных лопаток ГТД: Дисс. канд. техн. наук. – Х., 1988. – 180 с.
2. Капашин С.А., Бастеев В.И., Сергеев В.М. Определение конструктивных параметров пневматической следящей системы для обработки криволинейных поверхностей // Прогрессивные технологические процессы, оборудование и инструмент. – Х.: ХАИ, 1987. – С. 16 – 24.
3. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов. – М.: Машиностроение, 1974. – 319 с.

Поступила в редакцию 30.05.2005

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.К. Борисович, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.