

## **Исследование влияния параметров абразивной обработки на качество поверхности**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского  
«Харьковский авиационный институт»*

Исследовано влияние параметров обработки свободным абразивом на микротвердость формируемой поверхности образцов, выполненных из используемых для изготовления деталей газотурбинного двигателя титановых сплавов (BT1-0, BT3-1, BT22). Приведены экспериментальные результаты исследований в диапазоне давления на входе в сопло от 7 до 9,8 атм. Показано, что параметры обработки свободным абразивом оказывают заметное влияние на состояние поверхностного слоя, что подтверждено исследованием микротвердости титановых сплавов до и после абразивной обработки.

**Ключевые слова:** обработка свободным абразивом, качество поверхности, микротвердость, формообразование поверхностного слоя, наклеп.

### **Введение**

Внимание большого количества авторов научных работ в авиационном двигателестроении приковано к анализу надежности и увеличению ресурса газотурбинных двигателей (ГТД). Достижение максимального показателя прочности, точности изготовления и свойств поверхности каждой детали с учетом технологической наследственности всех операций, воздействие которых в целом имеет весьма неопределенное значение, является необыкновенно трудоемкой задачей. Прогнозирование сроков службы каждого элемента носит вероятностный характер, учитывающий конструктивные особенности, физико-механические характеристики материалов, технологию изготовления, условия работы и эксплуатационную нагруженность деталей ГТД [1, 2].

Один из методов очистки и упрочнения поверхности сложных пространственных форм деталей ГТД – обработка свободным абразивом. Факторами, выступающими в пользу такой обработки, являются высокая производительность, простота оборудования, универсальность, возможность обработки деталей сложного контура, дешевизна расходного материала, а также накопленный теоретический и экспериментальный опыт в применении финишной обработки такого типа [3-5].

### **1. Постановка задачи**

При сравнении различных способов отделочно-упрочняющей обработки поверхности в работе [6] было установлено, что состояние поверхностного слоя после механических и физико-механических методов обработки характеризуется в основном параметрами шероховатости, остаточными напряжениями и наклепом (глубиной и степенью упрочнения).

Традиционно основные теоретические положения обработки свободным абразивом рассматриваются с позиции расчетов деталей машин на трение и износ. Однако это не отражает закономерности формирования параметров качества обработки и требует применения новых подходов, основанных прежде всего на положениях теории резания материалов, которые определяют физическую сущ-

ность процесса съема материала и позволяют обосновать условия существенного повышения качества и производительности финишной абразивной обработки. При этом важно иметь в своем распоряжении теоретические решения о снижении энергоемкости обработки как основного фактора повышения качества и производительности. Важно также оценить роль динамики взаимодействия абразивных зерен с обрабатываемой деталью в формировании параметров качества обработки и возможности повышения на этой основе эффективности обработки.

Целью данного исследования является установление оптимальных режимов обработки свободным абразивом для достижения заданных показателей качества поверхностного слоя на экспериментальных образцах.

## 2. Описание экспериментальных исследований

Исследование выполняли на экспериментальной установке холодного напыления на базе ДИМЕТ 405. Для ускорения движения порошка применяли сопло с диаметром на выходе 4,9 мм. В качестве абразива использовали корунд (диапазон размеров частиц – от 10 до 40 мкм). В последующих расчетах диаметр частиц корунда был принят 20 мкм. При проведении экспериментов управляемыми параметрами были выбраны время обработки (7, 15, 30, 60 с) и давление на входе в сопло (7, 8 и 9,8 атм).

В современных двигателях одними из основных материалов, применяемых для изготовления дисков, направляющих аппаратов, промежуточных колец, валов, а также лопаток компрессора, особенно I – III ступеней (рис. 1), являются титановые сплавы.

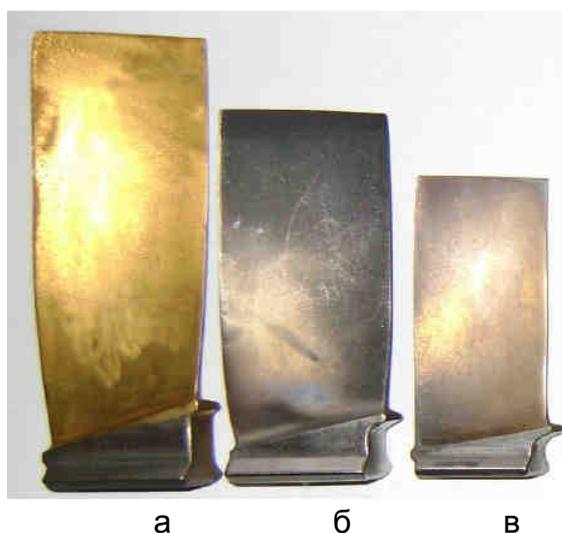


Рис. 1. Общий вид лопаток компрессора ГТД модели ТВ3-117:  
а, б, в – лопатки первой, второй и третьей ступеней соответственно [67]

Для проведения исследований нами были подготовлены подложки из титановых сплавов ВТ1-0, ВТ3-1 и ВТ22, которые широко используются в авиадвигателестроении при производстве, например, рабочих лопаток компрессора I и II ступеней. Сплав ВТ3-1 применяют для изготовления лопаток, дисков, колец, креплений и других деталей, которые работают при температуре 400°С 6000 ч и при 450°С – до 2000 ч. ВТ22 рекомендуется для дисков вентиляторов, направляющих аппаратов, промежуточных колец, валов. Сплав ВТ1-0 был выбран в качестве ба-

зого титанового сплава для сравнения результатов исследований. Химический состав выбранных материалов представлен в таблице.

Всего было подготовлено 6 подложек из сплава BT1-0, 12 подложек из сплава BT3-1 и 12 подложек BT22 размером 40 x 15 мм (рис. 2).

Химический состав исследуемых сплавов [7]

Массовая доля элементов, %									
C	Fe	Si	Zr	W	Cr	V	Mo	Ti	Al
BT1-0									
0,07	–	0,06	–	–		–	–	основа	–
BT22									
до 0,1	0,5 – 1,5	0,15	0,3	–	0,5 – 2	4 – 5,5	4 – 5,5	основа	4,4 – 5,9
BT3-1									
0,10	0,2 – 0,7	0,15 – 0,40	–	–	0,8 – 2,0	–	2,0 – 3,0	–	5,5 – 7,0



Рис. 2. Подложки из титановых сплавов BT1-0, BT22, BT3-1

Механические испытания проводили в целях определения микротвердости обработанной поверхности.

Для исследований микротвердости использовали микротвердомер ПМТ-3 при нагрузке на индентор 1,5 Н в течение 15 с. На каждом образце проводили до 10 измерений. Полученные результаты усредняли и по определенным средним значениям строили график изменения микротвердости в зависимости от параметров обработки.

### 3. Исследование влияния режимов обработки свободным абразивом на микротвердость поверхностного слоя образцов

Результаты измерений микротвердости поверхностного слоя исследуемых образцов показаны на рис. 3 – 5.

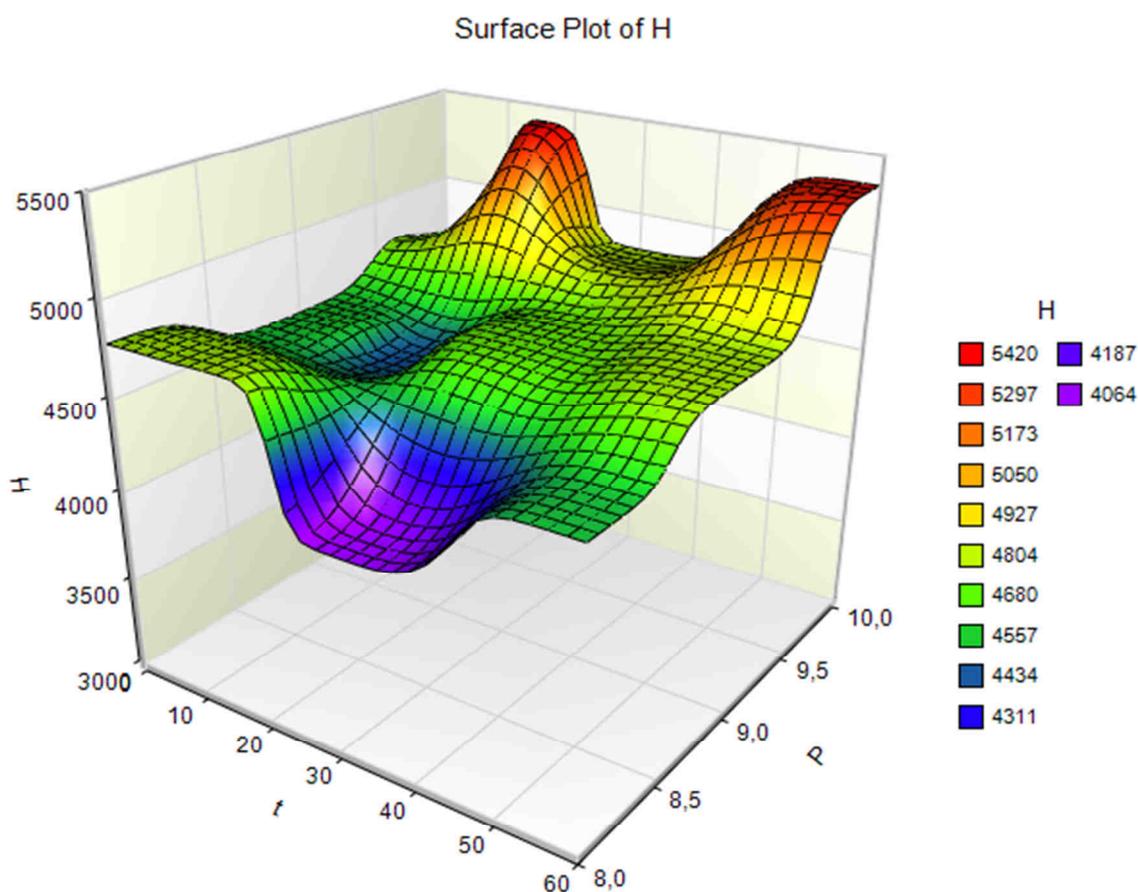


Рис. 3. Зависимость микротвердости поверхности образцов из сплава ВТ22 от времени обработки и давления на входе в сопло

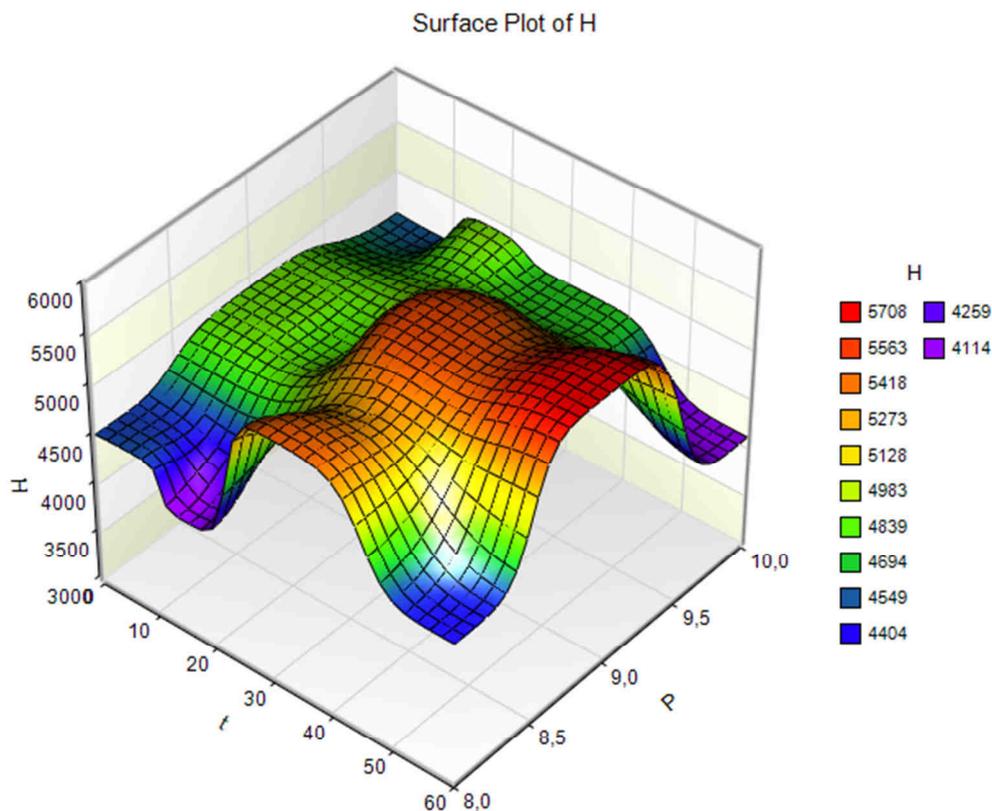


Рис. 4. Зависимость микротвердости поверхности образцов из сплава ВТ3-1 от времени обработки и давления на входе в сопло

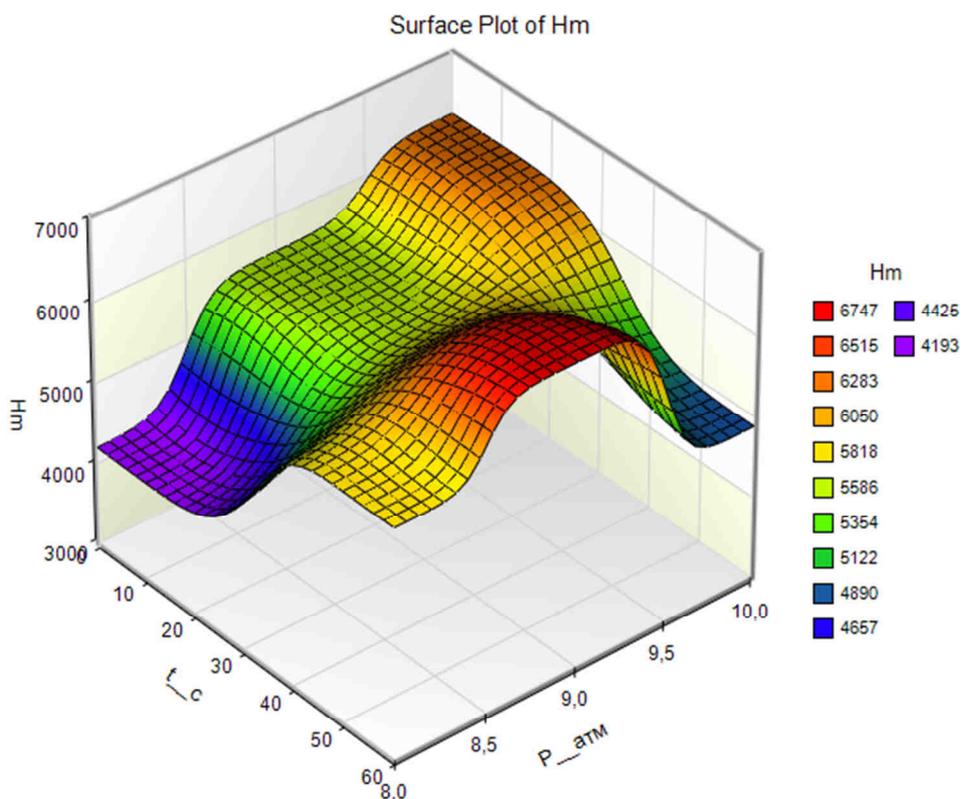


Рис. 5. Зависимость микротвердости поверхности образцов из сплава ВТ1-0 от времени обработки и давления на входе в сопло

При повышении давления воздуха и времени обработки происходит увеличение микротвердости поверхности обработанных образцов, однако затем при максимальном давлении воздуха и времени обработки наблюдается существенное снижение микротвердости. Причем для сплавов BT1-0 и BT3-1 максимальная величина микротвердости достигается при давлении воздуха 9 атм и максимальной длительности обработки, а для сплава BT22 наблюдается рост микротвердости в зависимости от давления воздуха, в то время как длительность обработки практически на нее не влияет.

В результате анализа экспериментальных данных можно сделать вывод о том, что давление воздуха и длительность обработки оказывают значительное влияние на величину микротвердости поверхности, вместе с тем характер этого влияния неоднозначен и индивидуален для каждой марки титановых сплавов.

### Выводы

1. Сформулирована необходимость установления оптимальных режимов обработки свободным абразивом для достижения заданных показателей качества поверхности образцов из титановых сплавов.
2. Проведены экспериментальные исследования влияния параметров режимов обработки свободным абразивом на микротвердость поверхности титановых сплавов.
3. Установлено, что зависимость микротвердости от времени и давления для всех сплавов носит ярко выраженный экстремальный характер с локальными экстремумами.

### Список литературы

1. Богуслаев, В. А. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Лопатки компрессора и вентилятора / В. А. Богуслаев, Ф. М. Муравченко, П. Д. Жеманюк, В. И. Колесников. – Запорожье : ОАО «Мотор Сич» , 2003. – 420 с.
2. Крымов, В. В. Производство лопаток газотурбинных двигателей / В. В. Крымов, Ю. С. Елисеев, К. И. Зудин. – М. : Машиностроение-Полет, 2002. – 376 с.
3. Богуслаев, В. А. Отделочно-упрочняющая обработка деталей ГТД / В. А. Богуслаев, В. К. Яценко, П. Д. Жеманюк и др. – Запорожье : АО «Мотор Сич», 2005. – 559 с.
4. Шманев, В. А. Струйная гидроабразивная обработка деталей ГТД / В. А. Шманев, А. П. Шулепов, А. В. Мещеряков. – М. : Машиностроение, 1995. – 144 с.
5. Макаров, В. Ф. Современные методы высокоэффективной абразивной обработки жаропрочных сталей и сплавов. – СПб : Лань, 2013. – 320 с.
6. Долматов, А. И. Кинематика твердой частицы, разгоняемой потоком газа в сверхзвуковом сопле, и деформационное упрочнение обработанной поверхности / А. И. Долматов, С. В. Сергеев, М. А. Курин и др. // Металлофизика и новейшие технологии. – 2015. – 37, № 7. – С. 871–885.
7. Ильин, А. А. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства / А. А. Ильин, Б. А. Колачёв, И. С. Польшкин. – М. : ВИЛС-МАТИ, 2009. – 520 с.

Поступила в редакцию 30.11.2017

## **Дослідження впливу параметрів абразивного оброблення на якість поверхні**

Досліджено вплив параметрів оброблення вільним абразивом на мікротвердість формованої поверхні зразків, виконаних з використаних для виготовлення деталей газотурбінного двигуна титанових стопів (VT1-0, VT3-1, VT22). Наведено експериментальні результати досліджень у діапазоні тиску на вході в сопло від 7 до 9,8 атм. Показано, що параметри оброблення вільним абразивом значно впливають на стан поверхневого шару, що підтверджено дослідженням мікротвердості титанових стопів до і після абразивної обробки.

**Ключові слова:** оброблення вільним абразивом, якість поверхні, мікротвердість, формоутворення поверхневого шару, наклеп.

## **Investigation of the Influence of Abrasive Treatment Parameters on the Quality of the Surface**

The effect of free-abrasive processing parameters on the micro-hardness of the surface of the samples formed from the titanium alloy (VT1-0, VT3-1, VT22) components used for production of gas turbine engine is investigated. Experimental results of investigations in the pressure range at the inlet to the nozzle from 7 to 9.8 atm are presented. It is shown that free abrasive treatment parameters exert a noticeable influence on the state of the surface layer, which is confirmed by the investigation of the microhardness of titanium alloys before and after abrasive treatment.

**Key words:** treatment by free abrasive, surface quality, microhardness, formation of the surface layer, hardening.

### **Сведения об авторах**

**Курин Максим Александрович** – к.т.н., доцент каф. Технологий производства авиационных двигателей, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», г. Харьков, Украина.

**Лоза Татьяна Витальевна** – м. н. с. каф. Технологий производства авиационных двигателей, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», г. Харьков, Украина.

**Константин Анатолиевич Данько** – ст. преподаватель каф. Технологий производства авиационных двигателей, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», г. Харьков, Украина.

**Александр Владимирович Шоринов** – м. н. с. каф. Технологий производства авиационных двигателей, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», г. Харьков, Украина.