

УДК 621.452.3

А.В. БОГУСЛАЕВ<sup>1</sup>, С.В. МОЗГОВОЙ<sup>1</sup>, Г.В. КАРАСЬ<sup>2</sup>, А.Я. КАЧАН<sup>3</sup><sup>1</sup>ОАО «Мотор Сич», Запорожье, Украина<sup>2</sup>Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина<sup>3</sup>Запорожский национальный технический университет, Запорожье, Украина

## ФОРМИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА НЕСУЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ МОНОКОЛЕС ГТД ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ ФРЕЗЕРОВАНИЕМ

Экспериментально определены параметры качества несущих поверхностей моноколес после высокоскоростного фрезерования.

**осевое моноколесо, высокоскоростное фрезерование**

### Введение

Формирование проточных поверхностей осевых моноколес в процессе их изготовления является одной из самых сложных проблем современного авиадвигателестроения, обусловленной сложностью геометрической формы указанных деталей (рис. 1), трудностью обработки материалов, а также высокими показателями качества несущих поверхностей, которые необходимо обеспечить в процессе их формообразования.



Рис. 1. Осевое моноколесо 2-й ступени КНД

**Обзор публикаций и анализ нерешенных проблем.** Наиболее перспективным методом формообразования проточных поверхностей осевых моноколес, который получил распространение как в нашей стране, так и за рубежом, является высокоскоростное фрезерование [1 – 5].

Однако в современных литературных источниках практически отсутствует информация о влиянии

данного метода обработки, режимов и технологических условий на формирование в поверхностном слое несущих поверхностей лопаток осевых моноколес параметров качества, которые определяют их ресурс и надежность в процессе эксплуатации ГТД.

**Цель работы.** Комплексное экспериментальное определение параметров качества несущих поверхностей лопаток осевого моноколеса после их формообразования высокоскоростным фрезерованием.

### Методика проведения исследований

Моноколесо изготавливают из титанового сплава BT8-1 ОСТ 190197-89. Основные параметры моноколеса:

- высота лопатки  $H_{\max} = 102$  мм;
- толщина лопатки  $C_{\max}$  – от 2,361 до 4,684 мм;
- хорда лопатки  $B_{\max}$  – от 70,44 до 64,838 мм;
- радиус входной кромки – от  $R_{1\min} = 0,363$  мм до  $R_{1\max} = 0,78$  мм;
- радиус выходной кромки – от  $R_{2\min} = 0,373$  мм до  $R_{2\max} = 0,762$  мм.

Формообразование поверхностей лопаток и ступицы моноколеса 2 ступени КНД выполнялось на

станке «TURBOBLISK 1005» по технологии, подробно изложенной в работе [5].

После изготовления моноколеса 2 ступени КНД высокоскоростным фрезерованием осуществлялась вырезка из него образцов лопаток (рис. 2) электроэрозионным способом проволочным электродом на станке «RoboFiL 4020 S I» с применением специального приспособления.

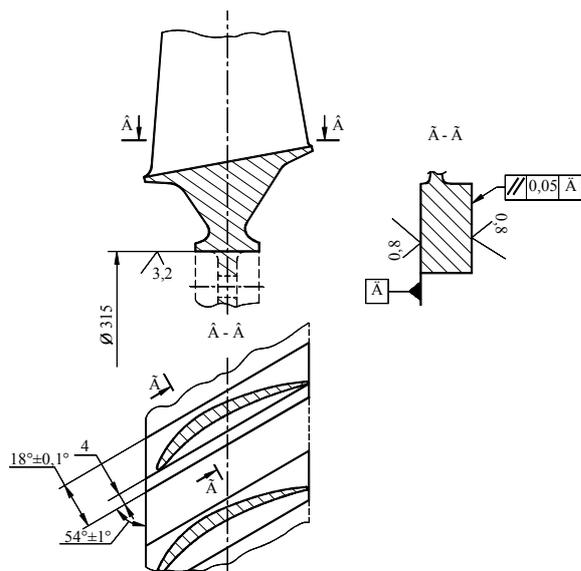


Рис. 2. Лопатки, вырезанные из моноколеса 2 ступени КНД

Исследованием микроструктуры на оптическом микроскопе при увеличении  $\times 500$  установлено, что структурные изменения в виде неравномерного газонасыщенного слоя наблюдаются только в зоне электроэрозионного реза. Глубина слоя  $0,008 \dots 0,016$  мм.

Шероховатость поверхности измерялась как со стороны спинки, так и со стороны корыта пера лопатки пертометром «Pertometer M3».

Остаточные напряжения в поверхностном слое пера определялись на приборе «Пион-2» согласно технологической инструкции.

Фрактографические исследования усталостного излома и исследование микроструктуры поверхностного слоя пера лопатки после чистового высокоскоростного фрезерования проводились на растровом электронном микроскопе JSM-T300.

Испытания на усталость проводились по методике в соответствии с ГОСТ 25.502-79 «Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость». Предел выносливости лопаток определялся в соответствии с ОСТ 1.00870-77 стандартным методом. За предел выносливости принимали ту амплитуду напряжений, при которой без разрушения выдерживали заданную базу испытаний ( $N = 10^8$  циклов) шесть лопаток.

**Содержание и результаты исследований.** Точность формообразования аэродинамических поверхностей лопаток осевого моноколеса компрессора низкого давления 2 ступени соответствует техническим условиям на изготовление [5].

Шероховатость поверхностей спинки и корыта после чистового высокоскоростного фрезерования неравномерная и изменяется в диапазоне  $R_a = 0,38 \dots 0,74$  мкм, что требует отработки режимов и технологических условий фрезерования для обеспечения ее стабильности (рис. 3).

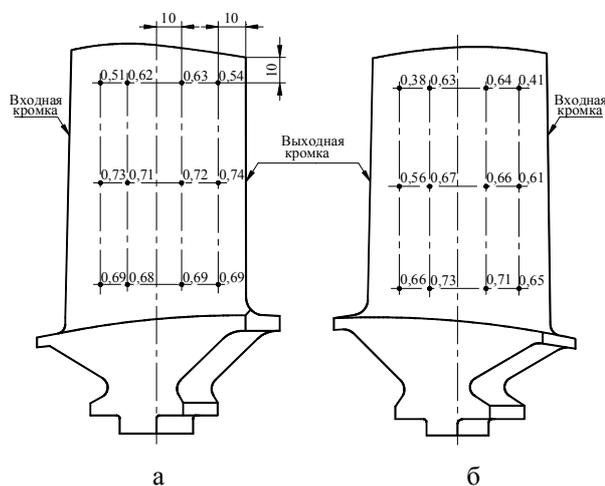


Рис. 3. Распределение шероховатости ( $R_a$ , мкм) по поверхности корыта (а) и спинки (б) пера лопатки после чистового высокоскоростного фрезерования

После чистового высокоскоростного фрезерования в поверхностном слое пера лопатки образуются остаточные напряжения сжатия, величина которых на расстоянии 2 мкм от поверхности составляет  $212 \dots 260$  МПа. Глубина распространения остаточ-

ных напряжений сжатия составляет 30 ... 50 мкм (рис. 4).

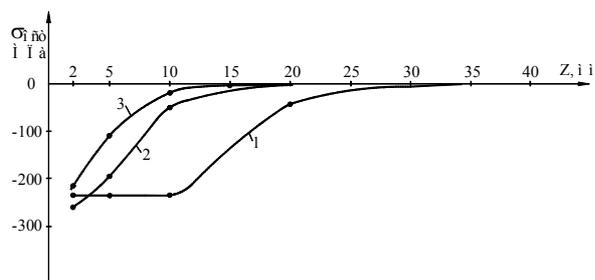


Рис. 4. Распределение остаточных напряжений сжатия в поверхностном слое после чистового высокоскоростного фрезерования

Микроструктура лопатки по всему сечению пера равноосная, состоящая из  $\alpha$  и  $\alpha + \beta$  фаз. Структура поверхностного слоя пера в результате высокоскоростного фрезерования видимых изменений не претерпела.

Границы зерен и пластин  $\beta$  фазы при выходе на поверхность свою направленность не изменили (рис. 5).

Установлено, что разрушение лопатки при испытаниях на усталость происходит от поверхности корыта пера на расстоянии  $\sim 4$  мм от входной кромки.

Очаг разрушения линейный. Микрорельеф излома в очаговой зоне разрушения почти полностью смят от касания стенок развивающейся трещины в процессе усталостных испытаний (рис. 6).

Излом в зоне избирательного развития трещины имеет фасеточный микрорельеф, что является характерным для усталостного разрушения титановых сплавов (рис. 7).

Форма и направленность фасеток отражает структуру материала и условия нагружения при испытании.

Усталостные бороздки в начальной зоне разрушения не обнаружены.

Значение предела выносливости лопаток моноколеса 2 ступени КНД авиадвигателя Д-27 после чистового высокоскоростного фрезерования (без упрочнения) составляет  $\sigma_{-1} = 490$  МПа при 100 млн циклов.

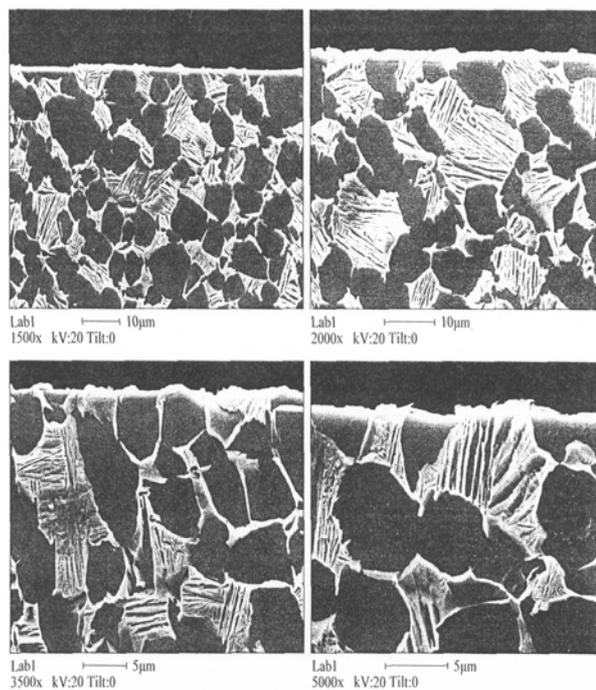


Рис. 5. Микроструктура поверхностного слоя лопатки из колеса 2 ст. КНД, обработанного высокоскоростным фрезерованием

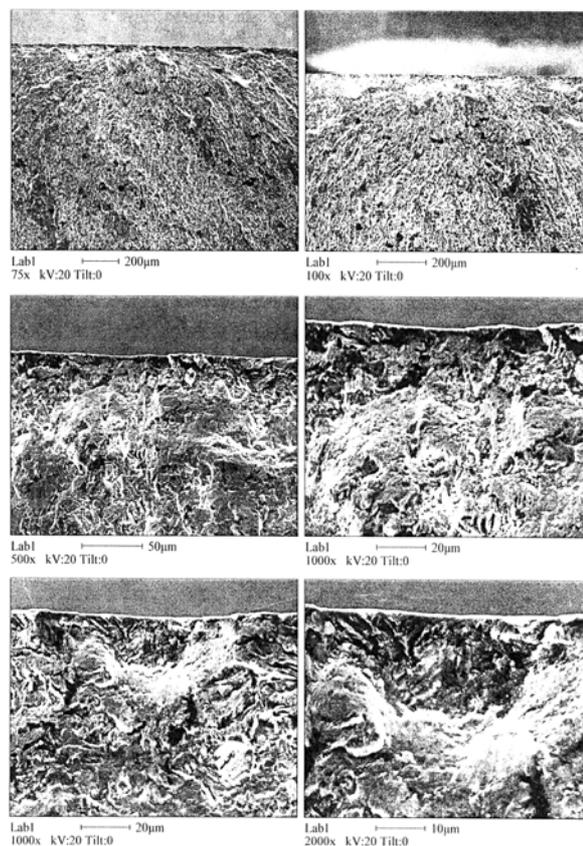


Рис. 6. Фрактограммы очаговой зоны усталостного излома лопатки из колеса 2 ст. КНД, обработанного методом высокоскоростного фрезерования, при различных увеличениях

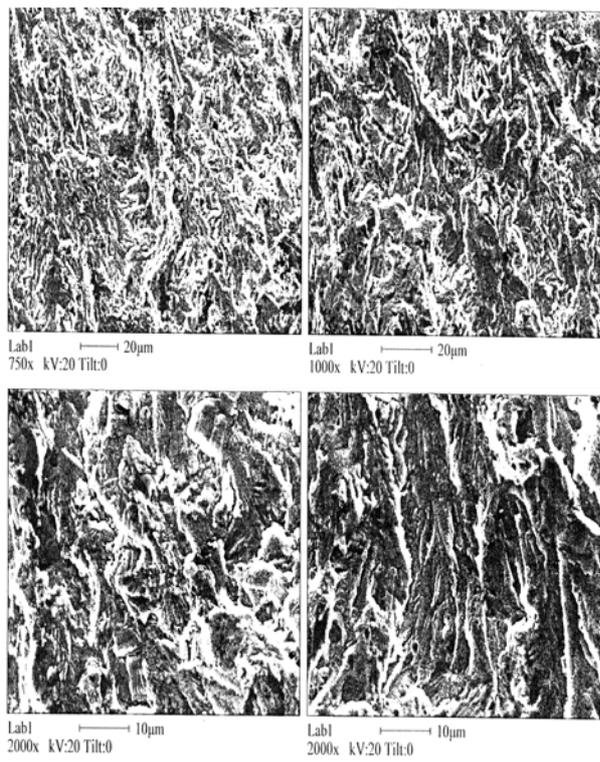


Рис. 7 Фасеточный микрорельеф усталостного разрушения лопатки из колеса 2 ст. КНД, обработанного высокоскоростным фрезерованием, вдали от очага разрушения

#### Перспективы дальнейших исследований.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение влияния режимных параметров процесса, геометрических параметров инструмента и других его характеристик, а также технологических условий на стабильность шероховатости обрабатываемых поверхностей моноколеса высокоскоростным фрезерованием.

#### Заключение

Полученные результаты показывают, что высокоскоростное фрезерование особо сложных пространственных поверхностей моноколеса 2 ступени КНД авиадвигателя Д-27 обеспечивает формирование параметров качества несущих поверхностей моноколеса газотурбинного двигателя на достаточно высоком уровне.

Установлено также, что в процессе обработки указанных поверхностей наблюдается нестабильность шероховатости. Это связано как с особенностями геометрии осевых моноколес, так и с технологией их обработки.

#### Литература

1. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Лопатки компрессора и вентилятора. Ч. 1. / В.А. Богуслаев, Ф.М. Муравченко, П.Д. Жеманюк и др. – Запорожье: ОАО "Мотор Сич", 2003. – 396 с.
2. Богуслаев А.В., Качан А.Я., Карась В.П. Высокоскоростное финишное фрезерование лопаток моноколес // Вестник двигателестроения. – 2002. – № 1. – С. 110 – 111.
3. Жеманюк П.Д., Мозговой В.Ф., Качан А.Я., Карась В.П. Формирование сложнопрофильных поверхностей моноколес высокоскоростным фрезерованием // Газотурбинные технологии. – 2003. – № 5 (26). – С. 18 – 21.
4. Жеманюк П.Д., Богуслаев А.В., Мозговой С.В., Карась Г.В., Качан А.Я. Формообразование сложнопрофильных поверхностей осевого моноколеса с широкохордными лопатками высокоскоростным фрезерованием // Вестник двигателестроения. – 2004. – № 3. – С. 16 – 19.
5. Жеманюк П.Д., Богуслаев А.В., Мозговой С.В., Карась Г.В., Качан А.Я. Обработка проточных поверхностей моноколес высокоскоростным фрезерованием // Авиационно-космическая техника и технология. – 2004. – № 7 (15). – С. 215 – 219.

Поступила в редакцию 1.06.2005

**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.