

УДК 621.452.3

А.В. БОГУСЛАЕВ¹, С.В. МОЗГОВОЙ¹, Г.В. КАРАСЬ², А.Я. КАЧАН³¹ОАО «Мотор Сич», Запорожье, Украина²Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина³Запорожский 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.

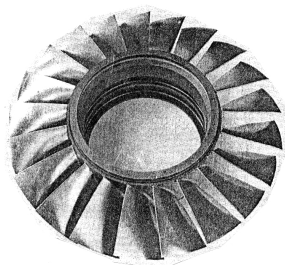


Рис. 1. Осевое моноколесо 2-й ступени КНД

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.

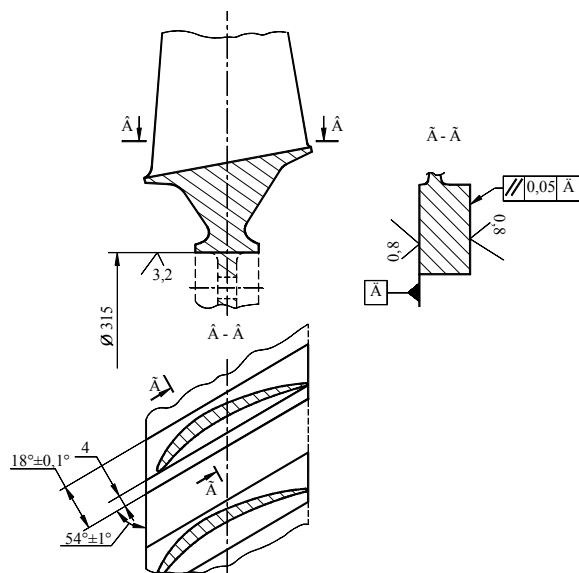


Рис. 2. Лопатки, вырезанные из моноколеса 2 ступени КНД

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).

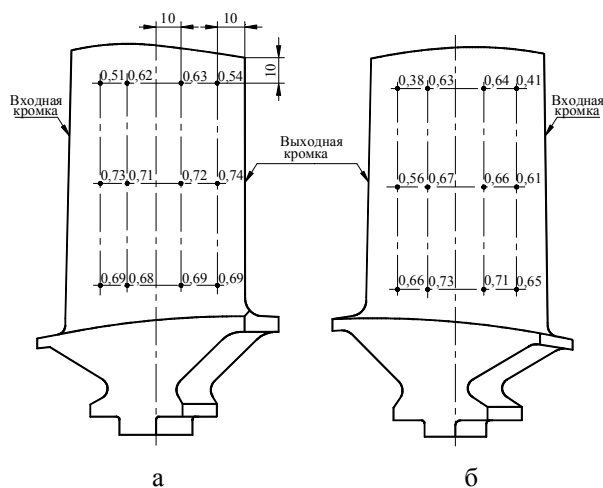


Рис. 3. Распределение шероховатости (R_a , мкм) по поверхности корыта (а) и спинки (б) пера лопатки после чистового высокоскоростного фрезерования

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).

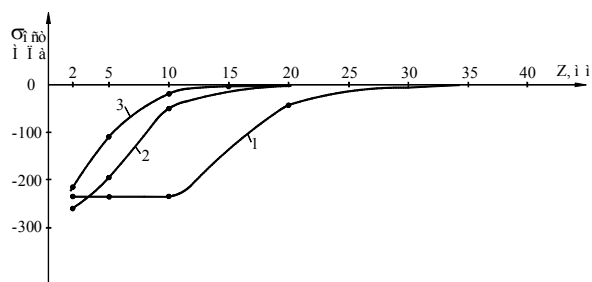


Рис. 4. Распределение остаточных напряжений сжатия в поверхностном слое после чистового высокоскоростного фрезерования

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

Границы зерен и пластин β 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 ~ 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.

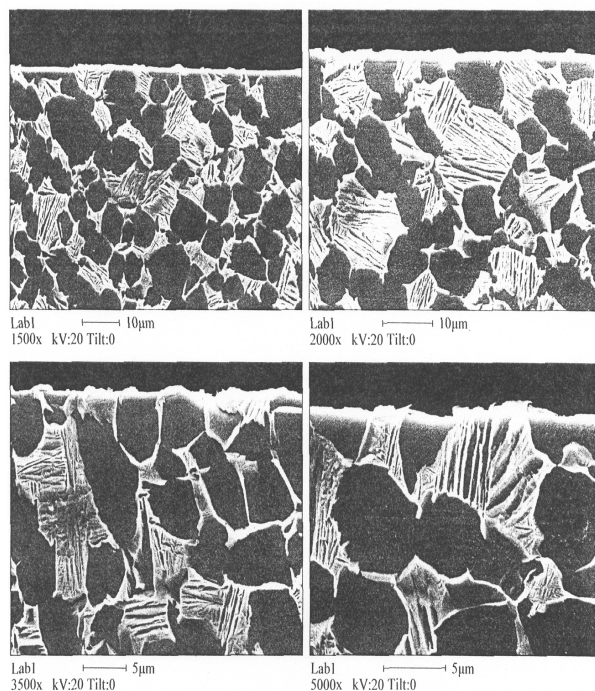


Рис. 5. Микроструктура поверхностного слоя лопатки из колеса 2 ст. КНД, обработанного высокоскоростным фрезерованием

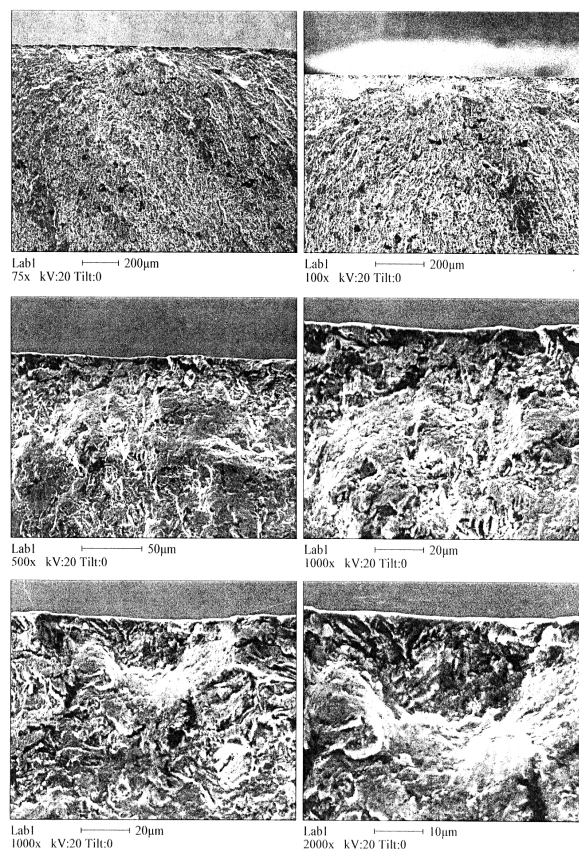


Рис. 6. Фрактограммы очаговой зоны усталостного излома лопатки из колеса 2 ст. КНД, обработанного методом высокоскоростного фрезерования, при различных увеличениях

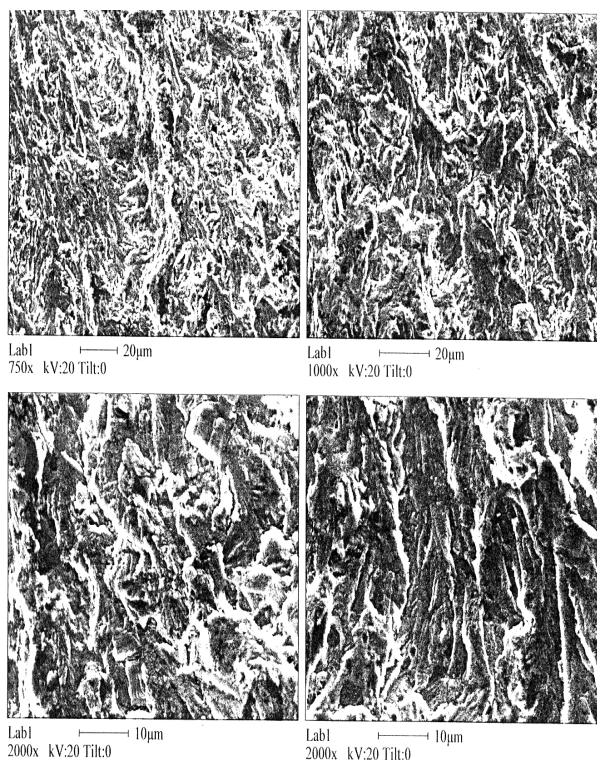


Рис. 7 Фасеточный микрорельеф усталостного разрушения лопатки из колеса 2 ст. КНД, обработанного высокоскоростным фрезерованием, вдали от очага разрушения

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 монокопелес, 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 монокопелес // Вестник двигателестроения. – 2002. – № 1. – С. 110 – 111.
3. Жеманюк П.Д., Мозговой В.Ф., Качан А.Я., Карась В.П. Формирование сложнопрофильных поверхностей монокопелес 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 монокопелеса 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 монокопелес 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.