

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПРОФИЛЯ ПЕРА ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА ПОСЛЕ АЛМАЗНОГО ВИБРОКОНТАКТНОГО ПОЛИРОВАНИЯ

Носов Н.В., Якубович Е.А.

Ключевые слова: лопатки, компрессор, шероховатость поверхности, микрогеометрия, виброконтантное полирование, концентрация напряжений, оптико-электронный комплекс, автокорреляционная функция.

Аннотация. В работе приведены результаты оценки качества поверхностного слоя рабочих лопаток компрессора ГТД после отделочного упрочняющего виброконтантного полирования. Параметры шероховатости и напряженного состояния слоя определены с применением специализированного оптико – электронного комплекса на основе моделирования с использованием квазиоптимальных автокорреляционных алгоритмов. Выполнен анализ полей шероховатости и коэффициента концентрации напряжений по всему профилю спинки и корыта лопатки компрессора из стали ЭИ961Ш. Показано влияние колебания давления алмазных лент на неравномерность распределения параметров микрорельефа поверхности лопатки после полирования.

RESEARCH OF THE SURFACE QUALITY OF THE COMPRESSOR BLADES FEATHER AFTER DIAMOND VIBROCONTACT POLISHING

Nosov N.V., Yakubovich E.A.

Keywords: blades, compressor, surface roughness, microgeometry, vibration-contact polishing, stress concentration, optoelectronic complex, autocorrelation function.

Abstract. The paper presents the results of assessing the quality of the surface layer of the turbine compressor rotor blades after finishing hardening vibration-contact polishing. The parameters of the roughness and stress state of the layer are determined using a specialized optoelectronic complex based on modeling using quasi-optimal autocorrelation algorithms. The analysis of the fields of roughness and stress concentration factor along the entire profile of the back and the trough of a compressor blade made of steel EI961Sh. The influence of pressure fluctuations of diamond strips on the uneven distribution of parameters of the microrelief of the blade surface after polishing is shown.

Долговечность, надежность и экономичность всего ГТД во многом зависит от состояния и качества поверхностного слоя рабочих лопаток компрессора, формируемых в процессе изготовления. Несмотря на малые размеры микронеровности поверхности оказывают существенное влияние на эксплуатационные свойства поверхности лопаток. Следы, оставленные абразивными инструментами после механической обработки, являются концентратами напряжений и влияют на процесс усталости металлов при действии циклических и знакопеременных нагрузок. Установлено, что во впадинах микронеровностей происходит увеличение напряжений, что может привести к образованию усталостных трещин [1,2].

Окончательная обработка лопаток 12 ступени компрессора ГТД из хромоникелевой жаропрочной высоколегированной стали ЭИ961Ш выполнялась алмазными лентами на виброконтантном станке ЛВП-4.

Процесс полирования осуществлялся алмазной лентой АС 2 80/63 Р9 100% с режимами: скорость резания 45м/мин, давление 0,4МПа, время обработки 5 секунд. В этом случае удалялся основной припуск и следы от предшествующего ручного шлифования. Связкой алмазной ленты является резина разной степени жесткости, которая не выдерживает высокой температуры, поэтому при обработке используется охлаждение (масло индустриальное – 20).

Для оперативной оценки параметров шероховатости поверхности в работе применялся оптико – электронный метод, основанный на компьютерной обработке изображения исследуемой криволинейной поверхности [3,4], который позволяет определять среднее арифметическое отклонение микронеровностей поверхности на площади 6мм² по 1500 профилям поверхности через автокорреляционную функцию. Среднее значения тона изображения $Ra, мкм$ определялся с заданной вероятностью из экспериментальной зависимости $Ra = f(U_{CP}), мкм$, где U_{CP} – случайное среднее значение переменной составляющей автокорреляционной функции. Применение данного метода позволило определять $Ra, мкм$ поверхности по всему профилю спинки и корыта лопатки. Для этого на поверхности лопатки строилась сетка с размером 5x5мм, в узлах сетки определялся параметр шероховатости поверхности и строились поля шероховатости.

На рисунке 1 показаны поля шероховатости поверхности спинки и корыта лопатки 12 ступени компрессора турбины. Установлено, что минимальное значение шероховатости поверхности на корыте приближено к бандажной полке, а на спинке к середине лопатки, при этом величина шероховатости колеблется от 0,18 мкм до 0,34 мкм. Изменение высоты микронеровностей связано с тем, что при жестком креплении ложементов на станке большое влияние оказывает угол закрутки в лопатке, и она не обладает достаточной кинематической свободой в процессе обработке при изменениях давления.

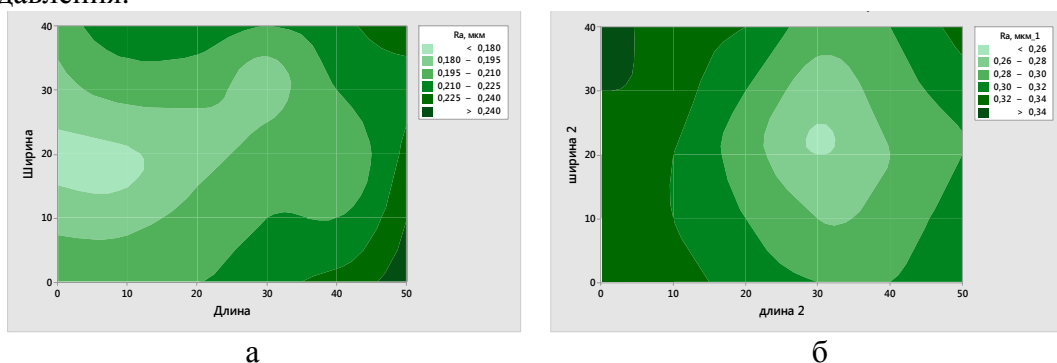


Рис. 1. Поля шероховатости поверхности лопаток 12 ступени компрессора после 1 перехода: а - корыто, б – спинка

При этом окончательно формируется шероховатость поверхности и выполняются технические условия по качеству поверхности $Ra = 0,32 мкм$. Из

приведенных данных видно, что наблюдается достаточно большой разброс Ra по поверхности от 0,18 до 0,28 мкм на корыте, т.к. криволинейный профиль лопатки не позволяет выровнять давление при обработке во всех точках контакта. Кроме этого, были обнаружены поверхности на лопатке, в которых шероховатость была выше нормативной. Это свидетельствует о недостаточности времени обработки лопатки.

Несмотря на малые размеры неровностей поверхности, составляющих шероховатость, они оказывают существенное влияние на эксплуатационные свойства поверхности лопаток. Полученные следы от механической обработки являются концентратами напряжений и влияют на процесс усталости металлов при действии циклических и знакопеременных нагрузок. Во впадинах неровностей происходит увеличение напряжений, что может привести к образованию усталостных трещин. При исследовании распределения напряжений на дне обработанных рисков авторами [5] с помощью методов теории упругости и с привлечением аппарата теории случайных функций предложена зависимость по определению коэффициента концентрации напряжений α_σ , которая после преобразования примет следующий вид

$$\alpha_\sigma = 1 + \pi \frac{32(0,013U_{cp} - 0,078)}{1000S_M},$$

Здесь S_M – период колебания автокорреляционной функции (период автокорреляционной функции).

Рисунок 2 иллюстрирует распределение коэффициента концентрации напряжений на корыте и спинке лопатки.

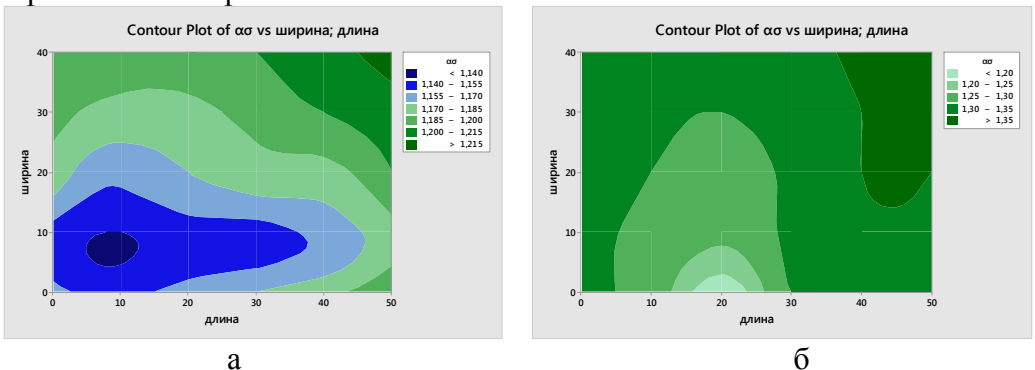


Рис. 2. Поля коэффициента концентрации напряжений поверхности лопаток 12 степени компрессора: а - корыто, б - спинка

Из приведенных данных видно, что величина α_σ изменяется в пределах 1,14 – 1,35. В этом случае определяющим является α_σ полученный на спинке лопатки, поэтому для выравнивания шероховатости поверхности спинки и корыта необходимо применять дополнительный переход с использованием алмазной ленты зернистостью 40/ 28.

Таким образом, доказано, что применение оптико-электронного метода для оценки полей шероховатости и коэффициента концентрации напряжений поверхности компрессорных лопаток позволяет установить недостатки процесса виброконтрастного полирования лопаток 12 ступени компрессора турбины, в частности неравномерное распределение шероховатости поверхности, связанное с колебаниями давления алмазных лент на поверхность лопатки.

Список литературы

1. Хусу А.П. Шероховатость поверхностей. Теоретико-вероятностный подход / А.П. Хусу, Ю.Р. Витенберг, В.А. Пальмов. – М.: Наука, 1975. – 344 с.
2. Носов Н.В. Оценка микроструктуры поверхности профиля пера лопаток газотурбинного двигателя / Н.В. Носов, А.Д. Абрамов, С.И. Косулин // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2017. – Т.16, № 2. – С. 90-100.
3. Абрамов А.Д. Оценка параметров микрорельефа поверхностей деталей машин на основе квазиоптимальных корреляционных алгоритмов / А.Д. Абрамов, Н.В. Носов // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2016. – № 9. – С.19-25.
4. Абрамов А.Д. Моделирование параметров текстуры прецизионных поверхностей с помощью корреляционного алгоритма / А.Д. Абрамов, Н. В. Носов, Е.А. Якубович // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: труды XXI Международной конференции. Т.1. – Самара: ООО «Офорт», 2019. – С. 173-176.
5. Петрешин Д.И. Управление параметрами качества поверхностного слоя деталей машин в условиях неопределенности / Д.И. Петрешин, А.Г. Суслов, О.Н. Федонин // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2016. – №4(55). – С.57-61.

References

1. Husu A.P. Roughness of surfaces. Probability-theoretic approach / A.P. Husu, Yu.R. Vitenberg, V.A. Palmov. – Moscow: Science, 1975. – 344 p.
2. Nosov N.V. Evaluation of the surface microstructure of the airfoil blade of a gas turbine engine / N.V. Nosov, A.D. Abramov, S.I. Kosulin // Bulletin of Samara University. Aerospace engineering, technology and mechanical engineering. – 2017. – Vol.16, № 2. – P.90-100.
3. Abramov A.D. Estimation of parameters of microrelief of surfaces of machine parts based on quasi-optimal correlation algorithms / A.D. Abramov, N.V. Nosov // Bulletin of computer and information technologies. – 2016. – №9. – P. 19-25.
4. Abramov A.D. Modelling of Parameters of a Precision Surfaces using a Correlation Algorithm / A.D. Abramov, N.V. Nosov, E.A. Yakubovich //

Complex systems: Control and modeling problems : proceedings of the XXI International Conference (CSCMP). Vol.1. – Samara, 2019. – P. 173-176.

5. Petreshin D.I. Management of quality parameters of the surface layer of machine parts in conditions of uncertainty / D.I. Petreshin, A.G. Suslov, O.N. Fedonin // Progressive technologies and systems of mechanical engineering. – 2016. – № 4 (55). – P.57-61.

Носов Николай Васильевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения, станки и инструменты», nosov.nv@samgtu.ru	Nosov Nikolay Vasilevich – doctor of technical science, professor of Department «Mechanical engineering technology, machine tools and tools», nosov.nv@samgtu.ru
Якубович Ефим Абрамович – кандидат технических наук, профессор кафедры «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы», eyakubovich@mail.ru	Yakubovich Efim Abramovich – candidate of technical science, professor of Department «Metal science, powder metallurgy, nanomaterials», eyakubovich@mail.ru
Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия	Samara state technical university, Samara, Russia

Received 19.09.2021