

УДК 621.762

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСТЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ВОССТАНОВЛЕННЫХ КОМПРЕССОРНЫХ ЛОПАТОК ГТД ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ, ОТРАБОТАВШИХ НАЗНАЧЕННЫЙ РЕСУРС

© 2011 Ю. П. Тарасенко, И. Н. Царева, Л. А. Кривина

Нижегородский филиал учреждения Российской академии наук
Института машиноведения им. А.А. Благонравова,
НПЦ «Трибоника», г. Нижний Новгород

В работе приведены результаты исследований состояния компрессорных лопаток газотурбинных двигателей газоперекачивающих агрегатов, отработавших назначенный ресурс (~ 50 000 часов) после проведения ремонтно-восстановительной обработки с применением ионно-плазменных покрытий нитрида титана.

Компрессорные лопатки, газотурбинный двигатель, газоперекачивающий агрегат, ремонтно-восстановительная технология, ионно-плазменные покрытия, нитрид титана, ресурс работы.

Введение

Для повышения надежности и ресурса компрессорных лопаток весьма перспективными являются полифункциональные ионно-плазменные покрытия нитрида титана, которые могут быть использованы в составе ремонтно-восстановительных и упрочняющих технологий.

Результаты исследований

С целью разработки ремонтно-восстановительной технологии для компрессорных лопаток газотурбинных двигателей были проведены комплексные исследования постэксплуатационного состояния материала (ст.12Х13, 20Х13) рабочих лопаток осевого компрессора газотурбинных двигателей импортных газоперекачивающих агрегатов ГТК-25И и ГТК-10И (производства компании «Nuovo Pignone») с разной фактической наработкой (58 000, 60 000, 80 000, 110 000 часов).

Проведены исследования структуры и физико-механических свойств материала рабочих лопаток разных ступеней с увеличением наработки. Особое внимание было уделено лопаткам 5 ступени, испытывающим наибольшие удельные рабочие нагрузки. Установлено, что в процессе эксплуатации фазовый состав стали не меняется и представляет собой сорбитообразный перлит (α -Fe+карбиды). Однако обнаружены изменения в микроструктуре, проявляющиеся в коагуляции карбидной фазы и наличии микропористости, характерной для первой стадии накопления повреждений при развитии усталостных процессов.

Установлено, что после эксплуатации в течение 58000-60000 часов материал лопаток находится в стадии деформационного упрочнения, когда происходит перестройка дислокационной структуры, сопровождающаяся укрупнением субзеренных блоков, возрастанием величины микродеформаций, увеличением (на порядок) плотности дислокаций в субзернах α -Fe. Указанные изменения в структуре приводят к повышению микротвердости поверхности (до 35 %) и предела текучести (на 20 %) материала перовой части лопаток. При увеличении наработки (до 80000-110 000 часов) в результате протекания процессов пластической деформации происходит размельчение субзеренных блоков феррита, релаксация микронапряжений и, как следствие, снижение предела микропластичности.

На основании результатов анализа постэксплуатационного состояния была разработана технология восстановления и модернизации для продления ресурса компрессорных лопаток газотурбинных двигателей, включающая комплекс технологических операций: электролитно-импульсную обработку, механическую обработку, восстановительную термообработку, нанесение ионно-плазменного полифункционального покрытия на основе нитрида титана (методом КИБ).

С целью оптимизации режима напыления покрытий исследованы структура и физико-механические свойства TiN, полученные в широком интервале технологических параметров (парциальное давление реакционного газа, ток дуги, опорное напряжение). Разработаны наноструктури-

рованные покрытия TiN с кубической кристаллической решеткой, размером субзерна $D \sim 30$ нм, обладающие оптимальным сочетанием микротвердости (~ 1500 кгс/мм²) и коэффициента пластичности ($\delta_H = 0,8$).

В результате применения восстановительной ионно-плазменной технологии на лопатках, отработавших назначенный ресурс, достигнуто: повышение микротвердости рабочей поверхности в 5-7 раз, улучшение антикоррозионных свойств по показателю питтингостойкости в 3-5 раз, восстановление упруго-пластических свойств материала на 90 %, повышение эрозионной стойкости рабочей поверхности на 25 %, восстановление предела выносливости и продление общего срока службы компрессорных лопаток в 1,8-2 раза.

Разработанная технология через НПЦ «Трибоника» была внедрена на предприятиях ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород» и ООО «Севергазпром» ОАО «Газпром» для продления срока службы рабочих и направляющих лопаток осевого компрессора газотурбинных двигателей ГТК-25И, ГТК-10И. По данной технологии было восстановлено и поставлено в эксплуатацию 32 комплекта компрессорных лопаток, которые в настоящее время отработали второй назначенный ресурс ($\sim 48\ 000$ часов).

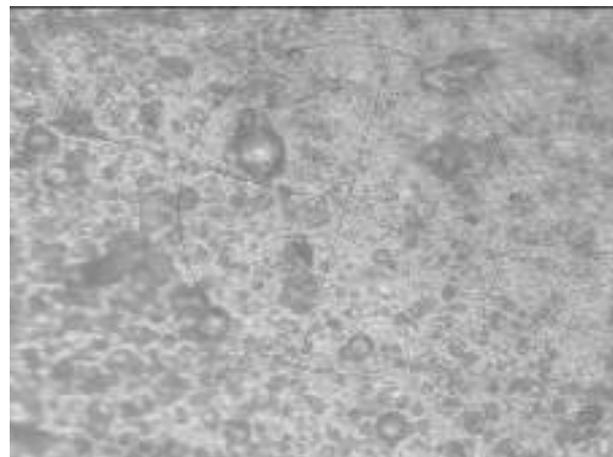
В данной работе проведены исследования постэксплуатационного состояния покрытия нитрида титана и материала компрессорных лопаток, отработавших после восстановления второй назначенный ресурс в реальных условиях эксплуатации на газоперекачивающей станции ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород» (рис. 1).



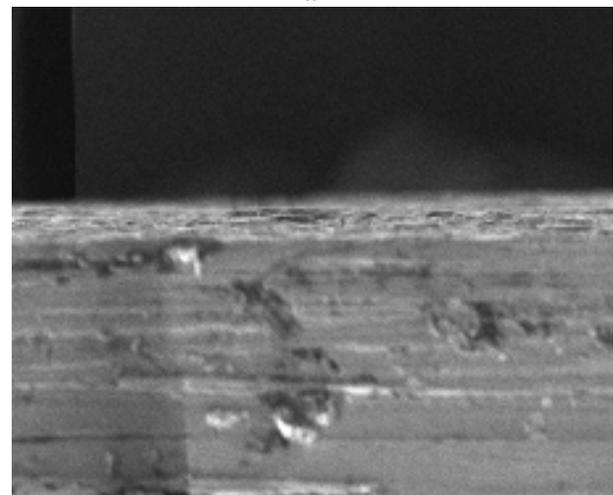
Рис. 1. Ротор осевого компрессора ГТК-25И с восстановленными лопатками после эксплуатации

Визуальным осмотром установлено, что покрытие сохранило свою целостность на всех ступенях ротора компрессора (с 0-вой по 15-ю ступень). Не обнаружено отслоений, сколов и износа покрытия TiN в то время, как до ремонта исходное гальваническое никелевое покрытие сохранялось после такой же фактической наработки только на 10-20 % площади лопаток.

Микроструктура (рис. 2) и фазовый состав покрытия нитрида титана после длительной эксплуатации не изменились. Методом рентгеноструктурного анализа установлено, что основной фазой в покрытии является δ -TiN (К).



а



б

Рис. 2. Микроструктура покрытия TiN после эксплуатации: а - с поверхности (x500), б - поперечный шлиф (x1000)

На лопатках 9-12 ступеней, подверженных наибольшему термическому воздействию, обнаружено окисление нитридного покрытия в виде радужных цветов побежалости (рис. 3).



Рис. 3. Окисление нитридного покрытия на компрессорной лопатке после эксплуатации

Было проведено физическое моделирование окислительного процесса на лопатках с покрытием TiN методом изотермической выдержки в воздушной среде при температурах до 700°C. Установлено, что нитридное покрытие надежно защищает рабочую поверхность лопаток до температуры 450°C. Методом электронной микроскопии исследовано распределение элементного состава покрытия по толщине (рис. 4). Установлено, что при длительной эксплуатации на поверхности покрытия происходит образование окискарбидных пленок. Микротвердость покрытия TiN после эксплуатации составляет 1140 кгс/мм².

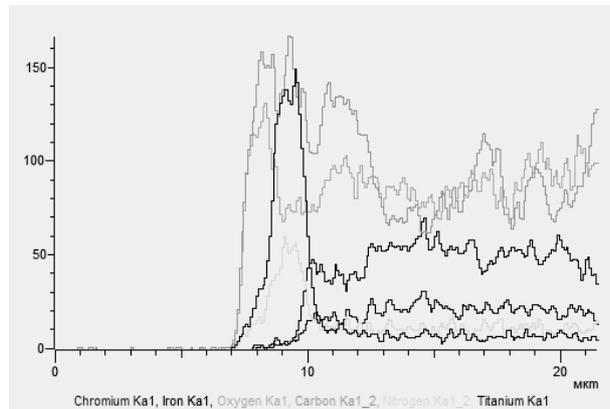


Рис. 4. Распределение элементного состава покрытия TiN по толщине после длительной эксплуатации

В работе проведены исследования изменений в состоянии основного материала восстановленных лопаток, отработавших второй назначенный ресурс. Особое внимание было уделено лопаткам 5-й ступени, подверженным при эксплуатации наибольшим удельным рабочим нагрузкам и лопаткам 14-й ступени, работающим в условиях повышенных температур. Методом рентгеноструктурного анализа установлено, что фазовый состав и микроструктура

(рис. 5) стали 12X13 после длительной эксплуатации не изменились, материал лопаток имеет перлитную структуру (α -Fe+карбиды). Из анализа физического уширения рентгеновских линий (011) и (022) (α -Fe) получено, что после эксплуатации состояние основного материала удовлетворительное (величина микродеформаций среднего уровня $\varepsilon \sim 0,0003$), размер субзеренных блоков зерен феррита находится в пределах 180 – 205 нм (что близко к состоянию материала после восстановительной термической обработки перед повторной эксплуатацией).

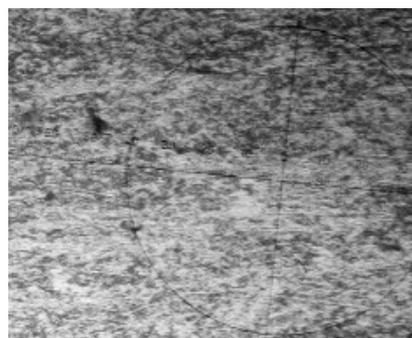


Рис. 5. Микроструктура стали 12X13 после отработки лопатками двойного ресурса

Микротвердость материала лопаток после повторной эксплуатации составляет 290 кгс/мм² и соответствует требованиям, предъявляемым к стали 12X13.

Релаксационные испытания образцов, вырезанных из опасного сечения перовой части лопаток, показали, что после длительной эксплуатации наблюдается увеличение предела текучести и предела микропластичности (на 15-20 % на лопатках 14-й ступени). Такие изменения являются обратимыми и характерны для стадии деформационного упрочнения.

Проведенные исследования постэксплуатационного состояния восстановленных лопаток показали, что при разработке комплексной ремонтно-восстановительной технологии была правильно подобрана совокупность технологических операций (механическая, регенерирующая термическая и электролитно-импульсная виды обработки), способствующая восстановлению пластических свойств и предела выносливости материала лопаток. Таким образом, своевременно (до стадии разупрочнения) и грамотно (с учетом реальной дефектной структуры материала)

проведенные восстановительные операции позволяют существенно продлить жизнь такого ответственного вида деталей, как лопатки газотурбинных двигателей. А эффективность применения защитных ионно-плазменных покрытий TiN для повышения надежности и ресурса компрессорных лопаток газотурбинных двигателей подтверждена длительным сроком службы в

реальных условиях эксплуатации на газоперекачивающей станции.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (Минобрнауки), на основании постановления Правительства РФ №218 от 09.04.2010.

RESEARCH OF THE POSTOPERATIONAL CONDITION OF THE RESTORED COMPRESSOR SHOVELS OF GTD GAS-TRANSFER OF THE UNITS WHICH HAVE FULFILLED THE APPOINTED RESOURCE

© 2011 Y. P. Tarasenko, I. N. Tsareva, L. A. Krivina

Nizhny Novgorod branch Institutions of the Russian Academy of Sciences
Institute of engineering sciences A.A. Blagonravova, NPE «Tribonika», Nizhny Novgorod

In work results of researches of a condition of compressor shovels gas turbine engines gas-transfer the units which have fulfilled the appointed resource (~ 50 000 hours) after carrying out of repair-regenerative processing with application of ionic-plasma coverings of nitride of the titan are resulted.

Compressor blade, turbine engine, gas-pumping unit, repair-replacement technology, ion-plasma coating Titanium Nitride, resource work.

Информация об авторах

Тарасенко Юрий Павлович, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией «Трибофизики» Нижегородского филиала Учреждения Российской академии наук Института машиноведения им. А.А. Благонравова. Тел.: (831) 432-01-79. E-mail: tribonikanpc@mail.ru. Область научных интересов: поведение материалов в экстремальных условиях, технологии нанесения полифункциональных покрытий.

Царева Ирина Николаевна, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Нижегородского филиала Учреждения Российской академии наук Института машиноведения им. А.А. Благонравова. Тел.: (831) 432-03-01. E-mail: tribonikanpc@mail.ru. Область научных интересов: поведение материалов в экстремальных условиях, технологии нанесения полифункциональных покрытий.

Кривина Людмила Александровна, научный сотрудник Нижегородского филиала Учреждения Российской академии наук Института машиноведения им. А.А. Благонравова. Тел.: (831) 432-03-01. E-mail: tribonikanpc@mail.ru. Область научных интересов: полифункциональные покрытия, трибологические свойства материалов.

Tarasenko Yuriy Pavlovich, Candidate of Phisic and Matematik Sciences, Head of Laboratory, the Nizhny Novgorod branch Institutions of the Russian Academy of Sciences Institute of mechanical engineering, A.A. Blagonravov (Nizhniy Novgorod). Phone: (831) 432-01-79. E-mail: tribonikanpc@mail.ru. Area of research: behaviour of materials in extreme conditions, technologies of regenerative heat treatment, application of modified Polyfunctional coatings, heat by intermetallic basis and based on ceramics.

Tsareva Irina Nikolaevna, Candidate of Phisic and Matematik Sciences, senior researcher, the Nizhny Novgorod branch Institutions of the Russian Academy of Sciences Institute of mechanical engineering, A.A. Blagonravov (Nizhniy Novgorod). Phone: (831) 432-01-79. E-mail: tribonikanpc@mail.ru. Area of research: an analysis of the behaviour of materials in the production environment, the development of technologies of regenerative heat treatment.

Krivina Lyudmila Aleksandrovna, researcher of the Nizhny Novgorod branch Institutions of the Russian Academy of Sciences Institute of engineering A.A. Blagonravova (Nizhniy Novgorod). Phone: (831) 432-01-79. E-mail: tribonikanpc@mail.ru. Area of research: modified Polyfunctional Titanium Nitride coatings, analysis of their efficiency over time, tribological properties of materials.