

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ ЛОПАТКИ ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ ПЕРВОЙ СТУПЕНИ ПОСЛЕ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ

Д.И. ДАВИДОВ¹, Н.В. КАЗАНЦЕВА¹, Н.И.ВИНОГРАДОВА¹, И.В. ЕЖОВ¹

¹ Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН

E-mail: davidov@imp.uran.ru

Жаропрочные никелевые сплавы являются незаменимым на сегодняшний день материалом для изготовления лопаток газовых турбин, работающих в условиях воздействия высоких температур и агрессивной внешней среды. Для повышения коррозионных свойств этих материалов используется специальное легирование и нанесение защитных покрытий.

Проведение восстановительных термических обработок является важной частью эксплуатации турбинных лопаток и определяет предельные сроки их службы. Кроме анализа внутренней структуры пера лопатки, находящегося при эксплуатации в сложных термо-механических условиях, не менее важным является также анализ состояния защитного покрытия лопатки. Алюминиевые покрытия обладают способностью образовывать защитную оксидную пленку Al_2O_3 , позволяющую материалу при температурах выше 900 °С [1].

В докладе представлено исследование микроструктуры и химического состава защитного покрытия никелевой жаропрочной лопатки первой ступени газовой турбины после стандартного восстановительного отжига. Лопатка получена из жаропрочного сплава Inconel 738С. Этот сплав успешно используется для изготовления промышленных лопаток первой ступени газовых турбин [2]. Исследование было выполнено с помощью оптического микроскопа Микромед МЕТ и сканирующего электронного микроскопа JSM 6490 с приставками для энергодисперсионного и волнового микроанализа Oxford Inca.

Химический состав жаропрочного никелевого сплава приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав сплава Inconel 738С [1]

Ni	Cr	Co	Mo	W	Ta	Al	Ti	C	B	Zr	Fe	Nb
61	16	8.51	1.7	2.6	1.7	3.4	3.4	0.11	0.01	0.05	<0.5	0.9

На рисунке 1 приведена микроструктура защитного покрытия в двух частях пера лопатки: во внутренней части лопатки вблизи охлаждающей системы и во внешней, горячей части.

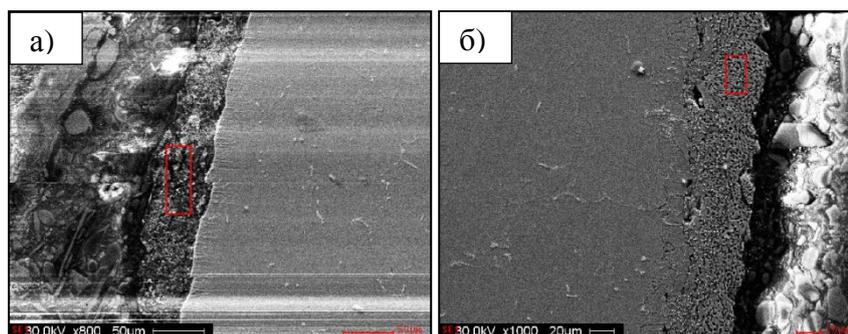


Рисунок 1 - Растровая электронная микроскопия микроструктуры защитного покрытия пера лопатки: а) внутренняя часть лопатки; б) внешняя часть лопатки

Внутренняя часть защитного покрытия, граничащая с системой охлаждения, имеет узкую зону, шириной порядка 50 мкм (рис.1а). В химическом составе внутренней части

защитного покрытия обнаружено высокое процентное содержание кислорода, алюминия, никеля и хрома, присутствует также иттрий. Химический состав защитного покрытия представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав защитного покрытия внутренней части пера лопатки, масс.%

Ni	Al	Ta	Co	Fe	Cr	Ti	Ca	Mo	Y	Si	O	C
29,19	18,66	2,67	14,03	0,66	14,03	4,12	0,75	1,48	1,03	0,74	6,69	5,96

Защитное покрытие внешней (горячей) части пера представлено на рис. 1б. Содержание кислорода и алюминия в этой части покрытия значительно ниже, чем во внутренней. В покрытии также присутствует иттрий, хром, кобальт и никель. Содержание хрома и кобальта падает в направлении от внешней поверхности к границе между защитным покрытием и с основной частью пера, а содержание никеля – растет. Наличие трещин на границе между основной частью пера лопатки и защитным покрытием свидетельствует о низкой адгезии и возможности отслоения покрытия. Химический состав защитного покрытия внешней части пера лопатки представлен в таблице 3.

Таблица 3– Химический состав защитного покрытия внутренней части пера лопатки, масс.%

Ni	Al	Ta	Co	Fe	Cr	Ti	Ca	Mo	Y	Si	O	C	Nb	Zr
29,54	2,01	1,38	34,07	0,46	24,65	0,73	0,75	1,08	1,08	0,43	1,36	2,45	0,41	0,34

Как можно видеть из таблиц 2-3, химический состав защитного покрытия лопатки после восстановительного режима различен в разных частях пера лопатки. Во внешней (горячей) части пера лопатки покрытие потеряло значительную долю алюминия, титана и тантала, а во внутренней части лопатки, вблизи от системы охлаждения, из покрытия «ушли» кобальт, ниобий и цирконий.

Сравнение полученных результатов с литературными данными дает возможность оценить влияние термических обработок на химический состав и качество защитного покрытия.

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ № 15-12-00001.

Список литературы

1. Zielinska M., Sieniawski J., Yavorska M., Motyka M. Influence of chemical composition of nickel based superalloy on the formation of aluminide coatings // Archives of metallurgy and materials. – 2011. – Vol. 56. – Issue 1. – P.193-197
2. Jonšta P., Konečná K., Heide R., Gabčová M., Jonšta Z. Microstructural analysis of a cast variant of nickel superalloy Inconel 738LC after high temperature exposition // Metall-2011. – 2011. Vol.5.18 - 20. – P. 1-8.