

УДК 621.438-226.739.6

АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ В ПРОЦЕССЕ ИХ НАНЕСЕНИЯ

Л.А. ХАСАНОВА, В.В. ДРЕВНЯК, А.А. ЖУКОВ, СААДАТИБАИ МЕХДИ

Статья представлена профессором, доктором технических наук В.М. Самойленко

Выполнена систематизация дефектов микроструктуры газоциркуляционного хромоалитированного покрытия методами металлографического и рентгеноструктурного анализа. Выявлены возможные причины происхождения дефектов и предложены способы их устранения.

Ключевые слова: качество, покрытие, микроструктура, дефекты, металлографический метод.

Введение

В настоящее время на большинство деталей ГТД, с целью увеличения их ресурса, наносят защитные покрытия различного назначения. Для эффективной защиты поверхностей лопаток турбины ГТД от высокотемпературного окисления на отечественных заводах и за рубежом широко используют газоциркуляционные покрытия [1, 2, 4].

Качество наносимого покрытия зависит от исходной структуры покрытия, которая наряду с составом является одним из основных факторов, определяющих их прочность, пластичность, сопротивление усталости, окислению и другие физико-химические, механические и эксплуатационные свойства [1, 3, 5]. В связи с этим, формируемая структура покрытия в процессе нанесения является важным условием получения требуемых свойств и обеспечения необходимой долговечности системы «сплав- покрытие».

Анализ производственных данных ОАО «НПО Сатурн» при оценке качества газоциркуляционного покрытия в течение длительного времени (с 2011 по 2014 г.) на лопатках рабочих из сплава АМ1 в количестве 257 садок выявил наиболее характерные виды дефектов: несоответствие толщины слоя техническим условиям; несоответствие содержанию алюминия техническим условиям; несоответствие микроструктуры покрытия эталонной; наличие темных пятен на поверхности; локальные поверхностные повреждения слоя (вмятины, забоины, включения, сколы).

Общий вид наиболее характерных дефектов, обнаруживаемых визуально, представлен на рис. 1.

Статистический анализ результатов контроля показал, что ~ 80% от общего количества забракованных деталей приходится на несоответствия микроструктуры и повышенное содержание алюминия. Поскольку качество микроструктуры диффузионных жаропрочных покрытий может быть обеспечено за счет совершенствования и стабильности технологического процесса его нанесения, поэтому выявление причин формирования несоответствующей микроструктуры является актуальной задачей решение которой позволит повысить ресурс покрытия, лопаток в целом и снизить потери от брака.

Методика проведения исследования

Исследования характеристик газоциркуляционных покрытий осуществляли по стандартной методике и проводили контроль одной детали от партии-садки: визуальный контроль путем внешнего осмотра; металлографический контроль; контроль микротвердости покрытия; контроль концентрации химических элементов.

Исследования проводили на рабочих лопатках 1 ступени ТНД, изготовленных из сплава АМ1(NTa8CKWA DMD0479-32), двигателя SaM-146 после двухстадийного газоциркуляционного хромоалитирования.

Образцы для металлографического анализа вырезали из пера лопатки в трех сечениях по высоте пера (вблизи бандажной полки – зона А; средняя часть пера – зона Б; вблизи полки замка – зона В) с последующим приготовлением поперечных микрошлифов.

Микроструктуру покрытия и сплава исследовали с использованием оптического микроскопа Nikon Epiaphot 200 при увеличении в 500 раз.

Контроль микротвердости покрытия осуществляли методом Виккерса на микрошлифе при нагрузке 20-50 г на приборе MicroMet 5114.

Для исследования распределения элементов в покрытии и сплаве использовали сканирующий электронный микроскоп, оснащенный энергодисперсионным спектрометром (анализатор INCA Energy+).

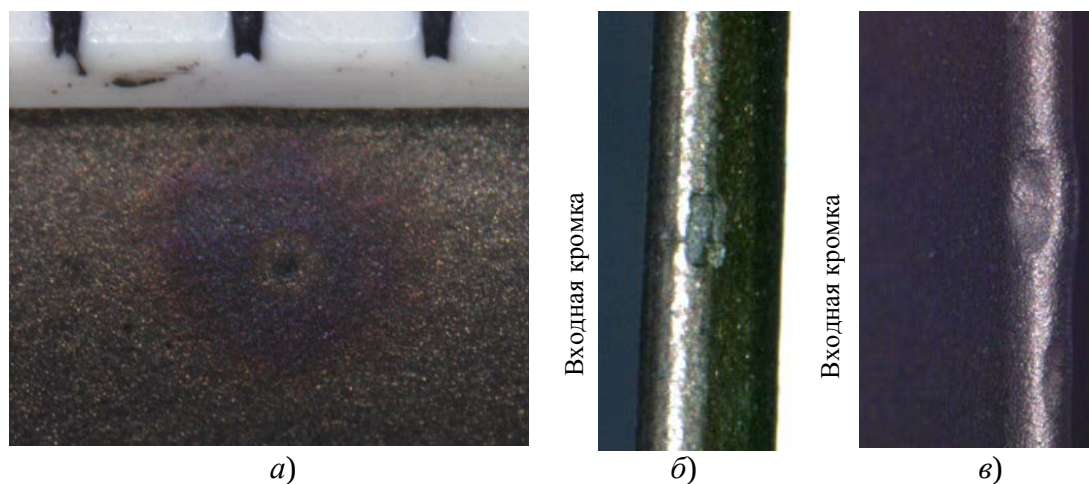


Рис.1. Вид дефектов на поверхности покрытия:

а) – темные пятна, б) – скол, в) – вмятины

Покрытие получали газоциркуляционным методом на установке ОР-5476. Циркуляционный способ получения диффузионных покрытий из газовой фазы имеет ряд преимуществ [1 - 3]. Данный способ отличает более высокий технический уровень, простота исполнения, экономичный расход исходных материалов, возможность получения многокомпонентных покрытий на наружных и внутренних поверхностях лопатки одновременно, экологическая чистота процесса.

Недостатком процесса газоциркуляционного нанесения является необходимость в специальных дорогостоящих установках для осуществления процесса, возможность насыщения поверхностных слоев элементами сплавов, из которых выполнены детали вентилятора, муфеля, нагреватели и т.п. Также отсутствует стабильность в получении качественной структуры покрытия, особенно на стадии освоения процесса.

Процесс нанесения хромоалитированного слоя является двух стадийным первая стадия – хромирование при 1000°C, 5 ч.; вторая стадия – алитирование при 1000°C, 8 ч.

В качестве насыщающей среды на первой стадии использовались: порошок хрома, дробленая никель-иттриевая лигатура (NiY), прокаленный глинозем, активатор хлористый аммоний. Смесь для второй стадии газоциркуляционного покрытия – алюминирования диффузионного: порошок ферроалюминия; активатор аммоний хлористый.

Результаты исследований

Анализ выявляемых несоответствий при различных видах контроля покрытий показал, что наибольшее количество отбраковки лопаток происходит при металлографическом исследовании структуры покрытия. В связи с этим наиболее подробно проанализируем дефекты микроструктуры покрытия и сравним их с эталонной микроструктурой газоциркуляционного покрытия (рис. 2).

После первой и второй стадии нанесения газоциркуляционного покрытия на лопатки турбины в структуре хромированного и хромоалитированного слоев были выявлены следующие виды несоответствий:

а) дефекты после первой стадии процесса – хромирования:

- наличие алитированного слоя и насыщение железом (рис. 2 в);

- наличие α -Cr на поверхности хромированного слоя (рис. 2 б);

- наличие игольчатой фазы (рис. 2 з);

б) дефекты после второй стадии процесса – алитирования:

- оксидная пленки в виде темных включений и темной полосы на границе диффузионной зоны и алитированного слоя (рис. 2 д).

- темные дисперсные включения в алитированном слое и оксидная пленки в виде темной полосы между слоями (рис. 2 е).

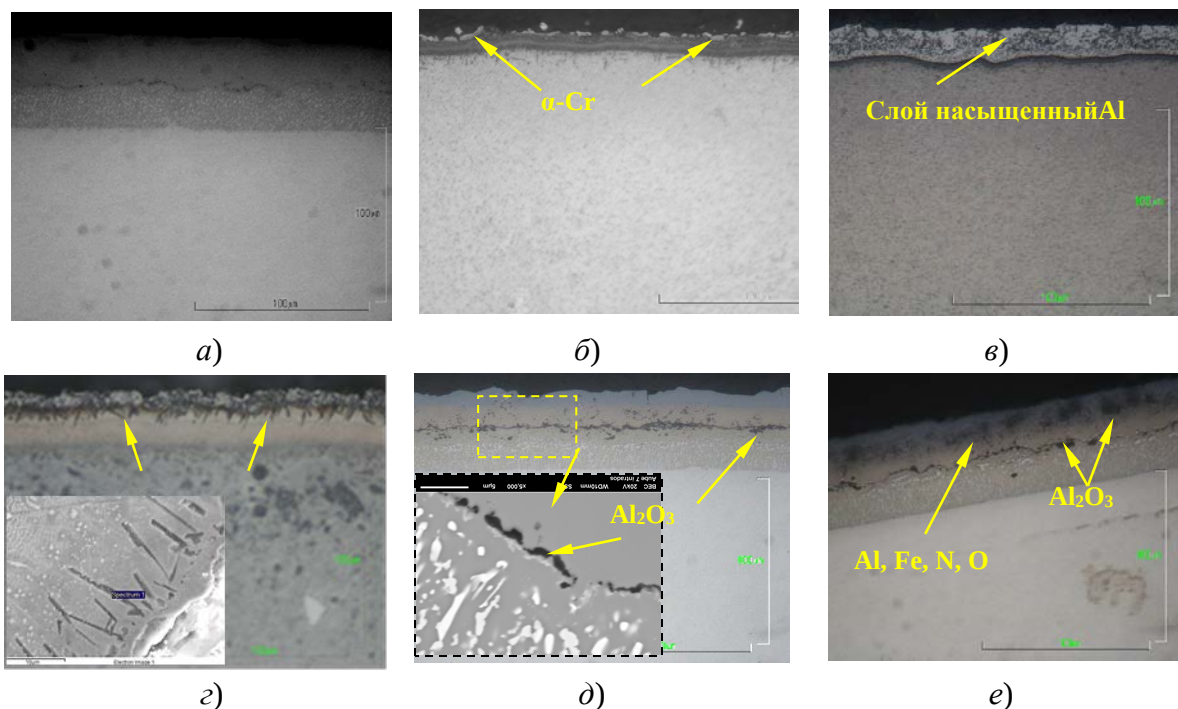


Рис. 2. Микроструктуры газациркуляционного покрытия: а) – эталонная структура; б) – наличие высокохромистой фазы (α -Cr); в) – дополнительное насыщение алюминием; з) – наличие игольчатой фазы; д) – наличие оксидной пленки между слоями; е) – дисперсные темные включения и наличие оксидной пленки

Результаты исследований дефектов методом рентгеноспектрального микроанализа показали, что в процессе осаждения хрома на первой стадии произошло насыщение алюминием (рис. 2 в) и таблица 1), что вызвано недостаточной очисткой муфеля установки и оснастки до процесса хромирования. Стадии процесса хромирования и хромоалитирования осуществляют в одном муфеле поочередно и в случае недостаточной очистки заалитированного муфеля при последующей садке в процессе хромирования происходит одновременное насыщение Cr и Al.

Образование фазы, в которой преобладает хром (α -Cr) (рис. 2 б) и таблица 2), на второй стадии нанесения покрытия происходит как с оснастки, так и по причине не качественного приготовления исходной шихты. Наличие данной фазы вредно, так как возможно охрупчивание и отслаивание покрытия. Наличие фазы α -Cr можно выявить и при визуальном осмотре по матово-серой поверхности, либо матовые кольца на поверхности лопаток являются типичными для присутствия α -Cr. В данном случае должна быть выполнена диффузионная обработка при давлении $\leq 10^{-2}$ Па.

Образование игольчатой фазы, представляющей собой нитриды (Ti, Al)N пластинчатой формы (рис. 2 з) и таблица 3) происходит в результате попадания в камеру азота при диссоциации активатора – хлористого аммония NH_4Cl , а также из окружающего воздуха.

Химический состав покрытия после первой стадии нанесения

Spectrum	Al	Cr	Fe	Co	Ni	Mo	Ta	W	Total
Spectrum 1	20.35	5.34	2.45	5.21	64.49	0.32	1.22	0.62	100.00
Spectrum 2	26.52	6.25	1.96	4.33	51.64	0.86	5.05	3.39	100.00
Spectrum 3	19.63	3.50	2.33	4.99	66.70	0.29	1.80	0.75	100.00
Spectrum 4	7.71	3.80	1.51	5.27	64.19	1.00	12.02	4.50	100.00
Spectrum 5	18.72	4.77	2.26	4.99	57.20	2.08	4.73	5.25	100.00

Таблица 2.

Химический состав покрытия после второй стадии нанесения

Spectrum	Si	Cr	Fe	Co	Ni	Mo	Total
Spectrum 1	5.60	23.90	0.63	4.14	64.69	1.05	100.00
Spectrum 2	5.76	24.74	0.62	4.70	62.78	1.40	100.00

Таблица 3.

Химический состав покрытия в местах образования игольчатой фазы

Элемент	N	Al	Si	Ti	Cr	Co	Ni	Mo	Ta	Totals
Wt%	13.99	33.36	3.97	1.97	6.65	2.78	33.94	1.63	1.69	100.00

Темные включения и темная полоса (рис. 2 д) и таблица 4) представляет собой оксид алюминия – Al_2O_3 . Источником образования Al_2O_3 является: а). остаточная воздушная атмосфера в рабочей камере, включая влагу, кислород; б). некачественные порошковые смеси хрома и алюминия; в). обдувка покрытий электрокорундом между стадиями процесса нанесения покрытия.

Таблица 4.

Химический состав покрытия в местах образования оксидной пленки

Элемент	O	Al	Si	Ti	Cr	Co	Ni	Итого
Wt%	42.58	45.71	0.13	0.30	1.37	1.03	8.88	100.00

В процессе осаждения хромоалитированного покрытия произошло насыщение железом и окисление жаропрочного сплава (рис. 2 е) и таблица 5). Вероятными причинами образования этого вида дефектов является выполнение процесса газоциркуляционного нанесения покрытия в окислительной атмосфере и использование нержавеющей стали (источник железа) в качестве оснастки.

Таблица 4.

Химический состав покрытия в местах насыщения железом

Spectrum	O	Al	Cr	Co	Ni	Fe	Total
Spectrum 1	10.00	26.14	1.70	2.70	50.45	9.02	100.00
Spectrum 2	9.58	26.38	1.49	3.10	52.30	7.15	100.00
Spectrum 3	10.08	27.09	2.00	3.24	51.61	5.98	100.00
Spectrum 4	10.10	27.35	2.25	3.77	50.00	6.53	100.00
Spectrum 5	8.05	24.18	3.00	4.96	57.34	2.47	100.00
Spectrum 6	8.00	24.37	3.35	4.00	57.58	2.69	100.00

В результате исследований установлен характер и возможные причины формирования основных дефектов структуры защитного диффузионного покрытия. Избежать подобные дефекты позволит тщательная предварительная подготовка к процессу нанесения покрытий, включая подготовку муфеля и оснастки, должное хранение и подготовка используемых реагентов, что позволит избежать таких дефектов как окисление и насыщение побочными элементами.

Для устранения дефектов в виде внедрения частиц корунда при подготовке к нанесению покрытия в процессе пневмообразивной обработки поверхности лопаток и обеспечения качества наносимых покрытий следует исключить данный процесс с переходом

на альтернативные способы очистки поверхности путем гидротермической автоклавной щелочной очистки или химического травления.

Смена активатора процесса NH_4Cl на галогениды NiCl_2 AlCl_3 позволит избежать образования нитридов в результате насыщения азотом, так как в процессе насыщения с активатором NH_4Cl возможно протекание наряду с основными побочными реакций, при которых более легкие газы-водород, азот и хлористый водород-частично выходят через отверстия или плавкий затвор контейнера, а более устойчивые и тяжелые пары реагируют с насыщающим элементом по реакциям диспропорционирования.

Перспективным с точки зрения устранения дефектов микроструктуры, образующихся между стадиями нанесения покрытия переходной зоны, где содержания включений Al_2O_3 вызваны во время обдувки покрытия электрокорундом является применение одностадийного циркуляционного хромоалитирования.

Выводы:

1. Методами металлографического и рентгеноспектрального анализа исследованы дефекты газоциркуляционного хромоалитированного покрытия, выявленные на различных стадиях нанесения покрытия.

2. Установлены причины происхождения дефектов покрытия и предложены способы их устранения.

3. Впервые выполнена систематизация дефектов микроструктуры газоциркуляционного покрытия на различных стадиях технологического процесса циркуляционного нанесения покрытия. На основе комплексного использования методов металлографического и рентгеноструктурного анализа.

Литература

1. Каблов Е.Н., Мубояджян С. А. Жаростойкие теплозащитные покрытия для лопаток турбины высокого давления перспективны ГТД. – М.: ВИАМ. 2012. С. 60-70.

2. Арзамасов Б.Н. Химико-термическая обработка металлов в активированных газовых средах. – М.: Машиностроение, 1979. 224 с.

3. Арзамасов Б.Н., Белявский А.К., Логунов А.В., Строганов Г.Б. Циркуляционный метод получения диффузионных покрытий на деталях газотурбинных двигателей и перспективы его развития // Вестник машиностроения. – 1991. – №11. –С. 43-48.

Analysis of defects in protective coatings in the process of their application

Samoilenko V.M., Hasnov L. A., Drewniak V.V., Zhukov A.A., Sagatiba Mehdi

The article presents the systematization of the defects of the microstructure getting along chromolithograph coating by methods of metallographic and x-ray diffraction analysis. Identified possible causes of the origin of defects and proposed ways to address them.

Keywords: quality, coating, microstructure, defects, metallographic method.

REFERENCES

1. Kablov E.N., Muboyadzhyan S. A. ZHarostoykie teplozashchitnye pokrytiya dlya lopatok turbiny vysokogo davleniya perspektivnyz GTD. – М.: VIAM. 2012. S. 60-70.

2. Arzamasov B.N. Himiko-termicheskaya obrabotka metallov v aktivirovannyh gazovyh sredah. – М.: Mashinostroyeniye, 1979. 224 s.

3. Arzamasov B.N., Belyavskiy A.K., Logunov A.V., Stroganov G.B. TSirkulyatsionnyy metod polucheniya diffuzionnyh pokrytiy na detalyah gazoturbinnnyh dvigateley i perspektivy ego razvitiya // Vestnik mashinostroyeniya. – 1991. – №11. –S. 43-48.

Сведения об авторах

Хасанова Лейла Александровна, 1983 г.р. Окончила РГТА в 2007, кандидат технических наук, ведущий специалист Управления главного металлурга ОАО "НПО "Сатурн". Автор 28 научных работ. Область научных интересов: повышение надежности деталей ГТД.

Древняк Владимир Владимирович, 1965 г.р., окончил ВАТТ (1998), соискатель МГТУ ГА,

автор 2 научных работ, область научных интересов – технология производства и ремонт авиационной техники.

Жуков Анатолий Алексеевич, 1940 г.р. Окончил РВАТИ в 1964, кандидат технических наук, профессор кафедры «Материаловедения, литья и сварки» РГАТУ им. П.А. Соловьева. Автор более 100 научных работ. Область научных интересов: повышение надежности деталей ГТД.

Саадатибаи Мехди, 1988 г.р., окончил МГТУ ГА (2013), аспирант МГТУ ГА, автор 2 научных работ, область научных интересов – технология производства и ремонт авиационной техники.