

УДК 621.438-226.739.6

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПОКРЫТИЯ НА ЛОПАТКАХ ТУРБИНЫ ИЗ СПЛАВОВ ЖС6У И ЖС26ВСНК

Р.Г. РАВИЛОВ, В.В. ДРЕВНЯК, М.А. ПЕТРОВА, СААДАТИБАИ МЕХДИ

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

Приводятся результаты исследования изменения фазового состава защитных покрытий на лопатках турбины ГТД. Рассмотрен критерий остаточной работоспособности диффузионного покрытия при ремонте лопаток ГТД с использованием которого разработана методика оценки долговечности диффузионных покрытий на никелевых сплавах.

Ключевые слова: покрытие, фазовый состав, долговечность, карбиды.

Введение

В настоящее время известно большое количество методов и способов получения высокотемпературных покрытий. Наибольшее распространение получили диффузионные защитные покрытия. Работоспособность и долговечность защитного покрытия в значительной степени определяется его химическим составом и строением [1, 2].

Существующий способ определения остаточной работоспособности покрытия по толщине и запасу алюминия в покрытии, хотя и является достаточно эффективным, громоздкий и продолжительный по времени с применением достаточно большого количества оборудования, а также требует разрушения лопатки. Поэтому вопрос определения критерия оценки остаточной работоспособности покрытия с меньшими трудозатратами и применяемым оборудованием является весьма актуальным.

Результаты исследования и их обсуждение

Диффузионное покрытие представляет собой структуру, состоящую из двух зон: наружной и внутренней диффузионной. Рентгеноструктурным анализом с поверхности образцов установлено, что в самом верхнем слое покрытия толщиной до 10 мкм основной структурной составляющей является фаза β -NiAl а также из незначительного количества фазы γ -Ni₃Al. Основными структурными составляющими внутренней зоны являются γ -фаза и карбиды.

В процессе эксплуатации происходит исчерпание защитных свойств покрытия, в результате которого, происходит уменьшение общей толщины покрытия, объемной доли β -фазы, коагуляция γ -фазы, а также уменьшение запаса алюминия покрытия [1,3,4]. Происходят фазовые превращения, которые можно представить цепочкой превращений:



Поскольку во внутренней зоне диффузионного покрытия присутствуют карбиды, то постепенное уменьшение толщины покрытия, а также фазовые превращения приводят к появлению их в поверхностном слое покрытия. Определение наличия карбидов в поверхностном слое покрытия с помощью рентгеноструктурного анализа, который не требует разрушения лопатки, может свидетельствовать об исчерпании покрытием своих защитных свойств. Следовательно, можно утверждать, что появление карбидов, а также уменьшение β фазы в покрытии могут быть взяты за критерий оценки остаточной работоспособности покрытия. Наличие карбидов и содержание β фазы оценивали по изменению интенсивности дифракционных линий, полученных при исследовании образцов на дифрактометре ДРОН - 4.

Задача идентификации карбидов в покрытии весьма затруднительна. Это обусловлено, во-первых, малым их количеством, в сравнении с другими фазами, а во-вторых, наложением пиков карбидов и других фаз в связи с близкими значениями брэгговских углов дифракционных максимумов и возможным смещением этих максимумов вследствие высокой плотности дефектов кристаллической решетки.

С целью определения брэгговских углов дифракционных максимумов появления

карбидов вначале был исследован сплав ЖС26ВСНК без покрытия. Как известно, структура такого сплава состоит из γ - твердого раствора, γ' - упрочняющей фазы и карбидов. Рентгеноструктурным анализом установлено, что самостоятельные пики максимумов карбидов типа $Me_{23}C_6$ и Me_6C появляются на углах, представленных на рис. 1. Следовательно, можно считать, что дифракционные пики максимумов карбидов будут появляться на этих же углах и в покрытии при исчерпании им своих защитных свойств в процессе эксплуатации.

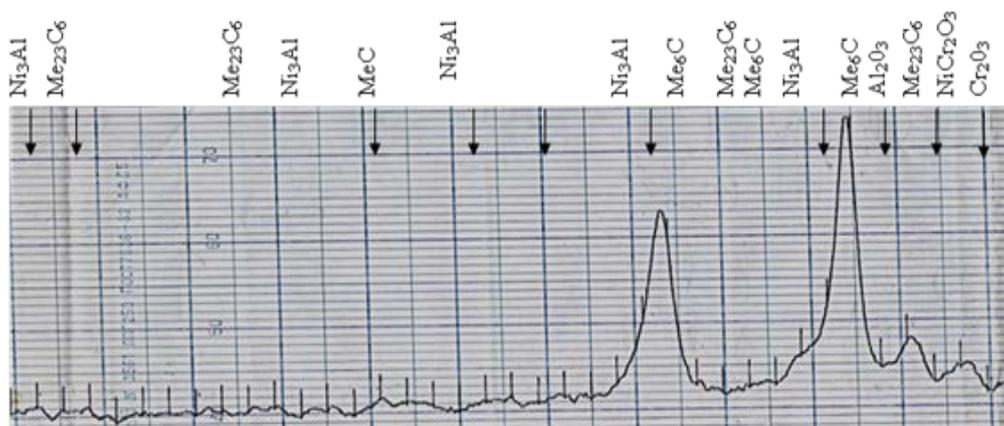


Рис. 1. Дифрактограмма фазового состава сплава ЖС26ВСНК

В процессе наработки в покрытии происходят сложные фазовые превращения и изменяются сами карбиды, то вначале было исследовано распределение фаз в комплексном покрытии по глубине слоя. С этой целью образцы из сплава ЖС26ВСНК с комплексным покрытием были подвергнуты электрохимическому полированию для послойного снятия покрытия [5].

Как видно из результатов исследования (рис. 2), при толщине наружной зоны 20 мкм основными фазами поверхностного слоя покрытия являются - β - NiAl и γ' - Ni₃Al.



Рис. 2. Дифрактограмма фазового состава сплава ЖС26ВСНК с комплексным покрытием толщиной 20 мкм

Рентгеноструктурным анализом установлено, что при толщине внешней зоны 8 мкм наблюдается уменьшение интенсивности дифракционных линий β фазы в сравнении с исходным покрытием (рис. 3).

При толщине внешней зоны 3 мкм основной структурной составляющей слоя являются соединения Me_6C , $Me_{23}C_6$, некоторое количество γ' - Ni₃Al, остаточные следы фазы β - NiAl (рис. 4). При отсутствии внешней зоны основной структурной составляющей покрытия является соединение Me_6C , некоторое количество MeC и $Me_{23}C_6$ и следы γ' фазы. Фаза β - не найдена (рис. 5).

Можно сказать, что с уменьшением толщины наружной зоны покрытия интенсивность дифракционных линий карбидов увеличивается, и достигают максимумов при

Методика оценки долговечности покрытия на лопатках турбины из сплавов ЖС6У и ЖС26ВСНК

толщине наружной зоны 0-3 мкм (рис. 4 и 5). Карбиды типа $Me_{23}C_6$ располагаются в слое преимущественно на границе внешней и внутренней зон.

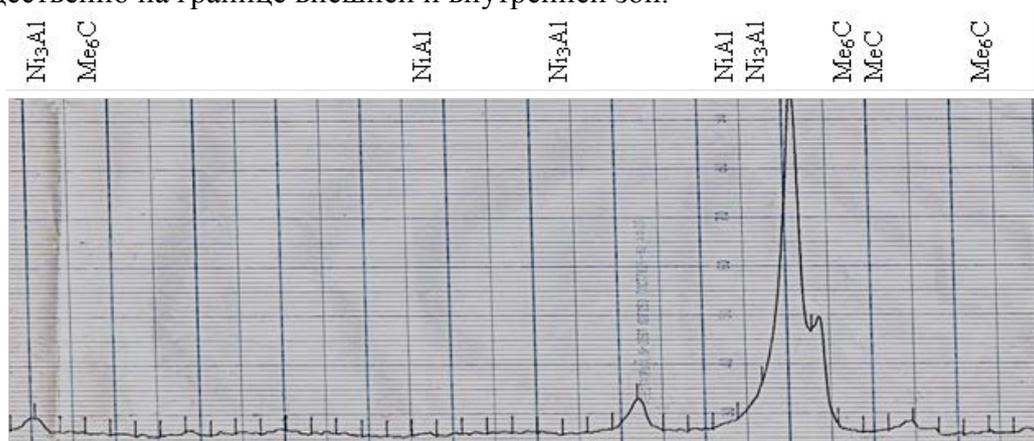


Рис. 3. Дифрактограмма фазового состава сплава ЖС26ВСНК с комплексным покрытием толщиной 8 мкм

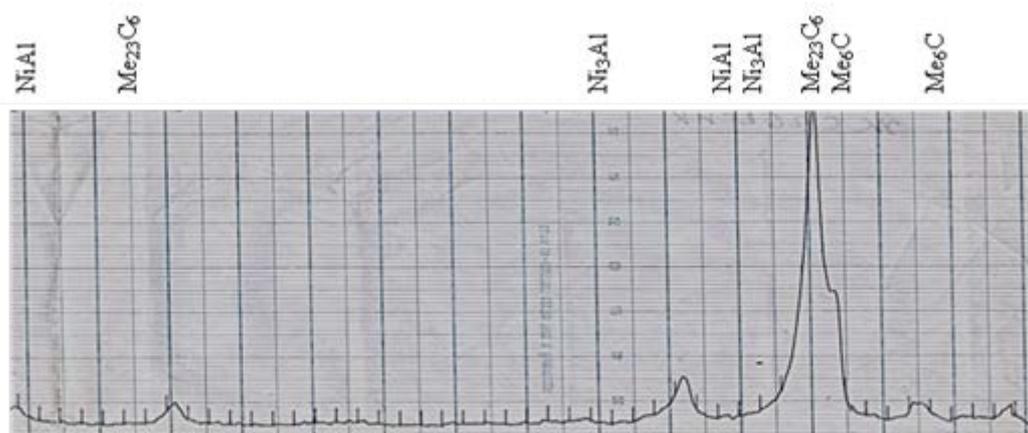


Рис. 4. Дифрактограмма фазового состава сплава ЖС26ВСНК с комплексным покрытием толщиной 3 мкм

Наличие дифракционных максимумов карбидов было подтверждено при исследовании на дифрактометре ДРОН - 4 фазового состава с поверхности диффузионного покрытия на сплаве ЖС6У после их изотермического окисления в течение 300 часов при температуре 1000 °С (рис. 6).

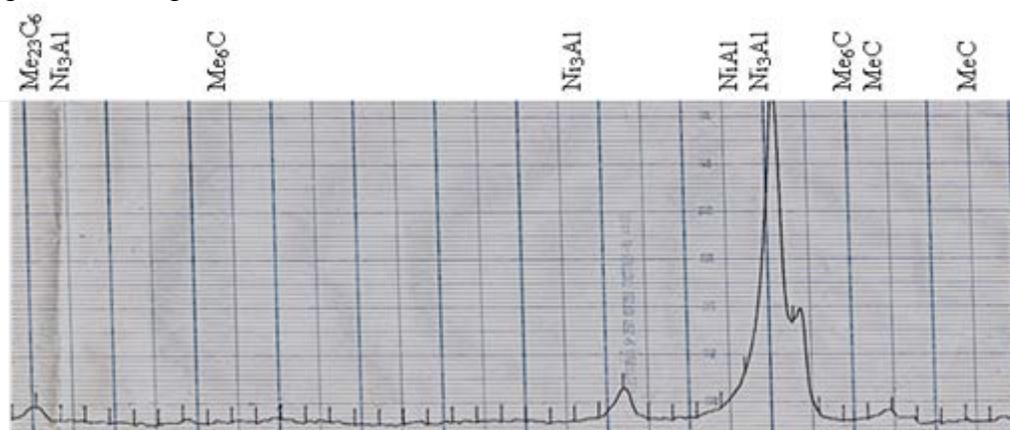


Рис. 5. Дифрактограмма фазового состава сплава ЖС26ВСНК с комплексным покрытием толщиной 0 мкм

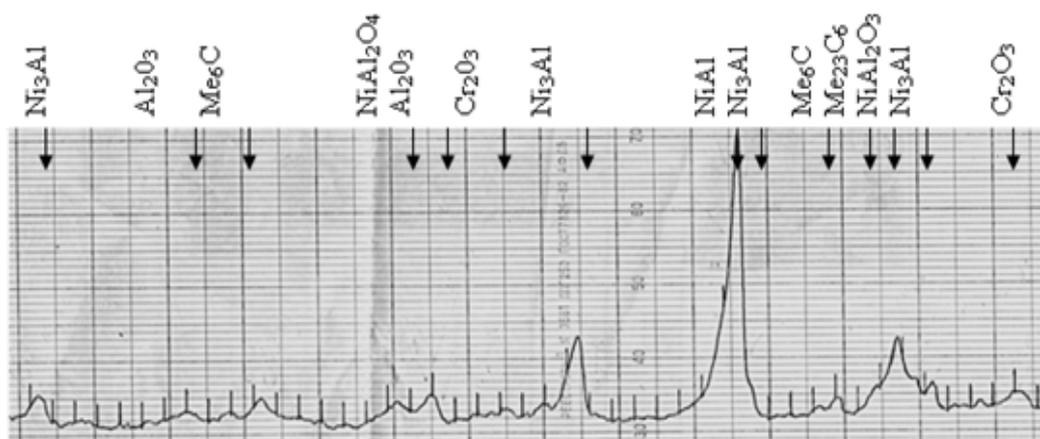


Рис. 6. Дифрактограмма фазового состава хромоалитированного после изотермического окисления при температуре 1000 °С в течение 300 часов

Анализ дифрактограмм фазового состава диффузионного покрытия на сплаве ЖС6У показывает, что через 300 часов окисления обнаруживаются следы карбидов типа Me_6C и незначительное количество $Me_{23}C_6$. Поскольку интенсивность пиков карбидов незначительна, то можно говорить о том, что покрытие еще не полностью исчерпало свои защитные свойства. Но появление следов карбидов может свидетельствовать о том, что возможности покрытия по защите подложки от высокотемпературной коррозии находятся на грани своих защитных свойств.

Таким образом, с помощью рентгеноструктурного анализа можно оценить остаточную работоспособность покрытия. Схема методики оценки долговечности покрытия представлена на рис. 7.



Рис. 7 – Схема методики оценки остаточной работоспособности защитных покрытий

Вывод:

1. Разработана методика оценки долговечности покрытий на лопатках турбины из сплавов ЖС6У и ЖС26.
2. При обнаружении на дифрактограмме фазового состава покрытия дифракционных максимумов карбидов MeC , Me_6C , $Me_{23}C_6$ следует считать, что такое покрытие на лопатках турбины исчерпало свои защитные свойства. Лопатки с таким покрытием подлежат ремонту с восстановлением защитных функций поверхностного слоя.

Литература

1. Абраимов Н.В., Елисеев Ю.С. Химико-термическая обработка жаропрочных сталей и сплавов. – М.: «Интермет Инжиниринг», 2001, 622 с.
2. Никитин В.И. Коррозия и защита лопаток газовых турбин. - М.: Машиностроение, 1987, 272с.
3. Goward G.W. Overview: Protective Coatings – purpose, Role and Design. – Mater. Sic and Technology, v. 2, № 3, 1986.
4. Коломыцев П.Т. Высокотемпературные защитные покрытия для никелевых сплавов. – М.: Металлургия 1991, 239с.
5. Беккерт М., Клемм Х. Способы металлографического травления. - М.: Металлургия, 1988,

**The method of estimating the durability of the coating on the turbine blades
from alloys ISO and ISSN**

V. M. Samoilenko, R. G. Raviлов, V. V. Drewniak, M. A. Petrova, Sagatiba Mehdi

The article presents the results of a study of changes in the phase composition of protective coatings on turbine blades gas turbine engine. Considered the criterion of residual working capacity of the diffusion coating in the repair of GTE blades which is a method for evaluation of durability of diffusion coatings on Nickel alloys.

Keywords: coating, phase composition, durability, carbides.

REFERENCES

1. Abraimov N.V., Eliseev YU.S. Himiko-termicheskaya obrabotka zharoprochnykh staley i spлавov. – М.: «Интернет Инжиниринг», 2001, 622 s.
2. Nikitin V.I. Korroziya i zashchita lopatok gazovykh turbin. - М.: Mashinostroenie, 1987, 272s.
3. Goward G.W. Overview: Protective Coatings – purpose, Role and Design. – Mater. Sic and Technology, v. 2, № 3, 1986.
4. Kolomytsev P.T. Vysokotemperaturnye zashchitnye pokrytiya dlya nikelovykh spлавov. – М.: Metallurgiya 1991, 239s.
5. Bekkert M., Klemm H. Sposoby metallograficheskogo travleniya. - М.: Metallurgiya, 1988, 400 s.

Сведения об авторах

Равилов Ринат Галимчанович, 1970 г.р., окончил МАТИ (1992), кандидат технических наук, главный металлург Лыткаринского машиностроительного завода, автор более 18 научных работ, область научных интересов – технология производства и ремонт авиационной техники.

Петрова Мария Александровна, окончила МГТУ ГА (2011), аспирантка МГТУ ГА, автор 5 научных работ, область научных интересов – технология производства и ремонт авиационной техники.

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.

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.