

УДК 621.438

Пейчев Г.И.¹, Замковой В.Е.¹, Марков Е.И.¹, Борисов А.Б.¹, Мальшева В.Г.¹, Лесников В.П.²,
Кузнецов В.П.²

¹ Государственное предприятие "Запорожское машиностроительное конструкторское бюро "Прогресс" имени академика А.Г. Ивченко. Украина, Запорожье.

² ООО "Турбомет". Россия, Екатеринбург

ДИФфуЗИОННОЕ НАСЫЩЕНИЕ ХРОМОМ И АЛЮМИНИЕМ ГАЗОЦИРКУЛЯЦИОННЫМ МЕТОДОМ ВНУТРЕННИХ КАНАЛОВ И ПЕРФОРАЦИОННЫХ ОТВЕРСТИЙ РАБОЧИХ ЛОПАТОК ТУРБИН ЗА ОДНУ СТАДИЮ

Анотація

Одним з перспективних методів захисту охолоджуваних лопаток во внутрішніх каналах та перфораційних отворах являється метод насичення хромом та алюмінієм. В даній роботі розглянуте питання дифузійного насичення хромом та алюмінієм поверхнь робочих лопаток зі сплавів типу ЖС та технологія нанесення.

Abstract

One of the prospective methods for protecting cooled blades in their internal channels and perforations is a method of saturation with chromium and aluminum. This article describes a diffusion saturation with chromium and aluminum of surfaces of blades made of ЖС-tupe alloys, and a process of applying.

Химический состав современных жаропрочных никелевых сплавов, определяющий необходимый комплекс свойств материала рабочих лопаток турбины в условиях жесткого температурно-силового нагружения, не обеспечивает достаточной устойчивости пера лопаток к воздействию агрессивной среды газового потока. Высокотемпературное окисление жаропрочных никелевых сплавов существенно ограничивают ресурс рабочих лопаток. Эффективным способом защиты проточной и внутренней поверхностей лопаток от высокотемпературного окисления и коррозионного повреждения является нанесение защитных жаростойких покрытий.

Постоянно возрастающие требования, предъявляемые к авиационным ГТД по повышению их надежности и увеличению ресурса эксплуатации, ставят новые задачи и по защите внутренних поверхностей охлаждаемых каналов рабочих лопаток турбины. В условиях ЗМКБ "Прогресс" применяют две технологические схемы диффузионного хромоалитирования газоциркуляционным и порошковым методами.

Газоциркуляционный способ получения диффузионных покрытий имеет ряд преимуществ. Его отличают более высокий технический уровень, простота исполнения, возможность получать многокомпонентные покрытия на наружной и внутренней поверхностях лопатки одновременно.

Газоциркуляционный метод получения покрытий основан на свойстве металлов испаряться при высокой температуре. Испарившиеся атомы металла перемещаются в вакууме на значительные расстояния от точки испарения и осаждаются на поверхности, находящейся на их пути.

В замкнутой системе испарившиеся атомы (молекулы) металла образуют пар, который характеризуется определенным давлением.

В процессе испарения некоторая часть находящихся в паровой фазе атомов будет вновь осажаться на поверхность испарения или стенки сосуда. В равновесных условиях, когда образуется насыщенный пар, скорость конденсации становится равной скорости испарения и устанавливается равновесное давление пара.

Для процесса нанесения покрытия газоциркуляционным методом применяется установка, состоящая из шахтной электропечи сопротивления, пультов управления температурой в печи, герметичной реторты и вакуумной системы (рис. 1).

Технология процесса нанесения ГЦП выглядит следующим образом. На дно герметичной реторты (1) загружают поддон с насыщающей порошковой смесью и активатором процесса (4). В реторту помещают рабочие лопатки турбины в специальном приспособлении (9). После этого реторта закрывается крышкой, и из нее откачивается воздух до давления 0,01 МПа. Затем реторту устанавливают в электропечь (2), нагретую до температуры 800°C.

Во время дальнейшего нагрева печи происходит возгонка активатора, и в реторте устанавливается избыточное давление насыщающей газовой среды (+ 0,1...0,5 МПа). При достижении температуры насыщения 1000°C включается асинхрон-

2/2009

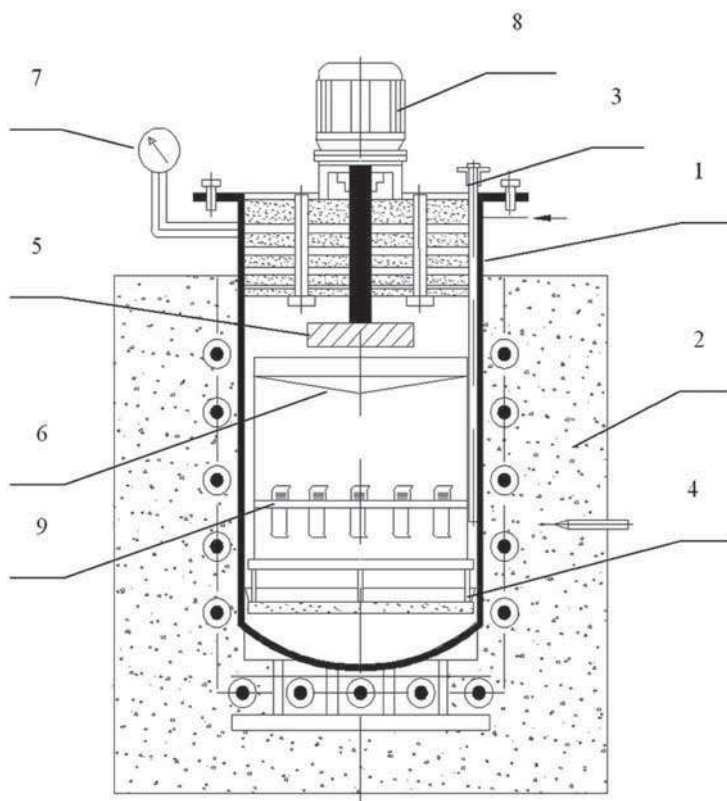


Рис. 1. Схема установки для нанесения ГЦП на рабочие и сопловые лопатки турбины:

- 1 – реторта; 2 – печь; 3 – термометры; 4 – поддон для насыщающей смеси;
5 – вентилятор; 6 – защитные экраны; 7 – мановакууметр;
8 – электродвигатель; 9 – лопатки в оснастке

ный двигатель, приводящий в действие центробежный вентилятор внутри реторты. Двигатель снабжен частотным преобразователем, который обеспечивает бесступенчатое регулирование скорости по специальной программе. Скорость вращения вентилятора (5) выбирается такой, чтобы обеспечить перепад давления и турбулентность газовых потоков возле насыщаемых поверхностей. В результате получают равномерные покрытия на лопатках сложной конфигурации.

После окончания процесса реторту охлаждают до температуры 50°C. Лопатки выгружают из реторты, промывают и подвергают диффузионному отжигу.

Известно, что термодинамически возможно насыщение поверхности двумя и более элементами в течение одного процесса.

Исходя из термодинамического анализа теории насыщения Cr и Al, а также расчета равновесного состояния пара насыщающих элементов для

материала ЖС26, ЖС32, из которых изготавливаются рабочие лопатки двигателей, была разработана технология нанесения защитного покрытия CrAl за одну стадию.

В качестве насыщающей смеси используется предварительно дробленый сплав хрома и алюминия, а в качестве активатора используется хлористый аммоний.

Процесс насыщения ведется при температуре 1000°C. Время насыщения устанавливается в зависимости от того, какую толщину слоя необходимо получить.

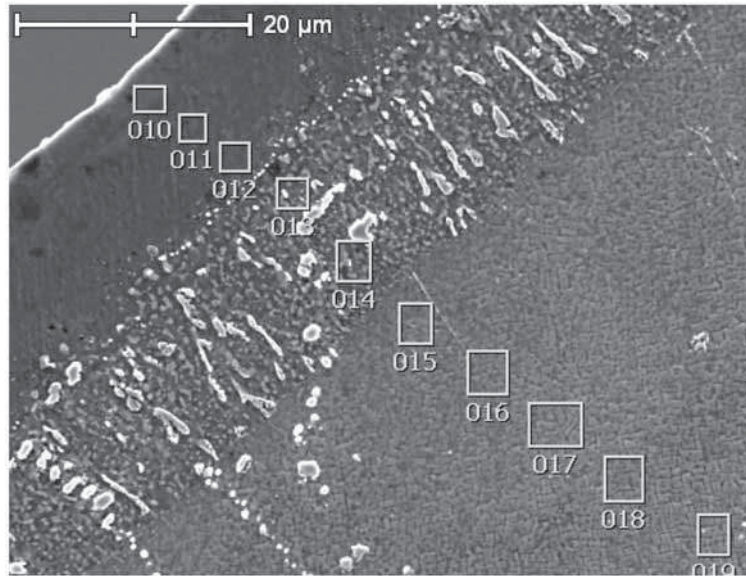
В результате такой химико-термической обработки формируется диффузионное покрытие, состоящее из слоя β -фазы NiAl, с содержанием ≈ 20 мас. % Al и легированной 3...6 мас. % Cr, что соответствует его предельной растворимости в β -фазе при данной температуре. Микроструктура полученного покрытия и его химический состав приведены на рисунке 2.

Во внешней зоне покрытия на границе с диффузионной зоной наблюдаются выделения α -Cr и γ' -фазы. Характерная особенность диффузионной зоны – значительная гетерофазность ее структуры. Наряду с фазами β -NiAl и γ' -Ni₃Al в ней присутствуют

твердые ОЦК- и ОЦТ-растворы на основе W и Cr в виде столбчатых вытянутых выделений, а также карбиды типа Cr₂₃C₆. Формирование в диффузионной зоне покрытия барьерного слоя из фаз на основе Cr₂₃C₆ приводит к значительному увеличению термостабильности покрытия.

Таким образом, защитное покрытие, получаемое путем последовательного осаждения хрома и алюминия на поверхности рабочих лопаток турбины за одну стадию, имеет оптимальное содержание основных легирующих элементов (Al и Cr) для данного класса. Внедрение же нанесения покрытия за одну стадию ведет к упрощению и удешевлению технологии хромоалитирования газациркуляционным методом.

Работа по внедрению данного метода нанесения на нашем предприятии проводилась совместно с ООО "Турбомет", Россия, г. Екатеринбург.



	Al	Cr	Fe	Co	Ni	Nb	Mo	W+Re	Всего, %
010	20.61	2.63	0.27	7.69	68.47	0.09	0	0.24	100
011	20.74	2.74	0.34	8.45	67.73	0	0	0	100
012	20.09	2.74	0.24	8.30	67.73	0.19	0.07	0	100
013	14.79	5.91	0.14	10.09	55.59	1.30	1.40	10.78	100
014	14.08	6.64	0.19	11.14	54.29	2.96	1.93	8.77	100
015	7.56	5.36	0	10.16	68.46	1.07	0.98	6.41	100
016	6.81	4.68	0	10.41	68.33	1.49	1.18	7.11	100
017	6.87	5.16	0.16	10.36	68.31	1.39	1.17	6.59	100
018	7.31	4.55	0.18	10.47	68.93	1.02	1.17	6.38	100
019	6.88	5.12	0.22	9.99	68.5	1.46	1.41	6.41	100

Рис. 2. Химический состав ГЦП(CrAl), полученного по одностадийной технологии (после диффузионного отжига)

Литература

1. Горошенко Ю.О., Копылов А.А., Кузнецов В.П. Структура и состав Ni—Cr—Al покрытий, получаемых газовым методом на сплавах типа ЖС. // Термическая, химико-термическая и лазерная обработка сталей и титановых сплавов. Межузов. Сб. науч. Тр. Пермь, 1989. — С. 12—15.
2. Векслер Ю.Г., Лесников В.П., Кузнецов В.П. и др. Влияние жаростойких покрытий на жаропрочность никелевых сплавов в агрессивных газовых потоках. // Температурустойчивые покрытия. — А. Наука 1985. — С. 15—20.
3. Петрушин Н.В., Светлов И.Л. Физико-химические и структурные характеристики жаропрочных никелевых сплавов // Металлы, 2001. — № 2. — С. 63—73.
4. Лесников В.П., Кузнецов В.П., Горошенко Ю.О. и др. Диффузионное насыщение алюминием и хромом никелевых сплавов циркуляционным методом из газовой среды. // Металловедение и термическая обработка металлов, 1998. — № 10. — С. 21—25.