

РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

Оковитый В.В., Девойно О.Г.

(БНТУ, г. Минск, Беларусь)

Тел./Факс: (017)293-92-23; E-mail: scvdmed@bntu.by

Abstract: The article presents characteristics and parameters of the developed complex equipment for formation of plasma ceramic coatings as well as results of its testing. The result is higher-quality plasma coatings with high operating characteristics: a adhesion strength increases in 1.3-2 times, a utilization rate of material in 1.5-1.6 times, microhardness in 1.2-1.4 times, a porosity decreases in 2-2.5 times.

Key words: plasma coating ceramic, zirconia, plasmatron, powder feeder, operating characteristics, adhesive strength, porosity.

Основным методом, используемым для нанесения теплозащитных покрытий (ТЗП) из диоксида циркония, является плазменное напыление (до 90% разработок) [1]. Положительные результаты получены также при использовании электронно-лучевого, ионно-плазменного напыления, магнетронного распыления. Тем не менее, преимущественное распространение плазменного напыления ТЗП сохраняется, прежде всего, вследствие его высокой производительности и универсальности, позволяющей наносить металлические и керамические материалы заданного химического и фазового состава. Рабочая температура деталей и узлов газотурбинных двигателей (ГТД) характеризуется тенденцией роста, что в свою очередь позволяет повысить мощность установок и коэффициент полезного действия (КПД). Ответственные узлы ГТД изготавливаются из жаропрочных никелевых сплавов типа ЖС6К, ЦНК7РС, ЭИ893, ЭИ929 и др. [5-7]. Однако при удовлетворительных значениях жаропрочности эти сплавы характеризуются относительно низкой стойкостью к коррозионному воздействию продуктов сгорания топлива и высокотемпературному окислению в условиях повышенных рабочих температур. Одним из наиболее эффективных способов защиты деталей от высокотемпературной коррозии и окисления является формирование на их поверхности плазменных теплозащитных покрытий [2,3].

Разработка оборудования для нанесения теплозащитных покрытий. Наиболее часто для напыления теплозащитных покрытий используется плазменное оборудование фирмы “Плазма-Техник”. Единственным, но существенным недостатком плазмотронов фирмы “Плазма-Техник” является ограниченный ресурс катодно-анодного узла. При жестких режимах работы: больших токах и расходах плазмообразующего газа происходит интенсивный износ катода. Приходится останавливать процесс напыления, выключать установку, разбирать плазменную горелку и менять катодно-анодный узел, что приводит к нестабильности наносимых покрытий. Поэтому авторами был разработан и запатентован аксиальный кантовый плазмотрон ПБГ-1 [4-7], который лишен этих недостатков, при износе электрода и увеличении межэлектродного зазора, электрод можно передвинуть в канте, с помощью специального приспособления замерить межэлектродное пространство и продолжить процесс напыления. На установке “Плазма-Техник” стандартной комплектации с порошковым питателем TWIN-10 производили испытания серийного плазмотрона и плазмотрона ПБГ-1, разработанного авторами. В качестве рабочего газа использовали азот. На первом этапе производили испытания плазмотронов на длительность непрерывной работы, при токе-450 А, напряжении-70V, расходе азота -35 л/мин (стандартный режим напыления оксидной керамики). Оба плазмотрона проработали непрерывно в течении 8 часов (испытания были прерваны после интенсивных пульсаций параметров тока и напряжения стандартного плазмотрона).

на фирмы “Плазма-Техник”). После разборки были выявлены значительные изменения в геометрии катодно-анодного узла плазмотрона: изменения угла заточки катода (α_3); оплавление и соответственно изменения диаметром притупления катода (d_n); оплавлению и вырывам внутри сопла-анода. Все это приводит к изменению заглубления электрода-катода в сопле l_3 и соответственно пульсации параметров плазмотрона.

В геометрии катодно-анодного узла разработанного плазмотрона ПБГ-1 заметные изменения не были выявлены. На втором этапе на тех же режимах плазмотроны работали по схеме: работа в течении 15 мин., отключение, включение и т.д. (15 мин.-технологическое время для напыления оксидной керамикой ролика – замасливателя). Плазмотрон фирмы “Плазма-Техник” вышел из строя через 4 часа работы (16 технологических циклов) - не происходил поджиг электрической дуги за счет сильного износа электродов. Испытания разработанного плазмотрона ПБГ-1 прекратили после 8 часов работы (32 технологических цикла). На третьем этапе произвели напыления порошка оксида циркония на разных плазмотронах на одном и том же режиме: ток - 450 А; напряжение - 70V; расход азота -35 л/мин; дистанция напыления-110 мм; фракция порошка - 40-63 мкм; расход порошка - 3кг/час. После 30 минут напыления, плазмотрон фирмы “Плазма-Техник” пришлось отключить и прочистить сопло, даже при напылении мелкодисперсной керамики плазмотрон работает нестабильно. Характеристики покрытий из оксида циркония, напыленных на плазмотроне 0890- 6011 и разработанном плазмотроне приведены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики покрытий из оксида циркония

Плазмотрон	Прочность сцепления, МПа	Пористость, %	Коэффициент использования материала, %	Микротвердость, МПа
плазмотрон “Плазма-Техник”	12,5	14	39	6400
ПБГ-1	25,4	5	61	8700

Порошковые питатели предназначены для подачи распыляемого порошка в плазменную струю. От стабильности работы этого устройства зависит качество наносимого покрытия. Конструкции порошковых питателей столь же разнообразны, как и плазменных распылителей. Используемый для напыления порошок помещают в бункер (емкости бункеров самые разные) питателя, расположенного на небольшом (~ 1 м) расстоянии от плазмотрона. Поток транспортирующего газа порошок подается к плазменному распылителю по эластичной трубке и через штуцер или специальное отверстие в канале сопла газопорошковая смесь вводится в плазменную струю. Расход подаваемого в распылитель порошка регулируется дозирующим устройством, в качестве которого используют инжекторы (расход порошка зависит от расхода транспортирующего газа), штоки с отверстием различной величины для порошка, вращающиеся вертикальные или горизонтальные барабаны с пазами для порошка, горизонтальные или вертикальные шнеки и т.п. Для улучшения сыпучести порошка и предотвращения его зависания в бункере используют электромагнитные, механические или пневматические вибраторы. В некоторых случаях порошок взмучивается транспортирующим газом. Наибольшую стабильность подачи порошка обеспечивают питатели с механической дозировкой. Порошок из загрузочного бункера порошкового питателя фирмы “Плазма-Техник АГ”, дно которого выполнено в виде перевернутого конуса, попадает на вращающийся и вибрирующий вдоль своей оси плоский диск, откуда ссыпается в

инжекционное устройство порошкового питателя. К недостаткам порошкового питателя фирмы “Плазма-Техник” можно отнести трудность подачи мелкодисперсного порошка с плохой сыпучестью. Поэтому авторами был разработан и запатентован для нанесения покрытий на компактные материалы порошковый питатель ППБГ-04 [8, 9], позволяющий подавать порошок с размером частиц 1-2 мкм, а также имеет минимум регулировочных характеристик для использования при нанесении покрытий. Конструктивной особенностью испытываемого порошкового питателя является наличие двух цилиндрических бункеров емкостью 2,0 литра каждый и конической смесительной воронки. Каждый бункер соединен с воронкой трубкой с внутренним диаметром 12 мм. Через бункер и трубку проходит гибкий шнек, соединенный через редуктор с электродвигателем постоянного тока напряжением 27 вольт. Скорость вращения гибкого шнека варьируется от 0 до 140 об/мин. Вращение обеспечивается за счет транзисторного блока питания, обеспечивающего регулировку напряжения, подаваемого на электродвигатель от 0 до 27 вольт. Смесительная воронка соединена трубопроводом с каждым бункером выше уровня засыпаемого порошка. В нее также подводится сжатый газ. Порошок, засыпанный в бункеры гибкими шнеками, подается в смесительную воронку, где подхватывается тангенциально подводимым сжатым газом в виде газопорошковой смеси гибким трубопроводом и подается в распылительную головку. Соединительный трубопровод между смесительной воронкой и бункерами служит для уравнивания давления газа в смесительной воронке и бункерах и предотвращает пульсацию подачи порошка за счет предотвращения вакуумирования бункеров по мере уменьшения объема порошка в них. Управление скоростью вращения гибких шнеков каждого бункера автономно и поэтому подача порошка из каждого бункера осуществляется поочередно или вместе. Если засыпать в бункеры разные порошки, то возможна из совместная подача с разным расходом в один трубопровод. Производительность подачи порошка из каждого бункера регулируется в диапазоне от 0 до 2,5 л/час. На установке “Плазма-Техник”, в стандартной комплектации, производили испытания порошковых питателей TWIN-10 и ППБГ-04, разработанного авторами. В качестве рабочего газа при напылении использовали азот, при подаче порошка - воздух. На первом этапе производили испытания питателей на длительность непрерывной работы, при использовании порошка оксида циркония, с фракционным составом менее 50 мкм. Расход порошка-3 кг/час; расход подающего газа-3,5 л/мин. На питателе TWIN-10 вибратор включен на максимальном режиме-16 ед.

Порошковый питатель вышел из строя через 40 мин. работы, после разборки установлено, что шнек и приемный конус забиты плотно спрессованным порошком. Попытки наладить работу питателя при уменьшении или увеличении расхода порошка тоже не дали положительных результатов, питатель не пригоден для подачи мелкодисперсной керамики. Испытания разработанного питателя ППБГ-04, прекратили после 2 часов работы. На втором этапе производили испытания питателей на стабильное воспроизведение заданного расхода при повторном включении порошкового питателя. На тех же режимах питатели работали по схеме: работа в течении 15 мин., отключение, включение и т.д., для проверки стабильного воспроизведения заданного расхода при повторном включении порошкового питателя (15 мин.-технологическое время для напыления керамикой ролика –замасливателя). Питатель TWIN-10 не мог выйти на установленный режим подачи порошка уже после первого отключения, после 4-х отключений возобновить подачу порошка без разборки питателя не удалось. Питателя ППБГ-04 выдержал 10 отключений до прекращения эксперимента. На третьем этапе производили напыления окиси алюминия с использованием разных питателей, на одном и том же режиме работы плазматрона: ток-450 А; напряжение-70V; расход азота -35 лит./ мин; дистанция напыления-110 мм; фракция порошка -50-63 мкм; расход порошка- 3 кг/час.

Характеристики покрытий из оксида циркония, напыленных с использованием питателей TWIN-10 и ППБГ-04 приведены в таблице 2.

Таблица 2. Характеристики покрытий из оксида циркония

Питатель	Прочность сцепления, МПа	Пористость, %	Коэффициент использования материала, %	Микротвердость, МПа
TWIN-10	15,5	18	34	5800
ППБГ-04	20,1	10	56	7200

Как видно из проведенных экспериментов, разработанные авторами плазмотрон ПБГ-1 и порошковый питатель ППБГ-04 имеют минимум в 2-3 раза выше ресурс работы при напылении керамических материалов по сравнению с серийным оборудованием фирмы “Плазма-Техник”, за счет изменения конструкции катодно-анодного узла плазмотрона и конструкции подающего узла питателя, способствующих равномерной подаче порошка в плазменную струю и лучшего его проплавления.

Список литературы: 1. Стернс, К.А. Теплозащитные покрытия // Аэрокосмическая техника.- 1997.- №10.- С. 144-164. 2. Оковитый, В.В. Создание градиентных плазменных покрытий на основе диоксида циркония, стабилизированного диоксидом иттербия / Оковитый В.А., Девойно О.Г., Пантелеенко А.Ф., Оковитый В.В., //Вестник Белорусского национального технического университета. БНТУ- Минск, 2011.-Вып.6.- С 3-9. 3. Оковитый, В.А. Создание градиентных плазменных покрытий на основе диоксида циркония, частично стабилизированный оксидом церия /Оковитый В.А., Ильющенко А.Ф., Девойно О.Г., Шевцов А.И., Соболевский С.Б., Оковитый В.В.// “Порошковая металлургия”.- Минск: Белорусская наука, 2013.- Вып. 36- С. 331-337. 4. Плазмотрон для нанесения покрытий: пат. 14906 Респ. Беларусь, МПК C23C4/04. / Оковитый В.А., Шевцов А.И. Девойно О.Г., Оковитый В.В.; заявитель - ГНУ ”Институт порошковой металлургии” -№ а 20091066; заявл. 15.07.2009 опубл.30.10.10 // Афіцыйны бюл. Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. - № 4. 5. Плазмотрон для нанесения покрытия на внутренние поверхности деталей: пат. на полезную модель. 8930 Респ. Беларусь, МПК Н 05Н 1/00 /. Оковитый В.В. заявитель – БНТУ.-№ и 20120574; заявл. 31.05.2012, опубл.28.02.2013// Афіцыйны бюл. Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. - № 1. 6. Плазмотрон для нанесения покрытия: пат. на полезную модель. 9423 Респ. Беларусь, МПК Н 05Н 1/00 /. Оковитый В.В. заявитель – БНТУ.-№ и 20121081; заявл. 12.05.2012, опубл.30.08.2013// Афіцыйны бюл. Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. - № 4. 7. Плазмотрон для нанесения покрытия: пат. на полезную модель. 10210 Респ. Беларусь, МПК Н 05Н 1/00 / Оковитый В.В. -№ и 20131083; заявл. 18.12.2013, опубл.30.08.2014// Афіцыйны бюл. Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. - № 4. 8. Порошковый питатель для нанесения покрытий: пат. 16809 Респ. Беларусь, МПК В 22С 9/08; В 23К 5/18 /. Оковитый В.А., Ильющенко А.Ф., Шевцов А.И., Асташинский В.М., Оковитый В.В заявитель – ГНУ “Институт порошковой металлургии”.-№ а 20101357 ; заявл. 21.09.2010, опубл.28.02.2013// Афіцыйны бюл. Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. - № 1. 9. Порошковый питатель для нанесения покрытий: пат. на полезную модель. 9665 Респ. Беларусь, МПК Н 05Н 1/00 / Оковитый В.В. -№ и 20130402; заявл. 08.05.2013, опубл.30.10.2013// Афіцыйны бюл. Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. - № 5.