

УДК 621.793.184

**А.М. СМЫСЛОВ, А.А. БЫБИН, Р.Р. НЕВЬЯНЦЕВА, Е.В. ПАРФЕНОВ,
О.Г. СМОЛЬНИКОВА, П.В. ТАРАСОВ**

Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия

ОСОБЕННОСТИ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ В ТЕХНОЛОГИЯХ УДАЛЕНИЯ ДЕФЕКТНЫХ ПОКРЫТИЙ ХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ С ЛОПАТОК ГТД

Проведено исследование структурно-фазового состава ионно-плазменного покрытия TiN на стальной и титановой подложках и диффузионных алюминидных покрытий на никелевых сплавах. Изучены особенности удаления защитных покрытий химическим методом с использованием специальных травильных растворов. Проанализированы параметры процесса химической обработки лопаток ГТД с защитными покрытиями и в качестве наиболее информативного параметра, характеризующего состояние поверхности в ходе обработки, выбран электродный потенциал. Разработана структурная схема прибора измерения электродного потенциала, снимаемого с поверхности в ходе удаления дефектных покрытий.

Ключевые слова: защитное покрытие, удаление покрытий, химический метод, контроль состояния поверхности, электродный потенциал поверхности.

Введение

Известно [1 – 4], что надежная и длительная эксплуатация рабочих и направляющих лопаток газотурбинных двигателей (ГТД) и паровых турбин (ПТ) возможна только при условии нанесения на их трактовые поверхности защитно-упрочняющих покрытий. На перо лопаток компрессора из высоколегированных сталей или титановых сплавов наносят износ- и коррозионностойкие покрытия из нитридов, карбидов, карбонитридов титана, хрома, циркония и т.п. На лопатки турбины из жаропрочных сплавов на основе никеля и кобальта наносят жаростойкие диффузионные или конденсированные алюминидные покрытия. На многих предприятиях, выпускающих газотурбинную технику, для нанесения на лопатки различных функциональных покрытий внедрены следующие методы: порошковый, шликерный, ионно-плазменный, газоциркуляционный, электроннолучевой, газотермический и пр. Несмотря на все преимущества, которые присущи указанным методам нанесения покрытий, практически все они могут привести к появлению на ответственных деталях ГТД и ПТ дефектов: ненормируемая разнотолщинность, несоответствие элементного и фазового состава, сколы, отслоение покрытия, трещины, следы от действия электроразрядов, повышенная пористость, наличие недопустимых включений и т.п. Указанные дефекты в значительной степени влияют на долговечность защитного покрытия и, как правило, их наличие на лопатках с точки зрения последующей эксплуатации является недопустимым. Поэтому актуальной задачей становится разработка ремонтных технологий, позволяющих уда-

лять дефектные покрытия с высокой производительностью с обеспечением качества поверхности лопаток, отвечающего требованиям технических условий на повторное нанесение покрытия.

Анализ научной и патентной литературы и опыта производства показывает, что в настоящее время предпочтение отдается химическому методу, так как он прост в реализации, обладает минимальным уровнем энергопотребления и высокой производительностью, обеспечивает возможность удаления покрытия в труднодоступных местах детали. При использовании химического метода применяются травильные растворы, компоненты которых обеспечивают максимальную скорость съема покрытия при минимальном воздействии на материал сплава. Одним из важнейших вопросов, рассматриваемых при разработке технологий химического удаления покрытий, является организация текущего контроля, который должен предусматривать оценку состояния поверхности в ходе обработки с последующим принятием решения о продолжении или прекращении процесса травления.

Цель данной работы – выбор параметров, позволяющих оценивать состояние обрабатываемой поверхности в процессе удаления защитных покрытий с лопаток ГТД и ПТ химическим методом.

1. Методика проведения исследования

Исследования проводили на темплетях, вырезанных из рабочих лопаток компрессора и турбины ГТД и ПТ различного назначения. Материалы защитных покрытий и изучаемых сплавов, метод нанесения и толщина покрытия представлены в табл. 1.

Таблица 1

Материал сплава и защитного покрытия

Сплав	Покрытие	Метод нанесения	Толщина, мкм
20X13	Ti-TiN	Ионно-плазменный	15
ЭИ961ш	Ti-TiN	Ионно-плазменный	10
ВТ-6	Ti-TiN	Ионно-плазменный	10
ВТ-9	Ti-TiN	Ионно-плазменный	10
ЖС6У	ВСДП-11	Ионно-плазменный	40
ЖС32ви	ВСДП-11	Ионно-плазменный	45
ЦНК7П	Al-Si	Шликерный	30
ВЖЛ12У	ДифА	Порошковый	40

Удаление покрытий проводили в растворах, разработанных в предыдущих исследованиях [5 – 7]. Травильные растворы в качестве базовой части содержали различные смеси кислот: соляной, плавиковой и азотной. Для повышения производительности и уменьшения воздействия раствора на основную материал лопатки в кислотные смеси вводились добавки: фосфорная кислота, фениламин, бихромат калия и гептамолибдат аммония. Эксперименты выполняли при температуре раствора 20...22 °С.

Гравиметрическим методом определяли скорость удаления покрытия. На микрошлифах изучали растрав поверхности сплава после удаления покрытия. В ходе обработки измеряли величину электродного потенциала поверхности по методике [8] с использованием автоматической регистрации сигнала [9]. По моменту резкого изменения величины электродного потенциала поверхности регистрировали время полного удаления покрытия.

2. Результаты исследований и их обсуждение

Для обоснованного выбора параметров, позволяющих оценить состояние обрабатываемой поверхности при удалении дефектных защитных покрытий, необходимо получение информации о самом покрытии.

Следующий этап предполагает изучение закономерностей удаления покрытия в конкретном растворе с последующим анализом всех параметров, которые отражают характер изменения состояния поверхности в ходе ее обработки. На последнем этапе путем совместного анализа полученных данных отбираются наиболее информативные параметры, под которые разрабатываются определенные программно-аппаратные комплексы, встраиваемые в производственно-технологическую цепь.

Ионно-плазменное покрытие системы Ti-TiN на стальной и титановой подложке представляет собой покрытие, обладающее мозаичной структурой нормально ориентированной к подложке (рис. 1, а). Участки между отдельными блоками мозаики за-

полнены α -Ti. На границе с подложкой имеется слой титана, наносимый для улучшения адгезии нитридного покрытия. РЭМ-анализ покрытия на обеих подложках выявил значительную неоднородность структуры в связи с образованием микрокапельной металлической фазы (рис. 1, б). Образование данной фазы вызвано особенностями вакуумно-дуговой генерации металлической плазмы при нанесении покрытия: наряду с ионами и электронами с поверхности титанового катода образуется интенсивный поток микрокапель размерами от единиц микрометров до сотен ангстрем [10]. Структура покрытия практически не зависит от материала подложки и для исследуемых в работе сталей и титановых сплавов практически одинакова.

Жаростойкие алюминидные покрытия на никелевых сплавах характеризуются двухзонным строением, при этом внутренняя зона образуется за счет диффузионного взаимодействия элементов наносимого покрытия с компонентами защищаемого сплава (рис. 2). Исследуемые покрытия, согласно данным табл. 1, были получены двумя методами: порошковым (с использованием порошковых смесей с малой активностью с галогенидным активатором) и ионно-плазменным (путем генерации металлической плазмы с последующим диффузионным отжигом деталей в вакуумной среде). В обоих случаях формировались покрытия, в которых основа внешней зоны была представлена алюминидными фазами β -NiAl (~ 70...75 %) и γ' -Ni₃Al. Внутренняя зона покрытий состояла из соединений β -NiAl и γ' -Ni₃Al. Легирующие элементы, диффундирующие из сплава в покрытие в процессе его формирования, незначительно легируют алюминидные фазы и в основном формируют собственные фазы: твердый раствор на основе α -Cr во внешней зоне и карбиды хрома, титана, вольфрама, молибдена во внутренней. В случае, если в состав насыщающей смеси или напыляемого слоя входил кремний, то кроме указанных фаз во внешней зоне покрытия происходило образование силицидов тугоплавких элементов и дополнительное легирование алюминидов никеля кремнием.

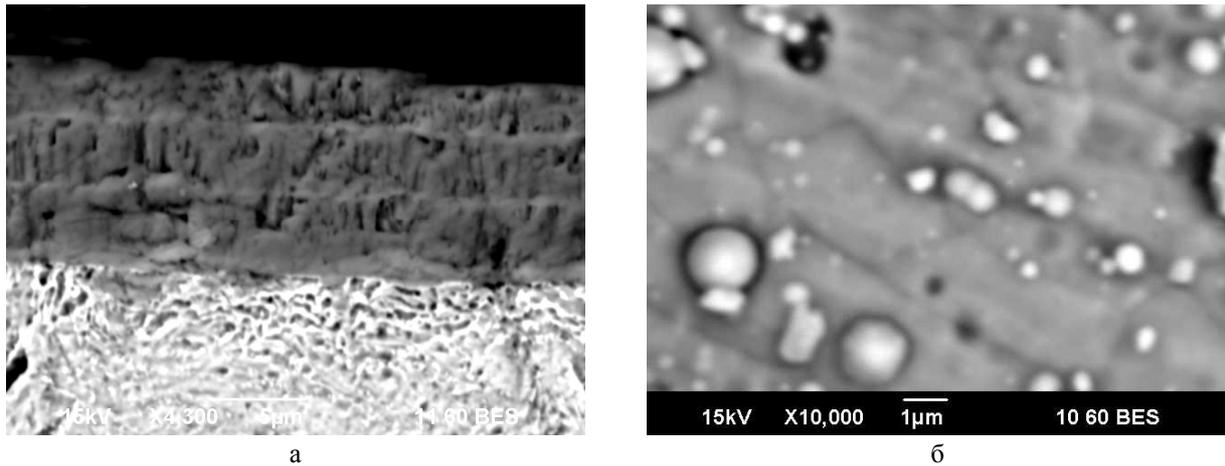


Рис. 1. Микроструктура (а) и топография поверхности (б) покрытия системы Ti-TiN

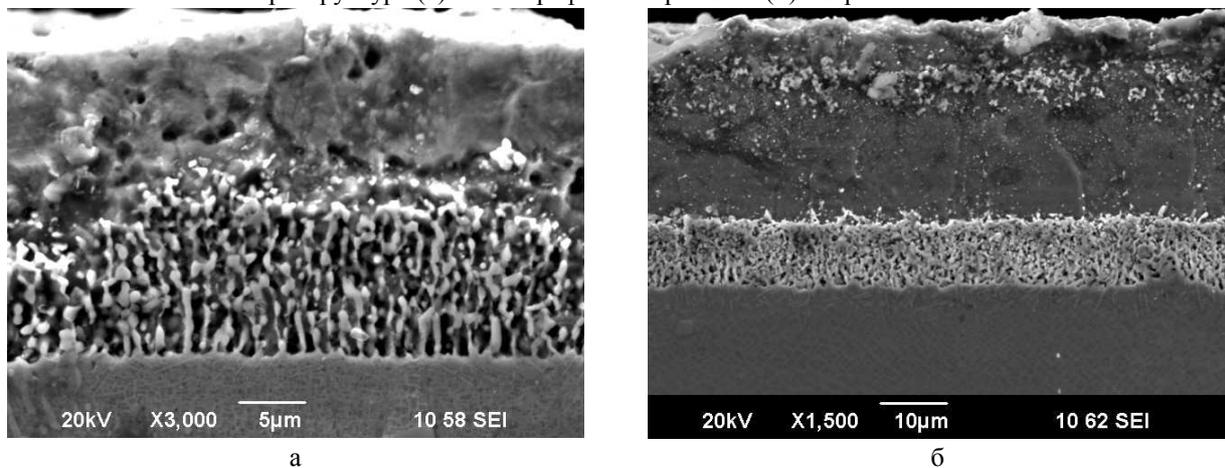


Рис. 2. Структура алюминидных покрытий: а – ДифА на сплаве ВЖЛ12У; б – ВСДП-11 на сплаве ЖС6У

Закономерности удаления покрытий химическим методом с использованием растворов, указанных ранее, в зависимости от типа покрытия и материала подложки имеют свои особенности.

Установлено, что удаление ионно-плазменного покрытия Ti-TiN с поверхности подложки из мартенситной стали в растворе, содержащем соляную, плавиковую и фосфорную кислоты, происходит путем отслаивания нитридного покрытия от подложки. Данный процесс происходит в результате проявления двух эффектов. Во-первых, за счет взаимодействия компонентов травильного раствора с титаном, заполняющим участки между блоками мозаики в покрытии. Во-вторых, отслаиванию покрытия в указанном растворе способствуют большие остаточные напряжения, накопленные в ионно-плазменном покрытии в процессе его осаждения из металлической плазмы. В результате растворение титана способствует освобождению напряженных частиц нитрида титана, которые «разлетаются» в объеме травильного раствора и затем оседают в виде нерастворимого осадка. После удаления покрытия поверхность мартенситной стали покрывается пленкой из фосфатов

железа, которые вызывают пассивацию материала и предотвращают его дальнейшее травление.

Удаление покрытия TiN с титановой подложки в растворе системы HF-HNO₃ протекает аналогичным образом. Основное отличие заключается в том, что компоненты травильного раствора интенсивно взаимодействуя с титаном между отдельными блоками мозаики, также активно взаимодействуют и с титановой подложкой, вызывая ее растравливание. Наличие в растворе добавки фениламина способствует некоторому замедлению травления титанового сплава, однако полностью этот процесс не предотвращает. В указанном растворе после полного удаления покрытия наблюдается сильная равномерная коррозия титанового сплава с выделением большого количества тепла, приводящего к закипанию электролита и бурному выделению газа NO₂.

Съем алюминидных покрытий с поверхности жаропрочных сплавов в растворе системы HNO₃-HCl-K₂Cr₂O₇-(NH₄)₆Mo₇O₂₄ происходит за счет взаимодействия фазовых составляющих покрытия с азотной кислотой, а также бихромат- и молибдат-ионов, которые выполняют роль окислителей.

Соляная кислота определяет в основном pH раствора. Следует иметь в виду, что компоненты травильного раствора вступают в реакцию не только с металлической поверхностью, но и между собой. Установлено, что взаимодействие бихромат- и молибдат-ионов с металлом вызывает образование оксида молибдена (IV) и ионов хрома (III). Под действием азотной кислоты оксид молибдена (IV) восстанавливается до трехоксида молибдена, которая вновь участвует в окислительно-восстановительном процессе. В свою очередь оксид молибдена (IV) может вступать в реакцию и с бихромат-ионами, в результате чего вновь образуются молибдат-ионы и ионы хрома (III). Таким образом, в растворе постоянно происходит регенерация молибдат-ионов и образование большого количества ионов трехвалентного хрома. Последние, взаимодействуя с поверхностью обогащенную никелем, формируют на ней оксохроматы никеля $Ni(CrO_2)_2$, которые вызывают значительную пассивацию поверхности никелевого сплава и блокируют процесс его травления.

Установленные закономерности удаления защитных покрытий с поверхности стальной, титановой и никелевой подложки позволяют подойти к этапу формирования перечня параметров, которые могут характеризовать состояние поверхности в ходе обработки. К таким параметрам относятся: скорость удаления покрытия, шероховатость обработанной поверхности, объемное содержание основных фаз покрытия, электродный потенциал поверхности, химический состав травильного раствора и др. Определение скорости съема покрытия может проводиться по убыли массы детали или по изменению толщины покрытия. В обоих случаях необходимо прерывать процесс обработки с последующей промывкой, нейтрализацией и высушиванием деталей. Такие операции могут вызвать окисление и пассивацию поверхности и повлияют на скорость дальнейшего травления. Кроме того, данные мероприятия вызывают увеличение трудоемкости обработки. Аналогичные операции имеют место и при измерении шероховатости поверхности. Следует иметь в виду также, что с точки зрения качества обработки применение указанного параметра наиболее целесообразно только после полного удаления покрытия. Определение фазового состава обрабатываемой поверхности требует использование рентгеноструктурного анализа или методов классической химии. В первом случае имеются ограничения по конструктивно-геометрическим параметрам, а второй приемлем только для научно-поисковых работ. Анализ изменения состава раствора в ходе обработки требует периодического взятия пробы из ванны травления и по времени реализации занимает время в несколько раз большее, чем время удаления покрытия.

Одним из наиболее приемлемых параметров, измеряемых в ходе обработки, является электродный потенциал поверхности. На рис. 3 показаны типичные графические зависимости изменения электродных потенциалов (E) различных поверхностей от времени обработки.

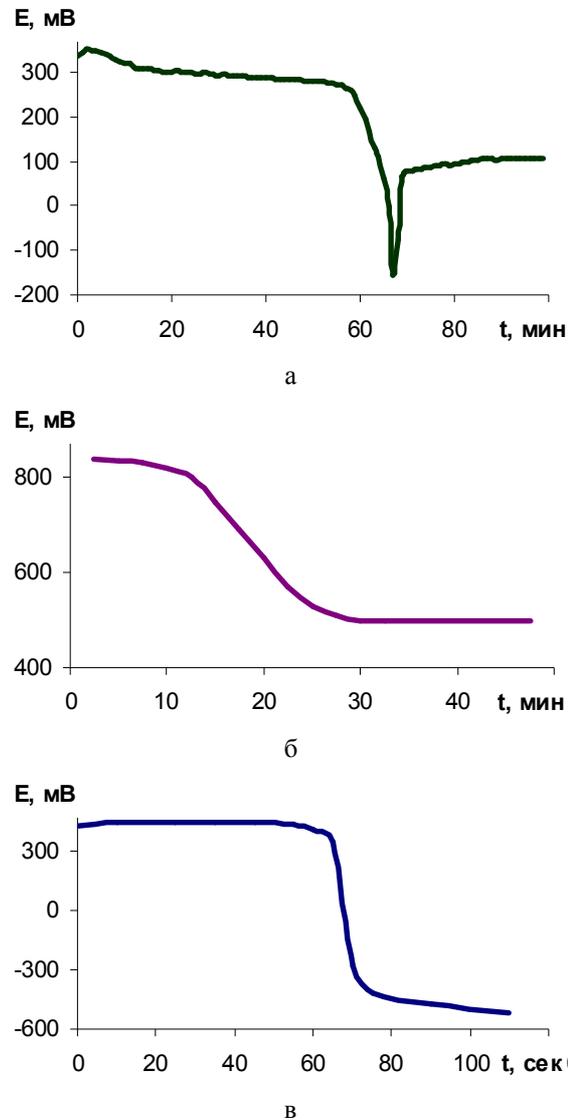


Рис. 3. Динамика электродного потенциала поверхности в процессе удаления защитных покрытий: а – жаростойкое алюминидное; б – нитрид титана на стали; в – нитрид титана на титановом сплаве

Для всех исследованных типов покрытия электродный потенциал поверхности в начале процесса, когда покрытие еще не удалено, находится в положительной области, что свидетельствует о его пассивном состоянии. Каждое покрытие в зависимости от природы травильного раствора характеризуется своим числовым значением электродного потенциала: для большинства жаростойких алюминидных покрытий – +300...+400 мВ, для нитридных покрытий на стали – +750...+850 мВ, а на титановой под-

ложке – +400...+450 мВ. В ходе обработки в виду протекания окислительно-восстановительных реакций на границе «металлическое покрытие – электролит» электродный потенциал снижается. Скорость его изменения зависит от состояния поверхности, от активности электролита, от количества и природы образующихся продуктов реакции, от их способности отводиться в объем раствора и других факторов.

Наиболее информативной частью при измерении электродных потенциалов поверхности является этап, когда покрытие практически удалено. В этот момент времени наблюдается резкое изменение величины E : вместо положительных в большинстве случаев регистрируются отрицательные значения потенциала. Момент времени, когда произошла смена знака значений электродного потенциала поверхности, может быть с достаточной точностью принят в качестве технологического параметра, который характеризует время полного съема покрытия. На основании данных, представленных на рис. 3, можно установить, что полное удаление жаростойкого алюминидного покрытия происходит за 65...70 мин, покрытия TiN с поверхности мартенситной стали – за 25...30 мин, а с поверхности титанового сплава – за 0,9...1,1 мин.

Отрицательные значения электродного потенциала поверхности характерны для большинства конструкционных материалов, что свидетельствует об их активном состоянии. Однако следует иметь в виду, что многие электролиты травления содержат в своем составе компоненты, которые могут тормозить травящее действие окислителей на поверхность основного материала детали вследствие образования пассивирующих слоев. Данные слои, как правило, повышают значения E по сравнению с чистой поверхностью конструкционного материала. Из рис. 3 видно, что в момент полного удаления жаростойкого алюминидного покрытия потенциал имеет значения –150...–200 мВ, а спустя некоторое время в виду формирования на поверхности никелевого сплава пленки из оксохроматов никеля поверхность характеризуется уже положительными значениями $E = +100$ мВ.

При удалении покрытия TiN с поверхности подложки из мартенситной стали потенциал поверхности в течение всей обработки остается в положительной области, хотя и уменьшается от +800 до +500 мВ. Наблюдаемая закономерность вызвана образованием пассивной пленки из фосфатов железа, полностью тормозящей процесс коррозии стали.

Динамика электродного потенциала при удалении покрытия TiN с поверхности титанового сплава несколько иная. В момент полного удаления покрытия наблюдается резкий переход потенциала из по-

ложительной области в отрицательную. Однако в силу того, что после съема защитного покрытия имеет место сильная коррозия титанового сплава, то величина E имеет только отрицательные значения –500...–600 мВ.

Изучение динамики электродного потенциала поверхности в ходе удаления различных покрытий позволяет с высокой достоверностью оценивать два параметра, отвечающих за производительность и качество обработки. В первом случае – это время полного удаления покрытия, оцениваемое либо по моменту резкого перехода потенциала из положительной области в отрицательную, либо при уменьшении значения E более чем в 1,5 раза. Во втором случае, когда анализируется состояние поверхности детали после съема покрытия, т.е. определяется ее качество, может быть использована величина электродного потенциала, которую имеет поверхность спустя 10...20 мин после съема покрытия.

С целью внедрения в промышленное производство метода оценки текущего состояния поверхности путем измерения ее электродного потенциала были разработаны требования к устройству, которое должно производить измерение потенциала поверхности обрабатываемой детали и сравнение его с заданным уровнем, при переходе через который процесс необходимо прекратить. К основным требованиям можно отнести:

- 1) устройство должно измерять электродный потенциал ремонтируемой детали относительно электрода сравнения без внесения искажений в его величину в диапазоне ± 1000 мВ с точностью $\pm 1\%$;
- 2) измеренный потенциал должен сравниваться с заданным значением, устанавливаемым пользователем, в диапазоне ± 900 мВ, после чего устройство должно выдавать логический сигнал о наличии покрытия, либо о его отсутствии;
- 3) при отсутствии покрытия должен выдаваться звуковой сигнал, свидетельствующий об окончании процесса обработки ремонтируемой детали;
- 4) индикация измеренного электродного потенциала и уровня срабатывания должна осуществляться с помощью стандартных вольтметров;
- 5) устройство должно быть построено на основе современных средств микросхемотехники, обладать малыми массогабаритами и высокой помехозащищенностью.

На основании указанных требований был разработан прибор измерения электродного потенциала поверхности в ходе удаления покрытий химическим методом «ЭППОТ». Структурная схема прибора представлена на рис. 4 и состоит из:

- 1) электрохимической ячейки, содержащей электрод сравнения, электролитический мостик и обрабатываемую деталь в рабочем электролите;

2) буферного усилителя, обеспечивающего электрическое согласование схемы измерения с электрохимической ячейкой;

3) масштабирующего усилителя, усиливающего измеренное напряжение до размаха, соответствующего напряжению питания;

4) задатчика уровня срабатывания прибора, устанавливаемого пользователем в зависимости от обрабатываемого сплава, покрытия и рабочего раствора;

5) компаратора, производящего решение неравенства, составленного по условию: измеренное значение E соответствует наличию покрытия или его отсутствию;

6) системы индикации, доводящей до пользователя результат решения неравенства по п. 5;

7) вольтметров 1 и 2, обеспечивающих стандартную индикацию сравниваемых напряжений;

8) блока питания, обеспечивающего функционирование прибора.



Рис. 4. Структурная схема прибора ЭЛПОТ

Буферный усилитель обеспечивает согласование выходного сопротивления электрохимической ячейки и входного сопротивления масштабирующего усилителя, так как разность потенциалов между электродом сравнения и исследуемой деталью сильно зависит от протекающего в цепи тока, который при измерении электрохимического потенциала должен быть менее 100 нА. Масштабирующий усилитель позволяет увеличить чувствительность прибора к входному сигналу. Аналоговый компаратор сравнивает усиленный входной сигнал с уровнем срабатывания. Для повышения помехозащищенности компаратор имеет прямоугольную петлю гистерезиса, которая позволяет избавиться от ложных срабатываний. Результат сравнения на выходе компаратора отображается в логическом виде с помощью системы индикации: лампа зеленого цвета показывает, что идет процесс химического травления покрытия. При переходе через заданный уровень срабатывания, включается красная индикаторная лампа и подается звуковой сигнал, свидетельствующие об окончании процесса травления покрытия и переходе к травлению сплава.

В составе прибора применены современные элементы микросхемотехники: для буферного и масштабирующего усилителей, а также для компаратора использован прецизионный операционный усилитель ОР07, отвечающий предъявляемым требованиям по точности и быстродействию; дискретные элементы (резисторы, конденсаторы, транзисторы) применены в чип-исполнении для повышения помехозащищенности.

Заключение

На основании изучения структурно-фазового состава защитных покрытий для лопаток компрессора и турбины ГТД и закономерностей химического удаления покрытий в качестве параметра, характеризующего текущее состояние поверхности, был выбран электродный потенциал, измеряемый в ходе обработки. Показано, что электродный потенциал поверхности позволяет с достаточной точностью определять время полного съема покрытия, а также оценивать активность поверхности лопаток после его удаления. С целью внедрения в производство метода оценки текущего состояния поверхности были разработаны требования и структурная схема прибора, позволяющего измерять электродный потенциал в ходе процесса обработки.

Литература

1. Мубояджян С.А. Комплексные защитные покрытия турбинных лопаток авиационных ГТД / С.А. Мубояджян, В.П. Лесников, В.П. Кузнецов. – Екатеринбург: Изд-во «Квист», 2008. – 208 с.
2. Гецов Л.Б. Материалы и прочность деталей газовых турбин. В двух книгах / Л.Б. Гецов. – Рыбинск: ООО «Издательский дом «Газотурбинные технологии», 2010. – Кн. 1. – 611 с.
3. Материалы и прочность оборудования ТЭС: учеб. пособие / Под общей ред. В.М. Боровкова и Л.Б. Гецова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 611 с.
4. Будилов В.В. Нанотехнологии обработки поверхности деталей на основе вакуумных ионно-плазменных методов: Физические основы и технические решения / В.В. Будилов, В.С. Мухин, С.Р. Шехтман. – М.: Наука, 2008. – 194 с.
5. Пат. 2081207 Российская Федерация, МПК⁷ C23F1/44, 1/26. Раствор для удаления покрытий из нитрида и карбонитрида титана / Амирханова Н.А., Невьянцева Р.Р., Тимергазина Т.М.; Заявитель и патентообладатель УГАТУ. – № 95110172/02; заявл. 15.06.1995; опубл. 10.06.1997, Бюл. № 16.
6. Пат. 2396372 Российская Федерация, МПК⁷ C23F1/26, 1/44. Состав для удаления покрытий из нитрида титана с поверхности деталей из титановых сплавов / Быбин А.А., Невьянцева Р.Р., Парфенов Е.В., Тарасов П.В.; заявитель и патентообла-

датель УГАТУ. – № 2009119946/02; заявл. 26.05.2009; опублик. 10.08.2010, Бюл. № 22.

7. Пат. 2339738 Российская Федерация, МПК⁷ C23F1/16, 1/30. Способ удаления жаростойкого покрытия с деталей из жаропрочных никелевых сплавов / Смыслов А.М., Амирханова Н.А., Невьянцева Р.Р., Быбин А.А., Смольникова О.Г., Парфенов Е.В., Измайлова Н.Ф.; заявитель и патентообладатель УГАТУ. – № 2007111296/02; заявл. 27.03.2007; опублик. 27.11.2008, Бюл. № 33.

8. Роль электродного потенциала поверхности при изучении процесса удаления алюминидного покрытия с рабочих лопаток турбины ГПА /

Н.А. Амирханова, Р.Р. Невьянцева, А.А. Быбин, О.Г. Смольникова // Вестник УГАТУ. – 2003. – Т. 4, № 2. – С. 143-146.

9. Парфенов Е.В. Компьютерный измеритель электродного потенциала на базе стандартного игрового порта / Е.В. Парфенов, Р.Р. Невьянцева, Д.А. Сосновский // Приборы и техника эксперимента. – 2004. – № 1. – С. 154-155.

10. Асанов Б.У. Нитридные покрытия, полученные вакуумно-дуговым осаждением [Электронный ресурс] / Б.У. Асанов, В.П. Макаров // Вестник КРСУ. – 2002. – Т. 2, № 2. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.krsu.edu.kg/vestnik/>. – 10.04.2011.

Поступила в редакцию 19.05.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. кафедры материаловедения и физики металлов Н.Г. Зарипов, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия.

ОСОБЛИВОСТІ ПОТОЧНОГО КОНТРОЛЮ СТАНУ ПОВЕРХНІ В ТЕХНОЛОГІЯХ ВИДАЛЕННЯ ДЕФЕКТНИХ ПОКРИТТІВ ХІМІЧНИМ МЕТОДОМ З ЛОПАТОК ГТД

А.М. Смыслов, А.О. Бибін, Р.Р. Нев'янцева, Є.В. Парфенов, О.Г. Смольнікова, П.В. Тарасов

Проведено дослідження структурно-фазового складу іонно-плазмового покриття TiN на сталевій і титановій підкладках і дифузійних алюмінідних покриттів на нікелевих сплавах. Вивчені особливості видалення захисних покриттів хімічним методом з використанням спеціальних травильних розчинів. Проаналізовані параметри процесу хімічної обробки лопаток ГТД із захисними покриттями і як найбільш інформативний параметр, що характеризує стан поверхні в ході обробки, вибраний електродний потенціал. Розроблена структурна схема приладу виміру електродного потенціалу, що знімається з поверхні в ході видалення дефектних покриттів.

Ключові слова: захисне покриття, видалення покриттів, хімічний метод, контроль стану поверхні, електродний потенціал поверхні.

REAL TIME SURFACE PROPERTIES MONITORING IN CHEMICAL TECHNOLOGIES FOR COATING STRIPPING FROM GAS TURBINE BLADES

A.M. Smyslov, A.A. Bybin, R.R. Nevyantseva, E.V. Parfenov, O.G. Smolnikova, P.V. Tarasov

The paper presents a research of structure and phase composition of PVD TiN coating on steel and titanium substrates, and of diffusion aluminide coatings on nickel superalloy substrates. The chemical stripping process features have been investigated for specially developed etching solutions. The process parameters have been analyzed, and the open circuit electrode potential has been chosen as the most informative parameter describing the surface properties during the chemical stripping of a coating from a gas turbine blade. A structural circuit of a measurement device for the electrode potential monitoring has been proposed.

Key words: protective coating, coating stripping, chemical method, surface properties monitoring, open circuit electrode potential.

Смыслов Анатолий Михайлович – д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой «Технология машиностроения» Уфимского государственного авиационного технического университета, Уфа, Россия.

Быбин Андрей Александрович – канд. техн. наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Уфимского государственного авиационного технического университета, Уфа, Россия, e-mail: anbybin@yandex.ru.

Невьянцева Римма Рахимзяновна – канд. хим. наук, доцент, доцент кафедры «Общая химия» Уфимского государственного авиационного технического университета, Уфа, Россия.

Парфенов Евгений Владимирович – канд. техн. наук, доцент кафедры «Теоретические основы электротехники» Уфимского государственного авиационного технического университета, Уфа, Россия.

Смольникова Ольга Геннадьевна – ассистент кафедры «Общая химия» Уфимского государственного авиационного технического университета, Уфа, Россия.

Тарасов Павел Валерьевич – ассистент кафедры «Технология машиностроения» Уфимского государственного авиационного технического университета, Уфа, Россия.