

УДК 621.1:621.79

## РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО РАСТВОРА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ АЛЮМИНИДНЫХ ПОКРЫТИЙ С ЛОПАТОК ГАЗОВЫХ ТУРБИН И ЕГО АПРОБАЦИЯ В РЕМОНТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Р. Р. НЕВЬЯНЦЕВА<sup>1</sup>, А. А. БЫБИН<sup>2</sup>, О. Г. СМОЛЬНИКОВА<sup>3</sup>

<sup>1</sup> nevyantseva\_rr@yandex.ru, <sup>2</sup> anbybin@yandex.ru, <sup>3</sup> smolnic.olga@yandex.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

*Поступила в редакцию 21.12.2015*

**Аннотация.** Рассмотрено состояние вопроса по удалению химическим методом диффузионных покрытий алюминидного типа с рабочих лопаток газовых турбин. Показано, что для реализации ремонтных технологий используются различные составы травильных растворов. Предложен универсальный состав раствора для удаления алюминидных покрытий, включающий соляную и азотную кислоты, а также добавки неорганической природы. Доказана эффективность разработанного электролита травления и его возможность использования в технологиях восстановительного ремонта рабочих лопаток из жаропрочных никелевых сплавов.

**Ключевые слова:** лопатки турбины; алюминидное покрытие; удаление покрытий; химический метод; технология ремонта.

### ВВЕДЕНИЕ

Алюминидные покрытия широко применяют для защиты лопаточного аппарата газовых турбин. При нарушении режимов технологии нанесения покрытия возникают различные дефекты: отслаивание покрытия, его неравномерность по толщине и др. В процессе эксплуатации деталей под действием повышенных температур, нагрузок и агрессивных сред происходит изменение структуры и химического состава покрытия, что приводит к снижению его ресурса. Для уменьшения материальных затрат и продления ресурса двигателя в технологии восстановительного ремонта предусмотрено удаление дефектного покрытия и его повторное нанесение.

Предпочтительным методом удаления дефектных покрытий в условиях серийного производства является химический метод, так как он прост в исполнении, не требует дорогостоящего аппаратного оформления и позволяет проводить удаление покрытий в труднодоступных местах. Предлагаемые в работах [1–4] различные растворы травления эффективны только для определенных систем «сплав–покрытие», что ограничивает сферу их применения. Несмотря на широкое использование алюминидных покрытий практически отсутствуют сведе-

ния о механизме процессов травления разных структурно-фазовых зон покрытия. Кроме того, большинство растворов травления содержат в своем составе токсичную плавиковую кислоту или ее соли, не имеющие в настоящее время эффективных способов утилизации. Многообразие разработанных к настоящему времени защитных покрытий выдвигает актуальную проблему, связанную с созданием универсального и менее токсичного электролита, применимого для различных алюминидных покрытий, что обеспечит более полное использование мощностей ремонтного производства.

В данной статье представлены результаты разработки универсального раствора травления и технологии удаления алюминидных покрытий с лопаток газовых турбин, обеспечивающих высокую производительность обработки и требуемое качество поверхности.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили на лопатках турбины, изготовленных из промышленных никелевых сплавов: ЖС6У, ЖС32, ЦНК7П, ЗМИЗУ и In738LC. На лопатках по серийной технологии были нанесены защитные жаростойкие покрытия алюминидного типа толщиной от 30 до 70 мкм. Часть лопаток имела эксплуатационную

наработку в составе полноразмерных изделий ~ 56 тыс. час.

Удаление покрытия проводили химическим методом в различных растворах. Время полного травления покрытия фиксировали на основании измерений бестокового электродного потенциала поверхности с использованием прибора ЭЛПОТ [5]. Скорость удаления покрытия определяли гравиметрическим методом. Изучение структуры поверхности сплава до и после снятия покрытия проводили на образцах, вырезанных из лопаток, с использованием оптической и растровой электронной микроскопии. Химический состав исследуемых покрытий осуществляли путем микрорентгеноспектрального анализа на энергодисперсионном анализаторе Microtrace Series II (NORAN). Усталостные испытания проводили по ГОСТ 25.502-81 на лопатках с симметричным циклом нагружения при комнатной температуре на вибростенде St-5000/300. Все лопатки после испытаний подвергали контролю ЛЮМ-10В с целью выявления образовавшихся трещин.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Исследования по обозначенной теме проводились в несколько этапов. На первом выполнялись работы по изучению диффузионных алюминидных покрытий с позиций объекта ремонта и установлению эффективных условий их удаления.

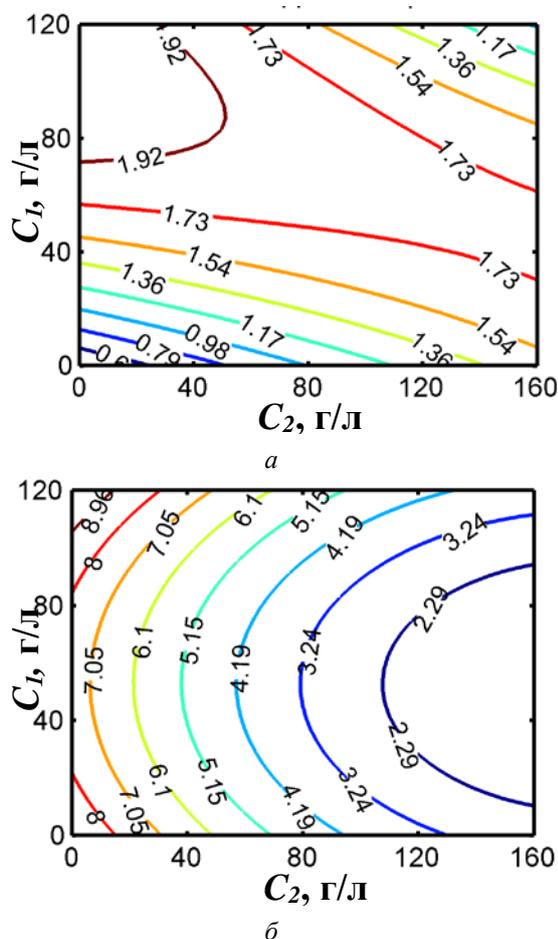
При изучении алюминидных покрытий как объекта ремонта анализировались их состав и структура. Показано, что все диффузионные покрытия характеризуются наличием двух зон: внешней и внутренней. Граница между зонами представляет собой первоначальную поверхность никелевого сплава, на которую было нанесено алюминидное покрытие. Основной структурной составляющей внешней зоны является фаза  $\beta$ -NiAl, легированная хромом и/или кремнием в виде твердого раствора замещения, а также силицидами тугоплавких элементов. Матрица внутренней зоны состоит из фаз  $\beta$ -NiAl и  $\gamma'$ -Ni<sub>3</sub>Al и армирована карбидами типа MC, M<sub>23</sub>C<sub>6</sub> и M<sub>6</sub>C. Изучаемые покрытия отличаются количественным содержанием основных и легирующих элементов и характеризуются неравномерным их распределением по глубине. Установлено, что основное различие связано с концентрацией осаждаемого при нанесении покрытия алюминия и диффундирующих из сплава никеля и хрома. При этом снижение концентрации никеля коррелирует с возрастанием концентрации алюминия, а наличие хрома опреде-

ляется его содержанием в сплаве. Суммарное содержание других элементов Ti, Co, Mo, W и Si составляет ~ 13...15 ат. %, и их концентрация практически одинакова во всех исследуемых покрытиях. Лопатки после эксплуатационной наработки характеризуются изменением состава и структуры покрытия, что следует учитывать при выборе раствора травления и его влиянии на основной материал лопатки.

Апробирование известных составов растворов показало, что в растворах без азотной кислоты удаления покрытия не происходит. В электролитах, содержащих соляную и азотную кислоты с добавками соединений железа, обеспечивается приемлемая производительность процесса, однако поверхность сплава характеризуется неудовлетворительным качеством: на поверхности имеются растравы глубиной до 20 мкм. Замена соляной кислоты на плавиковую также не обеспечивает требуемого качества поверхности после съема покрытия: глубина растравов достигает 16...18 мкм. Установлено, что более высокое качество поверхности сплава, выражающееся в заметном снижении глубины растравов по поверхности, наблюдается при введении в раствор соединений хрома (VI) и использовании в качестве базовой части смеси соляной и азотной кислот в соотношении 1:2. Раствор указанного состава с дополнительной добавкой гептамолибдата аммония, ранее разработанный в УГАТУ [4], применяется в серийном производстве при ремонте лопаток ТВД с покрытием системы NiCr/CrAl. Однако информация о возможности применения указанного раствора для других типов алюминидных покрытий отсутствует, что выдвигает задачу поиска универсального раствора, обеспечивающего приемлемую производительность обработки при минимальном растрове поверхности материала лопаток.

Для решения поставленной задачи проведен комплекс исследований по удалению алюминидных покрытий в растворах с различным содержанием добавок. Для каждой изучаемой системы «сплав–покрытие» построены регрессионные модели, отражающие взаимосвязь скорости съема покрытия и глубины растравов по сплаву с концентрацией добавок. На рис. 1 представлены типовые поверхности отклика в виде изолиний для удаления алюминидных покрытий с поверхности лопаток ТВД. Совместный анализ полученных данных показывает, что удаление покрытий в растворе без добавок происходит со скоростью  $V = 0,2...0,4$  мг/см<sup>2</sup>·мин, при этом глубина растравливания поверхности сплава ( $R$ ) достигает более 8 мкм.

Введение в раствор бихромата калия приводит к росту скорости съема покрытия в 1,5...5 раз, а гептамолибдата аммония – в 6...10 раз, что связано с их высокими окислительными свойствами. Добавки оказывают различное влияние на растравливание поверхности никелевого сплава: первая приводит к снижению глубины растравов в среднем до двух раз, а вторая – к росту величины  $R$  в 1,2 раза. Совместное введение в раствор обеих добавок не привело к ожидаемому возрастанию скорости съема покрытия. За счет проявления синергетического эффекта величины  $V$  и  $R$  снижаются в 1,5 и 3,0 раза соответственно.



**Рис. 1.** Зависимость скорости удаления ( $\text{мг}/\text{см}^2\cdot\text{мин}$ ) покрытия ВСДП-11 (а) и глубины растравов ( $\text{мкм}$ ) на поверхности сплава ЖС32 (б) от концентрации добавок  $C_1$  и  $C_2$ , где  $C_1 - (\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ ;  $C_2 - \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

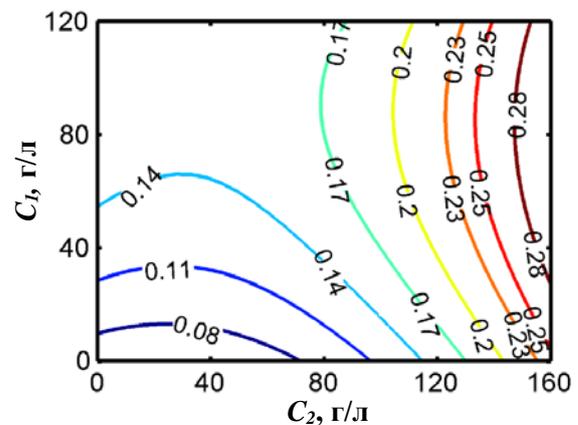
Показано, что закономерности, свойственные образцам с наработкой и без наработки, в основном аналогичны. Однако средние значения скоростей травления покрытия с наработкой и глубины растравов по сплаву оказываются ниже в связи с наличием химически стойких продуктов коррозии в покрытии и обеднением

слоя сплава под покрытием в результате диффузионных процессов при эксплуатации.

Проведенные исследования позволили установить, что для различных алюминидных покрытий на никелевых сплавах максимальные значения скорости съема покрытия соответствуют области наибольшей концентрации гептамолибдата аммония, а минимальные значения глубины растравов на поверхности сплава после удаления покрытия – области наибольшей концентрации бихромата калия. Для обеспечения максимальной производительности обработки и требуемого качества поверхности сплава целесообразно ввести целевую функцию  $L$ , связывающую параметры  $V$  и  $R$  в виде следующей зависимости:  $L = k \cdot \frac{V}{R}$ , где  $k$  – коэффициент,

учитывающий природу сплава и защитного покрытия. Из формулы следует, что раствор будет считаться оптимальным, если функция  $L$  принимает максимальные значения.

Для определения функции  $L$  были использованы усредненные по всем исследуемым системам «сплав – покрытие» значения  $V$  и  $R$  и построена регрессионная модель, поверхности отклика которой в виде изолиний представлены на рис. 2.



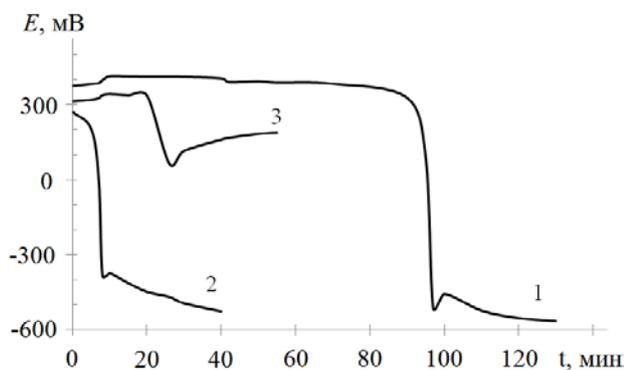
**Рис. 2.** Зависимость целевой функции  $L$  от концентрации добавок  $C_1$  и  $C_2$ , где  $C_1 - (\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ ;  $C_2 - \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

Показано, что функция  $L$  принимает максимальные значения в достаточно узком диапазоне концентраций бихромата калия и в относительно широком интервале концентраций гептамолибдата аммония. Однако добавление большого количества гептамолибдата аммония усложняет процесс приготовления травильного раствора и, кроме того, данная добавка обладает высокой стоимостью и токсичностью. В целях сокращения времени подготовки ремонтного производства и снижения экологической

нагрузки целесообразным является использование минимально возможной ее концентрации.

Таким образом, в качестве оптимального раствора, пригодного для удаления различных покрытий алюминидного типа, следует считать электролит, содержащий в дополнение к азотной и соляной кислотам 30...40 г/л гептамолибдата аммония и 155...160 г/л бихромата калия. На данный состав универсального травильного раствора получен патент РФ № 2339738.

На следующем этапе изучался механизм удаления покрытия в электролите оптимального состава. Для изучения влияния природы компонентов раствора на механизм съема покрытия анализировались процессы, протекающие на поверхности обрабатываемой детали и в объеме травильного раствора. Процесс удаления покрытий в базовом растворе без добавок связан с протеканием на поверхности детали окислительно-восстановительных реакций (ОВР), в которых азотная кислота играет роль окислителя, а соляная в основном определяет pH раствора. После удаления покрытия раствор начинает активно взаимодействовать с поверхностью никелевого сплава, приводя к его растравливанию. Выявленные особенности подтверждаются динамикой электродного потенциала обрабатываемой поверхности  $E$  (рис.3).



**Рис. 3.** Зависимость электродного потенциала ( $E$ ) от продолжительности съема покрытия ВСДП-11 со сплава ЖС6У в растворах: HCl - 190 г/л и HNO<sub>3</sub> - 380 г/л без добавок (1) и с добавлением 120 г/л (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub> (2) или 160 г/л K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (3)

Показано, что длительное время величина  $E$  находится в области положительных значений. В момент полного удаления покрытия происходит резкий спад электродного потенциала, сопровождающийся переходом в область отрицательных значений. Фиксирование в ходе обработки момента спада электродного потенциала позволяет определить время полного удаления покрытия без прерывания процесса. После удаления покрытия величина  $E$  остается в области

отрицательных значений, что свидетельствует о процессе травления поверхности сплава.

При введении в базовый раствор гептамолибдата аммония момент резкого спада величины  $E$  наблюдается раньше, что свидетельствует о сокращении времени съема покрытия. Известно [6], что гептамолибдат аммония при растворении в смеси соляной и азотной кислот претерпевает ряд изменений, приводящих к образованию вначале трехокси молибдена, а затем молибденовой кислоты H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O. Дополнительное появление в растворе молибдат-ионов способствует значительному увеличению скорости удаления покрытия, а также растравливанию сплава преимущественно по его междендритным пространствам.

При добавлении бихромата калия, также являющегося сильным окислителем, момент полного удаления покрытия наступает раньше, чем в базовом растворе. Однако после удаления покрытия потенциал сдвигается в область положительных значений (рис.3), что свидетельствует о пассивации поверхности сплава, обусловленной образованием тонких монослоев оксохроматов никеля.

При совместном введении обеих добавок эффекта значительного ускорения процесса травления не наблюдается. Причиной является тот факт, что взаимодействие продуктов ОВР с компонентами электролита приводит к увеличению содержания ионов хрома (III), которые вызывают дополнительную пассивацию поверхности, а также способствуют регенерации молибдат-ионов, травящее действие которых на поверхность снижается вследствие образования оксохромата никеля, что обуславливает и ее минимальный растрав.

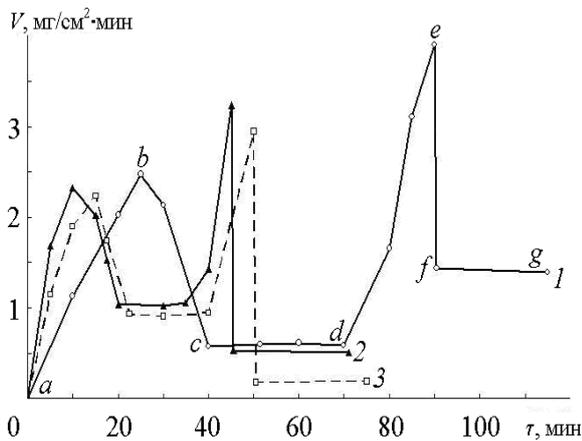
С практической точки зрения представляет интерес прогнозирование производительности обработки при удалении алюминидных покрытий, имеющих различный химический состав. Установлено, что из всех элементов покрытия наибольшее влияние оказывают хром и алюминий. С использованием метода наименьших квадратов была построена зависимость скорости съема покрытия  $V$ , мкм/мин, от концентрации указанных элементов:

$$V = -0,1 + 2,09 \cdot C_{\text{отн}} - 0,97 \cdot C_{\text{отн}}^2,$$

где  $C_{\text{отн}}$  – параметр, отражающий взаимосвязь концентраций хрома и алюминия в покрытии,  $C_{\text{отн}} = C_{\text{Cr}}/C_{\text{Al}}$ .

Полученная зависимость была апробирована для прогнозирования времени удаления покрытия со сплава ЖС6У. Данное покрытие характеризуется параметром  $C_{\text{отн}}=0,5$ . Расчетное время его съема составляет 50 мин при фактическом времени 53 мин.

Опыт ремонта лопаток газовых турбин показывает, что в ряде случаев не требуется полностью удалять защитное покрытие. При повреждении только внешней зоны в ходе травления внутренняя зона покрытия может быть сохранена на сплаве без ремонта. Для решения указанной задачи изучались особенности удаления различных структурных зон покрытия. На рис. 4 представлен график зависимости скорости травления различных зон покрытия RT-22 от времени обработки образцов из сплава IN738LC в растворах различного состава, включая универсальный. Анализ зависимостей позволяет выделить несколько этапов, характеризующих определенные стадии процесса травления. На первом этапе (участок  $a-b$ ) происходит преимущественное удаление внешней зоны, сопровождающееся интенсивным растравливанием матрицы.



**Рис. 4.** Зависимость локальной скорости травления покрытия от времени обработки в различных растворах: 1 – в растворе без добавок; 2 – в растворе с добавлением 160 г/л  $K_2Cr_2O_7$ ; 3 – в растворе с добавлением 160 г/л  $K_2Cr_2O_7$  и 30 г/л  $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$

На втором этапе (участок  $b-c$ ) происходит дотравливание остатков внешней зоны и начинается удаление внутренней. Повышенная коррозионная стойкость карбидных фаз, содержащихся во внутренней зоне, обуславливает падение скорости травления. На третьем этапе (участок  $c-d$ ), когда удаляется только внутренняя зона, скорость процесса незначительна и в течение определенного времени остается практически постоянной. Травлению подвергается в основном матрица внутренней зоны, карбидные фазы остаются нетронутыми. На следующем этапе (участок  $d-e$ ), когда удаляются остатки внутренней зоны, происходит резкое возрастание скорости съема в связи с выпадением из растравленной матрицы карбидных фаз. Одновременно на участках поверхности, освобож-

денных от покрытия, начинается травление самого сплава. На последнем этапе, когда внутренняя зона удалена полностью, травится только поверхность никелевого сплава (участок  $f-g$ ).

Результаты исследования показали, что время, затраченное на удаление только внешней зоны, для всех растворов одинаково и составляет 35...45 % от времени удаления покрытия в целом. Поэтому в случае, когда требуется удалить только внешнюю зону покрытия, при ремонте целесообразно предусматривать технологический припуск, представляющий собой нижнюю часть внешней зоны толщиной до 3...4 мкм, который в дальнейшем на этапе подготовки поверхности лопаток под покрытие будет удаляться механическим способом.

На заключительном этапе исследований рассматривались технологические аспекты удаления дефектных покрытий с полноразмерных лопаток ТВД с применением универсального раствора.

Исследованиями по удалению покрытия с различных участков пера рабочих лопаток ТВД с наработкой ~ 56 тыс. час с агрегата ГТК-25И показано, что на входной кромке пера скорость съема покрытия со стороны спинки и корыта практически одинакова, а на выходной кромке скорость со стороны корыта в 1,5 раза больше, чем со стороны спинки. В связи с этим следует предусматривать передержку деталей в растворе травления в течение некоторого времени. Установлено, что при передержке деталей из сплава IN738LC в травильном растворе в течение 30 мин. не происходит увеличение глубины растравливания, т.е. не наблюдается ухудшение качества обрабатываемой поверхности. Аналогичные зависимости были получены и при обработке рабочих лопаток ТВД изделия АЛ-31Ф, изготовленных из сплава ЖС6У с покрытием ВСДП-11.

При разработке технологий удаления покрытий, имеющих эксплуатационную наработку, следует иметь в виду, что поверхностный слой покрытия содержит различные оксиды и шпинели, трудно поддающиеся растворению в кислотных растворах. С целью их удаления необходима предварительная подготовка поверхности. Показано, что использование струйно-абразивной обработки позволяет увеличить скорость съема покрытия с лопаток более чем в 3 раза. Интенсификация процесса съема покрытия обусловлена не только удалением слоя оксидов и шпинелей, но и созданием шероховатой поверхности с различными электродными потенциалами, которые ускоряют процессы травления.

На ремонтных предприятиях обеспечение производительности процесса снятия дефектного покрытия в большей степени регулируется работоспособностью травильного раствора. Так как в травильном растворе обработке подвергается большое количество лопаток, то со временем раствор изменяет свой химический состав и вырабатывается, что может вызвать повышенный растрав поверхности. Поэтому ставилась задача по определению предельного количества натуральных лопаток, после обработки которых раствор теряет свою эффективность, т.е. вырабатывается. Эксперименты, проведенные на комплексах натуральных лопаток из сплавов IN738LC и ЖС32ви, показали, что с увеличением числа последовательно обрабатываемых деталей время полного удаления покрытия возрастает. На основании полученных данных с учетом суммарной площади обработанной поверхности ( $S$ ,  $\text{дм}^2$ ) и объема травильного раствора ( $V$ , л) были получены зависимости времени удаления покрытия от параметра вырабатываемости раствора  $k_B = \frac{S}{V}$ . Установлено, что в случае ремонта покрытия, характеризующегося более простым структурно-фазовым составом, электролит вырабатывается медленнее, чем при ремонте сложнолегированного покрытия. Если в качестве критерия принять время удаления покрытия не более 120 мин., то следует считать, что параметр вырабатываемости раствора  $k_B$  для рабочих лопаток ТВД с агрегатов ГТК-25И и АЛ-31Ф не должен превышать 8 и 3  $\text{дм}^2/\text{л}$  соответственно.

Комплекс проведенных исследований позволил разработать технологию удаления алюминидных покрытий с проточной части рабочих лопаток турбины из никелевых сплавов. Предложенная технология была апробирована в опытном производстве при ремонте рабочих лопаток ТВД с изделия АЛ-31Ф. Лопатки, прошедшие ремонт по разработанной технологии, были подвергнуты усталостным испытаниям в условиях ОАО УМПО на контрольном уровне напряжений ( $\sigma_a=167$  МПа, база испытаний  $20 \times 10^6$  циклов). В ходе испытаний лопатки выдержали установленную нагрузку, и по результатам люминесцентного контроля их состояние было признано удовлетворительным.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, разработан состав универсального травильного раствора и установлены оптимальные режимы обработки, позволяющие с высокой надежностью проводить удаление

различных покрытий алюминидного типа на этапе восстановительного ремонта лопаток газовых турбин.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Абраимов Н. В., Елисеев Ю. С.** Химико-термическая обработка жаропрочных сталей и сплавов. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 622 с. [N. V. Abraimov, Yu. S. Eliseev, *Chemical heat treatment of heat-resistant steels and alloys*, (in Russian). Moscow: Intermet Ingining, 2001]
2. **Авторское свидетельство СССР № 1324344.** МПК<sup>7</sup> C23F1/20, 1/28. Раствор для удаления алюминийсодержащих многокомпонентных жаростойких покрытий с никелевых сплавов / А. И. Шубадеева, Т. Б. Макачук, Л. Я. Гурвич // Оpubл. 27.11.2001. [Copyright certificate USSR № 1324344. МПК<sup>7</sup> C23F1/20, 1/28. The solution is to stripping the aluminum-containing multi-component heat-resistant coatings with nickel alloys / A. I. Shubadeeva, T. B. Makarchuk and L. Ya. Gurvich // Publ. 27.11.2001.]
3. **Патент РФ № 2200211.** МПК<sup>7</sup> C23F1/16. Способ удаления покрытий с деталей из жаростойких сплавов / Ю. С. Елисеев, А. М. Душкин, Ю. П. Шкретов, Н. В. Абраимов // Оpubл. 10.03.2003. [The patent of the Russian Federation № 2200211. МПК<sup>7</sup> C23F1/16. A method for stripping coatings from parts made of heat-resistant alloys / Yu. S. Eliseev, A. M. Dushkin, Yu. P. Shkretov, N. V. Abraimov // Publ. 10.03.2003.]
4. **Исследование закономерностей химического травления жаростойких покрытий с лопаток ГТД / Н. А. Амирханова, С. П. Павлинич, Р. Р. Невьянцева, М. К. Новикова, Т. М. Клыкова // Известия вузов. Авиационная техника. 1997. № 1. С. 96-99.** [N. A. Amirkhanova, et al. Investigation of the chemical etching, heat-resistant coatings to gas turbine engine blades, (in Russian), in *Izvestiya VUZOV. Aviatsonnaya Tekhnika*, no 1, pp. 96-99, 1997.]
5. **Особенности текущего контроля состояния поверхности в технологиях удаления дефектных покрытий химическим методом с лопаток ГТД / Р. Р. Невьянцева, Е. В. Парфенов, А. А. Быбин и др. // Авиационно-космическая техника и технология. 2011. № 7. С. 18-24.** [R. R. Nevyantseva, et al. Features of monitoring the state of the surface for the removal of defective plating method with the gas turbine engine blades, (in Ukraine), in *Aerospace Engineering and Technology*, no 7, pp. 18-24, 2011]
6. **Рипан Р., Четьяну И.** Неорганическая химия. Химия металлов. М.: Мир, 1975. Т. 2. 872 с. [R. Ripan, I. Chetyanu, *Inorganic Chemistry. Chemicals metal*, (in Russian). Moscow: Mir, 1975. Vol. 2. 872 p.]

## ОБ АВТОРАХ

**НЕВЬЯНЦЕВА Римма Рахимзяновна**, доц. каф. общей химии. Дипл. инж.-металлург и физико-химик (Челябинск. политехн. ин-т, 1965). Канд. хим. наук по неорганической химии (защ. в ИФП СО АН СССР, 1972). Иссл. в обл. ремонта лопаток авиационных двигателей.

**БЫБИН Андрей Александрович**, доц. каф. технологии машиностроения. Дипл. инж. по автоматиз. технол. процессов и производств (УГАТУ, 2000). Канд. техн. наук по тепл., электроракетн. двиг. и энергоустановкам ЛА (УГАТУ, 2005). Иссл. в обл. технологий восстановительного ремонта деталей газовых турбин.

**СМОЛЬНИКОВА Ольга Геннадьевна**, ст. преп. каф. общей химии. Дипл. химик-технолог по технологич. процессам хим. производств (УТИС, 1996). Готовит дис. в обл. ремонта жаростойких покрытий химическими методами.

#### METADATA

**Title:** The development of a universal solution to stripping aluminide coating gas turbine blades and testing in repair production.

**Authors:** R. R. Nevyatseva<sup>1</sup>, A. A. Bybin<sup>2</sup>, O. G. Smolnikova<sup>3</sup>

**Affiliation:** Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

**Email:** <sup>1</sup> nevyantseva\_rr@yandex.ru, <sup>2</sup> anbybin@yandex.ru, <sup>3</sup> smolnic.olga@yandex.ru.

**Language:** Russian.

**Source:** Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 20, no. 1 (71), pp. 26-32, 2016. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

**Abstract:** The state of the question of the stripping of a chemical method of aluminide coatings rotor blades of gas turbines. It is shown that the implementation of repair technologies used different formulations pickling solutions. The universal solution composition for stripping aluminide coatings comprising hydrochloric and nitric acid and additives of inorganic nature. The efficiency of the developed electrolyte and its ability to use technologies of repair of the blades with the technological and operational defects.

**Key words:** Turbine blades; aluminide coating; stripping of coatings; chemical method; repair technology.

#### About authors:

**NEVYATSEVA, Rimma Rahimzyanovna**, Dept. of chemistry. Dipl. of the metallurgical engineer and physical chemist (ChPI, 1965). Cand. of Chem. Sci. (ISPh of the Sib. Branch Acad. Sci. USSR, 1972).

**BYBIN, Andrey Aleksandrovich**, Dept. of technologies of mechanical engineering. Dipl. of the engineer in automation of technological processes and productions (UGATU, 2000). Cand. of Tech. Sci. (UGATU, 2005).

**SMOLNIKOVA, Olga Genadievna**, Dept. of chemistry. Dipl. engineer chemical engineer (UTIS, 1996).