

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Гранта Президента № МК - 5883.2014.8 и МК - 5681.2014.8.

Список литературы:

1. Hunt J. Engineering with ceramic materials // Eng. Mat. Design. – 1983. N 9. – P. 33 – 38.
2. Rottenkolber P., Langer M. Ceramics for automotive power plants // Ind. Automob. – 1983. – Novembre. P. 34 – 38.

**ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ
СТАЛЬНЫХ ПОДЛОЖЕК НА АДГЕЗИОННУЮ ПРОЧНОСТЬ И
ПЛОТНОСТЬ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ИЗ
НИКЕЛЬХРОМОВОГО СПЛАВА ПГСР-4**

И.В. Пухова, студент гр. 4БМ21

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр.Ленина,30,

E-mail: ivpuhova@mail.ru

В последнее время в сфере электронно-лучевых технологий появились новые перспективные направления, которые до сих пор относились к разделу научной фантастики, например такие как: многолучевая технология – разделение одного луча на десятки, липкие металлы – выращивание микроигл на поверхности детали, 3D технология – выращивание трехмерной модели детали сложной формы из порошка [1].

При определенных технологических приемах электронный луч может обеспечить почти неограниченное разнообразие режимов воздействия электронного пучка на поверхность обрабатываемой детали, таких как сварка, термообработка, зондирование и модифицирование поверхности, например, нанесение простейшего рисунка. Однако, реализовать эти преимущества электронного луча в полной мере можно только посредством электронной автоматизации. С развитием систем автоматизированного управления область применения электронного луча значительно расширилась, но на физическом уровне технология достижения необходимого результата гораздо усложнилась. Так, например, оперируя изменением трех - четырех параметров электронного луча, мы можем добиться как сваривания деталей, так и выращивания на их поверхностях трехмерного изображения заданной формы.

В итоге мы имеем два направления получения неизвестных специальных свойств на давно изученных материалах:

- структурная модификация поверхностного слоя, в основном за счет геометрической термообработки, например: в виде шахматной доски или по типу «зебра»;

- объемная модификация поверхности детали с получением на ней 3D – объектов различной формы, например: шестигранные соты, иглы, направленные перпендикулярно плоскости детали и т.д [2].

Чтобы оценить характер и степень структурных преобразований поверхностных слоев под действием электронного луча, мы изготовили образцы из титана и

алюминия авиационного назначения. После электронно-лучевой обработки образцы были подготовлены для оценки прочностных характеристик (рис. 1).

Для отработки режимов моделирования поверхности и выявления оптимальных параметров электронного луча в качестве тестируемого материала была выбрана медь высокой степени очистки от примесей марки М0, т.к. она имеет высокую теплопроводность и сравнительно низкую температуру плавления 1083°C . В результате удалось получить объемные структуры различной конфигурации (рис. 2), которые в дальнейшем можно протестировать по различным критериям.

В результате применения комплексного подхода к решению поставленной задачи были получены первые образцы модифицированных поверхностей. Полученные структуры можно рассматривать не только как инструмент для получения прироста прочностных характеристик, но и как внешние дизайнерские преобразования в стиле Hi-tech.

Исследование адгезионной прочности опытных образцов с газотермическими покрытиями, нанесенными на металлические подложки с игольчатой структурой, сформированной посредством комплексной электронно-лучевой модификации



Рис. 1. Алюминиевые и титановые образцы после поверхностного электронно-лучевого структурирования, подготовленные для оценки прочностных характеристик

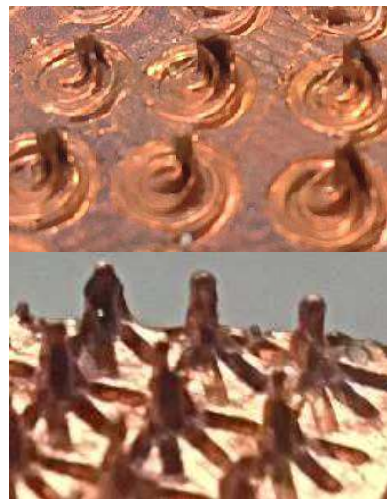


Рис. 2. Объемная модификация медной поверхности (высота игл 2 мм)

а

б



Рис. 3. Примеры поверхностного модифицирования на нержавеющей стали X18H10T (а) и на титане ВТ0(б)



Рис. 4. Текстурированный образец для нанесения металлокерамического покрытия методом газотермического напыления для ГЦК-поликристалла.

В работе проводились сравнительные исследования влияния различных видов предобработки поверхности подложек, включая применение метода импульсной электронно-лучевой модификации, на адгезионную прочность и открытую пористость газотермических покрытий.

Освоив получение 3D-структур на медной подложке, было решено перейти к другим материалам (рис. 3).

Для испытания готовилось четыре варианта образцов:

- 1-образцы с покрытиями без промежуточного подслоя;
- 2-образцы с покрытиями, напыленными на промежуточный подслоя из Ni_3Al ;
- 3- образцы с покрытиями, напыленными на подложки с игольчатой поверхностью (без подслоя);
- 4- образцы с напыленными покрытиями на подложки с игольчатой поверхностью с промежуточным подслоем из Ni_3Al .

Для текстурирования поверхностей были изготовлены пластины из стали X18H10T размером 25x7мм, предназначенные для последующего нанесения газотермических покрытий из никельхромового сплава ПГСП-4. Режим сканирования металлических подложек электронным пучком был выбран таким, чтобы на их поверхности была сформирована периодическая структура в виде игл (рис. 4). Текстурирование проводилось в вакуумной камере электронно-лучевой установки. Расстояние между выступами ~ 5 мм, высота выступов ~ 5 мм. После напыления покрытия из текстурированных заготовок методом электроискровой резки вырезались «пятаки» для испытания на адгезионную прочность по ГОСТ 10587-84.

Полученные структуры исследовались методами оптической и электронной микроскопии. Испытания образцов на адгезионную прочность проводили двумя методами: методом отрыва штифта (ГОСТ 10587-84), где адгезионная прочность рассчитывается по формуле: $\sigma = F/S$ (σ -прочность сцепления, МПа; F- разрывное усилие, Н ($кгс/см^2$); S- площадь поперечного сечения образцов, ($см^2$) и методом царапания алмазным наконечником на приборе Micro Scratch Tester на границе раздела подложки с покрытием при изменяющейся во времени нагрузке от 0 до 7 Н (длина трека - 4 мм). В процессе эксперимента прибор записывал глубину проникновения, характеризующую данное покрытие. Измерение плотности проводили гидростатическим методом по ГОСТ 18898-73.

Изучение характера разрушения газотермических покрытий при испытании прочности сцепления с основой, проведенные с помощью растровой электронной микроскопии, показывают, что на поверхности стального штифта после отрыва остается сплошной слой покрытия, напыленного на шлифованную поверхность стальных подложек, включая наличие на подложке промежуточного слоя из Ni_3Al (рис. 22 а, б). Таким образом, слабым звеном при отрыве этих покрытий оказывается их когезионная и адгезионная прочность. Судя по характеру разрушения, дальнейшее улучшение свойств напыленных покрытий достигается изменением топографии поверхности металлической подложки с созданием на ней периодической (игольчатой) структуры методом импульсной электронно-лучевой модификации. При этом наблюдается как повышение адгезионной, так и когезионной прочности за счет улучшения свариваемости между собой частиц напыляемого порошка (рис. 5 в, г).

В таблице 1 представлены сравнительные результаты исследования прочности сцепления и открытой пористости покрытий из никельхромового сплава ПГСП-4,

нанесенных на подложки из стали X18H10T. Наблюдается корреляция между постепенным возрастанием прочности сцепления покрытия с подложкой и ростом плотности покрытия. Отрыв от подложек смешанный по характеру. Анализ экспериментальных данных показал, что возникающая при напылении на игольчатую поверхность развитая зона химического контакта никельхромового покрытия обеспечивает максимальные значения адгезионной и когезионной прочности (рис. 22 в, г).

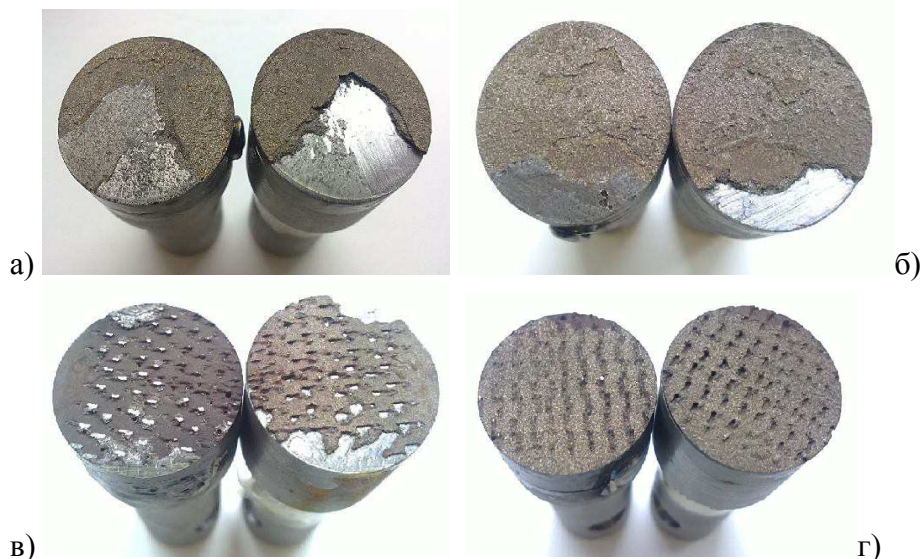


Рис. 5. Участки поверхности покрытий после испытания на адгезионную прочность в зависимости от предобработки поверхности подложек: а) шлифованная поверхность подложки; б) напыление на промежуточный подслоем из Ni_3Al ; в) игольчатая поверхность подложки; г) напыление на игольчатую поверхность подложки с промежуточным подслоем из Ni_3Al

Таблица 1. Влияние подготовки поверхности подложек из нержавеющей стали X18H10T под напыление покрытий на адгезионную прочность и открытую пористость

Метод обработки поверхности образца перед напылением	Материал подложки X18H10T	Прочность сцепления покрытия, $\sigma_{пр}$, [МПа]	Плотность покрытий, γ , [гр/см ³]
Шлифование	Покрытие подслоя без	3,7	7,61
	Покрытие подслоем Ni_3Al ; с из	5,2	7,78
Игольчатая структура	Покрытие подслоя без	10,4	8,32
	Покрытие подслоем Ni_3Al ; с из	14,1	9,14

Упорядоченный игольчатый рельеф существенно улучшает адгезионные свойства поверхности при нанесении покрытий, что доказывают фотографии микроструктур (рис. 6). Напыленное покрытие, как бы образует соединение по типу разделки «в замок».



Рис. 6. Микроструктура напыленного покрытия на подготовленную поверхность с помощью электронно-лучевой 3D – модификации

Заключение

В результате проделанной работы получены опытные образцы материалов и сплавов с новыми специальными свойствами.

Также на данном этапе получены следующие результаты:

1. Показана возможность оценки высоты искусственно формируемых неровностей.
2. Упорядоченный рельеф, сформированный на поверхности материалов, существенно влияет на прочностные характеристики.
3. После использования комплексной технологии, предусматривающей перед нанесением покрытий предварительное формирование методом импульсной электронно-лучевой модификации упорядоченного игольчатого рельефа на поверхности подложек, удается существенно повысить плотность и адгезионную прочность газотермических покрытий.

Список литературы:

1. Обработка элементов силовых передач электронным лучом с малой деформацией и эффектом нескольких процессов.// Матиас Валь, Технология и оборудование электронно-лучевой сварки – 2011, материалы второй Санкт-Петербургской международной конференции: СПб, с.15-26.
2. Электронно-лучевое технологическое оборудование на основе источников электронов с плазменным эмиттером./ С.И. Белюк, Н.К. Гальченко, К.А. Колесникова и др. Технологии и оборудование электронно-лучевой сварки-2011. Материалы второй Санкт-Петербургской международной научно-технической конференции,- Санкт-Петербург. ООО «Агенство «Вит-Принт», 2011, с. 203-212.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РКУП ПО УПРАВЛЕНИЮ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ СПЕЧЕННОГО СПЛАВА Al-30Sn

¹А.Л. Скоренцев, технолог ЛФНФМ, ¹Н.М. Русин, к.т.н, с.н.с.

Е.А. Колубаев^{1,2}, к.ф.-м.н., н.с.

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 634021, г. Томск, просп. Академический, 2/4

²Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30
тел.(3822)-286-962

E-mails: skoralexan@mail.ru; rusinnm@mail.ru; eak@ispms.tsc.ru

Введение

Для предотвращения износа ответственных деталей в узлах трения между ними помещают вкладыши с антифрикционным покрытием, например, из сплава системы Al-Sn. Алюминий здесь выступает в качестве несущей основы и резервуара твердой