

В композите на основе СВМПЭ и Б-СВМПЭ после переработки зарегистрировано размывание граничных областей между компонентами (рисунок 2), связанного, возможно, с диффузией макромолекул одного полимера в другой в процессе переработки. Учитывая тот факт, что СВМПЭ не переходит в вязко-текучее состояние, в результате получается двухкомпонентная переходная область, в которую входят, в виде сосуществующих микрофаз, оба полимера. Зарегистрировано формирование развитого переходного слоя в ПНК, положительно влияющего на эксплуатационные характеристики разрабатываемых композитов.

Таким образом, показано, что бромированный СВМПЭ характеризуется более высокой адгезией к исследованным НЧ по сравнению с исходным полимером, и его целесообразно использовать в композиционной смеси для повышения межфазной адгезии между компонентами ПКМ и улучшения их свойств.

Исследованы деформационно-прочностные и триботехнические свойства композитов в зависимости от природы НЧ и содержания функциональной добавки Б-СВМПЭ. Установлено, что использование Б-СВМПЭ в качестве функциональной добавки оправдано, что подтверждается повышением деформационно-прочностных характеристик ПКМ, полученных с использованием концентрата НЧ в Б-СВМПЭ. При использовании Б-СВМПЭ и 0,5 мас. % SiC в соотношении 4:1 было зафиксировано улучшение прочности при разрыве на 40 %. Также, добавление Б-СВМПЭ в систему СВМПЭ-НЧ приводит повышению износостойкости в 8-10 раз по сравнению с исходным ненаполненным полимером [6].

Список литературы

1. Назаров В.Г. Поверхностная модификация полимеров: монография. – М.: МГУП. 2008. – 474 с.
2. Сирота А.Г. Модификация структуры и свойств полиолефинов. - Л.: Химия, 1974. - 175 с.
3. Chanunpanich N. Surface Modification of Polyethylene through Bromination / N. Chanunpanich, A. Ulman, Y. M. Strzhemechny, S. A. Schwarz, A. Janke, H. G. Braun, and T. Kraatzmuller // Langmuir. – 1999. – № 15. – P. 2089-2094.
4. Balamurugana S. Photochemical bromination of polyolefin surfaces / S. Balamurugana, A.B. Mandaleb, S. Badrinarayananb, S.P. Vernekara. // Polymer. – 2001. – Vol 42. – P. 2501–2512.
5. Кодирова Н. Д. Изучение процесса галогенирования (бромирование) низкомолекулярного полиэтилена / Н. Д. Кодирова, С. С. Мирзаев, Ш. А. Садуллаев // Поколение будущего: взгляд молодых ученых – Курск: Юго-Западный государственный университет. - 2012. – С. 228-230.
6. Борисова Р.В. Влияние бромированного СВМПЭ на триботехнические характеристики и особенности изнашивания полимерных нанокомпозитов на основе свмпэ и наночастиц / Р.В. Борисова, Л.А. Никифоров, А.М. Спиридонов, Т.А. Охлопкова, А.А. Охлопкова, Н.С. Корякина // Трение и износ. - 2019. - Т. 40. - № 1. - С. 36-43.

ТРЕХМЕРНАЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ

Н.Ю. БОРОДИНА¹, Н.К. ГАЛЬЧЕНКО², К.А. КОЛЕСНИКОВА¹

¹Томский политехнический университет

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: nyb6@tpu.ru

Наиболее перспективным направлением современных исследований по разработке высокоэффективных методов модифицирования поверхностных свойств материалов

является трехмерная инженерия поверхности. Один из возможных подходов к решению данной проблемы состоит в формировании импульсным электронным пучком периодических поверхностных структур с заданными параметрами. При такой обработке существует возможность достижения изменения топографии поверхности, состава, микроструктуры и свойств материалов в приповерхностных слоях, толщиной от сотых долей до нескольких миллиметров. Эти технологии начали развиваться в Европе благодаря разработке оцифрованных автоматизированных систем управления мощностью электронного пучка и синхронизации с его пространственным положением.

Суть метода электронно-лучевой трехмерной модификации заключается в сканировании поверхности металла электронным лучом с определенной частотой и мощностью, в процессе которого микродозы металлического вещества расплавляются и переносятся за счет капиллярных сил и давления луча в определенное место с последующей кристаллизацией.

Впервые этот эффект воздействия электронного луча на металлическую поверхность наблюдал Паттон в Великобритании (компания TWI) [1,2], где технология получила название «Electron Beam Surfi-Sculpt®». С ее помощью на поверхности металлической заготовки или детали могут быть «выращены» различные формы (переменного размера, плотности, наклона и т. д.).

Данная технология потенциально может быть востребована во многих областях промышленности и медицины, в том числе для:

- создания композиционных и керамических покрытий с высокой адгезией;
- получения неразъемных соединений металл-металл, металл-полимер без применения сварки, заклепок и боковых соединений;
- создания поверхностей с повышенной биологической совместимостью и функциональностью.

Целью работы является исследование влияния трехмерной электронно-лучевой модификации поверхности металлов на повышение адгезионной прочности газотермических покрытий.

Преимуществами покрытий, нанесенных на подложки с развитой рельефной структурой, являются: повышенные прочностные характеристики и адгезионная (когезионная) стойкость покрытий в процессе деформации и высоких контактных давлений; возможность конструирования поверхностей, работающих с минимальным износом в парах трения в зависимости от условий эксплуатации. На практике для увеличения прочности сцепления и сглаживания различия в коэффициентах термического расширения материалов газотермических покрытий в обычных условиях используют различные способы подготовки поверхности подложек, включая традиционные - подогрев и нанесение подслоя. При адгезионной связи большую роль играет площадь контакта, т. к. ее увеличение за счет создания шероховатостей улучшает адгезию. Практика показывает, что известные виды механической подготовки поверхностей шлифованием, дробеструйной и пескоструйной обработкой не позволяют достичь значительного уровня прочности сцепления.

Объектом исследования в данной работе являются опытные образцы, на поверхности которых методом импульсной электронно-лучевой модификации сформированы игольчатые структуры, предназначенные для повышения адгезионной прочности наносимых газотермических покрытий.

Для текстурирования поверхностей были изготовлены пластины из стали X18H10T размером 25x7 мм, предназначенные для последующего нанесения газотермических покрытий из никельхромового сплава. Режим сканирования металлических подложек электронным пучком был выбран таким, чтобы на их поверхности была сформирована периодическая структура в виде игл (рисунок 1 в, г).

Формирование иголок на поверхностях образцов проводилось в вакуумной камере электронно-лучевой установки при остаточном давлении 10–6 мм рт. ст. при $I = 3$ мА,

$U = 30$ кв. Образец размещался на программно управляемой двухкоординатной платформе. Текстурирование происходило при сканировании со скоростью 25 мм/с. Расстояние между иглами – 2,5 мм. Высота – 1,5-2 мм. Испытания образцов на адгезионную прочность проводили методом отрыва штифта (ГОСТ 10587-84).

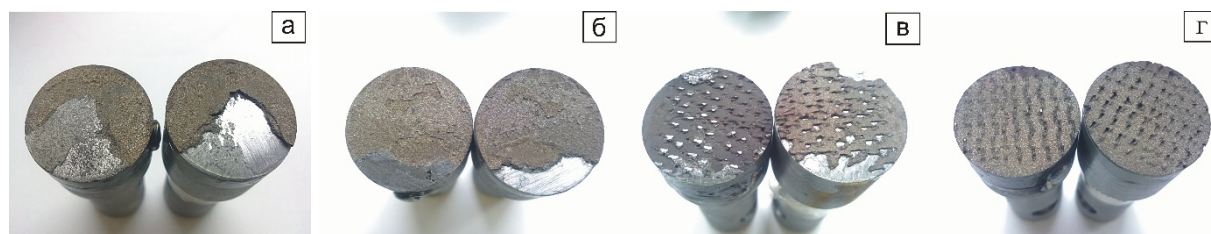


Рисунок 1 – Участки поверхности покрытий после испытания на адгезионную прочность в зависимости от предобработки поверхности подложек: а- шлифованная поверхность; б- шлифованная поверхность с промежуточным подслоем из Ni_3Al ; в- игольчатая поверхность; г- игольчатая поверхность с промежуточным подслоем из Ni_3Al

Сравнительный анализ характера разрушения газотермических покрытий на шлифованных поверхностях показал, что слабым звеном при отрыве является их когезионная и адгезионная прочность (рисунок 1 а,б). Судя по характеру разрушения дальнейшее улучшение свойств напыленных покрытий достигается изменением топографии поверхности подложки с созданием на ней игольчатой структуры. При этом наблюдается повышение как адгезионной так и когезионной прочности за счет улучшения свариваемости между собой частиц напыляемого порошка.

В таблице 1 представлены сравнительные результаты исследования прочности сцепления и открытой пористости покрытий из никельхромового сплава, нанесенных на подложки из стали X18H10T. Наблюдается корреляция между постепенным возрастанием прочности сцепления покрытий, нанесенных на подложки с игольчатой структурой и ростом их плотности. Анализ экспериментальных данных показал, что возникающая при напылении на игольчатую поверхность развитая зона химического контакта никельхромового покрытия обеспечивает повышение прочности сцепления с 3,7-5,7 до 10,4-14,1 МПа (рисунок 1 в,г).

Таблица 1 – Влияние предподготовки поверхности подложек из стали X18H10T на адгезионную прочность и открытую пористость газотермических покрытий

№ п/п	Метод обработки поверхности образца перед напылением		Прочность сцепления покрытия, $\sigma_{пр}$. [МПа]	Плотность покрытий, γ , [гр/см ³]
1	Шлифование	Покрытие без подслоя	3,7	7,61
2		Покрытие с подслоем из Ni_3Al	5,2	7,78
3	Игольчатая структура	Покрытие без подслоя	10,4	8,32
4		Покрытие с подслоем из Ni_3Al	14,1	9,14

Заключение

Формирование методом импульсной электронно-лучевой модификации упорядоченного игольчатого рельефа на поверхности подложек позволяет существенно повысить плотность и адгезионную прочность газотермических покрытий при воздействии внешних нагрузок.

Полученные результаты показывают, что электронные пушки с плазменным катодом могут быть использованы для трехмерной модификации поверхности металлов и сплавов и имеют хороший потенциал в различных значимых отраслях науки и техники.

Список литературы

1. Bruce. G. I. Dance, International Patent WO 2002/094497 A3 (2002).
2. Buxton A. L., Dance B.G.I. Proc. of 4th International Surface Engineering Congress(ISEC2005), Minnesota, USA, Aug. 2005.

НАНЕСЕНИЕ БИОАКТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ НА БИОРЕЗОРБИРУЕМЫЕ СКАФФОЛДЫ ИЗ ПОЛИКАПРОЛАТОНА

В.С. БОЧАРОВ, Г.Е. ДУБИНЕНКО, С.И. ТВЕРДОХЛЕБОВ

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Лаборатория плазменных гибридных систем
E-mail: vsb27@tpu.ru

По данным исследований, среди ключевых факторов приобретения инвалидности в мире, заболевания опорно-двигательного аппарата занимают второе место [1]. Хирургическая реконструкция, трансплантация и медикаментозная терапия являются текущими основными вариантами лечения различных ортопедических нарушений, включая политравмы и врожденные заболевания [2]. Однако, нередко современные методы лечения в ортопедии и травматологии сопровождаются болевым синдромом, риском инфекций, воспалением окружающих имплантат тканей, риском иммунного отторжения, передачей вирусных и прионных белков при трансплантации [3]. При внедрении имплантата в организм важную роль для его успешной интеграции оказывает поверхностный слой, так как именно поверхность соприкасается с окружающими тканями. Исходя из этого, функционализация поверхности биоактивными и иммуномодулирующими субстанциями является крайне актуальным подходом в разработке новых имплантируемых медицинских изделий для остеосинтеза.

Основной целью данной работы являлась разработка метода нанесения остеостимулирующих покрытий на поверхность пористых трёхмерных тканеинженерных конструкций (скаффолдов), изготовленных из биорезорбируемого полимера поликапролактона (ПКЛ). Несмотря на перспективность и широкие возможности применения скаффолдов на основе биоразлагаемых полимеров, часто данные материалы не обладают свойствами, необходимыми для конкретного применения (механическими характеристиками, гидрофильностью, биологической активностью, и др.). В работе был предложен метод нанесения высокодисперсного порошка гидроксиапатита (ГАП) на поверхность скаффолдов из ПКЛ в среде «плохого» растворителя для повышения биоактивности полимерных скаффолдов. Согласно методу Design of experiments (DOE) были подобраны оптимальные параметры нанесения покрытия, а также исследованы влияние метода нанесения на потерю массы образца и морфология поверхности образца скаффолда с покрытием.

Экспериментальная часть. Из ПКЛ (Sigma-Aldrich, США; M_n 80000 г/моль) был изготовлен филамент для 3D печати и напечатаны опытные образцы пористых скаффолдов. Остеостимулирующее покрытие наносили окунанием ПКЛ скаффолдов в суспензию ГАП (Fluidinova, Португалия) в ацетоне (ЭКОС-1, Россия) при воздействии ультразвука. Для оптимизации параметров нанесения ГАП из суспензии в ацетоне, согласно DOE был