

Таким образом, проведенные исследования показали, что модифицирование поверхности АДТ-СООН и дальнейшее осаждение капсул способствует однородному их распределению на скэффолде, а также приводит к гидрофилизации поверхности, что может показать положительные результаты в ходе проведения клеточных экспериментов. Данное предположение станет предметом дальнейших исследований.

Авторы выражают благодарность Р.А. Сурменеву, П.С. Постникову, А.В. Коптюгу, Е.В. Свиридовой и Т. Дагласу за помощь в подготовке и исследовании тестируемых образцов.

#### Список литературы

1. Kim M. S. et al. Adhesion behavior of human bone marrow stromal cells on differentially wettable polymer surfaces //Tissue engineering. – 2007. – Т. 13. – №. 8. – С. 2095-2103

### СОЗДАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ВНЕВАКУУМНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ

*В.В. ШМАКОВ<sup>1</sup>, М.В. ПЕРОВСКАЯ<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Томский политехнический университет

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: [vasiliyjudo2012@rambler.ru](mailto:vasiliyjudo2012@rambler.ru)

Наплавка в пучке релятивистских электронов является весьма эффективным методом упрочнения поверхности деталей машин и механизмов. Установки для наплавки создаются в ИЯФ СО РАН, которые обеспечивают глубокое проникновение электронов в металлы и высокую производительность процесса [1].

Исходя из выше сказанного, цель работы - изучить закономерности формирования износостойких покрытий методом наплавки порошков карбидов вольфрама, титана и никеля в пучке релятивистских электронов, найти оптимальные составы наплавочных смесей, режимы наплавки.

Низкоуглеродистая сталь была покрыта смесью порошков WC+Ni+TiC при их относительном содержании 6:3:1. Слой порошка толщиной 1 мм наносили на поверхность образца перед обработкой. Энергия электронов U составляла 1,4 МэВ, ток луча I был равен 40 мА, а скорость поступательного перемещения образца под пучком  $V = 2,0; 1,8; 1,65; 1,55; 1,45$  см/с. Для защиты от воздействия окружающей среды флюс MgF<sub>2</sub> вводили в смеси для наплавки.

Для проведения структурных исследований при наплавке смесью WC+Ni+TiC поперечные шлифы наплавленных слоев травили 4%-ным раствором HNO<sub>3</sub>. Фазовый состав покрытий определяли методом рентгенофазового анализа на дифрактометре ДРОН-2М. Измеряли распределение микротвердости на приборе ПМТ-3 и нашли его среднее значение в покрытии Н<sup>ср</sup>μ. Проводили испытания на абразивную износостойкость по ГОСТ 23.208-79.

Распределение микротвердости в наплавленных слоях при введении в наплавочную смесь никеля и карбида титана в качестве модификатора приведено на рисунке 1.

Толщина наплавленного слоя составляет 1,5-3 мм, средняя микротвердость Н<sup>ср</sup>μ и износостойкость покрытий несколько уменьшается с увеличением плотности энергии излучения E. Наблюдаемое явление связано с увеличением толщины осаждаемого слоя и уменьшением средней концентрации легирующих элементов, в том числе никеля, который стабилизирует аустенит. Соответственно, твердость и износостойкость снижаются, рисунок 2, а и б.

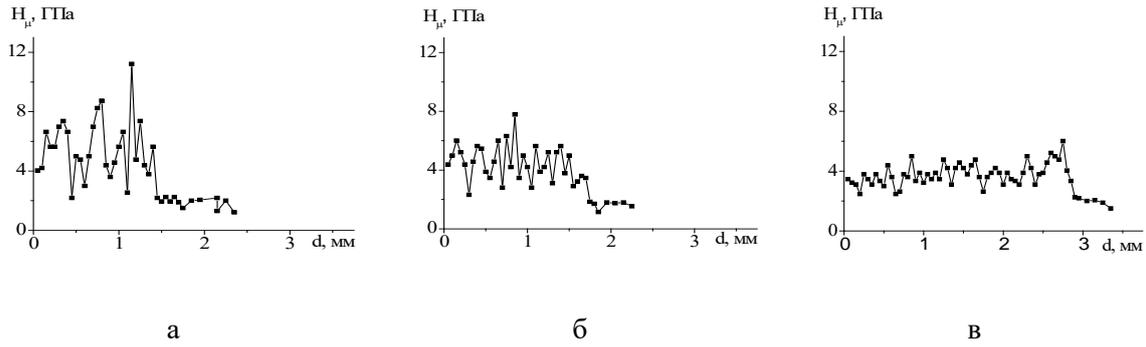


Рисунок 1 – Распределение микротвердости в наплавленном слое при  $E=5,68$  кДж/см<sup>2</sup> (а); б -  $E=6,42$  кДж/см<sup>2</sup> (б); в -  $E=7,84$  кДж/см<sup>2</sup> (в)

Особенностью формируемых покрытий является то, что происходит сильное измельчение структуры. Микрофотографии осажденных слоев показывают значительное уменьшение размера зерна, рисунок 3. Это связано с тем, что когда карбид титана вводится в наплавочную смесь в качестве модификатора, многие новые центры кристаллизации высвобождаются в расплавленном слое в форме дисперсных частиц TiC, аналогично тому, что происходит при отливке стали, где эти частицы добавлено специально. Высокодисперсные частицы TiC с высокой температурой плавления (3180 °С) первыми выпадают из расплава и не только служат множественными центрами кристаллизации, но также препятствуют росту аустенитного зерна, что способствует образованию ультрадисперсной структуры, рисунок 3, а, б. Кроме того, высокие скорости охлаждения при закалке в области существования твердой фазы способствуют образованию ультрадисперсного периодического мартенсита.

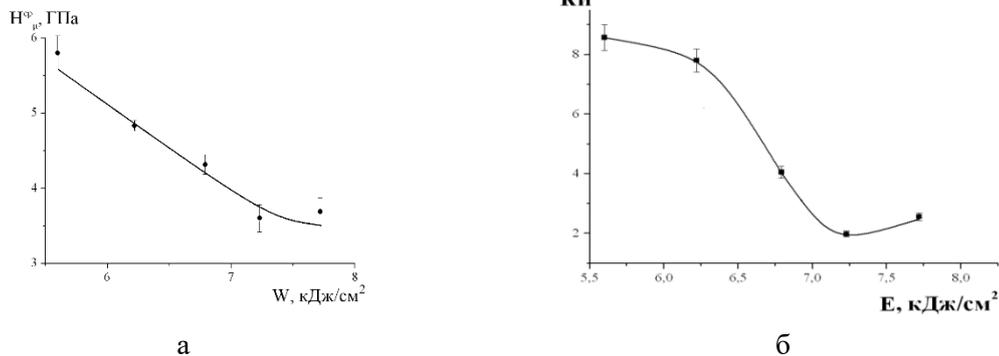


Рисунок 2 – Зависимость твердости (а) и износостойкости (б) от плотности энергии излучения

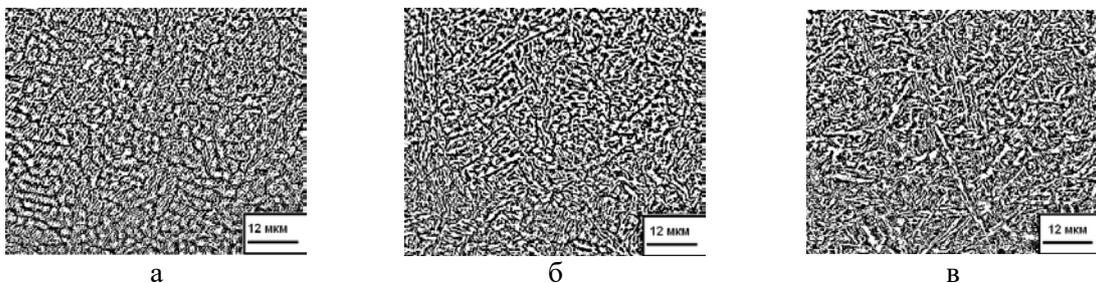


Рисунок 3 – Структура слоя, наплавленного смесью WC+TiC+Ni при  $E=5,68$  кДж/см<sup>2</sup>; б -  $E=6,42$  кДж/см<sup>2</sup>; в -  $E=7,84$  кДж/см<sup>2</sup>

При значениях плотности энергии излучения  $E$  выше  $6,8 \text{ кДж/см}^2$  дисперсность структуры как зеренной, так и мартенситной, уменьшается, рисунок 3, в. Согласно данным рентгеноструктурного фазового анализа в слое сохраняется аустенитно-мартенситная структура. При этом интенсивность линий  $\alpha$ -железа возрастает по сравнению с интенсивностью линий  $\gamma$ -железа, что свидетельствует об уменьшении объемной доли аустенита. Интенсивность линий карбидов вольфрама и титана на рентгенограммах заметно уменьшается.

Наблюдаемые структурно-фазовые превращения связаны с увеличением толщины наплавленного слоя и с уменьшением в нем средней концентрации легирующих элементов. Так, снижение объемной доли аустенита связано с уменьшением содержания никеля в слое. Увеличение размеров аустенитно-мартенситных зерен обусловлено уменьшением количества выделений карбидной фазы TiC. Увеличение размеров пакетов мартенсита вызвано снижением скорости охлаждения в твердом состоянии. Все это приводит к падению износостойкости, рисунок 2, б [2].

Таким образом, введение в наплавочную смесь никеля и карбида титана при глубине наплавленного слоя, не превышающей  $2,5 \text{ мм}$  ( $E < 7 \text{ кДж/см}^2$ ), приводит к существенному приросту износостойкости при незначительном изменении твердости. Наблюдаемый эффект связан со способностью никеля стабилизировать износостойкую фазу - аустенит и с образованием множества дисперсных выделений TiC, приводящих к формированию мелкозернистой однородной структуры.

*Работа выполнена в рамках программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020, проект № 23.2.1.*

#### **Список литературы**

1. Шмаков В.В., Крылова Т.А., Перовская М.В. Особенности структуры и механических свойств покрытий, полученных методом электронно-лучевой наплавки на воздухе // Сборник тезисов LVIII Международной конференции «Актуальные проблемы прочности», Пермь, 16-19 мая, 2017 г. – С. 181.
2. Полетика И.М., Голковский М.Г., Крылова Т.А., Перовская М.В. Структура и свойства покрытий, полученных методом электронно-лучевой наплавки в атмосфере // МиТОМ. – 2009. – № 3. – С. 15–22.

### **ПРЕИМУЩЕСТВО АДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ ФИБРИНА В СРАВНЕНИИ С КОЛЛАГЕНОМ И ФИБРОНЕКТИНОМ**

*М.Ю. ХАНОВА, В.Г. МАТВЕЕВА, Е.А. ВЕЛИКАНОВА, Т.В. ГЛУШКОВА, Л.В. АНТОНОВА*  
Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний

E-mail: [khanovam@gmail.com](mailto:khanovam@gmail.com)

До сих пор не создано эффективных протезов малого диаметра. Полимерные материалы позволяют изготовить графт с требуемыми физико-механическими свойствами, но они не имеют сайтов клеточной адгезии, что снижает эффективность заселения клетками, в том числе эндотелиальными, и приводит к ряду нежелательных реакций в раннем и отсроченном периоде (тромбозы, гиперплазия неоинтимы, формирование кальцификатов). Для придания функциональных свойств каркасу используют различные модифицирующие покрытия, в том числе белки внеклеточного матрикса (ВКМ), среди которых наиболее популярны коллаген, фибронектин, фибрин. Мы провели сравнение адгезионных свойств данных белков для эндотелиальных клеток в статических и динамических условиях *in vitro*.