

## ОБЩАЯ И ТОНКАЯ СТРУКТУРА ДЕТОНАЦИОННЫХ БИОСОВМЕСТИМЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ГИДРОКСИАПАТИТА КАЛЬЦИЯ

А.А. Ситников, В.И. Яковлев, М.Н. Сейдуров, А.А. Попова

*В работе определена общая и тонкая структура, распределение и размер компонентов композиционных материалов состава  $TiAl_3(X\%)+GA(Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2)$ , полученных методом механоактивированной обработки. Установлено, что в процессе детонационного напыления механоактивированных композитов значительно меняется дисперсность и вид зерна, что позволяет получить композиционный гетерогенный материал с равномерным распределением гидроксиапатита (ГА) в объеме слоистого механокомпозита.*

*Ключевые слова: композиционный материал, самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС), механоактивационная обработка, детонационно-газовое напыление.*

Из-за высоких значений модулей упругости металлических имплантатов, по сравнению с костной тканью, возникают микроподвижности на границе раздела «имплантат/кость», что отрицательно сказывается на результатах лечения. Это является немаловажным и показывает необходимость нанесения на медицинские металлические имплантаты биосовместимых покрытий, которые не только не оказывают отрицательного воздействия на его деятельность, но и стимулируют процессы регенерации костей.

Помимо улучшенной биосовместимости, к покрытиям также предъявляются следующие требования: высокая величина адгезионной прочности к титановой подложке, пористость, способствующая интеграции с костной тканью, химическая и фазовая стабильность [1, 2].

Исследования [3-7] показали, что титановые имплантаты с биопокрытием из гидроксиапатита по сравнению с имплантатами из чистого титана проявляют высокую степень врастание в кость. Кроме того, формирование биопокрытия на поверхности титанового имплантата оказывает позитивное влияние на фиксацию имплантатов, как в стабильных, так и нестабильных условиях, с нагрузкой или без нее [8, 9]. Использование титановых имплантатов с биопокрытиями увеличивает степень остеоинтеграции, тем самым, препятствуя росту фиброзного слоя [10, 11]. Также покрытия препятствуют эмиссии ионов титана в окружающие имплантат ткани.

Кальцийфосфатные покрытия, в том числе покрытия на основе гидроксиапатита, обеспечивают быстрое и надежное заполнение костных трещин и зазоров вокруг им-

плантатов, что приводит к увеличению зоны контакта с костью практически до 100 %. Когда имплантат покрывается плотной костной тканью, микродвижения в значительной степени предотвращаются, и результирующие напряжения на границе раздела «имплантат/кость» уменьшаются еще больше [11].

Целью данной работы является исследование общей и тонкой структуры детонационных биосовместимых покрытий из гидроксиапатита кальция.

Исследования проводились на образцах детонационного покрытия на титановых пластинах ВТ-1.0 порошковым электродом:  $TiAl_3(X\% \text{ масс.})+GA$  – СВС-механокомпозит с различной степенью разбавления 40, 55, 65 80 % масс.

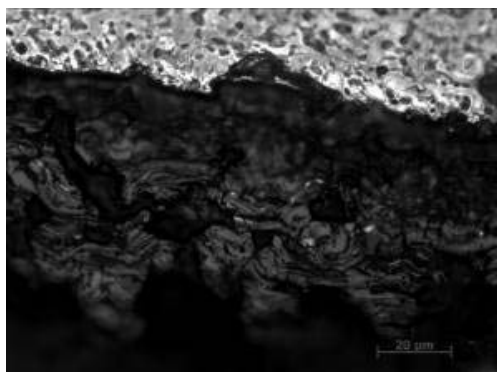
Для нанесения кальций-фосфатных покрытий на титановую основу использовалась установка детонационно-газового напыления порошковых материалов «Катунь-М». В качестве подложек использовались титановые пластины размером 20×20×3 мм. Поверхность титановых пластин предварительно обрабатывали воздушно-абразивной смесью на пескоструйной установке. Качество обработки определялось визуально по степени матовости поверхности.

При напылении образцов применялась методика замеров толщины напыляемого слоя через 50 циклов на каждый образец. Напыление заканчивалось при достижении напыляемого слоя заданной величины 200 мкм.

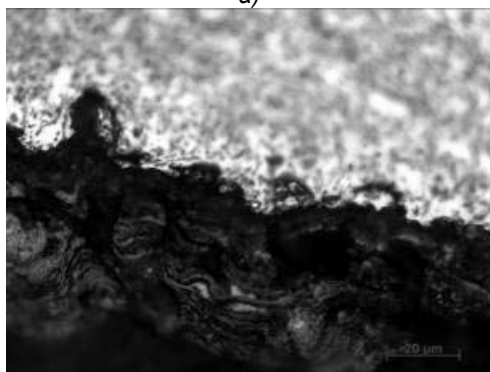
Образцы были подготовлены на прессе для заливки образцов для оптической микроскопии SimpliMet 1000 (Buehler). При исследовании структуры поперечного среза применялось химическое травление плавни-

## ОБЩАЯ И ТОНКАЯ СТРУКТУРА ДЕТОНАЦИОННЫХ БИОСОВМЕСТИМЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ГИДРОКСИАПАТИТА КАЛЬЦИЯ

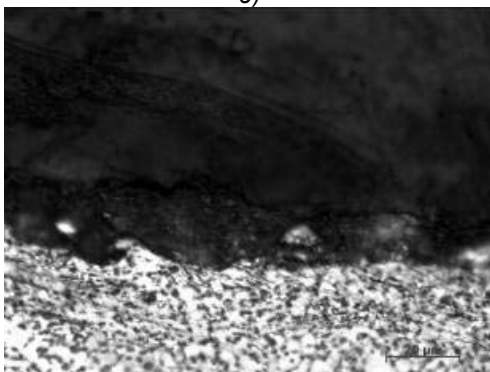
ковой кислотой (в соотношении 1/2 кислоты + 1/2 воды). Время травления составляло 5 с. Установлено, что нанесенное покрытие имеет четкие выраженные границы, имеет плотное, слоистое, беспористое строение (рисунок 1).



а)



б)

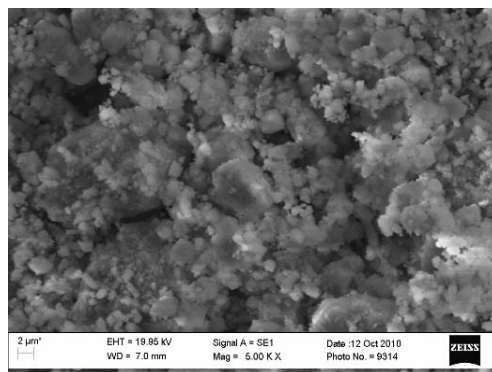


в)

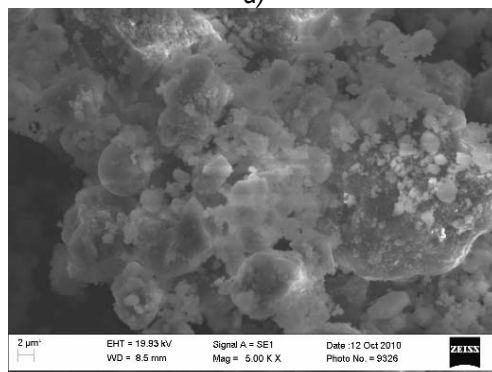
Рисунок 1 – Образец детонационного покрытия на титановые пластины BT-1.0 порошковым составом  $TiAl_3$  (X% масс.)+ГА – СВС-механокомпозит: а) 40; б) 55; в) 80 % масс

При определении общего характера внутреннего строения матрицы композиционных материалов на основе смеси  $TiAl_3$ +X%ГА ( $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ ) проводились исследования размеров и морфологии  $TiAl_3$  с выявлением химического состава покрытий.

В исходном порошковом составе после механического смешивания можно наблюдать явное наличие частиц интерметаллида, на поверхности которого имеется гидроксиапатит кальция. Порошковый состав имеет пористое, неплотное строение (рисунок 2).



а)



б)

Рисунок 2 – Исходный порошковый состав для детонационного напыления на титановую пластину: а) СВС-композит на основе смеси  $TiAl_3$  (40%)+ГА; б) СВС-композит на основе смеси  $TiAl_3$ (80%)+ГА

По результатам растровой электронной микроскопии (Carl Zeiss EVO50) показано, что поверхность покрытия имеет достаточно плотное строение, без пор (рисунок 3).

Установлено, что в результате механоактивационной обработки компонентов в составе порошка  $TiAl_3$ +ГА и его детонационно-газового напыления, происходит уплотнение матрицы. В покрытии видны равномерные включения частиц интерметаллида и второй фазы (гидроксиапатита кальция). Что свидетельствует о возможности управления структурой, изменением вида и содержания матрицы.

Таким образом, установлены основные закономерности влияния содержания материала матрицы порошковых компонентов механоактивированных СВС-композитов на общую и тонкую структуру покрытий, основ-

ная задача которых – обеспечить получение детонационного покрытия на основе ГА и  $TiAl_3$  с более прочными механическими свойствами.

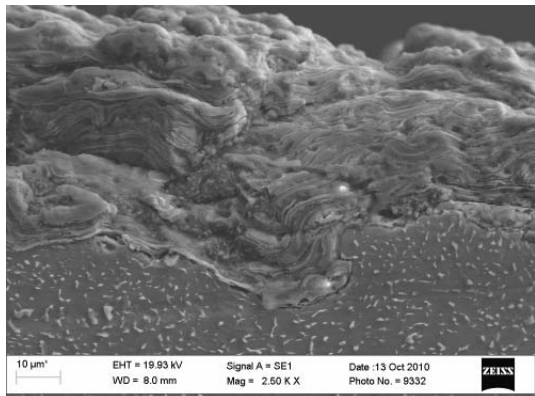


Рисунок 3 – Электронное изображение формы частиц механокомпозиита  $TiAl_3$ (80 % масс.)+ГА

### Выводы

1. Предварительная механоактивационная обработка порошковых смесей в планетарной шаровой мельнице АГО-2 и проведение реакции высокотемпературного синтеза в смешанной системе позволяет получить композиционный гетерогенный материал (СВС-механокомпозит).

2. Предложенная технология служит основой для получения высококачественного биосовместимого покрытия на основе ГА и  $TiAl_3$ .

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калита, В. И. Физика и химия формирования биоинертных и биоактивных поверхностей на имплантатах/ В.И. Калита; Физика и химия обработки материалов. – 2000. - №5. – С. 28 – 45.

2. Шашкина, Г.А. Формирование биокерамических покрытий с высоким содержанием кальция на титане / Г.А. Шашкина, Ю.П. Шаркеев, Ю.Р. Колобов; Перспективные материалы. -2005.- №1.- С.41-46.

3. Шашкина, Г.А. Биокерамические покрытия с высоким содержанием кальция для медицины/ М.Б. Иванов, Е.В. Легостаева, Ю.П. Шаркеев, Ю.Р. Колобов, И.А. Хлусов, Н.С. Поженько, А.В. Карлов; // Физическая мезомеханика. – Т.7. – Спец. выпуск. – Ч. 2. – 2004. – С. 123-126.

4. Калита, В.И. Формирование композицион-

ных пористых покрытий на поверхности имплантатов низкотемпературной плазмой/ А.Г. Гнедовец, А.И. Мамаев, В.А. Мамаева, / Физика и химия обработки материалов.- 2005 №3. – С. 39-47.

5. Легостаева, Е.В. Кальций-фосфатные покрытия медицинского назначения/ Е.П. Романенко, О.П. Терлеева, Ю.П. Шаркеев// Сборник тезисов конференции «Фундаментальные науки – медицине».- Новосибирск, 2-5 сентября 2008г., С.38-40.

6. Белецкий, Б.И. Биопоозиционные кальцийфосфатные материалы в костно-пластической хирургии/ В.И. Шумский, А.А. Никитин, Е.Б. Власова// Стекло и керамика. 2000, - №9, - С.35-37.

7. Антонова, О.С. Биомиметическое нанесение наноструктурированных фосфатно-кальциевых покрытий на титан/ В.В. Смирнов В.В., Л.И. Шворнева, Д. Ферро, С.М. Баринов// Перспективные материалы.-2007, - №6.- С. 44-47.

8. Пичугин, В.Ф., Применение высокочастотного магнетронного распыления для формирования на поверхности титана тонких кальций-фосфатных биосовместимых покрытий/ Е.В. Ещенко, Р.А. Сурменев, Е.В. Шестериков, С.И. Твердохлебов, М.А. Рябцева, В.В. Сохорева, И.А. Хлусов// Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. -2007.-№ 11.- С. 67-72.

9. Аронов, А.М. Тонкие кальций-фосфатные покрытия, полученные методом высокочастотного магнетронного распыления и перспективы их применения в медицинской технике/ В.Ф. Пичугин, Е.В. Ещенко, М.А. Рябцева, Р.А. Сурменев, С.И. Твердохлебов // Медицинская техника: Москва: 2008.-№3.- С. 18-22.

10. Погребняк, А.Д. Получение и исследование структуры и свойств плазменно-детонационных покрытий из  $Al_2O_3$ / Ю.Н.Тюрин, Ю.Ф. Иванов// Журнал технической физики.- 2000.- №26(21).- С. 53-60.

11. Шаркеев, Ю.П., Биопокрывтие на основе гидроксиапатита, напыленное детонационно-газовым методом на титановую подложку / В.И. Яковлев, А.А. Гладких, Е.В. Легостаева, П.В. Уваркин // Тезисы докладов Международной школы семинара «Многоуровневые подходы в физической мезомеханике. Фундаментальные основы и инженерные применения, 9-12 сентября 2008г., Томск: ИФПМ СО РАН.-2008.- С. 265-266.

**Ситников А.А.**, д.т.н., проф., зам. проректора АлтГТУ им. И.И. Ползунова,

E-mail: [sitalan@mail.ru](mailto:sitalan@mail.ru);

**Яковлев В.И.**, к.т.н., доц.;

**Сейдуров М.Н.**, к.т.н., ст. преп.,

E-mail: [seidurov@mail.ru](mailto:seidurov@mail.ru);

**Попова А.А.**, аспирант АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел. 8-913-274-43-54.