

УДК 616-77 : [611.018.4+546.82] : 620.18

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ БИОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО КОМПОЗИТА «КОСТНАЯ ТКАНЬ - ГУБЧАТЫЙ ТИТАН» МЕТОДАМИ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

А.В. Руцкий¹, д.м.н., профессор, академик НАН РБ;

А.Г. Анисович², д.ф.-м.н.; И.Н. Румянцева²; А.П. Маслов³, к.м.н.

¹ - ГУО «Белорусская медицинская академия последипломного образования»

² - ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»

³ - УЗ «Минская областная клиническая больница»

Методами металлографического анализа с исследованием структуры объекта в отраженном свете проведено изучение биометаллического композита «костная ткань-губчатый титан» удалённых бесцементных эндопротезов тазобедренного сустава системы SLPS. Изучен контактный слой композита. Установлено заполнение пор губчатого титана органической костной тканью.

Ключевые слова: эндопротезирование, губчатый титан, металлография

Biometallic composite «bone tissue-spongy titanium» from removed cementless hip endoprotheses SLPS was investigated by methods of metallographic analysis and the structure of the object was examined in reflected light. The contact layer of the composite was explored. The filling of the pores of the spongy titanium with organic bone tissue was determined.

Key words: hip replacement, spongy titanium, metallography.

Введение

Поиски эффективных методов лечения дегенеративно-дистрофических заболеваний тазобедренного сустава привели ортопедов к применению тотального эндопротезирования. В настоящее время этот вид лечения широко распространен в экономически развитых странах, так как он избавляет больных от болей, хромоты и позволяет восстановить опороспособность и функцию поврежденной конечности.

Динамическое наблюдение за оперированными больными показывает, что с увеличением давности операции снижается процент благоприятных исходов и возникает необходимость замены компонентов эндопротеза. Одним из условий длительного функционирования бесцементных эндопротезов является остеоинтеграция, т.е. анатомическая и функциональная взаимосвязь между костной тканью и поверхностью эндопротеза.

Для обеспечения остеоинтеграции в качестве составной части эндопротезов используются пористые материалы, непосредственно контактирующие с костной тканью. В конструкции бесцементного эндопротеза SLPS для усиления остеоинтеграции используются пористые титановые вставки в проксимальной части ножки протеза и вершине конуса полиэтиленового вкладыша чашки протеза [5]. Предполагается, что повышение надежности работы эндопротезов при использовании таких материалов достигается за счет формирования контактного слоя на границе костная ткань – металл при заполнении пор органической костной тканью [6, 9].

В данной работе методами металлографического анализа проведены исследования структуры контактного слоя «костная ткань – губчатый титан» пористых вставок, удаленных по разным причинам эндопротезов тазобедренного сустава SLPS.

Материалы и методики эксперимента

Традиционно биометаллические объекты изучаются на тонких окрашенных срезах толщиной 50-70 мкм методами оптической микроскопии «на просвет» с 65-200 – кратным увеличением в поляризованном и проходящем свете с применением фильтров различной длины волны и окраской препаратов различными методами [8, 10, 12,

14]. Для более детального изучения тонкие срезы биометаллического композита изучают с применением сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) [8, 10, 14]. Исследования соединения костной ткани с материалом эндопротеза проводятся также микрорентгенографически [8].

В некоторых работах исследование биометаллического композита производится без приготовления шлифов по так называемой скалывающей технике [7]. Доказательство формирования зрелой ламеллярной кости осуществляется на ультраструктуральном уровне с применением СЭМ и энергодисперсионного микроанализа [4, 13].

Исследования такого плана достаточно трудоемки и требуют применения специального дорогостоящего оборудования. Привлекательным является исследование структуры такого рода композитов более простыми материаловедческими методами на макроскопическом уровне без специального препарирования.

Детальные исследования структуры материалов могут выполняться в настоящее время с использованием исследовательских комплексов, включающих: металлографический микроскоп, цифровую или видеокамеру с адаптером, персональный компьютер, оснащенный специальной программой. Пример металлографического комплекса представлен на рис. 1.



Рисунок 1 – Металлографический комплекс на основе микроскопа МИКРО-200 для анализа микроструктуры металлов и неметаллических материалов в ГНУ «ФТИ НАН Беларуси»

Комплекс позволяет исследовать широкий спектр материалов: сплавы цветных и черных металлов, керамику, оксидные системы, композиционные материалы, стекла, эмали, покрытия, порошковые, гранулированные, аморфные и биологические материалы. Металлографический микроскоп, входящий в состав комплекса, позволяет получать фотографии макро- и микроструктур с увеличением до $2000\times$ в отраженном свете, темном поле, поляризованном свете. На персональном компьютере производится математическая обработка анализируемых структур: определение линейных размеров, периметра, площади структурных составляющих и т.д., построение количественных зависимостей.

При изучении удалённых эндопротезов тазобедренного сустава обращалось внимание на распространённость и локализацию костного соединения. Наличие конгломерата костной ткани доказывает интеграцию имплантата [10], т.е. связь между поверхностью металла и окружающей костью оказывается прочнее и при изломе разрушение происходит на границе кость-кость, а не кость-металл (рис. 2).



Рисунок 2 – Внешний вид удалённого эндопротеза с конгломератом костной ткани на поверхности пористой титановой вставки (слева); внутренняя сторона вставки с костным «выступом» заполняющим отверстие, соединяющее вставки эндопротеза (справа)

Пористые вставки в блоке с окружающей костью извлекались, помещались в формалин, высушивались и подвергались механической обработке. Исследованию подвергнуто 6 пористых вставок 3 удалённых эндопротезов тазобедренного сустава SLPS.

Препарирование образцов проводилось в соответствии со стандартными методиками металлографического анализа [2]. Поперечный срез образца со слоями костной ткани и имплантата полировался до формирования зеркально отражающей поверхности металла (шлиф), на котором производился анализ структуры. Схема вырезки образца и его макрофотография после грубой шлифовки приведены на рис. 3.

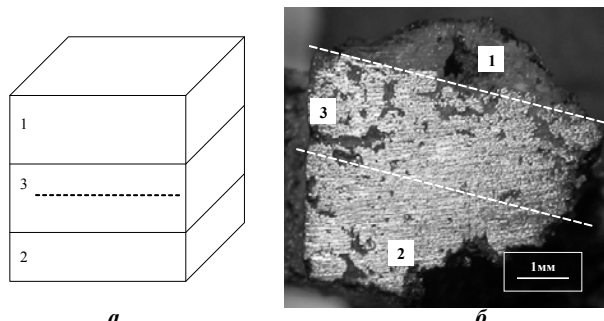


Рисунок 3 – Схема (а) и общий вид образца (б);
1 – костная ткань; 2 – губчатый титан;
3 – контактный слой

Исследование композита проведено при съемке с нетравленной поверхности шлифа при использовании светлопольного и темнопольного освещения. Метод свет-

лопольного освещения представляет собой исследование объекта при отражении света от исследуемой поверхности без применения каких-либо дополнительных фильтров или специальных эффектов и является традиционным методом металлографии. Метод темнопольного изображения дает возможность получения высококонтрастного изображения при небольшой разрешающей способности прибора; сохраняется также естественный вид объектов, в том числе его естественное окрашивание. Данный метод давно известен в металлографии, в частности, для идентификации неметаллических включений в стали [3]. Методика исследования в темном поле предполагает использование дополнительной диафрагмы, задерживающей центральные лучи от источника света. При этом свет, отраженный от участков, расположенных перпендикулярно падающему лучу, не попадает в объектив. Поверхность при этом кажется темной. Объективом фиксируется свет, отраженный от участков структуры, не лежащих в плоскости шлифа. Основное достоинство метода состоит в том, что появляется дополнительная возможность анализировать детали структуры, недоступные при анализе в светлом поле по причине недостаточной глубины резкости объектива [1].

Результаты исследования

На поверхности исходного (не имплантированного) образца присутствует значительное количество пор (черного цвета) и бело-серая фаза – титан. При исследовании маски структуры рисунка с выделением определенным цветом пор в соответствии с их размером установлено, что доля пор составляет 38,45% (рис. 4).

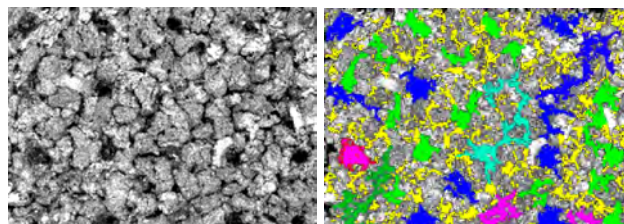


Рисунок 4 – Поверхность образца губчатого титана (слева); цветовая «маска» изображения (справа)

При формировании биометаллического композита происходит прорастание костной ткани в открытые поры губчатого титана. На рис. 5 представлены темнопольные фотографии микроструктуры контактного слоя. Качественная идентификация структурных составляющих по аналогии с другими объектами материаловедческого профиля позволяет заключить, что блестящая фаза относится к металлической составляющей – титану; матовая составляющая является неметаллической или аморфной, внутренняя структура которой в темном поле не выявляется. Единственным вариантом неметаллической составляющей в данном случае может являться биологическая ткань. Рисунок 5 (А и Б) иллюстрирует вариант неполного заполнения биологической тканью пор титана, находящихся на удалении от поверхности (в нижней части зоны 3 на рис. 3). Незаполненные поры отмечены стрелками. Рис. 5 (В и Г) показывают полное заполнение пор в поверхностной и приповерхностной зоне имплантата (верхняя часть зоны 3 на рис. 3).

Применение металлографического травления позволяет выявить структуру биометаллического композита. Травление представляет собой обработку поверхности исследуемого материала для выявления деталей его строения специально изготовленными реактивами сложного состава. Поскольку выявление структуры титана в дан-

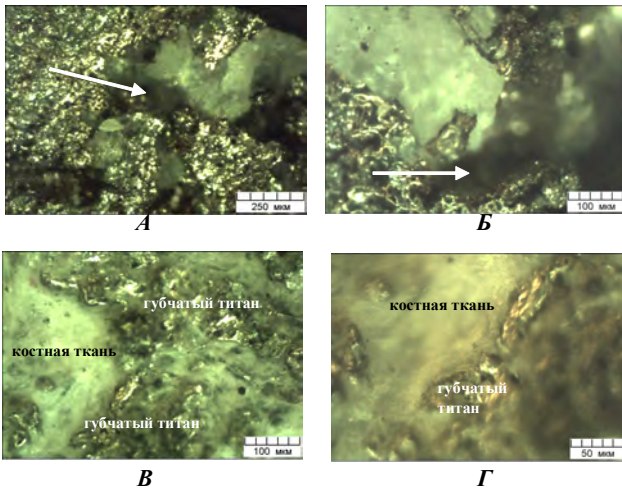


Рисунок 5 – Расположение органической ткани в порах титана

ном случае интереса не представляет, был разработан состав реактива и способ травления для выявления структуры неметаллической составляющей композита. На рис. 6А представлена сформированная ламеллярная костная ткань в окружении металлической матрицы (титан). Важным в идентификации ткани является расположение канала в центре организованной ламеллярной структуры (Гаверсов канал). Пора имеет размер порядка 200 мкм в поперечнике и полностью заполнена костной тканью. Полностью заполняются костной тканью даже незначительные объемы пор (рис. 6Б, отмечено стрелками). Демонстрацией идентичности неметаллической составляющей композита с костной тканью являются рисунок 6В, где представлен увеличенный фрагмент из рамки рисунка 6А, и ламеллярная структура остеона (рис. 6Г) [11].

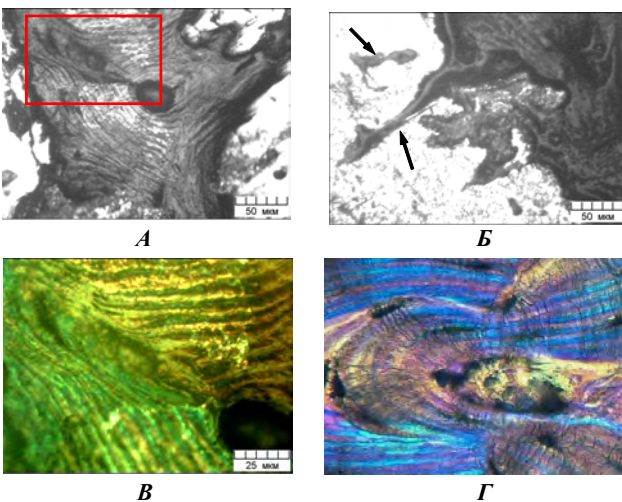


Рисунок 6 – Заполнение пор имплантата костной тканью (А, Б) увеличенный фрагмент рисунка 6А (В), ламеллярная структура остеона, полученная при дифференциальной интерференционно-контрастной микроскопии (Г)

Выводы

1. Показана возможность определения структуры биометаллического композита «губчатый титан – костная ткань» методами металлографического анализа на фрагментах эндопротезов после их эксплуатации.
2. Разработана методика качественной идентификации структурных составляющих композита – титана и костной ткани; разработан метод выявления структуры костного материала.

Литература

1. Анисович, А.Г. Искусство металлографии: возможности использования темнопольного изображения для анализа структуры металлов. / А.Г. Анисович, И.Н. Румянцев. //Сборник материалов 3-й международной научно-технической конференции «Современные методы и технологии создания и обработки материалов» / Минск, 2009. – Книга 1. – С. 7-12.
2. Вейнберг, Ф. Приборы и методы физического металловедения /Ф. Вейнберг. – Москва: Мир, 1973. – Том 1. – 317 с.
3. Виноград, М.И. Неметаллические включения в шарикоподшипниковой стали /М.И. Виноград – Москва : Гос. научно-техн. изд-во литературы по черной и цветной металлургии, 1954. – 123 с.
4. Маслов, А.П. Остеоинтеграция отечественного бесцементного эндопротеза тазобедренного сустава /А.П. Маслов // Здравоохранение. – № 5. – 2009. – С. 39-43.
5. Руцкий, А.В., Бесцементное эндопротезирование тазобедренного сустава эндопротезом собственной конструкции /А.В. Руцкий, А.П. Маслов // Літопис травматології та ортопедії. – №1. – 2006. – С. 31-36.
6. Руцкий, А.В., Маслов А.П. Биологическая интеграция эндопротеза тазобедренного сустава Руцкого / А.В. Руцкий, А.П. Маслов // Медицина. – 2001. – №4 (35). – С. 34-35.
7. Albrektsson, T. Titanium release from implants prepared with different surface roughness / T. Albrektsson, A. Wennerberg, A. Ide-Ektessabi // Clin. Oral. Implants Res. – 2004. – № 15. – P. 505-512.
8. Bloebaum, R.D. Postmortem analysis of consecutively retrieved asymmetric porous-coated tibial components /R.D. Bloebaum, K.N. Bachus, J.W. Jensen // J. Arthroplasty. – 1997. – № 12. – P. 920-929.
9. Bobyn, J.D. Clinical validation of a structural porous tantalum biomaterial for adult reconstruction / J.D. Bobyn, R.A. Poggie, J.J. Krygier // J. Bone Joint Surg. – 2004. – № 2. – P.123-129.
10. Buchter, A. Biological and biomechanical evaluation of interface reaction at conical screw-type implants / A. Buchter, U. Joos, H.P. Wiesmann // Head Face Med. – 2006. – №2.
11. Electronic resource. UC-Davis School of Medicine, 2009.- Mode of access : <http://www.engin.umich.edu/class/bme332/ch9bone/cortical1.bmp>.- Date of access : 14.11.2009.
12. Linder, L. Clinical aspects of osseointegration in joint replacement. A histological study of titanium implants / L. Linder, A. Carlsson, L. Marsal // J. Bone Joint Surg. – 1988. – Vol. 70. – № 4.
13. Sovak, G. Osseointegration of Ti6Al4V alloy implants coated with titanium nitride by a new method / G. Sovak, A. Weiss, I. Gotman // J. Bone Joint Surg. – 2000. – Vol.82. – P. 290-296.
14. Urban, R. Bone implant interface of femoral stems with non-circumferential Porous coatings. A study of specimens retrieved at autopsy / R. Urban, J. Jacobs, D. Sumner // J. Bone Joint Surg. – 1996. – Vol.78. – P. 1068-1081.

Поступила 10.03.10