

УДК 669.295'245: 615.472

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗНАШИВАНИЮ  
БЕДРЕННЫХ ГОЛОВОК ЭНДОПРОТЕЗА ТАЗОБЕДРЕННОГО  
СУСТАВА ИЗ МАТЕРИАЛА «ТИУДИН»**

д.т.н., проф. А.М. Мамонов, к.т.н., доц. Д.Е. Гусев, А.А. Чернышова,  
к.т.н., доц. В.Н. Карпов, Д.А. Курников

В работе рассмотрено влияние условий испытаний и технологии изготовления на процессы износа головок эндопротеза тазобедренного сустава из материала «ТИУДИН». Показано, что головки эндопротеза из материала «ТИУДИН», разработанного в МАТИ на основе титанового сплава ВТ6, характеризуются наиболее высоким сопротивлением изнашиванию.

Influence of test conditions and production technology on wear resistance of hip joint endoprosthesis head of "TIUDIN" was considered in this work. It was shown, that endoprosthesis head of "TIUDIN" material, which developed in MATI on titanium alloys VT6 base, is characterized by highest wear resistance.

Для восстановления подвижности тазобедренного сустава при его тяжелых заболеваниях и травмах используются эндопротезы (ЭТБС), по конструктивному исполнению аналогичные элементам естественного биологического сустава (рис. 1). Ножка (1) и головка (2) ЭТБС являются деталями бедренного компонента эндопротеза, а чаша (3) – вертлужным компонентом эндопротеза и замещает вертлужную впадину тазовой кости.

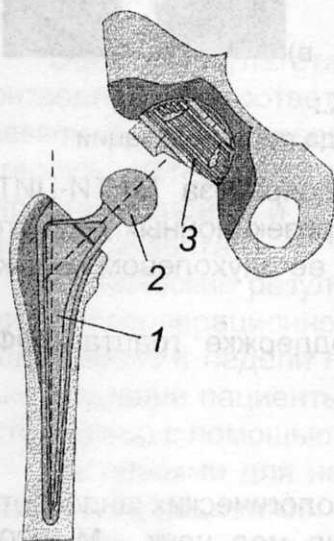


Рис. 1. Вид компонентов эндопротеза тазобедренного сустава:

- 1 – ножка,
- 2 – головка, 3 – чаша

Одной из наиболее нагруженных частей тазобедренного сустава является бедренная головка [1], поэтому в конструкциях ЭТБС важным рабочим элементом является узел трения – «головка-чаша». При этом одними из важнейших критериев, обеспечивающих длительную жизнеспособность тазобедренного эндопротеза при работе узла трения, являются высокая износостойкость материалов и малая величина коэффициента трения, которая должна быть приближена к коэффициенту трения в живом суставе [2].

В настоящей работе были проведены исследования процессов изнашивания головок ЭТБС из материала «ТИУДИН», работающих в паре трения с вкладышем из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ). Образцы головок ЭТБС были предоставлены ЗАО «ИМПЛАНТ МТ».

Головка из материала «ТИУДИН» на основе сплава ВТ6 имеет ультрадисперсную ( $\alpha+\beta$ )-структуру с размерами частиц  $\alpha$ -фазы не более 1 мкм и модифицированную азотом поверхность. Такая структура головки при чистоте поверхности  $Ra \leq 0,05$  мкм позволяет повысить их коррозионную стойкость и сопротивление износу, а также снизить коэффициент трения по сверхвысокомолекулярному полиэтилену [3].

Для испытаний подвижного элемента ЭТБС на износостойкость была использована схема нагружения, при которой исследуемая пара трения подвер-

гальса действию сжимающей осевой нагрузки (постоянной – 2200 Н или переменной – от 20 до 2200 Н) с одновременным вращением одного из образцов пары вокруг своей оси. Испытания проводили на универсальной испытательной машине TIRAtest 2300. Для осуществления вращательного движения образца на нижней траверсе испытательной машины был установлен дополнительный двигатель. Подвижным образцом в паре трения была головка эндопротеза, которую устанавливали во вращающийся захват (частота вращения 50 об./мин.). В верхний неподвижный захват машины помещали вкладыш из СВМПЭ, который имитировал чашу ЭТБС.

Испытания на износ проводили либо в физиологическом растворе (растворе Рингера) при температуре  $37 \pm 1$  °С, либо без раствора при комнатной температуре. При испытаниях в физиологическом растворе пару трения устанавливали в

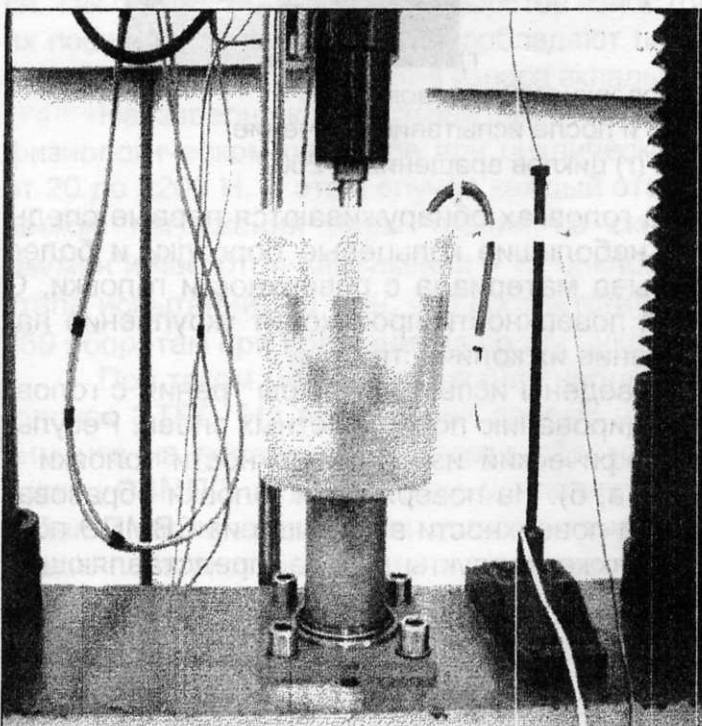


Рис. 2. Установка для испытания на износостойкость пары трения ЭТБС (узел нагружающего устройства)

захваты, оснащенные вращающейся ванной (рис. 2).

После испытаний износ оценивали путем исследования состояния поверхности испытуемых образцов.

На первом этапе исследований были проведены испытания головок ЭТБС при постоянной прикладываемой нагрузке 2200 Н, всухую (без раствора Рингера). Из результатов исследований [3], проведенных в лаборатории ЦИТО им. Н.Н. Приорова, следует, что сохраняемость узлов трения ЭТБС без видимых невооруженным глазом следов эрозионного разрушения в течение 300 полных оборотов с частотой вращения 1 Гц под нагрузкой 2250 Н гарантирует работоспособность эндопротеза при его эксплуатации в организме человека на протяжении 10

лет. Данный прогноз был подтвержден нами ранее в МАТИ им К.Э. Циолковского при стендовых испытаниях эндопротеза в соответствии с ISO 7206-4 в течение 10 миллионов циклов на испытательной установке «Instron 8032».

В этой связи эксперименты в данной работе были разделены на этапы, каждый из которых отвечал испытанию образцов в течение 300 оборотов.

После каждого этапа образцы разгружали и снимали с захватов испытательной машины.

Исследование состояния поверхности испытанных образцов показало, что после первых 300 циклов вращения полиэтиленовый вкладыш подвергся незначительному износу, который проявляется в виде небольших кольцевых бороздок на его поверхности. Как и ожидали, на головке видимых следов износа поверхности обнаружено не было. Имелись лишь тонкие полупрозрачные кольцевые полосы (следы износа полиэтилена), которые можно легко удалить с поверхности спиртовым раствором (рис. 3).

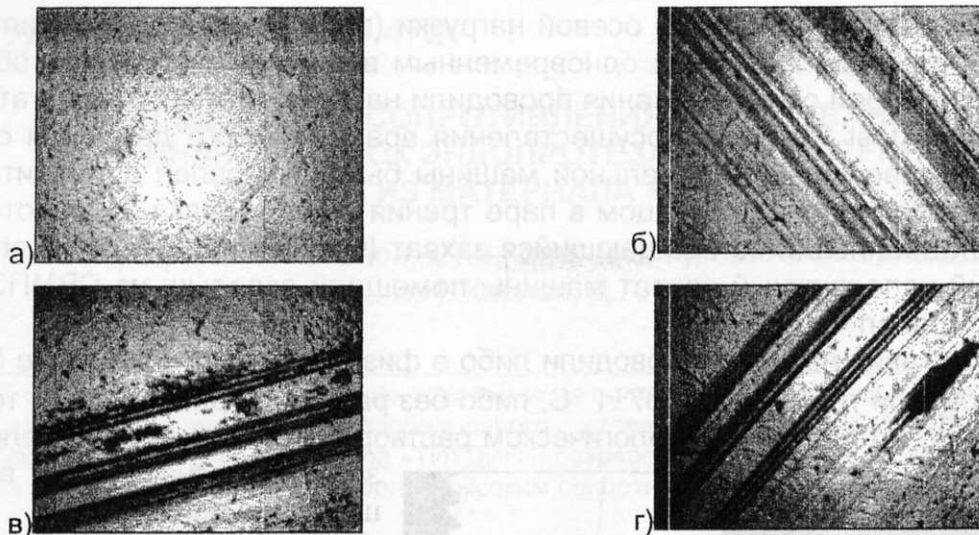


Рис. 3. Состояние поверхности головок ЭТБС в исходном состоянии (а) и после испытаний в течение 300 (б), 600 (в) и 3000 (г) циклов вращения,  $\times 260$

После 600 циклов вращения на головках обнаруживаются первые следы износа: на поверхности появляются небольшие кольцевые бороздки и более светлые полосы, а также следы вырыза материала с поверхности головки. С увеличением количества оборотов на поверхности происходит укрупнение наблюдаемых дефектов, а также увеличение их количества.

В качестве сравнения были проведены испытания пары трения с головкой, которая не подвергалась модифицированию поверхностных слоев. Результаты эксперимента показали катастрофический износ поверхности головки в течение 300 циклов испытаний (рис. 4 а, б). На поверхности головки образовались широкие и глубокие борозды, а на поверхности вкладыша из СВМПЭ появились черные кольцевые полосы, а также продукты износа, представляющие собой налипшие на головку частички полиэтилена и фрагменты окисных пленок, оторвавшихся с поверхности головки. Таким образом, проведенный эксперимент показал, что применение головок с ультрадисперсной структурой, но немодифицированной поверхностью не позволяет достичь удовлетворительного уровня трибологических свойств.

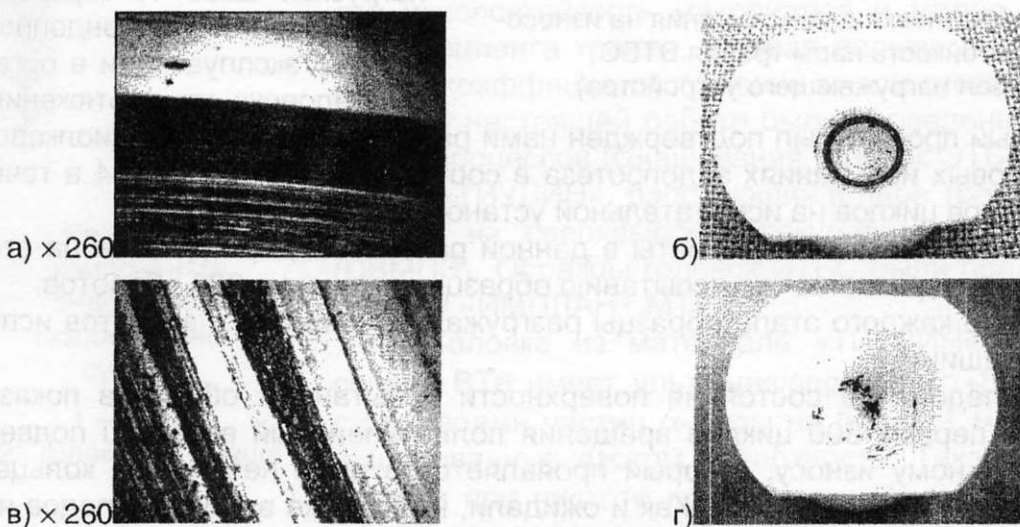


Рис. 4. Состояние поверхности головок (а и в) и вкладышей (б и г):

а, б - после испытания головки с немодифицированной поверхностью;  
в, г - после испытания головки в условиях абразивного изнашивания (абразив – стружка сплава ВТ6)

Головки с модифицированной поверхностью, прошедшие испытания в течение 3000 оборотов, были подвергнуты дополнительным испытаниям в условиях, когда между соприкасающимися поверхностями пары трения присутствуют посторонние абразивные частицы. В качестве абразива были использованы крошка костного цемента и мелкая стружка сплава ВТ6. Испытания показали, что при работе пары с цементной крошкой сильного износа головки не происходит, а при использовании стружки из титанового сплава происходит интенсивный износ головки уже после 300 оборотов вращения (рис. 4 в, г).

На следующем этапе работы были проведены испытания головок в физиологическом растворе. В целом полученные результаты были подобны результатам, описанным выше. Однако скорость износа поверхности головок и полиэтиленовых вкладышей при их испытании в растворе Рингера значительно замедляется. Так при достижении 3000 оборотов износ головок практически отсутствует, и на их поверхности в основном преобладают полосы, возникающие в результате налипания на головку продуктов износа вкладыша из СВМПЭ (рис. 5 а).

На завершающем этапе работы были проведены испытания головок в физиологическом растворе при циклическом изменении приложенной нагрузки от 20 до 2200 Н. В этом случае каждый этап эксперимента заключался в циклическом нагружении пары трения со скоростью перемещения траверсы 10 мм/мин и частотой нагружения  $\approx 12$  циклов в минуту. Время проведения одного этапа испытаний  $\approx 5$  мин, что соответствует 60 циклам осевого нагружения и  $\approx 250$  оборотам при вращении (за один цикл нагружения происходит  $\approx 4$  оборота).

При таком методе испытаний наблюдается минимальная скорость износа головок ЭТБС. На протяжении первых шестидесяти-семидесяти этапов эксперимента на поверхности головок образовывались лишь полосы от налипших частиц СВМПЭ, которые легко удаляются с поверхности промывкой. При дальнейшем увеличении числа этапов испытаний происходит износ материала головки: появляются достаточно широкие кольцевые полосы более светлых оттенков и неглубокие бороздки.

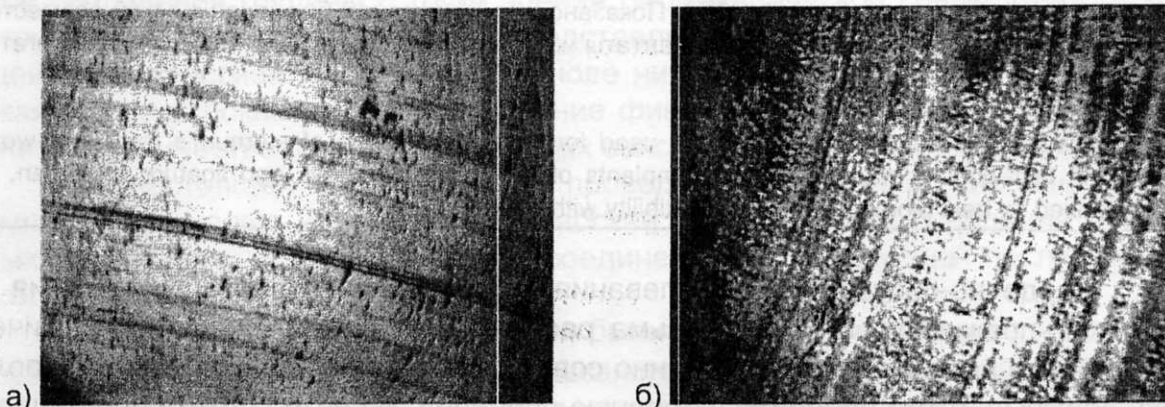


Рис. 5. Поверхность головок после их испытаний в физиологическом растворе:

а – при постоянной нагрузке, после 3 000 циклов вращения,  $\times 260$

б – при переменной нагрузке после 80 000 циклов вращения,  $\times 260$

Максимальное число этапов, которым подвергались головки в эксперименте, достигало не менее 300, что соответствует 18000 циклам нагружения и 75000 оборотам. Однако, несмотря на наблюдающиеся процессы износа поверхности, головка ЭТБС не утратила своей работоспособности, т.к. эти процессы еще соответствуют стадии установившегося изнашивания, а скорость изнашивания по-прежнему не высока.

Таким образом, проведенные испытания пары трения показали высокую эффективность применения головок из материала «ТИУДИН» на основе титанового сплава ВТ6 для элементов высоконагруженных искусственных суставов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №06-04-90812 Мол\_а.

### Литература

1. Медицинские и социальные проблемы эндопротезирования суставов конечностей. / В.П. Москалев, Н.В. Корнилов, К.И. Шапиро, А.М. Григорьев, А.Ю. Каныкин. – СПб.: МОРСАР АВ, 2001. – 160 с.
2. Гаврюшенко Н.С. Материаловедческие аспекты создания эрозионностойких узлов трения искусственных суставов человека. – Автореф. докт. дис. – М.: МАТИ-РГТУ им. К.Э. Циолковского, 2000. – 48 с.
3. Ильин А.А., Скворцова С.В., Мамонов А.М., Карпов В.Н. Применение материалов на основе титана для изготовления медицинских имплантатов // Металлы, 2002, №3. – С. 97-104.

УДК 658.523:616-7

### МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ СИСТЕМЫ КОСТЬ-ИМПЛАНТАТ, ИМИТИРУЮЩЕЙ СОЕДИНЕНИЕ ГРУДИНЫ ПОСЛЕ СРЕДИННОЙ СТЕРНОТОМИИ

д.т.н., проф. М.Ю. Коллеров, к.т.н., доц. Д.Е. Гусев, к.т.н., доц. А.В. Матыцин,  
А.А. Печетов\*, А.А. Чернышова, Д.А. Ламзин

В работе проведены испытания различных медицинских материалов, используемых для остеосинтеза фрагментов грудной кости. Показано, что наилучшей биомеханической совместимостью с костной тканью обладают имплантаты из сплава на основе никелида титана и лигатура из лавсана.

Tests of different medical material, used for wire-loop fixation of sternum's fragment, were realized in this work. It was shown, that implants of NiTi on base alloys and ligature of lavsan, is characterized by best biomechanical compatibility with bone.

Сердечно-сосудистые заболевания и патологии органов средостения и легких по-прежнему остаются весьма распространенными. Однако хирургическая тактика вмешательств постоянно совершенствуется, что позволяет выполнять сложные, в том числе расширенные операции. В связи с этим в настоящее время при лечении упомянутых заболеваний наиболее часто используется торакальный доступ с продольным рассечением грудины – так называемая срединная стернотомия. Соединение (остеосинтез) фрагментов грудины после данного вмешательства, осуществляется различными способами. Наиболее распространенным является шов грудины с помощью нитей (рис. 1а), выполненных из полимерных материалов (например, лавсана) или из металлических лигатур (технически чистый титан, нержавеющая сталь).

\* Институт хирургии им. А.В. Вишневского РАМН, г. Москва, Россия