

# МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ОНКОЛОГИЧЕСКОЙ ОРТОПЕДИИ\*

А.А. Ильин\*, А.В. Балберкин\*\*, А.М. Мамонов\*, В.Н. Карпов\*, А.М. Надежин\*,  
А.В. Овчинников\*, А.Б. Шавырин\*\*, А.Ф. Колондаев\*\*

\* «МАТИ»-Российский государственный технологический университет  
им. К.Э. Циолковского

\*\* ЦИТО им. Н.Н. Приорова

*Рассмотрены материаловедческие и технологические особенности проектирования имплантируемых изделий из титановых сплавов для онкологической ортопедии, показана эффективность термоводородной обработки и вакуумного ионно-плазменного азотирования для реализации комплекса высоких служебных характеристик высоконагруженных имплантатов.*

Разработка конструкций изделий для выполнения органосохраняющих операций при опухолях и опухолеподобных заболеваниях является приоритетным направлением в онкологии и ортопедии. Замещение эндопротезом обширных костных дефектов позволяет сохранить не только жизнь пациента, но и функционирующую конечность. Достоинством эндопротезирования в отличие от ампутации и других методов реконструктивной хирургии является одномоментная компенсация имплантатом массивных костных дефектов при сохранении опороспособности и движений в суставе, что обеспечит хорошее восстановление функции и высокий уровень жизни больного.

ИМЦ «МАТИ-Медтех» «МАТИ» - РГТУ им. К.Э. Циолковского совместно с ЦИТО им. Н.Н. Приорова разработана конструкция модульного эндопротеза коленного сустава с возможностью замещения обширных костных дефектов дистального отдела бедренной кости и проксимального отдела большеберцовой кости (рис. 1).

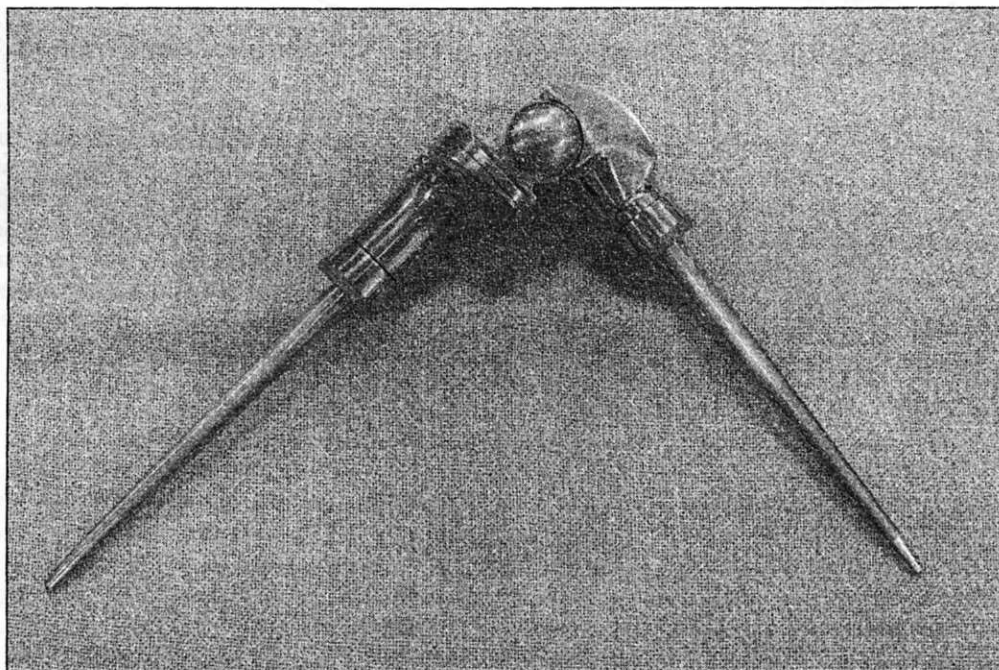


Рис. 1. Эндопротез коленного сустава дистального отдела бедренной кости и проксимального отдела большеберцовой кости.

Одним из важнейших этапов разработки конструкции имплантатов, в частности эндопротезов коленного сустава, предназначенных для восстановления его опорной и двигательной функций при оперативном лечении онкологических заболеваний, является биомеханическое обоснование этих конструкций. Оно заключается в теоретическом анализе и прогнозировании механического поведения и работоспособности системы «имплантат – костные структуры» при функциональных нагрузках. Механическая работоспособность системы зависит от надежности самого имплантата, стабильности его фиксации в костных структурах и механической совместимости конструкции. Надежность эндопротеза и каждого его элемента определяется способностью

\* Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ грант №08-04-90115-Мол\_а.

материала сопротивляться разрушению или необратимой деформации при воздействии внешних нагрузок. Механическая совместимость конструкции эндопротеза оценивается по степени подобия напряженно-деформированного состояния и механического поведения костных структур биотехнической системы, по состоянию и поведению структур неповрежденного коленного сустава, бедренной и большеберцовой костей при функциональных нагрузках. Это подобие определяет возможность, полноту и продолжительность адаптации сохраненных при операциях костных структур к новым условиям функционирования в созданной биотехнической системе.

Проведенное математическое моделирование механического поведения биотехнической системы «Эндопротез коленного сустава – бедренная и большеберцовая кости» показало её работоспособность, надежность и хорошую механическую совместимость конструкции эндопротеза с бедренной и большеберцовой костями. Кроме того, работоспособность изделия определяется сопротивлением воздействию усталостных напряжений от циклической функциональной нагрузки и износостойкостью поверхностей трения шарнирного узла, мыщелков и интрамедуллярных ножек.

Реализация комплекса высоких эксплуатационных свойств эндопротеза может быть достигнута выбором на этапе проектирования оптимальных методов и режимов формирования структуры и обработки поверхности изделия [1, 2].

Высокое сопротивление усталости обеспечивается не только конструкцией имплантата, но и структурным состоянием материала, которое определяется структурой исходного полуфабриката и применяемыми технологиями обработки.

Бедренный и большеберцовый компоненты эндопротеза имеют сложную конфигурацию. Поэтому наиболее рациональными полуфабрикатами для их изготовления являются фасонные отливки. Однако в литом состоянии сплав ВТ20 характеризуется крупнозернистой пластинчатой структурой и низким уровнем механических свойств, не удовлетворяющих установленным при компьютерном моделировании требованиям (рис. 2а, табл. 1).

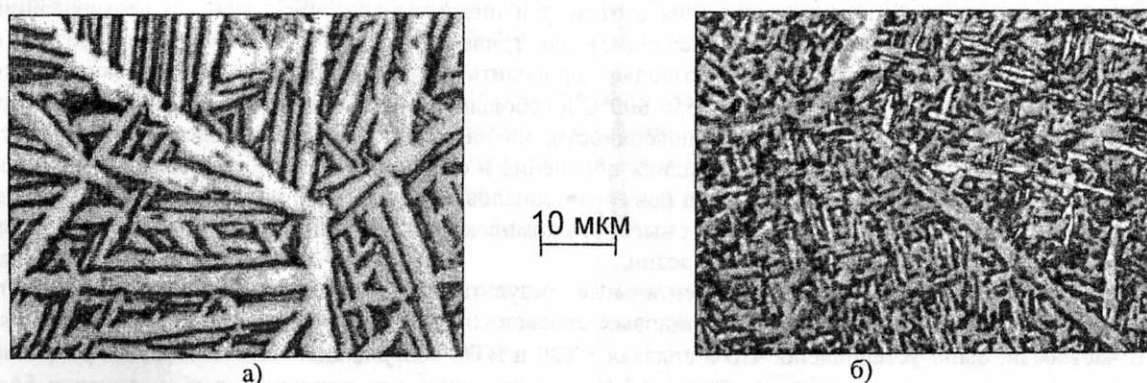


Рис. 2. Микроструктура отливок из сплава ВТ20: а) в литом состоянии, б) после ТВО

Таблица 1

Механические свойства сплава ВТ20

Состояние, вид обработки	Механические свойства			
	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ МПа	$\delta_s$ , %	$\sigma_{-1}$ , МПа
Литое	890	850	8	280
Литое+ВГО	910	860	10	300
Литое+ВГО+ТВО	1010	950	12	450

Оптимальный выбор концентрационных, температурных и кинетических параметров термоводородной обработки (ТВО) отливок после ВГО позволяет сформировать в изделиях структуру с размерами  $\alpha$ -фазы 1-2 мкм и тонкой  $\alpha$ -оторочкой по границам исходных  $\beta$ -зерен (рис. 2б). Такое структурное состояние дает наилучшее сочетание механических свойств, удовлетворяющих установленным требованиям (табл. 1). Мелкокристаллическая структура, сформированная при ТВО, обеспечивает высокую твердость поверхностного слоя, что значительно улучшает полируемость трущихся поверхностей эндопротеза и позволяет достигать параметра их шероховатости  $Ra=0,08-0,1$  мкм.

Износостойкость полированных и упрочненных ТВО трущихся поверхностей имплантата может быть значительно улучшена применением вакуумного ионно-плазменного азотирования.

В шарнирном соединении искусственного коленного сустава металлический бедренный компонент работает в паре трения с деталями большеберцового компонента из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ). Ножки бедренных и большеберцовых компонентов находятся в подвижном контакте либо с цементной (полиметилметакрилат) мантией (цементная фиксация), либо с твердой кортикальной костью (бесцементная фиксация). Перемещение за один цикл нагружения невелико - от десятков микрометров в

