

**Разработка конструкций керамических имплантатов
из композита на основе диоксида циркония.
III. Влияние отклонений посадочных размеров
на напряжения в керамической головке эндопротеза
тазобедренного сустава**

В. В. Лашнева, О. В. Михайлов

Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН
Украины, Киев, e-mail: lashneva@ipms.kiev.ua; o_v_mikhailov@rambler.ru

Исследовано влияние отклонений посадочных размеров головки и ножки на напряжения, возникающие в керамической головке при эксплуатации эндопротеза тазобедренного сустава. Показано, что напряженно-деформированное состояние керамической головки существенно неравномерное и зависит от посадочных размеров головки и ножки. Наличие отклонений посадочных размеров может привести к повышению напряжений. Отклонения величин посадочных конусов оказывают более значительное влияние на рост напряжений, чем отклонения посадочных диаметров.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, напряженно-деформированное состояние, эндопротез тазобедренного сустава, керамическая головка, ножка, посадочные размеры.

Тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава, при котором весь сустав заменяется искусственным, является самым распространенным и наиболее эффективным методом восстановления утраченной подвижности и опорной функции нижней конечности. Тотальный эндопротез, как правило, состоит из 4 компонентов: ножки, чашки, вкладыша и головки [1]. При имплантации ножка и чашка эндопротеза фиксируются в кости с помощью цемента или бесцементным способом, вкладыш закрепляется в чашке, а головка насаживается на ножку и вправляется в чашку с вкладышем, вместе с которым составляет шарнирную пару эндопротеза. Фиксация головки осуществляется за счет тугей конусной посадки на посадочное место ножки, в результате чего в головке создаются значительные растягивающие напряжения, которые возрастают при несовпадении посадочных размеров этих сопрягаемых деталей.

В современных эндопротезах ножку и чашку в большинстве случаев изготавливают из сплавов титана; головку — из кобальт-молибденовых сплавов, а также из керамики на основе оксида алюминия или диоксида циркония; вкладыш — из высокоплотного полиэтилена марки Chirulen или кросс-линк полиэтилена; пару трения составляют полиэтилен в комбинации с металлом или керамикой [2].

Керамические головки имеют ряд преимуществ по сравнению с металлическими: отсутствие в продуктах износа вредных примесей, присущих металлам; значительное уменьшение размера частиц, образующихся при износе; возможность получить в результате механической обработки высоко-

качественную полированную поверхность, которая благодаря высокой инертности керамики длительно сохраняется при работе пары трения, и другие. Существенным недостатком керамики является хрупкость и невысокая трещиностойкость, вследствие чего отмечаются случаи клинических неудач с керамическими головками [3]. Для преодоления недостатков керамических головок разрабатываются новые материалы, усовершенствуются конструкции, а также проводится тщательный контроль при изготовлении и приемке изделий.

В реальных конструкциях эндопротезов невозможно обеспечить точность размеров головки и ножки. Существуют допуски на их изготовление. В то же время отклонения размеров могут влиять на величины напряжений, возникающих в конструкции эндопротеза.

Цель настоящей работы — исследовать влияние отклонений посадочных размеров головки и ножки на напряжения, возникающие в керамической головке при эксплуатации эндопротеза тазобедренного сустава.

Материалы и методы

Рассматривали керамическую головку эндопротеза тазобедренного сустава из нового керамического материала из композита на основе диоксида циркония, разработанную в Институте проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины совместно с Институтом травматологии и ортопедии АМН Украины и научно-производственным товариществом "Инмед" [4, 5].

Исследования проведены путем компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния керамической головки методом конечных элементов [6]. Схема нагружения керамической головки эндопротеза приведена на рис. 1. Керамическая головка (композит на основе ZrO_2) диаметром $D = 28$ мм с конусным отверстием диаметром $d = 14$ мм и конусом 12/14 насажена на закрепленную неподвижно ножку эндопротеза (сплав титана ВТ6). Внутренняя поверхность посадочного отверстия головки имеет 2 участка: конический и цилиндрический. Внешняя нагрузка P , обусловленная массой тела человека, приложена к головке под углом, поскольку направление действия силы тяжести и ось симметрии головки установленного эндопротеза не совпадают.

Исследовали напряженно-деформированное состояние керамической головки в зависимости от неточности конусного сопряжения головки и

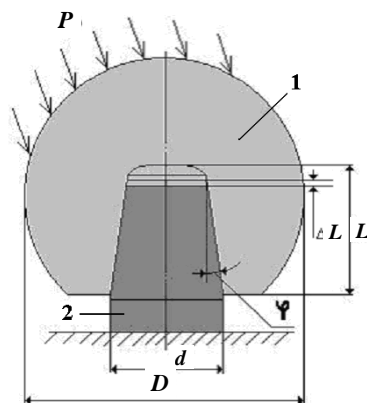


Рис. 1. Расчетная модель нагружения керамической головки эндопротеза тазобедренного сустава: 1 — керамическая головка; 2 — металлическая ножка; L — глубина посадочного отверстия головки; ΔL — расстояние, на которое торец ножки не доходит до перехода конусной поверхности посадочного отверстия головки в цилиндрическую; φ — угол посадочных конусов головки и ножки.

ножки эндопротеза. Рассматривали распределение эквивалентных напряжений Мизеса. Принималась объемная постановка задачи, что обусловлено несовпадением направления приложения нагрузки и оси симметрии головки. В то же время в силу симметрии анализировали половину конструкции с соответствующей модификацией граничных условий. При моделировании упругого поведения конструкции использовали трехмерные тетраэдрические конечные элементы. Изучали влияние отклонений посадочных диаметров и углов конуса соединения керамическая головка—ножка.

Результаты и их обсуждение

На рис. 2 показано влияние увеличения диаметра ножки при фиксированном посадочном диаметре головки на величину эквивалентных напряжений Мизеса. Увеличение диаметра уменьшает глубину внедрения ножки в головку. Это вызывает уменьшение площади контактной поверхности и в результате возрастают напряжения (рис. 2, б).

Увеличение посадочного диаметра головки при фиксированном диаметре ножки приводит к двум противоположным эффектам. С одной стороны, при увеличении внутреннего диаметра головки увеличиваются глубина внедрения ножки и поверхность контакта, а напряжения уменьшаются, с другой — снижается ее прочность.

Значительное влияние на напряженно-деформированное состояние головки эндопротеза оказывают отклонения величин посадочных конусов головки и ножки. Распределение эквивалентных напряжений Мизеса в этом случае приведено на рис. 3. Наблюдается существенная неравномерность распределения напряжений по объему головки и резкое их увеличение. Зоны максимальных напряжений уменьшаются и располагаются в нижней части соединения, если посадочный конус ножки больше конуса головки, и в верхней части — если конус ножки меньше.

Как следует из полученных результатов, отклонения величин посадочных конусов головки и ножки оказывают более значительное влияние на

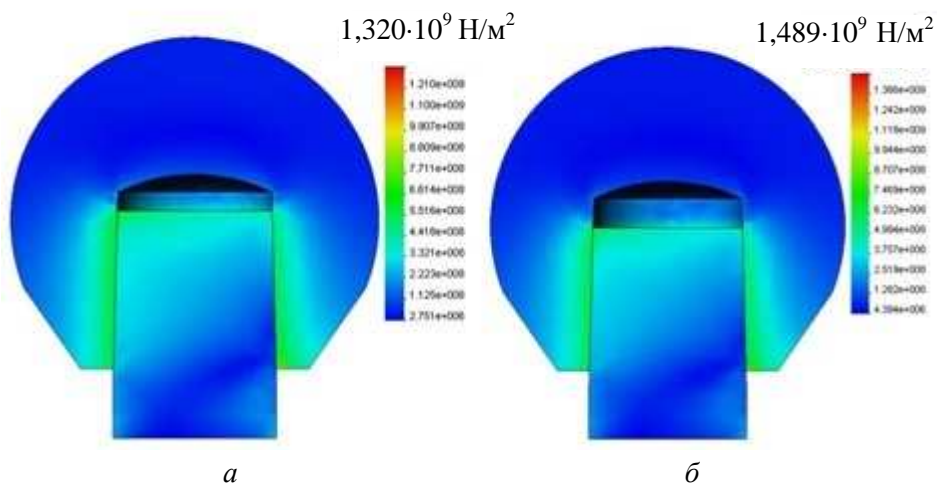


Рис. 2. Влияние посадочных диаметров ножки (номинального (а) и больше номинального (б)) на максимальные значения эквивалентных напряжений Мизеса.

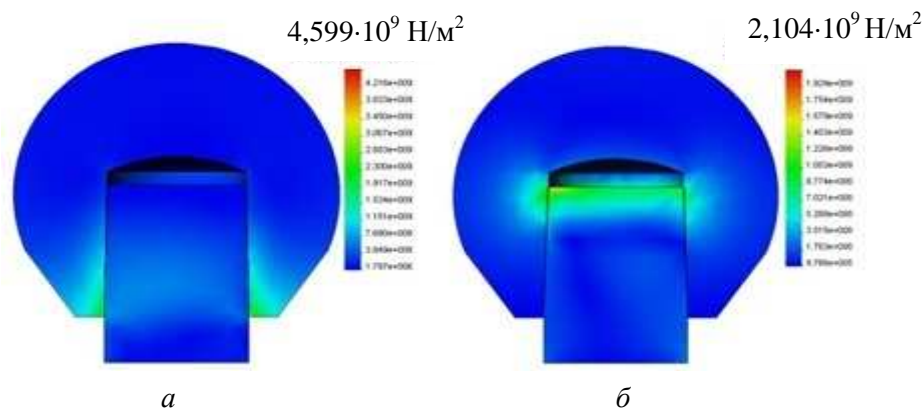


Рис. 3. Влияние отклонений конусных углов посадочных мест головки и ножки на максимальные значения эквивалентных напряжений Мизеса: конус ножки больше (а) и меньше (б) конуса головки.

рост эквивалентных напряжений Мизеса, чем отклонения посадочных диаметров. Поэтому при изготовлении сопряжения керамическая головка—ножка эндопротеза особое внимание необходимо уделять обеспечению точности конусных углов.

Выводы

Напряженно-деформированное состояние керамической головки эндопротеза тазобедренного сустава существенно неравномерное и зависит от посадочных размеров головки и ножки. Наличие отклонений размеров может привести к повышению напряжений.

Отклонения величин посадочных конусов головки и ножки оказывают более значительное влияние на рост напряжений, чем отклонения посадочных диаметров.

1. Дубок В. А. Разработка новых материалов и технологий для усовершенствования отечественных эндопротезов тазобедренного сустава / В. А. Дубок, В. В. Лашнева // Порошковая металлургия. — 2010. — № 9/10. — С. 102—110.
2. Эндопротезы суставов человека: материалы и технологии: (Монография) / Под ред. Н. В. Новикова, О. В. Розенберга, Й. Гавлика. — К.: Ин-т сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2011. — 528 с.
3. Fritsch E. W. Ceramic femoral head fractures in total hip arthroplasty / E. W. Fritsch, M. Gleitz // Clinical Orthopaedics and Related Research. — 1996. — No. 328. — P. 129—136.
4. Шевченко А. В. Технология изготовления и физико-химические свойства керамики на основе нанокристаллического порошка композита диоксида циркония / [А. В. Шевченко, В. В. Лашнева, Е. В. Дудник и др.] // Тез. IV Международ. науч. конф. "Наноразмерные системы: Структура. Свойства. Технологии", Киев, 19—22 ноября 2013 г. — С. 562.
5. Пат. 893 України. Керамічна головка ендопротеза кульшового суглоба / [А. Ф. Гончаренко, В. М. Деркач, В. А. Дубок та ін.]. — Опубл. 2001. — Бюл. № 6 (1 частина). — С. 3.2.6.
6. Михайлов О. В. Оптимизация состава и геометрической формы имплантатов на основе компьютерного моделирования / [О. В. Михайлов, Л. Н. Ткаченко, М. Б. Штерн и др.] // Порошковая металлургия. — 2003. — № 1/2. — С. 10—16.

**Розробка конструкцій керамічних імплантатів
з композита на основі діоксиду цирконію.
III. Вплив відхилень посадочних розмірів
на напруження в керамічній головці ендопротеза
кульшового суглоба**

В. В. Лашнева, О. В. Михайлов

Досліджено вплив відхилень посадочних розмірів головки і ніжки на напруги, що виникають у керамічній головці при експлуатації ендопротеза кульшового суглоба. Показано, що напружено-деформований стан керамічної головки суттєво нерівномірний і залежить від посадочних розмірів головки і ніжки. Наявність відхилень посадочних розмірів може призвести до підвищення напруг. Відхилення величин посадочних конусів більш значно впливають на зростання напруг, ніж відхилення посадочних діаметрів.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, напружено-деформований стан, ендопротез кульшового суглоба, керамічна головка, ніжка, посадочні розміри.

**Development of the ceramic implants constructions
based on zirconia composite.
III. Influence of variation of engineering parameters
on strains in the hip endoprosthesis ceramic head**

V. V. Lashneva, O. V. Mikhailov

The effect of the head and stem engineering parameters deviations in the ceramic head during operation of hip endoprosthesis has been studied. It is shown that the strain-deformation state of the ceramic head is significantly non-uniform and depends on the head and stem engineering parameters. Deviations can cause the increased strain. Deviations in the engineering cones have more impact on the strain rather than deviations of the engineering diameter.

Keywords: computer modeling, strain-deformation state, hip endoprosthesis, ceramic head, stem, engineering parameters.