

Ю.И. Чарун, Днепропетровск, Украина, Р.О. Якименко,  
С.Н. Лавриненко, канд. техн. наук, Г.В. Кулинич, Харьков, Украина

## **ПРЕИМУЩЕСТВА НАДЕЖНЫХ САМОТОРМОЗЯЩИХ КОНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В БИОИНЖЕНЕРНЫХ ИЗДЕЛИЯХ**

*Використання конічних з'єднань для забезпечення надійного та міцного кріплення двох елементів конструкції без зазору і з передачею значних навантажень у загальному машинобудуванні є широко поширеною реальністю. Проте перенесення цього позитивного досвіду у сферу біоінженіринга, наприклад, для створення нероз'ємного з'єднання двох частин імплантату, у неспеціалістів викликає деякі сумніви, головним чином через мініатюризацію таких з'єднань і уявну простоту. У даній статті розглядаються переваги самозам'явних конічних з'єднань на прикладі стоматологічних імплантатів.*

*Использование конических соединений для обеспечения надежного и прочного крепления двух элементов конструкции без зазора и с передачей значительных нагрузок в общем машиностроении является широко распространенной реальностью. Однако перенос этого положительного опыта в сферу биоинжиниринга, например, для создания неразъемного соединения двух частей имплантата, у неспециалистов вызывает некоторые сомнения, главным образом из-за миниатюризации таких соединений и кажущейся простоты. В данной статье рассматриваются преимущества самотормозящих конических соединений на примере стоматологических имплантатов.*

*The use of conical connections with reliable and securely fasten of two elements without a gap and with transmission of the significant loads in the general engineering is widespread reality. However, the transfer of positive experience in the sphere of the bioengineering and, for example, to create piece joint of two parts of the implant, a no specialist raises some doubts, mainly because of the miniaturization these compounds and the seeming simplicity. In this article discusses the advantages of locking tapers on the example of dental implants.*

Детали с коническими поверхностями имеют довольно широкое применение в различных отраслях машиностроения, особенно в качестве элементов крепления и хвостовиков режущих инструментов. Примерами могут служить конусы центров станков, хвостовики сверл, зенкеров, разверток, фрез и т.п. Для надежного крепления таких инструментов посадочные отверстия, являющиеся ответной частью соединения в шпинделе или пиноле станка, также имеют аналогичную коническую форму со строго регламентированным качеством поверхностного слоя. При этом наибольшее распространение получили инструментальные конусы Морзе и метрические или так называемые нормальные конусы, то есть конусы, основные размеры которых стандартизованы.

Однако область использования конусов не ограничивается режущими инструментами. Конические соединения имеют широкое применение из-за целого ряда их преимуществ, а именно:

1. Конические соединения обеспечивают высокую точность

центрирования деталей.

2. При плотном соприкосновении конусов с малыми углами наклона получается неподвижное соединение, способное передавать значительные крутящие моменты относительно оси соединения.

3. Изменяя осевое положение деталей конического соединения, можно регулировать величину зазора между ними или взаимное расположение сопрягаемых частей относительно друг друга.

Расчетная схема сил, действующих в коническом соединении, представлена на рис. 1.

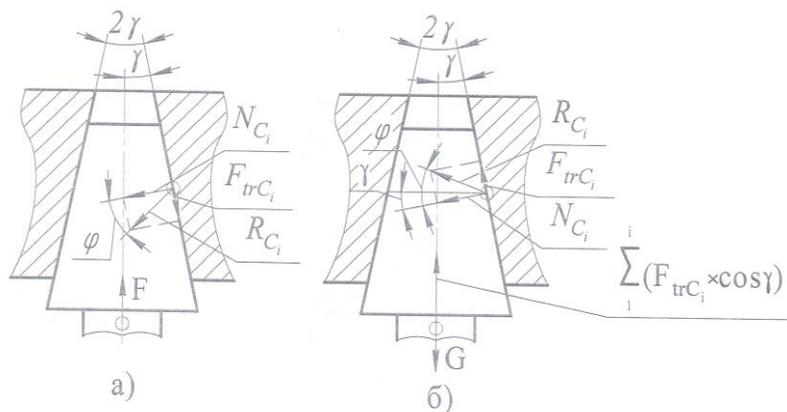


Рисунок 1 – Расчетная схема сил, возникающих в коническом соединении:

а) изображение схемы вставки конического пальца в отверстие;

б) изображение работы конического соединения.

На рис.1а изображена схема вставки конического пальца (абатмента) в конусное отверстие корпуса имплантата. Для закрепления пальца в отверстии к нему прикладывают моментно-действующую динамическую силу  $F$ , в стоматологии такой силой может выступать сила сжатия промежуточного материала зубами пациента. Деформированные поверхностные слои под действием сил упругого восстановления пытаются вернуться в свое исходное положение, усиливая при этом возникшие в соединении силы трения сцепления. После прекращения действия силы  $F$ , деформационные напряжения и возникшие силы сцепления остаются в материалах имплантата и абатмента.

При угле уклона конуса меньше или равным углу трения сопрягаемых поверхностей, результирующая сила трения сцепления будет направлена вверх, как показано на рис. 1б, что и создает эффект самоторможения механической системы. В противном случае, при направлении

результатирующей сил трения вниз, это будет способствовать раскреплению.

Надежность закрепления конического пальца в отверстии зависит от величины конусности, чистоты сопрягаемых поверхностей и физико-механических свойств материалов пальца и конической втулки.

Конический хвостовик должен воспринимать максимальные жевательные нагрузки, причем проскальзывание в соединении недопустимо. Определим максимальный крутящий момент, который может передать конус, т. е. тот предельный момент, по достижении которого будет наблюдаться проскальзывание. Осевое усилие, действующее на конический хвостовик, будем считать равным осевому усилию окклюзивной нагрузки  $P_o$ . При сжатии силой  $P_o$  двух конических поверхностей между ними возникает трение, момент которого может быть выражен формулой:

$$M = f_{mp} \cdot p \cdot F \cdot r_{прив} , \quad (1)$$

где:  $f_{mp}$  - коэффициент трения между трущимися поверхностями;

$p$  - среднее удельное давление;

$F$  - площадь соприкасающихся поверхностей;

$r_{прив}$  - приведенный радиус сил трения соприкасающихся поверхностей, который можно принять равным среднему радиусу:

$$r_{прив} = r_{cp} = \frac{r_1 + r_2}{2} = \frac{d_1 + d_2}{4} , \quad (2)$$

где:  $r_1, r_2$  - максимальный и минимальный радиусы;

$d_1, d_2$  - соответствующие диаметры рабочей части конуса.

Величина  $r_{прив}$  зависит от закона распределения элементарных сил трения трущихся поверхностей, т. е. от точности изготовления сопрягаемых конических поверхностей. Принимая приведенный радиус равным среднему, считаем, что при установке обеспечивается полное прилегание конической поверхности хвостовика и сопряженной поверхности конической втулки имплантата.

Расчетный крутящий момент  $M_p$  определяют исходя из максимального крутящего момента  $M_{сп}$  возникающего при движении нижней челюсти:

$$M_p = \beta \cdot M_{сп} , \quad (3)$$

где:  $\beta$  коэффициент запаса сцепления, который должен гарантировать работу соединения без проскальзывания при уменьшении коэффициента трения или приведенного радиуса сил трения  $r_{прив} = r_{cp}$  против расчетных. Коэффициент  $\beta$  при расчете, например, конических хвостовиков инструментов берется в пределах 1,25 - 1,5. Чтобы не было проскальзывания, расчетный крутящий момент должен быть больше или равен крутящему моменту трения:

$$\beta \cdot M_{сп} = f \cdot p \cdot F \cdot r_{cp} . \quad (4)$$

Среднее удельное давление  $p$  для конических сопряженных поверхностей связано с осевым усилием  $P_o$  соотношением:

$$p = \frac{P_0}{F \cdot \sin \gamma}, \quad (5)$$

где  $\gamma$  - угол уклона конуса, равный половине угла при вершине конуса ( $2\gamma$ ).

Следует отметить, что большинство имплантационных систем состоят из нескольких компонентов, которые связаны между собой винтами, что создает условия для проникновения бактерий из-за неплотного прилегания частей конструкции в местах резьбового соединения. Коронка часто крепится к имплантату при помощи крепежного винта. При этом винты имеют свойство ослабляться и ломаться. В противоположность таким системам, система, разработанная фирмой Bicon состоит лишь из двух составляющих с бактериально-герметичным коническим соединением с углом уклона конуса  $\gamma=1,5^\circ$ . То есть, одна составляющая - это имплантат с глухим коническим отверстием, который помещается в кость, и абатмент с коническим хвостовиком, который вставляется в имплантат и обеспечивает прочную базу для искусственной коронки или съемного протеза. Благодаря специфическому дизайну имплантата, площадь его поверхности значительно больше, что позволяет уменьшить габаритные размеры, то есть применять более короткие имплантаты, которые требуют меньшего объема кости для установки и устойчивого функционирования. Дизайн абатмента без винтового соединения предполагает универсальное позиционирование с возможностью поворота вокруг оси на  $360^\circ$ . Благодаря этому возможно использование как цементируемых вне полости рта коронок, так и коронок, моделируемых непосредственно на абатменте и фиксируемых без использования винтов и цемента (Bicon Integrated Abutment Crown™).

#### *Выводы:*

Основными преимуществами применения конусного соединения имплантата и абатмента являются:

1. Отсутствие критического элемента в виде внутреннего винта.
2. Полное отсутствие микродвижений.
3. Отличная антибактериальная защита.
4. Оптимальное распределение жевательных нагрузок на имплантат.

**Список использованных источников:** 1. Самохвалов Я.А., Григораш М.Я. Справочник техника-конструктора, изд. 3-е, перераб. и доп., К.: Техніка, 1978.-592 с. 2. Таймингс Р. Машиностроение. Разъемные и неразъемные соединения, режущий инструмент. Карманный справочник./пер. с англ. – 2-е изд. – М.: Додэка-XXI, 2008. – 336 с.

*Поступила в редколлегию 15.04.2010*