

УДК 666.597:539.4

АНАЛИЗ СТАНДАРТНОЙ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ СТОМАТОЛОГИЧЕСКОЙ МЕТАЛЛОКЕРАМИКИ

А. В. ДОРОЖКО, Н. М. КУЗЬМЕНКОВА⁺

УО «Белорусский государственный технологический университет», ул. Свердлова 13-а, 220006, г. Минск, Беларусь.

Проведен критический анализ стандартов СТБ 51735–2002 и ISO 9693. Отмечено, что контролируемые данными стандартами свойства стеклокристаллических покрытий для зубных протезов не в полной мере отражают качество исследуемых покрытий. Изложены результаты экспериментальных исследований влияния максимального касательного напряжения на границе металл – стеклокристаллический слой на радиус кривизны края стеклокерамики и модуль Юнга. Дано обоснование целесообразности нормировать радиусы кривизны краев стеклокристаллического слоя, а также учитывать жесткость слоя при оценке прочности сцепления с металлической подложкой.

Введение

В последнее время для изготовления зубных протезов широкое применение находят металлокерамические композиции. Из них делают зубные коронки путем нанесения опакowego, дентинового и эмалевого слоев на металлическую подложку. При этом стеклокристаллический слой выполняет как эстетическую, так и защитную функции. Очевидно, что для получения качественных зубных протезов необходимо обеспечить прочное соединение стеклокристаллического покрытия с металлическим основанием.

Методы испытаний

Для оценки прочности соединения стеклокристаллического слоя с металлом стандартом Беларуси [1] предусмотрено испытание образцов на трехточечный изгиб. Данный стандарт РБ аутентичен международному стандарту [2].

Образец (балка) имеет вид металлической полосы с размерами 25×3×0,5 мм, на которую симметрично в средней ее части на одну поверхность нанесен и обожжен стеклокристаллический слой длиной 8 мм и толщиной 1,5 мм.

В процессе испытания образец укладывают на две опоры стеклокристаллическим слоем вниз и сверху при помощи пуансона испытательной машины нагружают поперечной силой, увеличивая ее до момента разрушения стеклокристаллического слоя на границе соединения с металлом. По величине этой силы F рассчитывают проч-

ность сцепления стеклокристаллического слоя с металлом $\tau = kF$. Коэффициент k предлагается определять по прилагаемой к стандарту [1] диаграмме. В качестве исходных величин используются только два параметра: толщина металлической полосы и модуль Юнга металла, из которого она изготовлена [3].

Анализ описанной стандартной методики определения прочности сцепления керамики с металлом (Schwickerath test) показывает, что использование только двух перечисленных параметров явно недостаточно. По нашему мнению необходимо учитывать и другие факторы. Во-первых, это радиус закругления стеклокристаллического слоя в начале и в конце участка, во-вторых, модуль Юнга материала слоя. Оба этих параметра могут изменяться в достаточно широких пределах.

Эксперимент и обсуждение результатов

Предварительно проведен теоретический анализ распределения напряжений в двухслойной металлокерамической балке. Для компьютерного моделирования процесса нагружения балки и расчета напряжений использовали пакет программ ANSYS, реализующий метод конечных элементов.

Схема разбиения балки на конечные элементы представлена на рис. 1 (поскольку балка симметрична относительно срединного сечения, здесь и далее показана только ее правая половина).

⁺ Автор, с которым следует вести переписку.



NODAL SOLUTION
 SUB = 1
 TIME=100
 SX1 (AVG)
 RSYE=0
 CMX = .119E-03
 CMY = -.197E+07
 CMZ = .615E+08

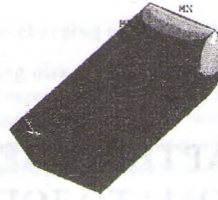


Рис. 1. Схема разбивки балки на конечные элементы

Модули Юнга металла и стеклокристаллического покрытия в исходном расчете были приняты 200 ГПа и 20 ГПа, соответственно. Радиусы закругления на концах стеклокристаллического слоя приняты равными 2 мм. Процесс нагружения балки моделировался сосредоточенной силой в 10 Н, приложенной посередине пролета. При таком значении силы прочность сцепления стеклокристаллического слоя и металла, рассчитанная по стандартной методике [1], окажется близкой к 35 МПа, т. е. несколько больше минимально допустимого тем же стандартом значения в 25 МПа.

При указанных параметрах образца и поперечной силы были определены нормальные и касательные напряжения в обоих слоях балки.

Диаграмма распределения нормальных напряжений в балке показана на рис. 2. Ее анализ показывает, что в металлическом слое балки, там, где начинается стеклокристаллический слой, реализуется концентрация растягивающих напряжений. Они изменяются от 202 МПа до 339 МПа. Нормальные напряжения в стеклокристаллическом слое почти постоянны и составляют около 3 МПа. Тем не менее, указанные напряжения вполне безопасны как для большинства стоматологических сплавов, так и для стеклокристаллических покрытий [4].

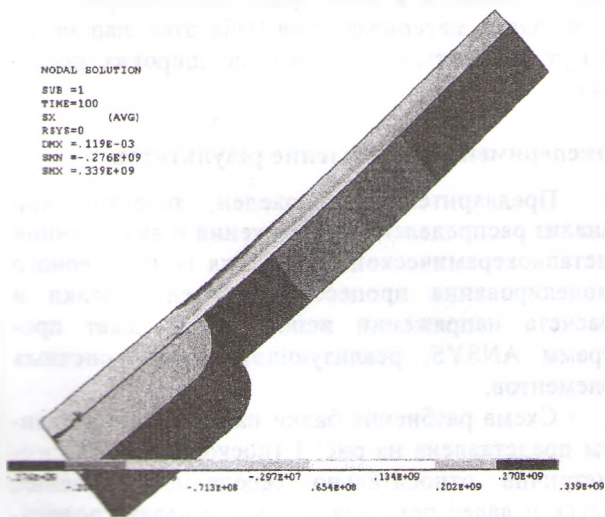


Рис. 2. Диаграмма распределения нормальных напряжений в балке

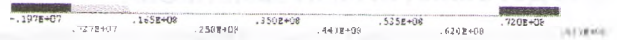


Рис. 3. Диаграмма распределения касательных напряжений в стеклокристаллическом слое

На рис. 3 показана диаграмма распределения касательных напряжений в стеклокристаллическом слое. Особого внимания здесь заслуживают касательные напряжения на границе металл – стеклокристаллический слой. Именно эти напряжения приводят к разрушению – отслаиванию стеклокристаллического слоя от металла, что вызвано нарушением адгезии между слоями.

Как следует из анализа рис. 3, на поверхности раздела металла и стеклокристаллического слоя напряженно-деформированное состояние весьма неоднородно.

График изменения касательного напряжения на границе металл – стеклокристаллический слой в направлении от середины стеклокристаллического слоя к его правому краю, показан на рис. 4.

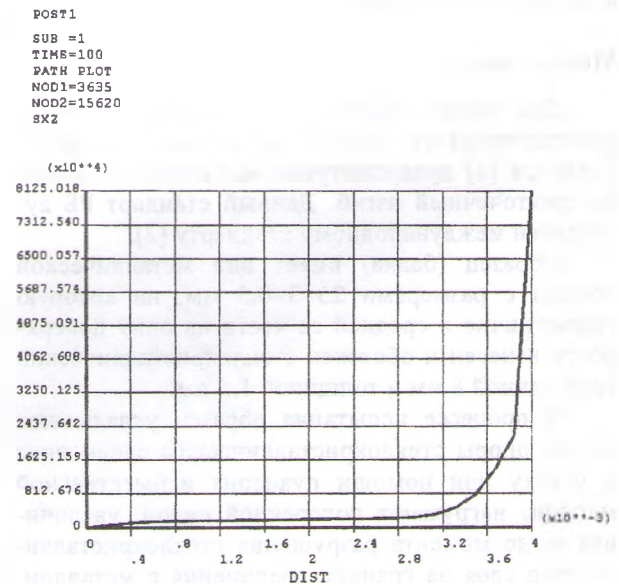


Рис. 4. Зависимость между максимальным касательным напряжением (Па) в сечении и его удаленностью от срединного сечения балки (м)

Как видно, напряжения в указанном направлении увеличиваются от 8,1 МПа посередине балки до 81,2 МПа на краю слоя.

Следует отметить, что максимальное касательное напряжение на границе металл – стеклокристаллический слой (прочность связи стеклокристаллического слоя с металлом) полученное методом конечных элементов, оказалось в 2,3 раза больше, рассчитанного по стандартной методике [1].

Другим параметром, также существенно влияющим на коэффициент концентрации напряжений, является радиус закругления (выпуклости) стеклокристаллического слоя на его концах. Этот радиус не нормируется в стандартах и определяется лишь технологией нанесения и обжига стеклокристаллического слоя, т. е. является величиной в значительной степени случайной.

Для оценки его влияния был произведен расчет максимальных касательных напряжений на границе металл – стеклокристаллический слой при радиусах на краях последнего в диапазоне 1–5 мм. Результаты расчета представлены на рис. 5.

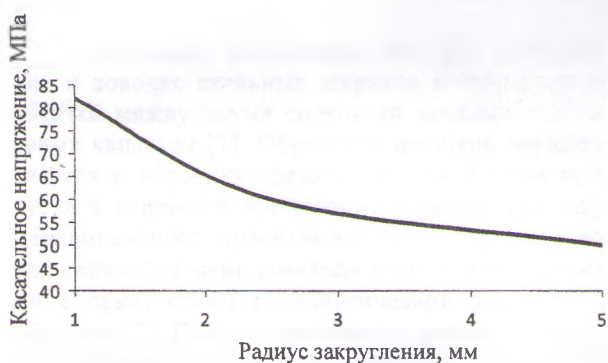


Рис. 5. Зависимость между максимальным касательным напряжением на границе металл – стеклокристаллический слой и радиусом закругления края стеклокерамики

Как следует из графика, при увеличении радиуса закругления стеклокристаллического слоя в рассмотренном диапазоне, касательное напряжение уменьшается на 40%.

Стеклокристаллические покрытия, используемые для протезирования, обладают достаточно высокой жесткостью 12–50 ГПа, вполне сопоставимой с жесткостью применяемых металлов и сплавов 100–220 ГПа [4]. По этой причине представляется неправомерным игнорирование стандартом модуля Юнга слоя, тем более что он может изменяться в довольно широких пределах.

Влияние жесткости стеклокристаллического покрытия на максимальное касательное напряже-

ние на границе металл – стеклокристаллический слой, показано на рис. 6.

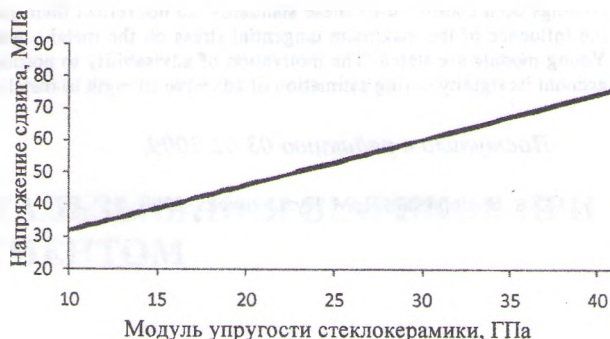


Рис. 6 Зависимость между максимальным касательным напряжением на границе металл – стеклокристаллический слой и модулем Юнга стеклокерамики

Из анализа рис. 6 следует, что мере увеличения жесткости стеклокерамики в исследованном диапазоне напряжение на границе металл – стеклокристаллический слой увеличивается более чем вдвое.

Выводы

1. Анализ результатов исследования свойств стеклокристаллического покрытия, наносимого на металлическую подложку показал, что регламентированные стандартом свойства не в полной мере отражают качество покрытий зубных протезов.

2. Предложено нормировать радиусы кривизны краев стеклокристаллического слоя, а также учитывать его жесткость при оценке прочности сцепления с металлической подложкой, используя установленные зависимости.

Работа выполнена в рамках задания «Разработать технологию и способ изготовления металлокерамических зубных протезов на основе отечественных облицовочных керамических материалов» ГНТП «Лечебные и диагностические технологии», подпрограммы «Терапия».

Литература

1. Металлокерамика стоматологическая для зубного протезирования. Технические требования. Методы испытаний. – Введен впервые: СТБ 51736–2002. – Введ. 01.03.03. – Минск: Стандарт Беларуси, 2002. – 10 с.
2. Metal-ceramic dental restorative systems: ISO 9693: 1999 (E). – 14 p.
3. Lenz, J. Bond strength of metal-ceramic systems in the three-point flexure test / J. Lenz, S. Schwarz, H. Schwickerath, F. Sperner, A. Schaefer // J. Applied Biomater. – 1995. – Vol. 6. – P. 55–64.
4. Lee, Ho-Rim. Comparative Study of Bond Characteristics between Titanium / Titanium Alloy and Ceramic. – Doct. Diss., Tubingen, Eberhard-Karls-Universitet, 2004. – 100 p.

Dorozhko A. V. and Kuzmenkova N. M.

Analysis of standard method for determining strength of dental metal-ceramics.

The critical analysis of standard STB 51735-2002 and ISO 9693 is organized. It is noted that characteristics of glass-crystal coatings been controlled by these standards, do not reflect their quality in the full scale. The results of experimental studies, concerning the influence of the maximum tangential stress on the metal – glass-crystal border on the glass-ceramics edge radius of curvature and Young module are stated. The motivation of advisability to normalize glass-ceramics edge radiuses of curvature as well as to take into account its rigidity during estimation of adhesive strength to metallic substrate by using presented graphs and diagrams is given.

Поступила в редакцию 03.02.2009.

© А. В. Дорожко, Н. М. Кузьменкова, 2009.

