

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЧНОСТИ И ЖЕСТКОСТИ СТОМАТОЛОГИЧЕСКОЙ СТЕКЛОКЕРАМИКИ

The critical analysis of known test methods characteristics of mechanical properties glass-ceramics materials intended for manufacturing of dental artificial limbs by level-by-level drawing on a metal basis opaque, dentine and enamel layers is lead. It is underlined an incorrectness of the technique incorporated in STB 51735–2002. The corrected technique of definition of Young module and strength at a bend is offered on advanced test complex AIsK-2 on the basis of tensile machine IR 5046-5. Tests glass-ceramics material received in $K_2O - Li_2O - Al_2O_3 - SiO_2 - SnO_2 - ZrO_2$ system have shown high accuracy of measurements of mechanical properties.

Введение. Зубной протез представляет собой достаточно сложную конструкцию, состоящую из металлического колпачка, покрытого тремя слоями стеклокерамического материала – опакowym, дентиновым и эмалевым. Изготовление его является многооперационным процессом, включающим последовательный обжиг каждого из нанесенных слоев при температуре 910–930 °С.

Качество протеза в значительной степени зависит от многих факторов, в том числе от механических свойств материалов, используемых для его изготовления. Возникающие в нем при работе механические напряжения не должны превышать предельно допустимых значений. Расчет этих напряжений представляет сложную инженерную задачу. Для его проведения необходимо располагать достоверными сведениями о характеристиках прочности и жесткости как металла, так и стеклокерамики, на него нанесенной.

Следует отметить, что наряду с другими факторами напряжения, возникающие в элементах протеза, как и в любой статически неопределимой системе, определяются жесткостью материала, т. е. его модулем упругости

(модулем Юнга) [1]. Напряжения на границе металл – стеклокерамика самого элемента также распределяются в зависимости от разности модулей Юнга металла и опак [2].

В связи с этим представляется актуальной разработка методики определения характеристик не только прочности, но и жесткости стоматологических материалов. В отличие от металлов и сплавов, для стоматологических материалов нормативными документами такие испытания вовсе не предусмотрены. Как правило, механические свойства стеклокерамики определяются только при одном виде нагружения, а именно при поперечном изгибе. Оценка качества производится по пределу прочности, рассчитанному по нормальным напряжениям.

Несомненно, наличие как растянутой, так и сжатой областей образца при изгибе дает некоторое представление о прочности материала. Однако для корректной оценки необходим правильный выбор схемы нагружения, относительных размеров образца, а также расчетных зависимостей.

В экспериментальной практике общепринятой является трехточечная схема нагружения образца, показанная на рис. 1.

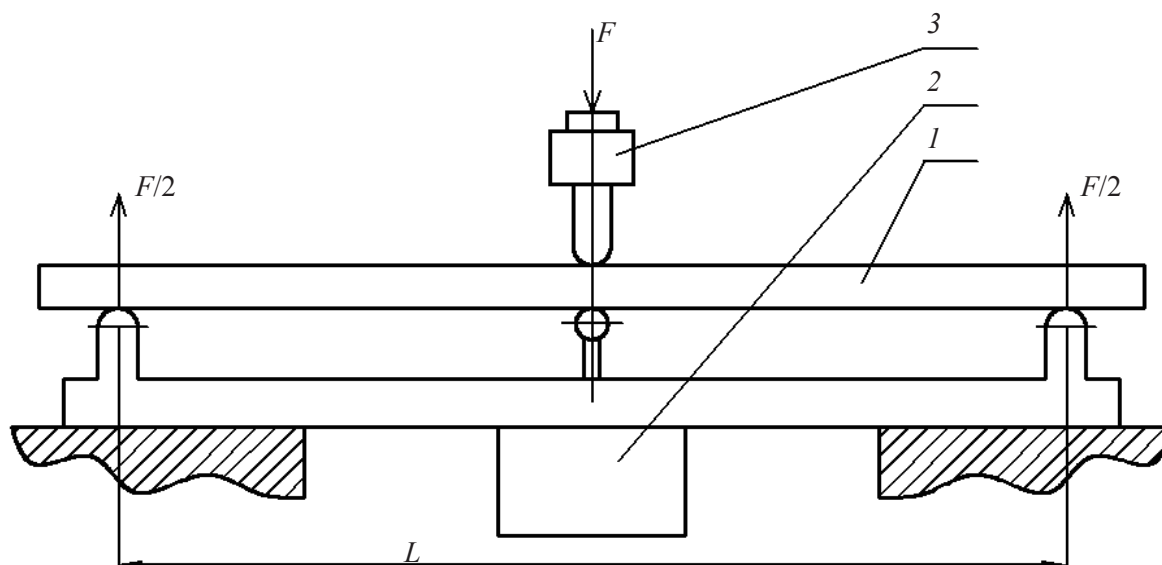


Рис. 1. Схема нагружения образца:

1 – образец, 2 – датчик прогиба (перемещения), 3 – силоизмерительный датчик

Ее очевидным достоинством является простота реализации. Однако наличие поперечной силы, действующей в образце l , помимо изгибающего момента, часто не учитывается, что приводит к значительной погрешности в оценке не только прочности, но и жесткости материала. Наиболее простой способ избежать этой погрешности состоит в уменьшении относительной толщины образца. Из сопротивления материалов известно, чем меньше высота сечения образца h при постоянной длине l , тем меньше влияние поперечной силы на ее прогиб и величину разрушающей нагрузки [1]. Для стеклокерамики отношение длины к высоте образца ограничивается технологическими возможностями. Относительно длинные образцы по разным причинам могут иметь искривленную ось, что недопустимо.

Известные нормативные документы: СТБ 51735–2002 [3], стандарт России ГОСТ Р 51735–2001 [4] (аутентичные в этой части ISO 6872–95 [5]) предписывают использовать образцы с $l/h = 15 / 5 = 3$. Как показывает расчет, при таких размерах образца его разрушение происходит от действия не только нормальных, но и в большей степени касательных напряжений. Поэтому предлагаемая в стандарте формула для вычисления нормальных напряжений предела прочности дает значительно заниженный результат.

В связи с изложенными замечаниями нами предлагается использовать образец с отношением $l/h = 40 / 3 = 13,3$. В этом случае общепринятые формулы для расчета как предела прочности, так и модуля Юнга при трехточечном изгибе дают погрешность менее 3 %, что вполне допустимо для решаемого круга задач.

Основная часть. Для проведения испытаний использовали призматические образцы с размерами $(40 \pm 2) \times (3 \pm 0,2) \times (8 \pm 0,3)$ мм.

Нагрузки образцов производили при помощи испытательного комплекса АИСК-2, созданного на базе разрывной машины ИР 5046-5. Целью доработки являлась автоматизация процесса испытания и обработки его результатов. Отличительная особенность новшеств заключалась в установке на машину двух дополнительных датчиков перемещения. Один из них (рис. 1, поз. 2) предназначен для измерения прогиба образца, другой – для контроля положения подвижной траверсы в режиме автоматического испытания. Кроме того, был установлен дополнительный датчик силы (рис. 1, поз. 3). Все датчики являются электронно-механическими, выполненными на базе тензорезисторов. Для их подключения к персональному компьютеру (ПК) использован многоканальный 16-разрядный аналого-цифровой преобразователь фирмы Advantech. Для связи датчиков с ПК, а также построения диаграмм деформирования и обработки результатов испытаний разработано и использовано специальное программное обеспечение.

Образцы испытывали на поперечный изгиб по трехточечной схеме нагружения. Радиусы опор и пуансона – 2 мм. Расстояние между опорами 36 мм. Скорость нагружения – 1 мм/мин.

Для измерения прогиба образца при его нагружении использовали датчик перемещения (рис. 1, поз. 2), шток которого контактировал с нижней поверхностью образца посередине пролета.

В процессе испытания производилось автоматическое построение и запись диаграммы деформирования образцов. Типичный вид такой диаграммы показан на рис. 2.

По оси абсцисс диаграммы снизу в миллиметрах откладывается прогиб по середине пролета образца. Сверху по той же оси в процентах обозначена максимальная относительная деформация образца в сечении посередине пролета.

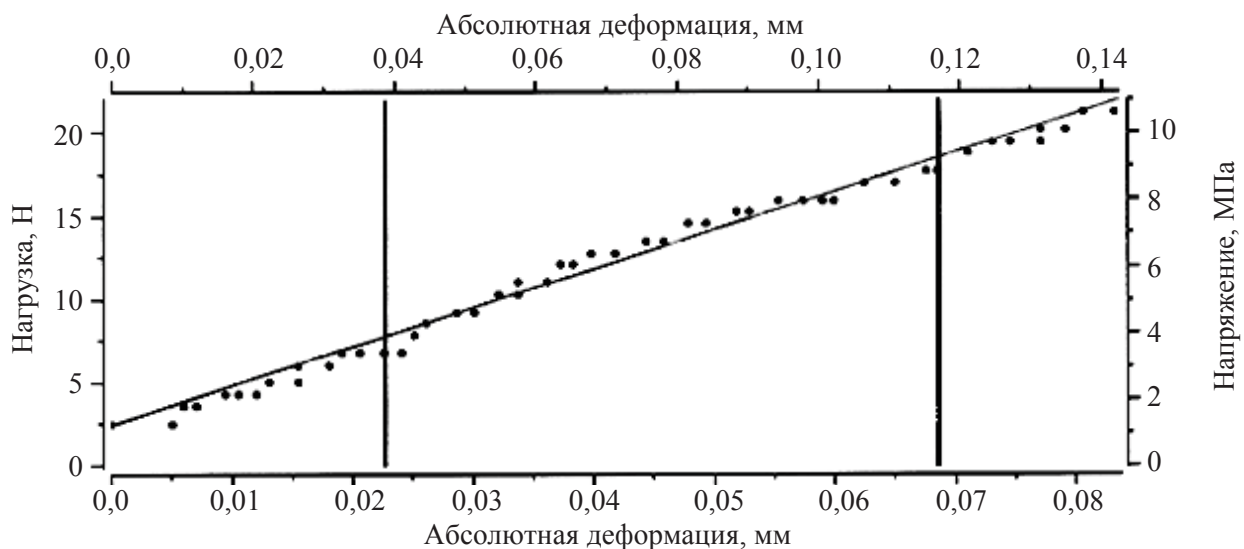


Рис. 2. Диаграмма нагружения образца

По оси ординат слева обозначена изгибающая сила (Н), а справа максимальное напряжение в срединном сечении образца (МПа).

Благодаря разработанному программному обеспечению расчет относительных параметров диаграммы производится в процессе ее записи.

Использование как абсолютных, так и относительных единиц деформации и внутренней силы на одном графике позволяет производить оценку механических свойств материала непосредственно во время эксперимента, что значительно ускоряет оценку результатов и повышает их надежность.

Кроме того, для расчета модуля Юнга программно выбирается наиболее линейный участок диаграммы. Этот участок обозначен на диаграмме двумя вертикальными линиями. Для оценки линейности используется метод наименьших квадратов. При несогласии оператора с предложенным интервалом имеется возможность изменить его границы.

Испытанию подвергались серии образцов по 10 штук для каждого типа материала.

Образцы готовили путем прессования под давлением 15 МПа стеклокерамических порошков, полученных из стекол в системе $K_2O - Li_2O - Al_2O_3 - SiO_2 - SnO_2 - ZrO_2$ с размером частиц менее 45 мкм, обожженных по определенному режиму с конечной температурой 930 °С и выдержкой при этой температуре 20 мин.

Вычисление предела прочности стеклокерамики при изгибе (МПа) производили по формуле

$$\sigma_{изг} = \frac{M_z^{max}}{W_z} = \frac{3 \cdot F^{max} \cdot a}{2 \cdot b \cdot h^2}, \quad (1)$$

где M_z^{max} – наибольший изгибающий момент, действующий в срединном сечении образца, Нм; M_z – осевой момент сопротивления поперечного сечения образца, мм³; F^{max} – разрушающее (наибольшее) усилие для образца, Н; a – расстояние между опорами, мм; b – ширина поперечного сечения образца, мм; h – высота поперечного сечения образца, мм.

Вычисление модуля упругости керамики E (МПа) производили по формуле

$$E = \frac{\Delta F \cdot a^3}{48 \cdot I_z \cdot \Delta y} = \frac{\Delta F \cdot a^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot \Delta y}, \quad (2)$$

где ΔF – приращение изгибающего усилия на линейном участке диаграммы, Н; I_z – осевой момент инерции сечения образца, мм⁴; Δy – приращение прогиба образца посередине пролета на участке с ΔF , мм.

Достаточно высокая точность определения и хорошая воспроизводимость результатов дают основания рекомендовать такую методику для разрабатываемых ТУ на стоматологическую стеклокерамику «Мигростек».

Заключение

1. Для оценки механических свойств стоматологической стеклокерамики следует определять не только прочность на изгиб, но и показатели жесткости, в частности модуль упругости.

2. При проведении испытаний стеклокерамики на изгиб по трехточечной схеме нагружения оптимальным является использование образцов с отношением $l/h \approx 10$. В этом случае минимизируется влияние поперечной силы.

Кроме того, снижается погрешность при использовании общепринятых расчетных зависимостей.

3. Автоматическая запись и обработка диаграмм деформирования образцов позволяют повысить оперативность и надежность эксперимента.

Литература

1. Феодосьев, В. И. Сопротивление материалов / В. И. Феодосьев. – М.: Наука, 1979. – 560 с.
2. Васильев, В. В. Механика конструкций из композиционных материалов / В. В. Васильев. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
3. Металлокерамика стоматологическая для зубного протезирования. Технические требования. Методы испытаний. – Введен впервые: СТБ 51735–2002. – Введ. 01.03.03. – Минск: Стандарт Беларуси, 2002. – 10 с.
4. Металлокерамика стоматологическая для зубного протезирования. Технические требования. Методы испытаний. – Введен впервые: ГОСТ Р 51735–2001. – Введ. 12.04.01. – М.: Госстандарт России, 2001. – 10 с.
5. Dental ceramic: ISO 6872: 1995 (E). – 10 p.