

## ВИДЫ СТОМАТОЛОГИЧЕСКОЙ КЕРАМИКИ

Полховский Д.М., ассистент кафедры ортопедической стоматологии БГМУ

Dental ceramic kinds  
Polkhovsky D.M.

**К**ерамические материалы широко применяются в стоматологии для изготовления различных видов зубных протезов. Термин «керамика» (от греч. *keramos* – глина, обожженная земля) объединяет большую группу неорганических неметаллических материалов, образуемых спеканием исходных компонентов под воздействием высокой температуры с последующим охлаждением. Этим термином обозначают как традиционные, изготавливаемые из естественной глины, так и новые виды материалов.

На основании особенностей оптических и механических свойств керамические материалы разделяют по области их применения на две группы: эстетические и структурные [4]. Эстетическая керамика своим внешним видом напоминает эмаль и дентин естественных зубов. С ее помощью можно полноценно восстановить утраченную форму и функцию зуба. Кроме того, эстетическая керамика используется для облицовки прочного несущего каркаса, изготовленного из структурной керамики или металлического сплава. Структурная керамика обладает высокой прочностью, однако из-за неудовлетворительных оптических свойств должна быть замаскирована эстетической керамикой.

Kelly предложил рассматривать любой вид стоматологической керамики как композитный материал, поскольку микроструктура готовых керамических изделий состоит из двух и более компонентов [6]. В зависимости от преобладания той или иной фазы выделяют стеклокерамику, высоконаполненную стеклокерамику и поликристаллическую керамику (рис. 1).

### Стеклокерамика

В готовом виде стеклокерамика состоит из гомогенной стекланной матрицы (до 80%), внутри которой равномерно распределены более тугоплавкие кристаллы (20–40%). Между компонентами преобладают ковалентные связи. Стеклокерамика по своим оптическим показателям максимально близка к естественной

эмали и дентину [4, 5]. Существует несколько ее видов: полевошпатная керамика; полевошпатная керамика, усиленная лейцитом; стеклокерамика на основе слюды; апатитная стеклокерамика.

*Полевошпатная керамика.* Основные компоненты ее состава: калиевый полевоый шпат (75–85%), кварцевое стекло (12–25%), белая глина (3–5%). В небольших количествах содержатся различные добавки, улучшающие технологичность обжига и придающие необходимые оптические свойства.

При температуре свыше 1000°C полевоый шпат плавится и превращается в аморфное калиевое алюмосиликатное стекло. Каолин и кварц, несмотря на более высокую температуру плавления, начинают взаимодействовать с расплавом полевого шпата. В результате после охлаждения образуется полупрозрачный и твердый материал. Преобладание аморфной стекланной матрицы, не способной к пластической деформации, обуславливает высокую хрупкость этих материалов [2, 6]. Примеры материалов на основе полевошпатной керамики: G-Cera Cosmotec 2 (GC Corp., Япония), VitaBlocs Mark II (VITA, Германия).

*Полевошпатная керамика, усиленная лейцитом.* Добавление 17–20% кристаллов природного лейцита позволило согласовать коэффициенты термического расширения облицовочной керамики и

металлического каркаса [3]. Разработан процесс контролируемого выращивания кристаллов лейцита при обжиге исходных компонентов. Искусственные кристаллы имеют более правильную форму, повышают прочность керамики и замедляют процесс распространения трещин внутри стекловидной фазы [6, 7]. В керамике, усиленной лейцитом, содержание кристаллов после охлаждения достигает 35–40%.

Примеры материалов на основе усиленной лейцитом керамики: Optec HSP (Jeneric Pentron, Германия/США), ProCAD и IPS Empress 1 (Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн), Fortress (Chameleon, США). Специально для облицовки керамических каркасов производится лейцитная керамика VITA VM 7 и VM 9 (VITA).

*Стеклокерамику на основе слюды* предложил использовать для изготовления керамических вкладок и коронок методом центробежного литья Grossman в 1973 г. Она производилась под названием DICOR фирмой Dentsply (США). При нагревании выше 940 °С в расплаве исходных компонентов начинают формироваться кристаллы тетрасиликатной фтористой слюды, которые имеют форму пластинок и после остывания образуют слоистые микроструктуры, повышающие конечную прочность [6]. Содержание кристаллической фазы составляло 50–55%. Материал обладал хорошими эсте-

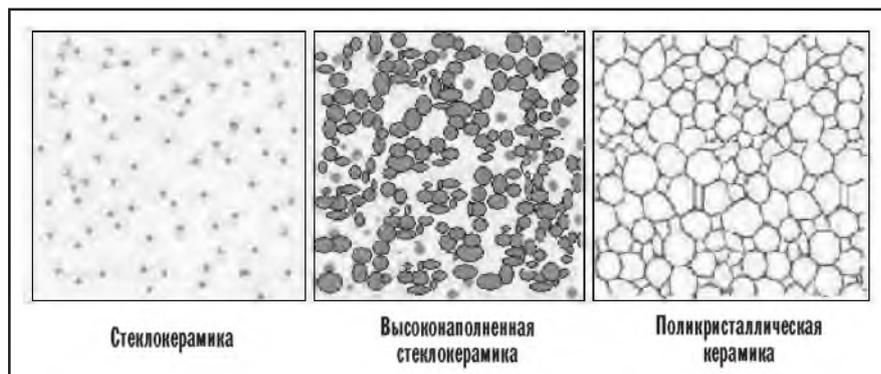


Рис. 1. Микроструктура трех видов стоматологической керамики по Kelly

тическими свойствами. Для изготовления искусственных коронок методом компьютерного фрезерования производился модифицированный вариант керамики DICOR MGC, с содержанием кристаллов слюды до 70 % [7].

*Апатитная стеклокерамика* не содержит полевого шпата. Внутри стекловидной матрицы, состоящей из синтетического алюмосиликатного стекла, в результате контролируемой кристаллизации формируются кристаллы фторапатита (19–23%). Этот вид керамики имеет высокие эстетические свойства и используется как для изготовления микропротезов, так и для облицовки керамических и металлических каркасов [3, 5].

Примеры апатитной керамики: Cera-Pearl (Kyocera Bioceram, Япония), Duceram LFC (DeguDent, Германия), IPS e.max Ceram и IPS e.max ZirPress (Ivoclar Vivadent).

#### **Высоконаполненная стеклокерамика**

Высоконаполненная стеклокерамика характеризуется повышенным (70–80% объема) содержанием тугоплавких частиц, обуславливающих её высокую прочность и малую прозрачность. Свободное пространство между частицами заполнено стекловидной фазой [1, 5]. Для достижения высокого содержания наполнителя в стеклянной матрице используется один из двух способов:

- 1) контролируемая кристаллизация расплавленного стекла (литий-дисиликатная керамика);
- 2) пропитывание расплавленным стеклом пористого каркаса, полученного предварительным спеканием кристаллов наполнителя (инфильтрированная стеклом керамика).

*Литий-дисиликатная керамика* в готовом виде на 70% состоит из кристаллов дисиликата лития и на 30% из модифицированного литием кварцевого стекла. Добавление в расплавленный кварц ионов лития снижает коэффициент температурного расширения и приводит к появлению внутренних напряжений сжатия после охлаждения. Это повышает прочность кварцевого стекла в 2–2,5 раза [4].

При нагревании исходных компонентов до 1255 °С и последующем охлаждении образуется аморфная стекловидная матрица. В результате повторного нагревания до 1200 °С в объеме стекловидной матрицы формируется до 40 % мелких округлых кристаллов метасиликата ли-

тия. Это повышает пластичность расплавленной массы [4].

Существует два варианта дальнейшей обработки материала. При первом расплавленную стекловидную массу прессуют под давлением в огнеупорные формы, где при 850–940 °С продолжается кристаллизация. Округлые кристаллы метасиликата лития трансформируются в игольчатые кристаллы дисиликата лития. Содержание таких кристаллов достигает 70% объема и обеспечивает высокую прочность.

Примеры литий-дисиликатной керамики для горячего прессования: IPS Empress 2 и IPS e.max Press (Ivoclar Vivadent), OPC 3G HS (Jeneric Pentron).

Второй вариант – промежуточное охлаждение, при котором образуются керамические заготовки, содержащие 40 % метасиликата лития. Меньшее содержание и размер частиц наполнителя обуславливают малую твердость и высокую хрупкость такой керамики. Частичная кристаллизация облегчает механическую обработку и позволяет использовать заготовки для фрезерования конструкций по CAD/CAM технологии. Во время заключительного обжига образуются кристаллы дисиликата лития, что придает керамике окончательную прочность. Компания Ivoclar Vivadent производит керамику IPS e.max CAD для обработки с помощью компьютерного фрезерования. Заготовки из такого материала окрашены в голубой цвет. После заключительного обжига они приобретают необходимую окраску и окончательную прочность [1].

*Инфильтрированная стеклом керамика.* Для спекания пористого каркаса используются различные виды кристаллов наполнителей, такие как оксид алюминия, шпинель, смесь из 70 % оксида алюминия и 30 % оксида циркония. Конструкции из такой керамики изготавливают двумя способами:

- 1) нанесение слоя шликера (водной взвеси кристаллов) на огнеупорную модель, сушка и окончательное спекание;
- 2) предварительное спекание кристаллов в заводских условиях в виде брусков (заготовок), придание окончательной формы с помощью фрезерования в CAD/CAM устройстве и окончательный обжиг.

Последующее пропитывание расплавленным стеклом, содержащим термостойкие красители, упрочняет

#### **История применения керамики в стоматологии**

Обжиг глиняных изделий с целью придать им твердость и водоустойчивость стал применяться около 5 тысяч лет до н. э. В VI–VII вв. на территории Китая была изобретена разновидность керамики, рецептура изготовления которой хранилась в секрете более 1000 лет. Посуда из нее отличалась чистым белым цветом, тонкими стенками и полупрозрачностью.

В XVI в. французские и итальянские ремесленники научились изготавливать фаянс (от итал. Faenza – город в Италии). Он отличался от китайского фарфора более высокой пористостью, непрозрачностью и меньшей механической прочностью, за что и получил второе название – мягкий фарфор. Удачную рецептуру европейского твердого фарфора разработали в 1705–1710 гг. в городке Майссен (Meissen, Германия).

Впервые предложил использовать фарфор для изготовления искусственных зубов французский врач Пьер Фошар. Осколок фарфоровой посуды предлагалось шлифовать до нужного размера и закреплять с помощью шелковой нити, тонкой проволоки и смолы на соседних зубах. Французский аптекарь Алекс Дюшато в результате экспериментов с составом и методикой обжига изготовил первые искусственные зубы из фарфора. В 1790-х гг. врач Никола Дюбуа де Шеман запатентовал в Великобритании и во Франции способ изготовления зубов из фаянса. Однако предложенные им зубные протезы не нашли широкого распространения из-за хрупкости и высокой стоимости.

Итальянский врач Giuseppangelo Fonzi в 1808 г. впервые применил фарфоровый зуб с закрепленным смолой штифтом из платины для восстановления корня разрушенного зуба. Он же разработал первую методику окрашивания фарфора в нужный оттенок и способ изготовления двухцветных искусственных фарфоровых зубов. Англичанин Claudius Ash в 1820 г. начал изготовление съемных протезов, состоящих из фарфоровых зубов, закрепленных на золотой пластине. В 1825 г. Stockton (США) первым налазил промышленное производство искусственных зубов из фарфора.

В 1885 г. американский врач Logan запатентовал способ индивидуального изготовления штифтового искусственного зуба, при котором

фарфоровая облицовка спекалась непосредственно на платиновом штифте. В 1889 г. Land запатентовал новый способ изготовления вкладок и искусственных коронок из фарфора. Он предложил послойно моделировать фарфоровые коронки на тонкой платиновой фольге, плотно обжатой вокруг гипсового штампика. После окончательного спекания фольга извлекалась. Изготовленная таким образом керамическая конструкция фиксировалась в полости рта пациента и обладала хорошим внешним видом.

Внедрив свои изобретения независимо друг от друга, Logan и Land наметили два основных направления использования керамики в производстве зубных протезов – облицовка металлических каркасов (металлокерамика) и безметалловые керамические конструкции.

В 1949 г. компания Dentist's Supply Company (США) разработала технологию вакуумного обжига, которая позволила уменьшить пористость и улучшить эстетические показатели стоматологического фарфора. Weinstein в 1962 г. запатентовал рецептуру фарфоровой облицовочной массы с добавлением лейцита, позволяющую согласовать различные коэффициенты термического расширения между металлическим каркасом и керамической облицовкой. Это привело к широкому распространению металлокерамических протезов.

McLean и Hughes в 1965 г. предложили добавлять в традиционную фарфоровую массу для придания ей большей прочности 50–70 % порошка из кристаллов оксида алюминия. В 1973 г. Grossman запатентовал методику литья керамических протезов из специально разработанной стеклокерамики DICOR. В 1985 г. Sadoun предложил упрочненную керамику In-Ceram, состоящую из алюмооксидной кристаллической решетки, пропитанной стеклом. Также в середине 1980-х появилась технология автоматизированного проектирования и производства керамических зубных протезов. Wohlwend и Schaefer в 1990 г. разработали технологию горячего прессования зубных протезов из упрочненной лейцитом стеклокерамики IPS Empress. В середине 1990-х годов в стоматологии для изготовления каркасов коронок и мостовидных протезов началось использование поликристаллических видов керамики, состоящих из оксида алюминия или диоксида циркония.

такие каркасы и придает им необходимый оттенок [7].

Примеры инфильтрированной керамики: три материала серии In-Ceram (VITA) – Alumina, Zirconia, Spinell.

**Оксид алюминия.** В стоматологии используются кристаллы оксида алюминия, синтезированные искусственно. При изготовлении пористых каркасов тугоплавкие кристаллы ( $t_{пл} = 2050^\circ\text{C}$ ) спекают при температуре около  $1120^\circ\text{C}$ . В результате формируется жесткий пористый каркас, который пропитывают суспензией из мелких частиц стекла, содержащего до 30% оксида лантана. При нагреве до  $1100^\circ\text{C}$  лантановое стекло становится жидким и заполняет поры между кристаллами оксида алюминия. После охлаждения образуется непрозрачный твердый материал, содержащий 70 % кристаллов и 30 % стекла. Каркас облицовывают низкотемпературной керамикой. Из этого вида керамики можно делать каркасы одиночных коронок и небольших (до трех единиц) мостовидных протезов во фронтальном отделе зубного ряда [1].

Смесь кристаллов, состоящая из 70% оксида алюминия и 30% диоксида циркония, обладает несколько большей прочностью на изгиб. Таков состав, например, материала In-Ceram Zirconia (VITA), который может использоваться при изготовлении каркасов мостовидных протезов в области жевательных зубов (протяженностью до трех единиц).

**Магнезиевая шпинель** благодаря своим оптическим свойствам и термостойкости ( $t_{пл} = 2135^\circ\text{C}$ ) также используется для изготовления пористых кристаллических каркасов. Конструкции полупрозрачные, что при последующей облицовке обеспечивает хорошие эстетические результаты. Однако ввиду высокой хрупкости такая керамика используется для восстановления только одиночных фронтальных зубов.

#### **Поликристаллическая керамика**

Поликристаллическая керамика характеризуется полным отсутствием аморфной стекловидной фазы. Микроструктура такой керамики характеризуется отсутствием пор, кристаллы плотно упакованы между собой. В отличие от стеклокерамики в поликристаллической керамике между атомами преобладают ионные связи. Это препятствует возникновению и распространению трещин, что делает материалы высокопрочными.

В стоматологии используется два вида поликристаллической керамики: на основе оксида алюминия и диоксида циркония. С появлением стоматологических CAD/CAM систем стало возможным изготовление индивидуальных зубных протезов из таких твердых материалов [1, 2, 6, 7].

**Поликристаллическая керамика из оксида алюминия.** Высокая твердость и тугоплавкость оксида алюминия усложняют технологический процесс производства индивидуальных конструкций в стоматологии. При нагревании выше  $1120^\circ\text{C}$  начинается спекание кристаллов и формирование пористой микроструктуры. Полученные на этом этапе конструкции могут быть использованы при изготовлении инфильтрированной стеклом керамики.

Для получения однородной поликристаллической микроструктуры необходимо продолжить нагревание до  $1530^\circ\text{C}$  и выдержать изделие при такой температуре 8–10 часов. При этом происходит плотное спекание кристаллов оксида алюминия, сопровождающееся объемной усадкой изделия до 20%. Именно это явление и было основным препятствием для изготовления зубных протезов из поликристаллических материалов.

С развитием компьютерных технологий в стоматологии удалось решить проблему объемной усадки [4]. Шведская компания Nobel Biocare с помощью своей CAD/CAM системы Procera в 1991 г. впервые изготовила точный керамический каркас для одиночной коронки, состоящий из чистого оксида алюминия. Методом фрезерования под управлением компьютера изготавливается увеличенная до необходимого объема пресс-форма. Из суспензии оксида алюминия прессуется колпачок, также увеличенный в объеме. После окончательного плотного спекания колпачок принимает необходимые размеры и на 100% состоит из оксида алюминия [1].

Дальнейшее развитие CAD/CAM систем позволило фрезеровать заранее увеличенные до необходимого объема конструкции из пористых заготовок, получаемых в заводских условиях путем частичного спекания кристаллов оксида алюминия.

Примеры таких материалов: VITA In-Ceram Al-Cubes (VITA) и inCoris Al (Sirona Dental Systems, Германия). Степень уве-

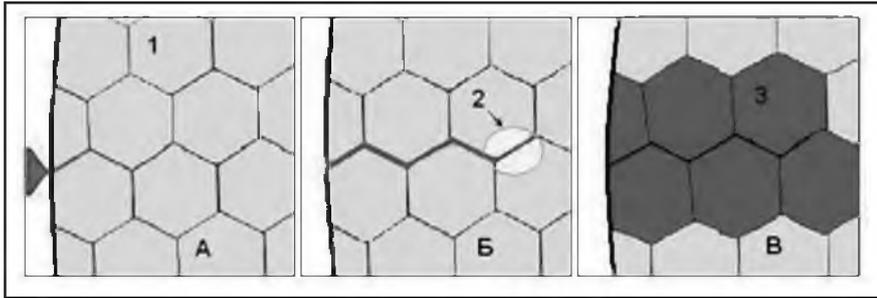


Рис. 2. Схема распространения трещины в керамике из кристаллов диоксида циркония

личения автоматически рассчитывается с помощью компьютера. По структуре такие блоки напоминают заготовки для инфильтрированной стеклом керамики и легко поддаются механической обработке. Проводимый после фрезерования обжиг приводит к окончательному спеканию кристаллов оксида алюминия и контролируемой усадке каркаса.

*Поликристаллическая керамика из диоксида циркония.* Этот материал начал использоваться в стоматологии благодаря светлой окраске и уникальным механическим свойствам [4, 6]. Существует три модификации кристаллов диоксида циркония:

- стабильная моноклинная форма;
- частично стабилизированная тетрагональная форма;
- нестабильная кубическая форма (фианиты).

При повышении температуры одна фаза переходит в другую, что сопровождается уменьшением объема кристаллов на 3–5%. Соответственно увеличивается твердость и появляются внутренние напряжения сжатия. Охлаждение вызывает обратный процесс, сопровождающийся увеличением объема кристаллов на 3–5% на каждом этапе. При комнатной температуре чистый диоксид циркония может существовать только в стабильной моноклинной форме, наименее прочной из трех форм.

Предварительно разогретые тетрагональные кристаллы в присутствии небольшого количества оксида иттрия и оксида гафния частично стабилизируются и могут быть охлаждены до комнатной температуры. Состояние тетрагональных

кристаллов в материале характеризуется как частично стабильное, поскольку возможна их трансформация в более стабильную моноклинную форму при чрезмерном внешнем воздействии (резкое нагревание, механическая нагрузка).

Такой фазовый переход сопровождается увеличением объема кристаллов на 3–5%, что локально повышает прочность керамики и стабилизирует микротрещину, замедляя её рост (рис. 2). Этот процесс называют трансформационной закалкой, или упрочнением в результате фазового перехода [4–6]. Под воздействием механической нагрузки на частично стабилизированные кристаллы диоксида циркония (1) формируются очаги внутренних напряжений сжатия (2). Это инициирует процесс перехода кристаллов в стабильную моноклинную форму (3). Происходящее при этом локальное увеличение объема кристаллов останавливает рост трещины.

Стоматологические конструкции из диоксида циркония можно изготовить только с помощью CAD/CAM технологии. Существует две разновидности такой обработки.

*1. Фрезерование диоксида циркония в твердом состоянии.* В заводских условиях в процессе горячего изостатического прессования кристаллы плотно спекаются в высокопрочные заготовки. Из этого материала можно изготавливать керамические каркасы протяженностью до 14 единиц. Однако механические свойства диоксида циркония являются одновременно и недостатком, поскольку обработка материала в высокопрочном состоянии чрезвычайно сложна.

Первой стоматологической CAD/CAM системой, позволившей изготовить протез из плотно спеченного оксида циркония была DCS (DCS Dental, Швейцария). В 2006 г. она была модифицирована и сейчас производится швейцарской компанией Bien Air Dental под названием Mill200. CAD/CAM система Everest (KaVo Dental, Германия) также может фрезеровать диоксид циркония в твердом состоянии.

*2. Фрезерование частично спеченного диоксида циркония.* В большинстве стоматологических CAD/CAM систем для фрезерования используются пористые заготовки, изготовленные частичным спеканием кристаллов диоксида циркония в промышленных условиях, чтобы предотвратить быстрый износ оборудования и инструментов.

Примеры таких керамических материалов: VITA In-Ceram YZ-Cubes (VITA), InCoris ZI (Sirona Dental Systems), IPS e.max ZirCAD (Ivoclar Vivadent). Объемная усадка конструкций после окончательного спекания (10 часов при 1530 °C) составляет 20–23%. Как и при фрезеровании блоков из чистого оксида алюминия, эта усадка компенсируется предварительно точно рассчитанным увеличением объема фрезеруемой детали.

Благодаря хорошей эстетике и биосовместимости керамические материалы все чаще используются в стоматологии. Применение технологии автоматизированного проектирования и производства предоставляет стоматологу широкие возможности для изготовления керамических зубных протезов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вольвач, С.И. // Новое в стоматологии. – 2002. – № 3в. – Спец. вып. – С. 47–75.
2. Трезубов, В.Н. Ортопедическая стоматология. Прикладное материаловедение. – СПб.: Спец. лит., 1999. – 324 с.
3. Хайнеберг, Б. // Новое в стоматологии. – 2002. – № 6. – С. 79–91.
4. Christensen, G. // J. Am. Dent. Assoc. – 2007. – Vol. 138. – P. 662–665.
5. Claus, H. // Новое в стоматологии. – 2002. – № 1. – С. 56–59.
6. Kelly, J. // J. Am. Dent. Assoc. – 2008. – Vol. 139. – P. 4S–7S.
7. Spear, F. // J. Am. Dent. Assoc. – 2008. – Vol. 139. – P. 19S–24S.