

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2014

УДК 615.46.03:616.314-089.28

Анисимова С.В.<sup>1</sup>, Лебеденко И.Ю.<sup>1</sup>, Левин В.М.<sup>2</sup>, Макарычев Ю.Б.<sup>3</sup>, Подзорова Л.И.<sup>4</sup>, Хван В.И.<sup>1</sup>, Мороков Е.С.<sup>2</sup>**ИЗУЧЕНИЕ ЗОНЫ КОНТАКТА И ПРОЧНОСТИ СЦЕПЛЕНИЯ  
НАНОСТРУКТУРИРОВАННОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ  
С ОБЛИЦОВОЧНЫМ МАТЕРИАЛОМ В ЦЕЛЬНОКЕРАМИЧЕСКИХ ЗУБНЫХ  
ПРОТЕЗАХ**

<sup>1</sup>ГБОУ ВПО Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова Минздрава России, 127473, Москва; <sup>2</sup>ФГБУ Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, 119334, Москва; <sup>3</sup>Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, 119991, Москва; <sup>4</sup>ФГБУ Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, 119991, Москва

*С помощью метода акустической микроскопии исследована микроструктура в зоне контакта наноструктурированной керамики на основе диоксида циркония с облицовочной стеклокерамикой. Определена зависимость прочности сцепления от пористости керамики на основе диоксида циркония, обожженной при 1450 и 1530°C. Установлено, что пористость керамики № 1 на основе диоксида циркония из нанопорошков с плотными агломератами, обожженной при 1450°C, значительно снизилась после обжига при 1530°C и составила: 0% – открытая пористость, 3% – закрытая пористость, в то время как керамика № 2 из мягких агломератов после обжига при 1530°C была практически беспористой. Определение прочности сцепления наноструктурированных керамик на основе диоксида циркония № 1 и № 2 с облицовочным материалом IPS e.max Ceram показало, что прочность сцепления керамики № 2 с относительной плотностью > 99% значительно выше, чем у керамики № 1. Прочность сцепления керамики № 2 со стеклокерамикой IPS e.max Ceram практически такая же, как у керамики IPS e.max ZirCAD. Посредством акустических характеристик и механических испытаний выявлена экспоненциальная зависимость прочности сцепления керамики на основе диоксида циркония со стеклокерамикой.*

Ключевые слова: керамика; диоксид циркония; микроструктура; акустическая микроскопия; нанопорошок; прочность сцепления.

Anisimova S.V.<sup>1</sup>, Lebedenko I.Yu.<sup>1</sup>, Levin V.M.<sup>2</sup>, Makarychev Yu.B.<sup>3</sup>, Podzorova L.I.<sup>4</sup>, Khvan V.I.<sup>1</sup>, Morokov E.S.<sup>2</sup>

**STUDY OF THE ZONE CONTACT AND ADHESION OF NANOSTRUCTURED CERAMICS ON THE BASIS OF ZIRCONIUM DIOXIDE WITH A FACING MATERIAL IN ALL-CERAMIC DENTAL PROSTHESES**

<sup>1</sup>A. I. Evdokimov Moscow state medical dental University, Ministry of health of Russia, 127473, Moscow, Russia; <sup>2</sup>N.M. Emanuel Moscow Institute of biochemical physics RAS, 119334, Moscow, Russia; <sup>3</sup>A.N. Frumkin, Institute of physical chemistry and electrochemistry RAS, 119991, Moscow, Russia; <sup>4</sup>A.A. Baikov, State of Institute of metallurgy and materiology RAS, 119991, Moscow

*The microstructure had researched in contact area of nanostructured ceramic based on zirconium dioxide with the covering glassceramic by method of acoustic microscopy. Have determined the dependence of the adhesion strength from porosity of ceramic, burned at 1450°C and 1530°C. Revealed, that porosity of ceramic number 1 based of zirconia from nanopowders with dense agglomerates, burned at 1450°C, significantly decreased after burn at 1530°C and amounted to 0% open porosity, closed porosity of 3%, while the ceramics number 2 with soft agglomerates after firing at 1530°C virtually non-porous. Determination of adhesive strength of nanostructured ceramics zirconia number 1 and number 2 c facing material IPS e.max ceram showed that the adhesion strength ceramics number 2 with a relative density of more than 99% is significantly higher than the number of ceramics 1. Adhesion strength ceramics number 2 with glass-IPS e.max Ceram is almost the same as that of ceramic IPS e.max ZirCAD. By the using of the acoustic characteristics and mechanical tests have founded exponential dependence of the adhesion strength of ceramic based on zirconium dioxide with glassceramic.*

Key words: ceramic; zirconium dioxide; microstructure; acoustic microscopy; nanopowder; adhesion strength.

При изготовлении эстетичных цельнокерамических зубных протезов на каркас из непрозрачной прочной керамики на основе диоксида циркония наносится полупрозрачный стеклокерамический облицовочный материал.

Требование к эстетичности зубных протезов предъявляется наряду с требованием к их прочности, которая

зависит от прочности материалов каркаса и покрытия, прочности соединения этих материалов и ряда других факторов [1].

В процессе спекания частиц порошка облицовочной стеклокерамики происходит соединение покрытия с каркасом, плотное сцепление облицовки с керамикой на основе диоксида циркония. В зоне контакта двух материалов возникает адгезионный слой. Прочность сцепления на границе этих материалов непосредственно зависит от качества адгезионного слоя.

Частые сколы облицовки цельнокерамических

Для корреспонденции: Анисимова Светлана Васильевна, labmat@mail.ru

протезов послужили основанием для многих исследований на сопротивление разрушению облицовочных материалов, проведенных различными методами [2–4].

Разработанная в Институте металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН методика синтеза стабилизированного тетрагонального диоксида циркония позволила совместно с Московским государственным медико-стоматологическим университетом создать наноструктурированные керамические материалы, отвечающие токсикологическим и санитарно-химическим требованиям к материалам медицинского назначения [5, 6].

Созданные керамики на основе диоксида циркония предполагается применять для каркасов цельнокерамических зубных протезов, изготовленных методом компьютерного фрезерования и облицованных стеклокерамикой [7].

Имеются сообщения об исследованиях, посвященных анализу отрыва облицовки диоксид циркониевых коронок с помощью электронной микроскопии и других методов, однако оценка структуры зоны контакта не проводилась [3, 8].

Изучение микроструктуры границы раздела керамики с облицовочным материалом, выявление в зоне контакта областей потери адгезии безусловно являются актуальной задачей дальнейших исследований.

На прочность адгезионного слоя может также влиять пористость в объеме керамического каркаса, изготовленного методом компьютерного фрезерования из блоков керамики на основе диоксида циркония.

В Институте биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН методом импульсной акустической микроскопии проведены исследования пористости в объеме керамики на основе диоксида циркония и микроструктуры в зоне контакта материалов каркаса и облицовочного материала и выявление областей потери адгезии в зоне плотного контакта керамических материалов.

Прочность сцепления керамики на основе диоксида циркония с облицовочной стеклокерамикой определяли в Институте физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН.

По результатам исследований установлена зависимость прочности сцепления керамических материалов от микроструктуры области плотного контакта и определено влияние различной пористости керамики на основе диоксида циркония на прочность сцепления со стеклокристаллическим покрытием.

## Материал и методы

Использовали материалы на основе диоксида циркония ( $ZrO_2$ ), полученные золь-гель-методом из нанопорошков при одновременном осаждении компонентов и стабилизированные в тетрагональной модификации путем введения оксида иттербия.

Двумя различными способами были получены нанокерамики на основе тетрагонального диоксида циркония различной пористости.

Образцы из двух керамик размером 2x5x16 мм предварительно спекали в электропечи при 1450°C, а затем в вакуумной электропечи VITA ZYgomat при конечной температуре 1530°C.

В качестве облицовочного материала использовали стеклокерамику IPS e.max Ceram фирмы “Ivoclar Vivadent”. Это низкотемпературная фторапатитовая стеклокерамика. Оптические свойства материала обеспечиваются кристаллами фторапатита длиной 1–2 мкм.

На образцы из керамики на основе диоксида циркония размером 2x5x16 мм наносили облицовочную стеклокерамику IPS e.max Ceram площадью 5x5 мм. Облицовочный материал обжигали в соответствии с инструкцией изготовителя.

Одновременно на образцах такого же размера проводили испытания импортной керамики марки IPS e.max ZirCAD с облицовочным материалом IPS e.max Ceram фирмы “Ivoclar Vivadent”.

Качественный анализ фазового состава образцов на выявление стабилизированного тетрагонального диоксида циркония проводили на дифрактометре XRD-6000 (фирма “Shimadzu”) при излучении  $Cu_{K\alpha}$  ( $\lambda = 1,54 \text{ \AA}$ ) в интервале углов  $2\theta = 26\text{--}78^\circ$  с шагом сканирования  $0,02^\circ$  с идентификацией по Международному банку стандартов (JCPDS).

Относительную плотность и пористость спеченных образцов керамики определяли методом гидростатического взвешивания.

Для исследования микроструктуры в зоне контакта материалов каркаса и облицовочного материала и выявления областей потери адгезии в зоне плотного контакта керамических материалов применяли метод импульсной акустической микроскопии на акустическом микроскопе SIAM-1. Использовали линзу с рабочей частотой 50 МГц и угловой апертурой  $11^\circ$  с ультракоротким зондирующим импульсом шириной 40 нс.

В основе метода лежит зондирование образца ультразвуковыми импульсами (1–1,5 колебания в импульсе) высокочастотного (50–100 МГц) фокусированного ультразвука. Нахождение временных интервалов между эхо-сигналами на эхограмме в фиксированном положении акустического объекта позволяет определять время задержки для импульсов, отраженных на разной глубине.

Неразрушающий метод акустической микроскопии позволяет оценивать прочность зоны контакта двух материалов, не подвергая образцы механическому воздействию, а в последующем и зубные протезы.

Прочность сцепления определяли методом скола с помощью устройства с клинообразным ножом, перемещающимся вдоль пластины. Устройство создавало усилие на основании боковой стороны стеклокерамического покрытия. При определенном усилии наблюдался отрыв покрытия от основы, которое фиксировалось с помощью манометра. Прочность сцепления является отношением силы отрыва покрытия от керамики на основе диоксида циркония к площади стеклокерамического покрытия.

## Результаты и обсуждение

Проводили исследование микроструктуры в зоне контакта материалов каркаса и облицовочного материала, выявляли области потери адгезии в зоне плотного контакта керамических материалов, определяли прочность сцепления керамики с облицовочным материалом и зависимость прочности сцепления от пористости керамических материалов и микроструктуры области плотного контакта.

Для оценки влияния плотности и пористости керамики на основе диоксида циркония, обожженной при 1450 и 1530°C, на прочность ее сцепления с облицовочной стеклокерамикой нами были исследованы 2 партии разработанной керамики, стабилизированной оксидом иттербия.

Для исследования подготовлены 2 партии нанопорошков различного зернового состава с плотными или мягкими агломератами, полученные после термообработки прекурсором при 950°C.

Анализ качественного фазового состава образцов двух партий на выявление в них стабилизированного тетрагонального диоксида циркония, проведенный рентгенофазовым методом на дифрактометре, показал, что ма-

териалы представляют собой твердый раствор на основе тетрагонального  $ZrO_2$ .

С целью изучения влияния пористости керамики на прочность сцепления со стеклокерамической облицовкой из двух партий нанопорошков двумя различными способами получали керамики № 1 и № 2 с различной пористостью. Керамики обжигали при 1450°C.

Плотность и пористость полученных двух партий керамик определяли методом гидростатического взвешивания.

Из нанопорошков с плотными агломератами получена керамика № 1 с плотностью ( $\rho$ ) 5,9399 г/см<sup>3</sup>, открытой пористостью 0,5% и закрытой пористостью 5%. При мягких агломератах получена керамика № 2 с плотностью 6,1379 г/см<sup>3</sup>, открытой пористостью 0,1% и закрытой пористостью 0,5%.

Из керамик двух партий, обожженных при температуре 1450°C, были изготовлены образцы размером 2x5 x16 мм, на которые наносили облицовочное стеклокерамическое покрытие IPS e.max Segam фирмы "Ivoclar Vivadent" площадью 5x5 мм и обжигали в вакуумной электропечи по инструкции изготовителя.

Поскольку каркасы зубных протезов из керамик на основе диоксида циркония после компьютерного фрезерования обжигают при 1530°C, другую часть образцов керамик № 1 и № 2, обожженных при 1450°C, в дальнейшем обжигали при 1530°C и также наносили стеклокерамику площадью 5x5 мм.

Определение плотности образцов керамики, обожженных при 1530°C после предварительного спекания при 1450°C, показало, что плотность керамики № 1 незначительно возросла (относительно 5,9399 г/см<sup>3</sup>) и составила 5,9819 г/см<sup>3</sup>. Плотность керамики № 2 возросла с 6,1379 до 6,1549 г/см<sup>3</sup>. Пористость при этом уменьшилась. Для керамики № 1 открытая пористость составила 0%, закрытая пористость – 3%, относительная плотность – 97%. Для керамики № 2 открытая пористость – 0%, закрытая пористость – 0,01% и относительная плотность – > 99%. Получена практически беспористая керамика.

Для исследования зоны контакта образцов керамик № 1 и № 2 размером 2x5x16 мм покрытых стеклокерамикой IPS e.max Segam, обожженных при 1450°C и 1530°C, структуры керамик, а также выявление внутренних дефектов и областей потери адгезии в зоне контакта использовали акустический микроскоп. Образцы располагали керамической поверхностью к акустическому объективу, при этом стеклокерамическое покрытие находилось снизу керамики. Зону контакта изучали сквозь объем керамик № 1 и № 2.

Были измерены продольная ( $C_L$ ) и поперечная ( $C_T$ ) скорости звука у исследованных образцов. Микроструктура керамических образцов, а именно наличие и количество микропор в объеме, влияет на значения  $C_T$  и плотность материала.

Для каждого образца делали два С-скана, отображающих структуру зоны контакта с шагом 50 мкм, и два поперечных В-скана, отображающих поперечный срез образца по двум перпендикулярным направлениям.

Были получены акустические изображения зоны контакта, и значения ам-

Таблица 1. Прочность сцепления керамик с облицовочной стеклокерамикой

Керамика	Прочность сцепления, МПа	
	1450°C	1530°C
№ 1	9	14
	8	16
	6	14
	20	24
	14	18
	16	20
№ 2	22	30
	14	28
	12	24
	20	30
IPS e.max ZirCAD	24	28
	16	32
		30
		26
		24
		28
		24
		28

плитуд сигнала на границе раздела керамика–вода и керамика–облицовочный материал. У всех образцов, обожженных при 1450°C, в объеме стеклокерамического материала были видны дефекты вблизи зоны контакта.

Самой высокой плотностью обладали образцы керамики № 2, обожженной при 1530°C; структура образцов однородная, включает поры размером до нескольких десятков микрон.

Образцы, обожженные при 1530°C, на границе раздела двух материалов имеют дополнительный буферный слой, обеспечивающий более плотный контакт керамики и облицовочного материала. Благодаря хорошему контакту керамики с буферным слоем на С-сканах виден рельеф керамической поверхности. В зоне контакта присутствовали области с точечными дефектами в приповерхностном слое стеклокерамического материала.

Объемная микроструктура керамики IPS e.max

Таблица 2. Значения продольной и поперечной скоростей, плотности керамик, относительные значения амплитуд сигналов и значения прочности сцепления керамик № 1 и № 2 после обжига при 1530°C

Керамика	$C_L$ , км/с	$C_T$ , км/с	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	A1	A2	$\Delta$	Прочность сцепления ( $\Omega$ ), МПа
№ 1	6,837	3,521	5,9819	2026	2967	0,683	14
				3087	4132	0,747	16
				943	2695	0,372	24
				2730	4009	0,681	20
№ 2	7,003	3,566	6,1549	2545	4264	0,597	30
				1678	3976	0,422	32
				2633	4397	0,599	28
				2615	4248	0,616	20
				1988	3996	0,497	28

Таблица 3. Значения продольной и поперечной скоростей, плотности керамик, относительные значения амплитуд сигналов и значения прочности сцепления керамик № 1 и № 2 после обжига при 1450°C

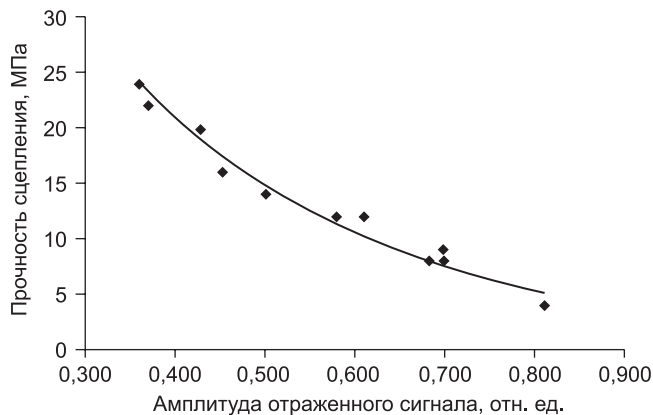
Керамика	$C_L$ , км/с	$C_T$ , км/с	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	A1	A2	$\Delta$	Прочность сцепления ( $\Omega$ ), МПа
№ 1	6,875	3,579	5,9399	1553	2227	0,697	9
				1784	2549	0,700	8
				1809	2230	0,811	6
				1890	2774	0,681	20
				1872	2740	0,683	14
				1439	2357	0,611	16
№ 2	6,942	3,510	6,1379	935	2526	0,370	22
				1416	2822	0,502	14
				1667	2878	0,579	12
				1112	2597	0,428	20
				941	2621	0,359	24
				1169	2585	0,452	16

ZirCAD характеризуется равномерным распределением пор, иногда отмечается скопление мелких пор.

В большинстве случаев стеклокерамический материал IPS e.max Ceram показал хорошие адгезионные свойства при нанесении его на керамику IPS e. max ZirCAD. Граница контакта между двумя материалами однородная, местами видны незначительные дефекты адгезии.

После исследования зоны контакта керамики на основе диоксида циркония с облицовочной стеклокерамикой проводили механические испытания прочности сцепления керамики со стеклокерамикой и определяли взаимосвязь результатов акустических и механических испытаний.

Сцепление керамики на основе тетрагонального диоксида циркония с облицовочной стеклокерамикой происходит в результате вакуумного обжига при температуре спекания стеклокерамики с образованием жидкой фазы. При остывании наблюдается прочное сцепление покрытия с каркасом протеза. Прочность сцепления наряду с другими факторами зависит от состояния поверхности керамики на основе диоксида циркония и, возможно, от пористости керамики.



Взаимосвязь прочности сцепления и относительной амплитуды отраженного сигнала.

По оси абсцисс – амплитуда отраженного сигнала, отн. ед.; по оси ординат – прочность сцепления керамики на основе диоксида циркония и облицовочной стеклокерамики, МПа.

Диоксид циркония после высокотемпературного обжига при 1530°C имеет плотно упакованную тетрагональную структуру с очень низкой концентрацией дефектов в объеме кристаллической решетки и на границах зерен. Диффузия компонентов облицовочной стеклокерамики в приповерхностный объем керамики на основе диоксида циркония и образование химических связей при спекании затруднены, поэтому на границе покрытия и основы зона взаимной диффузии и химического взаимодействия имеет небольшую протяженность. В связи с этим адгезия покрытия к поверхности диоксида циркония значительно ниже, чем к металлам. Компоненты стеклокерамики, заполняя при

спекании поры каркаса, очевидно, не образуют химических соединений с диоксидом циркония в силу его высокой химической стойкости.

В табл. 1 приведены результаты определения прочности сцепления керамик № 1 и № 2 на основе диоксида циркония с облицовочным материалом IPS e.max Ceram в сравнении с прочностью сцепления IPS e.max ZirCAD с IPS e.max Ceram.

После акустических исследований зоны контакта керамики на основе диоксида циркония с облицовочной стеклокерамикой и механических испытаний прочности сцепления материалов мы определяли взаимосвязь результатов акустических и механических испытаний.

По акустическим изображениям зоны контакта и значениям амплитуд сигнала на границе раздела керамика–вода и керамика–облицовочный материал были рассчитаны относительные значения амплитуды отраженных сигналов:

$$\Delta = A1/A2,$$

где  $A1$  – амплитуда сигнала, отраженного от границы между керамикой и облицовочным материалом; в расчет брали среднее значение амплитуды в трех точках;  $A2$  – амплитуда сигнала, отраженного от границы между керамикой и иммерсионной жидкостью.

В табл. 2 и 3 представлены значения продольной и поперечной скоростей, плотности керамик, относительные значения амплитуд сигналов и значения прочности сцепления, полученные при механических испытаниях образцов, обожженных при 1530 и 1450°C.

При измерении относительных значений амплитуд сигналов у образцов 1-й группы (обжиг при 1450°C) оказалось, что уменьшение значения амплитуд сигналов соответствовало более высоким значениям прочности сцепления.

По полученным данным был построен график и найдена экспоненциальная зависимость:

$$\Omega = 83,38 \exp(-3,43 \Delta).$$

На рисунке показана экспоненциальная зависимость относительной амплитуды отраженного сигнала ( $\Delta$ ) и прочности сцепления ( $\Omega$ ) керамики на основе диоксида циркония и облицовочной стеклокерамики.

Выявленная нами экспоненциальная зависимость относительной амплитуды сигнала и прочности сцеп-

пления керамики на основе диоксида циркония с облицовочной стеклокерамикой  $\Omega = 83,38 \exp(-3,43 \Delta)$  позволит по результатам акустических исследований находить значения расчетной прочности сцепления материалов.

### Заключение

Установлено, что пористость керамики на основе диоксида циркония № 1, полученной из нанопорошков с плотными агломератами и обожженной при 1450°C, значительно снизилась после обжига при 1530°C и составила: 0% – открытая пористость, 3% – закрытая пористость, в то время как керамика № 2 из мягких агломератов, позволяющих при высоких температурах закрыть пористость керамики, после обжига при 1530°C практически беспористой.

Исследование микроструктуры в зоне контакта наноструктурированной керамики на основе тетрагонального диоксида циркония с облицовочной стеклокерамикой показало, что у всех образцов керамик № 1 и № 2, обожженных при 1450°C, в объеме стеклокерамического материала видны дефекты вблизи зоны контакта. Самой высокой плотностью обладают образцы керамики № 2, обожженной при 1530°C; структура образцов однородная, включает поры размером до нескольких десятков микрон. В зоне контакта присутствуют области с точечными дефектами в приповерхностном слое стеклокерамического материала.

В большинстве случаев стеклокерамический материал IPS e.max Ceram показал хорошие адгезионные свойства при нанесении на керамику IPS e.max ZirCAD. Граница контакта между двумя материалами однородная, местами видны незначительные дефекты адгезии.

При определении прочности сцепления наноструктурированных керамик на основе диоксида циркония № 1 и № 2 с облицовочным материалом IPS e.max Ceram установлено, что прочность сцепления керамики № 2 с относительной плотностью > 99% значительно выше, чем керамики № 1. Прочность сцепления керамики № 2 со стеклокерамикой IPS e.max Ceram практически такая же, как у керамики IPS e.max ZirCAD.

Выявленная нами экспоненциальная зависимость относительной амплитуды сигнала и прочности сцепления керамики на основе диоксида циркония с облицовочной

стеклокерамикой позволит по результатам акустических исследований находить значения расчетной прочности сцепления материалов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Лебеденко И.Ю., Каливрадзьян Э.С., ред. Ортопедическая стоматология: Учебник. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2011.
5. Лебеденко И.Ю., Хван В.И., Анисимова С.В., Лебеденко А.И., Михайлина Н.А., Подзорова Л.И. и др. Диоксид циркония в стоматологическом материаловедении. Российский стоматологический журнал. 2010; 2: 4–6.
6. Шевченко В.Я., Глушкова В.Б., Панова Т.И., Подзорова Л.И. Получение ультрадисперсных порошков тетрагонального твердого раствора в системе  $ZrO_2-Ce_2O_3$ . Неорганические материалы. 2001; 37 (7): 821–7.
7. Лебеденко И.Ю., Арутюнов С.Д., Ибрагимов Т.И., ред. CEREC-технология реставрации зубов. М.: ООО «Новик»; 2012.
8. Закутайлов К.В., Левин В.М., Петронюк Ю.С. Ультразвуковые методы высокого разрешения: визуализация микроструктуры и диагностика упругих свойств современных материалов (обзор). Заводская лаборатория. 2009; 75 (8): 28–34.

### REFERENCES

1. Lebedenco I.Yu., Kalivradzhiyan E.S., eds. Prosthetic dentistry: A textbook. Moscow: GEOTAR-Media; 2011 (in Russian).
2. Choi J.E., Waddell J.N., Torr B. Comparison of crystalline phases present, adhesion to a zirconia system and flexural strength. Dent. Materials. 2011; 27 (12): 1204–12.
3. Panadero R.A., Font A.F. et al. A preliminary comparative analysis of ceramic veneer behavior. Int. J. Prosthodont. 2012; 25: 294–300.
4. Sailer I., Gottnerb J., Kanelb S. Randomized controlled clinical trial of zirconia-ceramic and metal-ceramic posterior fixed dental prostheses: A 3-year follow-up. Int. J. Prosthodont. 2009; 22: 553–60.
5. Lebedenko I.Yu., Khvan V.I., Anisimova S.V., Lebedenko A.I., Mikhailina N.A., Podzorova L.I. et al. Zirconia in dental materials science. Rossiyskiy stomatologicheskii zhurnal. 2010; 2: 4–6 (in Russian).
6. Shevchenko V.Ya., Glushkova V.B., Panova T.I., Podzorova L.I. Preparation of ultrafine powders tetragonal solid solution in the system  $ZrO_2-Ce_2O_3$ . Neorganicheskie materialy. 2001; 37 (7): 821–7 (in Russian).
7. Lebedenko I.Yu., Arutyunov S.D., Ibragimov T.I. CEREC-technology dental restoration. Moscow: ООО “Novik”; 2012 (in Russian).
8. Zakutaylov K.V., Levin V.M., Petronyuk Yu.S. Ultrasonic methods of high resolution digital imaging and diagnostics microstructure of the elastic properties of advanced materials (review). Zavodskaya laboratoriya. 2009; 75 (8): 28–34 (in Russian).

Поступила 22.12.13

Received 22.12.13