

Научно-исследовательский журнал «*Chemical Bulletin*»

<https://cb-journal.ru>

2025, Том 8, № 4 / 2025, Vol. 8, Iss. 4 <https://cb-journal.ru/archives/category/publications>

Научная статья / Original article

УДК 666.3.016

DOI: 10.58224/2619-0575-2025-8-4-1

Разработка и исследование составов для получения функциональных керамических композиционных материалов

¹ Сыса О.К.,

¹ Дороганов В.А.,

¹ Дудина Е.И.,

¹ Локтионова Е.В.,

¹ Ястребинский Р.Н. *,

¹ Бондаренко Н.И.,

² Белоусова А.А.,

¹ Мишин Д.П.,

¹ Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,

² АО «Опытно-экспериментальный завод «ВладМиВа»,

* Ответственный автор E-mail: yrndo@mail.ru

Аннотация: в результате проведенной работы авторами исследована смесь для получения керамического адгезива марки Cerat Bond торговой марки Bredent (Германия). Исследована микроструктура исходного порошка и покрытия на его основе после спекания при температуре 980 °С. Полученные составы легко манипулируемы в производственных условиях и обладают оптимальными технологическими свойствами.

Цели: исследовать и разработать новые и эффективные составы масс функционально-керамических покрытий, используемых для стоматологического протезирования, которые соответствовали бы требованиям высокого качества и долговечности.

Методы. Были использованы методы аналитической и экспериментальной химии, а также применены современные приборы и оборудование. Химический и фазовый состава исследовался с применением рентгенофлуоресцентного спектрометра. Элементный состав экспериментальных образцов определялся с помощью энергодисперсионной приставки к растровому электронному микроскопу. Гранулометрический состав масс был определен с использованием метода лазерной дифрактометрии. Микроструктуру порошка и керамического адгезива исследовали с помощью растрового электронного микроскопа. Структура покрытий фиксировалась с помощью оптического микроскопа. Приготовление керамического адгезива осуществлялось методом мокрого помола. Определение водопоглощения, открытой пористости и кажущейся плотности проводилось с помощью вакуумной камеры, соединенной с вакуумным насосом.

Результаты. Проведен анализ основных физико-механических характеристик образца смеси в пастообразном состоянии марки Cerat Bond, торговой марки Bredent (Германия). Разработаны составы экспериментальных образцов, определены их физико-механические свойства, а также выявлены преимущества и недостатки введения в состав боя листового стекла и кварца плавленного. Установлено, что покрытия на основе адгезива марки Cerat Bond характеризуется наличием большого количества микротрещин, а экспериментальные составы отличаются незначительным количеством или полностью отсутствием микротрещин, что свидетельствует о его более высоком качестве.

Выводы. Разработаны экспериментальные составы для получения керамических адгезивов на основе кварца плавленного и боя листового стекла. Установлено, что покрытия на основе адгезива марки Cerat Bond характеризуется наличием большого количества микротрещин, а разработанные составы отличаются незначительным количеством или полным отсутствием микротрещин, что свидетельствует об их более высоком качестве.

Ключевые слова: адгезив, керамика, порошок, стоматология, покрытие, металлокерамика, микротвердость, зерновой состав

Для цитирования: Сыса О.К., Дороганов В.А., Дудина Е.И., Локтионова Е.В., Ястребинский Р.Н., Бондаренко Н.И., Белоусова А.А., Мишин Д.П. Разработка и исследование составов для получения функциональных керамических композиционных материалов // Chemical Bulletin. 2025. Том 8. № 4. 1. DOI: 10.58224/2619-0575-2025-8-4-1

Поступила в редакцию: 2 июня 2025 г.; Одобрена после рецензирования: 25 августа 2025 г.; Принята к публикации: 23 октября 2025 г.

Development and research of formulations for the production of functional ceramic materials

¹ Sysa O.K.,
¹ Doroganov V.A.,
¹ Dudina E.I.,
¹ Loktionova E.V.,
¹ Yastrebinsky R.N.,
¹ Bondarenko N.I.,
² Belousova A.A.,
¹ Mishin D.P.,

¹ Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,

² VladMiVa Experimental Plant JSC,

* Corresponding author E-mail: yrndo@mail.ru

Abstract: the authors investigated a mixture for producing Ceram Bond ceramic adhesive (Bredent, Germany). The microstructure of the initial powder and the resulting coating after sintering at 980°C were analyzed. The resulting compositions are easily manipulated under industrial conditions and possess optimal processing properties.

Objectives: Research and development of new, effective functional ceramic coating compositions for dental prosthetics that meet high quality and durability requirements.

Methods. Analytical and experimental chemistry methods were used, as well as modern instruments and equipment. The chemical and phase composition was studied using an X-ray fluorescence spectrometer. The elemental composition of the experimental samples was determined using an energy dispersive attachment to a scanning electron microscope. The granulometric composition of the masses was determined using laser diffractometry. The microstructure of the powder and ceramic adhesive was examined using a scanning electron microscope. The structure of the coatings was recorded using an optical microscope. The preparation of the ceramic adhesive was carried out by wet grinding. The determination of water absorption, open porosity and apparent density was carried out using a vacuum chamber connected to a vacuum pump. The calculation of these parameters was carried out according to classical formulas.

Results. The analysis of the main physico-mechanical characteristics of a sample of a mixture in a paste-like state of the Ceram Bond brand, the Bredent trademark (Germany) is carried out. The compositions of experimental samples have been developed, their physico-mechanical properties have been determined, and the advantages and disadvantages of introducing flat glass and fused quartz into the combat have been identified. It has been established that coatings based on Ceram Bond adhesive are characterized by the presence of a large number of microcracks, and experimental formulations differ in a small number or completely absence of microcracks, which indicates its higher quality.

Conclusions. As a result of the work carried out, a mixture for the production of ceramic adhesive of the Ceram Bond brand of the Bredent trademark (Germany) was investigated. Experimental formulations have been developed for the production of ceramic adhesives based on fused quartz and tempered flat glass. The microstructure of the initial powder and the coating based on it after sintering at a temperature of 980°C has been studied. It has been established that coatings based on Ceram Bond adhesive are characterized by the presence of a large number of microcracks, and the developed formulations differ in a small number or complete absence of microcracks, which indicates their higher quality.

Keywords: adhesive, ceramics, powder, dentistry, coating, cermets, microhardness, grain composition

For citation: Sysa O.K., Doroganov V.A., Dudina K.I., Loktionova E.V., Yastrebinsky R.N., Bondarenko N.I., Belousova A.A., Mishin D.P. Development and research of formulations for the production of functional ceramic materials. Chemical Bulletin. 2025. 8 (4). 1. DOI: 10.58224/2619-0575-2025-8-4-1

The article was submitted: June 2, 2025; Approved after reviewing: August 25, 2025; Accepted for publication: October 23, 2025.

Введение

Керамические материалы представляют собой категорию конструкционных материалов, применяемых в стоматологии для создания искусственных зубов, облицовки металлических каркасов и производства цельнокерамических протезов. Разнообразие их применения в стоматологии обуславливает широкий спектр требований, предъявляемых к современным керамическим материалам [1-3].

В настоящее время актуальной является проблема процесса импортозамещения, когда для каждого дорогого высококачественного импортного стоматологического материала, который пользуется спросом на российском рынке, разрабатывается отечественный аналог, обладающий сопоставимыми потребительскими свойствами, имеющий более низкую стоимость изготовления, и, как следствие, низкую цену [5, 6]. Так же актуальность подобных разработок отвечает современным требованиям в области стоматологии, ориентирована на улучшение качества жизни пациентов и открывает новые горизонты для научных исследований и практических применений [4-6].

Цель данного исследования заключается в разработке новых и эффективных составов масс функционально-керамических покрытий, используемых для стоматологического протезирования, которые соответствуют требованиям высокого качества и долговечности. Эти составы масс должны быть легко манипулируемыми в производственных условиях и обладать оптимальными технологическими свойствами [7-9].

Для достижения цели исследования были изучены существующие технологические процессы производства функционально-керамических покрытий, используемых для стоматологического протезирования, а также были проанализированы сырьевые компоненты и применяемые добавки [10, 11]. Для определения оптимальных соотношений компонентов и их влияние на качество стоматологических керамических покрытий были проведены лабораторные исследования, в ходе которых были разработаны рецептурные составы масс с учетом требований качества [12-14]. Была про-

ведена проверка разработанных составов масс на практике, результаты которой сравнили с уже существующими продуктами на рынке [15-16].

Материалы и методы исследований

В качестве прототипа исследовался образец пастообразной смеси Ceram Bond марки Bredent (Германия). Ceram Bond является готовым к применению керамическим материалом, который используется в качестве промежуточного слоя между металлами и керамикой. Он компенсирует различия в коэффициентах расширения между металлом и керамикой и блокирует выход оксидов металлов на поверхность покрытия.

Экспериментальные составы адгезивов разрабатывались на основе кварца плавленного и листового стекла в соответствии с химическим составом прототипа.

В ходе работы были использованы методы аналитической и экспериментальной химии, а также применены современные приборы и оборудование.

Химический и фазовый составы определяли с применением рентгенофлуоресцентного спектрометра ARL 9900 WorkStation (Швейцария).

Элементный состав экспериментальных образцов определяли с помощью энергодисперсионной приставки к растровому электронному микроскопу.

Гранулометрический состав масс был определен с использованием метода лазерной дифрактометрии на анализаторе ANALISETTE 22.

Микроструктуру порошка и керамического адгезива исследовали с помощью растрового электронного микроскопа.

Структура покрытий фиксировалась с помощью оптического микроскопа марки NEOFOT 32 в отраженном свете.

Приготовление керамического адгезива осуществляли методом мокрого помола. После сушки масса подвергалась предварительному измельчению и последующему помолу. В результате были получены образцы в виде сухого порошка и в виде суспензии.

Определение водопоглощения, открытой пористости и кажущейся плотности проводилось с помощью вакуумной камеры, соединенной с ваку-

умным насосом. Расчет данных параметров производился по классическим формулам.

Микротвердость покрытий по Виккерсу определяли на металлических образцах, покрытых керамическими адгезивами методом шликерного нанесения при комнатной температуре. После сушки образцы подвергались спеканию при 980 °С.

Результаты и обсуждения

В технологии изготовления стоматологических

протезов смесь Ceram Bond наносят на предварительно очищенную и обезжиренную поверхность металла и затем термообработывают в интервале температур 650-980 °С. В связи с выше изложенным образцы данной керамической смеси подвергались предварительной обработке при температурах 650 и 980 °С, после чего проводился анализ их химического и фазового состава, результат которого представлен в табл. 1 и рис. 1 и 2.

Таблица 1

Химический состав смеси Ceram Bond.

Table 1

Chemical composition of the mixture Ceram Bond.

Температура предварительной обработки, °С	Содержание, %												
	TiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	ZnO	Fe ₂ O ₃	ZrO ₂	CaO	SnO ₂	K ₂ O	MgO	P ₂ O ₅	F
650	60,7	13,4	6,0	2,6	3,2	2,2	1,7	1,0	1,0	0,9	1,1	0,3	5,9
980	53,6	16,8	11,2	6,8	3,0	2,0	1,8	1,3	1,2	1,0	1,0	0,2	-

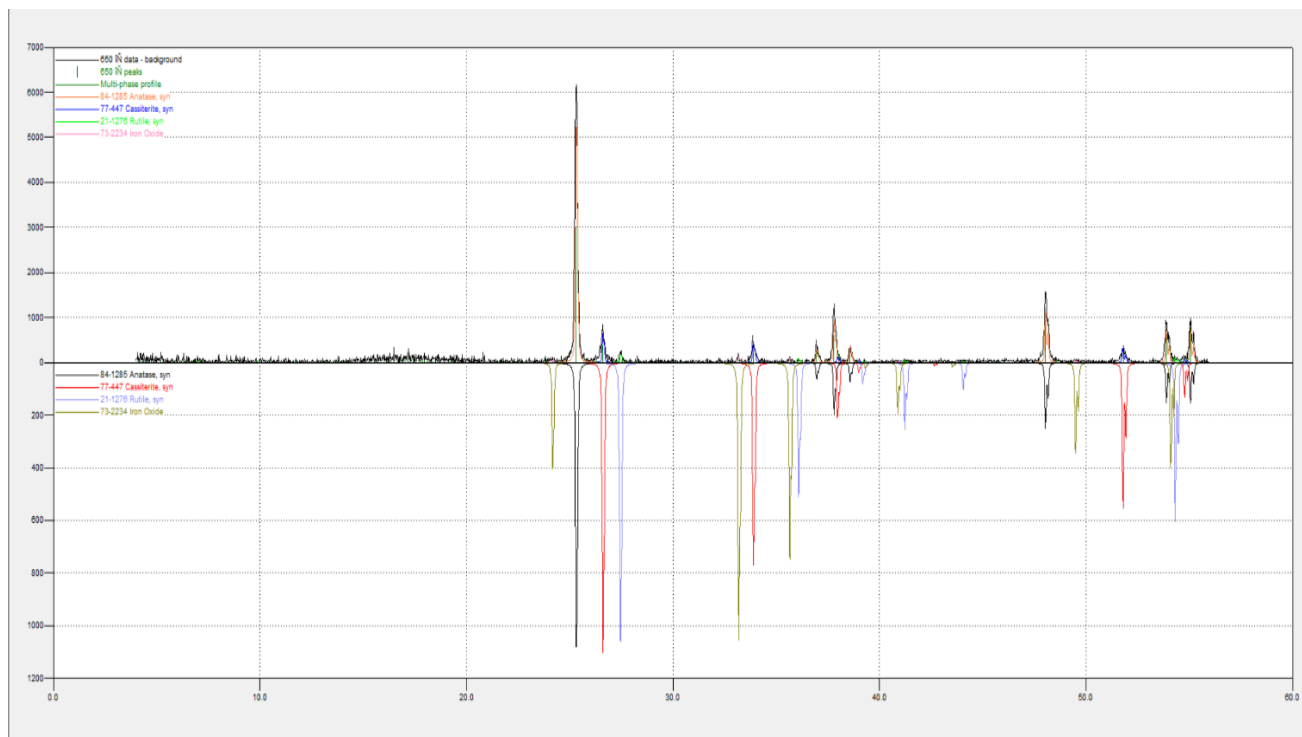


Рис. 1. Порошковые дифрактограммы смеси Ceram Bond после термообработки при температуре 650 °С.
Fig. 1. Powder diffractograms of Ceram Bond mixture after heat treatment at 650°C.

Из данных, представленных на рис. 1 следует, что основными кристаллическими фазами смеси Ceram Bond после термообработки при температуре 650 °С является анатаз (TiO₂) и касситерит (SnO), а в качестве примеси присутствует незначительное количество гематита (Fe₂O₃) и рутила (TiO₂).

После термообработки смеси Ceram Bond при 980 °С (рис. 2) анатаз полностью переходит в рутил, также присутствует минерал касситерит, а в качестве примеси наблюдается наличие незначительного количества маггемита (γ-модификация Fe₂O₃).

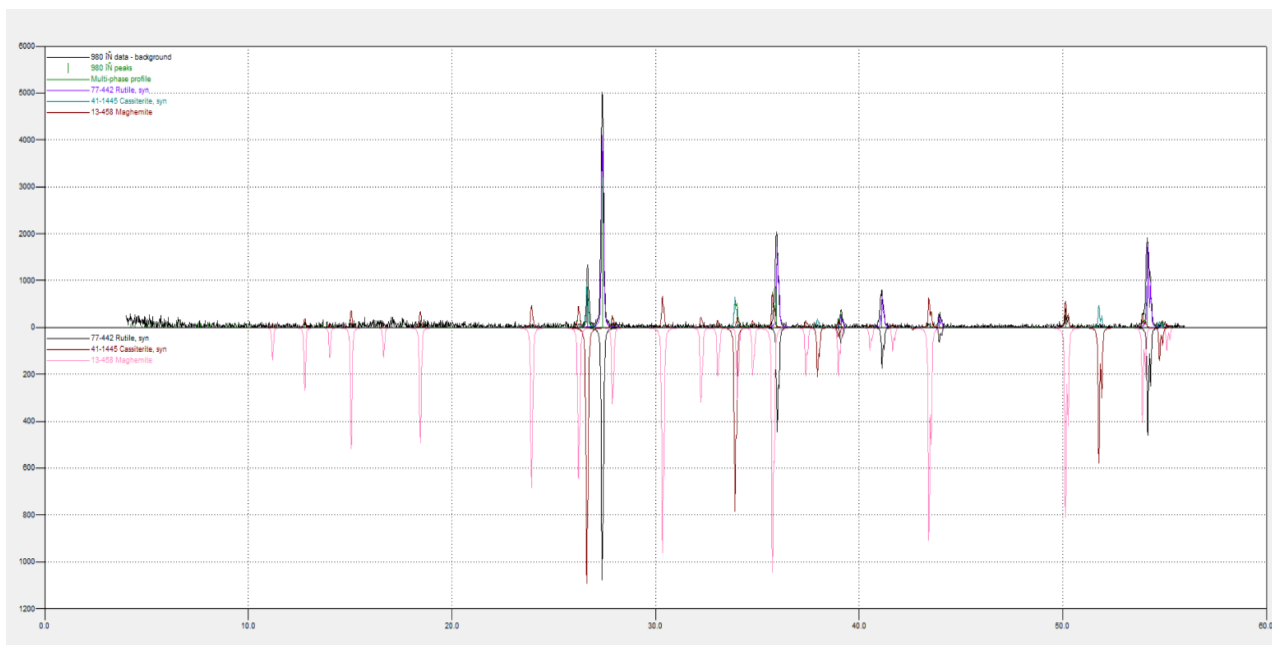


Рис. 2. Порошковые дифрактограммы смеси Ceram Bond после термообработки при температуре 980 °С.
Fig. 2. Powder diffractograms of Ceram Bond mixture after heat treatment at a temperature of 980 °C.

Результаты исследований зернового состава твердой фазы смеси Ceram Bond в исходном состоянии представлены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики зернового состава смеси Ceram Bond.

Table 2

Characteristics of the grain composition of the Ceram Bond mixture.

Наименование	Модальный диаметр, мкм	Размах	Относительная удельная поверхность, см ² /см ³	Диаметр, мкм		
				10 %	50 %	90 %
Смесь Ceram Bond	0,09	4,51	159033	0,13	0,73	3,43

Анализ данных (табл. 2) показал, что зерновой состав твердой фазы смеси Ceram Bond в исходном состоянии характеризуется полидисперсным тримодальным распределением частиц. Основной размер частиц составляет 0,9-1,1 мкм, а также наблюдается повышенное содержание части в областях 0,09-0,1 мкм, 9,3-10,5 мкм и 0,1-0,12 мкм. Содержание частиц менее 100 нм составляет 5,8 % и коэффициент полидисперсности – 7,9.

Был подобран состав сырьевой смеси экспериментальных образцов, на основе кварца плавнено-

го (состав №1) и боя листового стекла (состав №2).

Определение химического состава порошка для керамического адгезива. На основе экспериментальных составов были приготовлены смеси, которые после усреднения подвергались термообработке при температуре 980 °С с дальнейшим определением химического состава. Результаты исследований представлены в табл. 3.

Таблица 3

Химический состав экспериментальных смесей после термообработки при 980 °С.

Table 3

Chemical composition of experimental mixtures after heat treatment at 980 °C.

Индекс состава	Содержание, %											
	TiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	ZnO	Fe ₂ O ₃	ZrO ₂	CaO	SnO ₂	K ₂ O	MgO	P ₂ O ₅
1	49,5	18,2	15,8	6,3	2,3	2,0	2,0	1,4	0,8	0,9	0,4	0,3
2	47,0	19,1	15,6	7,2	2,3	1,6	1,9	1,3	1,4	0,9	1,4	0,3

Из представленных данных в табл. 3 видно, что химический состав экспериментальных масс близок к прототипу.

Далее образцы составов № 1 и № 2 были подвергнуты различным исследованиям для анализа

основных характеристик и свойств и выявления соответствия качеству прототипа Ceram Bond.

Определение элементного состава порошка для керамического адгезива. Результаты определения элементного анализа представлены в табл. 4.

Таблица 4

Элементный состав экспериментальных смесей.

Table 4

The elemental composition of experimental mixtures.

Индекс состава	Содержание, %												
	O	Ti	Si	Al	Na	Zn	Fe	Zr	Ca	Sn	K	Mg	P
1	49,9	31,3	7,1	3,9	2,4	1,4	1,2	0,8	0,4	0,8	0,3	0,3	0,2
2	46,5	33,4	7,5	3,2	3,1	1,8	1,3	0,7	0,5	0,9	0,4	0,6	0,2

Из представленных в табл. 4 данных видно, что элементный состав двух образцов порошка для керамического адгезива практически идентичен.

Определение основных свойств образцов керамического адгезива расчётным способом. Для

прогнозирования основных свойств керамического адгезива после термообработки при 980 °С были проведены расчеты истинной плотности и ТКЛР покрытия по методу Аппена, которые представлены в табл. 5.

Таблица 5

Основные свойства покрытия на основе керамического адгезива.

Table 5

The main properties of the coating based on ceramic adhesive.

Номер состава	Истинная плотность, г/см ³	ТКЛР*10 ⁻⁶ , К ⁻¹ (20-400 °С)
Смесь Ceram Bond	3,27	6,22
1	3,18	5,76
2	3,16	6,16

Определение зернового состава порошков для керамического адгезива. Были приготовлены суспензии на основе составов № 1 и № 2 с помощью метода мокрого помола сырьевой смеси с влажностью 60 %. Далее проводилась сушка и помол ча-

сти полученной суспензии (50 % от полученного объема). Таким образом, были получены образцы в виде сухого порошка и в виде суспензии. Результаты определения зернового состава представлены в табл. 6.

Таблица 6

Характеристики зернового состава экспериментальных образцов.

Table 6

Characteristics of the grain composition of experimental samples.

Номер состава	Модальный диаметр, мкм	Размах	Относительная удельная поверхность, см ² /см ³	Диаметр, мкм		
				10 %	50 %	90 %
1-порошок	0,09	9,09	139943	0,13	2,26	9,71
1-суспензия	0,09	8,67	157733	0,13	0,78	6,92
2-порошок	0,09	8,13	120780	0,15	1,86	9,76
2-суспензия	0,09	8,39	152897	0,13	1,09	9,25

Зерновой состав порошка № 1 характеризуется полидисперсным бимодальным распределением частиц в областях 0,34–0,44 мкм и 9,3–10,5 мкм. Основной размер частиц составляет 0,3–0,6 мкм. Содержание частиц менее 100 нм – 3,17 %, коэффициент полидисперсности – 22,9.

Зерновой состав порошка № 2 характеризуется полидисперсным биимодальным распределением частиц в областях 0,63–0,72 и 10,5–11,8 мкм. Ос-

новной размер частиц составляет 0,44–0,92 мкм. Содержание частиц менее 100 нм – 2,76 % и коэффициент полидисперсности – 15,7.

Исследование микроструктуры порошка для керамического адгезива. Микроструктуру порошка для получения керамического адгезива исследовали с помощью растрового электронного микроскопа. Результаты исследований представлены на рис. 3.

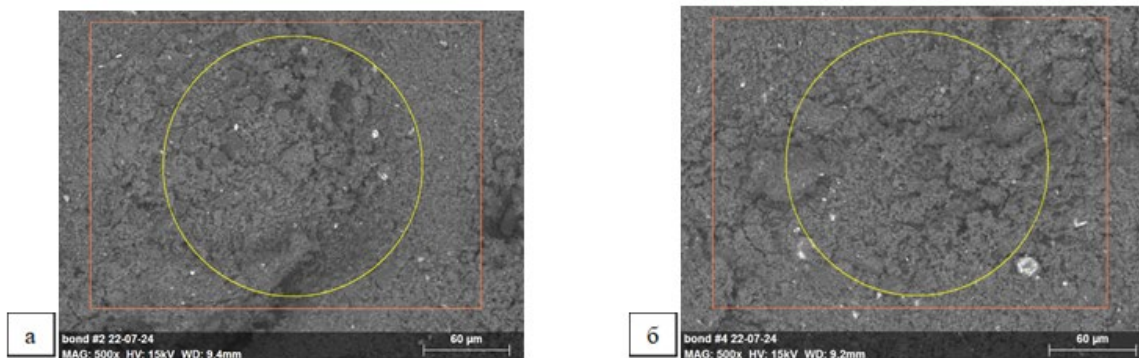


Рис. 3. Микроструктура порошка для керамического адгезива: а-состав № 1, б-состав №2.
Fig. 3. Microstructure of powder for ceramic adhesive: a-composition No. 1, b-composition No. 2.

По представленным на рис. 3 микрофотографиям определено, что экспериментальные смеси представляют собой порошки с преимущественно однородной структурой, с равномерно распределенными во всем объеме частицами ультратонкодисперсного размера. Также наблюдается наличие частиц размером до 10–20 мкм, что подтверждается данными, представленными в таблице 6.

Определение основных физико-механических характеристик образцов на основе порошка для керамического адгезива. После получения балочек размером 5×5×80 мм полусухим формованием образцы подвергались спеканию при температуре 980 °С с выдержкой 30 мин. После обжига были определены основные физико-механические характеристики.

Показатели водопоглощения экспериментальных образцов не превышали 11 %. При этом у состава № 1 водопоглощение на 1,6 % ниже, чем у состава № 2. Минимальной открытой пористостью 24,4 % характеризуются образцы на основе состава № 1, что на 2,8 % ниже чем открытая пори-

стость образцов на основе состава № 2. Кажущаяся плотность образцов на основе состава № 1 составила 2,61 г/см³, что на 6 % (отн.) выше данного показателя у образцов на основе состава № 2.

Исследование микроструктуры образцов керамического адгезива после спекания. Для исследования микроструктуры керамического адгезива прототипа и экспериментальных составов после спекания были изготовлены образцы путем нанесения суспензий с влажностью 50 % на металлическую основу. В качестве металлической основы использовали материалы, используемые для получения зубных протезов и коронок, на основе кобальто-хром-вольфрам-молибденового сплава (КХВМ) и никель-хром-молибденового сплава (НХМЦ). После нанесения покрытия образцы сушились при температуре 100–110 °С в сушильном шкафу и подвергались обжигу при температуре 980 °С с выдержкой 10 мин. Структура получившихся покрытий представлена на микрофотографиях (рис. 4–6).

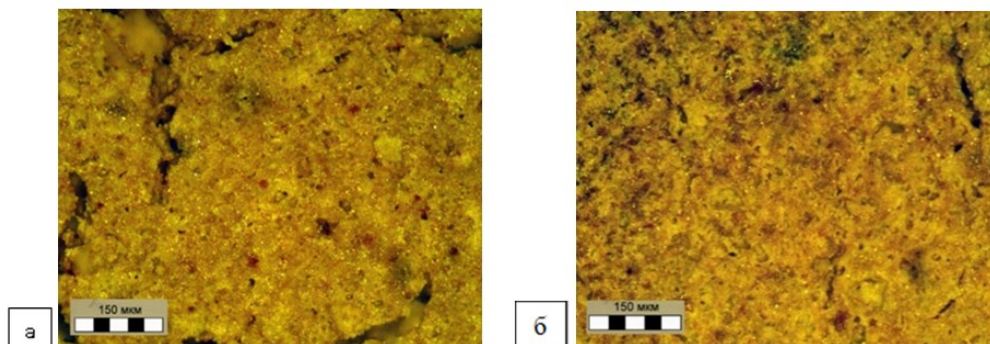


Рис. 4. Внешний вид покрытий на основе образцов смеси Ceram Bond, нанесенных на сплав НХМЦ (а) и сплав КХВМ (б) после спекания при температуре 980 °С.

Fig. 4. The appearance of coatings based on Ceram Bond mixture samples applied to NHMC (a) alloy and KHVM (b) alloy after sintering at a temperature of 980 °С.

Внешний вид покрытий на основе образцов смеси Ceram Bond при использовании в качестве подложки сплава НХМЦ (рис. 4, а) отличается значительным количеством дефектов в виде микротрещин длиной до 500 мкм и шириной около

30-40 мкм. При использовании в качестве подложки сплава КХВМ (рис. 4, б) количество микротрещин существенно снижается, длина их не превышает 300 мкм, а ширина – 20 мкм.

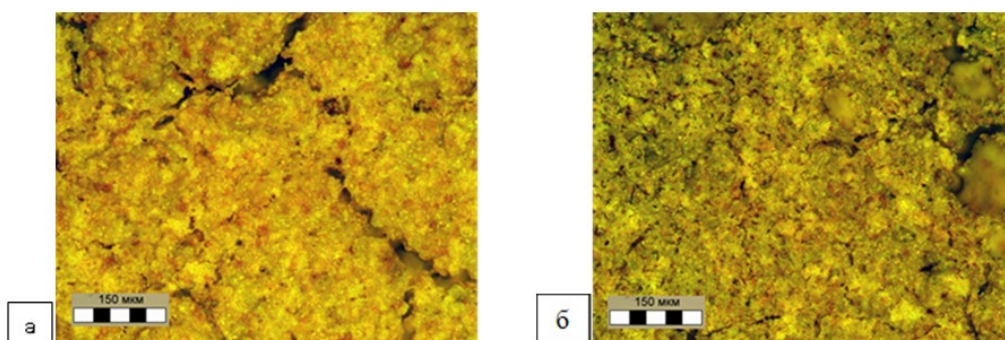


Рис. 5. Внешний вид покрытий на основе образцов смеси состава № 1, нанесенных на сплав НХМЦ (а) и сплав КХВМ (б) после спекания при 980 °С.

Fig. 5. The appearance of coatings based on samples of a mixture of composition No. 1 applied to the NHMC (a) alloy and the KHVM (b) alloy after sintering at 980 °С.

Анализ микроструктуры покрытий на основе смеси № 1 после спекания при 980 °С показал, что при использовании в качестве подложки сплава НХМЦ (рис. 5 а) наблюдается наличие большого количества микротрещин длиной до 800 мкм и

шириной 20-30 мкм. При использовании в качестве подложки сплава КХВМ (рис. 5 б) количество микротрещин существенно снижается, длина их не превышает 300 мкм, а ширина составляет 5-10 мкм.

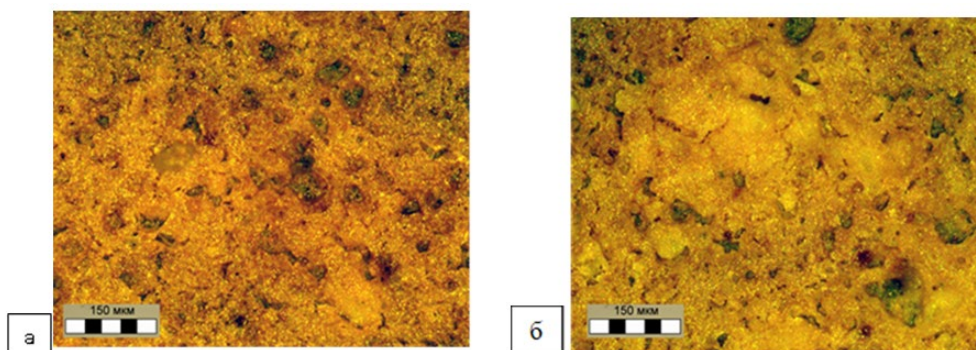


Рис. 6. Внешний вид покрытий на основе образцов смеси состава № 2, нанесенных на сплав НХМЦ (а) и сплав КХВМ (б) после спекания при температуре 980 °С.

Fig. 6. The appearance of coatings based on samples of a mixture of composition No. 2 applied to the NHMC (a) alloy and the KHVM (b) alloy after sintering at a temperature of 980 °C.

Из данных, представленных на рисунке 6 видно, что покрытие на основе состава № 2 характеризуется однородной структурой без видимых дефектов на всех видах сплава, на которые оно было нанесено.

Определение температурного коэффициента линейного расширения. Из исследуемых образцов были выпилены балочки длиной 20 мм. Результаты определения ТКЛР представлены на рис. 7 и в табл. 7.

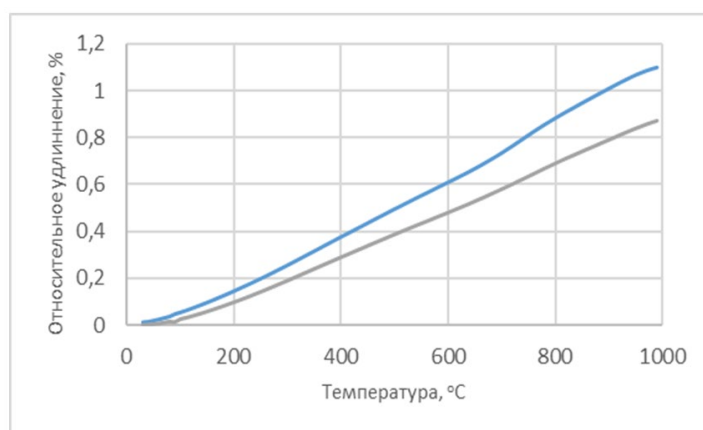


Рис. 7. Зависимость относительного удлинения образцов керамического адгезива от температуры нагревания.

Fig. 7. Dependence of the relative elongation of ceramic adhesive samples on the heating temperature.

Термические свойства образцов керамического адгезива.

Таблица 7

Thermal properties of ceramic adhesive samples.

Table 7

Номер состава	Линейная усадка при 980 °С, %	ТКЛР (20-980 °С), °С ⁻¹
1	0,86	$8,8 \cdot 10^{-6}$
2	1,09	$9,5 \cdot 10^{-6}$

Из анализа представленных данных видно, что при замене в сырьевой смеси кварца плавленного на бой листового стекла наблюдается увеличение

относительного удлинения, линейной усадки и значения ТКЛР.

Определение микротвердости. Микротвердость покрытий по Виккерсу определяли на ме-

таллических образцах, покрытых керамическими адгезивами методом шликерного нанесения при комнатной температуре. После сушки образцы подвергались спеканию при 980 °С. В табл. 8

представлены результаты определения микротвердости разработанных экспериментальных составов и импортного аналога.

Таблица 8

Микротвердость образцов керамического адгезива.

Table 8

Microhardness of ceramic adhesive samples.

Наименование состава	Микротвердость
Смесь Ceram Bond	198
Состав № 1	200
Состав № 2	181

Установлено, что при замене в сырьевой смеси кварца плавленного на бой листового стекла наблюдается снижение микротвердости.

Исследование потребительских свойств. В условиях зуботехнической лаборатории на мостовидный протез из НХМЦ нанесен Ceram Bond и

разработанный адгезив состава №1, проведена термообработка (рис. 8). Отмечено, что по равномерности покрытия и удобству применения разработанный адгезив не уступает импортному аналогу.



Рис. 8. Внешний вид сплава: а-покрытого Ceram Bond, б-без покрытия, в-покрытого разработанным адгезивом.

Fig. 8. Appearance of the alloy: a-coated with Ceram Bond, b-uncoated, c-coated with a developed adhesive.

Выводы

В результате проведенной работы исследована смесь для получения керамического адгезива Ceram Bond торговой марки Bredent (Германия). Установлено, что по химическому составу основным компонентом является оксид титана, а основными минеральными фазами смеси в исходном состоянии – анатаз и касситерит с примесями гематита и рутила. После спекания при температуре 980 °С основной фазой является рутил и касситерит с примесью маггемита. Относительная удельная поверхность составляет $159033 \text{ см}^2/\text{см}^3$ и средний диаметр частиц 0,73 мкм.

Были разработаны экспериментальные составы для получения керамических адгезивов на основе кварца плавленного и боя листового стекла. Показано, что в оптимальных составах содержание оксида титана в экспериментальных составах находится в пределах 47-49 %, оксида кремния – 18-19

% и оксида алюминия – 15-16 %.

Установлено, что зерновой состав экспериментальных образцов порошка для получения керамического адгезива характеризуется относительной удельной поверхностью $153000\text{-}158000 \text{ см}^2/\text{см}^3$, при этом средний диаметр частиц составляет 0,7-1,0 мкм.

Исследована микроструктура исходного порошка и покрытия на его основе после спекания при температуре 980 °С. Установлено, что покрытия на основе адгезива марки Ceram Bond характеризуется наличием большого количества микротрещин, а разработанные составы отличаются незначительным количеством или полным отсутствием микротрещин, что свидетельствует об их более высоком качестве.

Показано, что после спекания при температуре 980 °С экспериментальные образцы характеризуются водопоглощением 9,3-10,8 %, открытой по-

ристоростью – 24,3-27,2 % и кажущейся плотностью – 2,50-2,61 г/см³. При этом рост линейных размеров при данной температуре составляет 0,9-1,1 %, температурный коэффициент – 8,8-9,5 10⁻⁶ °C⁻¹ и

микротвердость по Виккерсу – 180-200. Физико-механические показатели разработанных масс сопоставимы с показателями прототипа.

Финансирование

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FZWN-2023-0004 с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова

Список источников

1. Куркина В.М. Значение металлокерамических конструкций в ортопедической стоматологии // Научное обозрение. Медицинские науки. 2017. № 4. С. 42 – 46.
2. Романенко А.А., Бузов А.А., Чуев В.П., Дороганов В.А. и др. Исследование композиционных материалов на основе алюмофторсиликатного стекла // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 12. С. 94 – 113.
3. Щепочкина Ю.А., Лесовик В.С., Воронцов В.М., Бессмертный В.С. и др. Защитно-декоративные покрытия для керамики, стекла и искусственных каменных безобжиговых материалов. СПб.: Изд-во «Лань». 2016. 100 с.
4. Romanenko A.A., Zinina E.M., Savinkov V.I., Klimenko N.N., Ivanova E.D., Brusentseva A.L., Buzov A.A., Chuev V.P., Sigaev V.N. Glassy Functional Fillers of Glass-Ionomer Cements in the System SrO–Al₂O₃–P₂O₅–SiO₂–F // Glass and Ceramics. 2023. Vol. 79. No. 11-12. P. 485 – 490. (CA(pt), Web of Science (SCIE), Scopus Q3).
5. Варданян А.Р. Методы бондинга оксидной керамики для стоматологических реставрации. Вопросы теоретической и клинической медицины [Электронный ресурс]. URL: <https://www.med-practic.com/rus> (дата обращения: 19.03.2025)
6. Романенко А.А., Бузов А.А., Чуев В.П., Дороганов В.А., Лукин Е.С. Композиционные материалы на основе алюмофторсиликатного стекла // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 9. С. 77 – 87.
7. Булгакова А.И., Валева И.В., Хисматуллина Ф.Р., Хазиева Л.М., Шафеев И.Р. Современные материалы в стоматологии. Уфа: Изд-во ГБОУ ВПО БГМУ Минздрава России, 2014. 174 с.
8. Саворовского Ю.С. Технологические особенности металлокерамических несъемных конструкций зубных протезов. Б: НИУ «БелГУ», 2019. 40 с.
9. Romanenko A.A., Zinina E.M., Savinkov V.I., Klimenko N.N., Ivanova E.D., Brusentseva A.L., Buzov A.A., Chuev V.P., Sigaev V.N., A.A. Romanenko Glass with Enhanced Phosphorus Oxide Content for Fillers of Glass Ionomer Cements // Glass and Ceramics. 2023 Vol. 79. No. 11-12. P. 443 – 447. (CA(pt), Web of Science (SCIE), Scopus Q3).
10. Овчинникова М.А. Технология изготовления металлокерамической коронки зуба: специальность. М: ПМГМУ им. И.М. Сеченова, 2022. 45 с.
11. Трезубова В.Н., Арутюнов, С.Д. Стоматология. М: Медицинская книга, 2003. 108 с.
12. Тимошенко М.В. Керамические материалы. Минск: Медицинская книга, 2008. 28 с.
13. Жавжарова В.А. Характеристика материалов для изготовления металлокерамических протезов. М: Московский областной медицинский колледж. 2015. № 1. 33 с.
14. Посохова В.Ф., Чуев В.В., Елисева М.В., Чуев В.П. Композитные материалы. Белгород: ВладМиВа, 2022. 40 с.
15. Резубоа В.Н., Щербаков А.С. Ортопедическая стоматология. Санкт-Петербург: СпецЛит, 2001. 480 с.
16. Romanenko A.A., Savinkov V.I., Zinina E.M., Buzov A.A., Chuev V.P., Sigaev V.N. Technological Methods for Increasing the Fluorine Content in SrO–Al₂O₃–P₂O₅–SiO₂–F Glass for Glass-Ionomer Cement // Glass and Ceramics. 2024. Vol. 80. No. 11-12. P. 503 – 507. (CA(pt), Web of Science (SCIE), Scopus Q3).

References

1. Kurkina V.M. The Importance of Metal-Ceramic Structures in Orthopedic Dentistry. Scientific Review. Medical Sciences. 2017. No. 4. P. 42 – 46.
2. Romanenko A.A., Buzov A.A., Chuev V.P., Doroganov V.A., et al. Study of Composite Materials Based on Aluminofluorosilicate Glass. Bulletin of the V.G. Shukhov BSTU. 2022. No. 12. P. 94 – 113.

3. Shchepochkina Yu.A., Lesovik V.S., Vorontsov V.M., Bessmertny V.S., et al. Protective and Decorative Coatings for Ceramics, Glass, and Artificial Unfired Stone Materials. St. Petersburg: Lan Publishing House. 2016. 100 p.
4. Romanenko A.A., Zinina E.M., Savinkov V.I., Klimenko N.N., Ivanova E.D., Brusentseva A.L., Buzov A.A., Chuev V.P., Sigaev V.N. Glassy Functional Fillers of Glass-Ionomer Cements in the System SrO–Al₂O₃–P₂O₅–SiO₂–F. Glass and Ceramics. 2023. Vol. 79. No. 11-12. P. 485 – 490. (CA(pt), Web of Science (SCIE), Scopus Q3).
5. Vardanyan A.R. Bonding Methods of Oxide Ceramics for Dental Restorations. Issues of Theoretical and Clinical Medicine [Electronic resource]. URL: <https://www.med-practic.com/rus> (date of access: 19.03.2025)
6. Romanenko A.A., Buzov A.A., Chuev V.P., Doroganov V.A., Lukin E.S. Composite materials based on aluminofluorosilicate glass. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 9. P. 77 – 87.
7. Bulgakova A.I., Valeev I.V., Khismatullina F.R., Khazieva L.M., Shafeev I.R. Modern materials in dentistry. Ufa: Publishing house of the State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education Bashkir State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2014. 174 p.
8. Savorovskiy Yu.S. Technological features of metal-ceramic fixed structures of dentures. B: National Research University "BelSU", 2019. 40 p.
9. Romanenko A.A., Zinina E.M., Savinkov V.I., Klimenko N.N., Ivanova E.D., Brusentseva A.L., Buzov A.A., Chuev V.P., Sigaev V.N., A.A. Romanenko Glass with Enhanced Phosphorus Oxide Content for Fillers of Glass Ionomer Cements. Glass and Ceramics. 2023 Vol. 79. No. 11-12. P. 443 – 447. (CA(pt), Web of Science (SCIE), Scopus Q3).
10. Ovchinnikava M.A. Manufacturing technology of a metal-ceramic dental crown: specialty. Moscow: I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, 2022. 45 p.
11. Trezubova V.N., Arutyunov, S.D. Dentistry. Moscow: Medical Book, 2003. 108 p.
12. Timoshenko M.V. Ceramic Materials. Minsk: Medical Book, 2008. 28 p.
13. Zhavzharova V.A. Characteristics of Materials for the Manufacture of Metal-Ceramic Prostheses. Moscow: Moscow Regional Medical College. 2015. No. 1. 33 p.
14. Posokhova V.F., Chuev V.V., Eliseeva M.V., Chuev V.P. Composite Materials. Belgorod: VladMiVa, 2022. 40 p.
15. Resuboa V.N., Shcherbakov A.S. Orthopedic Dentistry. St. Petersburg: SpetsLit, 2001. 480 p.
16. Romanenko A.A., Savinkov V.I., Zinina E.M., Buzov A.A., Chuev V.P., Sigaev V.N. Technological Methods for Increasing the Fluorine Content in SrO–Al₂O₃–P₂O₃–SiO₂–F Glass for Glass-Ionomer Cement/ Glass and Ceramics. 2024. Vol. 80.No. 11-12. P. 503 – 507. (CA(pt), Web of Science (SCIE), Scopus Q3).

Информация об авторах

Сыса О.К., кандидат технических наук, преподаватель, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46, sysa1975@inbox.ru

Дороганов В.А., кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии стекла и керамики, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46, dva_vadjik1975@mail.ru

Дудина Е.И., Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46, kate.dydina.31@yandex.ru

Локтионова Е.В., аспирант, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46, kate.sysa@yandex.ru

Ястребинский Р.Н., доктор технических наук, доцент, директор Химико-технологического института, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46, yrndo@mail.ru

Бондаренко Н.И., кандидат технических наук, доцент, преподаватель, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46, bondarenko-71@mail.ru

Белоусова А.А., кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Опытно-экспериментальный завод «ВладМиВа», 308023. Белгород, ул. Студенческая, д. 19, neanas@mail.ru

Мишин Д.П., инженер-исследователь кафедры Технология стекла и керамики, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46, verbatim312013@gmail.com

© Сыса О.К., Дороганов В.А., Дудина Е.И., Локтионова Е.В., Ястребинский Р.Н., Бондаренко Н.И., Белоусова А.А., Мишин Д.П., 2025

Information about the authors

Sysa O.K., PhD in Engineering, Lecturer, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 46 Kostyukova St., Belgorod, 308012, sysa1975@inbox.ru

Doroganov V.A., PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Glass and Ceramics Technology Department, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 46 Kostyukova St., Belgorod, 308012, dva_vadjik1975@mail.ru

Dudina E.I., Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 46 Kostyukova St., Belgorod, 308012, Kostyukova St., 46, kate.dydina.31@yandex.ru

Loktionova E.V., Postgraduate Student, Department of Industrial Ecology, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 308012, Belgorod, Kostyukova St., 46, kate.sysa@yandex.ru

Yastrebinsky R.N., Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Director of the Institute of Chemical Engineering, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 308012, Belgorod, Kostyukova St., 46, yrndo@mail.ru

Bondarenko N.I., Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Lecturer, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 308012, Belgorod, Kostyukova St., 46, bondarenko-71@mail.ru

Belousova A.A., PhD (Engineering), Senior Researcher, VladMiVa Experimental Plant, 19 Studencheskaya St., Belgorod, 308023, neanas@mail.ru

Mishin D.P., Research Engineer, Department of Glass and Ceramics Technology, V.G. Shukhov Belgorod State Technological University, 46 Kostyukova St., Belgorod, 308012, verbatim312013@gmail.com

© Sysa O.K., Doroganov V.A., Dudina E.I., Loktionova E.V., Yastrebinsky R.N., Bondarenko N.I., Belousova A.A., Mishin D.P., 2025