

DOI: 10.18481/2077-7566-2023-19-4-136-142
УДК: 615.465:546.831].03:616.314-089.28].07

ХИМИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ, СТРУКТУРА И ТОПОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ КОМПЛЕКСНО СТАБИЛИЗИРОВАННОЙ ДИОКСИДЦИРКОНИЕВОЙ КЕРАМИКИ В МОДЕЛИРУЕМЫХ АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ

Рогожников А. Г.¹, Порозова С. Е.², Гилева О. С.¹, Шулятникова О. А.¹, Рогожников Г. И.¹, Быстрых М. А.¹

¹ Пермский государственный медицинский университет им. академика Е. А. Вагнера, г. Пермь, Россия

² Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Россия

Аннотация

Предмет исследования — химическая устойчивость комплексно стабилизированного диоксида циркония системы 3 мол.% Y_2O_3 , 15 мол.% SeO_2 в моделируемых агрессивных средах (1 и 10% NaOH; 1 и 10% HCl; 1, 10 и 40% CH_3COOH).

Цель — изучить влияние различных агрессивных сред на структурно-химическую устойчивость отечественной комплексно стабилизированной диоксидциркониевой керамики в условиях эксперимента.

Методология. Испытания проведены на экспериментальных образцах керамических шлифов (40 шт.) одинаковой площади и формы: опытная группа (20 шт.) — стабилизированная диоксидциркониевая керамика, контрольная группа (20 шт.) — диоксидциркониевая керамика без стабилизирующих добавок. Наличие, степень выраженности и особенности реагирования диоксидциркониевой керамики на агрессивные среды оценивали в сравнительном аспекте по изменению массы образцов, микроструктуры их поверхности и спектров комбинационного рассеяния света.

Результаты. Взаимодействие комплексно стабилизированного диоксида циркония с щелочными растворами не приводит к статистически значимому снижению массы образцов, под действием растворов органических и неорганических кислот наблюдается статистически не значимый ($p < 0,5$) прирост общей массы. Сканирующая электронная микроскопия образцов керамики обеих групп после воздействия агрессивных сред не выявила ультраструктурных изменений поверхности. Спектры комбинационного рассеяния света до экспозиции в агрессивных средах показали более выгодные значения рамановской интенсивности у стабилизированного диоксида циркония, что свидетельствует о его лучшей степени кристаллизации. После воздействия агрессивных сред определены изменения в кристаллической решетке контрольных образцов, у стабилизированного диоксида циркония соотношение I_{260}/I_{320} не изменилось.

Выводы. Стабилизированный диоксид циркония системы 3 мол.% Y_2O_3 , 15 мол.% SeO_2 обладает повышенной устойчивостью в агрессивных средах, что имеет практическое значение при выборе керамического материала для изготовления зубных протезов, которые в течение всего срока эксплуатации подвергаются воздействию агрессивных биологических сред рта.

Ключевые слова: стоматология, зубные протезы, керамика, диоксид циркония, химическая стабильность

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Алексей Геннадьевич РОГОЖНИКОВ ORCID ID 0000-0003-0163-4948
к.м.н., доцент кафедры ортопедической стоматологии, Пермский государственный медицинский университет им. академика Е. А. Вагнера, г. Пермь, Россия
alekstatom@yandex.ru

Светлана Евгеньевна ПОРОЗОВА ORCID ID 0000-0001-5835-9727
д.т.н., профессор кафедры механики композиционных материалов и конструкций аэрокосмического факультета, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Россия
sv.porozova@yandex.ru

Ольга Сергеевна ГИЛЕВА ORCID ID 0000-0002-4289-6285
д.м.н., профессор, заведующая кафедрой терапевтической стоматологии и протезистики стоматологических заболеваний, Пермский государственный медицинский университет им. академика Е. А. Вагнера, г. Пермь, Россия
o.s.gileva@yandex.ru

Оксана Александровна ШУЛЯТНИКОВА ORCID ID 0000-0002-2033-5903
д.м.н., доцент, профессор кафедры ортопедической стоматологии, Пермский государственный медицинский университет им. академика Е. А. Вагнера, г. Пермь, Россия
anasko06@mail.ru

Геннадий Иванович РОГОЖНИКОВ ORCID ID 0000-0002-7812-6338
д.м.н., профессор, профессор кафедры ортопедической стоматологии, Пермский государственный медицинский университет им. академика Е. А. Вагнера, г. Пермь, Россия
info@digident.ru

Мария Алексеевна БЫСТРЫХ ORCID ID 0009-0008-8790-5115
студент, 5 курс, стоматологический факультет, Пермский государственный медицинский университет им. академика Е. А. Вагнера, г. Пермь, Россия
mashabystrykh1230@yandex.ru

Адрес для переписки: Оксана Александровна ШУЛЯТНИКОВА
614007, г. Пермь, ул. Революции, 18–15
+7 (902) 8386222
anasko06@mail.ru

Образец цитирования:

Рогожников А. Г., Порозова С. Е., Гилева О. С., Шулятникова О. А., Рогожников Г. И., Быстрых М. А.
ХИМИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ, СТРУКТУРА И ТОПОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ
КОМПЛЕКСНО СТАБИЛИЗИРОВАННОЙ ДИОКСИДЦИРКОНИЕВОЙ КЕРАМИКИ В
МОДЕЛИРУЕМЫХ АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ. Проблемы стоматологии. 2023; 4: 136-142.

© Рогожников А. Г. и др., 2023

DOI: 10.18481/2077-7566-2023-19-4-136-142

Поступила 24.12.2023. Принята к печати 16.01.2024

DOI: 10.18481/2077-7566-2023-19-4-136-142

CHEMICAL STABILITY, STRUCTURE AND SURFACE TOPOLOGY OF DOMESTIC COMPREHENSIVELY STABILIZED ZIRCONIUM DIOXIDE CERAMICS IN SIMULATED AGGRESSIVE ENVIRONMENTS

Rogozhnikov A.G.¹, Porozova S.E.², Gileva O.S.¹, Shuliatnikova O.A.¹, Rogozhnokov G.I.¹, Bystryh M.A.¹

¹ E. A. Wagner Perm State Medical University, Perm, Russia

² Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

JEL classification: Y10, Y80

Annotation

Subject of the study is the chemical stability of a complex stabilized zirconium dioxide system of 3 mol.% Y₂O₃ 15 mol.% CeO₂ in simulated aggressive media (1 and 10% NaOH; 1 and 10% HCl; 1, 10 and 40% CH₃COOH).

The goal – to study the effect of various aggressive media on the structural and chemical stability of domestic comprehensively stabilized zirconium dioxide ceramics under experimental conditions.

Methods. The tests were carried out on experimental samples of ceramic grinders (40 pcs.) of the same area and shape: the experimental group (20 pcs.) – stabilized zirconium dioxide ceramics, the control group (20 pcs.) – zirconium dioxide ceramics without stabilizing additives. The presence, severity and features of the reaction of zirconium dioxide ceramics to aggressive media were evaluated in a comparative aspect by changing the mass of samples, the microstructure of their surface and the Raman spectra.

Results. The interaction of complexly stabilized zirconium dioxide with alkaline solutions does not lead to a statistically significant decrease in the mass of samples, under the action of solutions of organic and inorganic acids, a statistically insignificant (p<0.5) increase in total mass is observed. Scanning electron microscopy of ceramic samples of both groups after exposure to aggressive media did not reveal ultrastructural changes in the surface. Raman spectra of light before exposure in aggressive media showed more favorable values of Raman intensity for stabilized zirconium dioxide, which indicates its better degree of crystallization. After exposure to aggressive media, changes in the crystal lattice of the control samples were determined, for stabilized zirconium dioxide, the ratio I₂₆₀/I₃₂₀ did not change.

Conclusions and Relevance. Stabilized zirconium dioxide of the system 3 mol.% Y₂O₃ 15 mol.% CeO₂ has increased resistance in aggressive environments, which is of practical importance when choosing a ceramic material for the manufacture of dentures, which are exposed to aggressive biological environments of the oral cavity during the entire service life.

Keywords: dentistry, dentures, ceramic, zirconium dioxide, chemical stability

The authors declare no conflict of interest.

Alexey G. ROGOZHNIKOV ORCID ID 0000-0003-0163-4948

PhD in Medical sciences, Associate Professor of the Department of Orthopedic Dentistry, E.A. Wagner Perm State Medical University, Perm, Russia
alekxstomat@yandex.ru

Svetlana E. POROZOVA ORCID ID 0000-0001-5835-9727

Grand PhD in Technical sciences, Professor of the Department of Mechanics of Composite Materials and Structures, Faculty of Aerospace, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia
sw.porozova@yandex.ru

Olga S. GILEVA ORCID ID 0000-0002-4289-6285

Grand PhD in Medical sciences, Professor, Head of the Department of Therapeutic Dentistry and Propaedeutics of Dental Diseases, E.A. Wagner Perm State Medical University, Perm, Russia
o.s.gileva@yandex.ru

Oksana A. SHULIATNIKOVA ORCID ID 0000-0002-2033-5903

Grand PhD in Medical sciences, Professor of the Department of Orthopedic Dentistry, E.A. Wagner Perm State Medical University, Perm, Russia
anasko06@mail.ru

Gennadij I. ROGOZHNIKOV ORCID ID 0000-0002-7812-6338

Grand PhD in Medical sciences, Professor of the Department of Orthopedic Dentistry, E.A. Wagner Perm State Medical University, Perm, Russia
info@digident.ru

Mariya A. BYSTRYH ORCID ID 0009-0008-8790-5115

5th year student, Faculty of Dentistry, E.A. Wagner Perm State Medical University, Perm, Russia
mashabystrykh1230@yandex.ru

Correspondence address: Oksana A. SHULIATNIKOVA

614007, Perm, Revolucii str. 18–15

+7 (902) 8386222

anasko06@mail.ru

For citation:

Rogozhnikov A.G., Porozova S.E., Gileva O.S., Shuliatnikova O.A., Rogozhnokov G.I., Bystryh M.A.

CHEMICAL STABILITY, STRUCTURE AND SURFACE TOPOLOGY OF DOMESTIC COMPREHENSIVELY STABILIZED ZIRCONIUM DIOXIDE CERAMICS IN SIMULATED AGGRESSIVE ENVIRONMENTS. *Actual problems in dentistry*. 2023; 4: 136-142. (In Russ.)

© Rogozhnikov A.G. et al., 2023

DOI: 10.18481/2077-7566-2023-19-4-136-142

Received 24.12.2023. Accepted 16.01.2024

Введение

Ассортимент конструкционных и реставрационных материалов, применяемых в ортопедической и консервативно-профилактической стоматологии, неуклонно расширяется как за счет разработки новых технологий их получения, так и за счет улучшения качества существующих материалов [1–6]. Непрерывающийся поиск наиболее эффективных технологий повышения качества лечения пациентов с нарушениями целостности зубных рядов и дефектами твердых тканей зубов для достижения необходимого уровня стоматологических составляющих качества жизни составляет устойчивый тренд современного стоматологического материаловедения и практической стоматологии [7–12]. Соответственно целям «Стратегии научно-технологического развития России до 2035 г. [13] и государственной политики импортозамещения» не прекращаются научные разработки по созданию принципиально новых или усовершенствованных отечественных стоматологических материалов как конечных инновационных продуктов, внедряемых в сферу промышленного производства изделий стоматологического назначения и, впоследствии, в ежедневную практику врача-стоматолога-ортопеда с гарантией достижения высоких клинических результатов, медико-социального и экономического эффекта.

Особую материаловедческую значимость и практический интерес для современной ортопедической стоматологии сохраняют конструкционные материалы на основе оксидной керамики, в частности, диоксид циркония [14–19]. Высокая биосовместимость и оптимальные физико-механические характеристики диоксида циркония позволяют охарактеризовать его как идеальный конструкционный материал для несъемных конструкций зубных протезов [20–23].

Потенциал использования керамических диоксидциркониевых материалов отечественного производства для изготовления стоматологических ортопедических конструкций до конца не раскрыт, что требует углубленных экспериментально-технологических изысканий. Перспективны экспериментальные исследования по изменению состава и свойств различных структурно-технологических вариантов отечественного комплексно стабилизированного различными добавками диоксида циркония вследствие воздействия смоделированных агрессивных сред. Полученные результаты с известной долей вероятности позволяют спрогнозировать характер изменений керамики при функционировании стоматологической конструкции в жидких биологических средах рта, приобретающих «агрессивные» свойства под действием ряда экзо- или эндогенных (местных или системных) факторов. Фундаментальные разработки этого направления представляют теоретический интерес для отечественного стоматологического

материаловедения и практическое значение в клинике современной ортопедической стоматологии.

Цель исследования — изучение влияния различных агрессивных сред на структурно-химическую стабильность отечественной комплексно стабилизированной диоксидциркониевой керамики (система 3 мол.% Y_2O_3 15 мол.% CeO_2) в условиях эксперимента.

Материал и методы исследования

Экспериментальные исследования проведены на базе Научного центра порошкового материаловедения Пермского национального исследовательского университета (ректор — д.ф.-м.н., профессор Ташкинов А. А.) в соответствии с ГОСТ 18898-89.

Объект исследования — диоксидциркониевая керамика, комплексно стабилизированная оксидами иттрия и церия, отечественной разработки [24].

Предмет исследования — химическая устойчивость комплексно стабилизированного диоксида циркония в моделируемых агрессивных средах. Химическая стабильность и топология поверхности экспериментальных образцов отечественной диоксидциркониевой керамики оригинального состава с наличием стабилизирующих добавок — диоксида иттрия (3 мол.%) и диоксида церия (15 мол.%) — проанализирована путем воздействия щелочных растворов (1 и 10% NaOH), а также растворов кислот — неорганических (1 и 10% HCl) и органических (1, 10 и 40% CH_3COOH). Стойкость материала в агрессивной среде (ГОСТ 18898-89) определяли по изменению потери массы образцов за определенные промежутки времени в статических условиях. Обработку образцов реагентами проводили в течение 7-суточной экспозиции в исследуемом реагенте), с применением расчетного и гидростатических методов.

Выбор реагентов был обусловлен тем, что все они являются типичными представителями органических и неорганических кислот и щелочей, встречаются в различных концентрациях в живых организмах и продуктах их метаболизма.

Испытания проведены на 40 экспериментальных образцах керамических шлифов, 20 из которых (опытная группа) — из диоксидциркониевой керамики, стабилизированной оксидами иттрия (3 мол.%) и церия (15 мол.%), а иные 20 (контрольная группа) — из диоксидциркониевой керамики без стабилизирующих добавок. Керамические образцы обеих групп имели одинаковую площадь и геометрическую форму круга.

Наличие, степень выраженности и особенность реагирования комплексно стабилизированной диоксидциркониевой керамики на агрессивные среды (гидроксид натрия, соляная и уксусная кислоты) оценивали в сравнительном аспекте по изменению массы

и микроструктуры поверхности экспериментальных образцов. Массу образцов до и после химического воздействия оценивали согласно ГОСТ 18898-89.

Исследуемые образцы взвешивали до и после эксперимента на лабораторных полумикровесах высокого класса точности (ВЛА-120МА, Россия) с дискретностью 0,00001/0,0001 г.

Характер изменений топологии поверхности тестируемых образцов керамики оценивали по данным сканирующей электронной микроскопии (ФемтоСкан, Россия) и рамановской спектроскопии [25–26] с получением КР-спектров на многофункциональном спектрометре комбинационного рассеянного света (Senterra, Bruker (Германия)) при длине волны излучаемого лазера 532 нм до и после воздействия агрессивных сред.

Результаты, обсуждение и выводы

У опытных экспериментальных образцов, содержащих в качестве стабилизирующей добавок диоксид иттрия (3 мол.%) и диоксид церия (15 мол.%), под воздействием растворов гидроксида натрия (1 до 10%) установлены: тенденция к снижению массы при помещении в 1% р-р (на 0,02 мас.%) и в 10% раствор NaOH – на 0,03 мас.%), изменения статистически не подтверждены. Статистически не подтвержденное в ходе эксперимента снижение массы образцов комплексно стабилизированной керамики отражало относительную устойчивость материала к действию щелочных растворов, а сравнение показателей прироста по мере нарастания концентрации р-ра HCl соответствовало медленному характеру растворения комплексно стабилизированной керамики в щелочной среде.

У контрольных образцов (диоксид циркония без стабилизирующих добавок) в ходе эксперимента под воздействием нарастающих концентраций щелочного раствора (гидроксид натрия) наблюдали статистически значимый прирост массы (при помещении в 1% р-р — на 0,15 мас.%; при помещении в 10% р-р — на 0,20 мас.%), что отражало меньшую щелочноустойчивость этого материала в сравнении с комплексно стабилизированной керамикой опытных образцов.

При обработке опытных образцов растворами соляной кислоты в случае использования 1% р-ра и при экспозиции в 10% р-ре этой же кислоты не наблюдали статистически значимого изменения массы образцов в отношении прироста и уменьшения.

В то же время, контрольные образцы в растворе соляной кислоты показали статистически значимое изменение массы по показателю мас.%; увеличение на 0,18 мас.% — в 1% HCl, а при увеличении концентрации HCl (10%) — уменьшение на 10 мас.%.

Не оказало статистически значимого влияния воздействие и органической кислоты (уксусная)

в концентрации 1, 10, 40% на комплексно стабилизированные образцы диоксида циркония. Так, показатель мас.% остался практически на исходном уровне спустя срок экспозиции для всех трех концентраций уксусной кислоты.

Одновременно с этим при исследовании контрольных образцов диоксида циркония наблюдалось статически значимое увеличение массы до 0,17 мас.% при использовании концентрации уксусной кислоты 1 и 10%, с последующим статистически значимым ростом массы образцов, нараставшим по мере повышения концентрации раствора CH_3COOH (40%), причем степень изменений достоверно не зависела от концентрации раствора.

Таким образом, взаимодействие экспериментальных образцов комплексно стабилизированного диоксида циркония со щелочными растворами различной концентрации не приводило к статистически значимому снижению массы образца, повышение концентрации NaOH до 10% сопровождалось медленным растворением поверхности тестируемого образца, объективизируя устойчивость комплексно стабилизированной керамики к действию щелочей. Параметры кислотоустойчивости керамики, стабилизированной иттрием и церием, подтверждены фактами статистически не значимого ($p < 0,5$) прироста общей массы опытных образцов под действием растворов органических и неорганических кислот за счет образования на поверхности осажденных соединений.

По результатам сканирующей электронной микроскопии проанализирована ультраструктура поверхности тестируемых образцов керамики основной и контрольных групп после воздействия агрессивных сред (рис. 1). Вне зависимости от вида и концентрации использованных реагентов, топология поверхности экспериментальных образцов, стабилизированных оксидами иттрия и церия, в ходе тестирования существенно не менялась.

Исходный фазовый состав поверхности образцов основной и контрольной групп изучен в сравнительном аспекте, спектры комбинационного рассеяния света представлены на рис. 2. Спектры комбинационного рассеяния света обеих групп экспериментальных образцов диоксида циркония до экспозиции в агрессивных средах показали наличие у них хорошо окристаллизованной структуры — тетрагональной фазы с отсутствием моноклинной модификации. Тем не менее, более выгодные значения рамановской интенсивности были определены у опытных образцов диоксида циркония системы 3 мол.% Y_2O_3 15 мол.% CeO_2 , что свидетельствует об их лучшей степени кристаллизации по сравнению с контрольными образцами. Следовательно, использование данных стабилизирующих добавок не вносило изменений в кристаллическую структуру (фазовый состав) диоксидциркониевой керамики, но улучшало

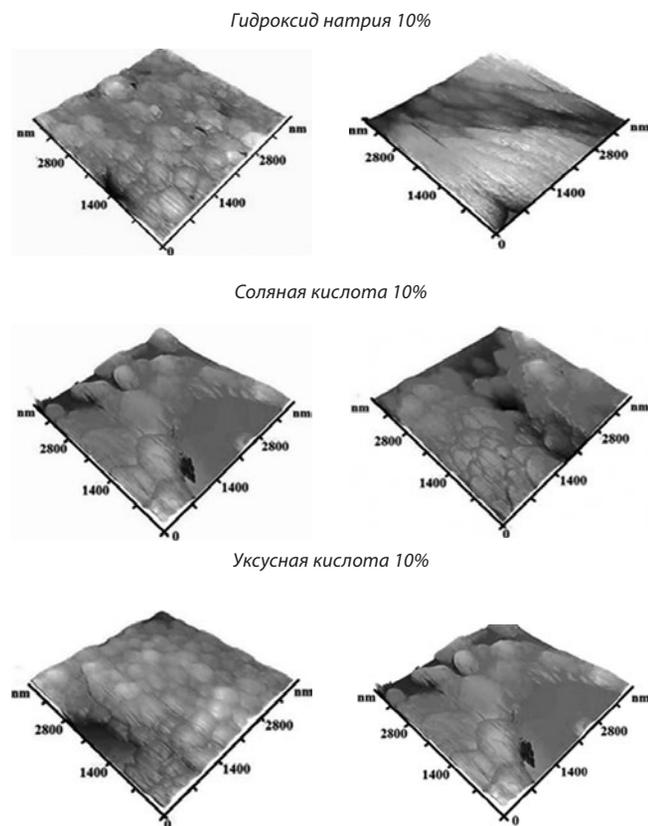


Рис. 1. Ультратруктура поверхности диоксида циркония, комплексно стабилизированного 3 мол.% Y_2O_3 15 мол.% CeO_2 до (а) и после (б) экспозиции образцов в агрессивных средах (сканирующая электронная микроскопия)

Fig. 1. Ultrastructure of the surface of zirconium dioxide, comprehensively stabilized 3 mol.% Y_2O_3 15 mol.% CeO_2 before (a) and after (b) exposure of samples in aggressive media (scanning electron microscopy)

Источник: данные авторского исследования
Source: Data of an author's research

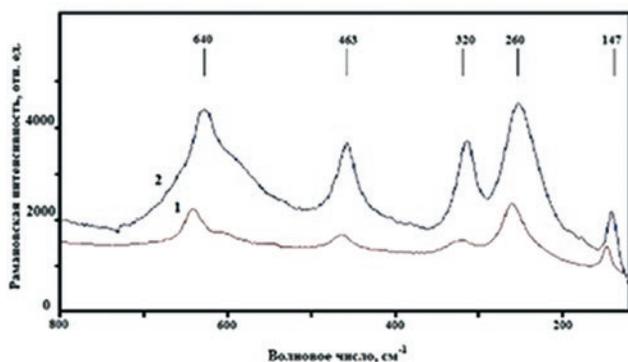


Рис. 2. Спектры комбинированного рассеяния образцов диоксида циркония со стабилизирующими добавками 3 мол.% Y_2O_3 15 мол.% CeO_2 (1); (2) без стабилизирующих добавок до воздействия агрессивными средами

Fig. 2. Combined scattering spectra of zirconium dioxide samples with stabilizing additives 3 mol.% Y_2O_3 15 mol.% CeO_2 (1); (2) without stabilizing additives before exposure to aggressive media

Источник: данные авторского исследования
Source: Data of an author's research

ее качество, что имеет практическое значение при изготовлении зубных протезов из диоксида циркония.

Характеристика спектров комбинационного рассеяния после обработки в 10% растворах гидроксида натрия, соляной и уксусной кислот представлена в таблице.

Таблица

Характеристики спектров комбинированного рассеяния фазового состава образцов диоксида циркония, содержащих 3 мол.% Y_2O_3 15 мол.% CeO_2 после обработки в 10% растворах агрессивных сред NaOH, HCl и CH_3COOH

Table. Characteristics of the combined scattering spectra of the phase composition of zirconium dioxide samples containing 3 mol.% Y_2O_3 15 mol.% CeO_2 after treatment in 10% solutions of aggressive media NaOH, HCl and CH_3COOH

| Исходные характеристики тестируемых образцов диоксида циркония | | |
|--|--|---|
| Исследуемые показатели | Контрольная группа (диоксидциркониевая керамика без стабилизирующих добавок) | Основная группа (диоксидциркониевая керамика со стабилизирующими добавками: 3 мол.% Y_2O_3 15 мол.% CeO_2) |
| Фазовый состав | Тетрагональная фаза | Тетрагональная фаза |
| Соотношение интенсивностей I_{260}/I_{320} | $1,50 \pm 0,10$ | $1,30 \pm 0,10$ $p = 0,184974$ |
| Характеристики образцов после обработки в 10 % растворе NaOH | | |
| Фазовый состав | Тетрагональная фаза, следы моноклинной фазы | Тетрагональная фаза |
| Соотношение интенсивностей I_{260}/I_{320} | $2,70 \pm 0,10$ | $1,3 \pm 0,10$ $p = 0,000001$ |
| Характеристики образцов после обработки в 10 % растворе HCl | | |
| Фазовый состав | Тетрагональная фаза | Тетрагональная фаза |
| Соотношение интенсивностей I_{260}/I_{320} | $2,70 \pm 0,12$ | $1,30 \pm 0,10$ $p = 0,000007$ |
| Характеристики образцов после обработки в 10 % р-ре CH_3COOH | | |
| Фазовый состав | Тетрагональная фаза | Тетрагональная фаза |
| Соотношение интенсивностей I_{260}/I_{320} | $2,60 \pm 0,13$ | $1,30 \pm 0,10$ $p = 0,000021$ |

Примечание: p — достоверность различий в зависимости от наличия стабилизирующей добавки в образцах диоксида циркония
Источник: данные авторского исследования

Source: Data of an author's research

Как видно из таблицы, исходно экспериментальные образцы керамики обеих групп представляли собой диоксид циркония тетрагональной модификации с соотношением интенсивностей I_{260}/I_{320} 1,5; 1,3.

После обработки контрольных образцов керамики 10% раствором гидроксида натрия в ее составе

появились следы моноклинной фазы, а соотношение интенсивностей указанных пиков I_{260}/I_{320} статистически значимо изменилось с $1,50 \pm 0,10$ до $2,70 \pm 0,10$ ($p = 0,000004$), что указывало на появление изменений в кристаллической решетке материала под действием концентрированного щелочного раствора. У этих же образцов определяли и наибольший прирост массы. Допустимо предположить, что переходу в раствор (и пересадению в составе новых фаз) в образцах диоксида циркония, стабилизированных диоксидом церия и оксидом иттрия, подверглись только ионы церия и циркония. В опытных образцах комплексно стабилизированного диоксида циркония после обработки 10% раствором гидроксида натрия соотношение указанных пиков оставалось неизменным ($1,3 \pm 0,10$) с сохранением тетрагонального фазового состава.

После обработки 10% раствором соляной кислоты тетрагональная фаза образцов диоксида циркония, не имеющих в своем составе стабилизирующих добавок, сохранялась, но соотношение интенсивностей I_{260}/I_{320} статистически значимо увеличилось ($2,70 \pm 0,10$) по сравнению с исходным фоном и было аналогичным наблюдавшемуся при экспозиции в щелочной среде. В то же время, опытные образцы не имели статистически значимых отличий в сравнении с фоновыми показателями и сохраняли свой фазовый состав (тетрагональная фаза).

Воздействием уксусной кислотой (10%) на диоксидциркониевые образцы, имеющие в своем составе стабилизирующие добавки, не привело к изменению характеристик их спектров комбинированного рассеяния, а соотношение интенсивностей I_{260}/I_{320} сохранялось как при исходном уровне. Одновременно с этим у контрольных образцов статистически значимо был увеличен показатель соотношения этих же интенсивностей ($2,60 \pm 0,13$) в сравнении не только с исходным уровнем, но и при анализе этого показателя у опытных образцов.

Литература/References

1. Олесова В.Н., Лернер А.Я., Заславский Р.С., Олесов Е.Е., Шматов К.В., Лобанов С.А. Перспективы применения сверхупругих безникелевых сплавов титана в дентальной имплантологии по результатам экспериментальных исследований. Медицина экстремальных ситуаций. 2018;20(2):153-158. [V.N. Olesova, A.Ja. Lerner, R.S. Zaslavskij, E.E. Olesov, K.V. Shmatov, S.A. Lobanov. Prospects for the use of superelastic nickel-free titanium alloys in dental implantology based on the results of experimental studies. *Emergency Medicine*. 2018;20(2):153-158. (In Russ.)]. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36286402>
2. Шулятникова О.А., Четвертных В.А., Рогожников Г.И., Четвертных Л.А., Коробов В.П., Лемкина Л.М. Оценка изменений физиологических и гематологических показателей экспериментальных животных при внутримышечной имплантации диоксида титана, обработанного пептидом варнерином. Проблемы стоматологии. 2018;2(14):115-120. [O.A. Shuljatnikova, V.A. Chetvertnyh, G.I. Rogozhnikov, L.A. Chetvertnyh, V.P. Korobov, L.M. Lemkina. Assessment of changes in physiological and hematological parameters of experimental animals during intramuscular implantation of titanium dioxide treated with the peptide warnerin. *Actual problems in dentistry*. 2018;2(14):115-120. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.18481/2077-7566-2018-14-2-115-120>
3. Рогожников Г.И., Шулятникова О.А., Гилева О.С., Рогожников А.Г., Никитин В.Н. Функциональные возможности керамических наноструктур, используемых для армирования полимерных конструктивных материалов стоматологического назначения. Пермский медицинский журнал. 2023;5(40):80-89. [G.I. Rogozhnikov, O.A. Shuljatnikova, O.S. Gileva, A.G. Rogozhnikov, V.N. Nikitin. Functional capabilities of ceramic nanostructures used for reinforcement of polymer structural materials for dental purposes. *Perm Medical Journal*, 2023;5(40):80-89. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17816/pmj40580-89>
4. Жолудев С.Е., Ивлев Ю.Н. Клинический пример использования гибридных материалов в практике ортопедической стоматологии. Проблемы стоматологии. 2018;1(14)5:62-65. [S.E. Zholudev, Ju.N. Ivlev. A clinical example of the use of hybrid materials in the practice of orthopedic dentistry. *Actual problems in dentistry*. 2018;1(14):62-65. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.24411/2077-7566-2018-100012>
5. Смирнов А., Янушевич О.О., Крихели Н.И., Крамар О.В., Крамар С.В., Перетягин П.Ю. Исследование усталостной прочности керамометаллических композиций при циклических нагрузках. *Advances in Science and Technology. Сборник статей LI международной научно-практической конференции*. 2023:119-121. [A. Smirnov, O.O. Janushevich, N.I. Kriheli, O.V. Kramar, S.V. Kramar, P.Ju. Peretjagin. Investigation of fatigue strength of ceramic-metal composites under cyclic loads. *Advances in Science and Technology. Collection of articles of the international scientific and practical conference*. 2018:119-121. (In Russ.)]. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50735841&prf=1>
6. Вечеркина Ж.В., Чиркова Н.В., Крючков М.А., Калинин В.С. Анализ работы по наноструктурированным материалам в ортопедической стоматологии под руководством профессора Э.С. Каливрадзяна. Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2020;19(4):8-13. [Zh.V. Vecherkina, N.V. Chirkova, M.A. Krjuchkov, V.S. Kalinichenko. Analysis of work on nanostructured materials in orthopedic dentistry under the guidance of Professor E.S. Kalivradjan. *System analysis and management in biomedical systems*, 2020;19(4):8-13. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.36622/VSTU.2020.19.4.001>

Таким образом, взаимодействие образцов комплексно стабилизированного диоксида циркония с растворами гидроксида натрия приводило к незначительному и медленному статистически не значимому растворению поверхности, а с растворами кислот — к образованию на поверхности осажденных фаз новых соединений. При отсутствии стабилизирующих компонентов диоксид циркония проявил большую активность в растворах исследованных реагентов, при этом, в зависимости от концентрации реагента, во всех случаях происходило как растворение поверхности экспериментальных образцов, так и образование новых фаз. Изменение соотношения интенсивностей пиков I_{260}/I_{320} на спектрах комбинационного рассеяния образцов без стабилизирующих добавок свидетельствовало об изменениях в кристаллической решетке материала при любых вариантах воздействия. Такие изменения отсутствовали в стабилизированных образцах диоксида циркония, где соотношение I_{260}/I_{320} оставалось неизменным.

Резюмируя представленные выше результаты экспериментального исследования, можно констатировать, что стабилизирующие добавки на основе Y_2O_3 и CeO_2 , введенные в состав диоксида циркония, повышают устойчивость поверхности керамического материала в агрессивных средах, что имеет практическое значение при выборе керамического материала для изготовления конструкций зубных протезов, на которые в течение всего срока их эксплуатации происходит воздействие агрессивных биологических сред рта. Кроме этого, перспективное направление использования диоксида циркония в стоматологии для дентальной имплантации требует создания благоприятных условий остеоинтеграции керамического материала и является актуальным для последующих исследований по анализу вариантов внесения различных стабилизирующих добавок в диоксид циркония, включая его поверхность.

7. Салеев Р.А., Федорова Н.С., Викторов В.Н., Салеев Н.Р. Изучение частоты применения зубопротезных конструкций, установленных пациентам пожилого и старческого возраста, в структуре стоматологической ортопедической помощи. Клиническая стоматология. 2022;2(25):120-125. [R.A. Saleev, N.S. Fedorova, V.N. Viktorov, N.R. Saleev. To study the frequency of use of dental prosthetic structures installed in elderly and senile patients in the structure of dental orthopedic care. Clinical Dentistry. 2022;2(25):120-125. (In Russ.)]. https://doi.org/10.37988/1811-153X_2022_2_120
8. Гилева О.С., Либик Т.В., Халилаева Е.В., Данилов К.В., Халявина И.Н., Гилева Е.С., Садилова В.Ф., Пленкина Ю.А., Хохрин Д.В. Стоматологическое здоровье в критериях качества жизни. Медицинский вестник Башкортостана. 2011;3(6):6-11. [O.S. Gileva, T.V. Libik, E.V. Halilaeva, K.V. Danilov, I.N. Haljavina, E.S. Gileva, V.F. Sadilova, Ju.A. Plenkina, D.V. Hohrin. Dental health in the criteria of quality of life. Medical Bulletin of Bashkortostan, 2011;3(6):6-11. (In Russ.)]. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17047841>
9. Шатров И.М., Ведерникова Л.В., Жолудев С.Е. Изучение качества жизни у пациентов с дефектами зубов и зубных рядов после ортопедического лечения с использованием керамических реставраций. Проблемы стоматологии. 2013;4:53-57. [I.M. Shatrov, L.V. Vedernikova, S.E. Zholudev. To study the quality of life in patients with dental defects and dentition after orthopedic treatment using ceramic restorations. Actual problems in dentistry. 2013;4:53-57. (In Russ.)]. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20265653>
10. Sekundo C., Langowski E., Kilian S., Diana Wolff D., Zenthöfer A., Frese C. Association of Dental and Prosthetic Status with Oral Health-Related Quality of Life in Centenarians // Int J Environ Res Public Health. – 2021;18(24):13219. <https://doi.org/10.3390/ijerph182413219>
11. Duong H.-Y., Rocuzzo A., Stähli A., Salvi G.-E., Lang N.-P., Sulecan A. Oral health-related quality of life of patients rehabilitated with fixed and removable implant-supported dental prostheses // Review Periodontol 2000. – 2022;88(1):201-237. <https://doi.org/10.1111/prd.12419>
12. Шулятникова О.А. Оптимизация ортопедического этапа лечения в комплексной специализированной помощи пациентам с дефектами челюстно-лицевой. Российский стоматологический журнал. 2016;2(20):94-98. [O.A. Shuljatnikova. Optimization of the orthopedic stage of treatment in comprehensive specialized care for patients with defects in the maxillofacial region. Russian Dental Journal. 2016;2(20):94-98. (In Russ.)]. [https://doi.org/10.18821/1728-28022016;20\(2\)94-96](https://doi.org/10.18821/1728-28022016;20(2)94-96)
13. Указ Президента РФ от 01.12.2016г. № 642. О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации. [Decree of the President of the Russian Federation dated December 1, 2016. No. 642. On the Strategy for Scientific and Technological Development of the Russian Federation. (In Russ.)]. <https://base.garant.ru/71551998/>
14. Лебедеко И.Ю., Назарян Р.Г., Романкова Н.В., Максимов Г.В., Вураки Н.К. Сравнительный анализ современных методов изготовления мостовидных зубных протезов на основе диоксида циркония. Российский стоматологический журнал. 2015;2:6-9. [I.Ju. Lebedenko, R.G. Nazarjan, N.V. Romankova, G.V. Maksimov, N.K. Vuraki. Comparative analysis of modern methods of manufacturing dental bridges based on zirconium dioxide. Russian Dental Journal. 2015;2:6-9. (In Russ.)]. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23597311>
15. Ллака Э., Воронов И.А., Сахабиева Д.А., Лебедеко И.Ю. Клиническая апробация применения монокристаллических мостовидных зубных протезов из полупрозрачного диоксида циркония «ZICERAM Т». Проблемы стоматологии. 2021;4:120-124. [E. Llakka, I.A. Voronov, D.A. Sahabieva, I.Ju. Lebedenko. Clinical approbation of the use of monolithic bridge-shaped dentures made of translucent zirconium dioxide «ZICERAM T». Actual problems in dentistry. 2021;4:120-124. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.18481/2077-7566-21-17-4-120-124>
16. Назарян Р.Г., Лебедеко И.Ю. Клиническая эффективность ортопедического лечения керамо-керамическими мостовидными зубными протезами на основе диоксида циркония. Стоматология. 2016;6-2(95):61-62. [R.G. Nazarjan, I.Ju. Lebedenko. Clinical efficacy of orthopedic treatment with ceramic ceramic bridge dentures based on zirconium dioxide. Dentistry. 2016;6-2(95):61-62. (In Russ.)]. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28362656>
17. Zhang Y., Lawn B.R. Novel Zirconia Materials in Dentistry // Journal of Dental Research. – 2017;97(9):140-147. <http://dx.doi.org/10.1177/0022034517737483>
18. Ivanov A.S., Martynov D.V., Olesova V.N., Zaslavsky R.S., Shmatov K.V., Lerner A.I., Morozov D.I. Zirconia as a modern material for dental prostheses and implants // Russian Dental Journal. – 2019;23(1):4-6. <https://doi.org/10.18821/1728-2802-2019-23-1-4-6>
19. Muzaeva A.A., Nuraliev A.M., Temirova S.A., Muzaeva E.A., Adaev T.-A.A., Kudzieva Z.V., Chantiev M.T., Akhmetov Z.U., Bizhioeva L.K. Ceramic restorations based on zirconium dioxide for orthopedic dentistry // Journal of Pharmaceutical Research International. – 2021;33(55B):172-178. <https://doi.org/10.9734/jprip/2021/v33i55B33862>
20. Литвинова А.К. Современные аспекты применения диоксида циркония в ортопедической стоматологии. Молодежный инновационный вестник. 2021;10(S1):400-402. [A.K. Litvinova. Modern aspects of the use of zirconium dioxide in orthopedic dentistry. Youth Innovation Bulletin. 2021;10(S1):400-402. (In Russ.)]. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47248531&ysclid=1qjcncln209103783>
21. Рогожников А.Г., Шулятникова О.А., Рогожников Г.И., Четвертных Л.А. Морфологическое исследование регенерации костной ткани лабораторных животных при имплантации гранул диоксида циркония с биомодальным распределением пор. Стоматолог. Минск. 2023;1(48):26-31. [A.G. Rogozhnikov, O.A. Shuljatnikova, G.I. Rogozhnikov, L.A. Chetvetnyh. Morphological study of bone regeneration in laboratory animals during implantation of zirconium dioxide granules with biomodular pore distribution. Dentist. Minsk. 2023;1(48):26-31. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17816/pmj40580-89>
22. Porozova S.E., Gurov A.A., Kamenshikov O.Y., Shuljatnikova O.A., Rogozhnikov G.I. Study of a nanostructured anatase coating on the rutile surface // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. – 2019;2(60):194-199. <https://doi.org/10.3103/S1067821219020093>
23. Лебедеко И.Ю., Дьяконенко Е.Е., Сахабиева Д.А., Ллака Э. Прозрачная керамика на основе диоксида циркония для изготовления монокристаллических зубных протезов. Обзор публикаций в международных журналах. Часть 1. Стоматология. 2020;5(99):111-115. [I.Ju. Lebedenko, E.E. Dyakonenko, D.A. Sahabieva, E. Llakka. Transparent ceramics based on zirconium dioxide for the manufacture of monolithic dentures. Review of publications in international journals. Part 1. Dentistry. 2020;5(99):111-115. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/stomat202099051111>
24. Порозова С.Е., Кульметьева В.Б., Вохмянин Д.С., Рогожников А.Г. Способ изготовления керамических изделий. Патент РФ №2545578, 2014;10. [S.E. Porozova, V.B. Kul'met'eva, D.S. Vohmjanin, A.G. Rogozhnikov. The method of making ceramic products. Patent RF №2545578. 2014;10. (In Russ.)]. <https://findpatent.ru/patent/254/2545578.html>
25. Белянин А.Ф., Багдасарян А.С., Юрин А.И. Спектроскопия комбинационного рассеяния света и рентгеновская дифрактометрия диоксида циркония, легированного редкоземельными металлами. Научное издание. 2018;11(19):39-45. [A.F. Beljanin, A.S. Bagdasarjan, A.I. Jurin. Raman spectroscopy and X-ray diffractometry of zirconium dioxide doped with rare earth metals. High-tech technologies. 2018;11(19):39-45. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.18127/j19998465-201811-07>
26. Ramos-Tonello C.M., Tabata A.S., Cesar P.F., Rubo J.H., Fracisconi P.A., Sanches Borges A.F. Application of micro-Raman spectroscopy to the study of yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystal (Y-TZP) phase transformation // Applied Spectroscopy. – 2015;69(7):810-814. <http://dx.doi.org/10.1366/14-07793>