

DOI: 10.37988/1811-153X_2024_4_89

А.В. Дешев¹,

зав. лабораторией цифровой стоматологии

М.Ш. Мустафаев¹,

д.м.н., профессор, зав. кафедрой ортопедической стоматологии, директор Института стоматологии и челюстно-лицевой хирургии

Р.Ш. Гветадзе²,

д.м.н., профессор, член-корр. РАН, директор НИЦ стоматологии

Т.В. Царева²,

к.м.н., доцент кафедры микробиологии, вирусологии, иммунологии

М.С. Антипов³,

аспирант

П.М. Бажин³,

д.т.н., зам. директора

С.Д. Арутюнов²,

д.м.н., профессор, зав. кафедрой цифровой и ортопедической стоматологии

¹ КБГУ, 360004, Нальчик, Россия² Российский университет медицины, 127006, Москва, Россия³ Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мерджанова РАН, 142432, Черноголовка, Россия

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Дешев А.В., Мустафаев М.Ш., Гветадзе Р.Ш., Царева Т.В., Антипов М.С., Бажин П.М., Арутюнов С.Д. Влияние щелочных дезинфектантов на микробную адгезию и антикоррозионные свойства медицинских инструментов из нержавеющей стали с металлокерамическими покрытиями. — *Клиническая стоматология*. — 2024; 27 (4): 89—97.
DOI: 10.37988/1811-153X_2024_4_89

A.V. Deshev¹,

head of the Digital Dentistry Lab

M.Sh. Mustafayev¹,

Doctor of Science in Medicine, full professor of the Prosthodontics Department, director of the Dentistry and maxillofacial surgery-Institute

R.Sh. Gvetadze²,

Russian Academy of Science corresponding member, Doctor of Science in Medicine, professor, Director of the Dental Research Institute

Влияние щелочных дезинфектантов на микробную адгезию и антикоррозионные свойства медицинских инструментов из нержавеющей стали с металлокерамическими покрытиями

Реферат. Разработка современных технологий дезинфекции и стерилизации инструментов медицинского назначения является крайне актуальной задачей, что определяется агрессивным воздействием используемых физических и химических агентов. Для повышения срока службы инструментов медицинского назначения в последние годы применяются защитные покрытия на основе нитрида титана, которые существенно повышают стоимость изделия по сравнению с аналогами без покрытия. **Цель исследования** — сравнительная оценка коррозионной стойкости образцов с защитными покрытиями под влиянием щелочных дезинфектантов с учетом оценки применения оригинальной методики микробной адгезии и конфокальной электронной микроскопии в эксперименте *in vitro*. **Материалы и методы.** Исследовали варианты формирования оптимальных металлокерамических покрытий, устойчивых к коррозионному действию дезинфектантов на основе TiC-NiCr, с использованием метода электроискрового легирования для образцов стоматологических инструментов. Были использованы щелочные дезинфектанты «Венделин», «Мегадес Орто», «Трилокс» отечественного производства. Для контроля эффекта дезинфектантов до и после воздействия проводили стандартное исследование микробной адгезии со штаммами *S. aureus*, *B. cereus*, *C. albicans*, *C. glabrata*. Шероховатость и рельеф поверхности оценивали с помощью сканирующей электронной микроскопии. **Результаты.** Установлено, что сформированные защитные покрытия не подвергаются коррозии при воздействии изучаемых растворов ДС при комнатной температуре. Напротив, на контрольных образцах (без покрытия) определяли увеличение микробной адгезии и признаки, указывающие на деструкцию и коррозию, зависимые от концентрации ДС. Оптимальные результаты по показателям микробной адгезии *S. aureus* и *C. albicans* были получены с III образцом ($R_a=3,26$ мкм), и, напротив, худшие показатели оказались у IV образца, который отличался самой значительной толщиной (40 мкм) и степенью шероховатости покрытия ($R_a=3,73$ мкм). **Заключение.** Защитные покрытия из твердых растворов на основе железа: Fe₂₄Ti, Fe₄₇C₃, Cr-Ni-Fe-C и упрочняющей фазы карбида титана TiC на поверхности образцов обеспечивают их коррозионную стойкость при воздействии рабочими растворами щелочных ДС, а при использовании ДС «Трилокс» также концентратом.

Ключевые слова: дезинфектанты, микробная адгезия, коррозия, медицинские инструменты, металлокерамические покрытия, сканирующая электронная микроскопия

Effect of alkaline disinfectants on microbial adhesion and anticorrosion properties of stainless steel medical instruments with cermet coatings

Abstract. The development of modern technologies for disinfection and sterilization of medical instruments is an extremely urgent task, which is determined by the aggressive effects of the physical and chemical agents used. In recent years, titanium nitride-based protective coatings have been used to increase the life of medical instruments, which significantly increase the cost of the product compared to uncoated counterparts. **The purpose of the study** is to compare the corrosion resistance of samples with protective coatings under the influence of alkaline disinfectants, taking into account the assessment of the use of the original microbial adhesion technique and confocal

T.V. Tsareva²,

PhD in Medical Sciences, associate professor
of the Microbiology, virology, immunology
Department

M.S. Antipov³,

postgraduate

P.M. Bazhin³,

Doctor of Science in Engineering, vice-director

S.D. Arutyunov²,

Doctor of Science in Medicine, full professor
of the Digital dentistry and prosthodontics
Department

¹ Kabardino-Balkarian State University,
360004, Nalchik, Russia

² Russian University of Medicine,
127006, Moscow, Russia

³ Merzhanov Institute of Structural
Macrokinetics and Materials Science
of the Russian Academy of Sciences,
142432, Chernogolovka, Russia

electron microscopy in an in vitro experiment. **Materials and methods.** Options for forming optimal cermet coatings of TiC-NiCr-based corrosion-resistant disinfectants using the electrospray ligation method for dental instrument samples were investigated. Have been used alkaline disinfectants "Wendelin", "Megadez Orto", "Trilox" of domestic production were used. To control the effect of disinfectants before and after exposure, a standard microbial adhesion study was performed with strains of *S. aureus*, *B. cereus*, *C. albicans*, *C. glabrata*. Surface roughness and topography were evaluated by scanning electron microscopy. **Results.** It was found that the formed protective coatings are not subject to corrosion when exposed to the studied ET solutions at room temperature. In contrast, the control samples (uncoated) showed an increase in microbial adhesion and signs indicating degradation and corrosion dependent on the concentration of ET. Optimal results for the microbial adhesion of *S. aureus* and *C. albicans* were obtained with sample 3 ($R_a=3.26 \mu\text{m}$), and on the contrary, the worst results were obtained with sample 4, which had the most significant thickness ($40 \mu\text{m}$) and the degree of roughness of the coating ($R_a=3.73 \mu\text{m}$). **Conclusion.** Protective coatings made of solid solutions based on iron: Fe_{241}Ti , Fe_{47}C_3 , Cr-Ni-Fe-C and the strengthening phase of titanium carbide TiC on the surface of samples ensure their corrosion resistance when exposed to working solutions of alkaline ET, and when using ET "Trilox" also with concentrate.

Key words: disinfectants, microbial adhesion, corrosion, medical instruments, cermet coatings, scanning electron microscopy

FOR CITATION:

Deshev A.V., Mustafayev M.Sh., Gvetadze R.Sh., Tsareva T.V., Antipov M.S., Bazhin P.M., Arutyunov S.D. Effect of alkaline disinfectants on microbial adhesion and anticorrosion properties of stainless steel medical instruments with cermet coatings. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2024; 27 (4): 89—97 (In Russian). DOI: 10.37988/1811-153X_2024_4_89

ВВЕДЕНИЕ

Санитарно-противоэпидемиологические мероприятия являются серьезной проблемой медицинских организаций, осуществляющих прием стоматологических пациентов. Особую важность придает дезинфекции стоматологических инструментов, которую должны проводить с использованием средств и режимов очистки и дезинфектантов, регламентированных ОСТ 42-21-2-85, а также препаратов нового поколения, к которым относятся современные щелочные дезинфектанты, согласно инструкциям по применению, утвержденным Министерством здравоохранения Российской Федерации [1].

В настоящее время в стоматологической практике предпочтение отдается химической дезинфекции — обработке стоматологического инструментария методом погружения в раствор с целью удаления или уничтожения на нем возбудителей инфекционных болезней. Наряду с этим необходимо помнить, что дезинфекция достаточно агрессивно воздействует на поверхность стоматологического инструментария и нередко ведет к коррозии нержавеющей стали и сплавов металлов, из-за чего острые поверхности быстро тупятся, а зеркала темнеют [2, 3]. В связи с этим выбор дезинфектанта — весьма сложная и ответственная задача, успешное решение которой позволяет достичь высокой эффективности дезинфекции, значительно облегчить труд персонала, экономит время и ресурсы [4]. При нарушении протокола, сопряженного с инструкцией по применению дезинфектанта, возможны серьезные осложнения как для медицинского персонала, так и для пациента [1, 2, 5].

Разработка современных технологий дезинфекции и стерилизации инструментов медицинского назначения является крайне актуальной задачей, что определяется агрессивным воздействием используемых физических и химических агентов на материал. Следствием этого являются процессы коррозии и преждевременное изнашивание инструментов [5, 6]. Для повышения срока службы инструментов медицинского назначения (в том числе стоматологических) в последние годы применяются защитные покрытия на основе нитрида титана, которые существенно повышают стоимость изделия по сравнению с аналогами без покрытия [7–9]. Как оказалось, подобные покрытия делают инструменты внешне более привлекательными, но могут приводить к снижению прочности, частичному расслоению покрытия и ускорению процессов коррозии. Соответственно, в конечном итоге инструменты становятся негодными для употребления, а это экономически не выгодно [3, 4]. С микробиологических позиций применение таких инструментов при работе с пациентами недопустимо, так как повышенная шероховатость, формирование микротрещин и микрополостей на поверхности инструментов не позволяют гарантировать адекватный уровень стерильности даже после стерилизации [5, 10].

В связи с этим в нашем исследовании рассматривалась возможность формирования оптимальных защитных металлокерамических покрытий для стоматологических инструментов при использовании СВС-электродов на основе карбида титана (TiC) и никрома (NiCr) с применением электроискрового легирования в условиях воздействия современными дезинфицирующими средствами.

Цель исследования — сравнительная оценка коррозионной стойкости образцов с защитными покрытиями под влиянием щелочных дезинфектантов с учетом оценки применения оригинальной методики микробной адгезии и конфокальной электронной микроскопии в эксперименте *in vitro*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Метод электроискрового легирования (ЭИЛ), использованный в настоящем исследовании для получения защитных покрытий, сочетает процессы горения и высокотемпературного сдвигового деформирования, что позволяет получить готовый материал в течение десятков секунд из исходных порошковых компонентов (рис. 1).

Для подготовки образцов был использован СВС-электрод, который состоит из упрочняющей фазы TiC и нихромовой матрицы. Известно, что при ЭИЛ материал используемого СВС-электрода и поверхность подложки плавятся, происходит их конвективное перемешивание, а при последующей кристаллизации формируются покрытия, которые состоят из упрочняющей фазы углеродсодержащего титана TiC и твердых сплавов на основе железа: $\text{Fe}_{241}\text{Ti}_9$, Fe_{47}C_3 и Cr-Ni-Fe-C [7, 11]. Полученный материал защитного покрытия обладает высокими механическими характеристиками и является биоинертным. Установлено влияние энергии разряда при ЭИЛ на шероховатость, толщину и долю карбидной фазы Ti-C в защитном покрытии [12].

Объекты исследования изготавливали электроэрозионной резкой стоматологического экскаватора. На полученных цилиндрических образцах диаметром 6 и высотой 2 мм формировали защитное покрытие по стандартной методике [7, 11]. Для формирования защитных покрытий методом ЭИЛ использовали 3 технологических режима с разной энергией генерируемого разряда — 0,1, 0,3 и 0,9 Дж (табл. 1). Всего изготовили 20 образцов, которые в зависимости от толщины защитного покрытия поделили на 4 равные группы:

- I — без покрытия (контроль);
- II — толщина покрытия 5 мкм;
- III — толщина покрытия 20 мкм;
- IV — толщина покрытия 40 мкм.

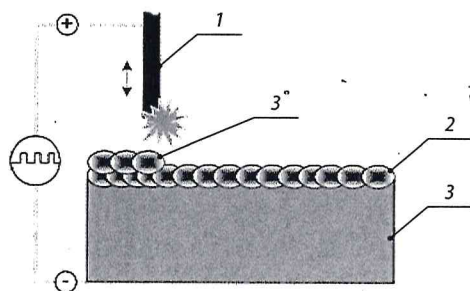


Рис. 1. Схема ЭИЛ: 1 — СВС-электрод; 2 — первый слой покрытия; 3 — обрабатываемая подложка; 4 — последующие слои покрытия
Fig. 1. EIL circuit: 1 — SHS electrode; 2 — first coating layer; 3 — substrate to be treated; 4 — subsequent coating layers

Для оценки возможных изменений технических характеристик образцы предварительно взвешивали на аналитических весах с точностью 0,1 мг, далее помещали в стеклянную колбу с раствором ДС, выдерживали заданное время (2 ч) при комнатной температуре (25 °С), извлекали, просушивали и повторно взвешивали. По разнице в весе устанавливали антикоррозионную стойкость образцов на единицу их площади. Для потенциального увеличения скорости коррозии изучаемых образцов аналогичные эксперименты проводили при максимальной температуре до 50 °С и экспозиции до 120 ч.

В качестве потенциально агрессивного химического агента, провоцирующего коррозию покрытия, использовали щелочные дезинфектанты, в составе которых содержатся производные четвертичных аммониевых соединений (ЧАС) и многоатомных спиртов (МАС):

- «Венделин» («Бозон», Москва);
- «Трилокс» («Бозон», Москва);
- «Мегадез Орто» («ВладМиВа», Белгород).

Рабочие растворы дезинфектантов готовили согласно инструкциям производителей.

Дизайн исследования включал три взаимосвязанных эксперимента:

- 1) оценка адгезии тест-штаммов микробов к исследуемым образцам для выяснения различий адгезивной активности в зависимости от используемой технологии обработки;
- 2) оценка микробной адгезии к тем же образцам после обработки дезинфектантом методом погружения в раствор;
- 3) оценка структурных (весовых) параметров образцов до и после обработки дезинфектантом.

Для контроля влияния возможных изменений поверхности образцов под действием дезинфектанта проводили стандартное исследование микробной адгезии с образцами *in vitro*, используя штаммы возбудителей внутрибольничных инфекций *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Candida albicans*, *Candida glabrata* [10, 13]. Для оценки результатов исследования вычисляли индекс адгезии штамма, полученный после инкубации в течение 40 минут по сравнению с исходной концентрацией микробной взвеси нанесенной на каждый образец [12]. Характеристику поверхности до и после коррозионных испытаний с использованием ДС изучали на растворе

Таблица 1. Технологические режимы электроискрового легирования
Table 1. Electrospark alloying process modes

Показатель	Образец			
	I (контроль)	II	III	IV
Частота колебаний вибратора, Гц		160±10		
Ёмкость, мкФ		125	200	280
Напряжение, В	—	40	50	80
Энергия разряда, Дж		0,1	0,3	0,9
Толщина защитного покрытия, мкм		5	20	40

электронном микроскопе LEO-1450 с энергодисперсионным микроанализатором INCA Energy (EDS System).

Учитывая необходимость повышения ресурса использования стоматологических инструментов с применением метода ЭИЛ проводили стандартные коррозионные испытания образцов с ДС путем их погружения в рабочий раствор от 2 ч (оптимальное время дезинфекции по инструкции) до 5 суток (120 ч) при комнатной температуре и повторно проводили оценку адгезивной активности с теми же штаммами для каждого дезинфектанта.

Статистическую обработку данных для количественных параметров проводили по критерию Манна—Уитни (достоверность при $p < 0,05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как известно, микробная адгезия зависит от ряда факторов, среди которых ведущее место занимают межмолекулярные взаимодействия, определяемые химическим составом материала (в данном случае — защитного покрытия), и шероховатость поверхности исследуемого образца, наличие полостей и впадин, в которых могут задерживаться микроорганизмы [10, 12, 13]. В нашем исследовании с увеличением энергии разряда средняя шероховатость поверхности возрастала с 2,55 до 3,73 мкм, как считается, за счет увеличения размера расплавленных капель и формирующихся затем кристаллов защитного покрытия.

При исследовании микробной адгезии к образцам до использования для тест-штамма стафилококка *S. aureus* отмечался самый низкий уровень адгезии в пределах от 0,33 до 0,38. В целом прослеживалась тенденция на увеличение индекса адгезии в зависимости от степени шероховатости защитного покрытия. Однако только с IV образцом наблюдалось достоверное увеличение значения индекса до $0,43 \pm 0,04$ ($p < 0,05$), поэтому вопрос о корреляционной зависимости между индексом адгезии и степенью шероховатости остался открытым. Существенно более высокую адгезивную активность проявили бациллы и дрожжевые грибы *Candida*. Для тест-штамма *B. cereus* значения индексов адгезии находились в пределах от 0,54 до 0,58, причем статистически

достоверных различий для разных образцов и по отношению к контролю без покрытия не выявлено. Еще более высокие индексы адгезии выявлены с тест-штаммом *C. albicans* с I и II образцом — 0,65 и 0,69 соответственно. Причем с III образцом выявлено достоверное снижение адгезии грибов до 0,55, а с IV — напротив, достоверное увеличение до 0,74 ($p < 0,05$). Для тест-штамма другого вида грибов — *C. glabrata* значения индексов адгезии находились на высоком уровне в пределах от 0,71 до 0,76, но статистически достоверных различий для разных образцов и с контролем не выявлено (табл. 2).

Таблица 2. Индекс адгезии возбудителей к образцам с разными вариантами покрытий

Table 2. Adhesion index of agents to samples with different coating options

Микроорганизм	Образец			
	I (контроль)	II (5 мкм)	III (20 мкм)	IV (40 мкм)
<i>Staphylococcus aureus</i>	$0,33 \pm 0,03$	$0,35 \pm 0,03$	$0,38 \pm 0,04$	$0,43 \pm 0,04^*$
<i>Bacillus cereus</i>	$0,54 \pm 0,03$	$0,55 \pm 0,04$	$0,58 \pm 0,04$	$0,55 \pm 0,03$
<i>Candida albicans</i>	$0,65 \pm 0,04$	$0,69 \pm 0,04$	$0,55 \pm 0,04^*$	$0,74 \pm 0,04^*$
<i>Candida glabrata</i>	$0,71 \pm 0,04$	$0,76 \pm 0,04$	$0,72 \pm 0,05$	$0,75 \pm 0,04$

Примечание. * — статистически достоверно значимое отличие от контрольного I образца.

Таким образом, можно сделать предварительное заключение в пользу III образца, для которого получены минимальные значения индекса адгезии с большинством тест-штаммов и, напротив, худшие показатели оказались у IV образца, который отличался самой значительной толщиной и степенью шероховатости покрытия (3,73 мкм).

При применении «Венделина» отмечалось достоверное снижение индекса адгезии *S. aureus* как по сравнению с I образцом, так и по сравнению с данными до обработки у III и IV образца. Со штаммом *C. albicans* — аналогично. С бациллами *B. cereus* и грибами *C. glabrata* достоверных различий не выявлено. Вместе с тем при сравнении с исходным индексом адгезии со штаммом *S. aureus* до обработки ДС ($0,33$ в контроле) отмечено достоверное увеличение после обработки ($0,48$; табл. 3).

Таблица 3. Индекс адгезии возбудителей к образцам после обработки растворами дезинфицирующих средств «Венделин» и «Мегадез Орто»

Table 3. Adhesion index of pathogens to samples after treatment with solutions of disinfectants "Wendelin" and "Megadez Ortho"

Микроорганизм	«Венделин»				«Мегадез Орто»			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
<i>Staphylococcus aureus</i>	$0,48 \pm 0,05^*$	$0,38 \pm 0,05^*$	$0,33 \pm 0,04^*$	$0,45 \pm 0,04^*$	$0,33 \pm 0,03$	$0,33 \pm 0,03$	$0,33 \pm 0,04$	$0,43 \pm 0,04^*$
<i>Bacillus cereus</i>	$0,53 \pm 0,03$	$0,53 \pm 0,04$	$0,53 \pm 0,04$	$0,54 \pm 0,03$	$0,55 \pm 0,03$	$0,55 \pm 0,04$	$0,58 \pm 0,04$	$0,60 \pm 0,03$
<i>Candida albicans</i>	$0,71 \pm 0,04$	$0,65 \pm 0,04^{**}$	$0,60 \pm 0,04^{**}$	$0,72 \pm 0,04$	$0,69 \pm 0,04$	$0,61 \pm 0,04^{**}$	$0,62 \pm 0,04^{**}$	$0,72 \pm 0,04$
<i>Candida glabrata</i>	$0,75 \pm 0,04$	$0,76 \pm 0,04$	$0,72 \pm 0,05$	$0,75 \pm 0,04$	$0,75 \pm 0,04$	$0,76 \pm 0,04$	$0,72 \pm 0,05$	$0,72 \pm 0,04$

Примечание. Различия статистически достоверно значимы ($p < 0,05$): * — в сравнении с контролем; # — в сравнении с индексом адгезии до обработки.

Таблица 4. Индекс адгезии возбудителей к образцам после обработки дезинфицирующим средством «Трилокс» при 50°C в течение 120 часов

Микроорганизм	Рабочий раствор (2%)				Концентрат			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
<i>Staphylococcus aureus</i>	0,33±0,03	0,33±0,03	0,38±0,04	0,42±0,04*	0,50±0,03**†	0,38±0,04	0,38±0,04	0,56±0,03**†
<i>Bacillus cereus</i>	0,54±0,03	0,55±0,04	0,58±0,04	0,60±0,03	0,50±0,03	0,52±0,04	0,55±0,04	0,60±0,05
<i>Candida albicans</i>	0,60±0,04	0,65±0,04	0,54±0,04	0,71±0,04*	0,74±0,04**†	0,69±0,04	0,55±0,04	0,72±0,04
<i>Candida glabrata</i>	0,71±0,04	0,76±0,04	0,75±0,05	0,72±0,04	0,66±0,04	0,66±0,04	0,69±0,05	0,75±0,04

Примечание. Различия статистически достоверно значимы ($p < 0,05$): * — в сравнении с контролем; # — в сравнении с индексом адгезии до обработки; † — в сравнении с рабочим раствором.

При применении «Мегадеза Орто» со штаммом *S. aureus* отмечалось повышение индекса адгезии на IV образце по сравнению с I образцом, что, однако, статистически не отличалось от данных до обработки, то есть не связано с действием ДС. Со штаммом *C. albicans*, напротив, отмечено снижение адгезии на IV образце как по сравнению со II образцом, так и по сравнению с данными до обработки. С бациллами *B. cereus* и грибами *C. glabrata* достоверных отличий не выявлено (см. табл. 3). Следовательно, «Венделин» и «Мегадез Орто» не оказывали отрицательного действия на поверхность образцов и не усиливали адгезию тест-штаммов, а в отношении некоторых грибов, наоборот, снижал.

При применении ДС «Трилокс» со всеми тест-штаммами не отмечалось достоверного изменения индекса адгезии. Следовательно, ДС «Трилокс» не оказывал отрицательного действия на поверхность образцов и не усиливал адгезию тест-штаммов при 25 °C. Через 120 ч установлено статистически достоверное значительное повышение индекса адгезии тест-штамма микробов на исходном контрольном образце и отсутствие достоверных изменений для образцов с покрытием (табл. 4). Таким образом, полученные результаты подтверждают, что сформированные покрытия из твердых растворов на основе железа ($\text{Fe}_{24}\text{Ti}_9$, Fe_{47}C_3 , Cr-Ni-Fe-C) и упрочняющей фазы TiC на поверхности образцов обеспечивают их коррозионную стойкость и антиадгезивный эффект при воздействии 2% ДС «Трилокс».

Учитывая этот факт, аналогичный эксперимент был проведен с концентратом данного препарата, который используется для разведения непосредственно перед употреблением с целью получения рабочего 2%-ного раствора. В результате было установлено, что концентрат практически не влияет на структуру материала в случае нанесения защитного покрытия, так не влияет на индекс адгезии, в то время как индекс адгезии к контрольному образцу (без покрытия) существенно возрастал в эксперименте со штаммами *S. aureus* и *C. albicans*, т.е. происходили структурные изменения поверхности образца без защитного покрытия химического характера вследствие агрессивного воздействия компонентами концентрированного

ДС (окисление) [1, 3, 6]. Некоторое повышение адгезии со штаммом *S. aureus* отмечено также для IV образца.

Проведенные испытания образцов с покрытием при выдержке образцов в растворах ДС до 5 суток показали, что при комнатной температуре их масса, как показатель коррозионного действия, не изменилась (табл. 5). При этом не отмечено никаких изменений при экспозиции в ДС «Трилокс» и «Мегадез-Орто».

Результаты СЭМ также подтвердили отсутствие изменений морфологии их поверхности. Данный факт свидетельствует о том, что сформированные защитные покрытия не подвергаются коррозии при воздействии изучаемых растворов ДС при комнатной температуре. В то время как в случае использования контрольного образца (без покрытия) в ряде случаев определялись признаки, указывающие на деструкцию и коррозию, особенно при ужесточении режима обработки.

Таблица 5. Результаты коррозионных испытаний при помещении образцов в ДС на 120 часов при 50°C
Table 5. Results of corrosion tests when placing samples in ET for 120 hours at 50°C

Дезинфицирующее средство	Образец	Масса, мг			Изменение массы на единицу площади, 10^{-3} мг/мм ²
		до	после	Δ	
Трилокс, рабочий раствор	I	414,5	414,5	0	0
	II	414,9	414,9	0	0
	III	415,3	415,3	0	0
	IV	417,7	417,7	0	0
Трилокс, концентрат	I	414,6	414,5	0,1	1,1
	II	417,5	417,5	0	0
	III	411,9	411,9	0	0
	IV	416,7	416,7	0	0
Мегадез Орто, рабочий раствор	I	420,5	420,5	0	0
	II	416,3	416,3	0	0
	III	419,8	419,8	0	0
	IV	419,9	419,9	0	0
Венделин, рабочий раствор	I	415,3	414,8	0,5	5,4
	II	418,5	417,8	0,7	7,6
	III	418,3	417,4	0,9	9,8
	IV	420,9	419,7	1,2	13,0

При повышении температуры до 50 °С и времени выдержки до 5 суток в рабочем растворе «Мегадез Орто» образцы с защитными покрытиями также не подвергались коррозии и изменения их массы не зафиксировано, в то время как у образцов без покрытия достоверно уменьшалась. Так, у I образца (без защитного покрытия) была зафиксирована убыль массы на $1,1 \cdot 10^{-3}$ мг/мм² при выдержке в концентрате ДС «Трилокс». При проведении СЭМ не выявлено никаких изменений характера поверхности только защитных покрытий после выдержки их в растворе при исследуемых температурах, то есть она визуально соответствовала исходной морфологии.

При обработке образцов в растворе ДС «Венделин» при комнатной температуре также изменений не выявлено, а при температуре 50 °С в течение 5 суток отмечены существенные различия по визуальным характеристикам и параметру изменения массы. В инструкции к данному ДС отмечено, что оно не вызывает коррозии металлов, включая нелегированные стали, сплавы цветных металлов (латунь, медь), титановые и алюминиевые сплавы при комнатной температуре. Но оказалось, что при нагреве этого ДС до 50 °С его химическая и коррозионная активность существенно повышается. При визуальном осмотре поверхности исходной подложки после ее нахождения в растворе ДС «Венделин» при температуре 50 °С в течение 5 суток наблюдаются локальные места коррозии (ржавчина), которые при СЭМ имели вид микропор и каверн размерами от 50 до 300 мкм. Визуально определяемый налет ржавчины указывал на то, что в результате нахождения подложки в растворе ДС железо частично окислилось.

Таким образом, в отличие от ДС «Трилокс», которое продемонстрировало лишь частичное увеличение микробной адгезии на I образце (без обработки) в максимально агрессивных условиях химического воздействия концентратом при температуре 50 °С в течение 5 суток, другой дезинфектант той же фирмы — «Венделин»

проявил довольно высокую коррозионную активность с повышением микробной адгезии на I и IV образцах. Напротив, ДС «Мегадез Орто» показал отсутствие значимых изменений микробной адгезии на всех образцах даже после длительной экспозиции в рабочем растворе.

В настоящем исследовании в качестве электродного материала был использован СВС-электроды, которые состоят из упрочняющей фазы TiC, небольшого количества Cr₃C₂ и никелевой матрицы NiCr [11]. Размер зерен TiC в электроде составил 1–5 мкм, которые имеют округлую форму. Как отмечают исследователи, полученный материал обладает высокими механическими характеристиками за счет упрочняющих карбидных фаз, является биоинертным и стойким к различным агрессивным химическим средам [8, 14].

С увеличением энергии разряда при данной технологии создания покрытия шероховатость поверхности возрастала с 2,55 до 3,73 мкм. При этом исходная шероховатость поверхности образцов без защитных покрытий составила 0,5 мкм. Очевидно, что, меняя режимы нанесения защитных покрытий, и в зависимости от условий работы инструмента с защитными покрытиями можно регулировать шероховатость поверхности (табл. 6). Например, для уменьшения шероховатости формируемых покрытий необходимо энергию разряда при ЭИЛ делать менее 0,1 Дж, либо прибегать к дополнительной полировке поверхности после нанесения защитного покрытия.

Учитывая, что оптимальные результаты по показателям микробной адгезии были получены с III образцом ($R_a=3,26$ мкм), и, напротив, худшие показатели оказались у IV образца, который отличался самой значительной толщиной и степенью шероховатости покрытия (3,73 мкм). На рис. 2 представлено конфокальное изображение поверхности образцов без покрытия (I) и с защитными металлокерамическими покрытиями (II–IV), полученное при проведении СЭМ.

На поверхности контрольных образцов без защитного покрытия по всей площади поверхности видны поры размерами до 50 мкм (темные округлые области). Образцы с защитными покрытиями представляют собой агломераты закристаллизованных капель, последовательно накладывающихся друг на друга, и хотя параметры шероховатости увеличиваются в последовательности образцов II→III→IV, данное обстоятельство не означает, что всегда будет наблюдаться увеличение микробной адгезии по сравнению с контролем, так как этот процесс является многофакторным и зависит не только от физико-технических характеристик, но также и от межмолекулярных взаимодействий с конкретными химическими соединениями в кристаллической решетке.

Таким образом, полученные результаты подтверждают, что сформированные защитные покрытия из твердых растворов на основе железа: Fe₂₄Ti₉, Fe₄₇C₃, Cr-Ni-Fe-C и упрочняющей фазы карбида титана TiC на поверхности образцов обеспечивают их коррозионную стойкость при воздействии рабочими растворами ДС, а при использовании ДС «Трилокс» также и концентратом.

Таблица 6. Шероховатость поверхности образцов в зависимости от режима ЭИЛ (мкм)

Table 6. Surface roughness of samples depending on EIL mode (μm)

Показатель	Образец и толщина покрытия			
	I (контроль)	II (5 мкм)	III (20 мкм)	IV (40 мкм)
R_a	0,47	2,55	3,26	3,73
R_p	1,45	7,05	8,98	9,07
R_v	2,07	8,08	7,95	13,40
R_z	2,50	15,10	16,90	21,40
S_a	0,75	2,89	3,54	4,50
S_z	11,22	29,30	37,70	40,60

Примечание. R_a — средняя шероховатость, 2D профиль; R_p — максимальная высота пика, 2D-профиль; R_v — максимальная глубина впадины, 2D профиль; R_z — максимальная шероховатость, 2D профиль; S_a — средняя шероховатость по площади; S_z — максимальная высота по площади.

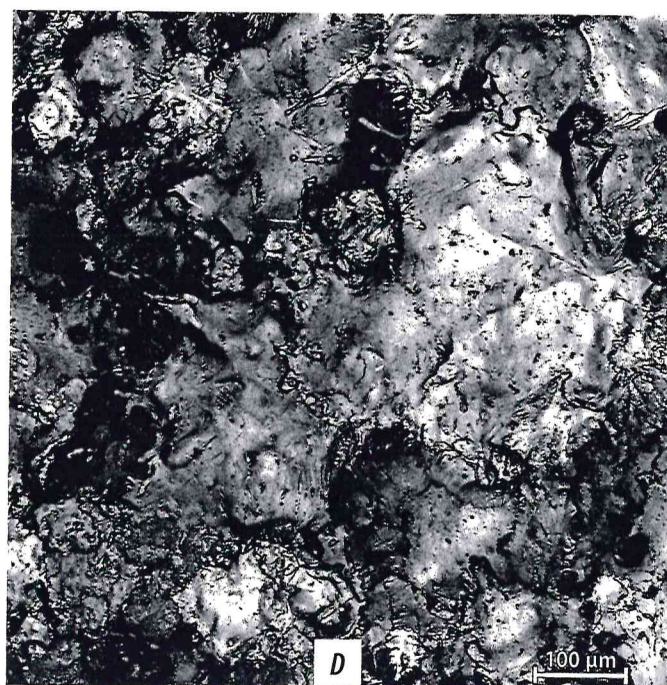
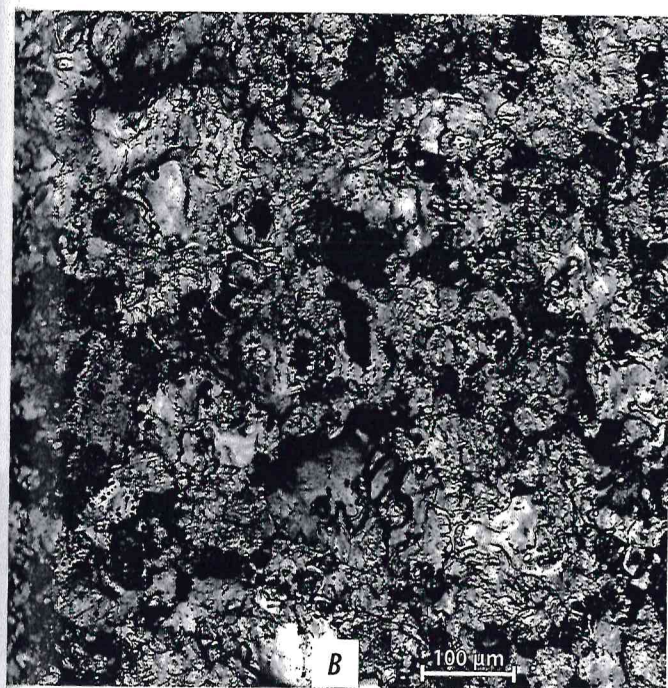
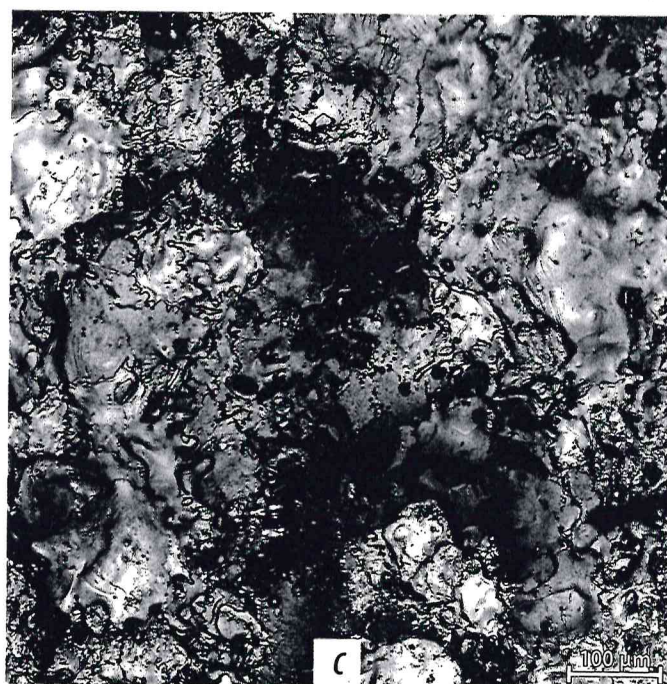
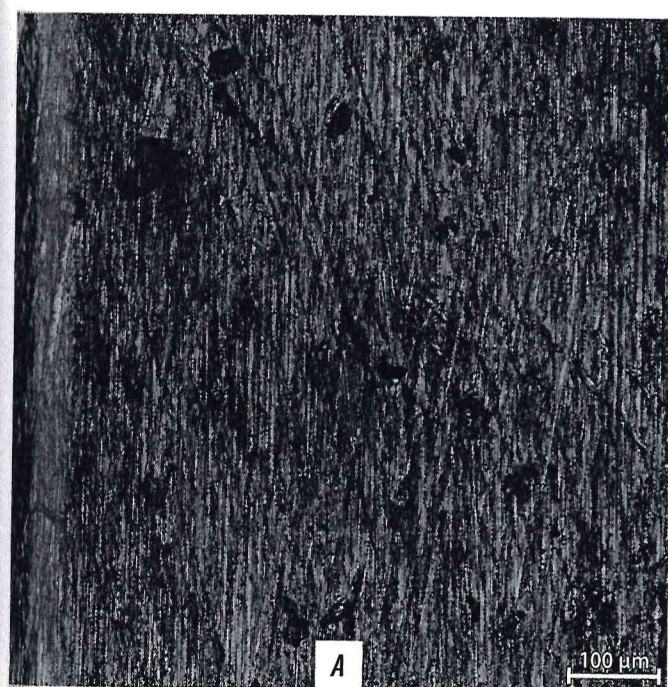


Рис. 2. Характер поверхности изучаемых образцов при конфокальной микроскопии: А — без покрытия, В—D — варианты с покрытием разной степени шероховатости

Fig. 2. The of the surface of the studied samples under confocal microscopy: A — without coating, B—D — variants with coating of different degrees of roughness

ВЫВОДЫ

1. Защитные покрытия, состоящие из твердых растворов на основе железа ($\text{Fe}_{241}\text{Ti}_9$, Fe_{47}C_3 , Cr-Ni-Fe-C и упрочняющей фазы TiC, различаются по характеру поверхности (степени шероховатости) в зависимости от мощности энергетического воздействия — с увеличением энергии разряда при обработке доля карбидной фазы в покрытии увеличивается, что повышает твердость

и износостойкость поверхности инструмента, в результате чего также и увеличивается ресурс его работы.

2. Образцы с защитными покрытиями при выдержке в течение от 2 часов до 5 суток в растворе 2% щелочного дезинфектанта «Трилокс» при температурах 25 и 50°C не подверглись каким либо проявлениям коррозионного действия включая низкие показатели микробной адгезии стафилококка и грибов *Candida* в отличие от не обработанного металла, что подтверждает высокую

прочность покрытия по сравнению с контрольными образцами.

3. Методика оценки результатов микробной адгезии может быть использована для оценки структурно-молекулярных изменений защитных металлокерамических покрытий на медицинских инструментах для контроля качества самого покрытия и коррозионного действия дезинфектантов.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Поступила: 07.08.2024

Принята в печать: 20.10.2024

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Received: 07.08.2024

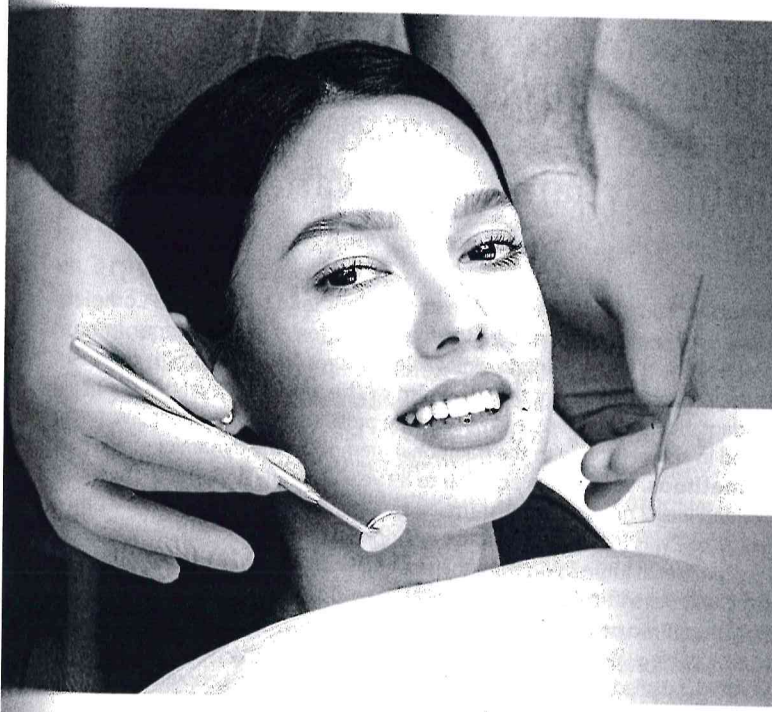
Accepted: 20.10.2024

ЛИТЕРАТУРА:

REFERENCES:

1. Арутюнов С.Д., Янушевич О.О., Корсунский А.М., Подпорин М.С., Салимон И.А., Романенко И.И., Царев В.Н. Сравнительный анализ эффективности современных методов стерилизации инструментов и место газодинамической обработки диоксидом углерода. — *Российская стоматология*. — 2022; 1: 12—19. eLibrary ID: 48470527
2. Laneve E., Raddato B., Dioguardi M., Di Gioia G., Troiano G., Lo Muzio L. Sterilisation in dentistry: A review of the literature. — *Int J Dent*. — 2019; 2019: 6507286. PMID: 30774663
3. Salimon A.I., Statnik E.S., Kan Yu., Yanushevich O.O., Tsarev V.N., Podporin M.S., Arutyunov S.D., Skripnichenko P.Yu., Galstyan M.S., Korsunsky A.M. Comparative study of biomaterial surface modification due to subcritical CO₂ and autoclave disinfection treatment. — *The Journal of Supercritical Fluids*. — 2022; 191: 105789. DOI: 10.1016/j.supflu.2022.105789
4. Порфирьев Б.Н., Широков А.А., Янушевич О.О., Грачев Д.И., Ползиков Д.А., Золотницкий И.В., Арутюнов С.Д. Социально-экономические проблемы и возможности развития льготного стоматологического ортопедического лечения. — *Проблемы прогнозирования*. — 2023; 1 (196): 104—116. eLibrary ID: 53743058
5. Царев В.Н., Акавов А.Н., Карпова В.М., Царева Е.В., Ласточкин А.А. Экспериментальное микробиологическое обоснование дезинфекционных мероприятий как составляющей инфекционной безопасности в практике работы стоматолога-ортопеда. — *Клиническая стоматология*. — 2023; 3: 125—133. eLibrary ID: 54509017
6. Xu Y., Huang Z., Corner G. A study of the effect of clinical washing decontamination process on corrosion resistance of martensitic stainless steel 420. — *Biomed Mater Eng*. — 2016; 27 (4): 341—351. PMID: 27689568
7. Bazhin P.M., Kostitsyna E.V., Stolin A.M., Bychkova M.Y., Pazniak A., Chizhikov A.M. Nanostructured ceramic composite rods: Synthesis, properties and application. — *Ceramics International*. — 2019; 7: 9297—9301. DOI: 10.1016/j.ceramint.2019.01.188
8. Антипов М.С., Бажин П.М., Константинов А.С., Чижигов А.П., Жидович А.О., Столин А.М. Структура, механические и трибологические свойства композиционных покрытий на основе Ti-Cr-C-Ni-Fe. — *Физическая мезомеханика*. — 2023; 4: 117—128. DOI: 10.1134/s1029959923060085
9. Пантелеенко Ф.И., Саранцев В.В., Столин А.М., Бажин П.М., Азаренко Е.Л. Создание композиционных покрытий на основе карбида титана электроискровым легированием. — *Электронная обработка материалов*. — 2011; 4: 106—115. eLibrary ID: 20175318
1. Arutyunov S.D., Yanushevich O.O., Korsunsky A.M., Podporin M.S., Salimon I.A., Romanenko I.I., Tsarev V.N. Comparative analysis of the effectiveness of modern methods of sterilization of instruments and the place of gas-dynamic treatment with carbon dioxide. *Russian Stomatology*. 2022; 1: 12—19 (In Russian). eLibrary ID: 48470527
2. Laneve E., Raddato B., Dioguardi M., Di Gioia G., Troiano G., Lo Muzio L. Sterilisation in dentistry: A review of the literature. *Int J Dent*. 2019; 2019: 6507286. PMID: 30774663
3. Salimon A.I., Statnik E.S., Kan Yu., Yanushevich O.O., Tsarev V.N., Podporin M.S., Arutyunov S.D., Skripnichenko P.Yu., Galstyan M.S., Korsunsky A.M. Comparative study of biomaterial surface modification due to subcritical CO₂ and autoclave disinfection treatment. *The Journal of Supercritical Fluids*. 2022; 191: 105789. DOI: 10.1016/j.supflu.2022.105789
4. Porfiriev B.N., Shirov A.A., Yanushevich O.O., Grachev D.I., Polzikov D.A., Zolotnitskii I.V., Arutyunov S.D. Development of subsidized prosthodontic care: Socio-economic problems and opportunities. *Studies on Russian Economic Development*. 2023; 34 (1): 68—76. DOI: 10.1134/S1075700723010161
5. Tsarev V.N., Akavov A.N., Karpova V.M., Tsareva E.V., Lastochkin A.A. Experimental microbiological justification of disinfection measures as a component of infectious safety in the practice of an orthopedic dentist. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2023; 3: 125—133 (In Russian). eLibrary ID: 54509017
6. Xu Y., Huang Z., Corner G. A study of the effect of clinical washing decontamination process on corrosion resistance of martensitic stainless steel 420. *Biomed Mater Eng*. 2016; 27 (4): 341—351. PMID: 27689568
7. Bazhin P.M., Kostitsyna E.V., Stolin A.M., Bychkova M.Y., Pazniak A., Chizhikov A.M. Nanostructured ceramic composite rods: Synthesis, properties and application. *Ceramics International*. 2019; 7: 9297—9301. DOI: 10.1016/j.ceramint.2019.01.188
8. Antipov M.S., Bazhin P.M., Konstantinov A.S., Chizhikov A.P., Zhi-dovich A.O., Stolin A.M. Structure, mechanical and tribological properties of Ti-Cr-C-Ni-Fe composite coatings. *Physical Mesomechanics*. 2023; 6: 691—700. DOI: 10.1134/s1029959923060085
9. Panteleenko F.I., Sarantsev V.V., Stolin A.M., Bazhin P.M., Azarenko E.L. Creation the composite coating on basis of titanium carbide by electrospark alloying. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2011; 47 (4): 328—337. DOI: 10.3103/S1068375511040107

10. Царев В.Н., Степанов А.Г., Ипполитов Е.В., Подпорин М.С., Царева Т.В. Контроль первичной адгезии микроорганизмов и формирования биопленок на стоматологических материалах, используемых для трансдентальной имплантации при зубосохраняющих операциях. — *Клиническая лабораторная диагностика*. — 2018; 9: 568—573. eLibrary ID: 36510269
11. Bolotskaia A., Avdeeva V., Bazhin P., Mikheev M., Stolin A., Novikov V., Kovaleva M., Sirota V. Coatings prepared by electro-spark alloying with SHS electrode materials based on Ti-B-Fe-AlN. — *Coatings*. — 2023; 7: 1264. DOI: 10.3390/coatings13071264
12. Арутюнов А.С., Царева Т.В., Киракосян Л.Г., Левченко И.М. Особенности и значение адгезии бактерий и грибов полости рта как этапа формирования микробной биопленки на стоматологических полимерных материалах. — *Стоматология*. — 2020; 2: 79—84. eLibrary ID: 42851810
13. Arutyunov S., Kirakosyan L., Kharakh Y., Dubova L., Malginov N., Akhmedov G., Tsarev V. Microbial adhesion to dental polymers for conventional, computer-aided subtractive and additive manufacturing: A comparative in vitro study. — *Journal of Functional Biomaterials*. — 2022; 2: 42. DOI: 10.3390/jfb13020042
14. Bazhin P., Chizhikov A., Stolin A., Antipov M., Konstantinov A. Long-sized rods of Al_2O_3 -SiC-TiB₂ ceramic composite material obtained by SHS-extrusion: Microstructure, X-ray analysis and properties. — *Ceramics International*. — 2021; 20: 28444—28448. DOI: 10.1016/j.ceramint.2021.06.262
10. Tsarev V.N., Stepanov A.G., Ippolitov E.V., Podporin M.S., Tsareva T.V. Control of primary adhesion of microorganisms and formation of biofilms on stomatological materials used for transdental implantation in dental stabilizing operations. *Russian Clinical Laboratory Diagnostics*. 2018; 9: 568—573 (In Russian). eLibrary ID: 36510269
11. Bolotskaia A., Avdeeva V., Bazhin P., Mikheev M., Stolin A., Novikov V., Kovaleva M., Sirota V. Coatings prepared by electro-spark alloying with SHS electrode materials based on Ti-B-Fe-AlN. *Coatings*. 2023; 7: 1264. DOI: 10.3390/coatings13071264
12. Arutyunov A.S., Tsareva T.V., Kirakosyan L.G., Levchenko I.M. Features and significance of adhesion of bacteria and fungi of the oral cavity as the initial stage of the formation of a microbial biofilm on dental polymer materials. *Stomatology*. 2020; 2: 79—84 (In Russian). eLibrary ID: 42851810
13. Arutyunov S., Kirakosyan L., Kharakh Y., Dubova L., Malginov N., Akhmedov G., Tsarev V. Microbial adhesion to dental polymers for conventional, computer-aided subtractive and additive manufacturing: A comparative in vitro study. *Journal of Functional Biomaterials*. 2022; 2: 42. DOI: 10.3390/jfb13020042
14. Bazhin P., Chizhikov A., Stolin A., Antipov M., Konstantinov A. Long-sized rods of Al_2O_3 -SiC-TiB₂ ceramic composite material obtained by SHS-extrusion: Microstructure, X-ray analysis and properties. *Ceramics International*. 2021; 20: 28444—28448. DOI: 10.1016/j.ceramint.2021.06.262





CADEX
— CENTRAL ASIA DENTAL EXPO —

СТОМАТОЛОГИЧЕСКАЯ
ВЫСТАВКА

9-10-11 ОКТЯБРЯ 2025

АЛМАТЫ, АТАКЕНТ ЭКСПО
www.cadex.kz