

DOI: 10.18481/2077-7566-2018-14-4-104-109
УДК: 615.462:546.821].03:616.314-089.28].073

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ И УСТАЛОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АРМИРОВАННОГО ЧАСТИЦАМИ ДИОКСИДА ТИТАНА ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ БАЗИСОВ СЪЕМНЫХ ЗУБНЫХ ПРОТЕЗОВ

Вильдеман В. Э.¹, Гридина В. О.², Лобанов Д. С.¹, Рогожников Г. И.²,
Шулятникова О. А.², Мугатаров А. И.¹

- 1 ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь, Россия
- 2 ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет им. академика Е. А. Вагнера» Минздрава России, г. Пермь, Россия

Аннотация

Предмет. В ортопедической стоматологии для лечения пациентов используются съемные конструкции протезов. В настоящее время более 90 % базисов съемных протезов изготавливают из пластмасс на основе акрилатов. Доступная стоимость и эстетичность протезов из акриловой пластмассы делает их привлекательными для широких слоев населения. Тем не менее данный материал обладает рядом общеизвестных недостатков: остаточное содержание мономера, обладающего токсичным действием, может вызвать аллергические реакции и невозможность пользования съемными протезами; наличие пористой структуры поверхности материала способствует микробному обсеменению протеза; усадка акриловых пластмасс может достигать 8 %.

В связи с вышесказанным заслуживает внимания сертифицированный в России полиамидный конструкционный материал Vertex ThermoSens (Vertex-Dental B. V., Нидерланды; ISO-Сертификат 9001:2008), который не содержит в своем составе остаточный мономер и обладает минимальной усадкой при изготовлении конструкций съемных протезов. Из преимуществ также важно отметить высокую плотность термопластов в сочетании с малым удельным весом и минимальную пористость, в разы уменьшающую образование микробной пленки на протезах.

Цель — усиление прочностных и усталостных характеристик материала на основе Vertex ThermoSens, армированного частицами диоксида титана, для протезирования пациентов со сложными клиническими ситуациями.

Методология. В данной работе изучались механические характеристики полиамидного материала с введенным в его состав наноразмерным порошком диоксида титана (5 и 10 мас. %). Были проведены испытания на статический трехточечный изгиб при комнатной температуре и температуре 40 °С, а также усталостные испытания образцов данного материала. Проанализированы изменения характеристик материала при разных массовых долях наполнителя.

Результаты. Отмечены более высокие механические характеристики материала с 10-процентным наполнением, в частности, большая устойчивость к повышенным температурам и усталостная долговечность.

Выводы. Для создания зубных протезов будет более эффективным использование материала 2-й группы, чем 1-й. Результаты исследования будут актуальны при разработке упрочненных ортопедических конструкций для пациентов стоматологического профиля с различной клинической ситуацией.

Ключевые слова: зубопротезирование, диоксид титана, полиамид, механические характеристики, температурные испытания, усталостная долговечность

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflict of interest.

Адрес для переписки:

Вioletta Олеговна ГРИДИНА
614000, г. Пермь, ул. Петропавловская, д. 26
Тел.: 8-952-33-27-047
lettarus@mail.ru

Correspondence address:

Violetta O. GRIDINA
614000, Perm, Petropavlovskaya str., 26
Phone: 8-952-33-27-047
lettarus@mail.ru

Образец цитирования:

Вильдеман В. Э., Гридина В. О., Лобанов Д. С., Рогожников Г. И.,
Шулятникова О. А., Мугатаров А. И.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ И УСТАЛОСТНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК АРМИРОВАННОГО ЧАСТИЦАМИ ДИОКСИДА
ТИТАНА ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА
ДЛЯ БАЗИСОВ СЪЕМНЫХ ЗУБНЫХ ПРОТЕЗОВ
Проблемы стоматологии, 2018, т. 14, № 4, стр. 104–109
© Вильдеман В. Э. и др. 2018
DOI: 10.18481/2077-7566-2018-14-4-104-109

For citation:

Wildemann V. E., Gridina V. O., Lobanov D. S., Rogozhnikov G. I.,
Shuliatnikova O. A., Mugatarov A. I.
RESEARCH OF STRENGTH AND FATIGUE CHARACTERISTICS
OF REINFORCED WITH TITANIUM DIOXIDE PARTICLES POLYMER
COMPOSITE FOR BASES OF REMOVABLE DENTAL PROSTHESIS
Actual problems in dentistry, 2018, vol. 14, № 4, pp. 104–109
© Wildemann V. E. et al. 2018
DOI: 10.18481/2077-7566-2018-14-4-104-109

DOI: 10.18481/2077-7566-2018-14-4-104-109

RESEARCH OF STRENGTH AND FATIGUE CHARACTERISTICS OF REINFORCED WITH TITANIUM DIOXIDE PARTICLES POLYMER COMPOSITE FOR BASES OF REMOVABLE DENTAL PROSTHESIS

Wildemann V.E.¹, Gridina V.O.², Lobanov D.S.¹, Rogozhnikov G.I.²,
Shuliatnikova O.A.², Mugatarov A.I.¹

¹ State Budgetary Institution of Higher Professional Education of the Perm
National Research Polytechnic University, Perm, Russia

² State Budgetary Institution of Higher Professional Education of the E. A. Wagner Perm State Medical University, Perm, Russia

Abstract

Background. Removable designs are used in orthopedic dentistry for prosthetics of patients. The most used materials for the manufacture of bases of removable dental prosthesis currently are acrylate-based plastics. More than 90 % of removable dental prosthesis designs are produced with using of this material. The affordable cost of acrylate-based plastics prosthesis makes this material attractive for different groups of population. But this material has a number of well-known disadvantages: at first, the high concentration of residual monomer, which has a toxic effect, may cause allergic reaction and impossibility of using prosthesis; secondly, the porous structure of material contributes to the microbial seeding of the prosthesis; also, material shrinkage is up to 8 %.

In connection with above, the certified in Russia Vertex ThermoSens (Vertex-Dental B. V., the Netherlands; ISO-Certificate 9001:2008) polyamide construction material deserves attention. This material has no residual monomer in its composition; the prostheses has an ability to be corrected in laboratory; shrinkage in the process of manufacturing designs is minimal. It is important to note such advantages as the high density of thermoplastics in combination with low specific weight and minimal porosity, which significantly reduces the formation of a microbial film on prostheses.

Objectives. The aim of the research is to enhance the strength and fatigue characteristics of material based on Vertex ThermoSens, reinforced with titanium dioxide particles, for prosthetics of patients with complex clinical situations.

Methods. In this work, the mechanical characteristics of reinforced with titanium dioxide powder (5 and 10 % by weight) polyamide material have been investigated. Tests on a static three-point bend at room temperature and temperature of 40 °C and tests on fatigue of samples of this material were performed.

Results. The analysis of changes of characteristics of material at different mass fractions of filler was carried out. Higher mechanical characteristics of the material with 10 % filling were noted, in particular, greater resistance to elevated temperatures and greater fatigue life.

Conclusions. On the basis of research results it is possible to make a conclusion that using 1st group material is more effective for dental prosthesis production than using 2nd group material. The research results will be relevant for working out of dentures for patients with various clinical situation.

Keywords: prosthetic dentistry, titanium dioxide, polyamide, mechanical characteristics, temperature tests, fatigue life

Введение

В ортопедической стоматологии для протезирования пациентов применяют съемные конструкции [17, 26]. В настоящее время основными материалами (более 90 %) для изготовления базисов конструкций съемных протезов являются пластмассы на основе акрилатов [7, 12, 15]. Доступная стоимость протезов из акриловой пластмассы делает их весьма привлекательными для широких слоев населения. Однако данный материал обладает рядом недостатков: во-первых, высокое содержание мономера, обладающего токсическим действием, может вызвать аллергические реакции [4, 9, 14, 19]; во-вторых, пористая структура материала способствует его микробному обсеменению [18]; кроме того, усадка акрилатов может достигать 8 % [13]. В случаях, когда у пациента имеется гипертонус мышц жевательного комплекса, из-за повышенных функциональных нагрузок протезы могут ломаться или подвергаться значительному истиранию и приводить к потере лечебного действия [1].

Заслуживает определенного внимания сертифицированный в России полиамидный конструкционный материал Vertex ThermoSens (Vertex-Dental B. V., Нидерланды; ISO-Сертификат 9001:2008), который не содержит остаточный мономер в своем составе и обладает минимальной усадкой в процессе изготовления съемных конструкций. Также из преимуществ важно отметить его высокую плотность в сочетании с малым удельным весом и минимальную пористость, в разы уменьшающую образование микробной пленки на конструкциях зубных протезах [22].

Проблема повышения механических характеристик конструкционных материалов особенно актуальна в медицине, в частности, в ортопедической стоматологии [8, 10, 11, 16, 21, 23]. Армирование различными добавками позволяет добиться повышения износостойкости и долговечности материала. Введение в состав полиамида Vertex ThermoSens порошка диоксида титана приводит к определенным преимуществам, делающим данный полимер привлекательным

конструкционным материалом с высокими механическими характеристиками.

Целью работы является изучение влияния количества содержания наноразмерного порошка диоксида титана, введенного в состав полиамидного материала, на его прочностные характеристики.

Материалы и методы испытаний

Основой для методики статических испытаний является ГОСТ 31572—2012 «Материалы полимерные для базисных зубных протезов. Технические требования. Методы испытаний» [2, 3, 5, 25].

Для проведения испытаний по технологии термолитьевого прессования [6] были изготовлены из базисного материала Vertex ThermoSens образцы полосок длиной 30, шириной 10 и высотой 2 мм в общем количестве 20 штук, которые в зависимости от количества введенного диоксида титана разделили на две группы: 1-я — 5 мас. %, 2-я — 10. Из каждой группы для испытаний на статический трехточечный изгиб при комнатной и повышенной температуре (40 °С) было отобрано по 3 образца. На усталостную долговечность при изгибе было испытано по 4 образца из каждой группы. Геометрические измерения образцов проводились с точностью до 0,01 мм.

На базе ЦКП Центра экспериментальной механики ПНИПУ, на универсальной электромеханической системе Instron 5965 с центральным нагружающим индентором и двумя опорами в виде цилиндров диаметром 3,2 мм проводились испытания на статический трехточечный изгиб при комнатной температуре (22 °С) до значения прогиба в 7 мм. Расстояние между центрами опор было принято 25 мм, скорость нагружения составляла 5 мм/мин. Вид образца перед испытанием показан на рис. 1.



Рис. 1. Образец перед испытанием на трехточечный изгиб при комнатной температуре

Fig.1. The sample before test on a three-point bent at room temperature

В результате испытаний были получены зависимости силы от прогиба, в дальнейшем осуществлялся переход к зависимостям напряжения от прогиба. Определяли модуль Юнга и предел прочности

$$E = \frac{F_1 l^3}{4bh^3d}; \sigma_B = \frac{3F_{\max}l}{2bh^2},$$

где F_1 — значение силы на линейном участке диаграммы деформирования; F_{\max} — максимальная сила; d — прогиб; l — расстояние между опорами.

Испытания на трехточечный изгиб при повышенной температуре (40 °С) проводились на электромеханической установке Instron 5882, оснащенной температурной камерой для проведения испытаний при температурах от –100 до +350 °С [20]. Расстояние между опорами и скорость нагружения были аналогичными испытаниям при нормальной температуре. Перед испытаниями образцы термостатировались при заданной температуре в течение одного часа.

Статистическая обработка результатов проводилась по формулам:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \Delta x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}},$$

где x_i — экспериментально полученное значение исследуемой величины; \bar{x} — среднее значение; Δx_i — статистический разброс значений величины.

Испытания на усталостную долговечность проводились на электромеханической установке Instron ElectroPuls E 10000 с использованием той же оснастки, что и при статическом изгибе. Расстояние между опорами составляло 14 мм. База была уменьшена, так как при предварительных испытаниях оказалось, что образцы ломаются при приложении нагрузки вследствие недостаточной жесткости. Испытания проводились до разрушения при коэффициенте асимметрии $R = 0,1$, частоте 5 Гц, трех уровнях напряжений 0,3; 0,5; 0,7 от σ_B , полученного в ходе статических испытаний на трехточечный изгиб [24].

Результаты статических испытаний на трехточечный изгиб при нормальной и повышенной температурах приведены в табл. 1, диаграммы нагружения в координатах «напряжение/прогиб» представлены на рис. 2.

В образцах материала видны дисперсно распределенные белые включения, которые являются конгломератами добавленных частиц диоксида титана.

В ходе испытаний при повышенной температуре один из образцов 1-й группы (5 мас. % Ti_2O) разрушился при нагружении. При анализе поверхности излома образца установлено, что причиной локального охрупчивания и последующего разру-

Таблица 1

Результаты испытаний на статический трехточечный изгиб

Table 1

The Results of testing on a static three-point bent

Группа 1 (5 мас. % Ti ₂ O)				Группа 2 (10 мас. % Ti ₂ O)			
маркировка образца	предел прочности σ_{B^*} , МПа	модуль Юнга E, МПа	температура, °С	маркировка образца	предел прочности σ_{B^*} , МПа	модуль Юнга E, МПа	температура, °С
5-1	84,4	1573	22	10-1	85,3	1589	22
5-2	81,8	1653	22	10-2	72,7	1575	22
5-3	75,3	1699	22	10-3	86,7	1777	22
Среднее	80,5±4,7	1642±64	22	Среднее	81,6±7,7	1647±113	22
5-4	68,1	1244	40	10-4	80,9	1753	40
5-5	55,7	1306	40	10-5	69,5	1506	40
5-6	62,9	1143	40	10-6	71,1	1544	40
Среднее	62,2±6,8	1231±135	40	Среднее	73,8±3,6	1601±78	40

шения послужило случайное расположение двух конгломератов частиц диоксида титана в сечении приложения нагрузки. Результаты испытаний на трехточечный изгиб при нормальной температуре полимерного материала Vertex ThermoSens без наполнения приведены в [16].

По результатам испытаний можно отметить, что образцы 2-й группы (10 мас. % Ti₂O) имеют более высокие механические характеристики и обладают большей устойчивостью к повышенной температуре 40 °С. Снижение среднего значения предела прочности для 1-й группы образцов составило 23 %, а для 2-й — 10.

Для модуля упругости отмечается снижение на 25 % для 1-й группы образцов и на 3 % — для 2-й.

Результаты испытаний на усталостную долговечность приведены в табл. 2. Диаграмма зависимости числа циклов нагружения от значения показана на рис. 3.

Таблица 2

Результаты испытаний на усталость при трехточечном изгибе

Table 2

Tests results on fatigue at three-point bent

Группа 1 (5 мас. % Ti ₂ O)			Группа 2 (10 мас. % Ti ₂ O)		
номер образца		число циклов N	номер образца		число циклов N
5-8	0,3	1348618	10-8	0,7	22504
5-9	0,5	41177	10-9	0,5	107036
5-10	0,7	11553	10-10	0,3	3442561*

* — образец не разрушился после 8 суток испытания.

По результатам испытаний на усталостную долговечность полимерных образцов установлено, что долговечность материала 2-й группы образцов более чем в два раза превышает долговечность материала 1-й. Образцы испытывались до разрушения. Образец 2-й группы при значении $\sigma_{max}/\sigma_{B^*} = 0,3$ не разрушился после 8 суток испытания и был снят ввиду отсутствия видимых повреждений и поверхностных дефектов, а также изменений в гистерезисе нагружения.

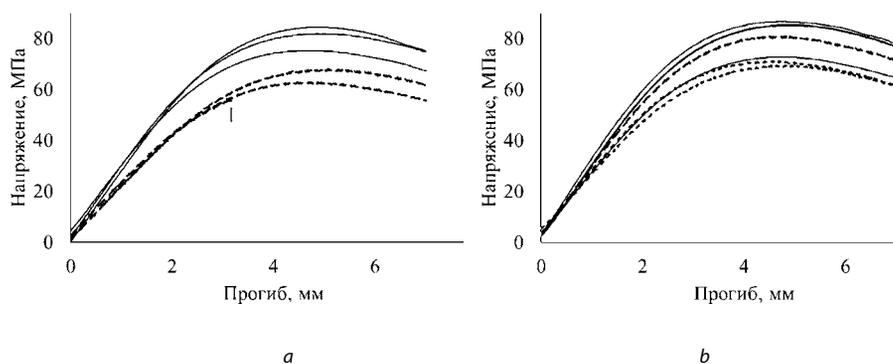


Рис. 2. Нагружение для образцов, наполненных порошком диоксида титана 5 (а) и 10 (б)%. Сплошная линия — при комнатной температуре; прерывистая — при температуре 40 °С

Fig. 2. Loading for samples of reinforced with titanium dioxide powder with 5 (a) and 10 (б) %. Continuous line is samples at room temperature; discontinuous line is samples at 40 °С

Выводы

Таким образом, проведены исследования прочностных и усталостных характеристик материала Vertex ThermoSens, наполненного наноразмерным порошком диоксида титана. Получены графики зависимости силы от прогиба, вычислены значения модуля Юнга, предела прочности при испытаниях на статический трехточечный изгиб при нормальной (22 °С) и повышенной (40 °С) температурах. Получена качественная зависимость усталостной долговечности от параметров нагружения и содержания наполнителя в полимерном материале.

На основании результатов статических испытаний на трехточечный изгиб можно отметить близкие значения предела прочности и модуля Юнга для материалов 1-й и 2-й групп, при комнатной температуре попадающие в статистический разброс. При повышенной температуре наблюдается снижение предела прочности на 23 и 10 %, модуля Юнга — на 25 и 3 % соответственно. Необходимо отметить, что в ходе статических испытаний возникла проблема с неравномерным распределением и образованием макроконгло-

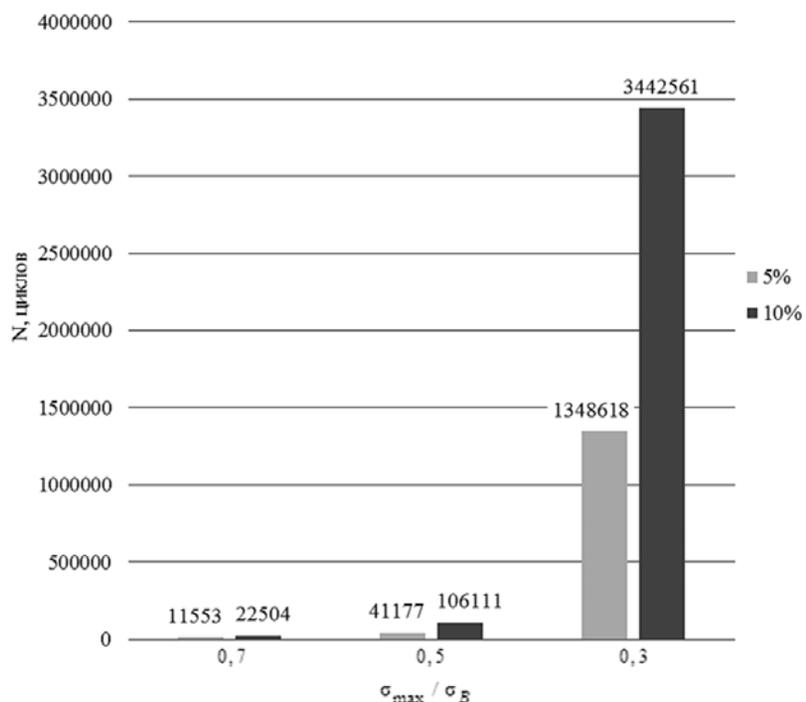


Рис. 3. Зависимость долговечности (числа пройденных циклов) от параметров нагружения

Fig. 3. Durability dependence (number cycles) of loading parameters

мератов частиц наполнителя в полимерном материале независимо от содержания наполнителя. В ряде случаев такие образования сыграли роль концентраторов напряжений, уменьшающих прочностные характеристики материала, что приводило к локальному охруп-

чиванию с последующим доломом образцов. Решение этой проблемы остается актуальной задачей с точки зрения совершенствования технологических режимов и процессов равномерного распределения наноразмерного керамического порошка по всему объему расплава полимерного материала.

Стоит отметить, что полученные результаты испытаний на усталостную долговечность имеют определенную значимость для практического применения. Экспериментально установлено, что для материала 2-й группы по сравнению с 1-й увеличение усталостной долговечности при значениях параметров нагружения = 0,7; 0,5 и 0,3 составило 95, 158 и 155 % соответственно. На основании результатов исследования можно сделать вывод: для создания протеза будет более эффективным использование материала 2-й группы, чем 1-й. Он будет актуален при разработке упрочненных ортопедических конструкций для пациентов стоматологического профиля с различной клинической ситуацией.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 16-41-590360) в Пермском национальном исследовательском политехническом университете.

Литература

1. Анатомия, физиология и биомеханика зубочелюстной системы: учебник для медицинских училищ и колледжей. – под ред. С.Д. Арутюнова, Л.Л. Колесникова, В.П. Дегтярева, И.Ю. Лебедево. – Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2017. – 328 с.
2. Баринов, С.М. Прочность технической керамики / С.М. Баринов, В.Я. Шевченко. – Москва: Наука, 1996. – 159 с.
3. Экспериментальные исследования деформационных и прочностных свойств наномодифицированных стеклотекстолитов / В.Э. Вильдеман, А.В. Бабушкин, С.М. Никулин, М.П. Третьяков, Д.С. Лобанов, Н.В. Струк // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2012. – Т. 78, № 7. – С. 57–61.
4. Ворожко, А.А. Возможности индивидуального подхода к планированию ортопедического лечения с учетом аллергического анамнеза пациента / А.А. Ворожко, В.А. Клемин // Современная ортопедическая стоматология. – 2015. – № 23. – С. 27–29.
5. Гаврюшина, Н.Т. Исследование прочности армированных композиционных образцов при трехточечном изгибе / Н.Т. Гаврюшина, Б.В. Букеткин // Наука и образование. – 2014. – № 12. – С. 832–841.
6. Гарамов, Л. Литейное дело. Практические примеры / Л. Гарамов // Зубной техник. – 2004. – № 6. – С. 32–34.
7. Зотов, А.И. Базисные полимеры, применяемые в стоматологии для изготовления съёмных пластиночных протезов и аппаратов / А.И. Зотов, Д.Н. Демченко // Молодой ученый. – 2015. – № 13. – С. 270–274.
8. Исследование прочности стоматологической керамики при циклической усталостной нагрузке / С.А. Николенко, И.В. Ильенко, А.И. Зубарев, Л.А. Шарипо, А. Мушвек, У. Лобауэр // Клиническая стоматология. – 2015. – № 1 (73). – С. 10–14.
9. Олесова, В.Н. Характеристика индифферентности основных протетических материалов / В.Н. Олесова, А.А. Адамчик, Н.А. Узунян // Институт стоматологии. – 2015. – № 3. – С. 80–81.
10. Экспериментальное исследование процессов разрушения полунатурных керамических элементов зубных протезов методом регистрации сигналов акустической эмиссии / А.Г. Рогожников, В.Э. Вильдеман, А.В. Биккулова, Е.М. Зубова, Г.И. Рогожников, О.А. Шулятникова // Российский журнал биомеханики. – 2018. – № 2. – С. 230–240.
11. Рогожников, А.Г. Способ получения и физико-механические испытания отечественных керамических материалов на основе диоксида циркония из наноструктурированных порошков / А.Г. Рогожников // Уральский медицинский журнал. – 2015. – № 10. – С. 113–119.
12. Руководство по стоматологическому материаловедению / под ред. Э.С. Каливарджиян, Е.А. Брагина. – Москва: ООО «Медицинское информационное агентство», 2013. – 304 с.
13. Трегубов, И.Д. Обоснование к применению современных полимерных материалов в клинике ортопедической стоматологии и ортодонтии. дис. ... канд. мед. наук / Трегубов И.Д. – Волгоград, 2007. – 123 с.
14. Чулак, Л.Д. Особенности ортопедического лечения больных с полным отсутствием зубов, страдающих непереносимостью акриловых пластмасс / Л.Д. Чулак, В.А. Розуменко // Стоматологический журнал. – 2013. – № 4. – С. 336–339.
15. Биомеханическое обоснование возможности использования полиамидного конструкционного материала для изготовления сложнотелесных протезов / О.А. Шулятникова, Г.И. Рогожников, Л.Е. Леонова [и др.] // Проблемы стоматологии. – 2017. – № 3. – С. 85–88.
16. Экспериментальное исследование физико-механических характеристик полимерного базисного материала при введении в его состав наноразмерного диоксида титана / О.А. Шулятникова, Г.И. Рогожников, С.Е. Порозова [и др.] // Проблемы стоматологии. – 2017. – Т. 13, № 1. – С. 46–50.
17. Bholá, S. The importance of communication in the construction of partial dentures / S. Bholá, P.H. Hellyer, D.R. Radford // British Dental Journal. – 2018. – Vol. 224, № 11. – P. 853–856.
18. Grischke, J. Antimicrobial dental implant functionalization strategies — a systematic review / J. Grischke, J. Eberhard, M. Stiesch // Dental Materials Journal. – 2016. – Vol. 35, № 4. – P. 545–558.
19. Influence of basic dental materials on indicators of free radical oxidation and antioxidant blood's potential of white rats (experimental study) / V.S. Kuz, V.N. Dvornyk, V.A. Kostenko, G.M. Kuz, O.Y. Akimov // Wiadomości lekarskie (Warsaw, Poland). – 2018. – Vol. 71, № 2. – P. 318–322.
20. Lobanov, D.S. Experimental studies of the high temperature influence on strength and deformation properties of combined glass organoplastics / D.S. Lobanov, A.V. Babushkin // PNRPU Mechanics Bulletin. – 2017. – № 1. – P. 104–117.
21. Biophysical characterization of functionalized titania nanoparticles and their application in dental adhesives / J. Sun, E.J. Petersen, S.S. Watson, C.M. Sims, A. Kassman, S. Frukhtbeyn, D. Skrtic, M.T. Ok, D.S. Jacobs, V. Reipa, Q. Ye, B.C. Nelson // Acta Biomaterialia. – 2017. – Vol. 53. – P. 585–597.
22. Vertex ThermoSens. Natural feel & aesthetic look [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vertex-dental.com/modules/Products/upload/218/VERTEX1407%20ThermoSens%20folder%20English%2003-09-2014.pdf>.
23. Chemical characterization and bioactivity of epoxy resin and Portland cement-based sealers with niobium and zirconium oxide radiopacifiers / R. Viapiana, J.M. Guerreiro-Tanomaru, M.A. Hungaro-Duarte, M. Tanomaru-Filho, J. Camilleri // Dent. Mater. J. – 2014. – Vol. 30, № 9. – P. 1005–1020.
24. Wil'deman, V.E. Diagram and Parameters of Fatigue Sensitivity for Evaluating the Residual Strength of Layered GFRP Composites After Preliminary Cyclic Loadings / V.E. Wil'deman, O.A. Staroverov, D.S. Lobanov // Mechanics of Composite Materials. – 2018. – Vol. 54, № 3. – P. 313–320.

25. Yang, A. Synthesis and Characterization of a Polyimide-Epoxy Composite for Dental Applications / A. Yang, C. Xu // *Mechanics of Composite Materials*. – 2018. – Vol. 54, № 1. – P. 71–78.
26. Zlatarić, D. K. The effect of removable partial dentures on periodontal health of abutment and non-abutment teeth / D. K. Zlatarić, A. Čelebić, M. Valentić-Peruzović // *Journal of Periodontology*. – 2002. – Vol. 73, № 2. – P. 137–144.

References

1. Eds. Arutyunova, S. D., Kolesnikova, L. L., Degtyareva, V. P., Lebedenko, I. YU. (2017). *Anatomiya, fiziologiya i biomehanika zubochehlyustnoy sistemy: uchebnik dlya meditsinskoy uchilishch i kolledzhey [Anatomy, physiology and biomechanics of the dental system: a textbook for medical schools and colleges]*. Moscow: GEOTAR-Media, 328. (In Russ.)
2. Barinov, S. M., Shevchenko, V. YA. (1996). *Prochnost' tekhnicheskoy keramiki [The strength of technical ceramics]*. Moscow: Science, 159. (In Russ.)
3. Vil'deman, V. E., Babushkin, A. V., Nikulin, S. M., Tret'yakov, M. P., Lobanov, D. S., Struk, N. V. (2012). Eksperimental'nyye issledovaniya deformatsionnykh i prochnostnykh svoystv nanomodifitsirovannykh steklolekstolitov [Experimental studies of the deformation and strength properties of nano-modified fiberglass laminates]. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov [Plant Laboratory. Diagnostics of materials]*, 78, 7, 57–61. (In Russ.)
4. Vorozhko, A. A., Klemm, V. A. (2015). Vozmozhnosti individual'nogo podkhoda k planirovaniyu ortopedicheskogo lecheniya s uchetom allergicheskogo anamneza patsiyenta Possibilities of an individual approach to planning orthopedic treatment, taking into account the patient's allergic history]. *Sovremennaya ortopedicheskaya stomatologiya [Modern Orthopedic Dentistry]*, 23, 27–29. (In Russ.)
5. Gavryushina, N. T., Buketkin, B. V. (2014). Issledovaniye prochnosti armirovannykh kompozitsionnykh obraztsov pri trekhtochechnom izgibe [Study of the strength of reinforced composite samples with three-point bending]. *Nauka i obrazovaniye [Science and education]*, 12, 832–841. (In Russ.)
6. Garamov, L. (2004). Liteynoye delo. Prakticheskiye primery Foundry. [Practical Examples]. *Zubnyy tekhnik [Dental Technician]*, 6, 32–34. (In Russ.)
7. Zotov, A. I., Demchenko, D. N. (2015). Baziynyie polimery, primenyayemye v stomatologii dlya izgotovleniya s'yomnykh plastinchnykh protezov i apparatov [Basic polymers used in dentistry for the manufacture of removable laminar dentures and devices]. *Molodoy uchenyy [Young Scientist]*, 13, 270–274. (In Russ.)
8. Nikolenko, S. A., Il'yenko, I. V., Zubarev, A. I., Sharipo, L. A., Mushvek, A., Lobauer, U. (2015). Issledovaniye prochnosti stomatologicheskoy keramiki pri tsiklicheskoy ustalostnoy nagruzke [Study of the strength of dental ceramics under cyclic fatigue loading]. *Klinicheskaya stomatologiya [Clinical Dentistry]*, 1 (73), 10–14. (In Russ.)
9. Olesova, V. N., Adamchik, A. A., Uzunyan, N. A. (2015). Kharakteristika inderferentnosti osnovnykh proteticheskikh materialov [Characteristic inderferency main prosthetic materials]. *Institut stomatologii [Institute of Dentistry]*, 3, 80–81. (In Russ.)
10. Rogozhnikov, A. G., Vil'deman, V. E., Bikkulova, A. V., Zubova, E. M., Rogozhnikov, G. I., Shulyatnikova, O. A. (2018). Eksperimental'noye issledovaniye protsessov razrusheniya polunaturnykh keramicheskikh elementov zubnykh protezov metodom registratsii signalov akusticheskoy emissii [Experimental study of the destruction processes of semi-ceramic ceramic elements of dental prostheses using the method of recording acoustic emission signals]. *Rossiyskiy zhurnal biomehaniki [Russian Journal of Biomechanics]*, 2, 230–240. (In Russ.)
11. Rogozhnikov, A. G. (2015). Sposob polucheniya i fiziko-mekhanicheskiye ispytaniya otechestvennykh keramicheskikh materialov na osnove dioksida tsirkoniya iz nanostrukturirovannykh poroshkov [The method of obtaining and physico-mechanical testing of domestic ceramic materials based on zirconium dioxide from nanostructured powders]. *Ural'skiy meditsinskiy zhurnal [Ural Medical Journal]*, 10, 113–119. (In Russ.)
12. Eds. Kalivardzhiyan, E. S., Bragin, Ye. A. (2013). *rukovodstvo po stomatologicheskomu materialovedeniyu [Guide to dental materials]*. Moscow: Medical Information Agency LLC, 304. (In Russ.)
13. Tregubov, I. D. (2007). *Obosnovaniye k primeneniyu sovremennykh polimernykh materialov v klinike ortopedicheskoy stomatologii i ortodontii [Rationale for the use of modern polymeric materials in the clinic of orthopedic dentistry and orthodontics: dis... cand. ed. med.]*. Volgograd, 123. (In Russ.)
14. Chulak, L. D., Rozumenko, V. A. (2013). Osobennosti ortopedicheskogo lecheniya bol'nykh s polnym otsutstviem zubov, stradayushchikh neperenosimost'yu akrilovykh plastmass [Features of orthopedic treatment of patients with a complete absence of teeth suffering from intolerance to acrylic plastics]. *Stomatologicheskyy zhurnal [Dental Journal]*, 4, 336–339. (In Russ.)
15. Shulyatnikova, O. A., Rogozhnikov, G. I., Leonova, L. Ye. et al. (2017). Biomekhanicheskoye obosnovaniye vozmozhnosti ispol'zovaniya poliimidnogo konstruktivnogo materiala dlya izgotovleniya slozhnochehlyustnykh protezov [Biomechanical substantiation of the possibility of using polyamide structural material for the manufacture of complex jaw prostheses]. *Problemy stomatologii [Problems of Dentistry]*, 3, 85–88. (In Russ.)
16. Shulyatnikova, O. A., Rogozhnikov, G. I., Porozova, S. Ye. [i dr.] (2017). Eksperimental'noye issledovaniye fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik polimernogo bazisnogo materiala pri vvedenii v yego sostav nanorazmernogo dioksida titana [Experimental study of the physicochemical characteristics of a polymer base material with the introduction of nanosized titanium dioxide into its composition]. *Problemy stomatologii [Problems of Dentistry]*, 13, 1, 46–50. (In Russ.)
17. Bholia, S., Hellyer, P. H., Radford, D. R. (2018). The importance of communication in the construction of partial dentures. *British Dental Journal*, 224, 11, 853–856.
18. Grischke, J., Eberhard, J., Stiesch, M. (2016). Antimicrobial dental implant functionalization strategies — a systematic review. *Dental Materials Journal*, 35, 4, 545–558.
19. Kuz, V. S., Dvornyk, V. N., Kostenko, V. A., Kuz, G. M., Akimov, O. Y. (2018). Influence of basic dental materials on indicators of free radical oxidation and antioxidant blood's potential of white rats (experimental study). *Wiadomosci lekarskie [Warsaw, Poland: 1960]*, 71, 2, 318–322.
20. Lobanov, D. S., Babushkin, A. V. (2017). Experimental studies of the high temperature influence on strength and deformation properties of combined glass organoplastics. *PNNRP Mechanics Bulletin*, 1, 104–117.
21. Sun, J., Petersen, E. J., Watson, S. S., Sims, C. M., Kassman, A., Frukhtbeyn, S., Skrtic, D., Ok, M. T., Jacobs, D. S., Reipa, V., Ye, Q., Nelson, B. C. (2017). Biophysical characterization of functionalized titania nanoparticles and their application in dental adhesives. *Acta Biomaterialia*, 53, 585–597.
22. Vertex ThermoSens. Natural feel & aesthetic look. URL: <https://www.vertex-dental.com/modules/Products/upload/218/VERTEX1407%20ThermoSens%20folder%20English%2003-09-2014.pdf>.
23. Viapiana, R., Guerriero-Tanamaru, J. M., Hungaro-Duarte, M. A., Tanamaru-Filho, M., Camilleri, J. (2014). Chemical characterization and bioactivity of epoxy resin and Portland cement-based sealers with niobium and zirconium oxide radiopacifiers. *Dent. Mater. J.*, 30, 9, 1005–1020.
24. Wil'deman, V. E., Staroverov, O. A., Lobanov, D. S. (2018). Diagram and Parameters of Fatigue Sensitivity for Evaluating the Residual Strength of Layered GFRP Composites After Preliminary Cyclic Loadings. *Mechanics of Composite Materials*, 54, 3, 313–320.
25. Yang, A., Xu, C. (2018). Synthesis and Characterization of a Polyimide-Epoxy Composite for Dental Applications. *Mechanics of Composite Materials*, 54, 1, 71–78.
26. Zlatarić, D. K., Čelebić, A., Valentić-Peruzović, M. (2002). The effect of removable partial dentures on periodontal health of abutment and non-abutment teeth. *Journal of Periodontology*, 73, 2, 137–144.

Авторы:

Валерий Эрвинович ВИЛЬДЕМАН

д. ф.-м. н., профессор, директор Центра экспериментальной механики, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь
wildemann@pstu.ru

Виолетта Олеговна ГРИДИНА

ассистент кафедры ортопедической стоматологии, Пермский государственный медицинский университет им. академика Е. А. Вагнера, г. Пермь
lettarus@mail.ru

Дмитрий Сергеевич ЛОБАНОВ

к. т. н., старший научный сотрудник Центра экспериментальной механики, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь
set.lobanov@gmail.ru

Геннадий Иванович РОГОЖНИКОВ

д. м. н., профессор кафедры ортопедической стоматологии, Пермский государственный медицинский университет им. академика Е. А. Вагнера, г. Пермь
info@digident.ru

Оксана Александровна ШУЛЯТНИКОВА

д. м. н., доцент кафедры ортопедической стоматологии, Пермский государственный медицинский университет им. академика Е. А. Вагнера, г. Пермь
anasko06@mail.ru

Артур Ильдорович МУГАТАРОВ

лаборант Центра экспериментальной механики, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь
set_mugatarov@mail.ru

Authors:

Valeriy E. VILDEMANN

Doctor of Science in physics and mathematics, Professor, Director of Center of experimental mechanics of the Department of Technical Sciences of the State Budgetary Institution of Higher Professional Education of the Perm National Research Polytechnic University, Perm
wildemann@pstu.ru

Violetta O. GRIDINA

Teaching Assistant of the Dentistry Department of the State Budgetary Institution of Higher Professional Education of the E. A. Wagner Perm State Medical University, Perm
lettarus@mail.ru

Dmitriy S. LOBANOV

PhD in Technical Sciences, Senior Research Associate of Center of experimental mechanics of the State Budgetary Institution of Higher Professional Education of the Perm National Research Polytechnic University, Perm
cem.lobanov@gmail.ru

Gennadiy I. ROGOZHNIKOV

MD, Professor, Honoured Science Worker of the RF, Professor of the department of orthopedic stomatology of Prosthetic Dentistry of the E. A. Wagner Perm State Medical University, Perm
info@digident.ru

Oksana A. SHULIATNIKOVA

MD, Associate Professor of the Dentistry Department of the State Budgetary Institution of Higher Professional Education of the E. A. Wagner Perm State Medical University, Perm
anasko06@mail.ru

Artur I. MUGATAROV

Laboratory Assistant of Center of experimental mechanics of the State Budgetary Institution of Higher Professional Education of the Perm National Research Polytechnic University, Perm
cem_mugatarov@mail.ru

Поступила 14.09.2018 Received
Принята к печати 07.11.2018 Accepted