

DOI: 10.15593/RZhBiomeh/2020.3.06

УДК 616.314-089.844-77-07

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ БАЗИСА НОВОГО КОМБИНИРОВАННОГО ПОЛНОГО СЪЕМНОГО ПЛАСТИНОЧНОГО ПРОТЕЗА

Н.Б. Асташина¹, А.А. Бажин¹, М.Н. Каченюк², Е.С. Сергеева³, С.В. Казаков¹,
Е.П. Рогожникова¹, А.А. Байдаров^{1,2}, В.Н. Никитин²

¹ Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера Министерства здравоохранения Российской Федерации, Российская Федерация, 614000, Пермь, ул. Петропавловская, 26, e-mail: astashina.nb@mail.ru, aleksei.bazhin2012@yandex.ru, kazakov2012f@yandex.ru, rogozhnikova_ep@mail.ru, baa@psma.ru

² Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Российская Федерация, 614990, Пермь, Комсомольский проспект, 29, e-mail: baa@psma.ru, nikitinvladislav86@gmail.com

³ ООО «АЛТЕЙДЕНТ», Российская Федерация, 614000, Пермь, ул. Героев Хасана, 9а, e-mail: ekaterina50590@mail.ru

Аннотация. Целью данной работы является экспериментальное исследование свойств базиса новой конструкции комбинированного полного съемного пластиночного протеза, применяющейся у пациентов с полным отсутствием зубов. Новизна разработки заключается во введении каркаса из композиционного материала на основе стекловолокна (например, *Trinia*) (фирмы *Bicon LLC, Boston, USA*) в базис полного съемного пластиночного протеза, выполненного из акриловой пластмассы. Для обоснования эффективности предложенной конструкции и последующего моделирования биомеханического поведения новой комбинированной конструкции протеза были в сравнительном аспекте исследованы свойства следующих образцов базисов: 1 – акриловой пластмассы на основе полиметилметакрилата; 2 – акриловой пластмассы на основе полиметилметакрилата, армированной металлической сеткой *Renfert* (Германия); 3 – акриловой пластмассы на основе полиметилметакрилата с введенным каркасом из материала *Trinia*. В ходе экспериментальных исследований определено, что комбинация базисной пластмассы с материалом *Trinia* (фирмы *Bicon LLC, Boston, USA*) демонстрирует отличные прочностные свойства, существенно превосходя существующие аналоги. Также доказано, что применение металлической сетки в качестве укрепления базиса полного съемного пластиночного протеза имеет низкую эффективность. Полученные результаты позволяют перейти к проведению биомеханического моделирования и изучить механизмы распределения функциональных нагрузений, формирующихся в области протезного ложа при использовании полного съемного пластиночного протеза, а также определить оптимальные параметры конструктивных элементов разработанной модели комбинированного полного съемного пластиночного протеза.

© Асташина Н.Б., Бажин А.А., Каченюк М.Н., Сергеева Е.С., Казаков С.В., Рогожникова Е.П., Байдаров А.А., Никитин В.Н., 2020

Асташина Наталья Борисовна, д.м.н., профессор, заведующая кафедрой ортопедической стоматологии, Пермь

Бажин Алексей Александрович, аспирант кафедры ортопедической стоматологии, Пермь

Каченюк Максим Николаевич, к.т.н., в.н.с. Научного центра порошкового материаловедения, Пермь

Сергеева Екатерина Сергеевна, к.м.н., врач стоматолог-ортопед, Пермь

Казаков Сергей Владимирович, к.м.н, доцент, доцент кафедры ортопедической стоматологии, Пермь

Рогожникова Евгения Павловна, аспирантка кафедры ортопедической стоматологии, Пермь

Байдаров Андрей Александрович, к.т.н., проректор по информационным технологиям и инновационному развитию, доцент кафедры автоматизации и телемеханики, Пермь

Никитин Владислав Николаевич, к.ф.-м.н., доцент кафедры вычислительной математики, механики и биомеханики, Пермь

Ключевые слова: комбинированный полный съемный пластиночный протез, *Trinia*, прочностные свойства.

ВВЕДЕНИЕ

Особенности стоматологического ортопедического лечения пациентов с полным отсутствием зубов

Согласно прогнозам старения населения западных стран, к 2025 году более его половины составят люди старше 50 лет [4]. Несмотря на достижения в профилактике стоматологических заболеваний, распространённость полного отсутствия зубов вследствие осложнения кариеса и заболеваний пародонта не уменьшается [9, 10]. Традиционным способом замещения дефектов зубных рядов является изготовление частичных и полных съёмных зубных протезов, которые, несмотря на научные достижения XXI века и насыщенность рынка новыми конструкционными материалами и технологиями, остаются востребованными [1, 6, 12]. В настоящее время, около 5 миллионов человек в РФ используют указанные протетические конструкции. При этом для пациентов с полным отсутствием зубов в России ежегодно изготавливается около 1 миллиона полных съёмных пластиночных протезов [4]. Следовательно, обеспечение прочности, эстетичности и высокой функциональности полных съёмных протетических конструкций является важной задачей ортопедической стоматологии, решение которой будет способствовать повышению качества жизни пациентов.

В настоящее время, традиционно используемым базисным материалом, применяемым для изготовления съёмных протетических конструкций, является акриловая пластмасса на основе полиметилметакрилата [5–7, 10, 11, 14]. Данный материал имеет удовлетворительные эстетические свойства, технологичен и точно воспроизводит поверхность протезного ложа, однако не в полной мере удовлетворяет требованиям прочности, жесткости, твердости и ударной вязкости [6, 15]. С целью профилактики поломок съёмных пластиночных протезов и увеличения срока их службы, особенно в сложных клинических условиях, традиционно применяется армирование базиса. В качестве материалов для армирования чаще всего используют сплавы металлов [2, 5, 8, 13]. Недостатками таких конструкций являются образование микротрещин и сколов базиса из-за недостаточной адгезии акриловой пластмассы к металлу и нарушение фиксации верхнечелюстного полного съёмного протеза за счет увеличения его веса [7].

На этапах ортопедического лечения пациентов с полным отсутствием зубов важную роль играет процесс проектирования конструкций, восстанавливающих утраченные биомеханические функции зубочелюстной системы. Такой подход приводит к высокой точности определения уровня функциональных нагрузок, развивающихся как в тканях зубочелюстной системы, так и в протетических конструкциях, позволяет определить наиболее эффективные варианты лечения в каждой конкретной клинической ситуации и дает возможность обеспечить высокую эффективность стоматологического лечения вследствие уменьшения степени неблагоприятного воздействия различных факторов на органы и ткани полости рта [3].

Новая конструкция базиса полного съёмного пластиночного протеза

На основе вышеизложенного для повышения эффективности ортопедического стоматологического лечения больных с полным отсутствием зубов была разработана новая конструкция полного съёмного пластиночного протеза. Модель предложенной конструкции базиса полного съёмного пластиночного протеза изготавливается из акриловой пластмассы на основе полиметилметакрилата и каркаса из композиционного

материала на основе стекловолокна *Trinia* (фирмы *Bicon LLC, Boston, USA*) по технологии компрессионного прессования методом горячей полимеризации, сочетающей в себе современный метод компьютерного фрезерования, необходимый для изготовления каркаса. Базис полного съемного пластиночного протеза отличается от аналогов тем, что для его каркаса использован высокопрочный легкий материал, схожий по структуре и имеющий химическое взаимодействие с базисной пластмассой.

Биомеханические аспекты

Таким образом, в связи с воздействием большого числа факторов, способствующих поломке базиса полного съемного пластиночного протеза, существует необходимость изучения устойчивости используемых материалов к нагрузкам и определения рациональных конструкционных параметров базиса съемной протетической конструкции, что позволит увеличить срок службы полного съемного пластиночного протеза.

В связи с этим актуальным является использование методов биомеханического моделирования, позволяющих наиболее точно определить взаимовлияние различных элементов конструкции, выполненных из разных конструкционных материалов, и оценить характер распределения функциональных напряжений при использовании полного съемного пластиночного протеза. Известно, что для эффективного моделирования необходимо учитывать механические свойства конструкционных материалов, поэтому данное исследование направлено на определение их модуля упругости и параметров трещиностойкости.

Материалы и методы

В данной работе в сравнительном аспекте изучены свойства трех типов образцов из акриловой пластмассы: 1) изготовленных по традиционной технологии; 2) армированных металлической сеткой; 3) комбинированных – с введенным каркасом из композиционного материала на основе стекловолокна. Новым конструкционным элементом исследования является комбинированный базис с материалом *Trinia* (фирмы *Bicon LLC, Boston, USA*). В настоящее время материал используется для изготовления различных субструктур в ортопедических конструкциях и положительно зарекомендовал себя с точки зрения физико-механических и технологических свойств. Данный материал выбран в результате поиска среди сертифицированных в Российской Федерации материалов, применяемых в стоматологии и обладающих необходимыми свойствами. Лабораторные испытания проводились на базе Научного центра порошкового материаловедения Пермского национального исследовательского политехнического университета на универсальной испытательной машине *Instron 5885* со скоростью движения траверсы от 2 мм/мин. Для проведения эксперимента форма, тип образцов, а также способ их изготовления были выполнены в соответствии с нормативно-технической документацией. Все испытания проводились при температуре 23 °С.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Изготовление трех типов образцов осуществлялось по технологии компрессионного прессования методом горячей полимеризации акриловой пластмассы в заранее заготовленных формах. Металлическая сетка, имеющая стандартные параметры (толщина 0,4 мм) фирмы *Renfert* (Германия), вырезалась при помощи специальных ножниц по металлу, каркас из материала *Trinia* (изготавливался методом компьютерного фрезерования, форма образцов соответствовала ГОСТ Р 56785-2015

(растяжение), ГОСТ 25.604-82 (изгиб), ГОСТ Р 56740-2015 (трещиностойкость), толщина образцов равна средней толщине базиса полного съемного пластиночного протеза (1,5–2 мм).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Модуль Юнга на разрыв для упругого участка акриловой пластмассы на основе полиметилметакрилата составил (919 ± 79) МПа (рис. 1, табл. 1), для образцов, армированных металлической сеткой *Renfert* (Германия), – $(1072 \pm 83,9)$ МПа (рис. 2, табл. 2), а для образцов с введенным материалом *Trinia* (фирмы *Bicon LLC, Boston, USA*) – $(1669,7 \pm 218,1)$ МПа соответственно (рис. 3, табл. 3), что на 77,7% больше, чем у аналогичных образцов из однородной пластмассы, и на 55,7% больше, чем у образцов с металлической сеткой.

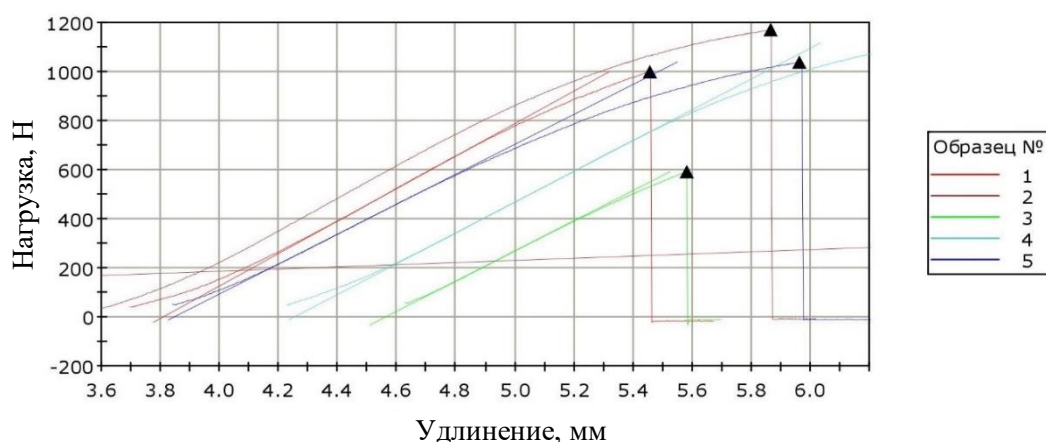


Рис. 1. Результаты механических испытаний на растяжение образцов, изготовленных по традиционной технологии

Таблица 1

Результаты механических испытаний на растяжение образцов, изготовленных по традиционной технологии

| Номер образца | Максимальная нагрузка, Н | Деформация при растяжении при максимальной нагрузке, мм/мм | Напряжение при растяжении при максимальной нагрузке, МПа | Модуль (автоматический модуль Юнга), МПа | Толщина, мм | Ширина, мм |
|------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------|------------|
| 1 | 999,62 | 0,218 | 56,00 | 924,46 | 2,10 | 8,50 |
| 2 | 1171,63 | 0,231 | 65,82 | 861,64 | 2,00 | 8,90 |
| 3 | 593,86 | 0,215 | 41,70 | 1078,53 | 1,60 | 8,90 |
| 4 | 1115,96 | 0,244 | 62,00 | 868,94 | 2,00 | 9,00 |
| 5 | 1038,87 | 0,223 | 59,03 | 864,57 | 2,00 | 8,80 |
| Среднее | 983,99 | 0,226 | 56,91 | 919,63 | 1,94 | 8,82 |
| Стандартное отклонение | 228,08 | 0,01 | 78,92 | 78,92 | 0,19 | 0,19 |

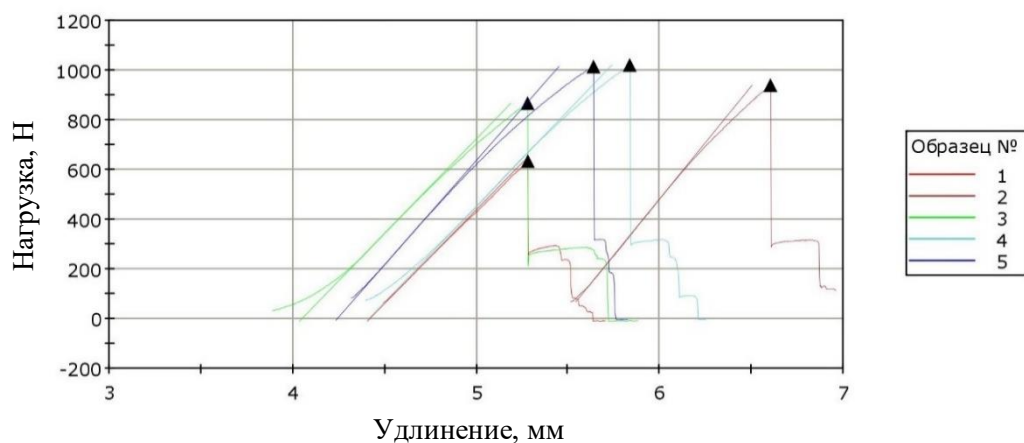


Рис. 2. Результаты механических испытаний на растяжение образцов, армированных металлической сеткой

Таблица 2

Результаты механических испытаний на растяжение образцов, армированных металлической сеткой

| Номер образца | Максимальная нагрузка, Н | Деформация при растяжении при максимальной нагрузке, мм | Напряжение при растяжении при максимальной нагрузке, МПа | Модуль (автоматический модуль Юнга), МПа |
|------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 1 | 635,73 | 0,211 | 33,11 | 983,91 |
| 2 | 940,15 | 0,262 | 48,14 | 1162,00 |
| 3 | 868,23 | 0,206 | 48,78 | 1068,72 |
| 4 | 1020,21 | 0,226 | 52,81 | 994,58 |
| 5 | 1013,92 | 0,216 | 55,71 | 1151,29 |
| Среднее | 895,65 | 0,224 | 47,71 | 1072,10 |
| Стандартное отклонение | 157,95 | 0,02 | 8,72 | 83,89 |

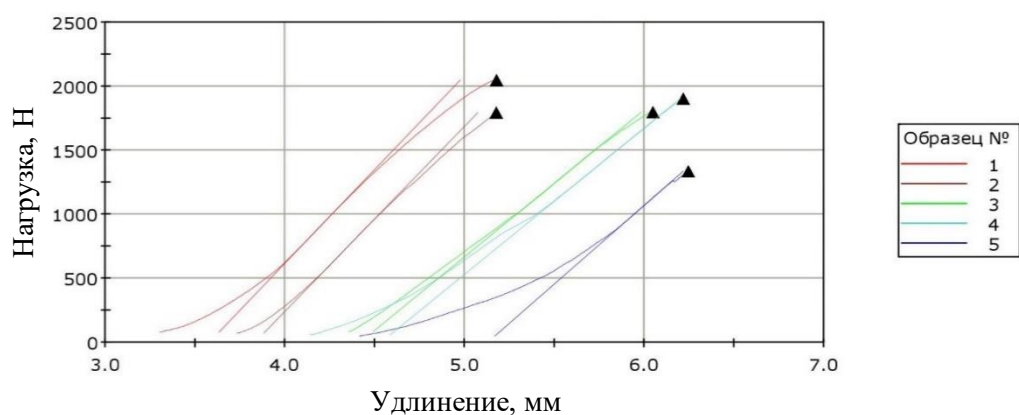


Рис. 3. Результаты механических испытаний на растяжение комбинированных образцов с введенным каркасом из композиционного материала на основе стекловолокна

Таблица 3

Результаты механических испытаний на растяжение комбинированных образцов
с введенным каркасом из композиционного материала на основе стекловолокна

| Номер образца | Максимальная нагрузка, Н | Деформация при растяжении при максимальной нагрузке, мм/мм | Напряжение при растяжении при максимальной нагрузке, МПа | Модуль (автоматический модуль Юнга), МПа | Толщина, мм | Ширина, мм |
|------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------|------------|
| 1 | 2049,74 | 0,207 | 101,27 | 1806,81 | 2,20 | 9,20 |
| 2 | 1796,34 | 0,203 | 96,58 | 1937,81 | 2,00 | 9,30 |
| 3 | 1800,56 | 0,234 | 100,03 | 1595,60 | 2,00 | 9,00 |
| 4 | 1904,38 | 0,237 | 91,12 | 1363,96 | 2,20 | 9,50 |
| 5 | 1339,89 | 0,235 | 72,04 | 1644,48 | 2,00 | 9,30 |
| Среднее | 1778,18 | 0,223 | 92,21 | 1669,73 | 2,08 | 9,26 |
| Стандартное отклонение | 265,80 | 0,02 | 11,94 | 218,11 | 0,19 | 0,18 |

Модуль Юнга на изгиб для упругого участка акриловой пластмассы на основе полиметилметакрилата составил (2971 ± 346) МПа (рис. 4, табл. 4), для образцов армированных металлической сеткой *Renfert* (Германия) – (3064 ± 118) МПа (рис. 5, табл. 5), а для образцов с введенным материалом *Trinia* (фирмы *Bicon LLC, Boston, USA*) – (4277 ± 367) МПа соответственно (рис. 6, табл. 6).

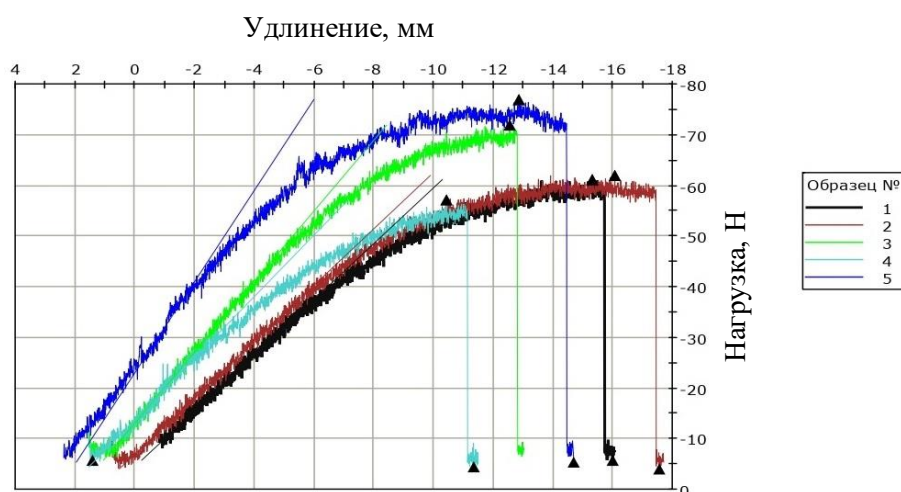


Рис. 4. Результаты механических испытаний прочности на изгиб образцов, изготовленных по традиционной технологии

Таблица 4

Результаты механических испытаний прочности на изгиб образцов, изготовленных по традиционной технологии

| Номер образца | Тип приспособления | Расстояние между опорами, мм | Толщина, мм | Ширина, мм | Максимальная изгибающая нагрузка, Н | Максимальное напряжение при изгибе, МПа | Модуль (автоматически), МПа |
|------------------------|----------------------|------------------------------|-------------|------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|
| 1 | 3-точечное испытание | 60 | 1,90 | 16,30 | -61,21 | 93,62 | 2652,40 |
| 2 | 3-точечное испытание | 60 | 1,90 | 15,90 | -62,02 | 97,24 | 2752,20 |
| 3 | 3-точечное испытание | 60 | 2,00 | 15,85 | -71,91 | 102,08 | 2965,94 |
| 4 | 3-точечное испытание | 60 | 1,95 | 15,00 | -57,17 | 90,21 | 2940,54 |
| 5 | 3-точечное испытание | 60 | 2,05 | 15,90 | -76,91 | 103,59 | 3545,06 |
| Среднее | – | 60 | 1,96 | 15,79 | -65,84 | 97,35 | 2971,23 |
| Стандартное отклонение | – | 0,00 | 0,07 | 0,48 | 8,22 | 5,62 | 346,37 |

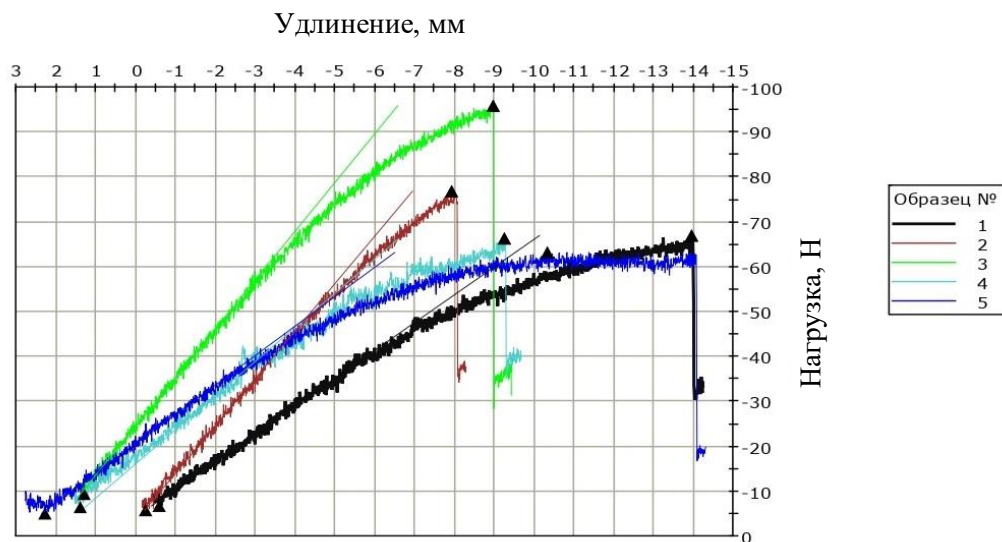


Рис. 5. Результаты механических испытаний прочности на изгиб образцов, армированных металлической сеткой

Параметры трещиностойкости акриловой пластмассы на основе полиметилметакрилата составил $(0,00147 \pm 0,00017)$ МПа·м^{0,5} (рис. 7, табл. 7, 10), для образцов армированных металлической сеткой Renfert (Германия) – $(0,00163 \pm 0,00037)$ МПа·м^{0,5} (рис. 8, табл. 8, 11), а для образцов с введённым

Таблица 5

**Результаты механических испытаний прочности на изгиб образцов, армированных
металлической сеткой**

| Номер образца | Тип приспособления | Расстояние между опорами, мм | Толщина, мм | Ширина, мм | Максимальная изгибающая нагрузка, Н | Максимальное напряжение при изгибе, МПа | Модуль (автоматически), МПа |
|------------------------|----------------------|------------------------------|-------------|------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|
| 1 | 3-точечное испытание | 60 | 1,95 | 15,40 | -67,01 | 102,99 | 2921,41 |
| 2 | 3-точечное испытание | 60 | 2,20 | 16,50 | -76,85 | 86,61 | 3243,79 |
| 3 | 3-точечное испытание | 60 | 2,30 | 16,00 | -95,81 | 101,87 | 3006,62 |
| 4 | 3-точечное испытание | 60 | 2,05 | 15,50 | -66,35 | 91,67 | 3070,46 |
| 5 | 3-точечное испытание | 60 | 1,95 | 15,50 | -63,25 | 96,59 | 3077,31 |
| Среднее | | 60 | 2,09 | 15,78 | -73,85 | 95,95 | 3063,92 |
| Стандартное отклонение | | 0,00 | 0,16 | 0,47 | 13,29 | 6,90 | 118,50 |

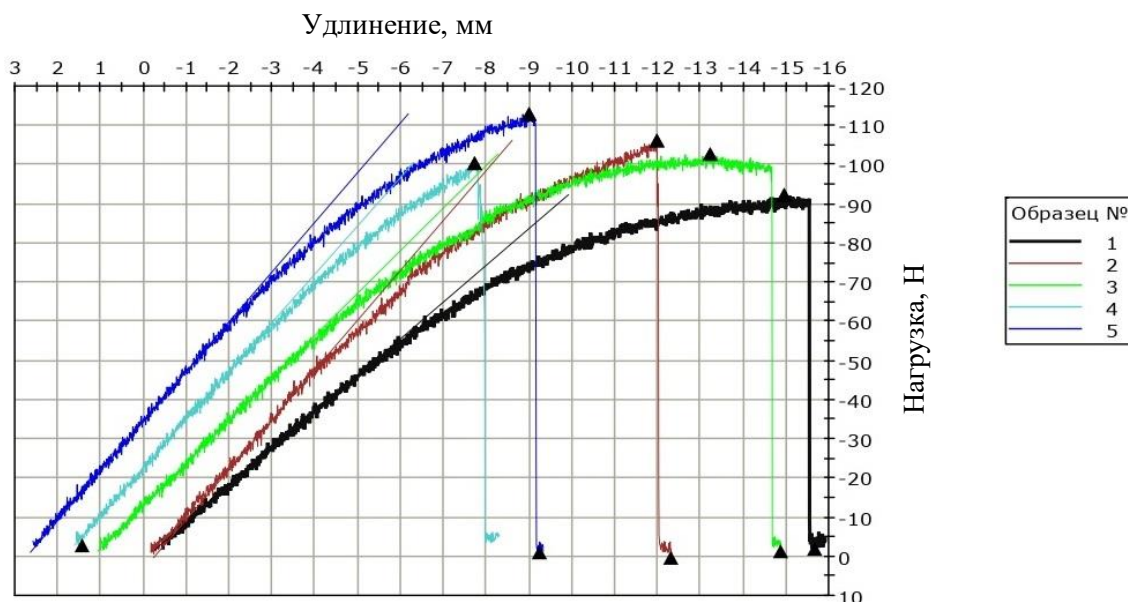


Рис. 6. Результаты механических испытаний прочности на изгиб комбинированных образцов с введенным каркасом из композиционного материала на основе стекловолокна

материалом *Trinia* (фирмы *Bicon LLC, Boston, USA*) – $(0,00288 \pm 0,00060)$ МПа·м^{0,5} соответственно (рис. 9, табл. 9, 12), что почти в 2 раза выше, чем у образцов из однородной пластмассы и образцов с металлической сеткой.

Таблица 6

Результаты механических испытаний прочности на изгиб комбинированных образцов с введенным каркасом из композиционного материала на основе стекловолокна

| Номер образца | Тип приспособления | Расстояние между опорами, мм | Толщина, мм | Ширина, мм | Максимальная изгибающая нагрузка, Н | Максимальное напряжение при изгибе, МПа | Модуль (автоматически), МПа |
|------------------------|----------------------|------------------------------|-------------|------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|
| 1 | 3-точечное испытание | 60 | 2,00 | 15,60 | -92,33 | 133,17 | 4053,55 |
| 2 | 3-точечное испытание | 60 | 2,20 | 15,10 | -106,17 | 130,74 | 4269,11 |
| 3 | 3-точечное испытание | 60 | 2,10 | 15,50 | -102,66 | 135,17 | 4077,00 |
| 4 | 3-точечное испытание | 60 | 2,05 | 15,70 | -100,37 | 136,91 | 4914,35 |
| 5 | 3-точечное испытание | 60 | 2,20 | 15,80 | -112,93 | 132,91 | 4070,48 |
| Среднее | — | 60 | 2,11 | 15,54 | -102,89 | 133,78 | 4276,90 |
| Стандартное отклонение | — | 0,00 | 0,09 | 0,27 | 7,57 | 2,35 | 367,03 |

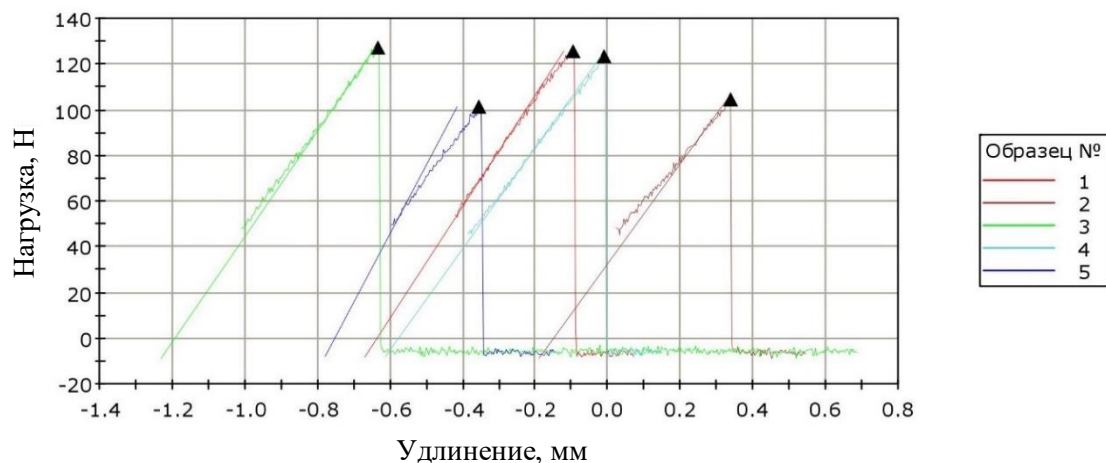


Рис. 7. Результаты механических испытаний определения межслоевой вязкости разрушения (трещиностойкости) образцов, изготовленных по традиционной технологии

Таким образом, показано, что комбинация базисной пластмассы с материалом *Trinia* демонстрирует отличные прочностные свойства, существенно превосходя существующие аналоги, также определено, что применение металлической сетки в качестве укрепления базиса полного съемного пластиночного протеза имеет низкую эффективность.

Таблица 7

**Результаты механических испытаний определения межслоевой вязкости разрушения
(трещиностойкости) образцов, изготовленных по традиционной технологии**

| Номер образца | Максимальная нагрузка, Н | Деформация при растяжении при максимальной нагрузке, мм/мм | Толщина, мм | Ширина, мм |
|------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------|-------------|------------|
| 1 | 125,72 | -0,004 | 2,35 | 9,70 |
| 2 | 104,68 | -0,012 | 1,90 | 9,90 |
| 3 | 127,30 | -0,027 | 2,00 | 10,60 |
| 4 | 123,46 | -0,003 | 1,90 | 10,00 |
| 5 | 101,60 | -0,018 | 2,10 | 9,70 |
| Среднее | 116,55 | -0,008 | 2,05 | 9,98 |
| Стандартное отклонение | 12,37 | 0,02 | 0,19 | 0,37 |

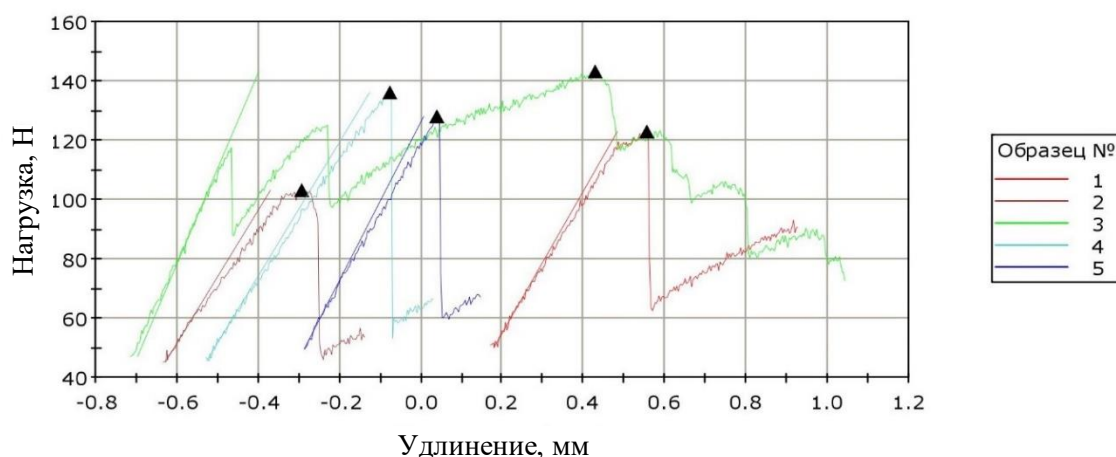


Рис. 8. Результаты механических испытаний определения межслоевой вязкости разрушения (трещиностойкости) образцов, армированных металлической сеткой

Таблица 8

**Результаты механических испытаний определения межслоевой вязкости разрушения
(трещиностойкости) образцов, армированных металлической сеткой**

| Номер образца | Максимальная нагрузка, Н | Деформация при растяжении при максимальной нагрузке, мм/мм | Толщина, мм | Ширина, мм |
|------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------|-------------|------------|
| 1 | 123,02 | 0,022 | 2,00 | 9,40 |
| 2 | 103,31 | -0,013 | 2,50 | 9,10 |
| 3 | 143,19 | 0,014 | 1,80 | 11,40 |
| 4 | 136,14 | -0,008 | 2,00 | 9,50 |
| 5 | 128,19 | -0,005 | 2,10 | 10,00 |
| Среднее | 126,77 | 0,002 | 2,08 | 9,88 |
| Стандартное отклонение | 15,20 | 0,02 | 0,26 | 0,91 |

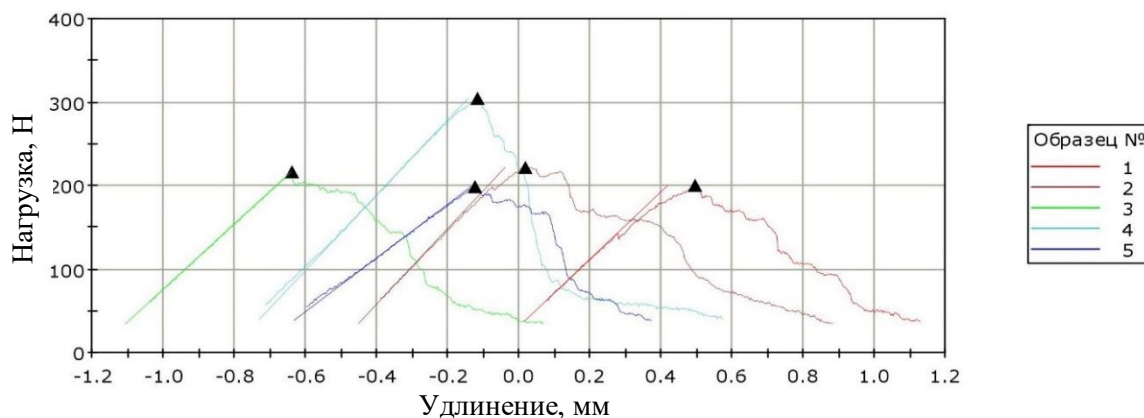


Рис. 9. Результаты механических испытаний определения межслоевой вязкости разрушения (трещиностойкости) комбинированных образцов, с введенным каркасом из композиционного материала на основе стекловолокна

Таблица 9

Результаты механических испытаний определения межслоевой вязкости разрушения (трещиностойкости) комбинированных образцов с введенным каркасом из композиционного материала на основе стекловолокна

| Номер образца | Максимальная нагрузка, Н | Деформация при растяжении при максимальной нагрузке, мм/мм | Толщина, мм | Ширина, мм |
|------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------|-------------|------------|
| 1 | 201,03 | 0,020 | 2,00 | 9,60 |
| 2 | 222,30 | -0,001 | 2,05 | 10,00 |
| 3 | 217,03 | -0,030 | 2,20 | 9,80 |
| 4 | 304,64 | -0,011 | 2,00 | 10,90 |
| 5 | 199,55 | -0,013 | 2,10 | 9,10 |
| Среднее | 228,91 | -0,007 | 2,07 | 9,88 |
| Стандартное отклонение | 43,47 | 0,02 | 0,08 | 0,66 |

Таблица 10

Расчёты результатов механических испытаний определения межслоевой вязкости разрушения (трещиностойкости) образцов, изготовленных по традиционной технологии

| Образцы базисов, изготовленных по традиционной технологии | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Параметр | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Максимальная нагрузка | P , Н | 0,000126 | 0,000105 | 0,000127 | 0,000123 | 0,000102 |
| Ширина образца | W , мм | 20,8 | 22,15 | 21,6 | 21,8 | 21,5 |
| Толщина образца | B , мм | 0,0024 | 0,0019 | 0,002 | 0,0019 | 0,0021 |
| Длина трещины | a_n , мм | 0,0097 | 0,0099 | 0,0106 | 0,01 | 0,0097 |
| a_n/W | α | 0,000466 | 0,000447 | 0,000491 | 0,000459 | 0,000451 |
| Трещиностойкость, МПа·мм ^{1/2} | K | 0,00141 | 0,00138 | 0,00169 | 0,00166 | 0,00123 |
| Среднее | $\langle K \rangle$ | 0,00147 | | | | |
| Стандартное отклонение | — | 0,00017 | | | | |

Таблица 11

Расчеты результатов механических испытаний определения межслоевой вязкости разрушения (трещиностойкости) образцов, армированных металлической сеткой

| Образцы базисов, армированные металлической сеткой | | | | | | |
|----------------------------------------------------|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Параметр | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Максимальная нагрузка | $P, Н$ | 0,000123 | 0,000103 | 0,000143 | 0,000136 | 0,000128 |
| Ширина образца | $W, мм$ | 21,15 | 21,6 | 21,7 | 20,6 | 21 |
| Толщина образца | $B, мм$ | 0,002 | 0,0025 | 0,0018 | 0,002 | 0,0021 |
| Длина трещины | $a n, мм$ | 0,0094 | 0,0091 | 0,0114 | 0,0095 | 0,01 |
| $a n/W$ | α | 0,000444 | 0,000421 | 0,000525 | 0,000461 | 0,000476 |
| Трещиностойкость, МПа·мм ^{1/2} | K | 0,00157 | 0,00101 | 0,00217 | 0,00179 | 0,00162 |
| Среднее | $\langle K \rangle$ | 0,00163 | | | | |
| Стандартное отклонение | – | 0,00037 | | | | |

Таблица 12

Расчеты результатов механических испытаний определения межслоевой вязкости разрушения (трещиностойкости) комбинированных образцов с введенным каркасом из композиционного материала на основе стекловолокна

| Образцы базисов, комбинированных с материалом <i>Trinia</i> | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Параметр | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Максимальная нагрузка | $P, Н$ | 0,000201 | 0,000222 | 0,000217 | 0,000305 | 0,000200 |
| Ширина образца | $W, мм$ | 21,2 | 21,55 | 21,55 | 21,7 | 20,7 |
| Толщина образца | $B, мм$ | 0,002 | 0,00205 | 0,0022 | 0,002 | 0,0021 |
| Длина трещины | $a n, мм$ | 0,0096 | 0,01 | 0,0098 | 0,0109 | 0,0091 |
| $a n/W$ | α | 0,000453 | 0,000464 | 0,000455 | 0,000502 | 0,000440 |
| Трещиностойкость, МПа·мм ^{1/2} | $K, МПа·м^{0,5}$ | 0,00258 | 0,00280 | 0,00252 | 0,00407 | 0,00243 |
| Среднее | $\langle K \rangle$ | 0,00288 | | | | |
| Стандартное отклонение | – | 0,00060 | | | | |

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на развитие современных технологий в области имплантации, полные съемные пластиночные протезы имеют широкое применение, при этом успешность и эффективность ортопедического стоматологического лечения пациентов зависит от многих факторов, в том числе и от свойств применяемых конструкционных материалов.

Полученные результаты дают возможность и основу для проведения биомеханического моделирования и изучения механизмов распределения функциональных нагрузений, формирующихся в области протезного ложа при использовании полного съемного пластиночного протеза, а также определить оптимальные параметры конструкционных элементов разработанной модели комбинированного полного съемного пластиночного протеза.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-01-00589 и при финансовой поддержке Правительства Пермского края (грант на развитие научной школы Пермского края «Компьютерная биомеханика и цифровые технологии в биомедицине»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдуллаев А.Х., Едемский Ю.К., Долматов В.Д., Раид А. Переломы базисов съемных протезов в зависимости от технологии изготовления и базисного материала // Перспективы развития последиplomного образования специалистов стоматологического профиля. Актуальные проблемы стоматологии: сб. материалов науч.-практ. конф. – М., 2003. – С. 222–223.
2. Арутюнов С.Д., Лебеденко И.Ю. Повышение эффективности реставрации съемных пластиночных зубных протезов после поломки // Российский стоматологический журнал. – 2014. – № 5. – С. 4–6.
3. Бажин А.А., Рогожникова Е.П., Петрачев А.С. Повышение уровня доказательной медицины путем интеграции ортопедической стоматологии с точными науками // Современный мир, актуальные вопросы биозтики, молекулярной и персонализированной медицины: сб. материалов международного евро-азиатского конгресса по вопросам биозтики, молекулярной и персонализированной медицины «Biomed-inn-2019». – Пермь, 2019. – С. 7–14.
4. Веденева Е.В. Роль стоматологического лечения в улучшении качества жизни пациентов: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.01.14 – Стоматология. – М., 2010. – 22 с.
5. Жолудев С.Е. Применение металлизированных базисов съемных пластиночных протезов при явлениях непереносимости акрилатов: дис. ... канд. мед. наук / 14.00.21 – Стоматология. – М., 1990. – 160 с.
6. Жулев Е.Н. Материаловедение в ортопедической стоматологии: учеб. пособие. – Н. Новгород: Изд-во НГМА, 2000. – 135 с.
7. Каливрадзиян Э.С., Брагин Е.А., Жолудев С.Е. Руководство по стоматологическому материаловедению. – М.: Изд-во МИА, 2013. – 88 с.
8. Лохов В.А., Кучумов А.Г., Мерзляков А.Ф., Асташина Н.Б., Ожгихина Е. С., Тропин В.А. Экспериментальное исследование материалов новой конструкции спортивной зубной шины // Российский журнал биомеханики. – 2015. – № 4. – С. 409–420.
9. Прохвятилов О.Г. Оценка эффективности пользования полными съемными протезами нижней челюсти в зависимости от выраженности атрофии тканей протезного ложа: дис. ... канд. мед. наук. – СПб., 2015. – 121 с.
10. Ряховский А.Н., Мурадов М.А. Ортопедическая стоматология: национальное руководство / под ред. И.Ю. Лебеденко, С.Д. Арутюнова, А.Н. Ряховского. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2016.
11. Стоматологическое материаловедение: учебник / под ред. Э.С. Каливрадзияна, Е.А. Брагина, С.И. Абакарова, С.Е. Жолудева; Мед. информ. агентство. – М., 2014. – 320 с.
12. Янишен И.В., Коваленко Г.А. Клиническая оценка эффективности ортопедического лечения пациентов с беззубыми челюстями полными съемными протезами с использованием С-силиконовых материалов для функциональных отгисков // Наука и здравоохранение. – 2017. – № 1.
13. Craig R.G. Prosthetics applications of polymers // Restorative Dental Materials. – 10 ed. – St. Louis: Mosby, 1997.
14. John M.T., Hujoel P., Miglioretti D.L., LeResche L., Koepsell T.D., Micheelis W. Dimensions of oral-healthrelated quality of life // J. Dent. Res. – 2004. – Vol. 83, Iss. 12. – P. 956–960.
15. Van Noort R. Introductions to Dental Materials. – Mosby-Year Book, Inc., 2002. – 219 p.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE PROPERTIES OF THE BASE OF A NOVEL COMBINED FULL LAMINAR OVERDENTURE

**N.B. Astashina, A.A. Bazhin, M.N. Kachenyuk, E.S. Sergeyeva, S.V. Kazakov,
E.P. Rogozhnikova, A.A. Baydarov, V.N. Nikitin (Perm, Russian Federation)**

This research is targeted at experimental study of the properties of the base of a newly-designed combined full laminar overdenture which is used in fully edentulous patients. The design is novel in that a framework (*Bicon LLC*, Boston, USA) made of a fibreglass-based composite (for example, *Trinia*). It is introduced into the base of a full laminar overdenture which is made of an acrylic resin. To substantiate performance of the proposed design and of subsequent modeling of biomechanical behaviour of the of the novel combined dental design, properties of the following base specimens were subjected to comparative study: 1 – poly(methyl methacrylate)-based acrylic resin; 2 – mesh-reinforced poly(methyl methacrylate)-based acrylic resin, *Renfert* (Germany); 3 – *Trinia*-framework poly(methyl methacrylate)-based acrylic resin. The experimental studies determined that, when combined with *Trinia* (*Bicon LLC*, Boston, USA), the base resin demonstrates excellent strength properties, considerably better than in the existing counterparts. Furthermore, metal mesh showed low performance when used to reinforce full laminar overdenture base. The findings will allow us to proceed with biomechanical modelling and to look into distribution patterns of functional loads which develop at the basal seat when a full laminar overdenture is used, and to determine optimum parameters for the structural components of the newly-designed combined full laminar overdenture.

Key words: combined full laminar overdenture, *Trinia*, strength properties.

Получено 28 мая 2020