

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЕЙШИХ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ РАСТЯЖЕНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПАРАМЕТРА ПРОЧНОСТИ НА РАЗРЫВ

Л. И. ШАЛАМАЙ¹, Е. Ю. МЕНДОСА², Е. Е. МАЙОРОВ^{3*},
В. Б. ЛАМПУСОВА¹, Н. С. ОКСАС¹

¹ Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. академика И. П. Павлова,
Санкт-Петербург, Россия

² Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова,
Москва, Россия

³ Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,
Санкт-Петербург, Россия
*majorov_ee@mail.ru

Аннотация. Новейшие стоматологические материалы исследованы методом растяжения для получения параметра прочности на разрыв. Сохранность реставрационных композитных материалов на твердых тканях зуба обеспечивается механическими параметрами, поэтому работа перспективна и актуальна для терапевтической стоматологии. Для разных композитов с помощью автоматизированной разрывной машины ИМ-4Р получены параметры прочности на разрыв. Параметры прочности измерены на тридцати образцах, площадь поперечного сечения каждого образца равнялась 5 мм. Результаты измерений зависимости прочности от номера стоматологического композита представлены полиномами третьей степени; определены значения достоверности аппроксимации.

Ключевые слова: метод растяжения, прочность на разрыв, терапевтическая стоматология, композитный материал, разрывная машина, аппроксимация, полином

Ссылка для цитирования: Шаламай Л. И., Мендоса Е. Ю., Майоров Е. Е., Лампусова В. Б., Оксас Н. С. Исследование новейших стоматологических материалов методом растяжения для получения параметра прочности на разрыв // Изв. вузов. Приборостроение. 2022. Т. 65, № 8. С. 612—618. DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-8-612-618.

STUDY OF THE LATEST DENTAL MATERIALS BY STRETCHING TO OBTAIN THE TENSILE STRENGTH PARAMETER

L. I. Shalamay¹, E. Yu. Mendosa², E. E. Maiorov^{3*}, V. B. Lampusova¹, N. S. Oksas¹

¹ Pavlov University, St. Petersburg, Russia

² A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry,
Moscow, Russia

³ St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation,
St. Petersburg, Russia
*majorov_ee@mail.ru

Abstract. The latest dental materials are tested by stretching to obtain a tensile strength parameter. The safety of restorative composite materials on the hard tissues of the tooth is ensured by mechanical parameters, so the work is promising and relevant for therapeutic dentistry. For different composites, the tensile strength parameters were obtained using the IM-4R automated tensile testing machine. The strength parameters were measured on thirty specimens where the cross-sectional area of each specimen was 5 mm. The results of measurements of the dependence of strength on the number of dental composites are represented by polynomials of the third degree; the values of approximation reliability are determined.

Keywords: tensile method, tensile strength, therapeutic dentistry, composite material, breaking machine, approximation, polynomial

For citation: Shalamay L. I., Mendosa E. Yu., Maiorov E. E., Lampusova V. B., Oksas N. S. Study of the latest dental

Введение. В настоящее время огромное внимание в стоматологии терапевтической уделяют механическим свойствам композитных материалов [1, 2]. На сегодняшний день современные композиты активно исследуются оптическими, химическими и механическими методами и средствами [3, 4]. Состав, оптические и механические свойства используемого композита учитываются для конструкций разной сложности [5, 6]. Успешное восстановление различных сложных профилей (дефектов) и придание естественных оттенков твердым тканям зуба является ключевой задачей терапевтической стоматологии [7, 8].

Сохранность на твердых тканях зуба реставрационных композитных материалов обеспечивается такими механическими параметрами, как прочность на сжатие и на изгиб, твердость к истиранию [9, 10].

Растяжение и сжатие — современные разрушающие методы исследования механических свойств твердых веществ разной природы. В настоящей работе использовался метод растяжения, позволивший получить такой немаловажный параметр, как прочность на разрыв [9, 10]. Анализ научной литературы показал, что прочность на разрыв композитных материалов практически не исследована.

Ведущие фирмы-производители стоматологических реставрационных материалов постоянно совершенствуют механические и оптические (блеск) свойства, ведут работы по повышению биологической совместимости с твердыми тканями зуба [11—14].

Целью исследования явилось испытание новейших стоматологических материалов методом растяжения для получения параметра прочности на разрыв.

Автоматизированная разрывная машина. Измерения механического напряжения (прочности) проводились на автоматизированной разрывной машине ИМ-4Р [15]. Внешний вид ИМ-4Р представлен на рис. 1, а.

а)



б)

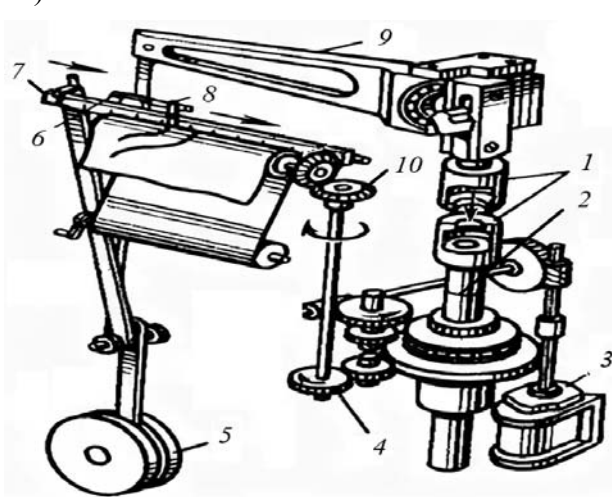


Рис. 1

Функциональная схема разрывной машины ИМ-4Р представлена на рис. 1, б. Машина состоит из нижнего и верхнего зажимов 1, в которые устанавливается образец. Нижний зажим соединен с винтом 2 нагружающего механизма. Верхний зажим соединен с силоизмерительным механизмом, состоящим из рычага 9 и маятника 5. При вращении электродвигателя 3 винт 2 начинает перемещаться вниз, в связи с чем усилие растяжения передается на зажимы, образец и измерительную систему. Стрелка 7 перемещается по шкале 6, указывая действительную нагрузку, а перо 8 автоматически записывает на бумаге диаграмму (кривую)

в координатах нагрузка—деформация. Вращение барабана осуществляется при помощи зубчатых колес 4 и 10. В нашем случае сигнал с компьютера приводит в движение электродвигатель, и все величины с машины фиксируются в специально разработанной программе.

Исследуемые объекты. В работе исследовались пять образцов новейших стоматологических композитов:

1) Omnichroma Blocker — это универсальный дополнительный опакующий композит пастообразной консистенции, который предназначен для восстановления небной стенки при обширных дефектах III и IV классов и выраженном дефиците тканей зуба;

2) Omnichroma — при реставрации зубов этот инновационный пастообразный композит применяют как „универсальную эмаль“. В полостях глубиной до 2—2,5 мм Omnichroma используется как самостоятельный пломбировочный материал;

3) Estelite Asteria — светоотверждаемый, рентгенконтрастный композиционный материал пастообразной консистенции, предназначенный для восстановления передних и боковых зубов в биламинарной технике;

4) Estelite Universal Flow Medium — низко модульный композит средней вязкости. Сферическая форма частиц уникального синтезированного моноразмерного (200 нм) циркониевого наполнителя в комбинации со сферическим предварительно полимеризованным композитным наполнителем, также включающим частицы кремний-циркона размером 200 нм, обеспечивают высокую прочность, низкие показатели полимеризационной усадки (линейная усадка 2,3 %), истираемости, сверхлегкую полируемость и устойчивый блеск отреставрированной поверхности;

5) Estelite Bulk Fill Flow — композит низкой вязкости для объемного внесения в полость (толщина слоя может достигать 4 мм). Высокая концентрация сферических кремний-циркониевых частиц (200 нм) гарантирует прочность композита, устойчивость к истиранию и низкий процент усадки (линейная усадка 2,1 %).

Образцы Estelite Bulk Fill Flow, Estelite Universal Flow Medium, Estelite Asteria, Omnichroma, Omnichroma Blocker были предоставлены компанией ООО „Центр имплантации и комплексного лечения“ (Санкт-Петербург).

Экспериментальные результаты. Для получения параметра прочности на разрыв стоматологические образцы разных композитов крепились в захваты разрывной камеры. На рис. 2 представлен образец Omnichroma Blocker в разрывной камере машины ИМ-4Р: показано, как поворотом винта выставлялись зазоры в захватах. Образец центрировался до испытания.



Рис. 2

Для испытания методом растяжения применялись специально изготовленные стоматологические образцы с разной площадью поперечного сечения (от 1 до 5 мм). Испытания образцов проводились на разрывной машине ИМ-4Р с предельной нагрузкой $P = 4 \cdot 10^4$ Н.

Действующие силы, прикладываемые к образцу, создавались винтом 2 (см. рис. 1, б), приводимым в поступательное движение через систему зубчатых передач и кинематическую пару гайка—винт. Зубчатые передачи приводились в движение электродвигателем 3. Усилие винта 2 через захваты 1, образец и тягу передавались на короткое плечо рычага 9, создавая на нем активный момент. Реактивный момент, уравнивающий активный, создавался на длинном плече рычага 9 усилием, возникающим при отклонении от вертикального положения маятника 5. Маятник представлял собой коленчатый рычаг, шарнирно связанный с тягой и рычагом. Таким образом, внутренние силы действовали на материал и фиксировались цифровым блоком согласования. Полученные данные обрабатывались и представлялись в виде таблицы на компьютере.

На рис. 3 представлен образец Omnicroma Blocker после испытания. Параметры прочности на разрыв измерены на тридцати образцах, площадь поперечного сечения (S) каждого образца равнялась 5 мм. Информация по параметру прочности на разрыв сведена в таблицу.



Рис. 3

**Экспериментальные результаты определения прочности на разрыв
стоматологического композита**

Материал	n , шт	σ , МПа
Estelite Universal Flow Medium оттенка А2	1	145,21
	2	145,12
	3	144,95
	4	144,99
	5	145,01
	6	145,11
Omnicroma Blocker	1	143,05
	2	142,98
	3	143,05
	4	143,11
	5	142,97
	6	142,88
Estelite Bulk Fill Flow оттенка А2	1	139,12
	2	138,81
	3	139,05
	4	138,98
	5	139,10
	6	139,01
Omnicroma	1	135,05
	2	134,97
	3	134,89
	4	134,91
	5	135,11
	6	135,1

Продолжение таблицы

Материал	n , шт	σ , МПа
Estelite Asteria оттенка A2B	1	129,42
	2	129,50
	3	129,39
	4	129,31
	5	129,19
	6	129,30

Результаты измерений зависимости прочности (σ) от номера (n) стоматологического композита представлены полиномами третьей степени и определены значения достоверности аппроксимации (R^2):

- $\sigma(n) = 0,0136n^3 - 0,142n^2 + 0,3844n + 129,17$; $R^2 = 0,9755$ — для Estelite Asteria,
- $\sigma(n) = -0,0075n^3 + 0,105n^2 - 0,4018n + 135,37$; $R^2 = 0,7941$ — для Omnicroma;
- $\sigma(n) = -0,0213n^3 + 0,2347n^2 - 0,7454n + 139,63$; $R^2 = 0,5561$ — для Estelite Bulk Fill Flow;
- $\sigma(n) = -0,0094n^3 + 0,0824n^2 - 0,2053n + 143,17$; $R^2 = 0,7963$ — для Omnicroma Blocker;
- $\sigma(n) = 0,001n^3 + 0,0198n^2 - 0,204n + 145,4$; $R^2 = 0,9133$ — для Estelite Universal Flow Medium.

Из приведенных результатов видно, что прочность образцов различается. Зависимости прочности на разрыв от номера испытуемого образца приведены на рис. 4: *а* — Estelite Universal Flow Medium, *б* — Omnicroma Blocker, *в* — Estelite Bulk Fill Flow, *г* — Omnicroma, *д* — Estelite Asteria. Проанализировав полученные зависимости, можно с уверенностью сказать, что из всех исследуемых материалов более прочным оказался Estelite Universal Flow Medium.

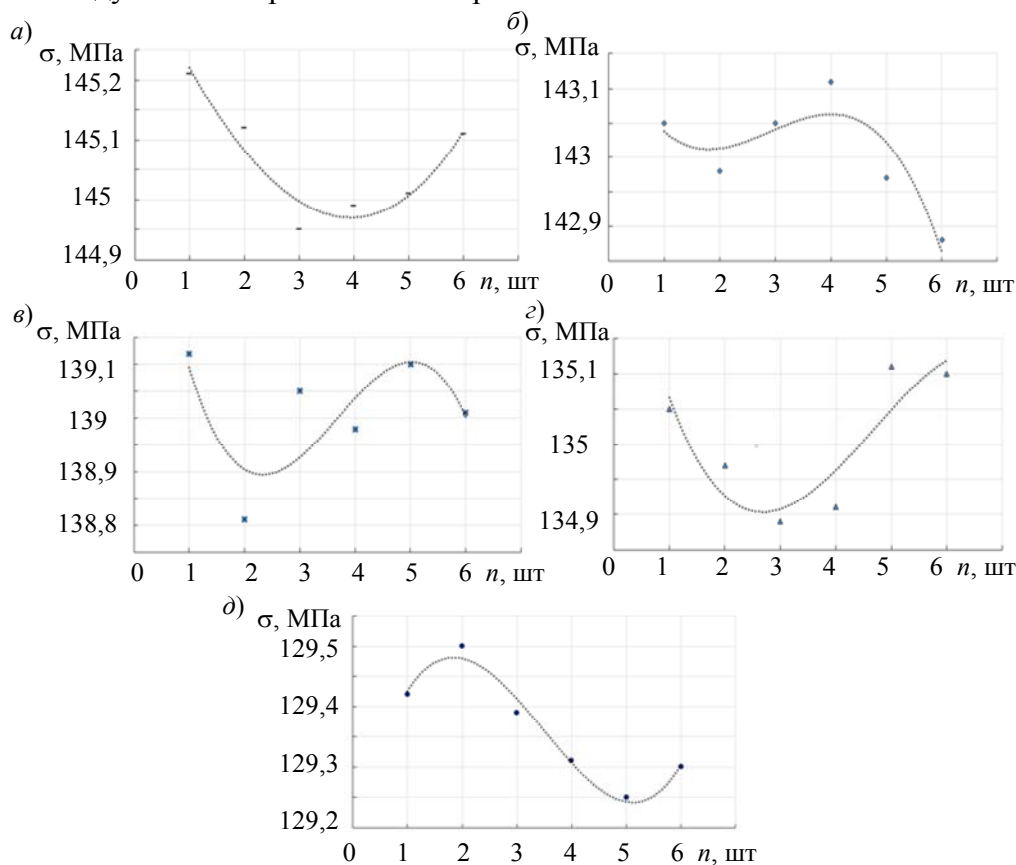


Рис. 4

Заключение. Проведенные экспериментальные исследования стоматологических реставрационных материалов методом растяжения имеют важное практическое значение как для производителей этих материалов, так и специалистов в сфере терапевтической стоматологии. Предложенная методика позволяет получить параметр физико-механических свойств мате-

риалов — прочность на разрыв. Полученные результаты расширяют спектр исследований данных объектов для изучения кристаллической решетки на молекулярном уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Луцкая И. К. Практическая стоматология. Минск: Бел. наука, 1999. 360 с.
2. Новак Н. В., Байтус Н. А. Анализ физико-механических характеристик твердых тканей зуба и пломбировочных материалов // Вестн. ВГМУ. 2016. Т. 15, № 1. С. 19—26.
3. Виноградова Т. В., Уголева С. А., Казанцев Н. Л., Сидоров А. В., Шевченко М. В. Клинические аспекты применения композитов для реставрации зубов // Новое в стоматологии. 1995. № 6. С. 326.
4. Григорьев С. С., Кудинов П. Н., Бисярина Л. И. Оценка влияния отбеливающей внутрикоронковой системы на физико-химические свойства дентина // Медико-фармацевтический журнал „Пульс“. 2017. Т. 19, № 10. С. 76—80.
5. Токмакова С. И., Луницына Ю. В. Сравнительная оценка краевой проницаемости пломбировочных материалов, используемых при ретроградном пломбировании корневых каналов зубов // Проблемы стоматологии. 2014. № 5. С. 30—32.
6. Цимбалистов А. В., Копытов А. А., Чуев В. П., Асадов Р. И., Винаков Д. В. Анализ механических характеристик облицовочных композиционных материалов Ceramage (Shofu) и UltraGlass (владмива) // Вестник Российского университета дружбы народов. Сер. Медицина. 2018. Т. 22, № 4. С. 415—420. DOI: 10.22363/2313-0245-2018-22-4-415-420.
7. Гайдарова Т. А., Еремина Н. А., Иншаков Д. В. Способ прижизненного измерения твердости тканей зуба // Acta Biomedica Scientifica. 2007. № 6(58). С. 92—95.
8. Луцкая И. К., Марченко Е. И., Чухрай И. Г. Эстетическое пломбирование некариозных дефектов твердых тканей зуба // Современная стоматология. 2012. № 1. С. 29—31.
9. Majorov E. E., Prokopenko V. T. A limited-coherence interferometer system for examination of biological objects // Biomedical Engineering. 2012. Vol. 46, N 3. P. 109—111.
10. Новак Н. В., Байтус Н. А. Изолирующие свойства устьевой пломбы при внутрикоронковом отбеливании зубов // Вестн. ВГМУ. 2017. Т. 16, № 2. С. 113—119.
11. Majorov E. E., Prokopenko V. T., Ushveridze L. A. A system for the coherent processing of specklegrams for dental tissue surface examination // Biomedical Engineering. 2014. Vol. 47, N 6. P. 304—306.
12. Кузьменков М. И., Сушкевич А. В., Манак Т. Н. Синтез клинкера для стоматологического цемента для пломбирования корневых каналов // Труды БГТУ. Химия и технология неорганических веществ. 2011. № 3. С. 79—83.
13. Майоров Е. Е., Попова Н. Э., Шаламай Л. И., Цыганкова Г. А., Черняк Т. А., Пушкина В. П., Писарева Е. А., Дагаев А. В. Цифровая голографическая интерферометрия как высокоточный инструмент в стоматологии // Изв. ТулГУ. Технические науки. 2018. Вып. 10. С. 249—256.
14. Адамович Е. И., Македонова Ю. А., Павлова-Адамович А. Г. Качественная реставрация — залог успешного лечения // Медико-фармацевтический журнал „Пульс“. 2017. Т. 19, № 7. С. 51—53.
15. Кудрявцев И. В., Чулошников М. И. Испытательная машина типа ИМ-4Р: Описание и руководство по эксплуатации. М.: Изд-во и 1-я тип. Машгиза, 1949. 36 с.

Сведения об авторах

Людмила Ивановна Шаламай

— канд. мед. наук, доцент, Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. академика И. П. Павлова, кафедра стоматологии терапевтической и пародонтологии; E-mail: l.shalamay@mail.ru

Елена Юрьевна Мендоса

— Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова, кафедра клинической стоматологии, ассистент, E-mail: mendosaMSUMD@gmail.com

Евгений Евгеньевич Майоров

— канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, кафедра прикладной математики; E-mail: majorov_ee@mail.ru

- Виктория Борисовна Лампузова** — канд. мед. наук, доцент, Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. академика И. П. Павлова, кафедра стоматологии терапевтической и пародонтологии; victoriala383@gmail.com
- Наталья Сергеевна Оксас** — канд. мед. наук, ассистент, Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, кафедра стоматологии терапевтической и пародонтологии; ассистент, E-mail: gyvas@yandex.ru

Поступила в редакцию 16.05.22; одобрена после рецензирования 04.06.22; принята к публикации 21.06.22.

REFERENCES

1. Lutsкая I.K. *Prakticheskaya stomatologiya* (Practical Dentistry), Minsk, 1999, 360 p. (in Russ.)
2. Novak N.V., Baytus N.A. *Vestnik of Vitebsk State Medical University*, 2016, no. 1(15), pp. 19–26. (in Russ.)
3. Vinogradova T.V., Ugoleva S.A., Kazantsev N.L., Sidorov A.B., Shevchenko M.V. *Novoye v stomatologii*, 1995, no. 6, pp. 326. (in Russ.)
4. Grigoriev S.S., Kudinov P.N., Bisyarina L.I. *Medico-pharmaceutical journal "Pulse"*, 2017, no. 10(19), pp. 76–80. (in Russ.)
5. Tokmakova S.I., Lunitsyna Yu.V. *Actual problems in dentistry*, 2014, no. 5, pp. 30–32. (in Russ.)
6. Tscymbalystov A.V., Kopytov A.A., Chuev V.P., Asadov R.I., Vinakov D.V. *RUDN Journal of Medicine*, 2018, no. 4(22), pp. 415–420, DOI: 10.22363/2313-0245-2018-22-4-415-420. (in Russ.)
7. Gaidarova T.A., Eremina N.A., Inshakov D.V. *Acta Biomedica Scientifica*, 2007, no. 6(58), pp. 92–95. (in Russ.)
8. Lutsкая I.K., Marchenko E.I., Chukhray I.G. *Sovremennaya stomatologiya*, 2012, no. 1, pp. 29–31. (in Russ.)
9. Majorov E.E., Prokopenko V.T. *Biomedical Engineering*, 2012, no. 3(46), pp. 109–111.
10. Novak N.V., Baytus N.A. *Vestnik of Vitebsk State Medical University*, 2017, no. 2(16), pp. 113–119. (in Russ.)
11. Maiorov E.E., Prokopenko V.T., Ushveridze L.A. *Biomedical Engineering*, 2014, no. 6(47), pp. 304–306. (in Russ.)
12. Kuzmenkov M.I., Sushkevich A.V., Manak T.N. *Proceedings of BSTU. Chemistry and technology of inorganic substances*, 2011, no. 3, pp. 79–83. (in Russ.)
13. Maiorov E.E., Popova N.E., Shalamay L.I., Tsygankova G.A., Chernyak T.A., Pushkina V.P., Pisareva E.A., Dagaev A.V. *News of the Tula state university. Technical sciences*, 2018, no. 10, pp. 249–256. (in Russ.)
14. Adamovich E.I., Makedonova Yu.A., Pavlova-Adamovich A.G. *Medico-pharmaceutical journal "Pulse"*, 2017, no. 7(19), pp. 51–53. (in Russ.)
15. Kudryavtsev I.V., Chuloshnikov M.I. *Ispytatel'naya mashina tipa IM-4R* (Testing Machine Type IM-4R), Moscow, 1949, 36 p. (in Russ.)

Data on authors

- Ludmila I. Shalamay** — PhD, Associate Professor, Pavlov University, Department of Therapeutic Dentistry and Periodontology; E-mail: l.shalamay@mail.ru
- Elena Yu. Mendosa** — A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Department of Clinical Dentistry, Assistant; E-mail: mendosaMSUMD@gmail.com
- Evgeny E. Maiorov** — PhD, Associate Professor; St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Department of Applied Mathematics; E-mail: majorov_ee@mail.ru
- Victoria B. Lampusova** — PhD, Associate Professor, Pavlov University, Department of Therapeutic Dentistry and Periodontology; E-mail: victoriala383@gmail.com
- Nataliya S. Oksas** — PhD, Assistant, Pavlov University, Department of Therapeutic Dentistry and Periodontology; Assistant; E-mail: gyvas@yandex.ru

Received 16.05.22; approved after reviewing 04.06.22; accepted for publication 21.06.22.