Стоматология
2024, Т. 103, №6, с. 20–24
https://doi.org/10.17116/stomat202410306120

Stomatology
2024, vol. 103, no. 6, pp. 20–24
https://doi.org/10.17116/stomat202410306120

Анализ механических свойств материала временных конструкций, изготовленных прямым способом, и коронок длительного использования, изготовленных методом 3D-печати

© С.Д. ШНАЙДЕР[1], Н.С. НУРИЕВА[2], А.Д. ЮРАСОВ[3]

[1]Стоматологическая поликлиника ЧУЗ «Клиническая больница "РЖД-Медицина" города Челябинск», Челябинск, Россия;
[2]ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, Челябинск, Россия;
[3]ООО «ХАРЦ Лабс», Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Целью данной работы является изучение механических свойств материалов временных композитных коронок и композитных ортопедических конструкций временного использования, изготовленных методом 3D-печати.

Материалы и методы. Для двух исследованных групп образцов: исходных, напечатанных на 3D-принтере, и залитых образцов из композитного материала определенной формы было изготовлено по 8 образцов, визуально проверенных на отсутствие пористости. Проведены измерения прочности и упругости по методу трехточечного изгиба и твердости — по методу индентирования.

Результаты. Для обоих материалов твердость, прочность на изгиб и упругость на изгиб показывают стабильно высокие значения, требуемые в ГОСТ 24621—2015 (ISO 868:2003) [Пластмассы и эбонит] и ГОСТ 4648—2014 (ISO 178:2010) [Пластмассы]. Однако статистические данные на изгиб выше у композитного материала, с большим разбросом значения модуля упругости, в отличие от напечатанных на 3D-принтере образцов.

Заключение. Оба материала пригодны для изготовления временных ортопедических конструкций. Для более точной оценки необходимо продолжить исследование материала для 3D-печати на предмет цитотоксичности, водопоглощения, микроструктуры.

Ключевые слова: *стоматология, временные композитные коронки, 3D-печать, изготовленные методом 3D-печати.*

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:
Шнайдер С.Д. — https://orcid.org/0009-0008-9689-7073
Нуриева Н.С. — https://orcid.org/0000-0002-5656-2286
Юрасов А.Д. — https://orcid.org/0009-0005-3137-5272
Автор, ответственный за переписку: Шнайдер С.Д. — e-mail: shnaider.semen@gmail.com

КАК ЦИТИРОВАТЬ:
Шнайдер С.Д., Нуриева Н.С., Юрасов А.Д. Анализ механических свойств материала временных конструкций, изготовленных прямым способом, и коронок длительного использования, изготовленных методом 3D-печати. *Стоматология.* 2024;103(6):20–24. https://doi.org/10.17116/stomat202410306120

Analysis of the mechanical properties of a material of temporary structures manufactured by direct method and provisional crowns made by 3D printing

© S.D. SHNEIDER[1], N.S. NURIEVA[2], A.D. YURASOV[3]

[1]Clinical Hospital “Russian Railways-Medicine” of the city of Chelyabinsk, Chelyabinsk, Russia;
[2]South Ural State Medical University, Chelyabinsk, Russia;
[3]LLC “KHARTS Labs”, Moscow, Russia

ABSTRACT

The aim of this work is to study the mechanical properties of temporary composite crowns and temporary composite orthopedic structures manufactured by 3D printing.

Materials and methods. For the two studied groups of samples: the original 3D-printed samples and the poured samples from a composite material of a certain shape, 8 samples were made and visually checked for the absence of porosity. The strength and elasticity were measured using the three-point bending method and the hardness was measured using the indentation method.

Results. For both materials, the hardness, flexural strength and flexural elasticity show consistently high values required by GOST 24621-2015 (ISO 868:2003) [Plastics and ebonite] and GOST 4648-2014 (ISO 178:2010) [Plastics]. However, the statistical data on bending are higher for the composite material, with a larger spread of the elastic modulus value, in contrast to the 3D-printed samples.

Conclusion. Both materials are suitable for the manufacture of temporary orthopedic structures. For a more accurate assessment, it is necessary to continue studying the 3D-printed material for cytotoxicity, water absorption, and microstructure.

Keywords: *dentistry, temporary composite crowns, 3D printing, structures made by 3D printing.*

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Schneider S.D. — https://orcid.org/0009-0008-9689-7073
Nurieva N.S. — https://orcid.org/0000-0002-5656-2286
Yurasov A.D. — https://orcid.org/0009-0005-3137-5272
Corresponding author: Schneider S.D. — e-mail: shnaider.semen@gmail.com

TO CITE THIS ARTICLE:
Shneider SD, Nurieva NS, Yurasov AD. Analysis of the mechanical properties of a material of temporary structures manufactured by direct method and provisional crowns made by 3D printing. *Stomatology.* 2024;103(6):20–24. (In Russ.). https://doi.org/10.17116/stomat202410306120

Данная статья является продолжением исследования по изучению изменения биохимического состава слюны при протезировании несъемными конструкциями [1]. Материалы для изготовления стоматологических конструкций должны обладать рядом характеристик в зависимости от выполняемых функций [2]. Самый распространенный вид ортопедических стоматологических конструкций — несъемные протезы. Протезирование постоянными ортопедическими конструкциями сопутствуется обязательным этапом использования временных конструкций. Изготовление временных коронок прямым способом является повседневной клинической работой стоматолога-ортопеда. Материалы для прямого изготовления подобных конструкций имеет ряд положительных (легко поддается коррекции, изготовление временных конструкций в одно посещение, невысокая стоимость, хорошая фиксация) и отрицательных моментов (материал пористый, а значит в процессе использования со слюной попадают незаметные глазу частички пищи и возникает неприятный запах в полости рта). Заполировать такую временную конструкцию в клинических условиях не всегда возможно: хрупкий материал при протяженных включенных дефектах не рекомендуется применять, в некоторых клинических случаях требуется предварительно восковое моделирование, а значит и дополнительное посещение).

Современная стоматология базируется на усовершенствовании биоматериалов, методов их получения и обработки [3]. Одним из прогрессивных способов изготовления временных ортопедических конструкций является 3D-печать. Метод дает такие преимущества, как: материал легко поддается полировке и механической обработке, долговременные конструкции возможно изготовить в одно посещение, точная посадка и более длительный срок использования конструкций в полости рта. К недостаткам метода следует отнести необходимость дополнительного оборудования для изготовления таких конструкций. Однако во внимание должен быть принят не только способ изготовления, но и сам материал. Поскольку при эксплуатации стоматологические конструкции испытывают большую нагрузку, рациональный выбор материла и способ изготовления напрямую влияют на качество лечения [4].

Как свойство материала, так и метод его изготовления, и дальнейшая обработка существенно влияют на многие качества конечного изделия. Материал, из которого изготавливаются стоматологические конструкции, может быть получен различными способами, в том числе фрезерованием и при помощи аддитивных технологий [5]. Решение об использовании конкретного материала возможно принять, в том числе исходя из прочностных характеристик образцов, исследование которых может быть проведено как в объеме, так и на поверхности. Широко распространенным методом определения механических свойств является индентирование как наиболее точный экспериментально подтвержденный метод. Сочетание его с испытаниями на изгиб, дающими информацию об объемных прочностных характеристиках образца, позволяет получить обширную картину, в которой проявятся преимущества одного материала по сравнению с другим. Доказано, что твердость реставрационных материалов должна быть приближена к твердости тканей зуба, точнее, эмали, что позволит не разрушаться под силами жевательного давления и не стирать зубы-антагонисты [6]. Результатом инструментального метода служат значения твердости, а измерения прочности и упругости проводились по методу трехточечного изгиба. Исследование физико-механических свойств материалов — один из определяющих факторов выбора временных несъемных конструкций.

Целью работы является изучение механических свойств материалов временных композитных коронок и композитных ортопедических конструкций временного использования, изготовленных методом 3D-печати.

Материал и методы

В данной работе исследовались 2 группы образцов:

— Protemp 4» (3M, США, далее — материал 1). Материал композитный для временных коронок и мостовидных конструкций, возможно использование материала с применением силиконового ключа непосредственно после обработки зубов. Удобен в работе, хорошая фиксация, ремонтопригоден, требует дополнительного времени для постобработки.
— Dental Sand (HARZ Labs, Россия, далее — материал 2). Композитный материал, легко поддается полировке и механической обработке, временные конструкции возможно изготовить в одно посещение, точная посадка, так как изготавливается машинным способом, более длительный срок использования материала.

Для двух исследованных групп образцов: исходных, напечатанных на 3D-принтере, и залитых образцов материала 1 определенной формы было изготовлено по 8 образцов, визуально проверенных на отсутствие пористости. Твердость определяли согласно результатам инструментального метода индентирования, прописанного в стандарте ГОСТ 24621—2015 (ISO 868:2003) [Пластмассы и эбонит. Определение твердости при вдавливании с помощью дюрометра (твердость по Шору)].

Метод позволяет выполнить измерение либо непосредственно после вдавливания, либо спустя заданный промежуток времени после вдавливания, либо и то и другое. Специальный индентор вдавливают в испытуемый материал

под действием силы в заданных условиях и измеряют глубину вдавливания. Твердость при вдавливании обратно пропорциональна глубине вдавливания и зависит от модуля упругости и вязкоупругих свойств материала.

Измерение твердости образцов проведено на универсальной испытательной машине F.X. Durameter. Образец для испытания помещали на твердую горизонтальную ровную поверхность. Дюрометр устанавливали в вертикальном положении так, чтобы кончик индентора находился на расстоянии не менее 9 мм от любого края испытуемого образца. Со скоростью 50 мм/мин, массой груза 5 кг к образцу прижимается опорная поверхность дюрометра параллельно поверхности образца. К опорной поверхности прилагают давление, достаточное для обеспечения надежного контакта с образцом. Через 15±1 с снимают показания индикаторного устройства. Если необходимо провести мгновенное измерение, то показание снимают в течение 1 с после прижатия опорной поверхности к образцу. В этом случае записывают максимальное значение, которое покажет индикатор дюрометра. Проводят 5 измерений твердости в разных местах поверхности образца, но на расстоянии не менее 6 мм от точки предыдущего измерения, и определяют среднее значение.

Твердость показывает, как материал реагирует на проникновение. Твердость по Шору необязательно требуется для гипсового литья, но оказывается очень полезной в случае, если требуется выбор материалов для изготовления прямым способом или методом 3D-печати.

Измерение прочности на изгиб и модуля упругости образцов проведено на универсальной испытательной машине (разрывной) Tesile Test Machine 5kN WDW-5S в соответствии со стандартом [7]. Для этого из каждого исследуемого материала были приготовлены 8 полосок, проверенных на отсутствие пористости.

Устройство для испытания на трехточечный изгиб состоит из центрального нагружающего плунжера и двух опор в виде цилиндров с отполированными поверхностями диаметром 3,2 мм и минимальной длиной 10,5 мм. Опоры расположены параллельно с отклонением не более 0,1 мм и перпендикулярны к продольной центральной линии. Расстояние между центрами опор 50±0,1 мм; нагрузочный плунжер находится в центре между опорами с допускаемым отклонением от центра 0,1 мм.

Равномерно увеличивают нагрузку плунжера с постоянной скоростью (5±1)50 мм/5 мин до разрушения образца.

Прочность при изгибе σ вычисляют по формуле:

$$\sigma = \frac{3Fl}{2bh^2},$$

где F — нагрузка при разрушении образца, l — расстояние между опорами, b — ширина образца, h — высота образца.

Модуль упругости при изгибе E, МПа, вычисляют по формуле:

$$E = \frac{F_1 l^3}{4bh^3 d},$$

где F_1 — нагрузка в области упругой деформации образца, выбранная на прямолинейном участке диаграммы нагрузка—деформация, d — деформация при нагрузке F_1.

Результаты и обсуждение

В **табл. 1** приведены параметры твердости по Шору. Согласно приведенным данным, образцы, напечатанные на 3D-принтере и приготовленные из материала 1, показали результаты стабильно выше 90 по шкале D мН, что свидетельствует о высокой твердости двух сравниваемых материалов.

На **рис. 1** приведены диаграммы твердости. Видно, что наибольшее среднее значение твердости показали напечатанные на 3D-принтере образцы из материала 2.

Таблица 1. **Результаты исследования твердости по Шору**
Table 1. **Shor hardness test values**

Номер образцов	3M Protemp 4	HARZ Labs Dental Sand
1	98	98,5
2	98	98
3	97,5	98
4	97,5	98
5	97,5	98
6	97,5	98
7	98	98,5
8	97,5	98
Среднее значение	97,68	98,13

Таблица 2. **Результаты испытаний на трехточечный изгиб**
Table 2. **Results of three-point bending tests**

Номер образцов	3M Protemp 4			HARZ Labs Dental Sand		
	Пиковая сила, Н	Прочность на изгиб, Мпа	Упругость на изгиб, Мпа	Пиковая сила, Н	Прочность на изгиб, МПа	Упругость на изгиб, МПа
1	365,3	102,2	2187,1	259	90,1	1991,8
2	406,4	113,6	3045,2	228,6	79,5	1964,5
3	411,6	115,1	3006,4	266,3	92,6	2034,6
4	334,6	93,6	2391,8	247,3	86,	1935,5
5	377,9	105,7	2579,8	258,7	90	2140,9
6	451,4	126,2	2742,5	255,9	89	2010,7
7	362	101,1	2636,4	238,1	82,8	1955,7
8	412,4	115,3	2835,7	254	88,3	1996
Среднее значение	390,2	109,1	2678,1	251	87,4	2003,7
Стандартное отклонение	37	10,4	294	12,4	4,3	63,8

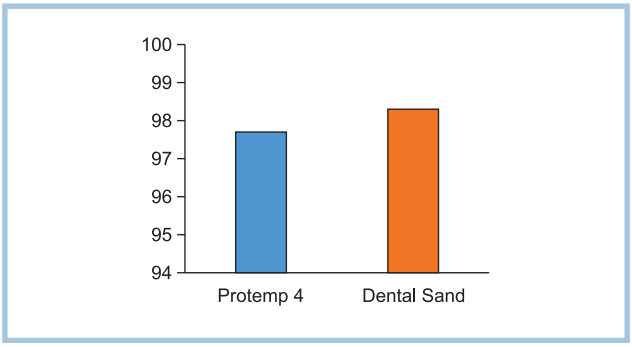


Рис. 1. **Результаты исследования твердости по Шору.**
Fig. 1. **Shore hardness test values.**

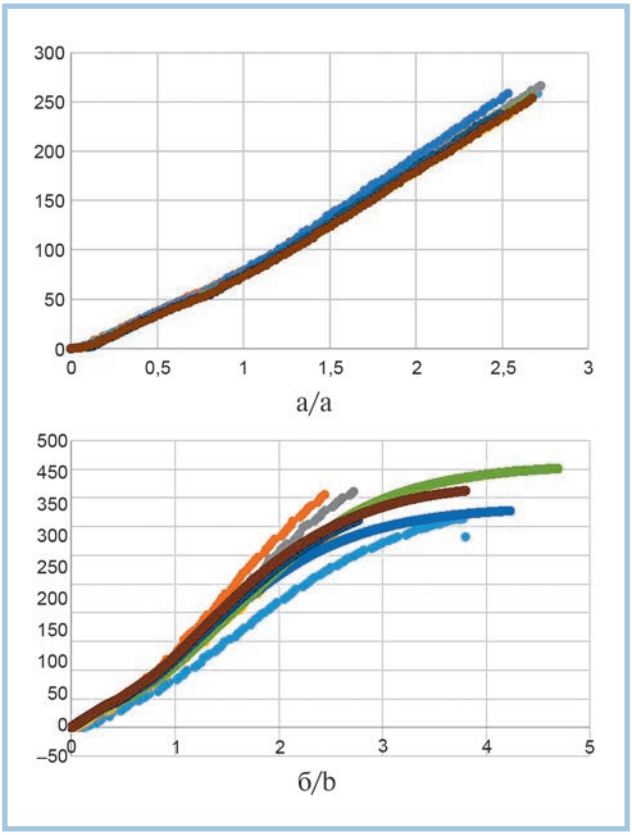


Рис. 3. **Графики зависимости нагрузки от изгиба.**
а — материал 2; б — материал 1.
Fig. 3. **Graphs of the dependence of the load on the bending.**
a — material 2; b — material 1.

В **табл. 2** отражены результаты испытания образцов на трехточечный изгиб. Сравнение приведенных результатов показывает, что прочность на изгиб и упругость на изгиб образцов имеют стабильно высокие значения относительно стандартного отклонения.

Как видно из **рис. 2,** материал 1 обладает более высокими физико-механическими характеристиками на изгиб, чем напечатанные на 3D-принтере образцы материала 2.

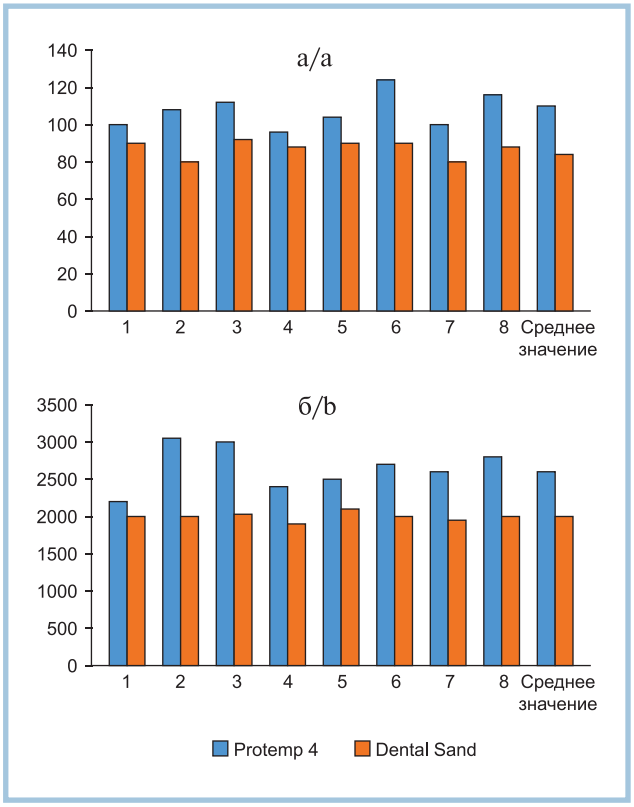


Рис. 2. **Результаты испытаний на изгиб.**
а — диаграммы прочности на изгиб; б — диаграммы упругости на изгиб.
Fig. 2. **Bending values assessment.**
a — the bending strength diagrams; b — the flexural elasticity diagrams.

Графики зависимости нагрузки от изгиба приведены на **рис. 3**. Эти графики построены машиной при испытании на изгиб, по результатам которых мы можем наблюдать более высокие значения модуля упругости у материала 2.

Заключение

В настоящей работе проведены измерения твердости, модуля упругости на изгиб, а также прочности на изгиб материалов, полученных как при помощи аддитивных технологий, так и классическим способом с целью анализа применимости их для изготовления временных конструкций прямым способом и коронок временного использования, изготовленных методом 3D-печати.

Твердость, прочность на изгиб и упругость на изгиб обоих материалов показывают стабильно высокие значения, требуемые в ГОСТ 2462—2015 (ISO 868:2003) [Пластмассы и эбонит] и ГОСТ 4648—2014 (ISO 178:2010) [Пластмассы]. На данном этапе исследования оба материала могут быть предметом выбора при изготовлении временных ортопедических конструкций. Для более точной оценки необходимо продолжить исследование обоих групп материалов на биохимические показатели, цитотоксичность, водопоглощение, изучение микроструктуры твердых тел образцов.

Участие авторов:
Концепция и дизайн исследования — Шнайдер С.Д., Нуриева Н.С.
Сбор и обработка материала — Шнайдер С.Д., Юрасов А.Д.
Написание текста — Шнайдер С.Д., Нуриева Н.С., Юрасов А.Д
Редактирование — Юрасов А.Д.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Participation of authors:
Concept and design of the study — Schneider S.D., Nurieva N.S.
Data collection and processing — Schneider S.D., Yurasov A.D.
Text writing — Schneider S.D., Nurieva N.S., Yurasov A.D.
Editing — Yurasov A.D.

The authors declare no conflict of interests.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Schnaider S, Nurieva N, Sinitski A, Schnaider A. Study of changes in the biochemical composition of saliva during prostetics with fixed structures. *Scientific and practical J*. 2021;10:203-207.
2. Дегтярев Н.Е., Мухаметшин Р.Ф., Мамедов С., Апресян С.В., Ковган Д.С., Семенова Ю.А. Этапы изготовления хирургических шаблонов и их применение в сложных клинических случаях. *Голова и шея*. 2020;8(3):61-67.
Degtyarev NE, Mukhametshin RF, Mammadov S, Apresyan SV, Kovgan DS, Semenova YuA. Stages of manufacturing surgical templates and their application in complex clinical cases. *Head and neck*. 2020;8(3):61-67. (In Russ.). https://doi.org/10.25792/HN.2020.8.3.61-67
3. Гаджиев М.А., Кравчук К.С., Гладких Е.В., Султанова Г.Х., Русаков А.А., Усеинов А.С., Апресян С.В. Сравнительные испытания объемных и поверхностных механических свойств материалов для стоматологических конструкций, полученных с помощью аддитивных технологий. *Наноиндустрия*. 2021;14(3-4)(106):196-205.
Gadzhiev MA, Kravchuk KS, Gladkikh EV, Sultanova GH, Rusakov AA, Useinov AS, Apresyan SV. Comparative tests of volumetric and surface mechanical properties of materials for dental structures obtained using additive technologies. *Nanoindustry*. 2021;14(3-4)(106):196-205. (In Russ.). https://doi.org/10.22184/1993-8578.2021.14.3-4.196.204
4. Горяинова К.Е., Апресян С.В., Лебеденко И.Ю., Воронов И.А. Сравнительная клиническая оценка качества протезирования коренных зубов, восстановленных CAD/CAM-коронками производства chairside. *Стоматология*. 2019;98(5):72-77.
Goryainova KE, Apresyan SV, Goryainova KE, Lebedenko IYu, Voronov IA. Comparative clinical evaluation of the prosthetic treatment quality of molars restored by chairside manufactured CAD/CAM crowns. *Stomatologiya*. 2019;98(5):72-77. (In Russ.). https://doi.org/10.17116/stomat20199805172
5. Salmi M, Paloheimo K-S, Tuomi J, Ingman T, Mäkitie A. A digital process for additive manufacturing of occlusal splints: a clinical pilot study *J Royal Society Interface*. 2013;10(84):20130203. https://doi.org/10.1098/rsif.2013.0203
6. Перегудов А.Б., Мурашов М.А., Якушин В.Л., Лебеденко И.Ю., Лебеденко А.И. Сравнение износостойкости керамических блоков для системы CEREC, современных композитных реставрационных материалов и тканей зуба человека. *Российский стоматологический журнал*. 2009;3:19-21.
Peregudov AB, Murashov MA, Yakushin VL, Lebedenko IYu, Lebedenko AI Comparison of wear resistance of ceramic blocks for the CEREC system, modern composite restoration materials and human tooth tissues. *Russian Dental Journal*. 2009;3:19-21. (In Russ.). https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12890950
7. Усеинов А., Решетов В., Масленников И., Кравчук К. ISO – это просто! *Наноиндустрия*. 2015;7(61):52-61.
Useinov A, Reshetov V, Maslenikov I, Kravchuk K. ISO is simple! *Nanoindustry!* 2015;7(61):52-61. (In Russ.). https://doi.org/10.22184/1993-8578.2015.61.7.52.60

Поступила 05.07.2022
Received 05.07.2022
Принята 05.06.2024
Accepted 05.06.2024