

УДК 612.31; 53.084

АКТУАЛЬНОСТЬ ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ДРУГИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ СТОМАТОЛОГИИ МЕТОДОМ СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ

¹Швитко Д.Б., ²Марахова А.И.

¹ГБОУ ВПО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова», Москва;

²ГАОУ ВПО «Российский университет дружбы народов», Москва, e-mail: agentcat85@mail.ru

Рассмотрены важные характеристики, определяющие качество материалов, используемых в стоматологии, такие как форма и размер частиц, упругость, твердость, прочность, контактная вязкость, вязкость разрушения, пластичность, усталость и др. Установлено, что адекватные сравнения материалов между собой возможны лишь по результатам унифицированных методик анализа. Перспективным методом определения функциональных свойств тонких покрытий является метод наноиндентирования с использованием сканирующий нанотвердомер «НаноСкан упругость, твердость, прочность – 3D».

Ключевые слова: композиты, импланты, упругость, твердость, прочность, вязкость, наноиндентирование, сканирующая зондовая микроскопия

RELEVANCE STUDY OF PHYSICAL AND MECHANICAL AND OTHER PROPERTIES OF THE MATERIALS USED IN DENTISTRY BY SCANNING PROBE MICROSCOPY

¹Shvitko D.B., ²Marakhova A.I.

¹A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow;

²Peoples Friendship University of Russia, Moscow, e-mail: agentcat85@mail.ru

Important characteristics that determine the quality of the materials used in dentistry Are considered, such as particle size and shape, elasticity, hardness, strength, contact strength, toughness, ductility, fatigue and others. It was established that adequate comparisons between materials is only possible by uniform results analysis techniques. A promising method for determining the functional properties of thin coatings is nanoindentation method using a scanning nanohardness «NanoScan – 3D».

Keywords: composites, implants, elasticity, hardness, strength, toughness, nanoindentation, scanning probe microscopy

Развитие современной науки в любой области невозможно представить себе без использования нанотехнологий. Термин «нанотехнологии» подразумевает область в прикладной науке и технике, имеющую дело с объектами, достигающими размера не более 100 нанометров. Изначально этот термин встречался только в квантовой физике и электронике, в наше время он проник и в другие отрасли – медицину, химическую промышленность, фармацию и др. Стоматология также не осталась в стороне.

Одно из основных направлений развития инноваций в стоматологии – разработка и создание новых материалов, совмещающих в себе как физические характеристики, такие как прочность и износостойкость, так и эстетические. В настоящее время существует ряд научных работ, нашедших практическое внедрение, посвященных моделированию свойств материалов, применяемых для пломбирования, восстановления зубной эмали и создания покрытий для имплантов [3].

Чрезвычайно актуальным в настоящее время является создание композитного материала без полимеризационной усадки. Но это не самый важный и совсем не единственный

критерий. Реставрационный материал должен соответствовать максимальному количеству требований. Прежде всего, наполнитель не должен быть слабым звеном в цепи требований, поскольку он в конечном итоге и определяет качество композита. Поэтому измеряют прочность на изгиб, модуль упругости, поверхностную твердость, абразию, усадку, тепловое расширение и многие другие параметры с целью их оптимизации. [6].

Еще одной актуальной проблемой стоматологии, где важно использование полимерных покрытий с определенными свойствами является поиск оптимальных покрытий для коронок. Материал, применяемый для их изготовления – оксид циркония, которому присуща высокая твердость, не обладает достаточной эстетичностью и способствует патологическому истиранию зубов-антагонистов. В связи с этим становится необходимым использование материалов для покрытия.

При этом уделяется внимание таким характеристикам новых композитов, как форма и размер частиц, упругость, контактная вязкость, вязкость разрушения, пластичность, усталость и др. [4].

Целью настоящей работы явилось информационно-аналитическое исследование актуальности изучения физико-механических и других свойств материалов, применяемых в стоматологии с использованием метода сканирующей зондовой микроскопии.

Прежде всего, необходимо дать определения и рассмотреть взаимосвязь ряда наиболее важных характеристик материалов, применяемых в стоматологии.

Твёрдость – это способность тела сопротивляться внедрению в него другого тела, более твёрдого. В настоящее время твердость материала чаще определяют по методикам Виккерса или Бринелля, суть которых состоит в том, что в испытуемый материал специальным прессом вдавливают четырёхгранные алмазные пирамиды или стандартные шарики. По величине отпечатка на испытуемой поверхности судят о твёрдости материала. Результат называют числом твёрдости и обозначают через НВ или в килограмм/силах на один квадратный миллиметр ($\text{кгс}/\text{мм}^2$).

Твёрдость в различных ситуациях может выступать как положительное свойство, позволяющее пользоваться протезом длительное время, но нередко проявляется и с отрицательной стороны. Например, фарфоровые зубы, имея твёрдость в два раза больше твёрдости эмали зуба, вызывают повышенное стирание естественных зубов – антагонистов. Детали протеза, изготовленные из кобальтохромового сплава, содержащего в своём составе много исключительно твёрдого хрома, с трудом поддаются незначительной обработке и механической полировке.

Прочность – это способность материала сопротивляться действию внешней силы, постепенно возрастающей и стремящейся его разорвать. Прочность определяют делением величины нагрузки на значение площади поперечного сечения испытуемого образца. Прочность обозначают в килограмм/силах на один квадратный миллиметр ($\text{кгс}/\text{мм}$). Хорошие прочностные свойства – одно из основных требований к материалу.

Вязкость – это способность материала удлиняться, вытягиваться под действием внешней силы, постепенно возрастающей и стремящейся материал растянуть. Отношение добавленной в результате растяжения длины к первоначальной длине называется относительным удлинением. Оно выражается в процентах. Железо способно удлиняться на 50 %, золото на 45 %, а твёрдый хром только на 6 %. Вещества, не обладающие вязкостью (висмут, сурьма, чугун, фарфор и др.), относятся к хрупким материалам.

Упругость – это способность материала изменять форму под действием давления, а после прекращения давления возвращаться в исходное, первоначальное состояние. Максимальная нагрузка, при которой материал ещё способен восстановить форму и размеры, называется пределом упругости. Если нагрузка превысит предел упругости, а тело не возвратится в первоначальное положение, говорят об остаточной деформации. Остаточная деформация крайне нежелательна в пружинящих элементах протезов и аппаратов. На упругость материала можно влиять, изменяя её специальными приёмами.

Прочность на изгиб и модуль упругости (модуль Юнга) тесно связаны между собой. Прочность на изгиб указывает, при какой величине приложенной силы испытуемый образец разрывается. Модуль упругости характеризует при этом, насколько сильно деформируется материал перед разрывом при нагрузке. Под нагрузкой зуб деформируется минимально, следовательно, реставрация должна деформироваться подобно зубу. Следует заметить, что высокая прочность на изгиб не будет гарантом долговечности без высоких показателей модуля упругости. Но слишком высокий модуль упругости может вызвать «перфорирование» расположенного ниже дентина.

Модуль упругости самых совершенных композитов приближается к модулю упругости дентина, но никоим образом не выше. Большинство композитных материалов более упругие, чем твердые ткани зуба [7]. Высокая прочность композитов на изгиб позволяет им выдерживать высокие нагрузки. Но при этом возникают горизонтальные растягивающие силы в окклюзионной области и их распространение внутрь. Это может стать причиной откола реставрации при тонких стенках полости. Данный пример демонстрирует, насколько большое влияние на долговечность реставрации *in vivo* оказывает сложение сил. Следующие примеры – значение коэффициента теплового расширения и полимеризационной усадки при установке пломбы. Высокая усадка становится причиной внутренних напряжений в зубе, повышения чувствительности и нарушения краевого прилегания, ведущего в конечном итоге к развитию вторичного кариеса. Подобные феномены могут быть вызваны тепловым расширением. Композит должен быть в состоянии принимать большую нагрузку не только при жевании, но и при изменении температуры. Известно, что некоторые материалы при высокой температуре расширяются, а при низкой сужаются. Подобное происходит и с зубом. Физический параметр, который характеризует

изменение объема при изменении температуры материала, называется коэффициентом теплового расширения α [6]. Даже если эти объемные изменения измеряются в микрометрах, они могут иметь фатальные последствия. Коэффициент теплового расширения композита, приближенный к зубу, также важен, как и полимеризационная усадка. Оба параметра тесно взаимосвязаны в оценке клинической эффективности композита [4].

Еще один пример, наглядно подтверждающий необходимость комплексных исследований свойств композитов. Качество поверхности композита имеет важное значение не только с точки зрения эстетики. Поверхность композитной реставрации не должна создавать более благоприятные условия для колонизации бактерий, чем живой зуб. по этой причине проводятся исследования колонизации поверхности композита *Streptococcus mutans* [6]. На интенсивность развития бактериальной флоры оказывает влияние наличие микротрещин, углублений и выпуклостей, что делает необходимым также изучение рельефа используемого материала.

Механические измерения составляют основную часть исследований композитов и покрытий для стоматологических коронок. Изготовители оценивают свои новые разработки с другими материалами. по международным стандартам и методы измерения. Однако, многие измерительные приборы изначально были разработаны вовсе не для стоматологических исследований, а для изучения материалов с молекулярно-однородной структурой (металл). А композит – полимер, наполненный частицами различного размера.

В связи с этим, есть большая вероятность получения не совсем достоверных результатов. Поэтому актуальной задачей является поиск более совершенных и адекватных методов анализа материалов, применяемых в стоматологии. Одним из методов определения функциональных свойств специальных тонких покрытий является метод наноиндентирования (ISO 14577), который можно осуществить при помощи современного прибора, позволяющего анализировать физико-механические свойства, такого как сканирующий наноиндентомер «НаноСкан-3D» (рис.1). Этот метод можно считать условно неразрушающим, поскольку глубина погружения индентора при испытаниях незначительна [8].

Результаты изучения свойств стоматологических материалов имеют не только теоретическое, но и непосредственно практическое значение, связанное с регулиро-

ванием свойств путем изменения состава материалов и разработкой оптимальных методов и технологий применения материалов в различных областях стоматологии.

НаноСкан – это сканирующий силовой микроскоп, работающий на открытом воздухе в жестком контактном режиме. Главными отличиями данного прибора от других подобных устройств является высокая жесткость (6×10^4 Н/м) керамического кантилевера и использование в качестве индентора алмазной пирамиды или ультратвердого фулерита. Это позволяет не только получать информацию о топографии поверхности, но также в режиме жесткого контакта оценить твердость и модуль упругости сверхтвердых материалов, в том числе и алмаза, и покрытий. Измерительная система НаноСкан позволяет проводить измерение топографии и измерение карт механических свойств поверхностей на одном участке поверхности. Это дает возможность сравнивать топографию и распределение механических свойств. Благодаря высокой изгибной жесткости консоли зонда и применению игл из твердых материалов НаноСкан позволяет проводить индентирование и царапание поверхности. Индентирование проводится путем нагружения иглы в определенной точке поверхности. Царапание осуществляется путем нагружения, аналогично индентированию, и последующего горизонтального перемещения индентора под нагрузкой. Размер отпечатка или царапины определяется путем сканирования рельефа до и после индентирования. Кроме того, НаноСкан позволяет осуществлять измерение твердости. Определение твердости основано на методе сравнительной склерометрии, когда царапина наносится поочередно на изучаемый материал и эталон, твердость которого известна. Анализ царапины заключается в измерении ее средней ширины при определенной нагрузке [1,7].

Основное преимущество «НаноСкан-3D» – многопрофильность измерений, доступных в рамках одного прибора. На его базе предложен метод определения износостойкости материала, основанный на перемещении наконечника вдоль поверхности с постоянным контролем нормальной силы прижима к ней и измерением зависимости углубления наконечника в материал от времени [5].

Для измерения величины наноиндентора и модуля Юнга покрытий на приборе «НаноСкан» к образцам и покрытию предъявляются определенные требования: класс шероховатости образцов, должен быть не хуже 12 – 14 класса; глубина погружения индентора (77 нм) должна быть не более

10 % толщины покрытия. С этой целью в качестве подложек для покрытий можно использовать, например, образцы из кремния и ситалла СТ50 (14 класс шероховатости) [2].

Пример результата исследований образца покрытия защитного покрытия, полученного на приборе «Наноскан 3D», представлено на рис. 2.

3. Многие измерительные приборы были разработаны для изучения материалов с молекулярно-однородной структурой и не подходят для композитов, применяемых в стоматологии.

4. Перспективным методом определения функциональных свойств тонких покрытий является метод наноиндентирования, который успешно осуществим при

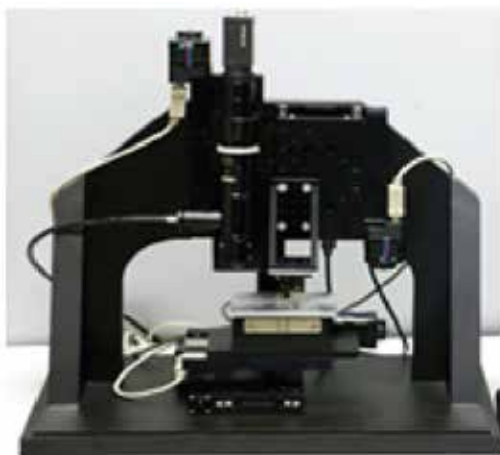


Рис. 1. Прибор «Наноскан 3D»

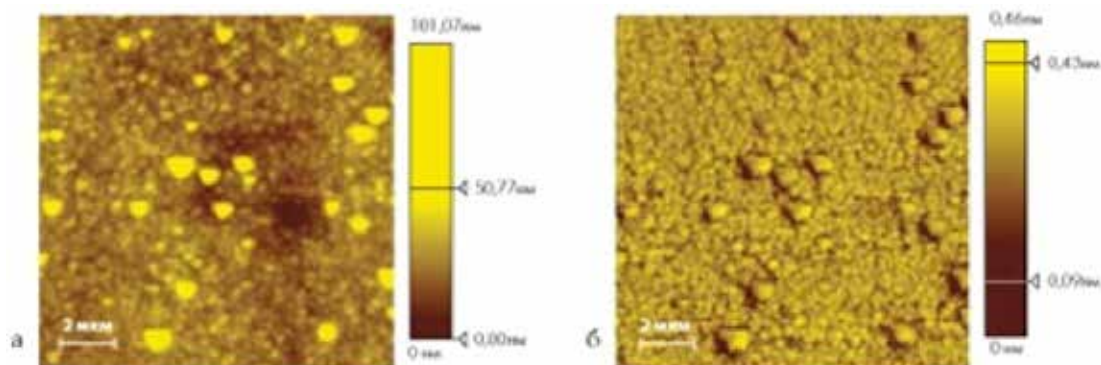


Рис. 2. Пример изображения защитного покрытия, полученного на приборе «Наноскан 3D»: а – изображение рельефа, б – карта распределения модуля упругости

Выводы:

1. Важными характеристиками, определяющими качество материалов, используемых в стоматологии являются как форма и размер частиц, упругость, твердость, прочность, контактная вязкость, вязкость разрушения, пластичность, усталость и др.

2. Для того, чтобы проводить адекватные сравнения материалов между собой, необходимо унифицировать методики определения вышеперечисленных характеристик.

помощи современного прибора, позволяющего анализировать физико-механические свойства, такого как сканирующий нанотвердомер «НаноСкан – 3D».

Список литературы

1. Гоголинский К.В., Львова Н.А., Усеинов А.С. Применение сканирующих зондовых микроскопов и нанотвердомеров для изучения механических свойств твердых материалов на наноуровне (обобщающая статья) // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2007. – Т.73, №6. – С. 28 – 36.

2. Дашковская Е.Ю., Козельская А.И., Швецов Е.Е. Применение сканирующего нанотвердомера «Наноскан» для исследований тонких биосовместимых кальций-фосфатных покрытий, полученных ионно-плазменными методами // Современная техника и технологии. Секция 12: Наноматериалы, нанотехнологии и новая энергетика: тезисы докл. Междун. конф. – Новосибирск, 2014. – С.481-483.
3. Маркин П.Ю., Серебров Д.В. О прочностных физико-механических свойствах пластмасс, используемых для перебазировки и реставрации базисов съемных протезов // Сб. трудов 7-й научно-практической конференции врачей стоматологов, посвященной 15-летию стоматологического факультета АГМУ «Современные стоматологические технологии». – Барнаул, 2005. – С. 193-194.
4. Маркин П.Ю., Серебров Д.В. Сравнение прочностных физико-механических свойств некоторых пластмасс, используемых для перебазировки и реставрации базисов съемных протезов // Сборник трудов конференции молодых ученых стоматологов ортопедов, посвященной профессору В.Ю. Курляндскому: тезисы докл. Всерос. конф. – М.: МГМСУ, 2004. – С.53-55.
5. Петржик М.И., Штанский Д.В., Левашов Е.А. Современные методы оценки механических и трибологических свойств функциональных поверхностей. // Материалы X Международной научно-технической конференции «Высокие технологии в промышленности России»: тез. докл. Всерос. конф. – Москва, 2004. – С.65-68.
6. Р. Крег, Дж. Пауэрс, Дж. Ватага Стоматологические материалы: свойства и применение» (седьмое издание на английском, первое издание на русском). – М.: МЕДИ. – 2005. – С.183-201.
7. Усеинов А.С. Измерение модуля сверхтвердых материалов с помощью сканирующего зондового микроскопа «НаноСкан» // Приборы и техника эксперимента. – 2003. – №6. – С.1-5.
8. Усеинов А., Кравчук К., Львова Н. Измерение износостойкостисверхтонких наноструктурированных покрытий // Наноиндустрия. – 2011. – №4. – 46-50.
9. Христиан Плятт Композиты – вчера и сегодня Часть 3. Исследование механических параметров композитов и их практическое значение // Новое в стоматологии. – 2008. – №7. – С. 13-14.