

ОГЛЯД МЕТОДИКИ НАНОІНДЕНТУВАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МІКРОМЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТВЕРДИХ ТКАНИН ЗУБІВ ТА СТОМАТОЛОГІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Інститут стоматології Національної медичної академії
післядипломної освіти імені П.Л. Шупика

Вступ. Прогнозування ефективності конструкцій у ортопедичній стоматології базується на законах механіки та фізики. Дослідження фізико-механічних властивостей стоматологічних матеріалів (каркасних матеріалів, облицювальної кераміки, композитних матеріалів, фіксуючих цементів, тощо) та аналіз отриманих даних є актуальним методом отримання інформації щодо характеристик готових ортопедичних конструкцій, планування їх застосування у кожному клінічному випадку та прогнозування терміну служби конструкцій. Однією з найбільш інформативних методик дослідження мікромеханічних властивостей стоматологічних матеріалів та твердих тканин зубів є методика наноіндентування.

Мета. Вивчення методики наноіндентування - засобу аналізу мікромеханічних властивостей стоматологічних матеріалів та характеристик твердих тканин зубів

Матеріал та методи. Визначення та аналіз мікромеханічних властивостей об'єктів дослідження проводилися із використанням сучасного апаратно-програмного комплексу - наноіндентометра. Складовими частинами комплексу є: апаратна частина (наноіндентометр) та програма аналізу і обробки отриманих даних.

Результати. Наноіндентування відноситься до високоточних неруйнуючих методик дослідження зразків, що дозволяє аналізувати мікромеханічні характеристики як конструкційних стоматологічних матеріалів, так і готових ортопедичних конструкцій без їх руйнування. Висока точність сучасних індентометрів надає можливість отримувати дослідницьку інформацію на нанорівнях, достовірно її оцінити та проаналізувати мікромеханічні властивості новітніх конструкційних стоматологічних матеріалів.

Висновки. Огляд методики дослідження фізико-механічних показників конструкційних стоматологічних матеріалів та твердих тканин зубів людини, принципи та інформаційні можливості наноіндентування дозволяють стверджувати про високу інформативність неруйнуючої методики.

Ключові слова: наноіндентування, мікротвердість, індентор Вікерса.

Вступ. Прогнозування ефективності конструкцій у ортопедичній стоматології базується на законах механіки та фізики. Дослідження фізико-механічних властивостей стоматологічних матеріалів (каркасних матеріалів, облицювальної кераміки, композитних матеріалів, фіксуючих цементів, тощо) та аналіз отриманих даних є актуальним методом отримання інформації щодо характеристик готових ортопедичних конструкцій, планування їх застосування у кожному клінічному випадку та прогнозування терміну служби конструкцій. Однією з найбільш інформативних методик дослідження мікромеханічних властивостей стоматологічних матеріалів та твердих тканин зубів є методика наноіндентування.

Мета. Вивчення методики наноіндентування - засобу аналізу мікромеханічних властивостей стоматологічних матеріалів та характеристик твердих тканин зубів.

Матеріали та методи. Визначення та аналіз мікромеханічних властивостей об'єктів дослідження проводилися із використанням сучасного апаратно-програмного комплексу - наноіндентометра. Складовими частинами комплексу є: апаратна частина (наноіндентометр) та програма аналізу і обробки отриманих даних. Розглядалися конструкційні особливості апарату для проведення індентометрії, рівні досліджень зразків (мікро- та нано-), можливості отримання різних мікромеханічних характеристик досліджуваних зразків та подальша обробка і аналіз отриманих даних.

Результати та їх обговорення. Принцип наноіндентування базується на зануренні геометрично атестованого індентора (ISO/FDIS 14577-2: 2002) заданого типу. У нашому дослідженні ми використовували пірамідальний алмазний індентор Вікерса – чотиригранну правильну піраміду з кутами між висотою та гранями $\alpha=68^\circ$. Занурення індентора у зразок відбувається під дією заданої сили. Одночасно проводиться реєстрація глибини занурення індентора в поверхню зразка. Таким чином, ми отримуємо базову інформацію - мікротвердість за Вікерсом. Використання програмних методик обробки первинних даних та їх очищення від паразитних ефектів дозволяє отримувати більше двадцять різноманітних характеристик досліджуваних зразків. А враховуючи те, що наноіндентування дозволяє дослідити фізико-механічні властивості на нано-, і навіть на атомарних рівнях - методика вважається одним з найінформативніших засобів аналізу мікромеханічних властивостей зразків.

Устаткування для наноіндентування конструктивно складається з вузла навантаження та прецизійного датчика для реєстрації переміщень індентора.

Основні технічні характеристики апарату:

Діапазон навантажень на індентор, Н.....0,01 - 5
 Вимірювальна глибина занурення, мкм.....0,01 - 200
 Швидкість навантажування, сН/сек.....0,01 - 100
 Час витримки під навантаженням, хв.....0 - 10
 Діапазон сканування, мм.....30×30

До основних механічних властивостей, які мають вирішальне значення у довгостроковому прогнозі ортопедичних конструкцій, відносять:

- твердість - опір матеріалу місцевій пластичній деформації, що виникає при зануренні в нього індентора;

- пружність - здатність матеріалу відновлювати свою форму і об'єм після припинення дії зовнішніх сил або інших причин, які викликали деформацію;

Твердість (мікротвердість), як інтегральну характеристику міцності та пластичності матеріалів визначали за глибиною занурення індентора в поверхню при вдавненні його із заданою силою. При мікроіндентуванні після зняття навантаження на поверхні зразку залишається відбиток від індентора розміром біля 1...100 мкм. Контактна поверхня розраховується за розміром відбитку, вимірному після зняття навантаження.

Очевидно, що відповідність габаритних параметрів індентора та відбитка буде тільки під час дії навантаження, коли індентор знаходиться в зануреному стані. Після розвантаження за рахунок неоднорідного пружного відновлення

відбитка індентора (заштрихована ділянка на рис. 1.) співвідношення цих розмірів змінюється. Відповідно на діаграмі занурення індентора, зміна площі відбитку після навантаження індентора складає $S1$ (площа відновленого відбитку), при чому площа контактної поверхні «індентор-зразок» при максимальному навантаженні індентора буде становити $S1 + S2$ і сягне глибини $h1$.

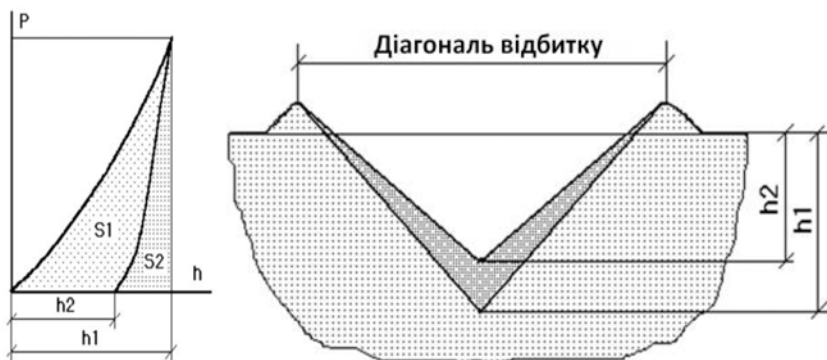


Рис. 1. Діаграма навантаження та схема відбитку індентора в перетині

Примітка: P - сила навантаження, $h1$ - глибина занурення при максимальному навантаженні; $h2$ - глибина відновленого відбитку після навантаження.

Щоб розширити об'єм одержуваної інформації, мінімізувати трудомісткість і роль суб'єктивного фактора при вимірюваннях відбитка, перевершити «оптичну» межу дозволу, була використана методика безперервного вдавнення індентора під дією постійного навантаження з реєстрацією діаграми занурення. Даний метод отримав назву кінетичної твердості. При його реалізації стало можливим визначати глибину відновленого та невідновленого відбитків, загальну роботу індентування, а також роботу пластичної і пружної деформації при зануренні індентора, модуль пружності та інші фізико-механічні характеристики досліджуваного матеріалу. Автоматизована обробка діаграм занурень, котрі реєструються при наноіндентуванні, дає можливість досліджувати механізми опору локальній пружнопластичній деформації в наноконтакті, вивчати особливості мікро- і наноконтактної взаємодії.

По даним безперервного наноіндентування можна відновлювати криві активного деформування і повзучості як пружнопластичних матеріалів, так і матеріалів, у яких пластична деформація ускладнена через випереджальне квазікрихке руйнування (кераміка, мінеральне та металеве скло, карбіди, нітриди, бориди, тугоплавкі сплави і т. ін.). Методи наноіндентування досить перспективні при оцінці характеристик рухливості дислокацій у кристалічних матеріалах і визначенні коефіцієнта в'язкості руйнування по розмірах тріщин навколо відбитка і величині сили вдавнення, що особливо важливо при дослідженні механічних характеристик зразків (топографії та розподілу груп поверхневих включень, тріщиностійкості та ін.).

Висновки. Наноіндентування відноситься до високоточних неруйнуючих методик дослідження зразків, що дозволяє аналізувати мікромеханічні характеристики як конструкційних стоматологічних матеріалів, так і готових ортопедичних конструкцій без їх руйнування. Висока точність сучасних індентометрів надає можливість отримувати дослідницьку інформацію на нанорівнях, достовірно її оцінити та проаналізувати мікромеханічні властивості новітніх конструкційних стоматологічних матеріалів.

Література

1. С.В. Калюжний «Словарь нанотехнологических и связанных с нанотехнологиями терминов». — М.: Физматлит, 2010. - 528 с.
2. S. M. Walley «Historical origins of indentation hardness testing» // Materials Science and Technology. – 2012. -Vol. 28, Is. 9-10. -P. 1028 – 1044.
3. M. M. Mayuram «Finite element model based elastoplastic contact model and some aspects on indentation response» // Materials Science and Technology. – 2012. -Vol. 28, Is. 9-10. - P. 1045 - 1050.
4. В.Д.Нацик, Л.С.Фоменко, С.В.Лубенец «Исследование ползучести и стеклования эластомеров методом микроиндентирования: эпоксидная смола и нанокompозиты на ее основе» // Физика твердого тела.- 2013. - Т. 55, вып. 5.

В.И. Беда, А.В. Пальчиков, А.В. Пальчикова, И.И. Паливода, И.М. Чоренький

Обзор методики наноиндентирования для определения микромеханических свойств твердых тканей зубов и стоматологических материалов

Институт стоматологии Национальной медицинской академии последипломного образования имени П.Л. Шупика

Введение. Прогнозирование эффективности конструкций в ортопедической стоматологии базируется на законах механики и физики. Одной из наиболее информативных методик исследования микромеханических свойств стоматологических материалов и твердых тканей зубов является методика наноиндентирования.

Цель. Изучение методики наноиндентирования - средства анализа микромеханических свойств стоматологических материалов и характеристик твердых тканей зубов.

Материал и методы. Определение и анализ микромеханических свойств объектов исследования проводились с использованием современного аппаратно-программного комплекса - наноиндентометра. Составными частями комплекса являются: аппаратная часть (наноиндентометр) и программа анализа и обработки полученных данных.

Результаты. Наноиндентирование относится к высокоточным неразрушающим методикам исследования образцов, которая позволяет анализировать микромеханические характеристики как конструкционных стоматологических материалов, так и готовых ортопедических конструкций без их разрушения. Высокая точность современных индентометров позволяет получить исследовательскую информацию на нануровне, достоверно ее оценить и проанализировать микромеханические свойства новейших конструкционных стоматологических материалов.

Выводы. Обзор методики исследования физико-механических показателей конструкционных стоматологических материалов и твердых тканей зубов человека, принципы и информационные возможности наноиндентирования

позволяють утверждати о високой информативности неразрушающей методики.
Ключевые слова: наноиндентирование, микротвердость, индентор Виккерса.

V. Bida, A. Palchykov, H. Palchykova, I. Palyvoda, I. Chornenkyi
**Overview of nanoindentation technique for determining
micromechanical properties of hard tissues of teeth and
dental materials**

**Institute of Dentistry Shupyk of National medical academy
of postgraduate education**

Introduction. Predicting the effectiveness of structures in prosthetic dentistry is based on laws of mechanics and physics. Nanoindentation technique is one of the most informative methods of studying micromechanical properties of dental materials and dental hard tissues.

Purpose. The study of nanoindentation methodology (tools for analysis of micromechanical properties of dental materials and characteristics of hard tissues of teeth).

Material and methods. Identification and analysis of micromechanical properties of the objects of research was conducted using modern hardware-software complex - nanoindenter. The component parts of the complex include hardware (nanoindenter), program analysis and data processing.

Results. Nanoindentation refers to high-precision non-destructive methods of samples testing, which allows analysis of micromechanical characteristics of structural dental materials and finished dental prostheses without destroying them. High precision of modern indentometers allows a reliable assessment of nanoscale information and analyzing micromechanical properties of new constructional dental materials.

Conclusions. The review of nanoindentation principles and information capabilities are suggestive a high informative efficiency of the non-destructive technique.

Key words: nanoindentation, microhardness, Vickers indenter.

Відомості про авторів:

Біда Віталій Іванович - доктор медичних наук, професор кафедри ортопедичної стоматології Інституту стоматології НМАПО імені П.Л. Шупика. Адрес: Київ, вул. Пимоненка 10-а, тел.: (044) 482-08-52.

Пальчиков Анатолій Володимирович - кандидат медичних наук, асистент кафедри ортопедичної стоматології Інституту стоматології НМАПО імені П.Л. Шупика. Адрес: Київ, вул. Пимоненка 10-а, тел.: (044) 482-08-52.

Пальчикова Ганна Вячеславівна - кандидат медичних наук, асистент кафедри стоматології Інституту стоматології НМАПО імені П.Л. Шупика. Адрес: Київ, вул. Пимоненка 10-а, тел.: (044) 482-08-52.

Паливода Ігор Іванович - кандидат медичних наук, асистент кафедри ортопедичної стоматології Інституту стоматології НМАПО імені П.Л. Шупика. Адрес: Київ, вул. Пимоненка 10-а, тел.: (044) 482-08-52.

Чорнений Ігор Михайлович - асистент кафедри ортопедичної стоматології Інституту стоматології НМАПО імені П.Л. Шупика. Адрес: Київ, вул. Пимоненка 10-а.