

В.Ф. Макеев¹, В.Р. Скальський², Р.Р. Павличко¹

Вплив циклічного навантаження силою жувального тиску і вищою на поверхню металокерамічних і прескерамічних ендокоронки

¹Львівський національний медичний університет ім. Данила Галицького²Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України

Мета: обґрунтування вибору матеріалу для ендокоронки на основі вивчення їх стійкості та зношування під дією циклічного навантаження.

Матеріали та методи. Проведення механічних випробувань при циклічному навантаженні силою жувального тиску 450 та 750 Н стоматологічних матеріалів прескераміки (IPS e.max Press) і металокераміки (GC Initial MC) в установці ВУСМ-500 із застосуванням методу акустичної емісії (АЕ) та системи SKOP-8M. Дослідження зламів у сканувальному електронному мікроскопі (СЕМ) ZEISS EVO 40XVP та опрацювання даних статистичними методами.

Результати. У прескераміці втомне руйнування відбувалось поетапно вглибину матеріалу з утворенням мікроратера із гладкими гранями й активно розвивалось після 360 тис. циклів навантаження. У металокераміці поступово вилущувались окремі прошарки керамічного покриття (фасетки відколу) та локально з'являлись мікротріщини в місцях імовірного розташування мікродфектів після 125 тис. циклів навантаження.

Висновки. Під дією циклічного навантаження (500 тис. циклів) у всіх стоматологічних матеріалах відбувалося втомне руйнування. Кращі показники продемонструвала прескераміка, тому даний вид матеріалу без додаткового напикання керамічних мас можна рекомендувати для застосування при виготовленні ендокоронки за умов патологічного стирання.

Ключові слова: ендокоронки, прескераміка, металокераміка, циклічне навантаження, акустична емісія.

Вступ

Останнім часом зростає популярність відновлення депульпованих жувальних зубів (за відсутності половини висоти клінічної коронки) ендокоронками. До переваг таких реставрацій перед традиційними коронками належать: більш консервативна обробка зуба; мінімальна зміна біологічної ширини зуба; через однорідність матеріалу, з якого виготовляють ендокоронку, знижується концентрація напружень у реставрації; кращий контроль препарування та фіксації реставрації. До недоліків відносять можливість розцементування та ризик злому кореня зуба через різницю модулів пружності матеріалу ендокоронки й дентину [9, 11].

У наших дослідженнях запропоновано для виготовлення ендокоронки використовувати окрім традиційних матеріалів (прескераміку) нетрадиційний (металокераміку). Проведення механічних випробувань при циклічному навантаженні стоматологічних матеріалів дало можливість порівняти їх циклічну міцність, запропонувати методику оцінювання зародження в них процесу руйнування й дати рекомендації для стоматологічної практики.

Розвиток застосування нових матеріалів у різних галузях техніки, у тому числі й ортопедичній стоматології, вимагає надійних методів прогнозування циклічної міцності й довговічності конструкцій з них під час їх експлуатації, особливо за наявності тріщин. Тому постає питання про розвиток таких дефектів, їх кінетику і загалом про період їх докритичного росту [10].

Втомне руйнування відносять до найпоширеніших видів уповільненого руйнування [1], [2], [3–8]. Тобто відбувається поступовий ріст найбільших початкових тріщин, аж до досягнення ними критичної величини. На ранній стадії руйнування майже завжди спостерігають поступове виникнення та накопичення мікродфектів. Якщо розміри цих дефектів співпадають з

характерними розмірами мікроструктури (наприклад, з розміром зерна), то таку стадію називають стадією зародження тріщини або інкубаційним періодом. Закінчується він локалізацією розсіяного руйнування з виникненням зростаючої макротріщини. Часто основну частину часу довговічності матеріалу займає не зародження мікротріщин, а наступний період повільного квазістатичного підростання тріщини від початкового докритичного розміру, про що йтиметься далі. Кінцевою стадією динамічного росту тріщини є повне руйнування, часто це катастрофа, якої треба уникати. Необхідно розрізнити звичайне втомне руйнування при низькому рівні напружень, або т. зв. багатоциклового втому, й руйнування при порівняно невеликих кількостях циклів прикладання достатньо великих напружень, тобто випадок малоциклового втому. У першому випадку мікропроцеси руйнування локалізуються в малій зоні біля вершини тріщини й визначаються асимптотичними полями напружень і деформацій. Відповідно, швидкість поширення тріщини повинна залежати від коефіцієнтів інтенсивності напружень (КІН). У другому випадку зона пластичних деформацій не мала, і для опису поширення тріщини треба розглядати послідовність кроків навантаження та її поширення.

Матеріали та методи

Досліджували два типи стоматологічних матеріалів, які використовують для виготовлення ендокоронки та їх фіксації в зубі: прескераміку (IPS e.max Press) та металокераміку (GC Initial MC). Зразки виготовляли за технологіями виробника по три зразки кожного виду. Вони мали форму дисків товщиною 4 мм та діаметром 16 мм. Для дослідження втомної міцності стоматологічних матеріалів розробили та виготовили нову оригінальну установку ВУСМ-500 (рис. 1).

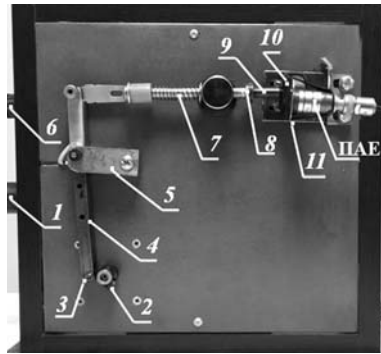


Рис. 1. Установка циклічного навантаження стоматологічних матеріалів.

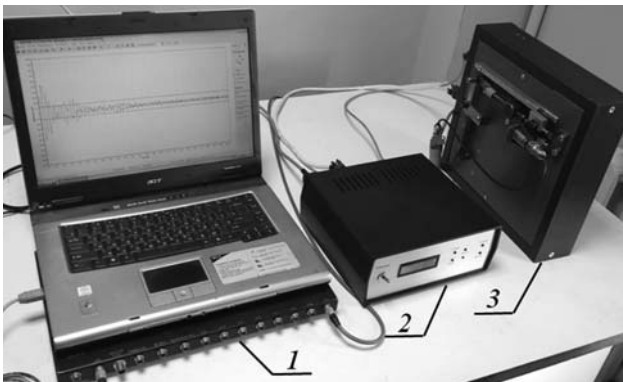


Рис. 2. Загальний вигляд схеми випробувань:
1 – АЕ-вимірювальна система;
2 – блок управління;
3 – навантажувальна установка.

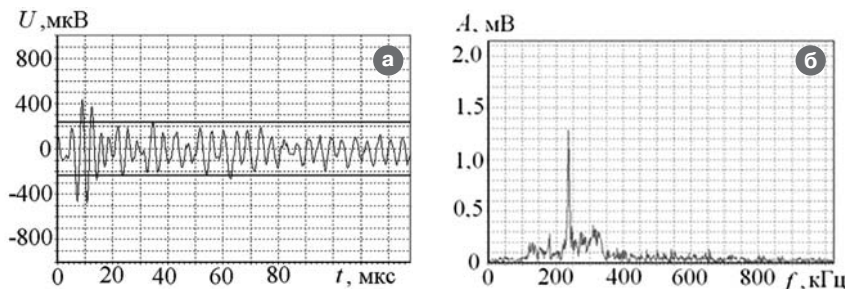


Рис. 3. Хвильове відображення (а) та спектральний розподіл (б) характерного сигналу АЕ під час руйнування прескераміки.

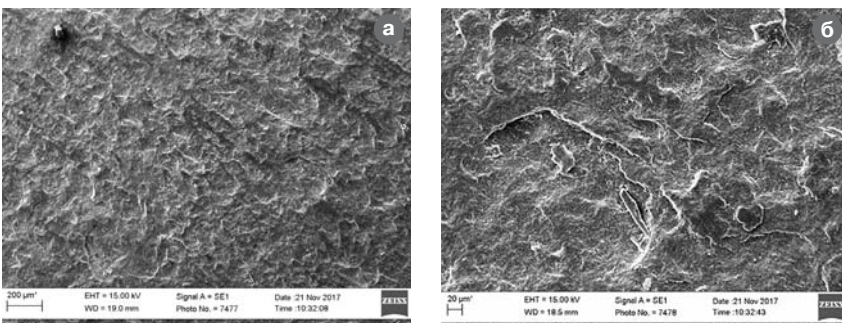


Рис. 4. Структура поверхні зразка прескераміки:
а – $\times 50$; б – $\times 200$.

Електродвигун 1 типу ДШИ-200 (швидкість обертів у діапазоні 0,15–3 об./с), який обертається зі швидкістю 2 об./с, за допомогою ексцентрика 2 з ексцентриситетом 1,5 мм через підшипник 3 приводить у коливальний рух коромисло 4 з віссю обертання на опорі 5. Коливальний рух коромисла приводить у зворотно-поступальний рух штока 7 у направляючій 8. На кінці штока закріплено індентор 9 з кулькою діаметром 4 мм для навантаження зразка 10, зафіксованого на опорі 11. За допомогою блока управління 3 вимірюють максимальне навантаження в кожному циклі. Для вимірювання навантаження, з яким індентор тисне на дослідний матеріал, застосовували тензометричний міст. Для запису акустичної емісії (АЕ), яка супроводжує зародження та розвиток дефектів, на хвилевід 5 установлювали первинний перетворювач (ПАЕ) 6, приєднаний через попередній підсилювач (ПП) 7 до АЕ-вимірювальної системи SKOP-8M (рис. 2). Дослідження проводили у два етапи: (1) – при циклічному навантаженні силою жуваельного тиску 450 Н; (2) – при циклічному навантаженні силою 750 Н. Максимальна кількість циклів 500000, кількість циклів початку руйнування реєстрували за параметрами АЕ.

Сканувальна електронна мікроскопія. Електронно-мікроскопічні дослідження матеріалів проводили за допомогою сканувального електронного мікроскопа (СЕМ) ZEISS EVO 40XVP. Для мікроскопічного дослідження матеріалів на їх поверхню напилювали тонку плівку електропровідників.

Результати та їх обговорення

Прескераміка. Сигнали АЕ, поява яких свідчить про зародження руйнування, зареєстровані у діапазоні 360–415 тис. циклів навантаження. На рис. 3 наводяться хвильове відображення та спектральний розподіл характерного сигналу АЕ, що генерувався під час розвитку руйнування. На рис. 3 бачимо, що під час руйнування

сигнали АЕ мали різні амплітуди та тривалість, за аналізом їх спектральних розподілів домінуюча смуга частот у більшості з них була в межах 220–250 кГц (рис. 3-б). Водночас присутні сигнали з домінуючою смугою 130–150 кГц, що можуть відповідати росту макротріщини.

На рис. 4 наводяться цифрові зображення недеформованої поверхні зразка прескераміки при збільшенні у 50 (рис. 4-а) та 200 разів (рис. 4-б) відповідно. Як бачимо з рисунків, морфологія поверхні досить розвинена. Рельєф має неоднорідну хвилюподібну структуру, характерна наявність гребенів і подовгастих заглибин у вигляді мікротріщин шириною 5–20 мкм і довжиною до 200 мкм.

На рис. 5 наводиться вигляд мікрократера руйнування розміром 885,0 \times 924,9 мкм при 20-кратному збільшенні. Як бачимо, руйнування відбувалось поетапно вглибину матеріалу.

Металокераміка. Сигнали АЕ, поява яких свідчить про зародження процесу руйнування, зареєстровані в діапазоні 125–190 тис. циклів навантаження. На рис. 7 наводяться хвильові відображення та спектральний розподіл характерних сигналів АЕ, що генерувався під час розвитку руйнування. З рисунків бачимо, що під

час руйнування сигнали АЕ мали різні амплітуди та тривалість. За аналізом їх спектральних розподілів у більшості з них було дві смуги домінуючих частот 120–140 і 230–240 кГц (рис. 7-а), що можуть відповідати утворенню та росту макротріщини в малому інтервалі часу. Водно-

час присутні сигнали з однією домінуючою смугою 120–140 кГц, що можуть відповідати росту макротріщини.

На рис. 8 наводиться вигляд мікрократера руйнування розміром 1,799×1,026 мм при 20-ти та 200-кратному збільшенні (рис. 9). Як бачимо з рисунка, руйнування поширювалось радіально від центра прикладання навантаження по поверхні матеріалу із заглибленням усередину в центрі. Мікрократер має вигляд еліпсоїда із заглибленням у центрі усередину матеріалу та дугоподібними мікротріщинами в зонах його фокусів (рис. 10).

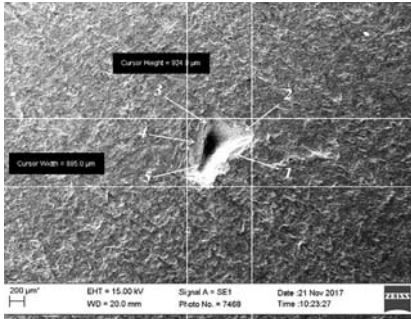


Рис 5. Вигляд кратера руйнування зразка прескераміки (×20).

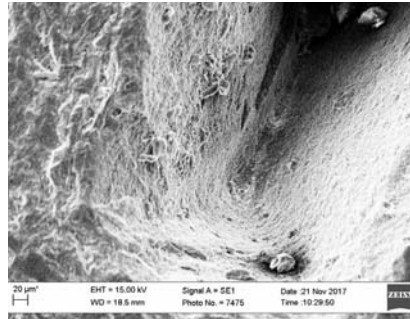


Рис. 6. Вигляд стінок мікрократера руйнування зразка прескераміки.

Висновки

Під дією циклічного навантаження (500 тис. циклів) у всіх стоматологічних матеріалах відбувалося втомне руйнування. За результатами мікроскопічних досліджень, матеріали мають різну морфологію поверхні та мікроструктуру, що зумовило особливості поширення втомного руйнування у них.

У прескераміці, яка належить до крихких матеріалів, втомне руйнування відбувалось поетапно вглибину матеріалу з утворенням мікрократера із гладкими гранями, на яких присутні дрібні пошкодження, ймовірно зумовлені дефектами порушення структури, що виникли під час виготовлення зразка. За аналізом акустограм, руйнування розвивалось активно після 360 тис. циклів навантаження.

Розвиток процесу руйнування в металокераміці відбувався внаслідок поступового вилущування окремих прошарків керамічного покриття (фасетки відколу) та локального утворення мікротріщин у місцях імовірного розташування мікродефектів під час пошарового спікання керамічної маси (пор, раковин тощо). У центрі прикладання циклічного навантаження утворилася заглибина еліпсоподібної форми (дно мікрократера). За аналізом, акустограм руйнування розвивалось активно після 125 тис. циклів навантаження.

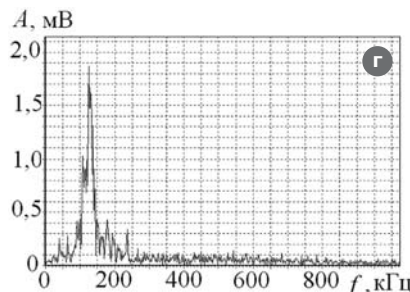
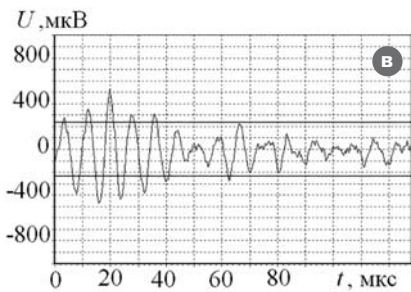
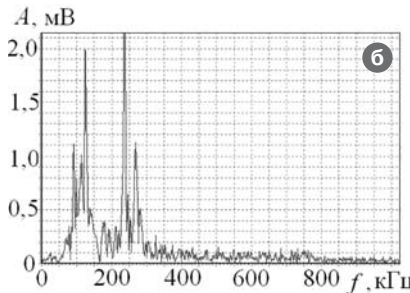
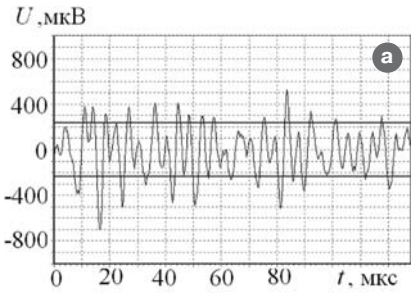


Рис. 7. Хвильове відображення (а, в) та спектральний розподіл (б, г) характерних сигналів АЕ під час руйнування металокераміки.

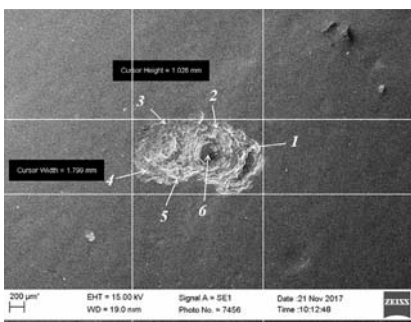


Рис. 8. Вигляд кратера руйнування зразка металокераміки – ×20.

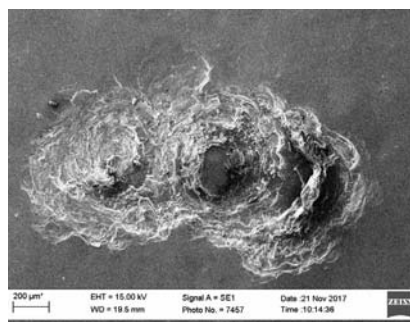


Рис. 9. Вигляд кратера руйнування зразка металокераміки – ×200.

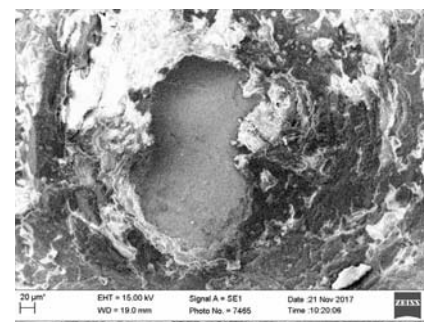


Рис. 10. Вигляд поверхні мікрократера руйнування зразка металокераміки (×200).

ЛІТЕРАТУРА

1. Панасюк В.В. Механика квазихрупкого разрушения материалов / В.В. Панасюк. – К.: Наук. думка, 1991. – 416 с.
2. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения / Г.П. Черепанов. – М.: Наука, 1974. – 640 с.
3. Панасюк В.В. Основы механики разрушения / В.В. Панасюк, О.Е. Андрейкив, В.З. Партон. – К.: Наук. думка, 1988. – 488 с.
4. Слепян Л. И. Механика трещин / Л.И. Слепян. – Л.: Судостроение, 1981. – 296 с.
5. Усталость и циклическая трещиностойкость конструкционных материалов / О.Н. Романив, С.Я. Ярема, Г.Н. Никифорчин и др. – К.: Наук. думка, 1990. – 680 с.
6. Троценко В.Т. Деформирование и разрушение металлов при малоциклово́й нагрузке / В.Т. Троценко. – К.: Наук. думка, 1981. – 343 с.
7. Carpinteri A. Handbook of Fatigue Crack Propagation in Metallic Structures / A. Carpinteri. – Elsevier, 1994. – V. 1. – 952 p.
8. Ясній П.В. Пластично деформовані матеріали: втома і тріщинотривкість / П.В. Ясній. – Львів: Світ, 1998. – 292 с.
9. Arola D. Fatigue testing of biomaterials and their interfaces / D. Arola // Dent. Mater. – 2017. – 33 (4). – P. 367–381.
10. Capturing motions and forces of the human masticatory system to replicate chewing and to perform dental wear experiments / D. Raabe, A.J.L. Harrison, A.J. Ireland et al. // Proc. of the 24th International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS 2011). – IEEE Catalog Number CFP11CBM-ART, 2011. – P. 1–6.
11. Wiskott H.W. Stress fatigue: basic principles and prosthodontic implications / H.W. Wiskott, J.I. Nicholls, U.C. Belser // Int. J. Prosthodontics. – 1995. – 8 (2). – P. 105–116.

Влияние циклической нагрузки силой жевательного давления и выше на поверхность металлокерамических и прескерамических эндокоронок

В.Ф. Макеев, В.Р. Скальський, Р.Р. Павлычко

Цель: обоснование выбора материала для эндокоронок на основе изучения их устойчивости и износа под действием циклической нагрузки.

Материалы и методы. Проведение механических испытаний циклической нагрузки силой жевательного давления 450 и 750 Н стоматологических материалов прескерамики (IPS e.max Press) и металлокерамики (GC Initial MC) в установке ВУСМ-500 с применением метода акустической эмиссии (АЭ) и системы SKOP-8M. Исследование изломов в сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) ZEISS EVO 40XVP и обработки данных статистическими методами.

Результаты. В прескерамике усталостное разрушение происходило поэтапно вглубь материала с образованием микрократеров с гладкими гранями и активно развивалось после 360 тыс. циклов нагружения. В металлокерамике постепенно выщипывались отдельные слои керамического покрытия (фасетки скола) и локально появлялись микротрещины в местах вероятного расположения микродефектов после 125 тыс. циклов нагружения.

Выводы. Под действием циклической нагрузки (500 тыс. циклов) во всех стоматологических материалах происходило усталостное разрушение. Лучшие показатели продемонстрировала прескерамика, поэтому данный вид материала без дополнительного напекания керамических масс можно рекомендовать для применения при изготовлении эндокоронок в условиях патологического истирания.

Ключевые слова: эндокоронок, прескерамика, металлокерамика, циклические нагрузки, акустическая эмиссия.

Effect of cyclic loading by force of chewing and higher pressure on the surface of metal-ceramic and press-ceramic endocrowns

V. Makeev, V. Skalskyi, R. Pavlychko

Introduction: choosing material of choice for endocrowns by studying their stability and wear under cyclic loading.

Materials and Methods. Performing mechanical tests for cyclic loading chewing pressure force of 450 and 750 N to pressed ceramic dental materials (IPS e.max Press) and metal (GC Initial MC) in VUSM 500 using the method of acoustic emission (AE) and systems SKOP-8M. Enveloping cracks in the scanning electron microscope (SEM) ZEISS EVO 40XVP and further data processing by statistical methods.

Results. Pressceramics fatigue fracture occurred in stages too deep to form mikrokratera in material with smooth edges, that actively developed after 360 thousand loading cycles. In PFM gradually individual layers of ceramic coating (cleavage facet) exfoliated and cracks appeared locally in areas likely location microdefects after 125 thousand loading cycles.

Conclusions. Under the influence of cyclic loading (500 thousand cycles), all dental materials were fatigued. The best performance showed the press ceramic because this type of material without additional fused ceramic can be recommended for the endocrowns in situation of pathological conditions by abrasion.

Key words: endocrowns, pressed ceramic, metal ceramics, cyclic loading, acoustic emission.

Макеєв Валентин Федорович – д-р мед. наук,
професор кафедри ортопедичної стоматології Львівського національного медичного університету ім. Данила Галицького.

Адреса для кореспонденції: вул. Пекарська, 69-в, м. Львів, 79010,

моб. тел.: 0677160167, **e-mail:** ort_stom@meduni.lviv.ua.

Скальський Валентин Романович – д-р тех. наук,
професор Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України.

Адреса для кореспонденції: вул. Наукова, 5, м. Львів, 79060,

моб. тел.: +380322296788, **e-mail:** skal@ipm.lviv.ua.

Павлычко Роман Романович – магістр медицини,
заочний аспірант кафедри ортопедичної стоматології Львівського національного медичного університету ім. Данила Галицького.

Адреса для кореспонденції: вул. Пекарська, 69-в, м. Львів, 79010,

моб. тел.: 0687633855, **e-mail:** rotapavlychko@gmail.com.