

DOI: 10.33295/1992-576X-2021-5-23  
УДК: 616.314-089.27-17:620.179.17

*В.С. Кухта<sup>1</sup>, В.Ф. Макеев<sup>1</sup>, О.С. Кирманов<sup>1</sup>,  
В.Р. Скальський<sup>2</sup>, О.М. Станкевич<sup>2</sup>*

## Порівняльний аналіз міцісних характеристик полімерів світлової полімеризації для реставрації зубів методом акустичної емісії. Фрактографічні дослідження поверхні та зламів зразків: частина друга

<sup>1</sup>Львівський національний медичний університет ім. Данила Галицького, м. Львів, Україна  
<sup>2</sup>Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів

**Мета:** порівняльний аналіз міцності гібридних реставраційних композитів світлової полімеризації під час їх локального навантаження із застосуванням явища акустичної емісії та фрактографічних досліджень зламів зразків.

**Матеріали та методи.** Для порівняльних досліджень вибрано гібридні стоматологічні композити вітчизняного та зарубіжного виробництва Latelux (*Latus, Україна*), Tetric N-Ceram (*Ivoclar Vivadent, Ліхтенштейн*), Charisma Classic (*Kulzer, Німеччина*). Для випробовувань використані дискові зразки діаметром 13 мм і товщиною 5 мм, які були виготовлені у спеціально розробленій формі.

Зразки навантажували на установці СВР-5 за допомогою кулькового індентора зі швидкістю його переміщення 0,002 мм/с до повного руйнування зразків.

Під час експериментів одночасно записували акустико-емісійну інформацію за допомогою вимірювальної системи SKOP-8. Електронно-мікроскопічні дослідження матеріалів виконували за допомогою скануючого електронного мікроскопа (СЕМ) «ZEISS EVO 40XVP».

**Результати.** Під час навантаження локальним стиском у досліджуваних стоматологічних композитах отримують змішані типи руйнування з тією різницею, що пластична деформація тріси менше виражена в композиті «Charisma Classic», і більше радіальних макротріщин поширюється в Tetric N-Ceram і Charisma Classic.

**Висновки.** Порівняння розмірів сколів у різних матеріалах, що утворились унаслідок поширення конусних тріщин, дає змогу зробити висновок, що під час локального навантаження стиском композиту «Latelux» утворювались нові поверхні руйнування значно менших розмірів, ніж у двох інших матеріалах. Їх утворення супроводжували сигнали АЕ зі значно меншими амплітудами, а відтак і енергією, ніж у композитах «Tetric N-Ceram» і «Charisma Classic».

**Ключові слова:** композити світлової полімеризації для реставрації зубів, силове навантаження, фрактографічні дослідження, акустична емісія.

### Вступ

Для раціонального використання матеріалів необхідно мати дані про їх здатність чинити опір деформуванню й руйнуванню. Зокрема, у кожному конкретному випадку необхідно мати відомості щодо жорсткості, міцності та опору руйнуванню матеріалів у заданих умовах експлуатації елементів. Для визначення таких міцісних характеристик матеріалу проводять певні дослідження.

На сьогодні кваліфікаційні випробування фізичних і механічних властивостей стоматологічних полімерів рекомендовано проводити згідно з експериментами, еквівалентними міжнародному стандарту ISO

4049 «Стоматологія. Матеріали полімерні відновні» [1]. Цей стандарт установлює вимоги для стоматологічних полімерних відновлювальних матеріалів, що надходять у комплекті для механічного змішування, змішування вручну або для активації затвердіння зовнішньої енергією в порожнині рота або поза нею, призначених для реставрації зубів з порожнинами прямим або непрямим способом і фіксації незнімних протезів.

Як свідчить аналіз літературних джерел, у дослідженнях стоматологічних композитів переважно визначають міцність на розтяг (згин) і стиск [2–10], оскільки саме такі силові навантаження зазнають відновні матеріали під час їх експлуатації в ротовій порожнині.

Із 90-х років минулого століття процес руйнування стоматологічних матеріалів під час лабораторних досліджень та експлуатації викликає дедалі більшу увагу. Оскільки він пов'язаний із міцністю або навантаженням руйнування, фахівці намагаються знайти відповідний метод для відтворення процесу пошкодження, що відбувається під час експлуатації. Метод вдавлювання Герца, який використовує сферичний індентор для прикладання навантаження до плоскої поверхні, виявився простим і потужним засобом для демонстрації процесу руйнування як монолітних, так і шаруватих конструкцій у широкому діапазоні складних умов випробувань [11]. Фактично він імітує умови навантаження, які відчувають зубні реставрації. Клінічні зміни (жувальне навантаження та кущальна кривина) тісно ідентифікуються зі змінними Герца (контактне навантаження та радіус індентора). Водночас метод Герца ефективний для оцінювання механізму пошкодження та процесу руйнування під час концентрованого контактного навантаження [11, 12]. Порівняно з іншими експериментальними методами його перевага у стоматології полягає в тому, що можна визначити клінічно значущий механізм руйнування.

Значну кількість досліджень методом втискування Герца присвячено вивченню особливостей руйнування керамічних пломбувальних матеріалів [11], зокрема, впливу на механізми руйнування матеріалу його мікроструктури; структури (монолітна, двошарова, тришарова та багатшарова) [13–17], товщини [15, 18, 19], розмірів [14, 20] зразка; модуля пружності основи [21–23]; клейового шару [19, 24, 25]; швидкості [26] та умов навантаження [27]; дефектності матеріалу [28]. Виконано низку досліджень й інших матеріалів, наприклад, склоіономерного цементу [29, 30] та амальгам [31], матеріалів для виготовлення ендокорон [32].

У літературі відомі результати визначення міцнісних характеристик вибраних для досліджень матеріалів: міцності на згин, модуля пружності, діаметральної міцності та міцності на стиск композитів «Tetric N-Ceram» і «Charisma Classic» [4, 6, 33, 35], міцності при осьовому та діаметральному стиску вітчизняного композиту «Latelux» [2, 34]. Однак дослідження особливостей руйнування цих матеріалів при локальному навантаженні нам не відомі.

**Мета** – порівняльний аналіз міцності гібридних реставраційних композитів світлової полімеризації під час їх локального навантаження із застосуванням явища акустичної емісії й фрактографічних досліджень зламів зразків. Дослідженню піддані реставраційні композити «Latelux», «Tetric N-Ceram», «Charisma Classic».

## Матеріали та методи

Для порівняльних досліджень вибрали гібридні стоматологічні композити вітчизняного та зарубіжного виробництва: Latelux (*Latus, Україна*), Tetric N-Ceram (*Ivoclar Vivadent, Ліхтенштейн*), Charisma Classic (*Kulzer, Німеччина*).

Для випробувань використано дискові зразки діаметром 13 мм і товщиною 5 мм, які були виготовлені у спеціально розробленій формі з можливістю освітлення (полімеризації) зразка фотополімеризаційним світлом із двох сторін. Форма розрахована на одночасне виготовлення десяти зразків. Для полімеризації зразків застосовано світлову безпровідну фотополімерну лампу «Bluephase 20i» (G2) (Ivoclar Vivadent). Перед випробуванням зразки витримували протягом 24-х годин при температурі 37°C у фізіологічному розчині.

Зразки навантажували на установці СВР-5 за допомогою кулькового індентора (діаметр кульки  $D = 4$  мм сталь ШХ15, модуль пружності  $E = 211$  ГПа, коефіцієнт Пуассона  $\nu = 0,25$ ) зі швидкістю його переміщення 0,002 мм/с до повного руйнування зразків [2].

Під час експериментів одночасно записували акустико-емісійну інформацію за допомогою вимірювальної системи SKOP-8.

Електронно-мікроскопічні дослідження матеріалів виконували за допомогою скануючого електронного мікроскопа (СЕМ) «ZEISS EVO 40XVP».

У виконаних дослідженнях на зразки напилювали тонкий шар золота. На рис. 1 зображено фото зразків до та після напилення, підготовлених для вивчення мікроструктури стоматологічних композитів.

## Результати та їх обговорення

З літератури [2, 33] відомо, що композит «Latelux» складається з полімерної матриці та неорганічного рентгеноконтрастного модифікованого наповнювача. Основу полімерної матриці становлять Bis-GMA, уретандиметакрилат (UDMA) та триетиленглікольдиметакрилат (TEGDMA). Основою мікрогібридного однорідного наповнювача «Ultraglass» є наддрібнозернисте барійалюмоборосилікатне скло, яке займає 60,2 % об. На сканівній електронній мікрофотографії (рис. 2-а) видно, що максимальний розмір частинок 2,5 мкм.

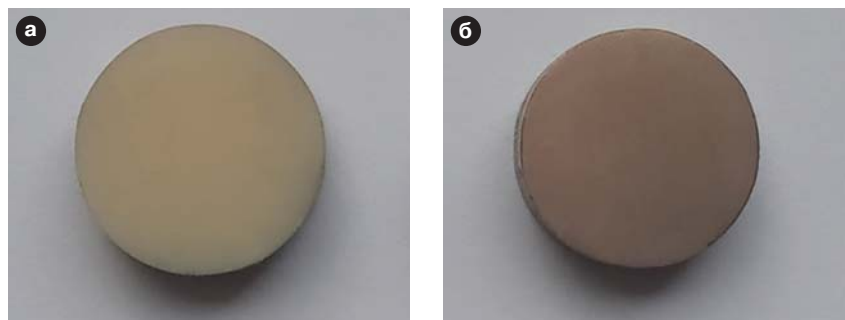


Рис. 1. Загальний вигляд зразків стоматологічного композиту «Latelux»: а – до та б – після напилення півки золота.

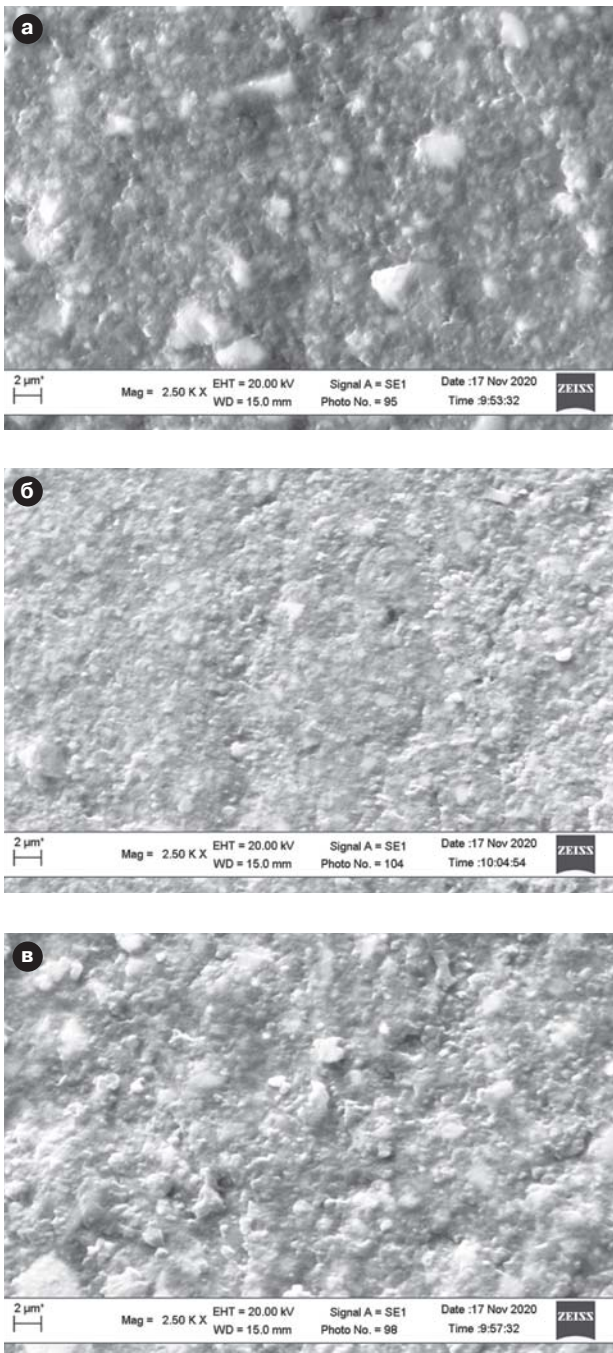


Рис. 2. Мікроструктура стоматологічних композитів ( $\times 2500$ ): а – Latelux; б – Tetric N-Ceram; в – Charisma Classic.

Аналогічно полімерного композиту «Latelux» основу полімерної матриці композиту «Tetric N-Ceram» складають Bis-GMA, уретандиметакрилат (UDMA) та триетиленглікольдиметакрилат (TEGDMA) [35, 36, 37].

У склад наповнювача входять барієве скло, трифторид ітербію, змішані оксиди й сополімери, що становлять 60 %/об. На сканівній електронній мікрофотографії (рис. 2-б) видно, що максимальний розмір частинок становить до 1 мкм.

Основою полімерної матриці композиту «Charisma Classic» є Bis-GMA та триетиленглікольдиметакрилат (TEGDMA) [4, 38]. Наповнювач складається з барій-алюмо-фторидного скла (60 об./%). На сканівній електронній мікрофотографії (рис. 2-в) видно, що максимальний розмір частинок сягає 2 мкм.

Відомо, що на міцнісні характеристики стоматологічних композитів впливає низка структурних чинників: об'ємний вміст, склад і розмір частинок наповнювача, композиція матриці (поєднання Bis-GMA, UDMA та TEGDMA), пористість (кількість, розміри та розподіл пор) [35].

Досліджувані матеріали практично не відрізняються об'ємною частиною неорганічного наповнювача. Найменші розміри його частинок має композит «Tetric N-Ceram», мікроструктура якого вирізняється більшою гомогенністю, ніж двох інших матеріалів. У досліджуваних композитів різний склад наповнювача, що, очевидно, впливає на їх міцність. Також трохи відмінні від інших матеріалів компоненти матриці композиту «Charisma Classic». Аналіз показав, що у структурі всіх матеріалів присутні пори, співмірні з розмірами часток наповнювача і можуть бути осередками зародження та поширення мікротріщин під дією навантаження.

Фрактографічні дослідження зламів зразків стоматологічних композитів. Для розуміння природи процесів руйнування, які відбуваються під дією навантаження у стоматологічних композитах, вивчали фрактограми їх зламів. На рис. 3–5 зображено типові злами різних сегментів зразків.

Відомо [29–31], що під час локального навантаження кульковим індентором основними механізмами руйнування стоматологічних матеріалів є підповерхнева пластична деформація (ПД), поширення конусних тріщин (КТ) від зони навантаження та радіальних тріщин (РТ) паралельно осі прикладання навантаження.

Розглянемо механізми руйнування на прикладі двох типових фрагментів зразків композиту «Latelux» після руйнування внаслідок локального навантаження стиску (рис. 3). На зламі *фрагменту 1* (рис. 3-а) бачимо типову конічну поверхню зародження руйнування зі значною пластичною деформацією. В усі сторони йдуть утяжки, які є зародками макроруйнування композиту (поширення РТ) головним чином у товщину зразка, що призводить у кінцевому результаті до його поділу на частини (див. рис. 3-а). На зламі *фрагменту 2* (рис. 3-б) бачимо крихкі сколи внаслідок поширення конусних тріщин невеликої площі та повітряні пори, які утворились імовірно під час виготовлення зразків і слугують джерелами зародження мікротріщин.

Отже, під час руйнування композиту «Latelux» присутні всі три механізми руйнування. Ці результати узгоджуються з результатами ідентифікації механізмів руйнування за енергетичним критерієм НВП

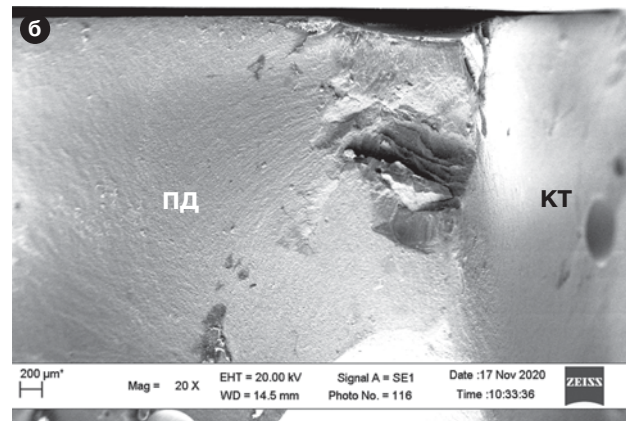
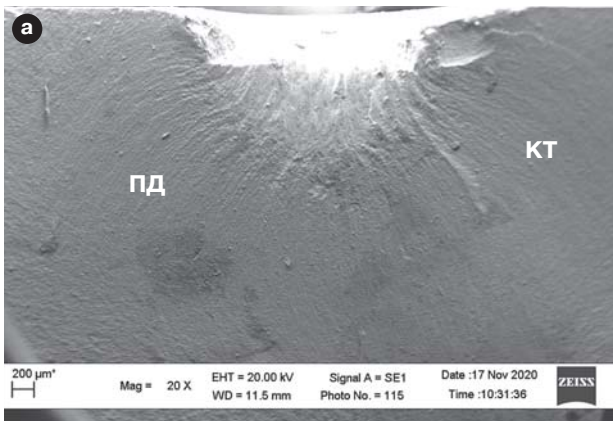


Рис. 3. Типові злами (фрагменти) зразків композиту «Latelux» після локального навантаження кульковим індентором (×20): а – фрагмент 1; б – фрагмент 2.

сигналів АЕ: це пластична деформація, мікро- та макророзтріскування. Найбільшу амплітуду та енергію мали сигнали АЕ, які супроводжували поширення радіальних макротріщин, дещо менші вони були у випадку росту конусних мікротріщин. Особливості мікрофрактограм руйнування пояснюють інтенсивність генерування АЕ під час локального навантаження стиску: на початковому етапі відбувалась пластична деформація матеріалу та конусне мікророзтріскування, а поширення радіальних макротріщин домінувало на етапі розвитку макроруйнування.

Проаналізуємо механізми руйнування композиту «Tetric N-Ceram» після руйнування внаслідок локального навантаження стиску на прикладі двох типових фрагментів зразків (рис. 4). За зломом *фрагменту 1* (рис. 4, а) можна стверджувати, що поряд із пластичною деформацією в зоні контакту кулькового індентора домінує механізм конусного розтріскування. Радіальні макротріщини поширюються у товщину зразка. Кількість таких тріщин значно більша, ніж у матеріалі «Latelux», що підтверджує поділ зразків на велику кількість макрочастин. Із рис. 4-б та в бачимо, що внаслідок поширення конусних мікротріщин утворюються крихкі сколи значно більшої площі, ніж у матеріалі «Latelux». Це пояснює низку ефектів. По-перше, під час руйнування композиту «Tetric N-Ceram» активність АЕ суттєво вища, по-друге, амплітуда та енергія сигналів АЕ значно перевищує аналогічні показники для

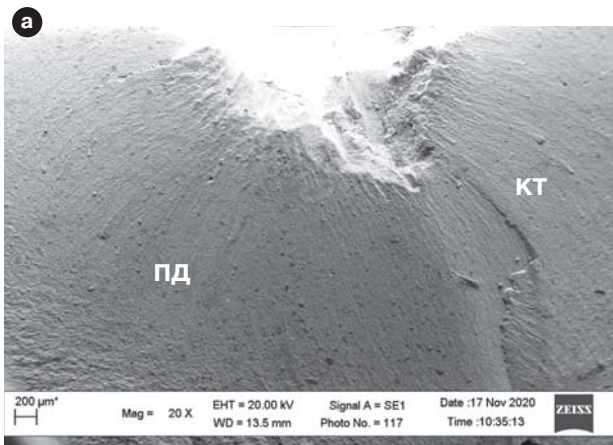
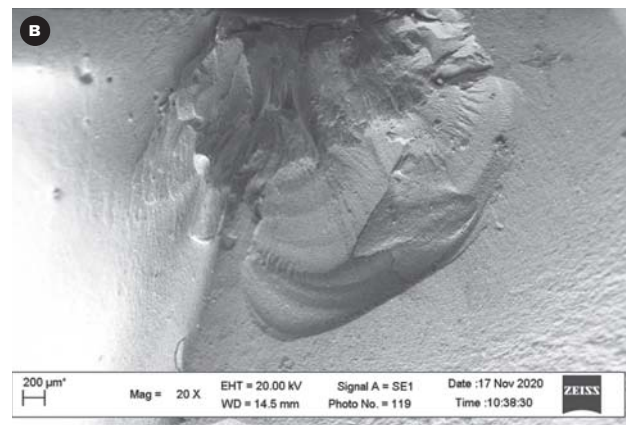
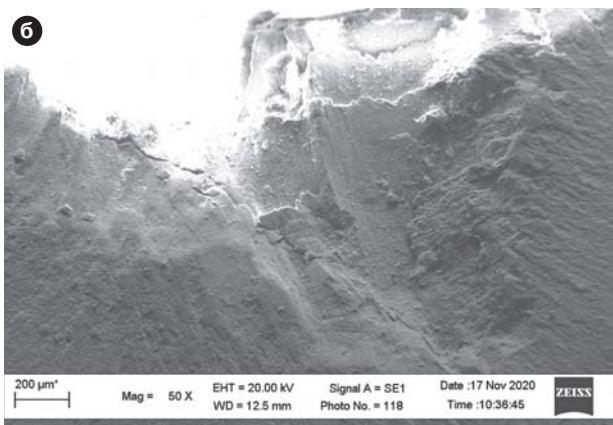


Рис. 4. Типові злами (фрагменти) зразка композиту «Tetric N-Ceram» після локального навантаження кульковим індентором: а – фрагмент 1 (20×); б – фрагмент 1 (×50); в – фрагмент 2 (×20).



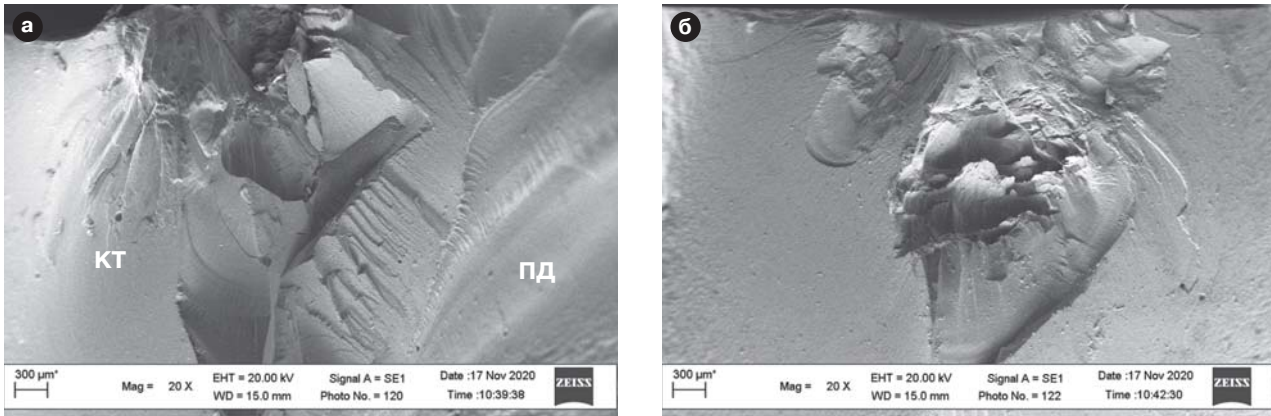


Рис. 5. Типові злами (фрагменти) зразка композиту «Charisma Classic» після локального навантаження кульковим індентором ( $\times 20$ ): а – фрагмент 1; б – фрагмент 2.

композиту «Latelux». Водночас частка сигналів АЕ, які генерувалися внаслідок пластичної деформації для цих двох матеріалів, суттєво не відрізняється, що корелює з аналізом фрактограм зламів.

Із фрактограм фрагментів композиту «Charisma Classic» (рис. 5) бачимо, що поряд із пластичною деформацією домінуючим механізмом руйнування є поширення конусних тріщин з утворенням крихких сколів, розміри яких співмірні з розмірами сколів композиту «Tetric N-Ceram». Така особливість зламів корелює з тим, що параметри сигналів АЕ (амплітуда, енергія), які супроводжували їх утворення в цих двох матеріалах, також суттєво не відрізняються. Як і у випадку з композитом «Tetric N-Ceram», численні радіальні тріщини спричинили поділ зразка на фрагменти різних розмірів.

За енергетичним аналізом сигналів АЕ їх найбільша частина генерувалась під час мікро- та макро-розтріскування композиту «Charisma Classic», що підтверджують і особливості фрактограм зламів.

Отже, під час навантаження локальним стиском у досліджуваних стоматологічних композитах відбуваються змішані типи руйнування з тією різницею, що пластична деформація дещо менше виражена в композиту «Charisma Classic» більше радіальних макротріщин поширюється в «Tetric N-Ceram» і «Charisma Classic». Порівняння розмірів сколів у різних матеріалах, що утворилися внаслідок поширення конусних тріщин, дає змогу зробити висновок, що під час локального навантаження стиском композиту «Latelux» утворювались нові поверхні руйнування значно менших розмірів, ніж у двох інших матеріалах. Їх утворення супроводжували

сигнали АЕ зі значно меншими амплітудами, а відтак і енергією, ніж у композитах «Tetric N-Ceram» і «Charisma Classic».

### Висновки

1. Досліджувані матеріали практично не відрізняються об'ємною частиною неорганічного наповнювача. Дані мікроскопії свідчать, що найменші розміри його частинок (до 1 мкм) має композит «Tetric N-Ceram», мікроструктура якого вирізняється більшою гомогенністю, ніж двох інших матеріалів. Відрізняються композити і складом наповнювача, що впливає на їх міцність. Аналіз показав, що у структурі всіх матеріалів присутні пори, співмірні з розмірами часток наповнювача і можуть бути осередками зародження та поширення мікротріщин під дією навантаження.
2. Під час навантаження локальним стиском у досліджуваних стоматологічних композитах відбувається змішане руйнування (пластична деформація, поширення конусних і радіальних тріщин) з тією різницею, що пластична деформація трохи менше виражена в композиту «Charisma Classic» і більша кількість макротріщин поширюється в полімерах «Tetric N-Ceram» і «Charisma Classic». Порівняння розмірів сколів у різних матеріалах дає змогу зробити висновок, що під час локального навантаження стиску композиту «Latelux» утворювались нові поверхні руйнування значно менших розмірів, ніж у двох інших матеріалах. Їх утворення супроводжували сигнали АЕ зі значно меншими амплітудами, а відтак і енергією, ніж у композитах «Tetric N-Ceram» і «Charisma Classic».

### ПОСИЛАННЯ

1. GOST R 56924-2016 (ISO 4049:2009) Stomatologiya. Materialy polimernye vosstanovitel'nye. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200135162> (data zvernennya 21.07.2020).
2. Biryukova M.M., Bardinova N.A. Laboratornaya ocenka fiziko-mekhanicheskikh svoystv otechestvennogo fotokompozitnogo plombirovochnogo materiala «Latelux» // Visnik stomatologii. – 2009. – № 1. – P. 30–33.

3. Antunes P.V., Ramalho A. Mechanical characterization of dental restorative composite materials // *Materials Science Forum*. – 2004. – 455/456. – P. 393–397.
4. Ilie N., Hickel R. Investigations on mechanical behaviour of dental composites // *Clin. Oral. Invest.* – 2009. – 13. – P. 427–438.
5. Diaz-Caballero A., Taryn-Dunoyer A., Мартнєз-Мартнєз A. Data of resistance to the compression of restorative dental materials // *Data in brief*. – 2019. – 23. – Id. 103755.
6. Compressive strength of glass ionomer and composite resin. In vitro study / S.B. Lerech, S.F. Taryn, A.T. Dunoyer, J.M.B. Arrieta, A.D. Caballero // *Revista Odontologica Mexicana*. – 2017. – 21 (2). – P. e107–e111.
7. Moezzyzadeh M. Evaluation of the compressive strength of hybrid and nanocomposites // *Journal Dental School*. – 2012. – 1. – P. 24–29.
8. Jayanthi N., Vinod V. Comparative evaluation of compressive strength and flexural strength of conventional core materials with nanohybrid composite resin core material an in vitro study // *J. Indian Prosthodont. Soc.* – 2013. – 13 (3). – P. 281–289.
9. Al Badr R. M., Hassan H.A. Effect of immersion in different media on the mechanical properties of dental composite resins // *International Journal of Applied Dental Sciences*. – 2017. – 3 (1). – P. 81–88.
10. Flexural and diametral tensile strength of composite resins / B.D. Bona, P. Benetti, M. Borba, D. Cecchetti // *Braz. Oral Res.* – 2008. – 22 (1). – P. 84–89.
11. Lawn B.R., Deng Y., Thompson V.P. Use of contact testing in the characterization and design of all-ceramic crownlike layer structures: a review // *J. Prosthet. Dent.* – 2001. – 86 (5). – P. 495–510.
12. Overview: damage in brittle layer structures from concentrated loads / Lawn B.R., Deng Y., Miranda P. et al. // *J. Mater. Res.* – 2002. – 17 (12). – P. 3019–3036.
13. Role of microstructure on contact damage and strength degradation of micaceous glass-ceramics / I.M. Peterson, S. Wuttiphan, B.R. Lawn, K. Chyung // *Dent. Mater.* – 1998. – 14 (1). – P. 80–89.
14. Brittle fracture versus quasi-plasticity in ceramics: a simple predictive index / Y.W. Rhee, H.W. Kim, Y. Deng, B.R. Lawn // *J. Am. Ceram. Soc.* – 2001. – 84 (3). – P. 561–565.
15. Contact-induced damage in ceramic coatings on compliant substrates: fracture mechanics and design / Y.W. Rhee, H.W. Kim, Y. Deng, B.R. Lawn // *J. Am. Ceram. Soc.* – 2001. – 84 (5). – P. 1066–1072.
16. Contact fracture of brittle bilayer coatings on soft substrates / Miranda P., Pajares A., Guiberteau F. et al. // *J. Mater. Res.* – 2001. – 16 (1). – P. 115–126.
17. Chai H., Lawn B. R. Cracking in brittle laminates from concentrated loads // *Acta. Mater.* – 2002. – 50 (10). – P. 2613–2625.
18. Influence of glass-ceramic thickness on Hertzian and bulk fracture mechanisms / Y.L. Tsai, P.E. Petsche, K.J. Anusavice, M.C. Yang // *Int. J. Prosthodont.* – 1998. – 11 (1). – P. 27–32.
19. Chai H., Lawn B. Fracture modes in brittle coatings with large interlayer modulus mismatch // *J. Mater. Res.* – 1999. – 14 (9). – P. 3805–3817.
20. Contact damage in model dental multilayers: an investigation of the influence of indenter size / Shrotriya P., Wang R., Katsube N. et al. // *J. Mater. Sci.: Mater. Med.* – 2003. – 14 (1). – P. 17–26.
21. Damage modes in dental layer structures / Y.G. Jung, S. Wuttiphan, I.M. Peterson, B.R. Lawn // *J. Dent. Res.* – 1999. – 78 (4). – P. 887–897.
22. Cracking of porcelain coatings bonded to metal substrates of different modulus and hardness / H. Zhao, X.Z. Hu, M.B. Bush, B.R. Lawn // *J. Mater. Res.* – 2001. – 16 (5). – P. 1471–1478.
23. Dong X.D., Darvell B.W. Stress distribution and failure mode of dental ceramic structures under Hertzian indentation // *Dent. Mater.* – 2003. – 19 (6). – P. 542–551.
24. Effect of an adhesive interlayer on the fracture of a brittle coating on a supporting substrate / J.H. Kim, P. Miranda, D.K. Kim, B.R. Lawn // *J. Mater. Res.* – 2003. – 18 (1). – P. 222–227.
25. Chai H., Lawn B. Role of adhesive interlayer in transverse fracture of brittle layer structures // *J. Mater. Res.* – 2000. – 15 (4). – P. 1017–1024.
26. Rate effects in critical loads for radial cracking in ceramic coatings / Lee C.S., Kim D.K., Sanchez J. et al. // *J. Am. Ceram. Soc.* – 2002. – 85 (8). – P. 2019–2024.
27. Lee C.S., Lawn B.R., Kim D.K. Effect of tangential loading on critical conditions for radial cracking in brittle coatings // *J. Am. Ceram. Soc.* – 2001. – 84 (11). – P. 2719–2721.
28. Effect of flaw state on the strength of brittle coatings on soft substrates / Kim H.W., Deng Y., Miranda P. et al. // *J. Am. Ceram. Soc.* – 2001. – 84 (10). – P. 2377–2384.
29. Wang Y., Darvell B.W. Effect of elastic modulus mismatch on failure behaviour of glass ionomer cement under Hertzian indentation // *Dent. Mater.* – 2012. – 28. – P. 279–286.
30. Wang Y., Darvell B.W. Failure mode of dental restorative materials under Hertzian indentation // *Dent. Mater.* – 2007. – 23. – P. 1236–1244.
31. Qualitative assessment of microstructure and Hertzian indentation failure in biocompatible glass ionomer cements / Tian K.V., Nagy P.M., Chass G.A. et al. // *J. Mater. Sci.: Mater. Med.* – 2012. – 23. – P. 677–685.
32. Features of fracture of prosthetic tooth-endocrown constructions by means of acoustic emission analysis / V. Skalskyi, V. Makeev, O. Stankevych, R. Pavlychko // *Dental Materials*. – 2018. – 34 (3). – P. e46–e55.
33. Resin composites: Modulus of elasticity and marginal quality / A.R. Benetti, A. Peutzfeldt, A. Lussi, S. Flury // *Journal of Dentistry*. – 2014. – 42. – P. 1185–1192.
34. Biriukova M.M. Porivnialnyi analiz vlastyvoستي novoho vitchyznianooho mikrohibrydnooho plombu valnooho materialu dlia vidnovnooho likuvannia / *Restavratskii karioznykh defektiv zubiv // Ukrainnyi zhurnal medytsyny, biolohii ta sportu*. – 2015. – № 1 (1)iu – P. 28–32.
35. Compressive fatigue behavior of dental restorative composites / J.A. Mohandesi, V. Barzegaran, M.A. Rafiee, F. Shafiee // *Dental Materials Journal*. – 2007. – 26 (6). – P. 827–837.
36. Effect of resin thickness on the microhardness and optical properties of bulk-fill resin composites / E.-H. Kim, K.-H. Jung, S.-A. Son, B. Hur, Y.-H. Kwon, J.-K. Park // *Restorative Dentistry & Endodontics*. – 2015. – 40 (2). – P. 128–135.
37. Ivoclar Vivadent. Tetric N-Ceram. Efficient restoration of anterior and posterior teeth. – URL: <https://highlights.ivoclarvivadent.com/dentist/en-asian/tetric-n-ceram> (дата звернення 17.06.2020).
38. Kulzer. Charisma Classic. – URL: [https://www.kulzer.com/int2/int/dentist/products\\_from\\_a\\_to\\_z/charisma\\_1/charisma\\_classic.aspx](https://www.kulzer.com/int2/int/dentist/products_from_a_to_z/charisma_1/charisma_classic.aspx) (дата звернення 17.06.2020).

## Сравнительный анализ прочностных характеристик полимеров световой полимеризации для реставрации зубов методом акустической эмиссии. Фрактографические исследования поверхности и изломов образцов: часть вторая

*В.С. Кухта, В.Ф. Макеев, О.С. Кырманов, В.Р. Скальский, О.М. Станкевич*

**Цель:** сравнительный анализ прочности гибридных реставрационных композитов световой полимеризации во время их локальной нагрузки с применением явления акустической эмиссии и фрактографических исследований изломов образцов.

**Материалы и методы.** Для сравнительных исследований выбраны гибридные стоматологические композиты отечественного и зарубежного производства Latelux (Latus, Украина), Tetric N-Ceram (Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн), Charisma Classic (Kulzer, Германия).

Для испытаний использованы дисковые образцы диаметром 13 мм и толщиной 5 мм, которые были изготовлены в специально разработанной форме.

Образцы нагружали на установке СВР-5 с помощью шарикового индентора со скоростью его перемещения 0,002 мм / с до полного разрушения образцов.

Во время экспериментов одновременно записывали акустико-эмиссионную информацию с помощью измерительной системы SKOP-8.

Электронно-микроскопические исследования материалов выполняли с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) «ZEISS EVO 40XVP».

**Результаты.** При нагрузке локальным сжатием в исследуемых стоматологических композитах происходят смешанные типы разрушения с той разницей, что пластическая деформация несколько меньше выражена в композите «Charisma Classic», и больше радиальных макротрещин распространяется в Tetric N-Ceram и Charisma Classic.

**Выводы.** Сравнение размеров сколов в различных материалах, которые образовались в результате распространения конусных трещин, позволяет сделать результат, что во время локальной нагрузки сжатием композита «Latelux» образовывались новые поверхности разрушения значительно меньших размеров, чем в двух других материалах. Их образование сопровождали сигналы АЭ со значительно меньшими амплитудами, а затем и энергией, чем в композитах «Tetric N-Ceram» и «Charisma Classic».

**Ключевые слова:** композиты световой полимеризации для реставрации зубов, силовая нагрузка, фрактографические исследования, акустическая эмиссия.

## Comparative analysis of the strength characteristics of light polymerization polymers for dental restoration using the acoustic emission method. Fractographic studies of the surface and fractures of the samples: part two

*V. Kukhta, V. Makeev, O. Kyrmayov, V. Skalsky, O. Stankevich*

**Purpose.** Comparative analysis of the strength of hybrid restoration composites of light polymerization during their local load using the phenomenon of acoustic emission and fractographic studies of fracture samples.

**Materials and methods.** For comparative studies, hybrid dental composites of domestic and foreign production were selected: Latelux (Latus, Ukraine), Tetric N-Ceram (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein), Charisma Classic (Kulzer, Germany).

Disc samples 13 mm in diameter and 5 mm thick, which were made in a specially designed form, were used for testing.

The samples were loaded on an SVR-5 installation using a ball indenter with a speed of its movement of 0.002 mm/s until the samples were completely destroyed.

During the experiments, acoustic emission information was simultaneously recorded using the SKOP-8 measuring system.

Electron microscopic studies of materials were performed using a scanning electron microscope (SEM) ZEISS EVO 40XVP.

**Results.** Under loading by local compression, mixed types of fracture occur in the dental composites under study, with the difference that plastic deformation is somewhat less pronounced in the Charisma Classic composite and more radial macrocracks propagate in Tetric N-Ceram and Charisma Classic.

**Conclusions.** Comparison of the sizes of chips in different materials, which were formed as a result of the propagation of conical cracks, makes it possible to make the result that during the local compression load of the Latelux composite new fracture surfaces were formed, much smaller than in the other two materials. Their formation was accompanied by AE signals with significantly lower amplitudes and then energy than in the Tetric N-Ceram and Charisma Classic composites.

**Key words:** light polymerization composites for dental restoration, power loading, fractographic studies, acoustic emission.

**Кухта Віктор Степанович** – канд. мед. наук, доцент, зав. кафедрою ортопедичної стоматології ЛНМУ ім. Данила Галицького. Львів, Україна. **E-mail:** viktor.kukhta@gmail.com.

**Макеєв Валентин Федорович** – д-р мед. наук, професор кафедри ортопедичної стоматології ЛНМУ ім. Данила Галицького. Львів, Україна. **E-mail:** prof.makeyev@gmail.com.

**Кирманов Олександр Сергійович** – канд. мед. наук, асистент кафедри ортопедичної стоматології ЛНМУ ім. Данила Галицького, Львів, Україна. **E-mail:** kyrmanov85@gmail.com.

**Скальський Валентин Романович** – член-кореспондент НАН України, д-р тех. наук, заступник директора фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів. **E-mail:** skalsky.v@gmail.com.

**Станкевич Олена Михайлівна** – д-р тех. наук, старший науковий співробітник фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів. **E-mail:** stan\_olena@yahoo.com.