

Kompozyt światłoutwardzalny wzmocniony jednym i dwoma pasmami włókien szklanych. Część II – mikroskopowa analiza strukturalna

Light-cured composite reinforced with one and two bands of glass fibers. Part II – microscopic structural analysis

Bartosz Bienias, Kamila Wróbel-Bednarz

Katedra Protetyki Stomatologicznej, Uniwersyteckie Centrum Stomatologii, Warszawski Uniwersytet Medyczny
Department of Prosthetic Dentistry, Medical University of Warsaw
Kierownik: prof. dr hab. n. med. *Jolanta Kostrzewa-Janicka*

HASŁA INDEKSOWE:

FRC, włókna szklane, SEM, debonding

KEY WORDS:

glass fibers, SEM, debonding

Streszczenie

Wprowadzenie. Pełne zrozumienie mechanizmu niszczenia próbek podczas obciążeń wytrzymałościowych wymaga wykonania niezbędnych szczegółowych analiz mikroskopowych. Umożliwiają one ocenę struktury materiałów oraz wad niewidocznych nieuzbrojonym okiem.

Cel pracy. Ocena strukturalna próbek oraz ich przelomów przy użyciu mikroskopu cyfrowego oraz skaningowego mikroskopu elektronowego.

Materiał i metody. Materiał do badań stanowiło łącznie 30 próbek poddanych testowi na zginanie trójpunktowe. Przeprowadzono obserwacje przy użyciu mikroskopu cyfrowego Keyence VHX-900F. Następnie wykonano obserwacje wyselekcjonowanych i reprezentatywnych przelomów próbek oraz ich zglądów przy użyciu Skaningowego Mikroskopu Elektronowego Hitachi TM 3000.

Wyniki. Zjawiska widoczne na wykresach obrazujących zależność pomiędzy generowaną siłą a odkształceniem dla każdej z przeprowadzonych prób podczas testu na zginanie trójpunktowe zostały potwierdzone w obrazach mikroskopowych zniszczonych próbek. Zaobserwowano niedoskonałości połączenia włókien szklanych z kompozytem.

Summary

Introduction. Full understanding of the mechanism of sample destruction during strength loads requires the performance of necessary detailed microscopic analyses. They enable the assessment of the structure of materials and defects invisible to the naked eye.

Aim of the study. To assess the structure of samples and their fractures using a digital microscope and a scanning electron microscope.

Material and methods. The research material consisted of a total of 30 samples subjected to the three-point bending test. Observations were made using a Keyence VHX-900F digital microscope. Then, the selected and representative fractures of the samples and their sections were examined using the Hitachi TM 3000 Scanning Electron Microscope.

Results. The phenomena visible in the graphs showing the relationship between the generated force and deformation during each three-point bending test were confirmed in microscopic images of the damaged samples. Imperfections in the bonding of the glass fibers with the composite were observed.

Conclusions. In samples reinforced with a single glass fiber band debonding was the most

Wnioski. W próbkach wzmocnionych pojedynczym pasmem włókien szklanych najczęściej występowało pęknięcie warstwy granicznej. W próbkach wzmocnionych dwoma pojedynczymi pasmami włókien szklanych najczęściej obserwowano tzw. zniszczenie pierwszej warstwy. Najczęstszą wadą strukturalną próbek były zatrzymane pęcherze powietrza powstałe na etapie wykonywania próbek.

common occurrence. In samples reinforced with two single bands of glass fibers, the so-called first ply failure was observed. The most common structural defect of the samples was air bubbles formed during the sample preparation stage.

Wstęp

Kompozyty wzmocnione włóknami (ang. Fiber-Reinforced Composite, FRC) są coraz szerzej stosowane w stomatologii jako alternatywa uzupełnień wykonanych z metalu, jak na przykład: lanych metalowych wkładów koronowo-korzeniowych, uzupełnień stałych na podbudowie metalowej, aparatów ortodontycznych, retainerów ortodontycznych i niektórych innych uzupełnień pośrednich.¹⁻³ Właściwości mechaniczne kompozytów wzmocnionych włóknami zależą od siły połączenia włókien z osnową. Obecnie najczęściej stosuje się włókno szklane typu E ze względu na jego dobre parametry wytrzymałościowe i chemiczne, przy umiarkowanych kosztach produkcji. Jednak ze względu na wiązania kowalencyjne włókno szklane jest kruche podczas rozciągania i nie wykazuje zakresu plastycznego. Właściwości włókien szklanych stosowanych jako wzmocnienie kompozytu w istotny sposób zależą od sposobu przygotowania ich powierzchni. Wyniki badań wielu autorów potwierdzają zasadność stosowania preparacji powierzchniowej włókien, dążąc do stworzenia dodatkowych wiązań chemicznych na granicy faz włókno-osnowa.⁴⁻¹⁰ W tym celu stosuje się specjalne środki adhezyjne, którymi pokrywa się włókna. W obserwacjach makroskopowych wiele ważnych cech charakterystycznych danego tworzywa

pozostaje nierozpoznanych, zwłaszcza gdy składniki mają małe rozmiary. Aby w pełni zrozumieć mechanizm niszczenia próbek podczas obciążeń wytrzymałościowych niezbędne jest wykonanie szczegółowych analiz mikroskopowych. Badania mikroskopowe mają na celu ujawnienie struktury materiałów oraz wad niewidocznych nieuzbrojonym okiem. Pozwalają one na rozróżnienie składników strukturalnych, określenie ich morfologii, ilości, rozmieszczenia i wymiarów. Ponadto pomocne są do określenia bieżącego stanu materiału, tj. jego degradacji oraz przydatności do dalszej eksploatacji.¹¹⁻¹³ W pierwszej części pracy dokonano analizy porównawczej parametrów wytrzymałościowych.¹⁴

Cel pracy

W niniejszej części drugiej, celem pracy była ocena strukturalna próbek, wcześniej poddanych testowi na zginanie w trójpunktowym układzie obciążenia oraz ich przełomów, z zastosowaniem mikroskopu cyfrowego oraz skaningowego mikroskopu elektronowego.

Materiał i metody

Materiał do badań stanowiło łącznie 30 próbek poddanych testowi na zginanie trójpunktowe. Szczegółowy opis przygotowania próbek oraz przeprowadzonych badań wytrzymałościowych

został przedstawiony w części pierwszej niniejszego opracowania.¹⁴ Grupę kontrolną stanowiło 10 próbek bez obecności włókien (KONT). W grupie badawczej uwzględniono 20 próbek kompozytu z obecnością włókien szklanych zastosowanych jako wzmocnienie. Rozkład w grupie badawczej był następujący: seria 10 próbek kompozytu z obecnością jednego pasma włókien szklanych (SKL 1) oraz seria 10 próbek kompozytu z obecnością dwóch pasm włókien szklanych (SKL 2).

Jako pierwsze przeprowadzono obserwacje przy użyciu mikroskopu cyfrowego Keyence VHX-900F (Keyence International, Belgia). Obserwacje te pozwoliły na wybranie reprezentatywnych próbek w celu ich dalszej analizy w Skaningowym Mikroskopie Elektronowym (ang. Scanning Electron Microscope, SEM). Następnie wykonano obserwacje wyselekcjonowanych i reprezentatywnych przełomów próbek oraz ich zglądów przy użyciu Skaningowego Mikroskopu Elektronowego Hitachi TM 3000 (Hitachi High Technology Corporation, Japonia).

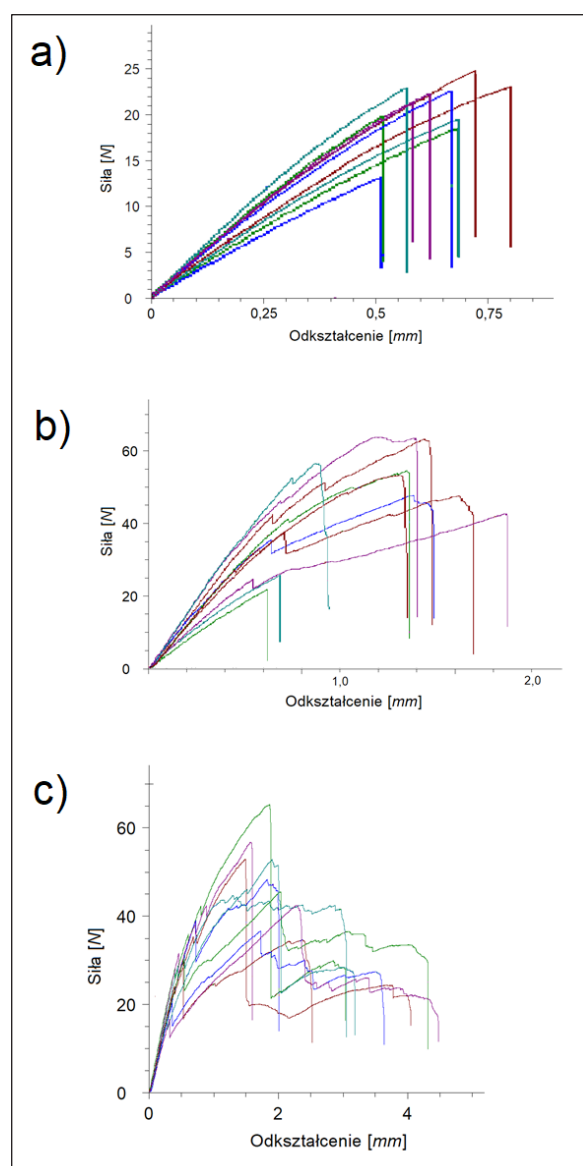
Przygotowanie przełomów próbek do obserwacji w SEM składało się z kilku etapów. Rozpoczęto od oczyszczenia próbek z zanieczyszczeń przy pomocy sprężonego powietrza. Następnie próbki zostały przymocowane do aluminiowego stolika pokrytego taśmą węglową. Zastosowana taśma węglowa przystosowana do użycia w SEM miała za zadanie utworzyć warstwę przewodzącą, zapewniającą odprowadzenie ładunków elektrycznych z próbki. Stolik z próbkami umieszczono w napyłarce Polaron (Equipment Ltd., Wielka Brytania). Na każdą próbkę napyłono kilkunanometrową warstwę złoto-palladu. Pokrycie próbek złoto-palladem miało na celu poprawę kontrastu i lepszego odwzorowania szczegółów. Tak przygotowane próbki umieszczono w odpowiedniej komorze SEM. Obrazowanie przeprowadzono w trybie niskiej próżni pod ciśnieniem 70 Pa przy zastosowaniu energii wiązki równej 5 kV.

Każdą próbkę reprezentatywną obserwowano w powiększeniach: 50-krotnym, 100-krotnym, 200-krotnym, 400-krotnym, 500-krotnym, 1000-krotnym oraz 2000-krotnym.

Po wykonaniu obserwacji przełomów próbek w SEM przystąpiono do przygotowania zglądów, które w pierwszym etapie polegało na: inkludowaniu, czyli umieszczeniu próbek w uchwycie i zatopieniu ich w żywicy epoksydowej w specjalnie służącym do tego celu plastikowym pierścieniu Ø40 mm. Po związaniu żywicy zatopione próbki wyjęto z pierścienia i szlifowano na mokro przy pomocy szlifierki Metkon Digiprep (Metkon Instruments Inc., Turcja). Użyto papieru ściernego o gradacji ziarna od 100 do 4000. Przy zmianie gradacji ziarna zmieniano kierunek szlifowania o 90°. Do polerowania użyto pasty diamentowej o gradacji 6,3 i 1 µm oraz mieszaniny wodnej Al₂O₃ w zakresie gradacji od 0,1 do 0,05 µm. Przygotowane próbki umieszczono w napyłarce Polaron (Equipment Ltd., Wielka Brytania). Na każdą próbkę napyłono kilku nanometrową warstwę złoto-palladu. Próbki umieszczono w odpowiedniej komorze SEM. Każdą próbkę obserwowano w powiększeniach: 50-krotnym, 100-krotnym, 200-krotnym, 400-krotnym, 500-krotnym, 1000-krotnym oraz 2000-krotnym.

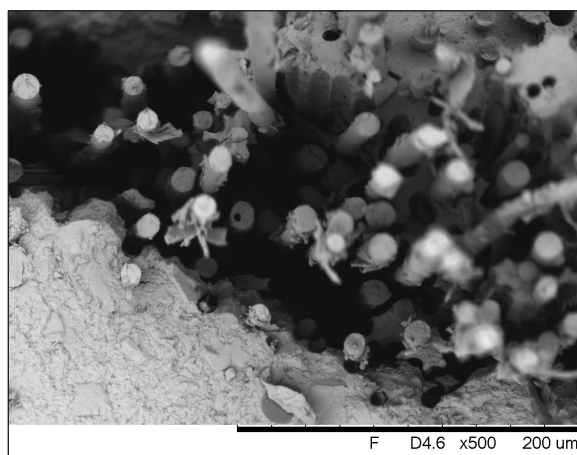
Wyniki

Przebieg testu na zginanie w trójpunktowym układzie obciążenia rejestrowany był w postaci danych liczbowych, na podstawie których powstały wykresy graficznie obrazujące zależność pomiędzy generowaną siłą a odkształceniem dla każdej z przeprowadzonych prób (ryc. 1a, b, c). Widoczne na wykresach (ryc. 1b i 1c) wyraźne zmiany pochylenia odpowiadają kumulacji rozproszonych mikropęknięć. Prowadzi to do powstania pęknięć naruszających grubość poszczególnych warstw kompozytu. Zaburzenia liniowości wykresów

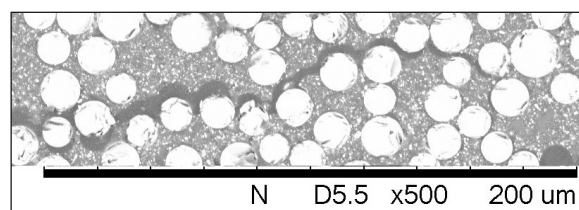


Ryc. 1. Wykres zależności siły od odkształcenia uzyskany podczas zginania trójpunktowego: a – grupa kontrolna (KONT), b – próbki kompozytu z obecnością jednego pasma włókien szklanych (SKL 1), c – próbki kompozytu z obecnością dwóch pasm włókien szklanych (SKL 2).

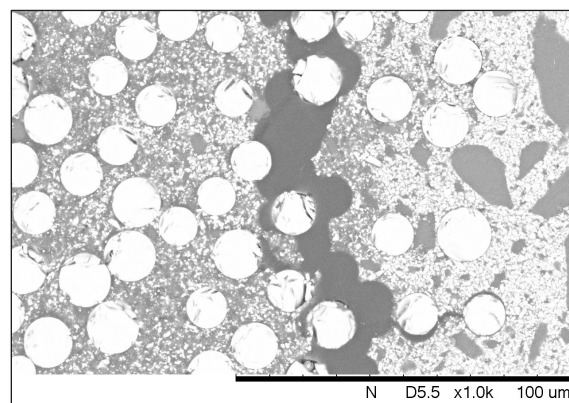
1b i 1c odpowiadają wartościom naprężenia, co należy traktować jako początek powstawania nieodwracalnych uszkodzeń materiału. Wyraźnie uskoki widoczne na ryc. 1b i 1c są równoznaczne z pęknięciem oraz zerwaniem włókien szklanych, czego nie zaobserwowano na ryc. 1a.



Ryc. 2. Przełom próbki z grupy SKL 1, SEM, pow. $\times 500$. Widoczne pęknięcie warstwy granicznej (debonding).

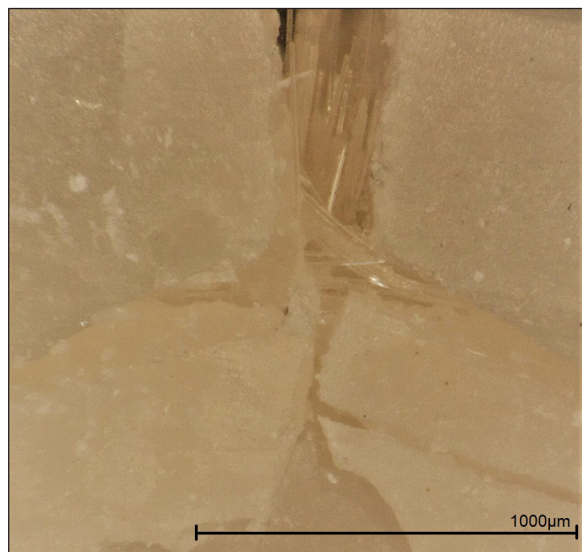


Ryc. 3. Zgląd próbki z grupy SKL 1, SEM, pow. $\times 500$. Widoczne pęknięcie warstwy granicznej (debonding).

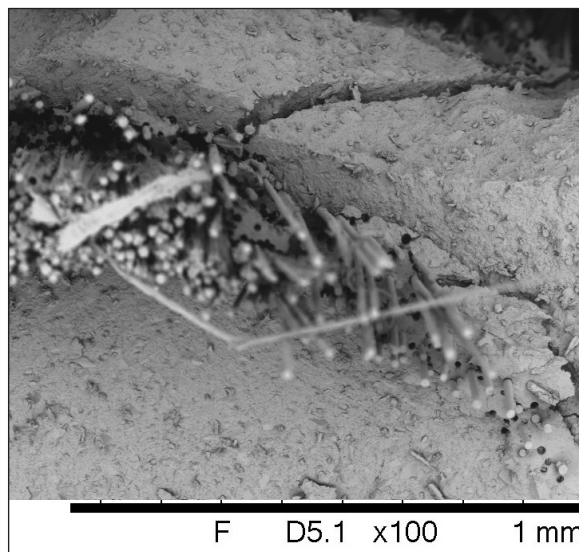


Ryc. 4. Zgląd próbki z grupy SKL 1, SEM, pow. $\times 1000$. Widoczne pęknięcie warstwy granicznej (debonding).

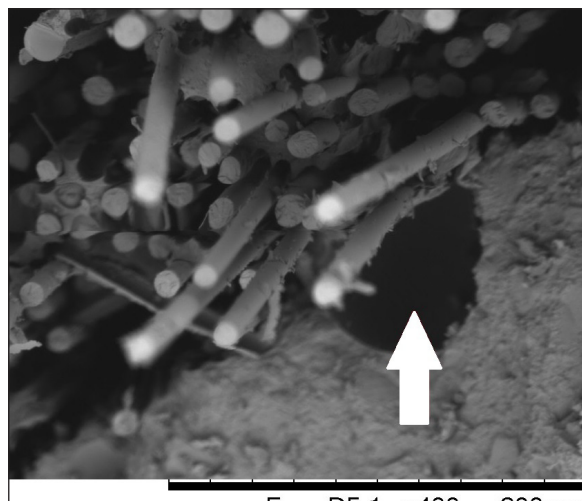
Zjawiska widoczne na ryc. 1a, 1b, 1c zostały potwierdzone szczegółowymi analizami mikroskopowymi przełomów zniszczonych próbek. W przypadku próbek SKL 1 najczęściej zaobserwowano pęknięcia warstwy granicznej (tzw. debondingu) (ryc. 2, 3, 4). W badaniach mikroskopowych przy użyciu



Ryc. 5. Pęknięcie próbki z grupy SKL 2, mikroskop cyfrowy, pow. $\times 50$. Widoczny stan FPF.



Ryc. 6. Przełom próbki z grupy SKL 2, SEM, pow. $\times 100$. Widoczny stan FPF oraz pęknięcie międzywarstwowe.



Ryc. 7. Przełom próbki z grupy SKL 1, SEM, pow. $\times 400$. Widoczny pęcherz powietrza zaznaczony strzałką.

mikroskopu optycznego, a następnie w obserwacjach w SEM zniszczonych próbek SKL 2 zaobserwowano pęknięcia pierwszej warstwy (ang. First Ply Failure, FPF), co trudno było zaobserwować w przypadku próbek z grupy SKL 1 (ryc. 5, 6). Dodatkowo na ryc. 7. widoczny jest pęcherz powietrza. Jest to jeden w wielu możliwych artefaktów powstałych na etapie wykonywania próbek.

Dyskusja

Trwałość FRC w dużym stopniu zależy od struktury warstwy granicznej kompozyt-wzmocnienie i defektów występujących na granicy faz. Po przyłożeniu zewnętrznego obciążenia defekty te mogą stanowić źródło mikropęknięć, a to z kolei może doprowadzić do przedwczesnego uszkodzenia FRC podczas użytkowania w warunkach panujących w jamie ustnej.^{3,4,9} Jeśli adhezja kompozytu do włókien jest bliska jej kohezji, to rozwijające się pęknięcie matrycy nie dociera do granicy faz. Jeśli zaś adhezja jest mniejsza, to mikropęknięcia rozwijają się wzdłuż najsłabszych stref, tj. wzdłuż granicy faz. Zjawisko to zaobserwowano w obecnych badaniach własnych. Uzyskane wyniki są podobne do analiz prowadzonych przez *Abdulmajeed* i wsp.¹⁵ oraz *Behr* i wsp.¹⁶ Oceniając wytrzymałość kompozytów z jednokierunkowo ułożonymi włóknami stosuje się dwa warunki wytrzymałościowe: warunek wyciągania włókien i warunek pęknięcia włókien. Pierwszy z nich ma miejsce, gdy długość włókna jest mniejsza od długości krytycznej. W tym przypadku naprężenie maksymalne jest

zbyt małe, by nastąpiło pęknięcie włókna. Gdy długość włókna jest większa od długości krytycznej zostaje przekroczony warunek pęknięcia włókien.¹⁶⁻¹⁸

Kompozyty FRP podatne są na procesy degradacji, które na ogół powodują niekorzystne zmiany właściwości mechanicznych. Degradacją kompozytów nazywa się częściowy rozkład polimeru na fragmenty o dużych, ale mniejszych od wyjściowego polimeru masach cząsteczkowych. Degradacja mechaniczna kompozytów wzmocnianych włóknami sztucznymi zachodzi najczęściej pod wpływem zmiennych w czasie obciążeń i wiąże się ona ze zmianami struktury materiału o zasięgu lokalnym bądź dotyczy całego uzupełnienia protetycznego. Zazwyczaj tego typu uszkodzenia w kompozytach wzmocnianych włóknami są trudne, a niejednokrotnie niemożliwe do wykrycia w badaniu klinicznym, z uwagi na ich powstawanie po stronie przeciwnej (zazwyczaj niewidocznej) do powierzchni obciążanej lub wewnątrz struktury.¹⁸⁻²³ Liczni badacze zajmujący się badaniami strukturalnymi FRC wyróżniają charakterystyczne dla nich, najczęściej występujące po sobie etapy: pęknięcie osnowy kompozytowej, pęknięcia na granicy włókno-osnowa (tzw. debonding) delaminacje związane z pękaniem adhezyjnym oraz pęknięcie włókien, które często prowadzą do całkowitego zniszczenia próbek.²¹⁻²⁴ Potwierdzają to również badania własne prezentowane w tej pracy.

Wyznaczenie obciążenia niszczącego kompozyt wzmocniony włóknami długimi wymaga rozpatrzenia różnych, powiązanych wzajemnie mechanizmów niszczenia. Przyjmowane jest przez niektórych badaczy założenie, że zniszczenie wielowarstwowego laminatu jakim jest kompozyt wzmocniony dwoma pojedynczymi pasmami włókien jest równoznaczne ze zniszczeniem pierwszej warstwy (ang. First Ply Failure, FPF). Uszkodzenie pierwszej warstwy nie oznacza od razu wyczerpania nośności FRC. Dodatkowo, z klinicznego punktu

widzenia osiągnięcie stanu FPF oznacza, iż w materiale pojawiły się pęknięcia otwarte wychodzące na powierzchnię uzupełnienia. W warunkach jamy ustnej znacznie ułatwia to wnikanie śliny, bakterii i resztek pokarmowych do obszaru warstw nośnych, gdzie znajdują się wysokowytrzymałe, ale mało odporne na korozję włókna szklane.^{25,26}

W kompozytach wzmocnianych włóknem szklanym, stan FPF występuje stosunkowo wcześniej, nawet przy odkształceniach kilkakrotnie niższych od odkształcenia niszczącego. Prawdopodobnie można uznać to za przyczynę uzyskanych w badaniu niewielkich różnic pomiędzy SKL 1 i SKL 2, szczególnie w przypadku dwóch parametrów wytrzymałościowych: strzałki ugięcia i modułu Younga. Co interesujące, próbki SKL 2, pomimo iż posiadały dwukrotnie większą zawartość włókien szklanych osiągnęły niższe wartości maksymalnej siły zginającej oraz wytrzymałości na zginanie niż próbki SKL 1. Fakt ten można wytłumaczyć prawdopodobnie zbyt cienką warstwą kompozytu umieszczoną pomiędzy pasmami włókien, wynoszącą 0,5 mm grubości.

Warto zaznaczyć, iż metody przygotowania próbek były zbliżone do tych, jakie panują w warunkach gabinetu stomatologicznego oraz laboratorium technik dentystycznych. Zastosowana w badaniach własnych metoda ręczna, zwana inaczej kontaktową ma wiele zalet. Nie wymaga stosowania skomplikowanych form oraz oprzyrządowania oraz jest dość prosta w wykonaniu. Do wad tej metody należy czasochłonność, pracochłonność oraz brak możliwości pełnej kontroli jakości wytwarzanej pracy na etapie jej wykonywania. Bardzo często podczas przeprowadzania mikroskopowych badań strukturalnych okazuje się, że wyroby takie mają wady w postaci pustek, zatrzymanych pęcherzy powietrza czy uszkodzonych włókien.^{13,15,26} W badaniach własnych najczęściej obserwowano zatrzymane pęcherze powietrza, które pogarszały parametry wytrzymałościowe

próbek. Należy zaznaczyć, iż artefakty odnotowano jedynie w niewielkim odsetku obserwowanych próbek.

Podsumowując, duża wytrzymałość na granicy włókno-osnowa jest nieodzownym warunkiem otrzymania odpowiednich parametrów wytrzymałościowych uzupełnień protezycznych. Tylko bowiem wówczas jest możliwe przejmowanie przez elastyczną osnowę oraz wytrzymałe włókna, obciążeń powstających podczas sił generowanych przez mięśnie w układzie stomatognatycznym. Autorzy pracy oraz wielu badaczy potwierdzają, iż uzyskanie perfekcyjnego połączenia włókien z kompozytową osnową jest niezmiernie trudne i wciąż wymaga dalszych analiz.^{4-9,14,15,24-27}

Wnioski

1. W próbkach wzmocnionych pojedynczym pasmem włókien szklanych najczęściej występowało pęknięcie warstwy granicznej, jednak nie pogarszało to uzyskanych wyników parametrów wytrzymałościowych.
2. W próbkach wzmocnionych dwoma pojedynczymi pasmami włókien szklanych najczęściej obserwowano tzw. zniszczenie pierwszej warstwy, co może umożliwić wnikanie śliny, bakterii oraz resztek pokarmowych do wnętrza uzupełnienia protetycznego.
3. Najczęstszą wadą strukturalną próbek były zatrzymane pęcherze powietrza powstałe na etapie wykonywania próbek, pogarszając połączenie włókien z osnową.

Piśmiennictwo

1. Brożek R, Dorocka-Bobkowska B, Koczorowski R: Clinical application of fiber-reinforced composite materials (FRC) to dentistry – literature review. *Protet Stomatol* 2019; 69, 1: 93-98.
2. Pjetursson BE, Sailer I, Makarov NA, Zwahlen

3. M, Thoma DS: All-ceramic or metal-ceramic tooth-supported fixed dental prostheses (FDPs)? A systematic review of the survival and complication rates. Part II: Multiple-unit FDPs. *Dent Mater* 2015; 31: 624-639.
4. Vallittu P: An overview of development and status of fiber-reinforced composites as dental and medical biomaterials. *Acta Biomater Odontol Scand* 2018; 4, 1: 44-55.
5. Raszewski Z, Nowakowska D: Mechanical properties of Composite materials reinforced with glass fibers as related to bonding agents. *Czas Stomatol* 2010; 63, 4, 259-266.
6. Bitter K, Neumann K, Kielbassa AM: Effects of pretreatment and thermocycling on bond strength of resin core materials to various fiber-reinforced composite posts. *J Adhes Dent* 2008; 10, 6: 481-489.
7. Lassila L V, Tezvergil A, Lahdenpera M, Alander P, Shinya A, Vallittu PK: Evaluation of some properties of two fiber-reinforced-composite materials. *Acta Odontol Scand* 2005; 63: 196-204.
8. Tirapelli C, Ravagnani C, Panzeri FC, Panzeri H: Fiber-reinforced composites: effect of fiber position, fiber framework and wetting agent on flexural strength. *Int J Prosthodont* 2005; 18, 3: 201-202.
9. Zabihi O, Ahmadi M, Nikafshar S, Preyeswary K, Naebe M: A technical review on epoxy-clay nanocomposites: structure, properties and their applications in fiber reinforced composites. *Composites Part B* 2018; 135, 1-24.
10. Niewczas AM, Zamościńska J, Krzyżak A, Pieniak D, Walczak A, Bartnik G: Influence of fiber reinforcement on selected mechanical properties of dental composites. *Acta Bioeng Biomech* 2017; 19, 2: 3-10.
11. Vallittu PK: High-aspect ratio fillers: Fiber-reinforced composites and their anisotropic properties. *Dent Mater* 2015; 31: 1-7.
12. Breschi L, Mazzoni A, Ruggeri A, Cadenaro M, Di Lenarda R, De Stefano Dorigo E:

- Dental adhesion review: aging and stability of the bonded interface *Dent Mater* 2008; 24: 90-101.
12. *Da Silveira Teixeira C, Santos Felipe MC, Correa Silva-Sousa YT, de Sousa-Neto MT*: Interfacial evaluation of experimentally weakened roots restored with adhesive materials and fibre posts: an SEM analysis. *J Dent* 2008; 36: 672-682.
13. *Dyer SR, Lassila L, Jokinen M, Vallittu PK*: Effect of fiber position and orientation on fracture load of fiber-reinforced composite. *Dent Mater* 2004; 20, 10: 947-955.
14. *Bienias B*: Light-cured composite reinforced with one and two bands of glass fibers. Comparative analysis of strength parameters. Part I. *Protet Stomatol* 2021; 71, 1: 74-83.
15. *Abdulmajeed A, Narhi T, Vallittu P, Lassila L*: The effect of high fiber fraction on some mechanical properties of unidirectional glass fiber-reinforced composite. *Dent Mater* 2011; 27: 313-321.
16. *Behr M, Rosentritt M, Lang R, Handel G*: Flexural properties of fiber reinforced composite using a vacuum/pressure or a manual adaptation manufacturing process. *J Dent* 2000; 28: 509-514.
17. *Bagheri R., Tyas MJ, Burrow MF*: Subsurface degradation of resin-based composites. *Dent Mater* 2007; 23: 944-951.
18. *Fedoseev D, Ryabov V, Kireev P*: Relationship between glass fiber diameter and forming conditions. *Glass and Ceramics* 1966; 23: 590-592.
19. *Atas C, Akgun Y, Dagdelen O, Icten B, Sarikanat M*: An experimental investigation on the low velocity impact response of composite plates repaired by VARIM and hand lay-up processes. *Compos Struct* 2011; 2, 93: 1178-1186.
20. *Chen Y, Li H, Fok A*: In vitro validation of a shape-optimized fiber-reinforced dental bridge. *Dent Mater* 2011; 27, 12: 1229-1237.
21. *Brożek R, Kubanek Sz, Czarnecka B, Koczorowski, Dorocka-Bobkowska B*: Strength tests of fiber-reinforced composite with ultra-high molecular weight polyethylene. *Protet Stomatol* 2018; 68, 3: 293-301.
22. *Sideridis E, Papadopoulos A*: Short-beam and three point bending test for the study of shear and flexural properties in unidirectional fiber reinforced epoxy composites. *J Appl Polym Sci* 2004; 93: 63-74.
23. *Lasilla L, Tezvergil A, Lahdenpera M, Alander P, Shinya A, Vallittu P*: Evaluation of some properties of two fiber-reinforced composite materials. *Acta Odontol Scand* 2005; 63: 196-204.
24. *Yap AU, Tan SH, Wee SS, Lee CW, Lim EL, Zeng KY*: Chemical degradation of composite restoratives. *J Oral Rehab* 2001; 28: 1015-1021.
25. *Almeida GS, Poskus LT, Guimarães JGA, Da Silva EM*: The effect of mouthrinses on salivary sorption, solubility and surface degradation of a nanofilled and a hybrid resin composite. *Operat Dent* 2010; 35: 105-111.
26. *Atin T, Buchalla W, Hellwig E*: Effect of topical fluoride application on toothbrushing abrasion of resin composites. *Dent Mater* 2006; 22: 308-313.
27. *Turssi CP, Hara AT, Serra MC, Rodrigues AL*: Effect of storage media upon the surface micromorphology of resin-based restorative materials. *J Oral Rehab* 2002; 29: 864-871.

Zaakceptowano do druku: 16.06.2021 r.

Adres autorów: 02-097 Warszawa, ul. Binińskiego 6.

© Zarząd Główny PTS 2021.