



Badania własności mechanicznych materiałów kompozytowych stosowanych jako wypełnienia stomatologiczne

A. Pasięka^a, P. Malara^b, M. Szczęsna^b

^a Absolwentka Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny
email: anna-pasieka@wp.pl

^b Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Technologii Procesów Materiałowych, Zarządzania i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie
email: piotr.malara@polsl.pl, email: magdalena.szczesna@polsl.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono metodykę badań własności mechanicznych materiałów kompozytowych stosowanych na wypełnienia ubytków twardych tkanek zęba na podstawie normy PN-EN ISO 4049 – Polimerowe materiały do wypełnień, odbudowy i cementowania.

Abstract: The article presents the research methodology mechanical properties of composite materials used for dental fillings based on the PN-EN ISO 4049 – Polymeric materials for fillings, reconstruction and cementing.

Słowa kluczowe: wypełnienia stomatologiczne, twardość, głębokość utwardzania, odporność na ścieranie, korozyjność, wytrzymałość na zginanie

1. WSTĘP

Wiele czynności wykonywanych przez lekarza stomatologa wymaga użycia określonego materiału. Dlatego też sukces leczenia, w dużej mierze zależy od właściwego doboru materiału oraz jego zastosowania, tak by można było wykorzystać jego optymalne własności.

Próchnica zębów prowadzi do trwałej utraty twardych tkanek zęba. Aby je odtworzyć, należy użyć odpowiedniego materiału do wypełnienia ubytku. Pomimo znacznego postępu technologicznego w materiałoznawstwie stomatologicznym, jaki dokonał się w ostatnich latach, żadna z grup materiałowych nie spełnia wszystkich stawianych im wymogów.

Materiały stosowane w celach rekonstrukcyjnych tkanek muszą wykazać specyficzne cechy użytkowe, oraz nie mogą cechować się alergiennością, drażnieniem, czy mutagennością.

Ważnym aspektem, który powinien jednocześnie determinować dobór materiału na wypełnienia stomatologiczne, powinien być wpływ środowiska jamy ustnej na wypełnienie.

Dlatego też materiał stosowany na wypełnienia stomatologiczne powinien spełniać określone wymagania:

- nie powinien rozpuszczać się w ślinie oraz w płynach znajdujących się w jamie ustnej,
- nie powinien się utleniać ani korodować,
- powinien mieć odpowiednią wytrzymałość, sztywność, twardość i odporność na ścieranie [1].

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie metodyki badań własności mechanicznych materiałów kompozytowych stosowanych na wypełnienia ubytków twardych tkanek zęba. Przeprowadzenie omówionych badań przyczyni się do dokładniejszego poznania materiałów wykorzystywanych na uzupełnienia stomatologiczne, przez co pomoże w przyszłości uzyskać materiały o lepszych własnościach.

2. CHARAKTERYSTYKA MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH STOSOWANYCH NA WYPEŁNIENIA TWARDYCH TKANEK ZĘBA

Norma PN-EN ISO 4049 Polimerowe materiały do wypełnień, odbudowy i cementowania, jasno określa wymagania stawiane stomatologicznym materiałom polimerowym do wypełnień i odbudowy [2].

Sam materiał powinien być dostarczony przez producenta w formie odpowiedniej do mieszania ręcznego lub mechanicznego, albo w formie odpowiedniej do aktywowania zewnętrzną energią, wewnątrz lub na zewnątrz jamy ustnej.

Według normy, materiały stomatologiczne stosowane na wypełnienia i do odbudowy, można podzielić na poszczególne typy:

- typ 1: znajdują się w nim materiały polimerowe do wypełnień i odbudowy w obrębie powierzchni zwarciovych,
- typ 2: zawierający inne materiały polimerowe przeznaczone do wypełnień i odbudowy [2].

Dodatkowo, wyróżnione zostały trzy podstawowe klasy polimerów stosowanych na wypełnienia, odbudowę oraz cementowanie (rys. 1):

- klasa 1: materiały, które wiążą w wyniku zmieszania inicjatora i aktywatora (tak zwane materiały samo polimeryzujące),
- klasa 2: materiały, które wiążą w wyniku zastosowania energii ze źródła zewnętrznego (światło niebieskie lub ciepło), zostały dodatkowo poddane klasyfikacji na poszczególne grupy:
 - grupa 1: materiały, których użycie wymaga zastosowania energii wewnątrz jamy ustnej,
 - grupa 2: materiały, których użycie wymaga zastosowania energii poza jamą ustną,
- klasa 3: materiały, które są utwardzone energią zewnętrzną i mają zdolność samo-polimeryzacji (tak zwane materiały podwójnie utwardzane) [2].

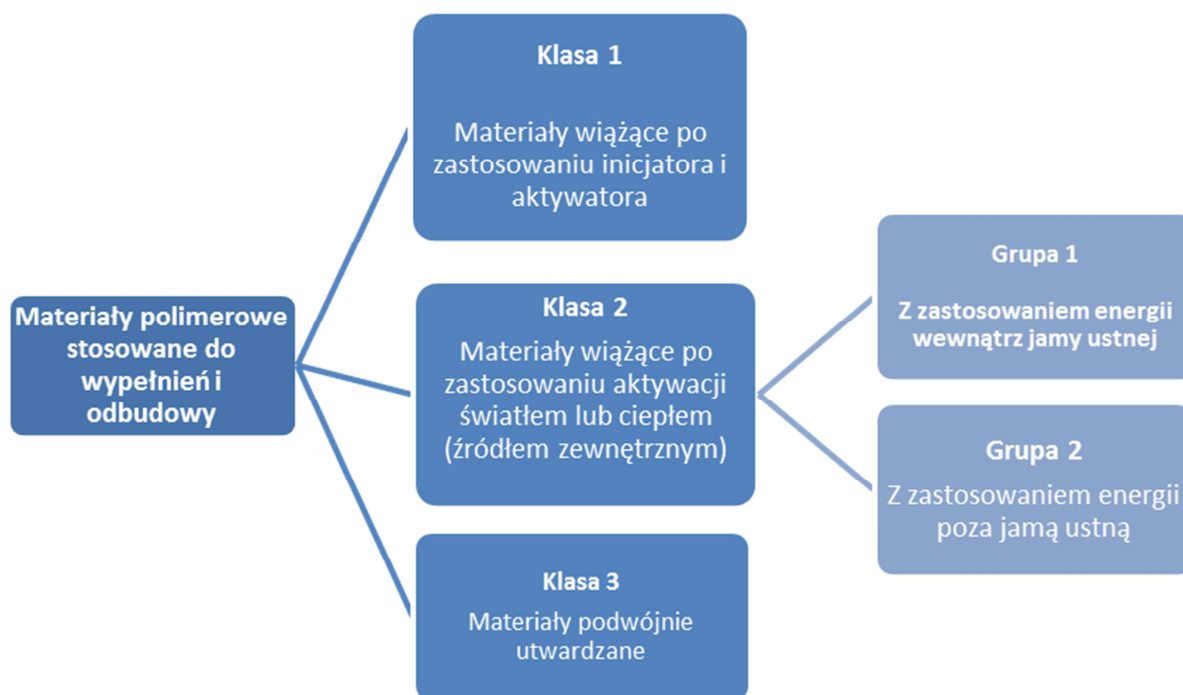
3. BADANIA WŁASNOŚCI MECHANICZNYCH MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH STOSOWANYCH NA WYPEŁNIENIA TKANEK TWARDYCH ZĘBA

3.1. Twardość

Twardością materiału przeznaczonego na wypełnienie określamy jego odporność na siły działające głównie w trakcie żucia pokarmu. Materiały poddane badaniom poddawane są

znormalizowanemu zgniataniu z zadaną siłą w określonym czasie. Wartość twardości można wyznaczyć dwojako:

- z głębokości wgniotu,
- z powierzchni powstałego wgniecenia [3].



Rysunek 1. Klasy materiałów polimerowych stosowanych do wypełnień i odbudowy na podstawie PN-EN ISO 4049

Figure 1. Classes of polymeric materials used for fillings and reconstruction based on PN-EN ISO 4049

Czynnikami wpływającymi na twardość materiału są:

- porowatość,
- stosunek ilościowy żywicy do wypełniacza,
- rodzaj cząstek wypełniacza,
- prawidłowo przeprowadzony proces polimeryzacji [3].

Należy pamiętać, że twardość kompozytu przyjmuje różne wartości, w zależności od rodzaju użytego materiału na wypełnienie (tab. 1). Tym samym, materiały chemoutwardzalne mają wartość twardości niższą średnio o 15% w porównaniu z materiałami światłoutwardzalnymi [4].

Tablica 1. Przykładowe wartości twardości wybranych materiałów kompozytowych stosowanych na wypełnienia [4]

Table 1. Examples of the hardness of the selected composite materials used in fillings [4]

Materiał kompozytowy	Twardość metoda kulkowa, MPa	Twardość metoda Vickersa, MPa
Helioprogress (Vivadent)	49,8	417,2
Herculite (Kerr)	61,5	726,7
Heliomolar (Vivadent)	34,1	411,7

Przez większą zawartość substancji organicznych i inhibicyjnym oddziaływaniu tlenu na proces polimeryzacji, powierzchnia materiału kompozytowego cechuje się zawsze mniejszą wartością twardości niż warstwy kompozytu leżące głębiej.

W celu zwiększenia twardości powierzchni wypełnienia materiał poddawany jest powtór-nemu naświetlaniu, jednak sam wzrost twardości jest nieznaczny – na poziomie 2÷4% [4].

3.2. Głębokość utwardzania

Bardzo duży wpływ na jakość wypełnienia ma głębokość utwardzania materiału. Przyjęte zostały następujące zasady:

1. Materiał powinien zostać nałożony warstwami o maksymalnej grubości 2 mm.
2. Na głębokość oraz rozległość polimeryzacji ma wpływ: moc żarówki, jakość oraz typ światłowodu, ilość energii cieplnej, która została wydzielona, oraz czas utwardzania.
3. Czas naświetlania jednej warstwy wypełnienia to około 20÷40 sekund.
4. Materiały kompozytowe o jaśniejszym odcieniu oraz o większej przezierności ulegają głębszej polimeryzacji.
5. Polimeryzacja zachodzi najszybciej w ciągu pierwszych 20 minut od aktywacji [4].

Norma PN-EN ISO 4049, określa przebieg oraz przygotowanie próbek do badań głębokości utwardzenia wypełnienia kompozytowego.

Przygotowanie próbek do badania

Formę umieszcza się na arkuszu przezroczystej folii, który leży na mikroskopowym szkiełku podstawowym. Formę napełnia się materiałem przeznaczonym do badania (który zostaje przygotowany zgodnie z zaleceniami producenta), dbając o usunięcie pęcherzyków powietrza oraz nieznacznego przepełnienia materiałem, a na wierzchu położyć drugi arkusz przezroczystej folii i drugie mikroskopowe szkiełko. Forma i arkusze folii powinny zostać dociśnięte, by można było pozbyć się nadmiaru materiału. Całość umieszcza się na bibule filtracyjnej, oraz zdejmuje szkiełko, które zakrywa arkusz folii, a w jego miejsce kładzie się okienko wyjściowe źródła energii zewnętrznej (naprzeciw arkusza folii). Materiał powinno się naświetlać przez czas, który według zaleceń producenta jest potrzebny do uzyskania głębokości utwardzenia równej co najmniej:

- 0,5 mm – dla nieprzeziernych materiałów do cementowania,
- 1 mm – w przypadku nieprzeświecających odcieni materiałów do wypełnień i odbudowy,
- 1,5 mm – w przypadku wszystkich innych materiałów [2].

Po zakończeniu ekspozycji należy jak najszybciej, za pomocą szpательki wykonanej z tworzywa sztucznego, usunąć nieutwardzony materiał, a następnie mikrometrem zmierzyć (z dokładnością do 0,1 mm) wysokość walca z utwardzonego materiału i podzielić otrzymaną wartość przez dwa – ta wartość określana jest jako głębokość utwardzania [2].

Interpretacja wyników

Jeżeli wszystkie trzy wartości są:

- większe niż 0,5 mm w przypadku nieprzeziernych materiałów do cementowania,
- większe niż 1,0 mm w przypadku nieprzeświecających odcieni materiałów do wypełnień i odbudowy,
- większe niż 1,5 mm w przypadku wszystkich innych materiałów, wówczas materiał spełnia wymagania normy [2].

3.3. Odporność na ścieranie

Ścieranie wypełnień z materiałów kompozytowych jest złożonym procesem, który zależy od reakcji katalizy i hydrolizy zachodzących przy udziale enzymów zawartych w ślinie, oraz od fizycznej degradacji powierzchni. Zużycie materiału można zaobserwować jako chropowatość powierzchni powstałą w wyniku ścierania się matrycy, ekspozycji pęcherzyków powietrza, wypadania czy nawet złamań cząstek wypełniaczy wraz z matrycą [4,5].

Materiały tradycyjne z makrowypełniaczem wykazują małą odporność na ścieranie ze względu na zjawisko wycierania się żywicy otaczającej duże cząstki wypełniacza i utraty bloków polimerów oraz złamań kohezyjnych cząsteczek wypełniaczy wraz z matrycą [4,5].

Materiały hybrydowe, wykazują bardzo dużą odporność na zużycie. Degradacja następuje powoli, oraz cechują się zwiększoną gęstością fazy organicznej i nieorganicznej. Z uwagi na te własności materiały hybrydowe są najlepsze do wypełnień ubytków w zębach bocznych [4,5].

Na ścieralność ma wpływ:

- odporność mechaniczna spolimeryzowanej żywicy,
- rodzaj, gęstość, twardość i wielkość cząstek wypełniacza,
- chemiczna odporność materiałów łączących,
- jakość i rodzaj połączenia żywicy z wypełniaczem [4,5].

Badanie ścieralności wypełnień z materiałów kompozytowych można wykonywać poprzez ścieranie powierzchni próbki materiału w określonych warunkach. Należy pamiętać, aby materiał przygotować zgodnie z zaleceniami producenta, oraz zagwarantować odpowiedni przebieg procesu polimeryzacji. Wynik odporności na ścieranie można wyznaczyć z głębokości powstałych uszkodzeń na powierzchni próbki, oraz z masy materiału który uległ starciu [4,5].

3.4. Korozyjność

Środowisko jamy ustnej wpływa niekorzystnie na materiał, z którego wykonane jest wypełnienie. Środowisko chemiczne powoduje rozpad hydrolityczny żywicy lub wypełniacza, zarówno w miejscach narażonych na kontakt okluzyjny, jak i w miejscach wyłączonych ze zgryzu [4].

Korozja, jak i działające w jamie ustnej obciążenia, powodują powstanie mikropęknięć wypełnień, które w przyszłości mogą prowadzić do złamań wypełnień kompozytowych.

Większą odpornością na korozję cechują się materiały z dużą ilością wypełniacza, dające gładką powierzchnię po wypolerowaniu, ze stabilną hydrolytycznie fazą organiczną oraz z mocnym połączeniem pomiędzy żywicą a wypełniaczem [4].

3.5. Wytrzymałość na zginanie

Wypełnienia z materiałów kompozytowych są narażone na działanie sił zginających. Materiały z większą ilością wypełniacza oraz z większymi cząstkami wypełniacza mają większą odporność na złamanie [5].

Przygotowanie próbek do badania

Norma PN-EN ISO 4049 określa przygotowanie próbek dla klas materiałów:

- I klasa: bibułą filtracyjną należy przykryć jedną z metalowych płytek, na niej ułożyć folię poliestrową, a całość przykryć formą. Drugi arkusz folii poliestrowej położyć na materiał, a całość zamknąć drugą metalową płytką. Za pomocą zacisku, zastosować nacisk, który umożliwi wypłynięcie nadmiaru materiału. Po 3 minutach od rozpoczęcia mieszania całość należy umieścić w łaźni wodnej o temperaturze 37°C. Po upływie 60 minut od rozpoczęcia mieszania zdjąć zacisk i rozdzielić formę. Następnie można ostrożnie wyjąć próbkę i usunąć ewentualne wypływki szlifując je materiałem ściernym o ziarnie nr 140 lub 320. Gotową próbkę należy przechowywać w wodzie destylowanej o temperaturze 37°C, aż do czasu rozpoczęcia badania;
- II i III klasa: materiałem przygotowanym zgodnie z zaleceniami producenta napełnić formę. W przypadku materiałów klasy II grupy 1 oraz klasy III, jedną z metalowych płytek należy zastąpić szkiełkiem podstawowym i umieścić okienko wyjściowe źródła zewnętrznej energii na środku próbki (naprzeciw szklanej płytce). Naświetlać część próbki przez zalecany przez producenta czas ekspozycji. Procedurę naświetlania należy przeprowadzić nie tylko na całej długości, ale również i na drugiej stronie badanej próbki. Całość umieszcza się w łaźni wodnej o temperaturze 37°C na 15 minut. Po tym czasie próbka zostaje wyjęta z formy i zostają usunięte wypływki. Podobnie jak próbki klasy I, należy przechowywać w wodzie destylowanej, aż do czasu badania;
- klasa II grupy 2: Materiał należy przygotować zgodnie z zaleceniami producenta dotyczącymi użycia źródła zewnętrznej energii. Może okazać się konieczne użycie niebieskiego światła przed umieszczeniem próbki w urządzeniu (jako źródło zewnętrznej energii). Następnie analogicznie jak w przypadku wcześniejszych grup materiałów, próbkę należy wyjąć z formy i usunąć wypływki [2].

Przebieg badania

Po upływie 24 godzin od rozpoczęcia mieszania (materiały klasy I) lub naświetlania (materiały klasy II i III) przykładając do próbki obciążenie z prędkością przesuwu trawersy $0,75 \pm 0,25$ mm/min lub z szybkością obciążania 50 ± 16 N/min albo aż do osiągnięcia granicy plastyczności, albo – w przypadku braku granicy plastyczności – aż do jej złamania [2].

Sposób obliczania wyników

Wytrzymałość na zginanie σ należy obliczyć w mega paskalach korzystając ze wzoru:

$$\sigma = \frac{3Fl}{2bh^2} \quad (1)$$

gdzie:

F – maksymalne obciążenie działające na próbkę w N,

l – odległość między podporami w mm,

b – szerokość próbki zmierzonej przed badaniem w mm,

h – wysokość próbki zmierzonej przed badaniem w mm [2].

Interpretacja wyników

- jeżeli cztery lub pięć wyników jest większych niż limit w tabelicy 2, uznaje się iż materiał spełnia wymaganie wytrzymałości na zginanie,
- jeżeli trzy lub więcej wyników jest mniejszych, niż limit w tabelicy 2, uznaje się iż materiał jest bezwzględnie niezgodny z wymaganiami,
- jeżeli tylko trzy wyniki są nie mniejsze niż limit w tabelicy 2, należy powtórzyć całe badanie, a w przypadku czterech lub mniej kolejnych wyników które są nie mniejsze niż limit w tabelicy 2, uznaje się że materiał jest niezgodny z wymaganiami w całym badaniu [2].

Wytrzymałość na zginanie materiałów typu 1 i 2, oznaczona zgodnie z poniższą tabelicą, powinna być równa lub większa limitom oznaczonym w tabelicy 2.

Tabela 2. Minimalna wytrzymałość na zginanie materiałów polimerowych przeznaczonych na obudowę lub wypełnienie

Table 2. Minimum flexural strength of polymeric materials intended for housing or fill

Typ materiału	Klasa/grupa	Minimalna wytrzymałość na zginanie, MPa
Typ 1	Klasa I	80
	Klasa II, grupa 1	80
	Klasa II, grupa 2	100
	Klasa III	80
Typ 2	Klasa I	50
	Klasa II, grupa 1	50
	Klasa III	50

4. PODSUMOWANIE

Znajomość własności oraz metod badawczych materiałów kompozytowych może znakomicie poprawić wyniki w wielopłaszczyznowej dyscyplinie rekonstrukcji, odbudowy i uzupełnień tkanek twardych zęba. Kiedy zmieniona chorobowo, uszkodzona, nieatrakcyjna tkanka zęba odzyska piękno szkliska i zębiny pod względem głębokości barwy, kształtu czy refleksów świetlnych, wówczas końcowe opracowanie tworzy iluzję autentyczności i natural-

ności odtworzonej tkanki zęba, a leczenie można określić jako zakończone sukcesem. Aby móc kompleksowo dobrać protokół leczenia oraz uzyskać satysfakcjonujący pacjenta efekt estetyczny należy mieć na uwadze ciągły rozwój metod badawczych oraz materiałów stosowanych na wypełnienia.

LITERATURA

1. L.A. Dobrzański, Materiały inżynierskie i projektowanie materiałowe, Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo, WNT, Warszawa, 2006.
2. PN-EN ISO 4049 – Polimerowe materiały do wypełnień, odbudowy i cementowania.
3. R.G. Craig, J.M. Powers, J.C. Wataha, Materiały stomatologiczne, Wydawnictwo Medyczne Urban & Partner, Wrocław, 2005.
4. P. Kordasz, Z. Wolanek, Materiałoznawstwo protetyczno-stomatologiczne, Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, Warszawa, 1967.
5. E.C. Combe, Wstęp do materiałoznawstwa stomatologicznego, Sanmedica, Warszawa, 1997.
6. M. Andrzejczuk, M. Lewandowska, K.J. Kurzydłowski, Właściwości mechaniczne światłoutwardzalnych kompozytów zbrojonych mikro i nanocząstkami, Kompozyty 5/1 (2005) 75-78.