



## Wytrzymałość na zginanie połączeń ceramiczno-metalowych stosowanych w protetyce stomatologicznej

A. Kotarska<sup>a</sup>, E. Giza<sup>a</sup>, D. Spierewka<sup>a</sup>, P. Wojciechowski<sup>a</sup>, Ł. Reimann<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Student(ka) Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny,  
Studenckie Koło Naukowe Inżynierii Stomatologicznej  
email: olakotarska@op.pl, ewelina.giza1666@gmail.com, spierewka.dominika@interia.pl,  
pawwoj71@gmail.com.

<sup>b</sup> Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny,  
Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych  
email: lukasz.reimann@polsl.pl

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono proces wykonywania próbek ceramicznych na podbudowie metalowej odwzorowujący wykonanie korony złożonej metalowo-ceramicznej. Celem badań jest określenie przyczepności warstwy ceramicznej do podłoża metalowego i oszacowanie wytrzymałości na zginanie połączeń ceramiczno – metalowych stosowanych w protetyce stomatologicznej. Przygotowanie próbek składało się z wykonania modeli woskowych, a następnie umieszczenia ich w formie ogniotrwałej z kanałami odlewniczymi. Kolejny etap stanowiło odlewanie próbek metalowych oraz nałożenie na nie trzech warstw ceramicznych. Podłoże stanowiła warstwa opakerowa. Pozostałe warstwy określały uzyskanie pożądanej barwy i zostały wykonane z ceramiki dentine. Każda warstwa ceramiki została poddana spiekaniu w piecu w warunkach zaleconych przez producenta. Ostatnim etapem pracy było wykonanie próby zginania, której rezultatem jest wykres siły w funkcji wydłużenia próbki.

**Abstract:** The article presents the process of performing ceramic samples on metal base mapping the construction of complex metal-ceramic crowns. The aim of the study is to determine the adhesion of the ceramic layer to the metal substrate and estimates the bending strength of ceramic - metal connections used in dental prosthetics. Sample preparation consisted of the implementation of wax models and then placing them into a refractory casting with foundry channels. The next stage was the casting of metal specimens and the imposition on them of three layers of ceramic. The deepest surface was a layer of opaque. The remaining layers was defined to obtain the desired color and were made of ceramic dentine. Each ceramic layer was sintered in a furnace under the conditions recommended by the manufacturer. The last stage of the work was to make the bending test, the outcome of which is a graph of force versus extension of the sample.

**Słowa kluczowe:** ceramika stomatologiczna, korony ceramiczne, próba zginania

## 1. WSTĘP

Od czasu opracowania przez Donwana i Prica w 1956 roku metody napalania porcelany na metale, w stomatologii powstał nowy, innowacyjny sposób wykonywania uzupełnień protetycznych. Korony ceramiczne na podbudowie metalowej po dzień dzisiejszy są powszechnie stosowane dzięki swoim unikalnym właściwościom oraz korzystnej cenie. Wysoka wytrzymałość mechaniczna takich uzupełnień pozwala na stosowanie ich zarówno w przypadku pojedynczych koron, jak i rozbudowanych mostów. Korony składają się z metalowego rdzenia, którego zadaniem jest przenoszenie obciążeń w czasie żucia, oraz napalanej na niego porcelany zapewniającej wysoką estetykę i bardziej naturalny wygląd, na którym zależy w szczególności pacjentom. Jednak wadą tego typu uzupełnień jest fakt iż tego typu korony przez inne warunki załamania światła niż w przypadku zębów naturalnych, nie pozwalają na dokładne odtworzenie ich wyglądu. Stąd też wynikają pewne niedogodności dla pacjentów w przypadku uzupełniania zębów w przedniej części łuków zębowych[3].

Metale, które stosowane są w medycynie oraz stomatologii muszą spełnić szereg wymagań zapewniających bezpieczne stosowanie. Przede wszystkim obejmują one odporność na korozję, nietoksyczność i biokompatybilność. Spośród tej grupy materiałów inżynierskich zastosowania w stomatologii znajdują metale szlachetne takie jak złoto, pallad i platyna ze względu na bardzo wysoką i korzystną odporność na korozję. Metale nieszlachetne jednak, ze względu na niższą cenę, są bardzo powszechnie stosowane w medycynie. Przykładowymi metalami nieszlachetnymi, które spełniają wymagania dotyczące biogodności i nietoksyczności są tytan i jego stopy, stopy kobaltu oraz stale austenityczne. Ponadto jako materiały pomocnicze w stomatologii stosowane są również takie metale jak srebro, nikiel, miedź oraz cynk. Metale nieszlachetne w przeciwieństwie do szlachetnych zapewniają większą wytrzymałość, elastyczność i odporność na ścieranie[2,1].

Materiały ceramiczne to materiały, które zostały wytworzone z nieorganicznych materiałów niemetalowych i zbudowane są one z faz będących związkami metali z niemetalami, głównie z tlenem, azotem, węglem, fosforem czy też siarką. Z uwagi na liczne połączenia chemiczne jakie mogą wystąpić w ceramikach, jej zakres zastosowań jest bardzo szeroki począwszy od budownictwa po przemysł lotniczy, samochodowy oraz medycynę i stomatologię [2].

Przy produkcji uzupełnień stomatologicznych metalowo-ceramicznych ceramika nakładana jest na wcześniej odlany rdzeń metalowy w bardzo cienkich warstwach o różnej przezierności i barwie, a następnie wypalana w wysokiej temperaturze. Rodzajów ceramiki stosowanej do napalania na metale szlachetnie i nieszlachetnie jest bardzo wiele i różnią się one między sobą własnościami (tabl.1). Jednym z nich jest ceramika, która charakteryzuje się współczynnikiem rozszerzalności termicznej w zakresie  $13,5\div 14,9 \mu\text{m/mK}$ . Ponieważ w procesie technologicznym wytwarzania uzupełnień metalowo-ceramicznych stosowane są niskie temperatury wypalania, które sięgają maksymalnie  $880^{\circ}\text{C}$ , wszystkie stopy mieszczące się w tym zakresie współczynnika rozszerzalności termicznej mogą być bezpiecznie stosowane z takim rodzajem ceramiki[3].

W związku z wprowadzeniem techniki wytwarzania koron ceramicznych na podbudowie metalowej do powszechnego użytku, były one bardzo intensywnie badane pod kątem trwałości, bezpieczeństwa, estetyki i stopnia zadowolenia pacjentów. Najważniejsze badania obejmowały trwałość uzupełnień przy stałym obciążaniu i użytkowaniu. Najbardziej rozpowszechnioną metodą badania wytrzymałości mechanicznej połączeń ceramiczno-

metalowych są próby zginania 3- lub 4- punktowego. Pozwalają one odtworzyć siły panujące w jamie ustnej podczas żucia, na które narażone są korony. Wartość siły jak i charakterystyka oraz wymiary próbki i ustawienia maszyny wytrzymałościowej pozwalają na wyznaczenie wartości wytrzymałości na zginanie ze wzoru [4]:

$$\sigma = \frac{F \cdot L}{4W_x} \quad [\text{MPa}]$$

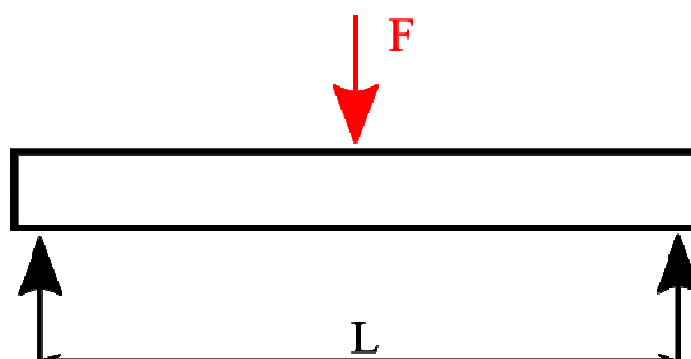
gdzie:

- $W_x$  – wskaźnik przekroju zależny od kształtu próbki,
- $d$  – średnica pręta [mm],
- $F$  – wartość siły powodującej dekohezję [N],
- $L$  – rozstaw podpór

Tablica 1. Wybrane własności ceramiki dentystycznych [3]

Table 1. Selected properties of dental ceramics [3]

Ceramika	Wytrzymałość na zginanie (MPa)	Współczynnik intensywności naprężeń $K_{IC}$ (MPa·m <sup>1/2</sup> )	Twardość według Vickersa (GPa)	Moduł Younga (GPa)	Gęstość (g/cm <sup>3</sup> )
Wzmacniana mikią	71-107	1,66-2,10	3,72-4,46	70	2,56
Wzmacniana leucytem	109-154	1,30-2,59	6,57-6,67	65-71	2,50
Wzmacniana dwukrzemianem litu	329-400	2,80-3,16	5,30	103	2,47
Wzmacniana trójtlenkiem aluminium (In-Ceram Aluminium)	350-594	3,10-4,60	11,50	267	3,82
Trójtlenku aluminium (Procera AllCeram)	601-687	4,48-6	15,00	287-380	3,96
Dwutlenku cyrkonu	840-1200	9-10	12,17-13,70	210-224	5,56-6,1



Rysunek 1. Schemat trójpunktowego zginania  
*Figure 1. Scheme of three point bending method*

## 2. PRZEBIEG BADAŃ

W celu wykonania prób wytrzymałościowych, pozwalających na określenie siły przyczepności warstwy ceramicznej do podłoża metalowego (próba Schwickeratha zapoczątkowania pęknięcia próbek ceramiczno-metalowych) wykonano odpowiednie próbki ceramiczno-metalowe. Przygotowanie próbek przebiegało w następujących etapach:

- przygotowanie modeli woskowych,
- wykonanie formy odlewniczej,
- odlewanie próbek metalowych,
- nałożenie kolejnych warstw ceramiki stomatologicznej.

Pierwszym etapem przygotowania próbek było przygotowanie woskowych kształtek o wymiarach: szerokości 10 mm i długości 25 mm. Następnie próbki zostały mocowane w formie. Na podstawę z przygotowanymi próbkami woskowymi nałożono cylindryczny pierścień, przygotowano masę ogniotrwałą WiroFine Bego zgodnie z zaleceniami podanymi przez producenta produktu. Następnie całość poddano wygrzewaniu w piecu w temperaturze około 950°C przez 30 min. Na tym etapie pracy kształtki woskowe uległy degradacji i otrzymano formy z masy ogniotrwałej gotowe do dalszych etapów pracy [6].

Kolejnym etapem było otrzymanie próbek metalowych, które polegało na odlaniu metalu. Formę odlewniczą z masy ogniotrwałej umieszczono w ramieniu odlewarki odśrodkowej, natomiast materiał wsadowy umieszczono w tyglu. Topienie metalu odbyło się z wykorzystaniem metody indukcyjnej

Po odlaniu odcięto kanały odlewnicze, a próbki wypłukano, następnie zostały oszlifowane i wypolerowane, odtłuszczone i ponownie piaskowane, w celu przygotowania do nałożenia ceramiki. Zastosowano ceramikę Vita VMK Master, której własności podane przez producenta przedstawione są w tablicy 2.

W pierwszej kolejności naniesiona została warstwa opakera, której zadaniem jest zakrycie koloru stopu. Składniki stosowanej porcelany, na które składały się proszek oraz płyn, zostały wymieszane w odpowiednio dobranych proporcjach a następnie równomiernie nałożono cienką warstwę. Próbki następnie zostały wypalone w piecu. W kolejnym etapie zostały nałożone 2 warstwy ceramiki dentine w kolorze A2. Warunki wypalania zalecane przez producenta, które stosowane były w trakcie wykonywania próbek przedstawione są w tablicy 3.

Tablica 2. Własności podane przez producenta ceramiki Vita VMK Master [5]

Table 2. Properties of the ceramic Vita VMK Master specified by the manufacturer [5]

Własności fizyczne	Jednostka	Wartość
WRC (250-500°C) OPAQUE	$10^{-6} \cdot K^{-1}$	13,6-14,0
Punkt mięknięcia OPAQUE	°C	ok. 670
Punkt transformacji OPAQUE	°C	ok. 575
WRC (250-500°C) DENTINE	$10^{-6} \cdot K^{-1}$	13,2-13,7
Punkt mięknięcia DENTINE	°C	ok. 660
Punkt transformacji DENTINE	°C	ok. 565
Rozpuszczalność DENTINE	$\mu g/cm^2$	<10
3 punktowa wytrzymałość na zginanie DENTINE	MPa	ok. 90
Średnia wielkość ziarna DENTINE	$\mu m$	ok. 19
Spojenie i przyczepność	MPa	>50
Gęstość DENTINE	$g/cm^3$	ok. 2,4

Tabela 3. Warunki wypalania ceramiki [5]

Table 3. Conditions of the process of firing ceramics [5]

Temperatura początkowa	Czas wygrzewania	Czas grzania	Prędkość grzania	Temperatura końcowa	Czas wygrzewania	Czas występowania próżni
°C	min	min	°C/min	°C	min	min
OPAKER						
500	2,00	5,38	80	950	1,00	5,38
DENTYNA						
500	6,00	7,49	55	930	1,00	7,49
500	6,00	7,38	55	920	1,00	7,38



Rysunek 2. Próbkki w piecu w czasie wypalania ceramiki

Figure 2. Samples in the furnace during the process of firing ceramics



Rysunek 3. Otrzymana próbka po nałożeniu warstwy ceramiki opakerowej  
*Figure 3. Sample with the layer of opaque ceramics*

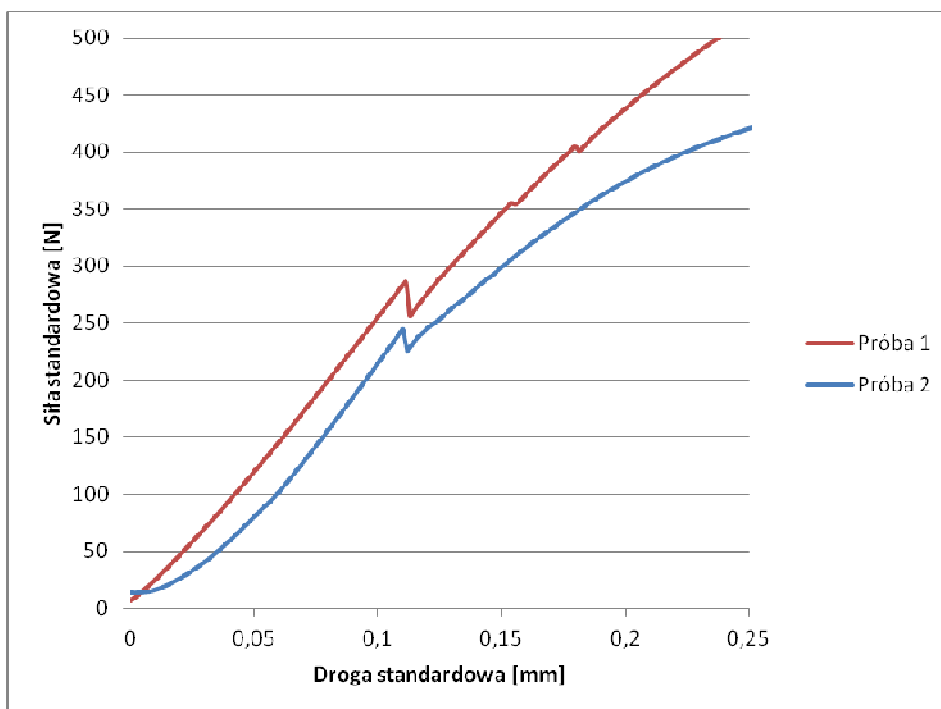
Po zakończeniu procesu przygotowywania próbek do badania przeprowadzono próbę zginania trójpunktowego na maszynie wytrzymałościowej (rys. 4). Próbki umieszczone zostały warstwą ceramiczną do dołu na podporach urządzenia. Odległość między nimi wynosiła 10 mm. Z góry przyłożona została siła w środku między podporami. Siła następnie była stopniowo zwiększana aż do zakończenia badania które nastąpiło po zerwaniu warstwy ceramicznej z podłoża.



Rysunek 4. Badanie wytrzymałości na zginanie dla wytworzonych próbek  
*Figure 4. Bending testing for prepared specimens*

### 3. WYNIKI BADAŃ

Wynikiem próby zginania jest wykres siły w funkcji wydłużenia próbki (rys. 5). Na jego podstawie dokonano analizy i uzyskano wyniki określające wytrzymałość połączenia metalu z ceramiką. Strzałka ugięcia obu próbek o przekroju prostokątnym wyniosła 3,3 mm.



Rysunek 5. Wyniki badania próbek  
*Figure 5. The test result of the samples*



Rysunek 6. Próbki po badaniu wytrzymałościowym z widocznymi uszkodzeniami  
*Figure 6. Samples after strenght tests with visible damages*

Dla badanych próbek (rys. 6) maksymalna siła w jakiej doszło do odprysnięcia ceramiki wyniosła od około 240 do 290 N, siłę tą możemy określić jako wytrzymałości połączenia, na wykresie widoczne jest to w postaci piku, dalszy przebieg wykresu odpowiada wytrzymałości użytego stopu stanowiącego metalowe podłoże. Wytrzymałość połączenia ceramiki z metalem dla badanych próbek wynosiła od 75 do 88 MPa.

#### 4. POSUMOWANIE I WNIOSKI

Uzyskane na podstawie badań wyniki wytrzymałości na zginanie dla obu próbek mieszczące się w zakresie 75÷88 MPa są nieco niższe od wartości podanej przez producenta, która wynosi 90 MPa. W przypadku obu próbek zaobserwowano zniszczenie warstwy ceramiki przy obciążaniu siłą z zakresu 240÷290 N. Uzyskane wyniki pokrywają średnie wartości obciążeń zębów jakie występują w jamie ustnej podczas żucia: dla siekaczy wartości średnie wynoszą około 250 N [7, 8].

Przeprowadzone badania wykazały, że podczas wykonywania uzupełnień metalowo-ceramicznych niezwykle ważna jest dokładność przygotowania rdzenia metalowego i wykonania połączenia z ceramiką oraz stosowanie się do zaleceń producenta podczas procesu wypalania, gdyż ma on duży wpływ na własności oraz trwałość i jakość gotowego wyrobu.

#### LITERATURA

1. B. Surowska, Biomateriały metalowe oraz połączenia metal-ceramika w zastosowaniach stomatologicznych, Politechnika Lubelska 2009,
2. B. Świczko-Żurek, Materiały biomedyczne, Gdańsk 2009,
3. B. Dejak, M. Kacprzak, B. Suliborski, B. Śmielak, Struktura i niektóre właściwości ceramik dentystycznych stosowanych w uzupełnieniach pełnoceramicznych w świetle literatury, PROTET. STOMATOL., 2006, LVI, 6, 471-477,
4. D. Bula, Wytrzymałość połączenia metal-ceramika na wybranych podbudowach metalowych, Praca dyplomowa, Katedra Materiałoznastwa pod kierunkiem naukowym dr inż. M. Dyzia,
5. [http://www.marrodent.pl/UserFiles/file/1645P\\_VMK-Master\\_VA.pdf](http://www.marrodent.pl/UserFiles/file/1645P_VMK-Master_VA.pdf)
6. [http://begousa.com/media/Wirofine\\_instructions.pdf](http://begousa.com/media/Wirofine_instructions.pdf)
7. W.Chladek, Biomechanika inżynierska narządu żucia. Zagadnienia wybrane, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2008
8. R. Wassel, A. Walls, J.G. Steele, Crowns and extra-coronal restorations: Materials selection, British Dental Journal 192 (2002) 199-211