

Agnieszka MATERAC¹, Adam NIEŚŁONY¹

¹Katedra Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn, Wydział Mechaniczny, Politechnika Opolska, Opole

PROJEKT STANOWISKA DO BADAŃ WYTRZYMAŁOŚCI POŁĄCZENIA KLEJONEGO STOSOWANEGO W PROTETYCE STOMATOLOGICZNEJ

Streszczenie: Połączenie klejone może zostać zniszczone pod wpływem codziennego funkcjonowania żuchwy pacjenta. Prowadzi to do rozłączenia korony zęba z łącznika implantu. Stanowisko do badań wytrzymałościowych połączenia klejonego może przynieść wiele korzyści dla badań i nauki. Wyniki badań wykonanych na stanowisku w skuteczny sposób będą mogły przyczynić się do określenia trwałości doraźnej i zmęczeniowej tego typu połączenia w implancie stomatologicznym osadzonym w szczęce pacjenta.

Słowa kluczowe: połączenie klejone, implant stomatologiczny, stanowisko do badań wytrzymałościowych

1. WSTĘP

Coraz więcej osób decyduje się na trwałe uzupełnienie ubytków jamy ustnej przy pomocy implantów stomatologicznych. Jeszcze do niedawna głównym powodem podejmowania się leczenia implantacyjnego była jedynie estetyka oraz komfort psychiczny pacjentów. Nauka usłyszała o implantach stomatologicznych dopiero 30 lat temu, dzięki pracy zaprezentowanej przez Per-Ingvar'a Brånemark'a [4]. Zapoczątkował on badania, nie tylko nad estetycznym wpływem systemów implantów na szczękę pacjentów, ale także nad biologicznymi aspektami wprowadzania tytanowej śruby w kość oraz nad bezpieczeństwem metody leczenia. Postęp technologiczny umożliwił również prace nad wytrzymałością i trwałością poszczególnych elementów składających się na konstrukcję implantu stomatologicznego [4, 13].

Obecnie implantologia dysponuje szerokim wachlarzem różnorodnych metod oraz materiałów stosowanych na implanty dentystyczne. Mimo to, bardzo często spotyka się przypadki wybiegające poza przyjęte metody leczenia implantacyjnego. Najczęstsze problemy stwarza wpływ kształtu implantu na procesy osteointegracji z kością pacjenta oraz kształt korony zęba przyklejanej do łącznika. Znany problemem, z którym borykają się dentyści na całym świecie, jest konieczność zamontowania na łączniku korony zęba z nawisem większym niż standardowo jest to stosowane. Dzieje się tak w przypadkach, gdy średnica instalowanego implantu musi być znacznie mniejsza od zalecanej. Zbyt duży nawis prowadzi do wykuszania się kleju, który jest spoiwem korony z metalowym łącznikiem. Ostatecznie prowadzi to do odpadnięcia korony z konstrukcji implantu.

2. POŁĄCZENIE KLEJONE

W protetyce stomatologicznej stosuje się powszechnie dwie metody osadzania korony zęba na łączniku [6]:

- przykręcanie,
- klejenie (cementowanie).

Przykręcanie korony jest metodą nieskomplikowaną i korzystną finansowo dla szybkiego uzupełnienia ubytków jamy ustnej pacjenta. Polega na zamontowaniu w implancie standardowego łącznika lub z pochyłem 15°, 20° lub 30°. Na nim umieszczana jest korona z otworem dla śrub, którymi przykręcana jest górna część konstrukcji. Następnie otwory zostają zalakowane [5, 6]. Takie rozwiązanie jest wytrzymałe i trwałe, jednak dość problematyczne, gdy występuje konieczność wymienienia korony zęba na nową. Końcowy efekt jest mniej estetyczny niż ten, który uzyskuje się przy zastosowaniu cementowania.

Cementowanie jest popularniejszym sposobem i stosowane jest znacznie częściej niż przykręcanie korony zęba śrubami mocującymi. Zapewnia znacznie lepszy efekt estetyczny, ze względu na brak widocznych miejsc lakowania otworów na śruby [6]. Połączenie klejone pomiędzy łącznikiem a koroną nie jest tak wytrzymałe jak przykręcanie, jednak nie przeszkadza to w codziennym funkcjonowaniu szczęki pacjenta. Dodatkowo ułatwia kontrolowanie procesu osadzenia korony, a w razie potrzeby – jej usunięcie bez konieczności rozwiercania laku.

Rozwiązanie to nie jest jednak pozbawione wad. Problemem w tym sposobie łączenia jest wykruszanie się kleju pod wpływem dużego i zmiennego obciążenia złącza. Taką sytuację obserwuje się szczególnie wtedy, gdy występuje konieczność osadzenia na łączniku korony o nietypowym kształcie, jak np. koronę z nadmiernym, jedno- lub dwustronnym nawisem. Pod wpływem wykonywanej pracy szczęki pacjenta połączenie może ulec uszkodzeniu, co w konsekwencji prowadzi do wypadnięcia korony zęba z konstrukcji implantu.

Badania symulacyjne przeprowadzone na koronie zęba bez nawisu i z nawisem wykazują, że występowanie nawisu, który swoją wielkością nie przekracza 3 mm w stosunku do korony dopasowanej standardowymi metodami, może wpływać bardzo negatywnie na konstrukcję i stabilizację implantu stomatologicznego. W tabeli 1 przedstawiono autorskie wyniki badań, które wstępnie określają wartości maksymalnych naprężeń w połączeniu klejonym [14].

Tabela 1. Wyniki analizy dla korony z nawisem i korony bez nawisu [14]

Siła	Wartości maksymalne naprężenia według hipotezy Hubera-Misesa	
	Korona z nawisem jednostronnym	Korona bez nawisu
100N	120 MPa	14 MPa
200N	241 MPa	27 MPa
500N	600 MPa	68 MPa

Oprócz sił okluzyjnych, na połączenie ma również wpływ środowisko biologiczne jamy ustnej, które negatywnie wpływa na strukturę implantu oraz na wytrzymałość materiałów protetycznych [9]. W literaturze brak efektywnych badań eksperymentalnych górnego połączenia konstrukcji implantu, które określiłyby wytrzymałość połączenia klejonego pomiędzy standardowym metalowym łącznikiem a cyrkonową koroną zęba.

3. CHARAKTERYSTYKA KLEJÓW

Klejeniem nazywa się łączenie minimum dwóch komponentów przy pomocy cienkiej warstwy substancji scalającej te elementy. Ten rodzaj łączenia nie wpływa na strukturę klejonych materiałów, zachowując jej własności materiałowe, wytrzymałościowe oraz kształt powierzchni. Klejenie dodatkowo jest bardzo ekonomicznym rodzajem połączenia różnych rodzajów materiałów, a w związku z tym znalazło zastosowanie w wielu różnorodnych dziedzinach [17].

W stomatologii swoje zastosowanie znalazły cementy kompozytowe, które zaliczane są do klejów. Cementy kompozytowe charakteryzują się [15, 16]:

- bardzo dobrymi właściwościami mechanicznymi,
- największą wytrzymałością na ściskanie i rozciąganie,
- największą siłą wiązania z tkankami i materiałami,
- największą szczelnością,
- barwą zbliżoną do naturalnego zabarwienia powierzchni zębów,
- możliwością zastosowania jako materiał odbudowy ubytku w zębie.

Rozróżnia się kilka rodzajów cementów kompozytowych [15]:

- cementy kompozytowe konwencjonalne – twarde, odporne na ścieranie, zapewniają odpowiednie załamanie światła na podobieństwo naturalnych zębów. Wymagają precyzji przy nakładaniu, w związku z czym prace protetyczne są obciążone większym ryzykiem niepowodzenia,
- cementy kompozytowe samotrawiące – siła ich wiązania jest mniejsza od wyżej przytaczanych, jednak ich wytrzymałość jest wyższa. Rzadko obserwowana jest nadwrażliwość pozabiegowa,
- cementy kompozytowe samoadhezyjne – tak zwane żywice. Nie wymagają zastosowania żadnego systemu wiążącego. Wytrzymałość ich połączenia ze jest bardzo niska, ale nie wykazują wrażliwości na termocykliczne obciążenie oraz długotrwałe przechowywanie w wodzie.

Ogólnie można stwierdzić, że cementy kompozytowe stosowane w pracach protetycznych powinny spełnić jednocześnie kilka wymogów [1]:

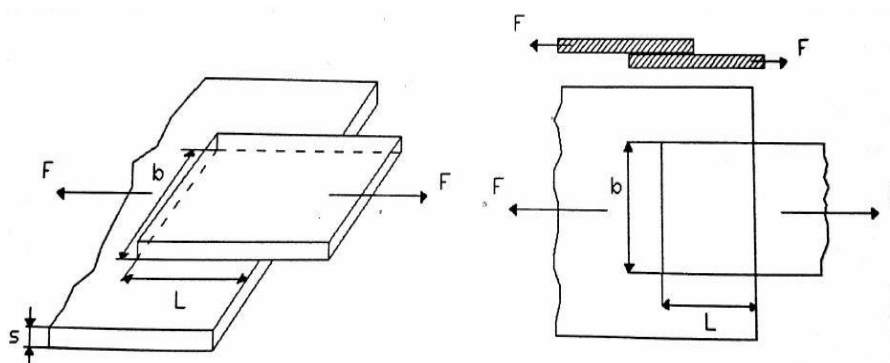
- być niedrażniące,
- nietoksyczne,
- biokompatybilne,
- wykazywać właściwości antibakteryjne,
- zdolne do łączenia się ze szkliwem, z zębina oraz materiałami stomatologicznymi oraz protetycznymi,
- nie powinny wykazywać mikroprzecieków,
- nie mogą rozpuszczać się w ślinie i płynach spożywczych,
- powinny posiadać odpowiednie właściwości mechaniczne, głównie odpowiednią wytrzymałość,
- być odporne na ścieranie,
- wykazywać minimalny skurcz pod wpływem twardnienia,
- posiadać odpowiedni czas trwania plastyczności zanim stwardnieją,
- łączyć zarówno przygotowane jak i nieprzygotowane powierzchnie materiałów [2].

4. MATERIAŁY I METODY

Wytrzymałość każdego rodzaju połączenia różnorodnych materiałów zależy od kilku kryteriów. Najważniejsze z nich to [2]:

- typ przylegania,
- własności materiałowe spoiwa,
- przygotowanie powierzchni materiałów,
- grubość powłoki spoiwa,
- temperatura klejenia,
- starzenie się materiału klejonego oraz samego kleju.

Najczęściej wytrzymałość danego połączenia bada się na ścinanie, rozciągając i ściskając dwie płytki materiału odpowiednich rozmiarów połączonech badanym spoiwem, spełniając zakładane kryteria (rys. 1).



Rys.1. Schemat badania połączenia dwóch płytek materiałów złączonych spoiwem, gdzie: F – siła, L – długość przyklejonej części płytki, b – szerokość przyklejonej części płytki, s – grubość płytki [2]

Do podstawowych obliczeń wytrzymałościowych złączy klejonych niezbędne jest wyznaczenie wartości modułu sprężystości samego kleju. W tym celu bada się próbki kleju wycięte z bloku utwardzanego kleju lub odlewane [8]. Planowane badania zakładają użycie popularnego stomatologicznego kleju kompozytowego o nazwie handlowej RelyX, którego wartość modułu sprężystości oraz pozostałych właściwości wytrzymałościowych zaczerpniętych od producenta zamieszczono w poniższej tabeli 2.

Tabela 2. Właściwości wytrzymałościowe kleju RelyX [15]

Właściwości wytrzymałościowe kleju kompozytowego RelyX podane przez producenta	Wartość [MPa]
Moduł sprężystości	3 900
Wytrzymałość na ściskanie	216
Wytrzymałość na rozciąganie	44,5
Wytrzymałość na zginanie	60
Twardość wg Vickersa	44

Kleje RelyX są ogólnie cementami na bazie tlenku cynku. Nie zawiera eugenolu w swoim składzie. Zapewnia to uniwersalność zastosowania produktu. Stosowany jest najczęściej podczas wykonywania precyzyjnych uzupełnień oraz przy osadzaniu tymczasowych, a także ostatecznych koron i mostów stomatologicznych. Zapewnia mocne połączenie z materiałami stomatologicznymi i protetycznymi, a także z metalowymi łącznikami [1].

Materiałem stomatologicznym, który wykorzystuje się w ostatnich latach coraz częściej jest tlenek cyrkonu. Stosowany jest na korony zębów, a także na łączniki, na których korony są osadzane. Badania nad jego zastosowaniem w stomatologii rozpoczęto dopiero od lat 90-tych XX wieku [7].

Główne zalety stosowania tlenku cyrkonu to [12]:

- odporność na korozję,
- duża twardość,
- wytrzymałość mechaniczna,
- największa wytrzymałość na zginanie spośród materiałów stomatologicznych i protetycznych,
- ograniczona możliwość rozprzestrzeniania się mikropęknięć w strukturze,
- dobre właściwości izolacyjne,
- brak negatywnych skutków jego oddziaływania na organizmy żywe,
- biokompatybilność,
- odpowiednia barwa,
- niski współczynnik porowatości,
- porównywalna wartość modułu sprężystości do stali, wynoszący 200 GPa,
- cementy kompozytowe zapewniają wytrzymałe klejenie elementów z tlenku cyrkonu,
- szacowana trwałość prac na podbudowie cyrkonowej wynosi 20 lat.

Drugim materiałem protetycznym najczęściej stosowanym w połączeniu klejonym jest stop kobaltowo-chromowy. Stosowany jest na metalowe elementy implantu stomatologicznego: śrubę mocującą oraz łącznik. Moduł sprężystości takiego stopu wynosi 220 GPa [10]. Głównym powodem stosowania tego typu materiału jest jego odporność na korozję.

Chrom zwiększa twardość stali i odgrywa znaczącą rolę w stopach wykorzystywanych na narzędzia protetyczne, zastosowanie chromu w większych ilościach (12÷30%) zapewnia właściwości antykorozyjne. Kobalt zwiększa znacząco twardość stali [3].

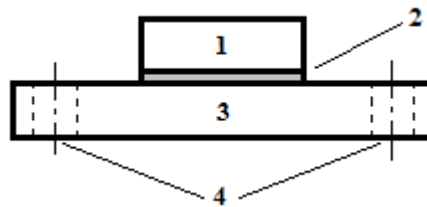
Równie często wykorzystywanym materiałem na elementy metalowe jest stal nierdzewna. Główną zaletą materiału jest odporność na korozję oraz wytrzymałość.

5. SCHEMAT POŁĄCZENIA KLEJONEGO

W pracy [18] zastosowane zostały dwie beleczki z dwutlenku cyrkonu o wymiarach 8 x 1,5 x 1,5 mm połączone klejem RelyX U200, które poddano badaniom wytrzymałości na ścinanie w specjalnie zaprojektowanym do tego celu urządzeniu.

Zakłada się, że próbki do omawianego stanowiska wykonane zostaną w podobny sposób, ale wykorzystane zostaną dwa rodzaje materiałów, w przeciwieństwie do wyżej przytaczanych badań. Pierwszym z nich zostanie stal nierdzewna lub stop kobaltowo-chromowy, często wykorzystywane na metalowy łącznik w górnym połączeniu implantu stomatologicznego. Drugim materiałem będzie tlenek cyrkonu, z którego ostatecznie wykonuje się korony zębów oraz mosty. Spoiwem zostanie klej stomatologiczny o handlowej nazwie RelyX bez eugenolu w swoim składzie.

Na podstawie próbki wykorzystywanej w pracy [18], norm oraz założeń projektowych zaproponowany został nowy kształt i geometria próbki do stanowiska. Schemat połączenia klejonego został przedstawiony na rysunku 2.



Rys.2. Schemat połączenia klejonego, gdzie: 1 – element wykonany z tlenku cyrkonu lub stopu kobaltowo-chromowego, 2 – klej stomatologiczny na bazie tlenku cynku, 3 – element wykonany ze stali nierdzewnej, 4 – otwory na śruby mocujące próbkę w stanowisku

6. STANOWISKO DO BADAŃ WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH

Stanowisko ma posłużyć do badań wytrzymałościowych połączenia klejonego stosowanego w implantach stomatologicznych. Zakłada się przeprowadzenie badań z wykorzystaniem wzbudnika elektromagnetycznego jako źródła siły wymuszającej. Schemat projektu stanowiska został przedstawiony na rysunku 3.

Projekt składa się z czterech głównych elementów:

- wzbudnika elektromagnetycznego,
- czujnika siła,
- uchwytu regulowanego,
- uchwytu stałego.

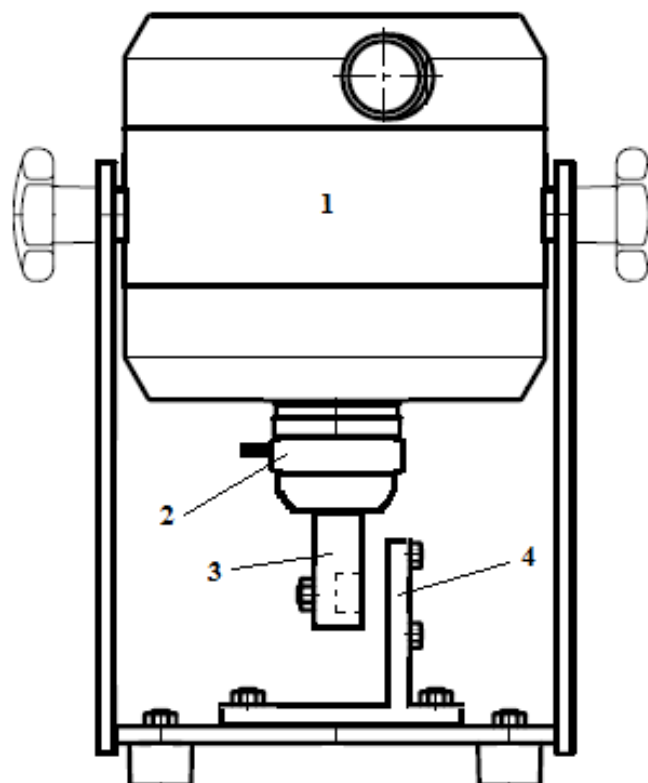
Wzbudnik elektromagnetyczny stanowi źródło siły działającej na zamontowaną próbkę.

Czujnik siły służy do rejestracji wytwarzanej siły podczas badania. Regulowany uchwyt stanowi integralną część stanowiska. Regulacja zapewnia jego dobre dopasowanie do wymiarów jednego z dwóch elementów połączenia klejonego, niwelując luki lub szczeliny.

Stały uchwyt przymocowany do ramy stanowi utwierdzenie dla stalowego elementu połączenia klejonego, które jest do niego przykręcane.

Prace zakładają testy z uwzględnieniem wpływu temperatury na trwałość złącza, ze względu na występujące zmiany cieplne w jamie ustnej [11]. Zakłada się zamontowanie miseczki wypełnionej substancją przypominającą ludzką ślinę o odpowiedniej temperaturze. W niej przeprowadzone zostanie badanie, aby maksymalnie odzwierciedlić warunki działające na połączenie klejonego.

Proponowane stanowisko stanowi projekt, koncepcję urządzenia do badań wytrzymałościowych, które jest w fazie konstruowania. Zaraz po zakończeniu przygotowywania stanowiska, zostaną uruchomione badania wstępne wykonywane według przytoczonych kryteriów.



Rys.3. Schemat stanowiska badawczego, gdzie: 1 – wzbudnik elektromagnetyczny, 2 – czujnik siły, 3 – regulowany uchwyt na część połączenia klejonego, 4 – uchwyt stały, do którego przykręcana jest próbka

7. WNIOSKI

Stanowisko do badań wytrzymałościowych połączenia klejonego może służyć pogłębieniu wiedzy z zakresu badań nad wytrzymałością złącza metalowego łącznika z cyrkonową koroną przy zastosowaniu kleju stomatologicznego – np. cementu kompozytowego. Ułatwi to wyznaczanie własności mechanicznych tego typu połączeń. Wyniki badań i ich analiza znacznie ułatwią szacowanie trwałości tego rodzaju połączenia w implancie zamontowanym docelowo w szczęce pacjenta. Brak efektywnych wyników badań utrudnia powodzenie leczenia implantacyjnego i szans na jego prawidłowy przebieg. Dodatkowo prace badawcze umożliwią dalsze działania w kierunku określenia maksymalnego nawisu korony dla różnych średnic śrub implantów oraz dla przypadków niestandardowych.

LITERATURA

- [1] 3M ESPE: materiały produktów firmy – RelyX.
- [2] Adin H., Deniz M.E.: Investigation of the effect of different variables on strength of adhesive joints. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, no. 45, 2014, p.869-878.
- [3] Bańkowski Z. (pod red.): Mały poradnik mechanika. Nauki matematyczno-fizyczne i ogólnotechniczne. Wydanie czternaste. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1976.
- [4] Brånemark P-I.: *The Osseointegration Book: From Calvarium to Calcaneus*. 1 edition. Berlin; Chicago: Quintessence Pub Co, 2006.
- [5] CAMLOG: CONELOG® Implant System. Katalog produktów 2012.

- [6] CAMLOG: Zbiór przypadków klinicznych. Zeszyt 1: Implantacje z wykorzystaniem systemów CAMLOG®.
- [7] Conrad H.J., Seong W.J., Pesun I.J.: Current ceramic materials and systems with clinical recommendations: a systematic review. *J. Prosthet. Dent.*, no. 98, 2010, p.389-404.
- [8] Godzimirski J., Tkaczuk S.: Określanie właściwości mechanicznych spoin klejowych. *Technologia i Automatyzacja Montażu*, nr 3-4, 2004, s.95-97.
- [9] Hajduga M., Zdziech T.: Wpływ środowiska jamy ustnej na uzupełnienie protetyczne metalowo-ceramiczne. *Mechanika w Medycynie*, Rzeszów 2010, s.71-77.
- [10] Kayabasi O., Yüzbasioglu E., Erzincanli F.: Static, dynamic and fatigue behaviors of dental implant using finite element method. *Advantages in Engineering Software*, no. 37, 2006, p.649-658.
- [11] Kordos P., Hunicz J., Niewczas A.: Stanowisko do przyspieszonych badań zmęczeniowych materiałów stomatologicznych. *Maintenance and Reliability*, nr 1, 2009, s.63-69.
- [12] Lasek K., Okoński P., Mierzwińska-Nastalska E.: Tlenek cyrkonu – właściwości fizyczne i zastosowanie kliniczne. *Protetyka Stomatologiczna*, nr 6, 2009, s.415-422.
- [13] Lazzara J. R.: Cechy systemu implantów stomatologicznych i ich potencjalny wpływ na uzyskanie i utrzymanie efektu estetycznego. *Implants*, nr 4, 2012, s. 20-26.
- [14] Materac A., Niesłony A.: Analiza stanu naprężenia w połączeniu łącznik-korona dla korony zęba z nawisem. *Aktualne Problemy Biomechaniki*, nr 9, 2015, s.79-82.
- [15] Marzec-Gawron M., Michalska S., Dejak B.: Właściwości współczesnych cementów kompozytowych oraz ich mechanika wiązania do szkliwa i zębiny. *Protetyka Stomatologiczna*, nr 3, 2012, s.173-180.
- [16] Mik A.: *Cementy w medycynie*. Laboratoria.net, 2013.
- [17] Osiński Z. (pod red.): *Podstawy Konstrukcji Maszyn*. Wydanie drugie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.
- [18] Wirwicki M., Topoliński T.: Shear strength testing of bonded joints of dental materials. *Solid State Phenomena*, no. 224, 2015, p.198-203.

ADHESIVE CONNECTION STRENGTH TESTING STAND CONCEPTION USED IN DENTAL PROSTHETIC

Abstract: Adhesive connection can be damage under the influence of the patient's jaw functioning, which leads to falling off the crown from the abutment. Strength testing stand for adhesive connection can bring many benefits to science and research. Such studies will greatly facilitate the estimation of fatigue life of this type of connection in the implant assembled in the jaw of the patient.