POSTĘPY W INŻYNIERII MECHANICZNEJ
DEVELOPMENTS IN MECHANICAL ENGINEERING
3(2)/2014, 67-73
Czasopismo naukowo-techniczne – Scientific-Technical Journal

Mateusz WIRWICKI, Tomasz TOPOLIŃSKI

WPROWADZENIE DO BADAŃ POŁĄCZEŃ ADHEZYJNYCH MATERIAŁÓW STOMATOLOGICZNYCH

Streszczenie: Badania wytrzymałościowe pełnią bardzo dużą rolę w poznaniu zjawiska adhezji. Człowiek i zwierzęta wykorzystują zjawisko adhezji na co dzień. Zjawisko to w stomatologii odgrywa znaczącą rolę, ponieważ większość materiałów stomatologicznych stosowanych w wypełnieniach, koronach czy mostkach dzięki temu zjawisku może połączyć się z zębem naturalnym. W pracy przedstawiono wstępną analizę zjawisk wpływających na wartość sił adhezji oraz przegląd literatury dotyczącej badań wytrzymałościowych w dentystyce. Dokonano klasyfikacji tych badań na podstawie obiektów, przebiegu obciążeń i ich rodzajów. Opisano próbki do badań.

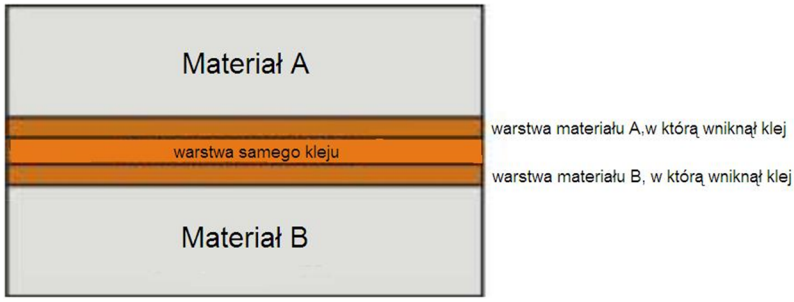
Słowa kluczowe: dentystyka, adhezja, badania wytrzymałościowe, połączenia klejowe

1. WSTĘP

Badania wytrzymałościowe połączeń klejowych wykonuje się dla poznania procesu klejenia, określenia jego wad i zalet, oceny odporności adhezyjnej. Substancję klejącą – organiczną lub nieorganiczną, mającą własność łączenia materiałów, wprowadza się pomiędzy dwie powierzchnie wykonane z tych samych lub różnych materiałów, co pozwala na połączenie ich w procesie klejenia (rys. 1). Kleje są materiałami, które oddziałują powierzchniowo – ich główną cechą jest zwiększanie sił adhezji pomiędzy klejonymi powierzchniami. Adhezja jest wynikiem sumy oddziaływań międzycząsteczkowych i atomowych na powierzchniach łączonych ciał (adhezja właściwa) powiązanych z przygotowaniem tych powierzchni (adhezja mechaniczna) [1]. Wyznacznikiem adhezji jest praca odniesiona do pola powierzchni łączonych, którą trzeba wykonać, aby rozłączyć połączone ciała. Adhezja właściwa wynika z oddziaływań międzycząsteczkowych i atomowych, będących efektem kompleksowych oddziaływań na granicy faz; głównym czynnikiem odróżniającym je od reakcji chemicznej jest pojawienie się nietrwałych wiązań chemicznych pomiędzy powierzchniami. Zjawisko adhezji można zauważyć również w naszym otoczeniu podaczas malowania i klejenia oraz stosowania kartek i taśm samoprzylepnych. Celem pracy

mgr inż. Mateusz WIRWICKI, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Wydział Inżynierii Mechanicznej, ul. prof. S. Kaliskiego 7, 85-789 Bydgoszcz, e-mail: wirwicki@utp.edu.pl
prof. dr hab. inż. Tomasz TOPOLIŃSKI, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Wydział Inżynierii Mechanicznej, ul. prof. S. Kaliskiego 7, 85-789 Bydgoszcz,
e-mail: tomasz.topolinski@utp.edu.pl

jest prezentacja zjawisk odpowiedzialnych za adhezję, klasyfikacja badań wytrzymałościowych dla układu ząb – wypełnienie, korona, implant.



Rys. 1. Struktura połączenia adhezyjnego[1]
Fig. 1. Structure of adhesive joint [1]

2. PROCES KLEJENIA

Istnieje wiele hipotez dotyczących tworzenia odpowiedniej wartości sił adhezji. W pracy [1] wymienia się na podstawie przeglądu 20 pozycji literatury z lat 1989-2005 następujące rodzaje zjawisk i występujących sił decydujących o siłach adhezji:

- adhezja adsorpcyjna – decyduje różnica pomiędzy stanem energetycznym wewnątrz i na powierzchni materiału,
- siły kowalencyjne wiązań chemicznych – siła adhezji zależy od aktywności cząstek zaadsorbowanych i stanu energetycznego powierzchni,
- wiązania wodorowe – siła adhezji zależy od istnienia czy też nie wiązań wodorowych międzycząsteczkowych i wewnątrzcząsteczkowych,
- siły van der Waalsa – o sile adhezji mogą decydować także wartości sił pomiędzy cząsteczkami gazowymi a materią stałą,
- adhezja elektryczna – o sile adhezji decyduje przyciąganie elektrostatyczne podwójnej warstwy elektrycznej skleiny,
- adhezja dyfuzyjna – wykorzystywana do interpretacji zjawisk wyłącznie w połączeniach, w których klej przynajmniej częściowo rozpuszcza materiał podłoża.

Część z powyższych hipotez jest dyskusyjna, a pełna interpretacja zjawisk zachodzących przy klejeniu trudna.

Producenci klejów, także dentystycznych, zdając sobie sprawę z powyższych hipotez, przygotowują odpowiednie ich składy, ale dbają także o odpowiednie procedury klejenia i zapewnienie dbałości o adhezję mechaniczną. Zalecają zatem właściwe czyszczenie powierzchni przed klejeniem, tj. [2]:

- obróbkę chemiczną – wytrawianie,
- obróbkę ścierną – czyszczenie materiałami ściernymi,
- odtłuszczanie – przemywanie rozpuszczalnikami,

- aktywowanie powierzchni,
- lakierowanie.

Kolejnym krokiem jest odpowiednia procedura klejenia, która obejmuje:

- oczyszczanie powierzchni metodami chemicznymi lub mechanicznymi,
- przygotowanie masy klejącej,
- dokładne nałożenie warstwy kleju,
- utwardzenia skleiny w odpowiedniej temperaturze z zachowaniem właściwego docisku (przy właściwym dawkowaniu energii),
- oczyszczeniu skleiny.

Procedury takie dotyczą także połączeń klejowych dentystycznych.

Warto zwrócić uwagę, że złożoność zagadnienia związana z właściwościami adhezyjnymi warstwy wierzchniej łączonych materiałów wynika nie tylko ze złożoności procesu adhezji, ale również jego nieliniowości [1]. Powoduje to, że analizy połączeń klejowych oparte na liniowych charakterystykach kleju i właściwości warstwy wierzchniej mogą prowadzić do znacznych odstępstw wytrzymałości obliczeniowej od wytrzymałości rzeczywistej tych połączeń.

3. BADANIA POLĄCZEŃ KLEJONYCH W DENTYSTYCE

Badania połączeń materiałów dentystycznych, w zdecydowanej większości połączeń klejowych, można podzielić na badania, w których ocenia się wytrzymałość materiałów stanowiących składowe połączenia, tj. samych zębów i samych syntetycznych materiałów dentystycznych. W tym przypadku analizy są związane z różnymi sposobami obciążenia zębów naturalnych w zależności od ich usytuowania w szczękach i sprawowania różnych funkcji oraz różnej ich budowy i próbami porównań z zębami syntetycznym i materiałami przy przeniesieniu rodzajów i wielkości obciążenia z analiz zębów naturalnych. Zdecydowanie rzadsze są analizy samych połączeń. Drugim podstawowym kryterium podziału publikowanych prac dotyczących wytrzymałości materiałów dentystycznych naturalnych i sztucznych, w tym także połączeń, są badania przy różnej zmienności obciążenia. W przypadku obciążeń statycznych analizy związane są z doraźnym uszkodzeniem badanych materiałów, co można odnieść do np. wyłamania zęba, jego ukruszenia, pęknięcia doraźnego itp. Do obciążeń cyklicznych w analizach należy uwzględnić sumujące się defekty właściwe obciążeniom o mniejszych wartościach, ale pojawiające się w sposób cykliczny odpowiadający procesom odgryzania i żucia.

Pierwszą grupę badań można podzielić na badania [24]:

- zębów naturalnych ludzkich, np. [3-12, 19, 21, 23, 25, 27, 28],
  a te podzielić można na badania:
  - siekaczy, np. [9, 10, 11],
  - zębów przedtrzonowych [3, 5],
  - zębów trzonowych [4, 8],

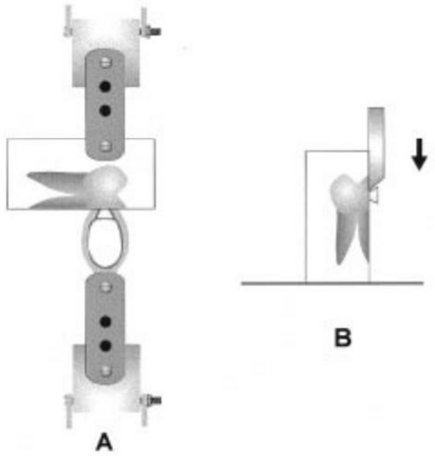
- zębów sztucznych, np. [13-15],
- zębów bydlęcych, np. [20, 22]
- materiałów dentystycznych, np.:
  - żywic polimerowych [16-18],
  - cementu dentystycznego [19],
  - technologii łączenia [6, 16].

Drugą kategorią jest podział ze względu na przebieg obciążenia. Prowadzone badania można podzielić na:

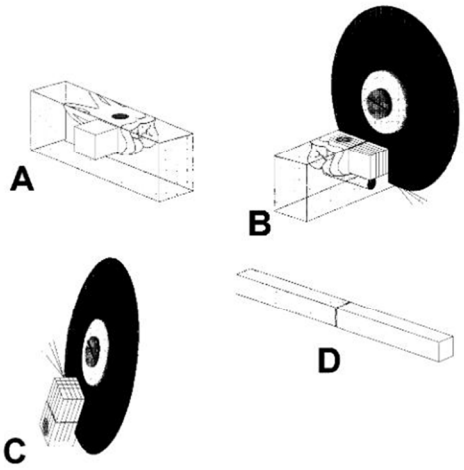
- statyczne, np. [4, 14-16, 18-21, 28],
- dynamiczne, np. [3-15, 17, 18, 26, 9], w tym:
  - wysokocyklowe [3, 8, 11, 18, 13, 23],
  - niskocyklowe [3, 9, 10, 12, 23, 25, 27, 28].

We wszystkich tych przypadkach elementy badane mogą być poddawane rozciąganiu, np. [4], ścinaniu, np. [9], rozciąganiu (ściskaniu) i zginaniu, np. [10, 19].

Badania prowadzone są na kompletnych zębach, zębach poklejonych czy wypełnionych. Przykładowe obciążeniowe schematy badawcze dla całych obiektów – za pracą [9] – przedstawiono na rysunku 2. Zdecydowanie bardziej złożone, z uwagi na wielkość próbek, są badania na próbkach, które stanowią materiał zębny naturalny połączony skleiną z wypełniaczem, koroną czy implantem. Próbki te uzyskuje się jako beleczki o kształcie prostopadłościanów cięte w pakiecie sklejonego (wypełnionego) zęba. Przekrój poprzeczny takiej beleczki zwykle nie przekracza 2 mm^2. Sposób uzyskiwania takich próbek, jako przykładowy, przedstawiono na rysunku 3 – za [9].



Rys. 2. Schemat: A – rozciągania próbki, B – ścinania [9]
Fig. 2. Diagram: A – tensile test apparatus, B – shear test apparatus [9]



Rys. 3. Schemat przygotowywania próbek do mikrorozciągania, A – doklejenie próbki do zęba, B – docięcie wzdłużne, C – docięcie poprzeczne, D – próbka do mikro rozciągania [9]
Fig. 3. Schema of sample preparation for micro-tensile: A – appending the sample to the tooth, B – longitudinal cutting, C – cross-cutting, D – micro tensile specimen [9]

Zdecydowana większość prezentowanych w literaturze wyników badań wskazuje, że materiały klejowe są podatne na starzenie. Ich wytrzymałość długotrwała jest zróżnicowana i zależy od wielu czynników, między innymi i od wilgotności – stąd badania w środowisku wodnym czy sztucznej ślinie.

4. PODSUMOWANIE

Wielość hipotez tłumaczących powstawanie, wartość i trwałość sił adhezji w połączeniach klejowych oraz szerokie możliwości przygotowania powierzchni do klejenia, a także znaczna liczba czynników zakłócających proces eksploatacji powodują brak jednoznacznych normatywów badań rozważanych połączeń w dentystyce. Bada się bardzo zróżnicowane obiekty przy bardzo zróżnicowanych obciążeniach, co oczywiście poszerza wiedzę na temat połączeń klejonych w dentystyce w ogólności, ale z punktu widzenia aplikacji z korzyścią dla pacjenta jest to nie najlepsze podejście do rozważanych zagadnień. Stąd wydaje się koniecznością opracowanie eksperymentalnej metodyki normatywnej, dającej zasadniczą odpowiedź, które kleje i z jakimi materiałami dają największą pewność i trwałość dla standardowych obciążeń. Odpowiedź ta w połączeniu z ceną mogłaby stanowić podstawę decyzji pacjenta dotyczącą wyboru materiałów dentystycznych.

LITERATURA

[1] ATTIA A., ABDELAZIZ K.M., FREITAG S., KERN M.: Fracture load of composite resin and feldspathic all-ceramic CAD/CAM crowns. J Prosthet Dent, 2006, Vol. 95, No. 2, 117-123.
[2] BAJAJ D,, NAZARI A., EIDELMAN N., AROLA D.D.: A comparison of fatigue crack growth in human enamel and hydroxyapatite. Biomaterials, 2008, Vol. 29, 4847-4854.

[3] BARKMEIER W.W., ERICKSON R.L., LATTA M.A.: Fatigue limits of enamel bonds with moist and dry techniques. Dental materials journal, Vol. 25(12), 1527-1531.
[4] BELLI S., OZÇOPUR B., YEŞILYURT C., BULUT G., DING X., DORSMAN G.: The effect of loading on microTBS of four all-in-one adhesives on bonding to dentin. J Biomed Mater Res B Appl Biomater, Vol. 91(2), 948-956.
[5] BRAEM M.: Microshear fatigue testing of tooth/adhesive interfaces. The Journal of adhesive dentisty, Vol. 2, 249-253.
[6] BRAEM M.: Microshear Fatigue Testing of Tooth/Adhesive Interfaces. J Adhes Dent., 2007, Vol. 9, Supplement 2, 249-253.
[7] BOLHUIS P., DE GEE A., FEILZER A.: Influence of fatigue loading on four post-and-core systems in maxillary premolars. Quintessence Int., 2004, Vol. 35, No. 8, 657-667.
[8] BIJELIC J., GAROUSHI S., VALLITTU P.K., LASSILA L.V.: Fracture load of tooth restored with fiber post and experimental short fiber composite. The Open Dentistry Journal, Vol. 5, 58-65.
[9] CARDOSOSO P., BRAGA R., CARRILHO M.: Evaluation of micro-tensile, shear and tensile tests determining the bond strength of three adhesive systems. Dent Mater 14, 394-398.
[10] DRUMMOND J.L.: Degradation, fatigue and failure of resin dental composite materials. J Dent Res., 2008, Vol. 87, No. 8, 710-719.
[11] DOMIŃCZUK J.: Właściwości adhezyjne warstwy wierzchniej materiałów konstrukcyjnych. Postępy Nauki i Techniki, nr 9, 2011, 28-37.
[12] EL-MOWAFY O., RUBO M.: Retention of a Posterior Resin-Bonded Fixed Partial Denture with a Modified Design: An In Vitro Study. The International Journal of Prosthodontics, 2000, Vol. 13, No. 9, 425-431.
[13] GAROUSHI S.K., LASSILA L.V.J., VALLITTU P.K.: Fatigue Strength of Fragmented Incisal Edges Restored with a Fiber Reinforced Restorative Material. The Journal of Contemporary Dental Practice, 2007, Vol. 8, No. 2, 1-10.
[14] GOTO Y., NICHOLLS J.I., PHILLIPS K.M., JUNGE T.: Fatigue resistance of endodontically treated teeth restored with three dowel-and-core systems. J Prosthet Dent., 2005, Vol. 93, No. 1, 45-50.
[15] GATEAU P., SABEK M., DAILEY B.: Fatigue testing and microscopic evaluation of post and core restorations under artificial crowns. J Prosthet Dent., 1999, Vol. 82, No. 3, 341-347.
[16] HERION T., FERRACANE J.L., COVELL D.A. Jr.: Three Cements Used for Orthodontic Banding of Porcelain Molars. Angle Orthod., 2007, Vol. 77, No. l, 94-99.
[17] HUANG H.H., LIN M.C., LIN C.C., HSU C.C., CHEN F.L., LEE S.Y., HUNG C.C.: Effects of welding pulse energy and fluoride ion on the cracking susceptibility and fatigue behavior of Nd: YAG laser-welded cast titanium joints. Dent Mater J., 2006, Vol. 25, No. 3, 632-640.
[18] HEYDECKE G,, BUTZ F., HUSSEIN A., STRUB J.R.: Fracture strength after dynamic loading endodontically treated teeth restored with different post- and-core systems. J Prosthet Dent, 2002, Vol. 87, No. 4, 438-445.
[19] HSU Y.B., NICHOLLS J.I., PHILLIPS K.M., LIBMAN W.J.: Effect of Core Bonding on Fatigue Failure of Compromised Teeth. The International Journal of Prosthodontics, 2002, Vol. 15, No. 2, 175-178.
[20] INOUE T., NISHIMURA F., DEBARI K., KOU K., MIYAZAKI T.: Fatigue and tensile properties of radicular dentin substrate. Journal of Biomechanics 2011, Vol. 44(4), 586-59.
[21] LOHER H,, BEHR M., HINTEREDER M., ROSENTRITT M., HANDEL G.: The impact of cement mixing and storage errors on the risk of failure of glass-ceramic crowns. Clin Oral Invest, 2009, Vol. 13, No. 2, 217-222.
[22] LI B.H., ZHAO X., BAO Y., AI H.J.: Resistance to cyclic fatigue of pulpless teeth with flared root canals restored with three kinds of post-and-cores. Shanghai Kou Qiang Yi Xue, Vol. 18, s. 69-72.

[23] MINAMI H., SUZUKI SH., MINESAKI Y., KURASHIGE H., TANAKA T.: In Vitro Evaluation of the Effect of Thermal and Mechanical Fatigues on the Bonding of an Auto-polymerizing Soft Denture Liner to Denture Base Materials Using Different Primers. Journal of Prosthodontics, 2008, Vol. 17, 392-400.
[24] RITTER J.E.: Critique of test methods for lifetime predictions. Dent. Matter., 1995, 11, 147-151.
[25] SINGH V, MISRA A, MARANGOS O, PARK J, YE Q, KIEWEG SL, SPENCER P.: Viscoelastic and fatigue properties of model methacrylate-based dentin adhesives. Journal of Biomedical materials research 2010, Vol. 95(2), 283-290.
[26] STELLINI E., STOMACI D., ZUCCON A., BRESSAN E., FERRO R., PETRONE N., FAVERO L., MAZZOLENI S.: Tooth fragment reattachment through the use of a nanofilled composite resin. European Journal of Paediatric Dentisty, Vol. 11(2), 77-81.
[27] TOPOLIŃSKI T., WIRWICKI M.: Metodologia badań wytrzymałościowych próbek zębnych klejonych. Journal of Polish Cimac, Vol. 6, No. 3.
[28] ZAHRAN M., EL-MOWAFY O., TAM L., WATSON P.A., FINER Y.: Fracture Strength and Fatigue Resistance of All-Ceramic Molar Crowns Manufactured with CAD/CAM Technology. Journal of Prosthodontics, 2008, Vol. 17, 370-377.

INTRODUCTION TO RESEARCH CALLS ADHESION OF DENTAL

Summary: Strength tests of bonded joints are very important in identifying and selecting the mechanical properties of the connection. Author shows three methods of strength studies of adhesive joins in the article. Glues used during the studies are also common in dental practice. The paper presents a preliminary analysis of the phenomena that affect the size of the forces of adhesion and review of the literature concerning the strength tests in dentistry. These studies were classified in terms of research facilities, course loads and their types. Discussed the test sample.

Keywords: dentistry, adhesion, strength tests, adhesive joints