

Przeprowadzone badania stopu Co-Cr-W-Ni (L605) podobnie jak wcześniejsze badanie tego typu przeprowadzone przez autorów, a dotyczące stosowanej na implanty krótkotrwałe stali Cr-Ni-Mo (AISI 316L) [9] miały charakter porównawczy i potwierdziły, że istnieje wpływ ośrodka korodującego na odporność korozyjną badanego biomateriału. Podobne badania porównawcze należało by przeprowadzić dla innych biomateriałów metalowych takich jak stopy tytanu oraz stopy Ni-Ti w celu lepszego poznania i opisanie zjawisk korozyjnych w różnych środowiskach symulujących płyny ustrojowe człowieka. Tym samym badania umożliwią lepszy dobór biomateriałów metalowych na poszczególne typy implantów.

The comparison tests showed similar as previous test [9] the influence of the corrosive medium on the corrosion resistance of the tested biomaterial. Similar study should be performed for other metallic biomaterials, e.i. titanium alloys and Ni-Ti alloys in order to better understand corrosion phenomena in simulated body fluids.

Piśmiennictwo

- [1] J. Marciniak: Perspectives of employing of the metallic biomaterials in the reconstruction surgery. *Engineering of Biomaterials*, 1, December 1997, pp.12-20.
- [2] S. Steinemann: Corrosion of surgical implants – in vivo, in-vitro tests in "Advances in Biomaterials". Wintenet al John Viley Sons, Chirchester 1980, pp.1-4.
- [3] W. Kajzer, W. Chranowski, J. Marciniak: Corrosion resistance of Cr-Ni-Mo steel intended for urological stents. 11th International Scientific Conference on Contemporary Achievements in Mechanics, Manufacturing and Materials Science, Gliwice – Zakopane 2005 pp. 444-449.
- [4] Z. Paszenda, J. Tyrlik-Held: Corrosion resistance of coronary stents made of Cr-Ni-Mo steel. Proceedings of the 10th Jubilee International Scientific Conference „Achievements in Mechanical and Materials Engineering 2001”, Gliwice-Kraków-Zakopane, 2001, pp. 453-460.

References

- [5] M. Multanen, M. Talja, S. Hallanvuo, A. Siitonen, T. Valimaa, T.L.J. Tammela, J. Seppala, P. Tormala: Bacterial adherence to ofloxacin-blended polylactone-coated self-reinforced – lactic acid polymer urological stents. *BJU International*, 86, 2000, pp. 966-969.
- [6] T. Valimaa, S. Laaksovirta: Degradation behaviour of self-reinforced 80L/20G PLGA devices in vitro. *Biomaterials* 25 (2004), pp.1225-1232.
- [7] Marciniak J.: *Biomaterials*. Edit by Silesian University of Technology (Wyd Pol. Śląskiej), Gliwice 2001, pp. 83, 212.
- [8] Standard PN – EN ISO 10993-15.
- [9] W. Kajzer, A. Krauze, W. Walke J. Marciniak: Corrosion resistance of Cr-Ni-Mo steel in artificial body fluids. *Journal of Achievements in Material and Manufacturing Engineering*, Vol 18, Issue 1-2, September-October 2006, pp.115-118.

PRZYSPIESZONA OCENA USZKODZEŃ ZMĘCZENIOWYCH ZĘBÓW LECZONYCH ZACHOWAWCZO

AGATA NIEWCZAS^{1*}, TERESA BACHANEK¹, JACEK HUNICZ², DANIEL PIENIAK³

¹ UNIWERSYTET MEDYCZNY, KATEDRA I ZAKŁAD STOMATOLOGII ZACHOWAWCZEJ, UL. KARMELICKA 7, 20-081 LUBLIN, POLSKA

² POLITECHNIKA LUBELSKA, WYDZIAŁ MECHANICZNY, UL. NADBYSTRZYCKA 36, 20-618 LUBLIN, POLSKA

³ SZKOŁA GŁÓWNA SŁUŻBY POŻARNICZEJ 01-629 WARSZAWA, UL. SŁOWACKIEGO 52/54, POLSKA

* E-MAIL: AGATA.NIEWCZAS@AM.LUBLIN.PL

Streszczenie

W artykule opisano metodę laboratoryjnych badań trwałości wypełnień stomatologicznych według kryterium zmęczeniowej rozbudowy (propagacji) szczeliny brzeżnej pomiędzy wypełnieniem a twardą tkanką zęba. Wiadomo, że szczelina brzeżna powstaje na powierzchni granicznej wypełnienia z zębem na skutek skurczu polimeryzacyjnego, a następnie powiększa się na skutek naprężeń wywołanych przez obciążenia mechaniczne i termiczne występujące podczas aktu żucia w jamie ustnej. Duża szczelina brzeżna jest źródłem mikroprzecieku bakteryjnego i próchnicy wtórnej. W ten sposób jest bezpośrednią przyczyną ostatecznej degradacji wypełnienia. W artykule ogra-

ACCELERATED EVALUATION OF FATIGUE FAILURES IN TEETH TREATED CONSERVATIVELY

AGATA NIEWCZAS^{1*}, TERESA BACHANEK¹, JACEK HUNICZ², DANIEL PIENIAK³

¹ MEDICAL UNIVERSITY OF LUBLIN, DEPARTMENT OF CONSERVATIVE DENTISTRY 7, KARMELICKA STR., 20-081 LUBLIN, POLAND

² UNIVERSITY OF TECHNOLOGY 36, NADBYSTRZYCKA STR., 20-618 LUBLIN, POLAND

³ THE MAIN SCHOOL OF FIRE SERVICE (SGSP) 52/54, SŁOWACKIEGO STR., 01-629 WARSZAWA, POLAND

Abstract

The paper describes a method of forecast durability of dental fillings according to the criterion of fatigue expansion (propagation) of the marginal gap between the filling and the hard tissue of the tooth. It is known, that marginal crevice forms on the boundary surface between the filling and tooth as a result of polymerization shrinkage and then increases as a result of mechanical and thermal loads which are present during mastication in the oral cavity. Large marginal crevice is the source of bacterial micro leakage and secondary caries. In such a way it is a direct source of final degradation of the filling. In this paper authors limited oneself to describe thermal phenomenon

niczono się do aspektu zjawiska zmęczenia cieplnego (wpływu szoków cieplnych na szczelinę brzeżną). Do badań wykorzystano zęby ludzkie usunięte z powodów ortodontycznych i chirurgicznych. W zębach przeznaczonych do badań wypreparowano modelowe ubytki. W ubytkach założono wypełnienia z kompozytu mikrohybrydowego. Tak przygotowane próbki zębów poddano obciążeniom termicznym symulującym cykl żucia na specjalnie opracowanym stanowisku badawczym (tzn. symulatorze żucia). Po wykonaniu testu obciążeniowego przeprowadzono pomiary długości i szerokości szczeliny brzeżnej. Wyniki pomiarów wzrostu szczeliny w funkcji liczby cykli obciążenia aproksymowano odcinkowo dwoma prostymi. Pierwsza prosta stanowiła liniowy model regresji w okresie umiarkowanego wzrostu szczeliny. Druga prosta wyznaczała liniowy model regresji w okresie przyspieszonego wzrostu szczeliny. Punkt przecięcia prostych regresji wyznaczał graniczną liczbę cykli obciążenia oznaczającą umowne uszkodzenie zmęczeniowe. Przeprowadzone badania wykazały, że możliwa jest wyprzedzająca ocena zniszczenia zmęczeniowego wypełnień stomatologicznych w warunkach „in vitro”. Opracowana metoda może mieć praktyczne zastosowanie w ocenie trwałości wypełnień oraz w testowaniu nowych materiałów stomatologicznych.

Słowa kluczowe: wypełnienia stomatologiczne, badania przyspieszone, nieszczelność brzeżna, symulator żucia

[Inżynieria Biomateriałów, 77-80, (2008), 79-83]

Wstęp

Nowe materiały do zastosowań w stomatologii zachowawczej muszą spełniać wysokie wymagania wytrzymałości zmęczeniowej w układzie wypełnienie-ząb. Wytrzymałość zmęczeniowa wypełnień stomatologicznych jest ograniczona przez rozwój szczeliny brzeżnej.

Konsekwencją powstania szczeliny brzeżnej jest zjawisko miroprecieku. Miropreciek bakteryjny polega na penetracji mikroorganizmów i ich proliferacji w szparze pomiędzy wypełnieniem a ścianą ubytku. Wynikiem miroprecieku jest próchnica wtórna występująca wzdłuż ścian wypełnienia, która prowadzi do ostatecznej degradacji wypełnienia i wyznacza kres „życia” wypełnienia. Zjawisko zmęczenia występuje tu na skutek zmiennych obciążeń mechanicznych (zmęczenie mechaniczne) oraz na skutek zmiennych obciążeń termicznych (zmęczenie cieplne).

Ze względu na długi czas badań klinicznych tego zjawiska oraz możliwość narażenia pacjentów na utratę zdrowia, weryfikacja trwałości wypełnień stomatologicznych powinna odbywać się w warunkach laboratoryjnych [1,2]. Autorzy niniejszej pracy opracowali własną metodę laboratoryjnych badań trwałościowych. Istotą tej metody było zastosowanie oryginalnego (nowatorskiego) symulatora żucia do odwzorowania cyklicznych obciążeń mechanicznych oraz termicznych zębów ludzkich [6,7].

Testy obciążeniowe

Konstrukcję symulatora oparto na założeniu, że musi on w jak największym stopniu odwzorowywać obciążenia mechaniczne i termiczne zębów występujące podczas aktu żucia. W pewnym uproszczeniu proces żucia składa się z ruchu odwodzenia i przywodzenia żuchwy oraz ruchów bocznych.

(influence of thermal shock on marginal gap). For the research human teeth were used, which were extracted due to orthodontical and surgical reasons. In the teeth assigned to the research model crevices were prepared. Fillings of micro hybrid composite were placed in the cavities. Teeth samples prepared in the above mentioned way were next submitted to the thermal loads which simulated mastication cycle using the designed for this purpose research stand. After the load test measurements of the length and width of marginal crevice were made. Results of the marginal gap growth as a function of number of cycles were approximated with two segments of straight line. The first line created a linear regression model in the period of moderate growth of the marginal crevice. The second line determined linear regression model during the accelerated growth of the marginal crevice. The intersection point of regression lines determined the boundary number of load cycles denoting conventional fatigue failure.

The conducted research proved that anticipatory evaluation of the fatigue failures in dental fillings in “in vitro” conditions possible. The developed method can have practical implementation in the evaluation of durability of the dental fillings and in the tests of new materials used in dentistry.

Keywords: dental fillings, accelerated research, marginal leakage, mastication simulator

[Engineering of Biomaterials, 77-80, (2008), 79-83]

Introduction

New materials used in the conservative dentistry must meet high requirements of fatigue strength in the filling-tooth system. The fatigue strength of dental fillings is limited by the development of the marginal crevice.

The consequence of the development of the marginal crevice is the presence of micro leakage phenomena. Bacterial micro leakage is based on the penetration of microorganisms and their proliferation in the crevice between the filling and the wall of the cavity, resulting in the secondary caries along the walls of the filling, which leads to the final degradation of the filling and determines its “end of life”. Two phenomenon of fatigue were observed: thermal and mechanical fatigue. Because of the long time of the clinical research of this phenomena and possibility of exposing patients to the risk of health loss, verification of the dental fillings durability should be done in laboratory conditions. Authors of the paper developed their own laboratory method of durability research. The essence of the method lies in the usage of the original and innovative mastication simulator for the and thermal loads of the human teeth and the device simulating impact loads.

Accelerated method of load test

The design of mastication simulator was based on assumption that it should simulate mechanical and thermal loads taking place during mastication process to the highest degree. Considering some simplifications mastication process can be treated as a set of abduction and adduction movements and side movements. The design of mastication simulator was preceded by establishment of a number of assumptions:

- two samples (extracted human teeth) are pressed to each other with constant force, independent on samples position,

Przystępując do konstruowania przyrządu wzięto pod uwagę następujące założenia:

- dwie próbki (wyekstrahowane zęby ludzkie) dociskane są w kierunku pionowym, z zadaną siłą, niezależną od położenia,
- jedna z próbek wykonuje ruchy w płaszczyźnie poziomej, wzorowane na ruchach fizjologicznych,
- próbki znajdują się w wilgotnym środowisku.

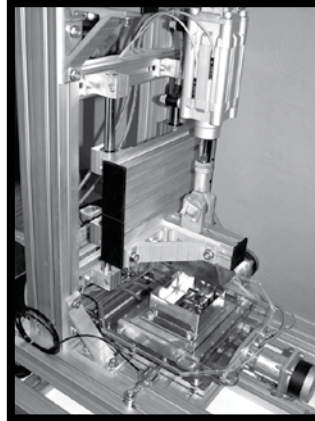
Symulator (RYS. 1) składa się z modułu mechanicznego (RYS. 2) i modułu termicznego. W skład modułu termicznego wchodzi dwa ultratermostaty, z których jeden stabilizuje temperaturę wody wyższą od temperatury otoczenia, a drugi temperaturę niższą od temperatury otoczenia. Pompy cyrkulacyjne zamontowane w termostatach zapewniają stały przepływ wody przez dwa zasobniki z wodą o ustalonych temperaturach. Do przepompowywania wody do i z naczynia, w którym znajduje się dolna próbka zęba zastosowano pompę perystaltyczną.

Metoda

Metoda badań opracowana przez autorów polegała na tym, że wyekstrahowane zęby ludzkie, usunięte z powodów ortodontycznych, wykorzystano jako próbki do testów degradacji zmęczeniowej w laboratorium. W zębach przeznaczonych do testów wypreparowano modelowe ubytki (RYS. 3). Zwracano uwagę, aby wypreparowane ubytki były powtarzalne wymiarowo oraz aby ściany boczne ubytków były prostopadłe do jego dna. W ubytkach zakładano wypełnienia z kompozytu światłoutwardzalnego z mikrowypełniaczem zgodnie ze wskazaniami producenta.

Następnie próbki zębów poddawano obciążeniom termicznym na specjalnie zaprojektowanym stanowisku badawczym symulującym cykl żucia (RYS. 1, RYS. 2). Sposób zamocowania próbek zębów z wypreparowanym ubytkiem pokazano na RYS. 4. Obserwację szczeliny brzeżnej przeprowadzono przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego (RYS. 5).

Po serii cyklicznych obciążeń zęby przecinano wzdłuż długiej osi (RYS. 6). Następnie przeprowadzono pomiary szerokości szczeliny brzeżnej przy zastosowaniu komputerowego analizatora obrazu.



RYS. 1. Symulator żucia – moduł mechaniczny.
FIG. 1. Mastication simulator – mechanical module.



RYS. 2. Widok ogólny symulatora żucia.
FIG. 2. View of mastication simulator.

- one of the samples moves in a way similar to physiological submaxilla path,
- the samples are flexibly restrained,
- the samples are placed in a damp environment.

The mastication simulator (FIG. 1) consists of mechanical module (FIG. 2) and thermal module.

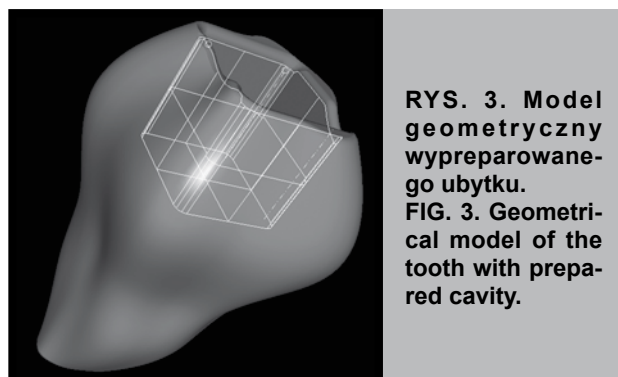
The thermal module consists of two ultra-thermostats; one of them keeps water temperature at level lower than ambient temperature, the other one keeps temperature above ambient. Filling and emptying of the vessel, with lower examined sample inside, is performed with the use of peristaltic (dosing) pump.

The method

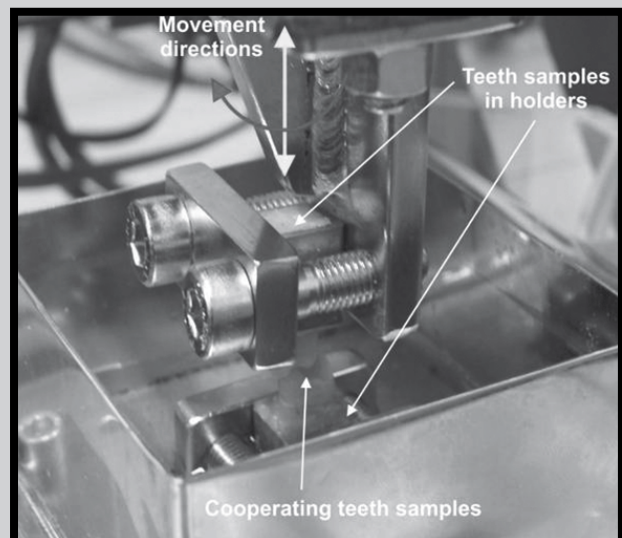
In the developed method human teeth which were extracted for orthodontical reasons were used as samples during laboratory fatigue degradation tests. In the teeth which were subject to the tests, model cavities were prepared (FIG. 3). Attention was paid to dimensional repeatability of the prepared cavities and to the orthogonal direction of the cavity walls to the bottom of the tooth. Fillings of light-cured composite with micro-filler were placed in the cavities according to the recommendations of the producer.

Then teeth samples were subject to thermal loads using the specially designed research stand which simulated mastication cycle. The prepared teeth are fixed in clamps of mastication simulator (FIG. 4). Afterwards the samples relative orientation is set in position typical for physiological conditions. The survey of crevice after thermal loading cycles on scanning microscope (FIG. 5).

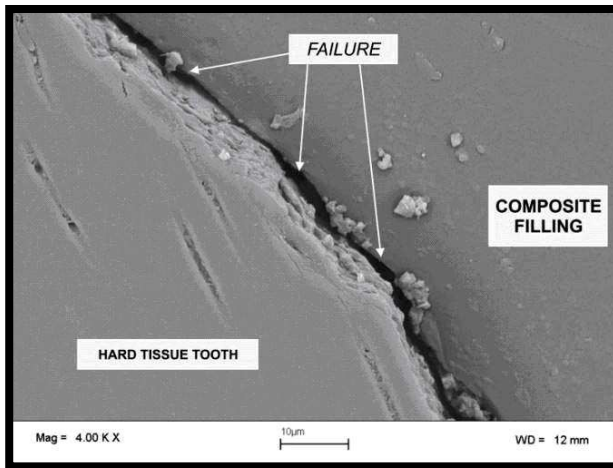
After the series of cyclic thermal loads teeth were cut along the long axis (FIG. 6). Afterwards measurements of the marginal crevice width were made using computer image analyzer.



RYS. 3. Model geometryczny wypreparowanego ubytku.
FIG. 3. Geometrical model of the tooth with prepared cavity.



RYS. 4. Sposób zamocowania próbek zębów w symulatorze żucia.
FIG. 4. Teeth samples fixed in the mastication simulator and their cooperation.



RYS. 5. Obraz mikroskopowy szczeliny brzeżnej SEM X 4.00 KX.
FIG. 5. Microscopic image of the marginal crevice.

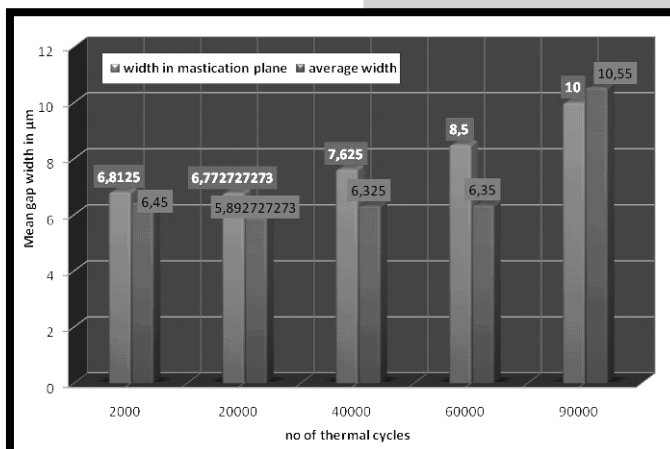
Wyniki i ich analiza

Na RYS. 7 przedstawiono wyniki pomiarów szerokości szczeliny brzeżnej przy powierzchni oraz średnią szerokość szczeliny w zależności od liczby cykli termicznych.

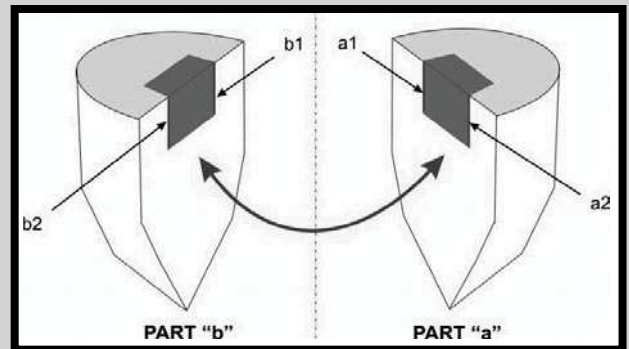
Odpowiednio na podstawie serii wyników pomiarów przeprowadzono analizę regresji długości i szerokości szczeliny brzeżnej. Rozpatrując wpływ obciążeń termicznych (cieplnych) stwierdzono, że długość szczeliny utrzymuje się na stałym poziomie. Natomiast szerokość szczeliny zwiększa się wraz ze wzrostem liczby cykli. Wzrost szerokości szczeliny przyjęto jako miarę stopnia degradacji eksploatacyjnej układu wypełnienie-zęb. Zaobserwowano dwuetapowy charakter wzrostu szczeliny. Pierwszy etap wyróżniono jako etap stabilny. Etap stabilny zawierał się w przedziale liczby cykli obciążeń od zera do osiągnięcia granicznej wytrzymałości zmęczeniowej. Drugi etap był etapem przyspieszonego wzrostu szczeliny (RYS. 8, RYS. 9).

W warunkach przeprowadzonych badań oszacowano graniczną wartość liczby cykli określającą wytrzymałość zmęczeniową wypełnienia stomatologicznego jako 60000 cykli. Po przekroczeniu granicznej liczby cykli zaobserwowano przyrost szerokości szczeliny z poziomu 6 μm do ok. 10 μm. Opisany powyżej, dwuetapowy charakter rozwoju szczeliny potwierdziły również wyniki pomiarów pola powierzchni przekroju szczelin (RYS. 10) Podobną dynamikę wzrostu szczeliny brzeżnej zaobserwowano w przypadku testów obciążeń mechanicznych.

Zauważono, że szerokość szczeliny przy powierzchni (RYS. 10) może być opisana jako systematycznie rosnąca. Natomiast wzrost średniej szerokości szczeliny na przekroju zęba wzdłuż długiej osi był minimalny aż do osiągnięcia 60.000 cykli. Znaczący wzrost średniej szerokości szczeliny brzeżnej został zaobserwowany dopiero po przekroczeniu 60.000 cykli (RYS. 8).



RYS. 7. Szerokość szczeliny brzeżnej w zależności od liczby cykli termicznych – wyniki pomiarów.
FIG. 7. Marginal crevice width in the relation to the number of thermal cycles.



RYS. 6. Schemat badanych próbek zębów: a1, a2, b1, b2, oznaczenie krawędzi pomiarowych.
FIG. 6. Scheme of investigated teeth samples: a1, a2, b1, b2 designations of marginal crevices.

Test results and their analysis

The chart (FIG. 7) presents the results of measurements of crevice width by the surface and average width of crevice in relation to the number of thermal cycles.

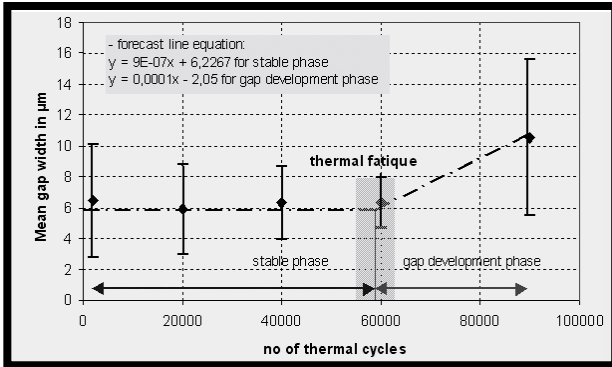
The presented results refer to the change of marginal crevice width in the contact surface and the change of average crevice width measured in the section on the long axis of a tooth. Regression analysis was made using results of the measurements of the width and length of the marginal crevice.

Taking into account the influence of thermal loads during mastication it was stated that the length of the crevice remains on the same level, whereas the width of the crevice increases with the number of load cycles. Increase of the crevice width was adopted as a measure of the fatigue degradation ratio of the filling-tooth system. A two-stage nature of the crevice increase was observed. The first stage was considered as stable. The stable stage comprised load cycles from 0 to the point when the boundary fatigue strength was reached. The second stage was characterized by the accelerated increase of the crevice (FIG. 8, FIG. 9). In the conditions of the measurements the boundary number of cycles which defined the fatigue strength of the dental filling was estimated as 60,000.

After exceeding the boundary number of cycles the increase of crevice width from 6 μm to 10 μm was observed. Two stage nature of crevice development described above

was also confirmed by the measurements results of the intersection area of the crevice as a function of the number of thermal cycles.

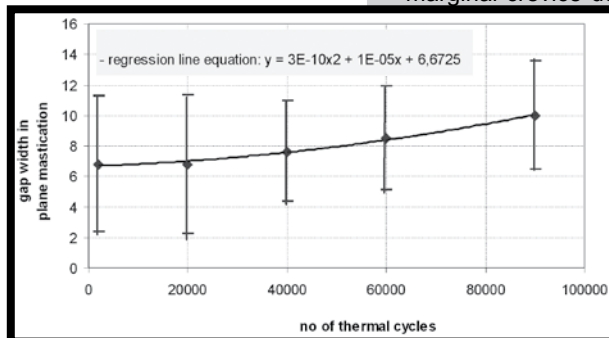
The width of crevice by the tooth surface (FIG. 10) may be described as systematically growing – increasing with a regular speed from about 20 to 40, 000 cycles. At the same time the increase of an average width of the crevice (measured in the tooth section reflecting its longitudinal axe) within the range of the number of thermal cycles up to 60,000 remains minimal. Considerable increase of the speed of crevice widening can be observed at the level above this rate (FIG. 8).



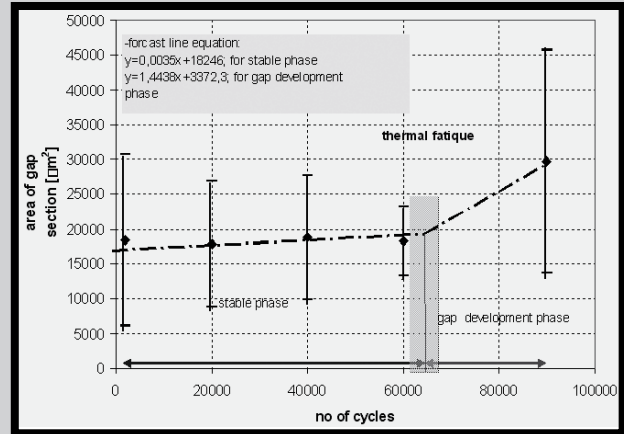
RYS. 8. Średnia szerokość szczeliny - ocena tendencji rozwojowej w zależności od liczby cykli termicznych.
FIG. 8. Evaluation of tendency in marginal gap propagation with regard to the number of thermal cycles.

Podsumowanie

Badania opisane w niniejszym artykule wykazały, że możliwa jest ocena nieszczelności brzeżnej wypełnień stomatologicznych w warunkach „in vitro”, poprzez obserwację mikroskopową rozwoju szczeliny brzeżnej w eksperymentalnie wypełnionych zębach ludzkich, poddanych testom termicznym. Badania wykazały, że szczelina brzeżna powiększa się pod wpływem cyklicznych zmian temperatury. Początkowo rozwój ten jest powolny, a po przekroczeniu granicznej liczby cykli następuje gwałtowny wzrost szerokości szczeliny, któremu towarzyszy pojawienie się mikropęknięć szkliva i materiału wypełnienia. Oceniając metodę badań należy stwierdzić, że opracowane stanowisko do testów termicznych (symulator żucia – moduł termiczny) umożliwia wyprzedzającą ocenę degradacji czynnościowej (eksploatacyjnej) wypełnień. Opracowana metoda może zostać wykorzystana do rutynowych badań trwałości wypełnień oraz do weryfikacji nowych materiałów stomatologicznych.



RYS. 10. Szerokość szczeliny przy powierzchni zęba - ocena tendencji rozwojowej w zależności od liczby cykli termicznych.
FIG. 10. Evaluation of development tendency of marginal crevice in relation to the number of thermal cycles (crevice width by the tooth surface).



RYS. 9. Powierzchnia przekroju szczeliny - ocena tendencji rozwojowej w zależności od liczby cykli termicznych.
FIG. 9. Evaluation of tendency in marginal gap propagation with regard to the number of thermal cycles (surface of gap section).

Summary

Research described in the paper has shown that it is possible to evaluate marginal leakage of the dental fillings in “in vitro” conditions by the microscopic observation of the marginal crevice development, using experimentally filled human teeth subjected to the thermal loads. Research has shown that the marginal crevice increases under the influence of the cyclic temperature changes initially the development is slow, and after exceeding the boundary number of cycles, a rapid growth of the crevice width takes place, accompanied by the occurrence of micro-cracks of the enamel and filling material.

Evaluation of the method leads to the conclusion that the mastication simulator allows for forecasting assessment of the functional degradation of the fillings. The developed method can be used for the routine durability tests of the fillings and for the verification of new dental materials.

Piśmiennictwo

- [1] Al. Abdalla, AA. El Zohairy, MM. Abousheib, AJ. Feilzer, “Influence of thermal and mechanical load cycling on the microtensile bond strength of self – etching adhesives”, American Journal Dent., 20(4), pp 250-254, 2007.
- [2] D. J. Clark, C. G. Seets, J. M. Paquette, “Definitive diagnosis of enamel and dentine cracks based on microscopic evaluation”, Journal Esthet Restor Dent., 15(7), pp 391-401, 2003.
- [3] S. Efromovich, Nonparametric curve estimation, methods, theory, and applications, New York: Springer – Verlag, 1999.
- [4] Habekost L., Camacho G., Azevedo E., Demarco F., “Fracture resistance of thermal cycled and endodontically treated premolars with adhesive restorations”, The Journal of Prosthetic Dentistry, 98, pp 188-192, 2007.
- [5] G. Heydecke, F. Butz, A. Hussein JR. Strub, “Fracture strength after dynamic loading of endodontically treated restored with different post – and – core systems”, Journal Prosthet Dent, 87(4), pp 438-445, 2002.
- [6] J. Hunicz, Niewczas A., Kordos P., Pieniak D., „Experimental test stand for analysis of composite dental fillings degradation”, Maintenance and Reliability, 2(34), pp 37-43, 2007.

References

- [7] I. Kreici, F. Lutz, “In-vitro-Testverfahren Zur Evaluation Dentaler Restaurationssysteme”, Computergesteuerter Kasimulator Schweiz Monatsschr Zachmed, Vol. 100, No 8, pp 127-134, 1990.
- [8] A. Niewczas, “Marginal Tightness of Composite Dental Fillings Examined “in vitro””, The Journal of the Slovak Chamber of Dentist, XV,4, pp 2-4, 2005.
- [9] A. Niewczas, T. Bachanek, “The evaluation of marginal tightness between the composite filling, enamel, and dentine in the conditions of mechanical loads simulating the cycle of mastication”, Polish J. of Environ. Stud. Vol. 16, 2C, 2007.
- [10] Versluis A., Tantbirojn D., Pintado M. R., DeLong R., Douglas W. H., “Residual shrinkage stress distributions in molars after composite restoration”, Dental Materials, 20, pp 554-564, 2004.
- [11] A. Niewczas, T. Bachanek, J. Henicz, A. Niewczas, D. Pieniak „Laboratory Method of Accelerated Evaluation of Fatigue Failures In Teeth Treated Conservatively”, Second International Conference ALT’2008, 9-11 June Bordeaux, Abstract book, pp. 106-111.