

STRUKTURA I WŁASNOŚCI MECHANICZNE MODYFIKOWANYCH STOPÓW CoCrMo DO ZASTOSOWAŃ W PROTETYCE STOMATOLOGICZNEJ

KAROLINA BEER, MARIUSZ WALCZAK

KATEDRA INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ,
WYDZIAŁ MECHANICZNY,
POLITECHNIKA LUBELSKA
E-MAIL: KBEER@WP.PL, M.WALCZAK@POLLUB.PL

Streszczenie

Większość klinicznych niepowodzeń w przypadku protez stomatologicznych związana jest przede wszystkim z techniką wytapiania i odlewania oraz ilością użytego do wsadu stopu już raz przetopionego. W pracy dokonano analizy wpływu ilości materiału z recyklingu na właściwości mechaniczne i strukturę stomatologicznego stopu CoCrMo. Zastosowano metodę odlewania odśrodkowego, oraz jednokrotne przetopy o składzie wyjściowym odpowiednio 0, 25, 50, 75 i 100% złomu. Przeprowadzono statyczną próbę rozciągania, pomiar mikrotwardości, analizę mikrostrukturalną oraz obserwację SEM przetopów. Stwierdzono, że właściwości mechaniczne wszystkich przetapianych stopów są gorsze niż stopu czystego, zakupionego u zagranicznego producenta. Mikrostruktura przetopów przetapianych stopów z zawartością złomu powyżej 50% jest bardziej niejednorodna i w strukturze dendrytycznej widoczna jest większa ilość mikropęknięć. Podczas zrywania próbek zarejestrowano wyraźne obniżenie granicy plastyczności i wytrzymałości tych stopów w próbach zrywania w porównaniu z próbkami ze stopów zawierających mniejszą ilość materiału z recyklingu.

[Inżynieria Biomateriałów, 106-108, (2011), 110-115]

Wprowadzenie

Właściwości materiałowe stosowanych uzupełnień protetycznych stałych i ruchomych (uzyskanych w procesie przetapiania) oraz ich konstrukcja mają istotny wpływ na trwałość w warunkach złożonego stanu obciążeń biomechanicznych. Obciążenia mechaniczne występujące podczas żucia są w głównej części odpowiedzialne za uszkodzenia i niepowodzenie leczenia protetycznego. Podstawowym technicznym miernikiem odporności konstrukcji protetycznej na uszkodzenie jest jej wytrzymałość mechaniczna. Ponadto, jak wskazują dane literaturowe oraz praktyka lekarzy stomatologów, na jakość uzupełnień protetycznych może wpływać również stosowanie do odlewania materiałów powtórnie przetopionych [1-8]. W protetyce często wykorzystuje się metale lub ich stopy, które już raz były użyte w procesie odlewania (np. kanały odlewowe) lub stanowią pozostałości po obróbce protetycznej. Jest to bardzo częsty sposób na dodatkowe obniżenie kosztów w pracowniach protetycznych. Dane literaturowe wskazują, że właściwości ponownie przetopionych stopów (z recyklingu) mogą różnić się od stopów fabrycznie nowych, ale zdania autorów prac badawczych prezentowanych w literaturze są podzielone [5-9].

STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF MODIFIED CoCrMo ALLOYS FOR USE IN DENTAL PROSTHETICS

KAROLINA BEER, MARIUSZ WALCZAK

DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
MECHANICAL ENGINEERING FACULTY,
TECHNICAL UNIVERSITY OF LUBLIN, POLAND
E-MAIL: KBEER@WP.PL, M.WALCZAK@POLLUB.PL

Abstract

The majority of clinical failures in the case of dental prostheses is associated primarily with the technique and the amount of remelted alloy used for the casting. The majority of clinical failures in the case of dental prostheses is associated primarily with the technique of remelting and casting, and quantity of the once remelted alloy used for the batch. The paper analyzes the impact of the amounts of recycled material on the mechanical properties and structure of dental alloy CoCrMo. The centrifugal casting method has been applied and remelted alloys with output composition of 0, 25, 50, 75 and 100% of scrap respectively. The static tensile test, microstructural analysis and SEM observation as well as microhardness test have been conducted. These all tests show that the mechanical strength of all remelted alloys is worse than the strength of the fine alloy, purchased from a foreign manufacturer. The microstructure of breakthroughs of the remelted alloys containing more than 50% of scrap is more heterogeneous and a higher amount of microcracks is visible in the dendritic structure. When the samples were tested in the static tension test, the significant decrease in the yield strength and the tensile strength of these alloys during these static tension tests in comparison to the samples of alloys containing lower amount of the recycled material were observed.

[Engineering of Biomaterials, 106-108, (2011), 110-115]

Introduction

Material properties of used permanent and mobile restorations (obtained in the process of melting), and their design have a significant impact on the stability in case of complex biomechanical loads. Mechanical stresses occurring during chewing are mainly responsible for the damage and failure of prosthetic treatment. The basic technical measure of damage resistance of prosthetic structure is its mechanical strength. Moreover, as indicated by the published literature and the practice of dentists, the quality of the restorations may also affect the use of recycled materials for the casting of remelted alloys [1-8]. The prosthodontists often use metals or their alloys, which had already been used in the casting process (eg casting channels) or which are residues after prosthetic treatment. This is a very common way to reduce costs in the laboratory. Literature data indicate that the properties of remelted alloys (from recycling) can vary from brand new alloys, but opinions of the authors of the researches presented in the literature are divided [5-9].

Może zmieniać się skład chemiczny stopu wyjściowego oraz mogą powstawać fazy zmieniające właściwości mechaniczne stopu. Niektórzy uważają, iż zmiany właściwości stopu po kolejnych przetopieniach można pominąć, ponieważ nie są one istotne [10,11]. Inni uważają, że zmiany te są na tyle niekorzystne, że nie należy używać pozostałości odlewniczych do ponownych przetopień [12]. Ponadto zmiany te mogą wpływać na odporność korozyjną stopu, a także na wytrzymałość połączenia z porcelaną dentystyczną [14,15]. Większość autorów publikacji formułuje wnioski praktyczne, wiążące technologię z właściwościami mechanicznymi. Brak jest jednak jednoznacznego opisu i oceny zjawisk fizycznych wywołujących zmiany właściwości, na przykład powiązania procesu krzepnięcia i krystalizacji stopu ze zmianami w morfologii i jednorodności struktury.

Wielu producentów stopów dentystycznych dopuszcza stosowanie przetopów wtórnych ale z nie mniej niż 50% udziałem materiału nowego i z zastrzeżeniem, że cały materiał musi pochodzić z tej samej partii. Istnieje też grupa producentów, która nie dopuszcza materiałów powtórnie przetopionych, bądź nie podaje żadnych informacji dotyczących wykorzystania stopów dentystycznych uzyskanych z recyklingu. Powyższe fakty uzasadniają celowość podjętych badań, zmierzających do określenia wpływu stosowania wtórnych przetopów na właściwości mechaniczne i strukturalne uzyskanych odlewów.

Material i metody

Do badań zastosowano stop Wironit®extra-hard firmy Bego o nominalnym składzie chemicznym (masowo) 63% Co, 30% Cr, 5% Mo, 1,1% Si oraz Mn<1% i C<1% [16]. Stop ten przeznaczony jest do odlewania protez szkieletowych, protez klamrowych i protez mocowanych na zasuwę, rygle i zatraski. Ze stopu CoCrMo wykonano odlewy stosując jednokrotne przetopy o składzie wyjściowym odpowiednio 0, 25, 50, 75 i 100% złomu. Odlewy wykonano metodą traconego wosku. Jako model bazowy zastosowano próbkę stalową o kształcie i wymiarach zalecanych w normie do statycznej próby rozciągania. Do badania zastosowano walcowe próbki o średnicy pomiarowej 8 mm i długości pomiarowej 15 mm.

Stopione indukcyjnie wsady odlewane były metodą odśrodkową w wirówce ROTOCAST. Po usunięciu masy osłaniającej i odcięciu materiału z układu wlewowego powierzchnię próbek piaskowano. Cały proces wykonania próbek ze stopu CoCrMo przeprowadzony był w warunkach profesjonalnej pracowni protetycznej według procedur stosowanych do wytwarzania metalowych elementów protez szkieletowych.

Metodyka badań

Styczną próbę rozciągania przeprowadzono w oparciu o normę PN EN 10002-1, na serwohydraulicznej maszynie wytrzymałościowej MTS 858 MiniBionix. Badania rozciągania realizowano z posuwem 25 µm/s w całym zakresie obciążenia. Pomiary twardości wykonano na mikrotwardościomierzu Vickers'a FM-700 z automatycznym systemem FM-ARS 900 firmy Future-Tech Corp. przy obciążeniu 0,5 kg na zglądach poprzecznych i wzdłużnych. Wykonano po 20 pomiarów mikrotwardości dla każdej z kombinacji próbek.

Mikrostrukturę przelomów i zglądów obserwowano (badano) przy użyciu mikroskopu optycznego Nikon MA200 i skaningowego Carl Zeiss Ultra Plus z mikroanalizatorem EDX firmy Brucker.

The chemical composition of the output alloy may change and phases changing the mechanical properties of the alloy may be generated. Some believe that changes in the properties of the alloy after successive remeltings can be omitted, since they are not too important [10,11]. The others perceive them as being so negative that they do not recommend to use any residues for re-castings [12]. Furthermore, these changes may affect the corrosion resistance of the alloy, as well as the bond strength of dental porcelain [14,15]. Most writers draw practical conclusions, binding technology with mechanical properties. There is however lack of a clear description and evaluation of physical phenomena that cause changes in properties, for example, links among the alloy solidification process, and thus the crystallization method with changes in morphology and heterogeneity of the structure.

Many dental alloys manufacturers permit the use of remelted alloys but not less than 50% share of the new material and provided that all material must come from the same batch. There is also a producer group, which does not allow re-melted materials or not share any information on the use of dental alloys derived from recycling. These facts justified the usefulness of the present study aimed to determine the impact of use of the remelted alloys on the mechanical and structural properties in obtained castings.

Materials and methods

Alloy used for the tests - Wironit®extra-hard from Bego company with a nominal chemical composition (by mass) 63% Co, 30% Cr, 5% Mo, 1.1% Si, and Mn <1% and C <1% [16]. This alloy is used for casting dentures, braces and prostheses anchored on the latches, bolts and hinges.

The castings were made from the CoCrMo alloy using a disposable alloy with a starting output composition of 0, 25, 50, 75 and 100% scrap. Castings were made using lost wax. As a base model a sample of steel was used in shape and dimensions being applicable for a static tension test. The study used cylindrical samples with a measuring diameter 8 mm and 15 mm gauge length.

Induction melted batches were cast by centrifugal separator device ROTOCAST. After removing the investment material and cutting off the material from the gating system the surface of samples was blasted. The whole process of implementation of the CoCrMo alloy samples was carried out in a professional dental laboratory according to procedures used in the manufacture of metal partial dentures.

Research methodology

Static tensile test was carried out based on the standard EN 10002-1, on the MTS testing servo hydraulic machine MiniBionix 858. Tensile tests were carried out with a feed rate of 25 µm/s over the entire load. Hardness measurements were performed on a micro hardness testing machine Vickers FM-700 FM with an automatic 900-ARS's Future-Tech Corp. system with a load of 0.5 kg per transverse and longitudinal metallographic specimen. 20 microhardness measurements were taken for each combination of samples.

Microstructural observations on breakthroughs and metallographic specimen were made using a Nikon MA200 optical microscope and Carl Zeiss Ultra Plus scanning microscope with EDX microanalyzer by Brucker.

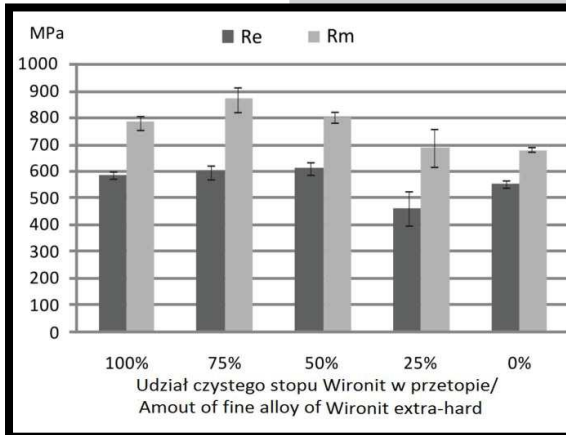
Na podstawie wykonanych prób zrywania wyznaczono następujące parametry charakteryzujące własności wytrzymałościowe badanych przetopów (stopów): moduł Younga E , współczynnik Poissona ν , umowną granicę plastyczności R_{02} oraz wytrzymałość na rozciąganie R_m . Współczynnik Poissona osiąga wartości od 0,26 dla odlewu z materiału nowego do 0,29 dla materiału wykonanego w 100% z recyklingu. Moduł Younga wynosi średnio 199 GPa. Wyniki R_e i R_m zestawiono na wykresie (RYS. 1). Wielkości te są niższe niż $R_m = 910$ MPa, $R_{e02} = 625$ MPa deklarowane przez producenta. Obserwuje się spadek wytrzymałości na rozciąganie oraz granicy plastyczności badanych próbek. Wytrzymałość na rozciąganie wykazuje maksimum dla składu 75% materiału nowego, ale i tak jest to wartość poniżej deklarowanej. Dla odlewów do 50% udziału złomu otrzymane różnice w wielkościach pomiarowych są niewielkie i nie przekraczają 5%. Natomiast przy zwiększeniu udziału procentowego złomu w odlewie powyżej 50% obserwuje się znaczący spadek wartości R_{e02} oraz R_m (RYS. 1).

Twardość przetopów średnio osiąga wartość 386 HV10 i jest zbliżona do deklarowanej przez producenta 375 HV10, natomiast pomiary mikrohardości wskazują na niejednorodność makrostruktury i różnice na poziomie mikrostruktury. Obserwowany wzrost mikrohardości materiałów z dodatkiem złomu może wynikać stąd, że podczas przetopów w temperaturze około 1473 K dochodzi do przemiany węgla $M_{23}C_6$ na M_6C (węgiel M_6C ma wyższą twardość niż $M_{23}C_6$) [17]. Dlatego, w przypadku stopów powtórnie przetopionych, zawartość węglików M_6C w stopie prawdopodobnie wzrasta, ale wymaga to potwierdzenia badaniami składu fazowego.

Analiza mikrostrukturalna odlewanych stopów CoCrMo z materiału nowego charakteryzuje się typową, gruboziarnistą strukturą dendrytyczną (RYS. 2a) z niewielką ilością mikroporów. W obrębie kryształitów występują mikrosegregacje dendrytyczne, w przestrzeniach międzydendrytycznych i wzdłuż granic kryształitów rozmieszczone są wydzielienia pierwotne o charakterze ciągłym oraz mikro-nieciągłości (RYS. 2b). Odlewy z udziałem złomu charakteryzują się podobną mikrostrukturą (RYS. 2c,d). Nie zaobserwowano wtrąceń, które mogłyby pochodzić z zanieczyszczenia wsadu cząstkami materiału osłaniającego.

Obserwacje przełomów po próbie rozciągania wykazały różnice w strukturze odlewów. W próbkach stopów odlanych z czystego stopu Wironit makrostruktura na całym obszarze przełomu wykazuje jednorodny charakter (RYS. 3a). Natomiast próbki stopu zawierającego materiał z recyklingu wykazują niejednorodny przełom, z coraz wyraźniejszym pękaniem wzdłuż dendrytów ułożonych dośrodkowo (RYS. 3 b,c).

Analiza SEM przełomów uwidoczniła mikropęknięcia powstające zgodnie z ukierunkowaniem dendrytów, o gęstości rosnącej z udziałem materiału z recyklingu (RYS. 4). Wraz ze wzrostem udziału procentowego złomu obserwuje się wzrost nieciągłości strukturalnych w postaci mikroporów i rzadzisz. Wady odlewnicze w postaci nieciągłości materiałowych można traktować jako mikrokaryby wywołujące spiętrzenie naprężeń w obszarach występowania, przyczyniające się do obniżenia wytrzymałości.



RYS. 1. Porównanie granicy plastyczności R_e i wytrzymałości na rozciąganie R_m stopów z różnym udziałem procentowym czystego stopu Wironit[®]extra-hard.

FIG. 1. The comparison of the yield strength R_e and tensile strength R_m with varying percentage of a fine alloy Wironit[®]extra-hard.

On the basis of the static tension tests the following values determining the strength properties of the tested remelted alloys (alloys) have been estimated: Young's modulus E , Poisson's ratio ν , conventional yield strength R_{02} and tensile strength R_m . The results show that the Poisson's ratio is equal to 0.26 - for casting from a fine material; to 0.29 for 100% recycled material. The Young's modulus E is on average 199 GPa. The R_m and R_e results are shown on graph (FIG. 1). These values are lower than $R_m = 910$ MPa, $R_{e02} = 625$ MPa declared by the manufacturer. There is a decrease in tensile strength and yield strength of test specimens. The tensile strength shows a maximum for the composition of 75% new material, but it is still below the specified value. For castings of up to 50%

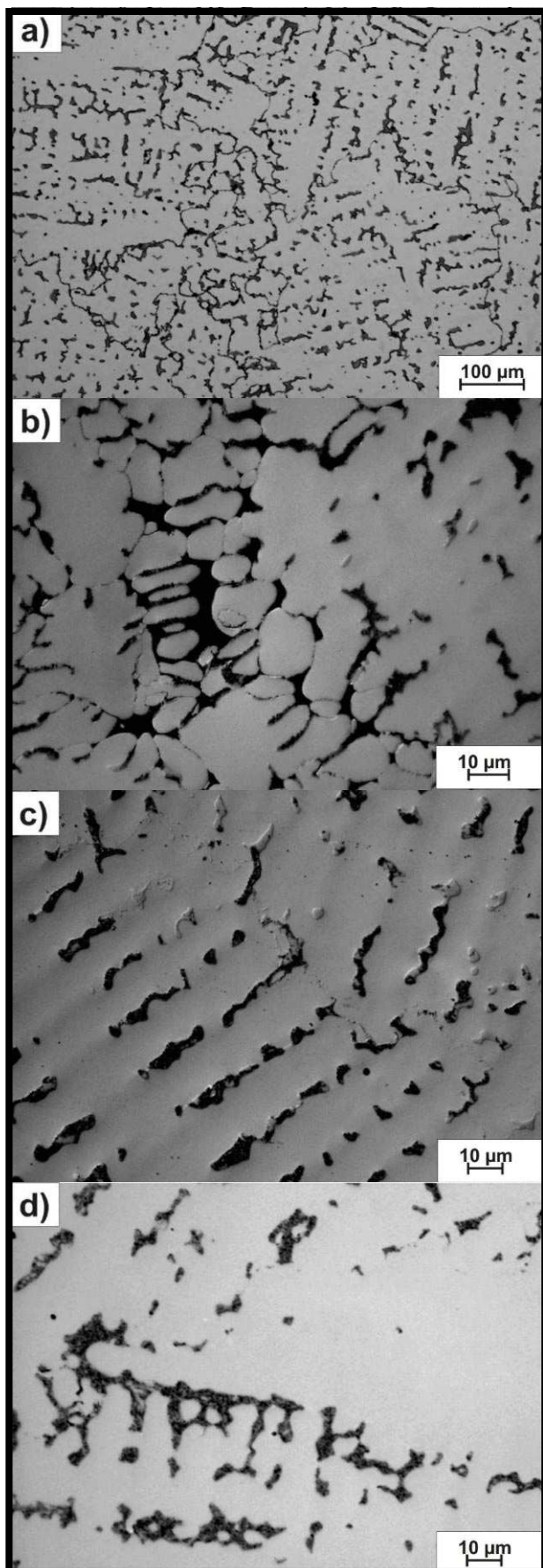
of the scrap obtained measuring the differences in sizes are small and they do not exceed 5%. However, along with the increase in the percentage of scrap in the casting of more than 50% a significant decline in the value R_{02} and R_m has been observed (FIG. 1).

The measured average hardness reaches 386 HV10 and is similar to that specified by the manufacturer 375 HV10, whereas microhardness measurements indicate the heterogeneity of the macrostructure and differences at the level of microstructure. The observed increase in microhardness with the addition of scrap material comes most likely from the fact that while various castings at ca 1473 K comes to the transformation of carbide $M_{23}C_6$ on M_6C (carbide M_6C has a higher hardness than $M_{23}C_6$) [17]. Thus, in the case of remelted alloys, the participation of M_6C carbides in the alloy increases, but it requires a composition confirmation testing phase.

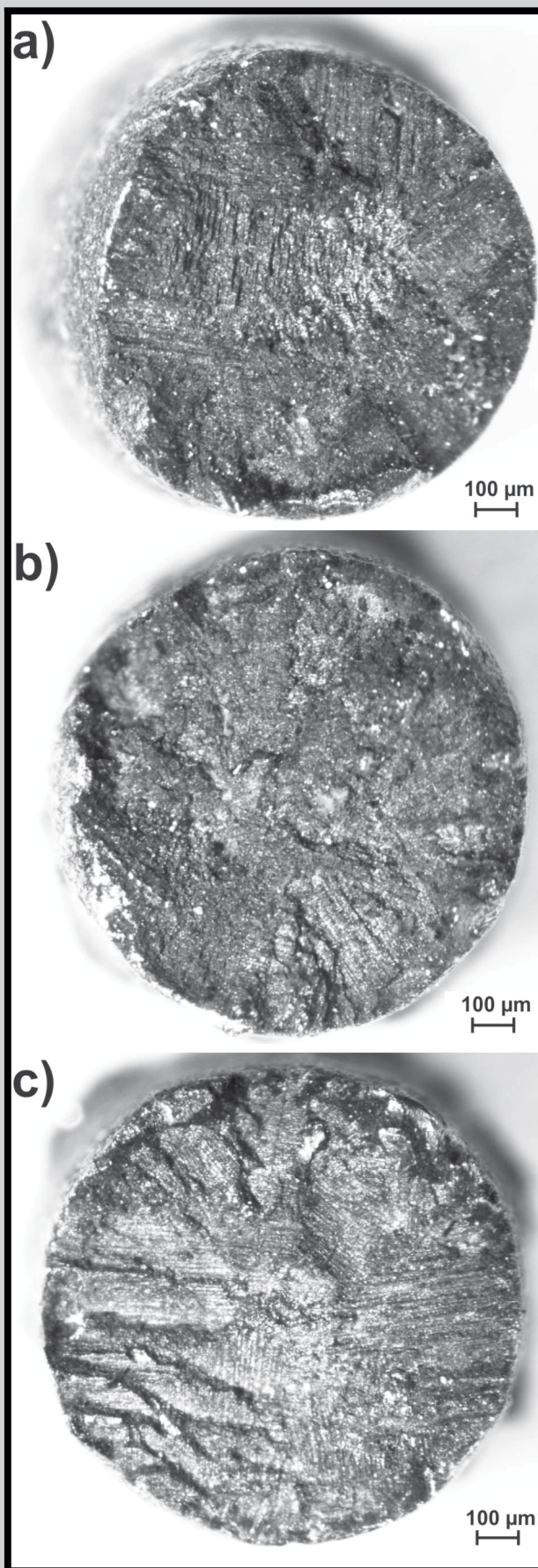
Microstructural analysis of cast CoCrMo alloy material is characterized by the typical new, relatively coarse dendritic structure (FIG. 2a) with a small amount of micropores. Within the crystallites are dendritic microseggregations, in the interdendritic regions along the borders of crystallites are arranged primary continuous precipitations and micro discontinuities (FIG. 2b). The castings with scarp participation demonstrate similar structure (FIG. 2c,d). There were no inclusions, which could come from contamination of the material with particles of the investment material.

Observations of fracture after tensile test also showed differences in the structure of castings. In samples of alloys casted from a fine Wironit alloy the macrostructure throughout the whole area of fracture is heterogeneous (FIG. 3a). The alloy containing the material from recycling show a heterogeneous fracture, with ever clearer cracking centripetally arranged along the dendrites (FIG. 3b,c).

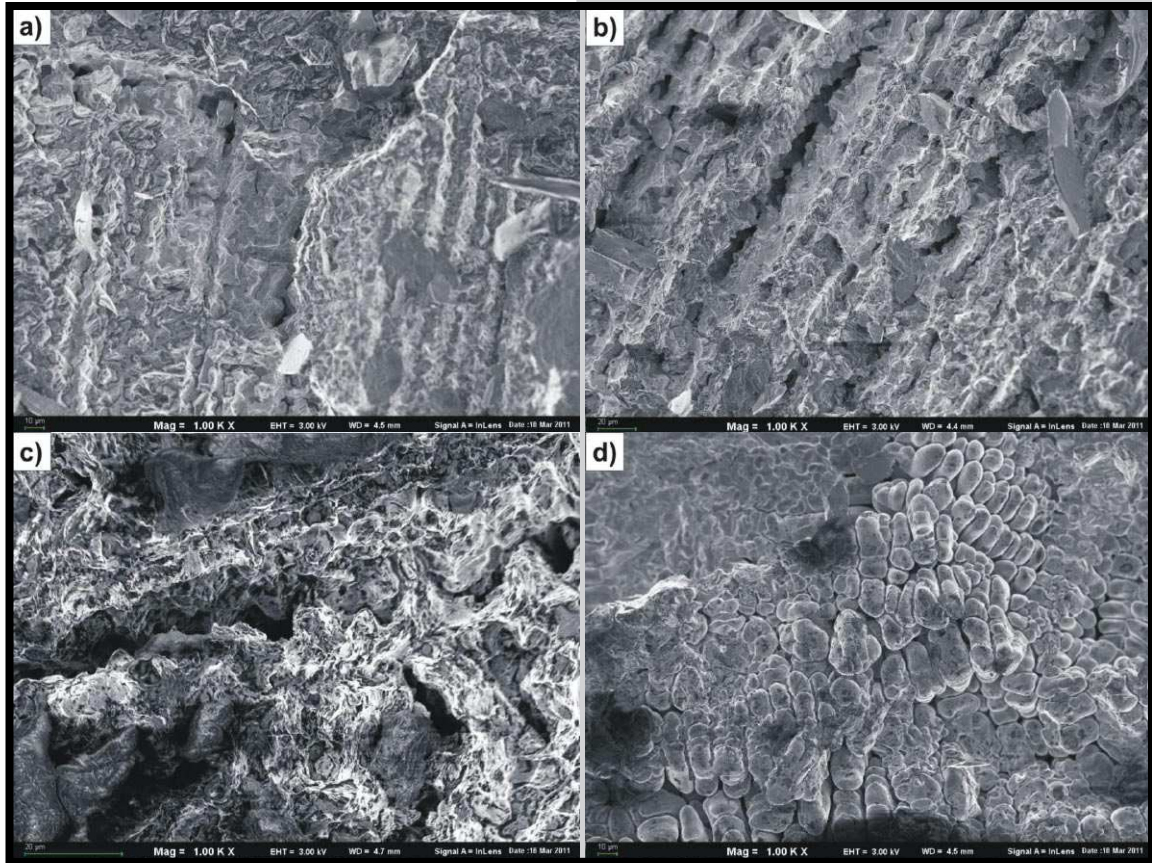
SEM analysis revealed microcracks according to the orientation of dendrites with density increasing along with recycled material (FIG. 4). With the increase in the percentage of scrap structural discontinuities in the form of micropores and microshrinkages are increasing. Casting defects in the form of discontinuities in materials can be treated as micronotches causing accumulation of stresses in areas of prevalence, contributing to reduction in strength.



RYS. 2. Mikrostruktura odlewów: a) i b) przetopiony Wironit - 100% czystego materiału, c) przetop z udziałem 25% złomu, d) przetop z udziałem 50% złomu.
 FIG. 2. Microstructure of casts: a) and b) remelted Wironit - 100% of the fine material, c) alloy with 25% of scrap d) alloy with 50% of scrap.



RYS. 3. Struktura przełomów stopów po teście wytrzymałości na rozciąganie: a) 100% Wironitu, b) z udziałem 25% złomu, c) z udziałem 50% złomu.
 FIG. 3. Breakthroughs of alloys after tensile test: a) 100% new material, b) with 25% scrap, c) with 50% scrap.



RYS. 4. Mikrostruktura SEM przełomów stopów odlewniczych o różnym udziale materiału z recyklingu po próbach zrywania: a) 100% nowego materiału, b) 25% złomu, c) i d) 50% złomu; widoczne pęknięcia oraz rzadzizny i mikropory.

FIG. 4. SEM microstructure of the breakthroughs of the casting alloys with varying involvement of recycled material after static tension test: a) 100% of a new material, b) 25% scrap, c) and d) 50% scrap, visible cracks, microshrinkages and micropores.

Posumowanie i wnioski

Na podstawie badań własności mechanicznych stwierdzono, że granica plastyczności i wytrzymałość na rozciąganie wszystkich przetapianych stopów są niższe niż średnie wartości R_m i R_{02} stopu Wironit deklarowane przez producenta. Zwiększenie udziału procentowego złomu w odlewach powyżej 50% powoduje znaczący spadek wartości R_m i R_{02} , a co za tym idzie znaczne obniżenie właściwości wytrzymałościowych. Przetapiane stopy z większą ilością materiału z recyklingu mają bardziej niejednorodną strukturę oraz wykazują większą skłonność do kruchego pęknięcia. Przełomy po próbach zrywania mają charakter kruchy, z wyraźnie widoczną strukturą dendrytyczną. Na fotografiach mikrostruktury obserwowanej przy użyciu mikroskopu skaningowego widoczne są wady materiałowe odlewów w postaci mikroporów, rzadzizn i pęknięć. Planowane są dalsze badania celem określenia, czy przyczyną pogorszenia jakości stopów przetapianych jest niewłaściwa technologia przygotowania formy odlewniczej, czy gorsze parametry zmiany parametrów stopu zawierającego materiał z recyklingu. Konieczne jest przeprowadzenie badań składu fazowego przetapianych stopów oraz sprawdzenie możliwości ujednorodnienia struktury poprzez zastosowanie odpowiedniej obróbki cieplnej w celu poprawienia właściwości wytrzymałościowych odlewów. Z przeprowadzonych badań wynika, że dodanie do czystego stopu Wironit złomu z recyklingu w ilości nie przekraczającej 50% nie powoduje wyraźnego pogorszenia jakości otrzymanych odlewów i ze względów ekonomicznych można by taką technologią stosować w praktyce wykonywania protez stomatologicznych.

Summary and conclusions

On the base of the study it has been pointed out that the yield strength and the tensile strength of all alloys is lower than the average values R_m i R_{02} of Wironit alloy declared by the manufacturer. The increase of contribution percentage of scrap in castings of more than 50% of the recycled contribution causes a significant decrease in the R_m i R_{02} values and thereby substantially reduces the strength properties. Remelted alloys with a higher amount of the recycled material have more inhomogeneous structure and are more prone to brittle fracture. The breakthroughs after the static tension tests have clearly visible dendritic structure. In the pictures of the microstructure taken by means of the scanning microscope are visible material failures in shape of micropores, microshrinkages and cracks. Further studies are planned to determine whether their cause is just the wrong mold technology or worse parameters, change of the parameters of an alloy containing material from the remelted casting. It is necessary to carry out a detailed phase analysis of cast materials and to check the possibility to make a structure heterogeneous by means of application of a proper heat treatment in order to improve the properties of the durable castings. The conducted researches indicate that if you add to a fine Wironit alloy a scrap from recycling in the amount of not more than 50% it will not significantly affect the quantity of the obtained castings and from economic reasons this technology could be applied in practice of dental prostheses manufacturing process.

Podziękowania

Autorzy artykułu są wdzięczni dr n. med. Januszowi Borowiczowi z Uniwersytetu Medycznego w Lublinie za pomoc w realizacji badań.

Acknowledgements

The authors of the article are grateful to Janusz Borowicz – PhD of Medicine from Medical University of Lublin for help with realization the researches.

Piśmiennictwo

- [1] Strietzel R.: Ponowne odlewanie stopów dentystycznych, *Dental-labor*, 4/2000, s. 3-6.
- [2] Peraire M., Martinez-Gomis J., Anglada J.M., Bizar J., Salsench J., Gil F.J.: Effects of Recasting on the Chemical Composition, Microstructure, Microhardness, and Ion Release of 3 Dental Casting Alloys and Titanium, *The International Journal of Prosthodontics*, 20, 2007, pp. 286-288.
- [3] Majewski S., Opoka W., Gacek S.: Właściwości stopu ćwiczebne-go w zależności od postaci składników wyjściowych i wielokrotności odlewów, *Protetyka Stomatologiczna*, XLI, 4, 1991, s. 192-198.
- [4] Ozyegin L.S., Tuncer R., Avci E.: Hardness, Behavior and Metal Surface Evaluation of Recasting Non-Precious Dental Alloys, *Key Engineering Materials*, 330-332, 2007 pp. 1425-1428.
- [5] Horasawa N., Marek M.: The effect of recasting on corrosion of a silver-palladium alloy, *Dental Materials*, 20, 2004, pp. 352-357.
- [6] Hajduga M., Puchalik A., Oszacowanie przydatności stopu Heraenium NA po przetopieniu w kontekście badań strukturalnych, *Nowoczesny Technik Dentystyczny*, 3, 2009 s. 56-60.
- [7] Bauer J., Cella S., Pinto M.M., Costa J.F., Reis A., Loguercio A.D.: The use of recycled metal in dentistry: Evaluation of mechanical properties of titanium waste recasting, *Resources, Conservation and Recycling*, 54, 2010, pp.1312-1316.
- [8] Al-Ali A.A., Evaluation of Macrohardness of Recasted Cobalt-Chromium Alloy, *Al-Rafidain Dent J.*, 7(1), 2007, pp. 111-117.
- [9] Henriques Guilherme E.P., Consani S., de Almeida Rollo João M.D., Andrade e Silva F.: Soldering and remelting influence on fatigue strength of cobalt-chromium alloys, *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 78, 1997, pp. 146-152.

References

- [10] Khamis E., Seddik M.: Corrosion evaluation of recasting non-precious dental alloys, *International Dental Journal*, 45, 1995, pp. 209-217.
- [11] Ozdemir S., Arikan A.: Effects of recasting on the amount of corrosion products released from two Ni-Cr base metal alloys, *Eur. J. Prosthodont. Rest. Dent.*, 1998, 6, pp. 149-153.
- [12] Ameer M.A., Khamis E., Al-Motlaq M.: Electrochemical behaviour of recasting Ni-Cr and Co-Cr non-precious dental alloys, *Corrosion Science*, 46, 2004, s. 2825-2836.
- [13] Pierzynka R., Marciniak S., Klimek L., Wpływ liczby przetopień na właściwości mechaniczne stopu DUCINOX, *Nowoczesny Technik Dentystyczny*, 2, 2010 s. 22-24.
- [14] Ucar Y., Aksahin Z., Kurtoglu C.: Metal Ceramic Bond After Multiple Casting of Base Metal Alloy, *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 102, 2009, pp. 165-171.
- [15] Joias R.M., Tango R.N., Junho de Araujo J.E., Ferreira Anzaloni Saavedra Gde S., Paes-Junior T.J., et al.: Shear bond strength of ceramic to Co-Cr alloys. *J. Prosthet. Dent.*, 99, 2008, pp. 54-59.
- [16] www.bego.com - Strona firmy Bego, 27 luty 2011.
- [17] Mineta S., Namba S., Yoneda T., Ueda K., Narushima T.: Carbide Formation and Dissolution in Biomedical Co-Cr-Mo Alloys with Different Carbon Contents during Solution Treatment. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 41(8), 2010, pp. 2129-2138.