

# OCENA ODLEWÓW STOPU NIKLU W KONTEKŚCIE ICH PRZYDATNOŚCI PO ZASTOSOWANIU PROTETYCZNEGO ZŁOMU POPRODUKCYJNEGO

KAROLINA BEER-LECH<sup>1\*</sup>, KRZYSZTOF PAŁKA<sup>1</sup>, JANUSZ BOROWICZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> KATEDRA INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ,  
WYDZIAŁ MECHANICZNY, POLITECHNIKA LUBELSKA,  
UL. NADBYSTRZYCKA 36, 20-618 LUBLIN

<sup>2</sup> UNIWERSYTET MEDYCZNY W LUBLINIE,  
STOMATOLOGICZNE CENTRUM KLINICZNE,  
ZAKŁAD PROTETYKI UNIWERSYTETU MEDYCZNEGO W LUBLINIE  
UL. KARMELICKA 7, 20-081 LUBLIN

\* E-MAIL: K.BEER@POLLUB.PL

## Streszczenie

Trwałość i użyteczność metalowych podbudów stomatologicznych protez częściowych w środowisku organizmu ludzkiego, a w szczególności w warunkach obciążeń biomechanicznych występujących podczas żucia jest uwarunkowana ich jakością uzyskaną w procesie odlewania. Na jakość metalowych podbudów protez może mieć wpływ zarówno metoda odlewania jak i korzystanie w procesie odlewania z dodatku tzw. złomu poprodukcyjnego. Złom ten stanowić mogą metale lub ich stopy, które były już raz użyte w procesie odlewania, jak również pozostałości po obróbce protetycznej. Ze względów ekonomicznych większość laboratoriów protetycznych wykorzystuje złom poprodukcyjny jako część wsadu do kolejnego procesu odlewania protez jednak procedura ta może powodować zmianę właściwości mikrostrukturalnych i mechanicznych uzyskanych odlewów i wpływać na końcową jakość wytworzonych protez, skutkując również obniżeniem przyczepności ceramiki dentystycznej. Wyniki prezentowane w literaturze dla różnych badanych stopów nie są jednoznaczne.

Celem pracy była ocena jakościowa odlewów oraz analiza zmian mikrostruktury i składu chemicznego odlewów wykonanych ze stopu NiCrMo stosowanego do wytwarzania metalowych podbudów koron i mostów protetycznych z dodatkiem złomu poprodukcyjnego oraz dwóch metod odlewania protez.

Jako próbki do badań zastosowano jednokrotne przetopy stopu niklu o zawartości odpowiednio: 100, 50, 0% stopu fabrycznego oraz osrodkową i próżniowo-ciśnieniową metodę odlewania.

Wykonano badania mikrostrukturalne otrzymanych odlewów wraz z ich oceną jakościową i ilościową. Dla wszystkich badanych próbek stwierdzono obecność porów. Określono udział procentowy wydzielań występujących w stopach oraz ich skład chemiczny. Stwierdzono, że stop odlewany metodą próżniowo-ciśnieniową charakteryzuje się większym udziałem wydzielań niż stop odlewany za pomocą metody osrodkowej.

**Słowa kluczowe:** stopy niklu, biomateriały, złom poprodukcyjny, mikrostruktura, metody odlewania.

[Inżynieria Biomateriałów 121 (2013) 13-18]

# EVALUATION OF NICKEL ALLOY CASTINGS IN THE CONTEXT OF THEIR RELEVANCE TO THE USE OF POST-PRODUCTION SCRAP APPLICATION

KAROLINA BEER-LECH<sup>1\*</sup>, KRZYSZTOF PAŁKA<sup>1</sup>, JANUSZ BOROWICZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> LUBLIN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY,  
DEPARTMENT OF MATERIALS ENGINEERING,  
36 NADBYSTRZYCKA STR., 20-618 LUBLIN, POLAND

<sup>2</sup> MEDICAL UNIVERSITY OF LUBLIN,  
I FACULTY OF MEDICINE WITH DENTISTRY DIVISION,  
7 AL. KARMELICKA STR., 20-081 LUBLIN, POLAND

\* E-MAIL: K.BEER@POLLUB.PL

## Abstract

*Durability and serviceability of metal substructures of partial dentures in the environment of the human body, especially in the conditions of biomechanical loads encountered during chewing, is determined by the quality achieved in the casting process. The quality of the metal denture frameworks can affect both: the casting method and using of post-production scrap in the casting process. Prosthetic post-production scrap may be: metals or their alloys that were once already used in the casting process, as well as the remnants of the prosthetic treatment. For economic reasons, the majority of dental laboratories use post-production scrap as part of the batch to the next casting process, however, this practice may change microstructure and mechanical properties of the castings and affect the quality of the final prosthesis resulting also in the reduction of adhesion of dental ceramics. The results presented in the scientific literature for various tested alloys are ambiguous.*

The aim of this study was to analyze the changes in the microstructure and chemical composition of castings made from NiCrMo alloy (used to manufacture the substructures of ceramic faced prosthetic crowns and bridges) applying post-production scrap and two methods of casting. As the test samples the disposable castings of Ni alloy was used, containing respectively 100, 50, 0% of new alloy.

The microstructure research, including quality and quantity analysis, was performed. For all tested samples the occurrence of pores was observed. The percentage ratio of precipitates, formed in the alloys and their chemical composition was determined. It was found that the alloy cast using vacuum pressure method has a greater share of the precipitates than alloy castings using a centrifugal method.

**Keywords:** nickel alloys, biomaterials, post-production scrap, microstructure, casting methods

[Engineering of Biomaterials 121 (2013) 13-18]

Wysoki koszt stopów złota jest przyczyną poszukiwania alternatywnych stopów dentystrycznych, które mogą być zastosowane jedynie wtedy, gdy są bezpieczne dla pacjentów. Pomimo pojawienia się doniesień naukowych o szkodliwym wpływie niektórych metali na organizmy żywe, a w szczególności alergii spowodowanej oddziaływaniem stopów niklu, są one nadal powszechnie stosowane do wytwarzania podbudów stomatologicznych protez częściowych [1]. Nie ma wątpliwości, że stopy złota są bardziej zgodne biologicznie. Dane literaturowe wykazują jednak, iż stopy Ni-Cr są doskonałą alternatywą dla stopów szlachetnych do wykonywania protez licowanych ceramiką ze względu na wysoki moduł sprężystości stopu (ok. dwa razy większy niż w stopach złota). Umożliwia to zmniejszenie przekroju poprzecznego elementów oraz zapewnia większą przestrzeń dla porcelany i mniejsze zużycie zęba [2]. Liczne zalety stopu tj.: większa odporność na korozję [3], oraz zbliżone wartości współczynnika rozszerzalności cieplnej z porcelaną dentystryczną [4], a także niskie koszty wytwarzania protez sprawiają, że stopy te stanowią korzystną alternatywę dla innych stopów metali nieszlachetnych. Ponadto licowanie porcelaną zmniejsza istotnie ich cytotoksyczność [5].

Na końcową jakość stomatologicznych protez częściowych, typu korona czy most wpływają głównie: metoda odlewania [2] oraz stosowanie do odlewania materiałów powtórnie przetopionych [6-13]. Praktyka wykorzystywania tzw. złomu poprodukcyjnego jest atrakcyjną metodą obniżenia kosztów wytwarzania elementów protetycznych. Złom poprodukcyjny stanowią metale i stopy metali, które już raz były użyte w procesie wytwarzania elementów protetycznych. Ponadto właściwości ponownie przetopionych stopów dla stomatologii mogą różnić się od stopów fabrycznie nowych, co spowodowane jest zmianą składu chemicznego i mikrostruktury. Niektóre prace wskazują na niekorzystny wpływ na odporność korozyjną i właściwości mechaniczne stopów powtórnie przetopionych, oraz obniżenie wytrzymałości połączenia metal-porcelana dentystryczna [6-9]. W literaturze zwraca się również uwagę na wzrost cytotoksyczności stopów Ni-Cr, Co-Cr i Cu z dodatkiem przetopów wtórnych [10-11]. Inne prace [12-14] wskazują na znikomy wpływ stosowania przetopów wtórnych na mikrostrukturę, odporność na korozję, właściwości mechaniczne, oraz lejność, za to podkreślają duże korzyści ekonomiczne. Opisywane są głównie stopy Ti, Co i metali szlachetnych, natomiast niewiele jest danych na temat zmian w stopach Ni-Cr-Mo po powtórny przetopieniu. Jak dotąd brak jest w literaturze szczegółowej analizy jednoczesnego wpływu obu czynników: metody odlewania i zastosowania złomu poprodukcyjnego na morfologiczne zmiany w mikrostrukturze stopów NiCrMo stosowanych do wytwarzania protez licowanych ceramiką.

Celem pracy była ocena jakościowa odlewów oraz analiza zmian w mikrostrukturze i składzie chemicznym stomatologicznego stopu Ni-Cr-Mo z zastosowaniem złomu poprodukcyjnego i dwóch metod odlewania.

## Materiały i metody

Do badań zastosowany został komercyjny stop stomatologiczny NiCrMo o składzie masowym: Ni: 59,3%, Cr: 24,0%, Mo: 10,0%, Fe: 1,5%, Mn: 1,5%, Ta: 1,5%, Si: 1,2%, Nb: 1,0%. Stop ten jest zgodny z normą EN ISO 22674 i przeznaczony do wykonywania licowanych ceramiką lub kompozytem koron i mostów protetycznych.

## Introduction

The high cost of noble metal alloys is causing the search for alternative dental alloys that can be applied only if they are safe for patients. Despite the emergence of scientific reports about the harmful effects of certain metals on living organisms, and in particular the impact of allergies caused by nickel alloys, they are still widely used in the manufacture of denture partial frameworks [1]. There is no doubt that gold alloys are more biocompatible. However scientific reports indicate that Ni-Cr alloys are an excellent alternative to noble metal alloys to manufacture ceramic faced dentures due to the high modulus of elasticity (approximately two times higher than its value for gold alloys). This reduces the cross-section of elements, and provides more space for dental ceramic and less wear of the tooth [2]. The numerous advantages of the alloy such as: higher corrosion resistance [3], and similar thermal expansion coefficient of dental ceramic [4], and low costs of dentures manufacturing make those alloys advantageous alternative in comparison to other metals. In addition, porcelain veneers significantly reduces their cytotoxicity [5].

The final quality of partial dentures: the crowns or bridges influenced mainly casting method [2] and the use recycled materials for the casting [6-13]. The practice of using "post-production scrap" is an attractive method of reducing the cost of prosthetic components manufacturing. The post-production scrap could be metals and their alloys that were once already used in the manufacture of prosthetic components. Scientific reports indicate that the properties of the recasted alloys for dentistry can vary from the brand new alloy, which is caused by the change in the chemical composition and microstructure. Some studies suggest an adverse effect of recasted alloys on the corrosion resistance and mechanical properties, as well as decrease in strength of the metal-dental porcelain bonding [6-9]. It is also noted an increase in cytotoxicity in Ni-Cr, Co-Cr and Cu alloys with the addition of recasted materials [10-11]. Other works [12-14] point an insignificant effect on the microstructure, corrosion resistance, mechanical properties, and fluidity, but emphasize the large economic benefits of the use of recasted alloys. There are mainly Ti alloys, Co and precious metals described, but little is known about changes in Ni-Cr-Mo after recasting. There is no detailed analysis in the literature of the influence of both factors simultaneously: the casting method and application of post-production scrap on the morphological changes in the microstructure of alloys used to the manufacture of NiCrMo ceramic faced prostheses.

The aim of this study was to assess the quality of castings and analysis of changes in the microstructure as well as chemical composition of dental Ni-Cr-Mo alloy using post-production scrap and two casting methods.

## Materials and Methods

A commercial NiCrMo dental alloy of chemical composition (wt%) Ni: 59.3%, Cr: 24.0% Mo: 10.0%, Fe: 1.5%, Mn: 1.5%, Ta: 1.5%, Si: 1.2% Nb: 1.0% was used in this study. This alloy is in compliance with the standard EN ISO 22674 and designed to produce ceramic faced dentures.

Ze stopu wykonano walcowe odlewy o wymiarach: średnica 5 mm, wysokość 8 mm, stosując jednokrotne przetopy o składzie wyjściowym odpowiednio 0, 50 i 100% stopu fabrycznego. Formy ceramiczne do wytworzenia odlewów wykonano metodą wytapianych modeli stosując uniwersalną masę ceramiczną WiroFine (Bego). Odlewy wykonano dwiema metodami wypełniania formy odlewniczej: odśrodkową – przy użyciu odlewarki indukcyjnej ROTOCAST (Roko Dental Equipment) i próżniowo-ciśnieniową w urządzeniu Nautilus (Bego). Po usunięciu skorupy ceramicznej i odcięciu elementów układu wlewowego powierzchnię próbek piaskowano. Cały proces przeprowadzony był w warunkach pracowni protetycznej zgodnie z procedurami stosowanymi do wytwarzania podbudów protez częściowych.

Mikrostrukturę zgładów obserwowano przy użyciu optycznego mikroskopu metalograficznego Nikon MA 200 jak również skaningowego mikroskopu elektronowego Ultra Plus (Zeiss) z mikroanalizatorem EDX (Bruker). Analizę ilościową mikrostruktur wykonano z wykorzystaniem oprogramowania ImagePro Plus (Media Cybernetics). Do oceny stereologicznej przyjęto powierzchnię wydzielań i średnią średnicę jako parametry opisujące ich wielkość, parametr opisujący kształt wydzielań (stosunek średnic), oraz procentowy udział powierzchni wydzielań. Do analizy obrazu przyjęto obszar o powierzchni 0,12 mm<sup>2</sup>, przy czym wyniki podano jako średnie z 5 miejsc obserwacji na 3 próbkach. Ocenę statystyczną wyników wykonano przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ .

## Wyniki i dyskusja

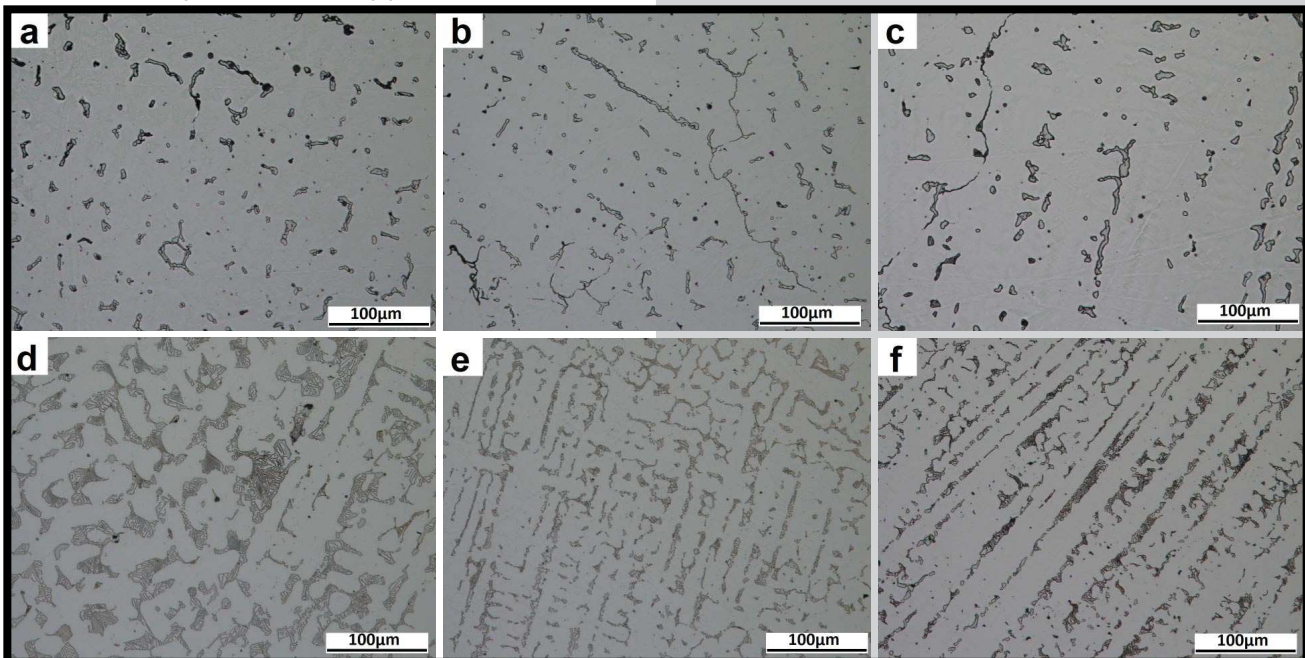
Na RYS. 1 zaprezentowano mikrostruktury badanego stopu wykonanego dwiema metodami oraz z różną zawartością złomu poprodukcyjnego. Obserwacje przekrojów badanych elementów, wykonanych zarówno metodą odśrodkową jak i próżniowo-ciśnieniową, wskazują na charakterystyczną strukturę odlewniczą z kierunkiem krystalizacji od zewnętrznej powierzchni wyrobu z zakończeniem krystalizacji w centrum wlewka. Wyraźnie uwidoczniła jest również dendrytyczna budowa odlewu.

Cylindrical castings with dimensions of: diameter 5 mm, height 8 mm, were made using single cast. Tested material contained respectively 0, 50 and 100% of new alloy. Ceramic molds to produce the castings were made by lost wax models method using the universal ceramic body WiroFine (Bego). Castings were made by induction centrifugal casting ROTOCAST (Roko Dental Equipment) and vacuum-pressure casting Nautilus (Bego). After removal of the ceramic shell and cut-off the elements of the gating system samples were sand blasted. The entire process of the manufacture was carried out in prosthetic lab in accordance with the procedures applicable to the manufacture of partial denture framework.

Microstructure of tested alloys was observed using optical microscope Nikon MA 200 as well as the scanning electron microscopy Ultra Plus (Zeiss) equipped with EDX analysis (Bruker). Quantitative analysis of microstructure was made using the ImagePro Plus software (Media Cybernetics). To evaluate the stereology there were used the ratio of precipitations area; parameters describing the size were area and mean diameter of precipitation and the shape of precipitation was described by ratio of min/max diameter. There were analyzed 5 regions of area 0.12 mm<sup>2</sup> each on 3 samples of every alloy. The statistical evaluation of the results was made at the significance level  $\alpha = 0.05$ .

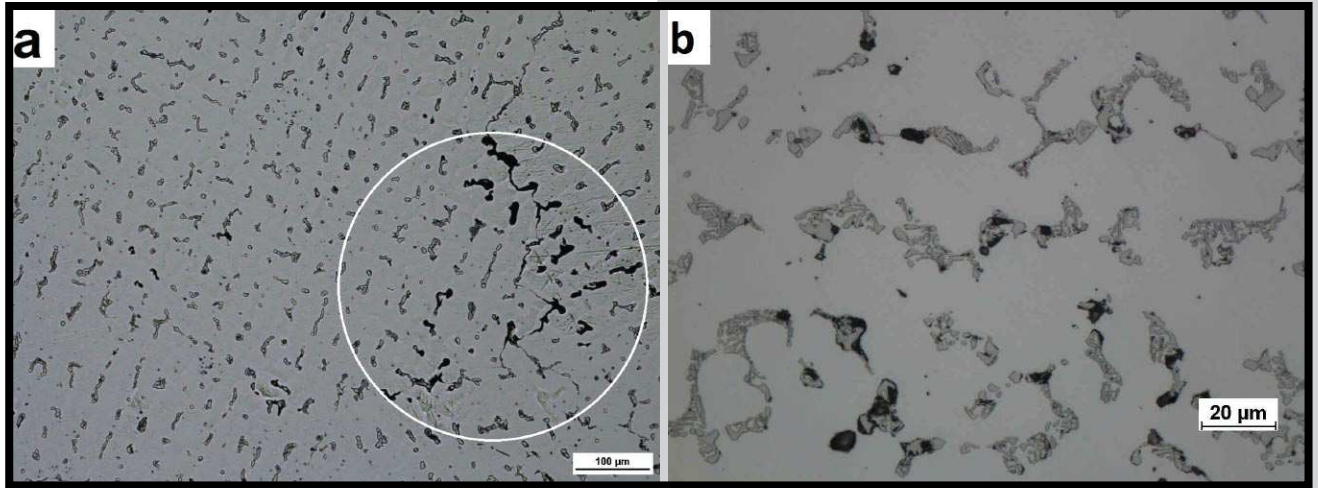
## Results and Discussions

Microstructures of tested alloy made of two casting methods and with varying content of post-production scrap were presented in FIG. 1. Observation of cross sections of tested samples made by both methods (induction centrifugal casting and vacuum-pressure casting) show specific structure of cast with the direction of crystallization from the external surface of the product with the completion of the crystallization in the center of the ingot. A dendritic structure of the cast is also clearly visible.



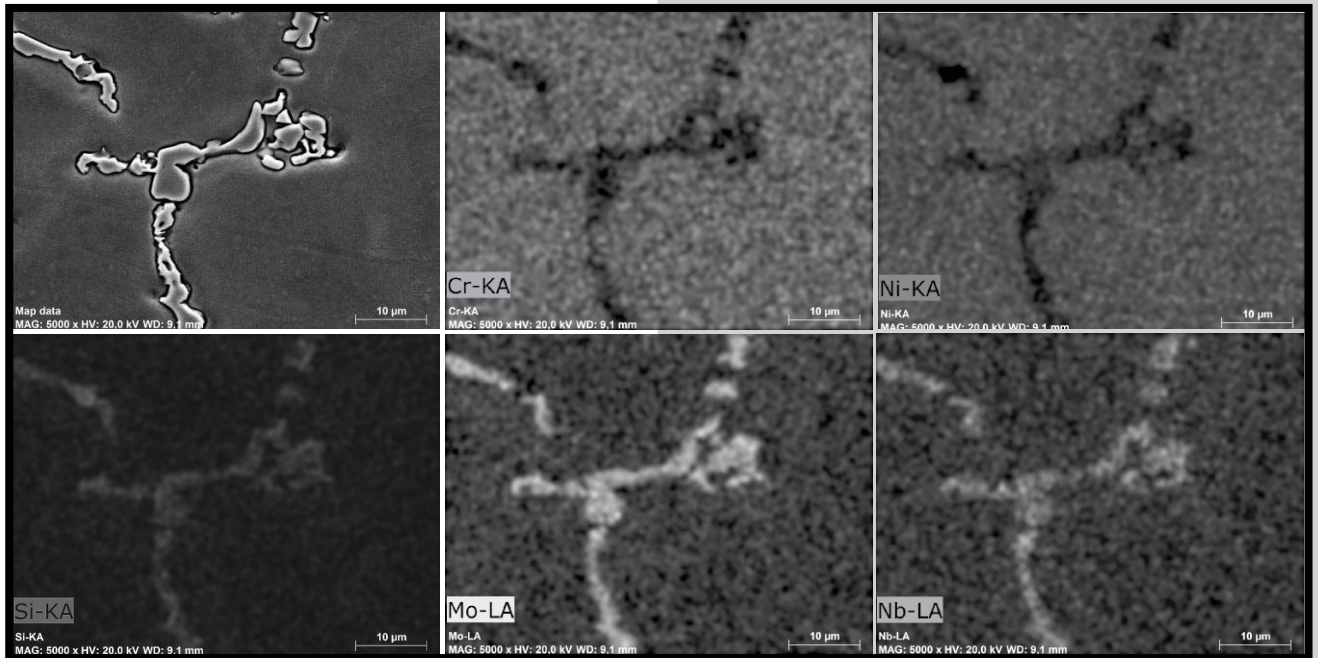
**RYS. 1.** Obrazy mikrostruktury badanego stopu: odlewy wykonane metodą odśrodkową zawierające odpowiednio: 0% (a), 50% (b), 100% (c) stopu fabrycznego; odlewy wykonane metodą próżniowo-ciśnieniową zawierające odpowiednio: 0% (d), 50% (e), 100% (f) stopu fabrycznego.

**FIG. 1.** Images of the microstructure of the tested alloy: castings made by centrifugal casting method, containing respectively: 0% (a), 50% (b) 100% (c) of ready-made alloy, castings made by the vacuum - pressure casting method containing respectively: 0% (d), 50% (e), 100% (f) of ready-made alloy.



**RYS. 2.** Porowość w mikrostrukturze badanego stopu: (a) odlew wykonany metodą odśrodkową; (b) odlew wykonany metodą próżniowo-ciśnieniową.

**FIG. 2.** Porosity in the microstructure of tested alloy: (a) made by centrifugal casting method; (b) made by the method of vacuum – pressure.



**RYS. 3.** Obrazy rozkładu pierwiastków w osnowie i wydzieleniach w odlewie zawierającym 0% stopu fabrycznego wykonanego metodą odśrodkową.

**FIG. 3.** Maps of elements distribution in matrix and precipitations in the cast containing 0% of new alloy, made by centrifugal casting method.

Pory i rzadziny obserwowane są głównie w centralnej części elementów i występują na poziomie mikrostruktury, szczególnie w przestrzeniach między dendrytami - RYS. 2. Jest to potwierdzeniem wysokiej jakości odlewniczej badanego materiału. Nie stwierdzono wpływu ilości materiału z recyklingu oraz sposobu odlewania na ilość, wielkość i morfologię porów.

Z powodu niewielkich wymiarów elementów prędkość chłodzenia stopu była dość duża, zwiększona dodatkowo w metodzie odśrodkowej przez ruch formy. W związku z tym struktury uzyskane w procesie wytwarzania różnią się od struktur układu równowagi opisanych w [15,16]. Strukturę stopów, dla obu zastosowanych metod odlewania, stanowi osnowa roztworu Ni-Cr-Mo z wydzieleniami faz międzymetalicznych i wydzieleniami bogatych w Mo, Nb i Si przy niezmięnionej w stosunku do osnowy zawartości Fe i Ta i znacznie zmniejszonej zawartości Ni i Cr (RYS. 3).

Porosity and shrinkage porosity are observed mainly in the central part of the elements and occur at the level of microstructure, particularly in the spaces between dendrites (FIG. 2). This is a confirmation of very good casting properties of the material tested. The effect of the amount of recycled material and the method of casting for the quantity, size and morphology of porosity was not observed.

Due to the small dimensions of specimens the speed of cooling was quite high, increased additionally in centrifugal method by movement of mold. Due to that, the obtained microstructures are different from the structures of the equilibrium system described in [15,16]. The microstructure of alloys, for both methods applied, is the Ni-Cr-Mo matrix with precipitations of intermetallic phases and other compounds rich in Mo, Nb, and Si, with not varying observed in contents of Fe and Ta and significantly decreased content of Ni and Cr (FIG. 3).

Tak silna segregacja pierwiastków może powodować, jak pisali autorzy Ameer M.A. i inni - inicjację procesów korozyjnych [7]. Nie zaobserwowano różnic w rozkładzie pierwiastków w osnowie i wydzieleniach międzidendrytycznych dla obu przedstawionych metod odlewania i różnej zawartości złomu poprodukcyjnego, a przykładowe wyniki oznaczeń rozkładu pierwiastków, wykonane dla metody odśrodkowej, zamieszczono na RYS. 3.

Różnice w składzie chemicznym odlewów nie wykazują istotności statystycznej. Obserwuje się zależność morfologii, ilości i wielkości wydzieleni i od zastosowanej metody odlewania, a w przypadku metody próżniowo-ciśnieniowej również bardzo silnie zaznacza się wpływ zawartości materiału z recyklingu (TABELA 1). Budowa wydzieleni dla metody odśrodkowej ma charakter blokowy (RYS. 2a, 3) natomiast dla metody próżniowo-ciśnieniowej – pasmowy (RYS. 2b). Wpływ metody odlewania na mikrostrukturę stopów niklu opisano również w pracach [17, 18]. Obie prace wskazują na obecność wydzieleni międzidendrytycznych zawierających Cr i Mo dla obu zastosowanych metod odlewania. Jednakże w niniejszych badaniach stwierdzono zmniejszoną ilość chromu w wydzieleniach. W pracy [17] wykazano, iż technika wypełnienia formy odlewniczej nie ma znaczącego wpływu na budowę wydzieleni, dla obu metod autorzy obserwowali wydzielenia pasmowe. Rozbieżności w uzyskiwanych wynikach mogą być rezultatem różnic w temperaturze zalewania oraz różnic w składzie chemicznym i strukturze materiału wyjściowego. Autorzy kontynuują badania w celu potwierdzenia tej tezy.

Ilość wydzieleni w przypadku metody odśrodkowej nie wykazuje istotnej statystycznie zależności od ilości materiału z recyklingu. Obserwuje się małą ilość wydzieleni (ok. 5%) o niewielkich rozmiarach (powierzchnia ok.  $30 \mu\text{m}^2$ , średnia średnica ok.  $5 \mu\text{m}$ ). W przypadku metody próżniowo-ciśnieniowej ilość wydzieleni maleje wraz ze zmniejszeniem udziału materiału z recyklingu, przy czym jest to różnica istotna statystycznie.

Such strong segregation of elements may initiate corrosion processes [7]. Differences in the distribution of elements in the matrix as well as in the interdendritic precipitates, for both used casting methods and various content of post-production scrap, were not noticed. Representative results of the element distribution, made for the centrifugal method are given in FIG. 3.

Differences in the chemical composition of castings do not show statistical significance. There is observed a dependence of morphology, size and quantity of precipitations and the casting method used. In the case of the vacuum-pressure casting method there was also noted very strong influence of the content of recycled material on precipitations morphology (TABLE 1). In the centrifugal method precipitations were formed in block shape (FIG. 2a, 3) and in the vacuum-pressure method – in shape of band (FIG. 2b). Effect of casting methods on microstructure of nickel alloys is described also in works [17 and 18]. Both works indicate the presence of interdendritic precipitations containing Cr and Mo for both casting methods used. However, these studies have found reduced amount of chromium in precipitations. Work [17] showed that the casting method had no significant impact on precipitations formation. Divergence in results may be due to differences in temperature of melted metal and/or in chemical composition of the starting material and the presence of refractory compounds. The authors continue the study in order to confirm this thesis.

The amount of precipitations in the case of alloy produced by centrifugal method showed no statistically significant correlation on the quantity of the recycled material. There is a small amount of precipitations (approximately 5%) of the small sizes (area approx.  $30 \mu\text{m}^2$ , the mean diameter of  $5 \mu\text{m}$ ). In the vacuum-pressure method the amount of precipitates decreases with reducing of content of the recycled material, and this difference is statistically significant.

**TABELA 1. Parametry mikrostruktury uzyskane z analizy obrazu.**  
**TABLE 1. Parameters of microstructure obtained from image analysis.**

	Powierzchnia Area [ $\mu\text{m}^2$ ]	Stosunek max/min. średnicy Ratio of max/min diameter	Średnica Diameter [ $\mu\text{m}$ ]	Udział powierzchni wydzieleni Ratio of precip. area [%]	Powierzchnia Area [ $\mu\text{m}^2$ ]	Stosunek max/min. średnicy Ratio of max/min diameter	Średnica Diameter [ $\mu\text{m}$ ]	Udział % wydzieleni % ratio of precip. area
	metoda odśrodkowa, 0% centrifugal method, 0%				metoda próżniowo-ciśnieniowa, 0% vacuum pressure method, 0%			
Średnia / Mean	27.27	1.98	5.61	5.11	93.45	2.27	9.03	21.01
Odch. std. / Std.dev.	39.60	1.01	4.86	0.34	217.35	1.11	10.49	1.85
Przedz. ufn. $\alpha=0.05$ Conf. interval	$\pm 5.27$	$\pm 0.14$	$\pm 0.65$	$\pm 0.29$	$\pm 26.269$	$\pm 0.135$	$\pm 1.27$	$\pm 1.62$
	metoda odśrodkowa, 50% centrifugal method, 50%				metoda próżniowo-ciśnieniowa, 50% vacuum pressure method, 50%			
Średnia / Mean	18.09	2.21	4.91	4.59	30.42	2.29	5.69	14.72
Odch. std. / Std.dev.	37.38	1.63	6.94	0.32	48.14	1.18	4.87	0.41
Przedz. ufn. $\alpha=0.05$ Conf. interval	$\pm 4.27$	$\pm 0.18$	$\pm 0.79$	$\pm 0.28$	$\pm 3.97$	$\pm 0.09$	$\pm 0.40$	$\pm 0.36$
	metoda odśrodkowa, 100% centrifugal method, 100%				metoda próżniowo-ciśnieniowa, 100% vacuum pressure method, 100%			
Średnia / Mean	37.18	1.89	6.79	5.27	32.47	2.38	5.78	12.53
Odch. std. / Std.dev.	56.59	1.03	6.08	0.49	63.30	1.43	5.49	0.54
Przedz. ufn. $\alpha=0.05$ Conf. interval	$\pm 8.66$	$\pm 0.16$	$\pm 0.93$	$\pm 0.43$	$\pm 5.84$	$\pm 0.13$	$\pm 0.507$	$\pm 0.47$

Może to wskazywać na obecność nierozpuszczonych, wysokotopliwych związków (węgliki, tlenki, fazy międzymetaliczne), pozostałych z poprzednich procesów wytwarzania, które zwiększają rozmiary zarodków krystalizacji. Dodatkowo wydłużony czas chłodzenia (metoda próżniowo-ciśnieniowa) sprzyja tworzeniu dużej ilości wydzielań (ponad 12%) o dużych rozmiarach ( $30\div 90\ \mu\text{m}^2$ ) i nieznacznie wydłużonym kształcie w stosunku do metody odśrodkowej. Uzyskane wyniki wykazują duży rozrzut wartości spowodowany dużym zakresem wielkości powierzchni wydzielań, który wynosił od ok.  $1\ \mu\text{m}^2$  do nawet  $500\ \mu\text{m}^2$ . Większa ilość wydzielań, zwłaszcza dużych rozmiarowo, może przyczynić się do obniżenia właściwości wytrzymałościowych i odporności korozyjnej [7].

## Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz sformułowano następujące wnioski:

1. Stop NiCrMo wykazuje niską porowatość na poziomie mikrostruktury, nie stwierdzono wpływu ilości materiału z recyklingu na ilość, wielkość i morfologię porowatości niezależnie od metody wykonania.
2. Nie zaobserwowano różnic w rozkładzie pierwiastków w osnowie i wydzieleniach międzydendrytycznych dla obu przedstawionych metod odlewania i różnej zawartości złomu poprodukcyjnego.
3. Obserwuje się zależność morfologii, ilości wydzielań i ich wielkości od metody odlewania stopu, a w przypadku metody próżniowo-ciśnieniowej bardzo silnie zaznacza się wpływ zawartości materiału z recyklingu. W związku z tym korzystne jest stosowanie metody odśrodkowej odlewania przy stosowaniu dodatku złomu poprodukcyjnego.

## Podziękowania

*Badania naukowe realizowane w powyższej pracy zostały sfinansowane przez Narodowe Centrum Nauki ramach projektu badawczego „Preludium” nr 2011/01/N/ST8/07774.*

This may indicate the presence of undissolved, refractory compounds (carbides, oxides, intermetallic phases) remaining from previous manufacturing processes that increase the size of the crystal nuclei. In addition, prolonged cooling (the vacuum-pressure method) favors the creation of a large number of precipitations (over 12%) of large sizes (area range of  $30\div 90\ \mu\text{m}^2$ ) and slightly elongated shape in relation to the centrifugal method. The results show a large scatter of values due to the large size range of surface precipitates, which ranged from about  $1\ \mu\text{m}^2$  to even  $500\ \mu\text{m}^2$ . The greater amount of precipitations, especially large-sized, can contribute to a reduction in strength properties and corrosion resistance [7].

## Conclusions

On the basis of the research and analyses, the following conclusions were formulated:

1. NiCrMo alloy showed low porosity at the level of microstructure; there was no impact observed of the amount of recycled material on the quantity, size and morphology of pores, regardless of the casting method.
2. There were observed no differences in the distribution of elements in the matrix and in precipitations for both casting methods and different post-production scrap content.
3. There is a dependence of morphology, the amount of precipitations and their size from casting method, and, in the case of the vacuum-pressure method, there is a very strong influence of the content of recycled material. According to this it is beneficial application of centrifugal method in castings containing post-production scrap.

## Acknowledgments

*This article was created as a part of a research project of the National Science Centre – “Prelude” No. 2011/01/N/ST8/07774.*

## Piśmiennictwo

- [1] Yin Lu et al.: Nickel-based (Ni-Cr and Ni-Cr-Be) alloys used in dental restorations may be a potential cause for immune-mediated hypersensitivity. *Medical Hypotheses* 73 (2009) 716-717.
- [2] Bauer J. et al.: Characterization of two Ni-Cr dental alloys and the influence of casting mode on mechanical properties. *Journal of Prosthodontics Research* 56 (2012) 264-271.
- [3] Benatti O.F. et al.: In vitro and in vivo corrosion evaluation of nickel-chromium- and copper-aluminum-based alloys. *J Prosthet Dent* 84 (2000) 360-363.
- [4] Atsu S., Berksun S.: Bond strength of three porcelains to two forms of titanium using two firing atmospheres. *J Prosthet Dent* 84 (2000) 567-574.
- [5] Reddy N.R. et al.: An In vitro Analysis of Elemental Release and Cytotoxicity of Recast Nickel-Chromium Dental Casting Alloys. *J Indian Prosthodont Soc* 2 (2011) 106-112.
- [6] Al-Ali A.: Evaluation of macrohardness of recasted cobalt-chromium alloy. *Al-Rafidain Dent J* 7, 1 (2007) 111-117.
- [7] Ameer M.A. et al.: Electrochemical behavior of recasting Ni-Cr and Co-Cr non precious dental alloys. *Corrosion Science* 46 (2004) 2825-2836.
- [8] Ayad M.F. et al.: Corrosion behavior of as-received and previously cast high noble alloy, *The Journal of Prosthetic Dentistry* 100, 1 (2008) 34-39.
- [9] Ucar Y. et al.: Metal ceramic bond after multiple castings of base metal alloy. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 102, 3 (2009) 165-171.

## References

- [10] Al-Hiyasat A.S., Darmani H.: The effects of recasting on the cytotoxicity of base metal alloys. *The Journal of Prosthetics Dentistry* 93, 2 (2005) 158-163.
- [11] Imirzalioglu P. et al.: Influence of recasting different types of dental alloys on gingival fibroblast cytotoxicity. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 107, 1 (2012) 24-33.
- [12] Bauer J. et al.: The use of recycled metal in dentistry: Evaluation of mechanical properties of titanium waste recasting. *Resources, Conservation and Recycling* 54 (2010) 1312-1316.
- [13] Horasawa N., Marek M.: The effect of recasting on corrosion of a silver – palladium alloy. *Dental Materials* 20 (2004) 352-357.
- [14] Palascas J. et al.: Effect of Recasting of Nickel-Chromium Alloy on its Castability. *J Indian Prosthodont Soc* 10, 3 (2010) 160-164.
- [15] Davis J.R. (ed.), *ASM Specialty Handbook: Nickel, Cobalt, and Their Alloys*. ASM International, Materials Park, Ohio, 2000.
- [16] Turchi P.E.A., et al.: Modeling of Ni-Cr-Mo based alloys: Part I - phase stability. *Computer Coupling of Phase Diagrams and Thermochemistry* 30 (2006) 70-87.
- [17] Viswanathan S. Saji et al: Preferential dissolution behaviour in Ni-Cr dental cast alloy. *Bull. Mater.* 33, 4 (2010) 463-468.
- [18] Silva J.W.J. et al: Electrochemical and Microstructural Study of Ni-Cr-Mo Alloys Used in Dental Prostheses. *Materials Sciences and Applications* 2 (2011) 42-48.