



Kucie na gorąco nowych stopów miedzi o obniżonej zawartości ołowiu stosowanych w armaturze wodnej

Hot forging of new copper alloys with reduced lead content for water pipe fittings

(1) Michał Chruściński*¹  (2) Szymon Szkudelski¹  (3) Jacek Borowski¹  (4) Beata Cwolek² 
(5) Michał Lehmann³

¹Instytut Obróbki Plastycznej, ul. Jana Pawła II 14, Poznań, Poland

²Instytut Metali Nieżelaznych, ul. Sowińskiego 5, Gliwice, Poland

³Fabryka Armatur Swarzędz Sp. z o.o., Świerkowa 27, 62-020 Rabowice, Poland

Informacje o artykule

Zgłoszenie: 11.09.2018

Recenzja: 5.12.2018

Akceptacja: 29.03.2019

Wkład autorów

- (1) Opracowanie artykułu i metodyki badawczej, udział w badaniach
- (2) Opracowanie artykułu i metodyki badawczej, udział w badaniach
- (3) Nadzór nad realizacją pracy
- (4) Opracowanie nowych stopów
- (5) Udział w badaniach

ORCID iD

- (1) <https://orcid.org/0000-0003-2127-3967>
- (2) <https://orcid.org/0000-0002-6140-0775>
- (3) <https://orcid.org/0000-0002-5983-3096>
- (4) <https://orcid.org/0000-0001-9394-2942>

Article info

Received: 11.09.2018

Reviewed: 5.12.2018

Accepted: 29.03.2019

Authors' contribution

- (1) Preparation of article and methodology, testing
- (2) Preparation of article and methodology, testing

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań zrealizowanych w ramach projektu badawczego pt. „Bezodpadowa technologia kształtowania elementów armatury wody pitnej z bezołowiowych stopów miedzi”, których celem jest opracowanie nowej technologii kucia bezwypływkowego. Opracowano nową technologię kucia bezwypływkowego dla korpusu wodomierza oraz dla korka/zaśleпки w trzech rozmiarach. Przeprowadzono badania dla nowo opracowanych stopów miedzi z ograniczoną zawartością ołowiu, badania spęczania na gorąco, dylatometryczne, mikrotwardości oraz obserwacje metalograficzne. Wynik badań materiałowych posłużył do uzupełnienia baz materiałowych programów symulacyjnych, w których zweryfikowana została technologia kucia bezwypływkowego różnych materiałów wsadowych. Następnie wykonano symulacje numeryczne, których celem było sprawdzenie poprawności opracowanej technologii. Do bazy materiałowej komercyjnego programu symulacyjnego wprowadzono dane z przeprowadzonych badań materiałowych dla trzech stopów miedzi. Uzyskany w sposób numeryczny obraz materiału posłużył do symulacji kucia. W ramach weryfikacji nowych materiałów przeprowadzono badania kucia bezwypływkowego, które weryfikowano na zmodernizowanym stanowisku badawczo-kuźniczym, znajdującym się w Fabryce Armatur Swarzędz Sp. z o.o. Wyniki tych badań porównano z wynikami badań symulacyjnych. W celu udoskonalenia procesu cięcia wsadu w ramach weryfikacji technologii kucia bezwypływkowego, przeprowadzono porównanie wpływu objętości materiału wsadowego na uzyskany kształt gotowej okuwki. Porównanie wykonano dla odkuwki Korek 1”, przy użyciu skanera optycznego ATOS COMPACT SCAN 5M w dedykowanym oprogramowaniu GOM Inspect Professional 8.

Słowa kluczowe: kucie bezwypływkowe, kucie dokładne, symulacje numeryczne, bezołowiowe stopy miedzi, badanie spęczania na gorąco

Abstract

This article presents the results of studies conducted as part of the research project entitled “Waste-free technology of forming drinking water pipe fittings from lead-free copper alloys”, the goal of which is to develop new flashless forging technology. New flashless forging technology was developed for the body of a water meter and for a plug/stopper in three sizes. Tests of the newly developed copper alloys with limited lead content were performed, including hot upset forging tests, dilatometric tests, microhardness measurements and metallographic investigations. The results of material tests served to supplement the material databases of simulation software, in which the flashless forging technology was verified for various stock materials. Next, numerical simulations were conducted with the goal of verifying

* Autor do korespondencji. Tel.: +48 61 657 05 55; fax: +48 61 657 07 21; e-mail: michal.chruscinski@inop.poznan.pl

* Corresponding author. Tel.: +48 61 657 05 55; fax: +48 61 657 07 21; e-mail: michal.chruscinski@inop.poznan.pl

- (3) *Supervision over the work implementation*
 (4) *Development of new alloys*
 (5) *Testing*

ORCID iDs

- (1) <https://orcid.org/0000-0003-2127-3967>
 (2) <https://orcid.org/0000-0002-6140-0775>
 (3) <https://orcid.org/0000-0002-5983-3096>
 (4) <https://orcid.org/0000-0001-9394-2942>

the correctness of the developed technology. Data from material tests conducted for three copper alloys was entered into the material database of a commercial simulation program. The numerical picture of the material that was obtained served for simulation of forging. Flashless forging tests were performed to verify the new materials, and verification was done on a modernized testing-forging stand found at Fabryka Armatur Swarzędz Sp. z o.o. The results of these tests were compared with the results of simulations. To improve the stock cutting process, as part of the verification of the flashless forging technology, the influence of the stock material's volume on the obtained shape of the ready forging was compared. The comparison was conducted for the "Plug 1" forging user an ATOS COMPACT SCAN 5M optical scanner in dedicated GOM Inspect Professional 8 software.

Keywords: *flashless forging, precision forging, numerical simulation, lead-free copper alloys, hot upset forging test*

1. WSTĘP

W ostatnich latach pojawiła się tendencja eliminowania ołowiu ze stopów miedzi stosowanych na elementy armatury wody pitnej. Światowa Organizacja Zdrowia opracowała odpowiednie zalecenia. Unia Europejska podjęła również ten problem. W roku 1998 powstała dyrektywa dyrektywa UE dotycząca jakości wody używanej do celów domowych. Zastosowanie materiałów o obniżonej zawartości ołowiu w składzie lub całkowicie pozbawionych tego pierwiastka ma coraz większe znaczenie, decydujące o dopuszczeniu do użytkowania poszczególnych elementów instalacji wody pitnej [2–7].

Kucie bezwypływkowe jest metodą, dzięki której można otrzymać wyrób o wymiarach gotowego produktu, wymagający jedynie nieznacznej obróbki skrawaniem. Technologia kucia bezwypływkowego dopuszcza pojawienie się minimalnej wypływki na podziale matryc w granicach 0,1 mm. Warunkiem otrzymania odkuwek bez wad kształtu w procesie kucia jest dokładność cięcia materiału wsadowego, strata materiału nie może przekroczyć 0,5% objętości gotowego wyrobu. Ponadto istotny jest sposób nagrzewania materiału wsadowego, który musi być na tyle szybki, aby na materiale nie utworzyła się zgorzelina[1].

2. MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

W Instytucie Metali Nieżelaznych zaprojektowano nowe stopy miedzi o obniżonej zawartości ołowiu. Opracowano trzy grupy stopów różniąc

1. INTRODUCTION

In recent years, there has been a tendency to eliminate lead from copper alloys applied as drinking water pipe fittings. The World Health Organization has issued the appropriate guidelines. The European Union has also addressed this problem. In 1998, the EU issued a directive concerning the quality of water used for household purposes. The application of materials with reduced lead content or its absence in their composition is now more significant than ever, as it decides whether individual components of drinking water systems will be approved for use [2–7].

Flashless forging is a method by which a product with the dimensions of the ready product can be obtained, requiring only slight machining. Flashless forging technology allows for the formation of minimal flash, up to 0.1 mm, on die partitions. The condition for obtaining forgings without shape defects in the forging process is the accuracy of cutting the stock material, where material loss may not exceed 0.5% of the ready product's volume. Moreover, the method of heating the stock material is significant, as it must be fast enough that scale does not form on the material [1].

2. RESEARCH MATERIAL AND METHODOLOGY

New copper alloys with reduced lead content were designed at the Institute of Non-Ferrous Metals. Three groups of alloys, differing in chemical

cych się składem chemicznym. Każda grupa posiadała trzy podgrupy w różnych wariantach procentowych pierwiastków składowych. W tab. 1 przedstawiono zestawienie składu chemicznego nowych grup stopów.

composition, were developed. Each group has three subgroups with varying percentages of component elements. Tab. 1 presents the chemical compositions of the new group of alloys.

Tab. 1. Skład chemiczny nowych stopów miedzi
Tab. 1. Chemical compositions of new copper alloys

	Nowe stopy miedzi / New copper alloys		
	Grupa I / Group I	Grupa II / Group II	Grupa III / Group III
Skład chemiczny Chemical composition	Zn 38,5–40%, Cu reszta, a także w różnej konfiguracji zawartości: Sn, Fe, Ni, Pb, Al, P i B	Zn 37–38,5%, Cu reszta, a także w różnej konfiguracji zawartości: As, Si, Al, Fe, Pb, Sn, Ni, P i B	Zn 32–35,5%, Cu reszta, a także w różnej konfiguracji zawartości: As, Al, Fe, Pb, Sn, Ni, P i B
	Zn 38.5–40%, Cu remainder, and with different content configurations: Sn, Fe, Ni, Pb, Al, P and B	Zn 37–38.5%, Cu remainder, and with different content configurations: As, Si, Al, Fe, Pb, Sn, Ni, P and B	Zn 32–35.5%, Cu remainder, and with different content configurations: As, Al, Fe, Pb, Sn, Ni, P and B

2.1. Badania materiałowe

W Laboratorium Badań Metali INOP przeprowadzono badania nowo zaprojektowanych stopów miedzi o obniżonej zawartości ołowiu. Badania obejmowały próby spęczania na gorąco, badania dylatometryczne, pomiar mikrotwardości oraz obserwacje mikrostruktury. Badania spęczania na gorąco wykonano za pomocą maszyny Instron 4483 serii H1907, z głowicą pomiarową siły o udźwigu 150 kN. Próby przeprowadzono na 81 cylindrycznych próbkach typu Rastigajewa o wymiarach h_0 i $d_0=10$ mm, które wykonano z dziewięciu różnych stopów. Badania przeprowadzono w celu opracowania modeli reologicznych nowych stopów miedzi przy temperaturze nagrzewania próbek 700°C, 750°C i 800°C, dla trzech różnych prędkości odkształcania 0,008, 0,025, 0,05s⁻¹. Dla tych samych materiałów przeprowadzono badania dylatometryczne, przygotowano 9 zestawów próbek po 3 warianty. Próbkę do analizy dylatometrycznej miały wymiar średnicy $d_0=2$ mm i wysokości $h_0=13$ mm. Badania przeprowadzono na dylatometrze bezpośrednim LKO2 Lhomargy, w warunkach obróbki cieplnej: szybkość nagrzewu 1C/s, temperatura i czas wygrzewania 820 C/60sekund, atmosfera pieca-argon lub próżnia. Pomiar mikrotwardości wykonano metodą Vickersa

2.1. Material tests

Tests of the newly designed copper alloys with reduced lead content were performed at the Metals Testing Laboratory of the Metal Forming Institute. Tests covered hot upset forging tests, dilatometric tests, microhardness measurements and observations of the microstructure. Hot upsetting tests were performed by means of an H1907-series Instron 4483 machine, with a force measurement head with a lifting capacity of 150 kN. Tests were performed on 81 cylindrical Rastigaev samples with dimensions h_0 and $d_0=10$ mm, made from nine different alloys. Tests were performed in order to develop rheological models of new copper alloys at sample heating temperatures 700°C, 750°C and 800°C, for three different strain rates 0.008, 0.025, 0.05s⁻¹. Dilatometric tests were performed for the same materials, with 9 sets of samples, each including 3 variants, being prepared. Samples for dilatometric analysis had diameter $d_0=2$ mm and height $h_0=13$ mm. Tests were performed on an LKO2 Lhomargy direct dilatometer under heat treatment conditions: heating rate 1 C/s, holding temperature and time 820 C/60seconds, furnace atmosphere – argon or vacuum. Microhardness measurements were conducted using the Vickers

przy sile obciążającej 0,9807 N, w pięciu obszarach pomiarowych dla każdej próbki.

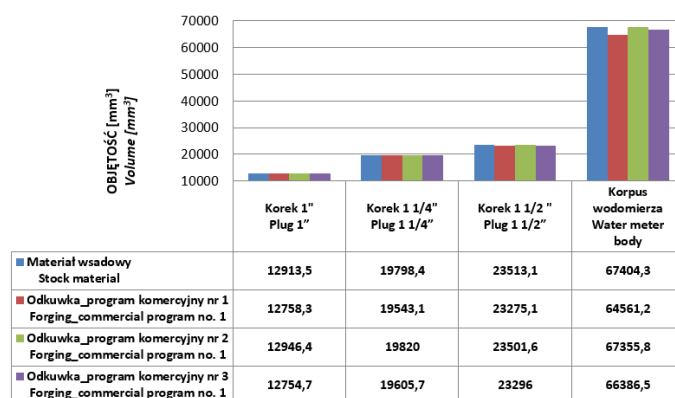
2.2. Symulacje – wybór programu symulacyjnego

Podczas badań numerycznych weryfikowano nowo opracowaną technologię kucia bezwypłytkowego odkuwki korpusu wodomierza oraz korka/zaślepki w trzech rozmiarach. Przeprowadzono symulacje w dostępnych w INOP programach komercyjnych do symulowania procesu objętościowej obróbki plastycznej. Celem był wybór jednego z nich do dalszych symulacji kucia bezwypłytkowego nowo zaprojektowanych materiałów z obniżoną zawartością ołowiu. Symulacje w każdym programie przeprowadzono przy takich samych parametrach procesu, tj.: materiał wsadowy CuZn40Pb2, temperatura wsadu 750°C, temperatura narzędzi 250°C, prasa mechaniczna 200 T o wielkości skoku 175 mm i częstotliwości 110 skoków na minutę. W symulacjach uwzględniono smarowanie, przyjmując współczynnik tarcia równy 0,3. Do wyboru programu symulacyjnego przyjęto jako kryterium zmianę objętości/ubytek materiału wsadowego przed i po wypełnieniu wykroju matryc. Na rys. 1 i w tab. 2 przedstawiono (graficznie i procentowo) zestawienie zmian objętości materiału wsadowego w trakcie symulacji numerycznej, za pomocą trzech różnych programów. Natomiast w tab. 3 zestawienie wypełnienia wykroju matryc. Na podstawie tych parametrów wytypowano program komercyjny nr 2 jako ten, w którym objętość materiału wsadowego miała najmniejszy ubytek; w każdej symulacji uzyskano wypełnienie matryc.

method under a loading force of 0.9807 N, in five measurement areas for each sample.

2.2. Simulations – selection of simulation software

During numerical simulations, the newly developed flashless forging technology for the water meter body forging and plug/stopper in three sizes was verified. Simulations were conducted in the commercial programs available at the Metal Forming Institute for simulation of the volumetric metalworking process. The goal was to select one of these programs for further simulations of flashless forging of the newly designed materials with reduced lead content. Simulations in each program were carried out with the same process parameters, i.e.: stock material CuZn40Pb2, stock temperature 750°C, tool temperature 250°C, mechanical press 200 T with stroke size 175 mm and a rate of 110 strokes per minute. Lubrication was accounted for in simulations, under the assumption of friction coefficient equal to 0.3. Volume change/loss of stock material before and after filling of die impressions was adopted as the criterion for selection of the simulation program. Fig. 1 and Tab. 2 present (graphically and in percentages) volume changes of the stock material over the course of numerical simulation by means of three different programs. Meanwhile, Tab. 3 lists fills of die impressions. Based on these parameters, commercial program no. 2 was selected as the one in which there was the least loss of the stock material's volume; die filling was obtained in every simulation.



Rys. 1. Zmiany objętości materiału wsadowego dla różnych programów symulacyjnych

Fig. 1. Volume changes of stock material for different simulation programs

Tab. 2. Procentowy ubytek objętości materiału wsadowego w różnych programach symulacyjnych
 Tab. 2. Volume loss of stock material as a percentage for different simulation programs

Procentowy ubytek materiału wsadowego podczas symulacji [%] Percentage loss of stock material during simulation [%]				
Odkuwka / Forging Program symulacyjny Simulation program	Korek 1” Plug 1”	Korek 1 ¼” Plug 1 ¼”	Korek 1 ½” Plug 1 ½”	Korpus wodomierza Water meter body
Program komercyjny nr 1 Commercial program no. 1	-1,20	-1,29	-1,01	-4,22
Program komercyjny nr 2 Commercial program no. 2	-0,25	+0,11	-0,05	-0,07
Program komercyjny nr 3 Commercial program no. 3	-1,23	-0,97	-0,92	-1,51

Tab. 3. Wypełnienie wykroju matryc
 Tab. 3. Filling of die impression

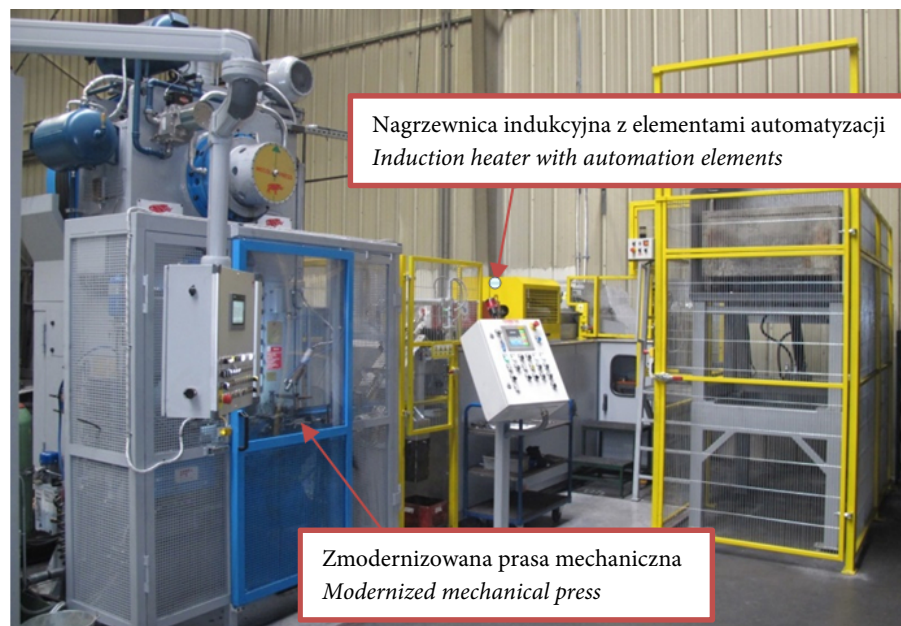
	Korek 1” Plug 1”	Korek 1 ¼” Plug 1 ¼”	Korek 1 ½” Plug 1 ½”	Korpus wodomierza Water meter body
Program komercyjny nr 1 Commercial program no. 1	x	x	v	x
Program komercyjny nr 2 Commercial program no. 2	v	v	v	v
Program komercyjny nr 3 Commercial program no. 3	v/z	v	v	v/z
Legenda / Legend: x – brak wypełnienia / no filling v – wypełnienie / filling z – zakucie / lapping				

2.3. Opis stanowiska do kucia

W ramach projektu wykonano modernizację stanowiska badawczo-kuźniczego znajdującego się w FAS Sp. z o.o. (rys. 2). Modernizacja polegała na wyznaczeniu parametrów i zakupie nagrzewnicy indukcyjnej oraz elementów jej automatyzacji: podajnika rolkowego, podajnika płytkowego, wywrotnic skrzyni, układu automatycznej regulacji temperatury i automatycznej segregacji wstępniaków. Oprócz modernizacji systemu nagrzewania, prasę wyposażono w system automatycznego podawania materiału wsadowego z podajnika łańcuchowego nagrzewnicy indukcyjnej (z systemem kontroli temperatury materiału wsadowego), system automatycznego odbierania gotowych od-kuwek, system automatycznego i precyzyjnego smarowania narzędzi kuźniczych, system regulacji skoku poduszki hydraulicznej umożliwiający pre-cyzyjną regulację zagłębiania się zestawu matryc w stosunku do stempla kującego oraz w system do pomiaru nacisku prasy.

2.3. Description of forging stand

As part of the project, the testing-forging stand found at FAS Sp. z o.o. was modernized (Fig. 2). Modernization involved determining parameters and purchasing an induction heater as well as elements of its automation: roller feeder, plate feeder, box tippers, automatic temperature regulation system and automatic preform segregation system. Besides modernization of the heating system, the press was equipped with an automatic system for feeding stock material from the chain feeder of the induction heater (with stock material temperature control system), system for automatic collection of ready forgings, system for automatic and precise lubrication of forging tools, system regulating the stroke of the hydraulic pad, enabling precise regulation of the die set's sinking with respect to the forging punch, and with a system for measuring the force of the press.



Rys. 2. Stanowisko badawczo-kuźnicze

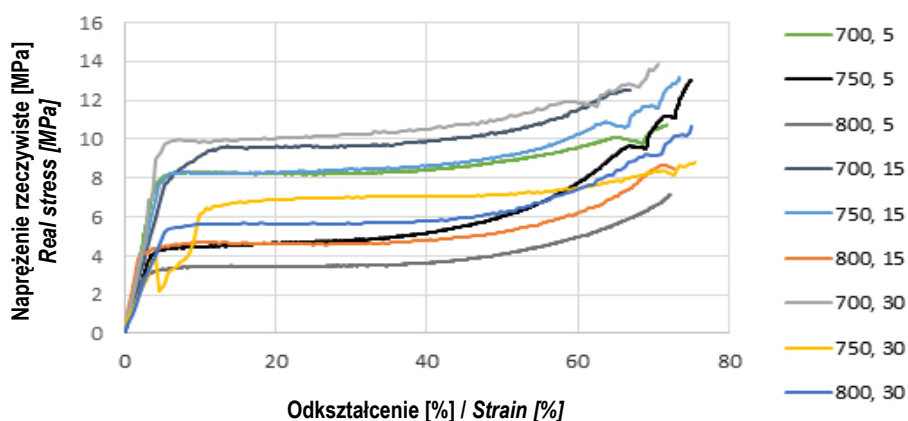
Fig. 2. Testing-forging stand

3. WYNIKI BADAŃ

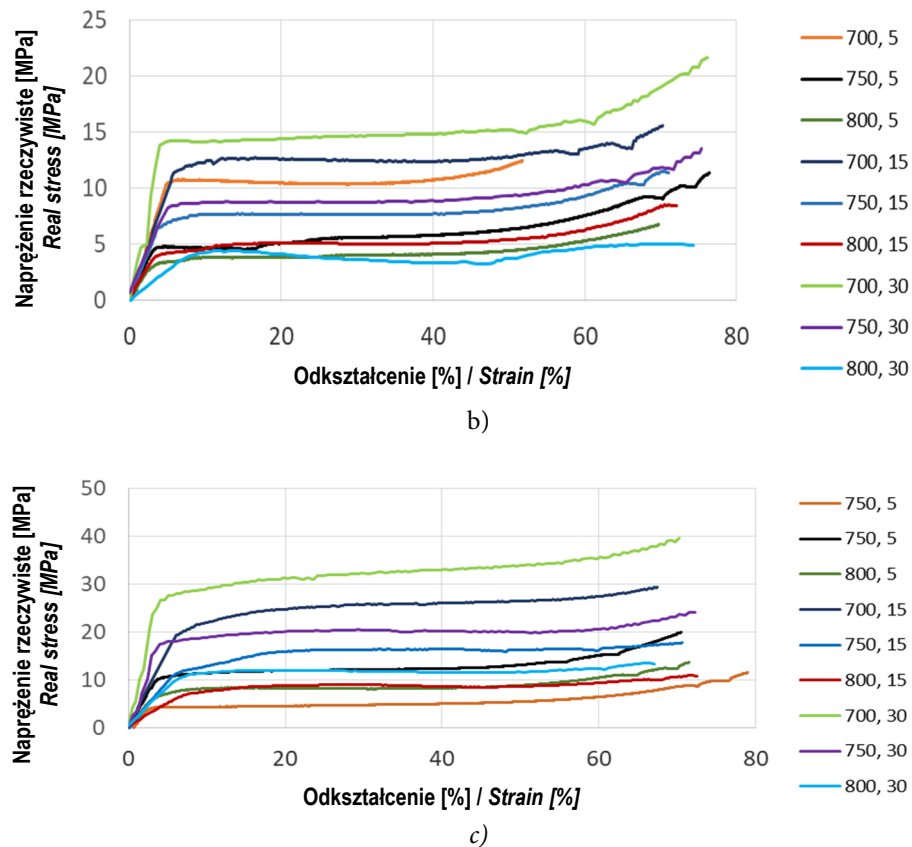
Na rys. 3 przedstawiono krzywe umocnienia nowo zaprojektowanych materiałów. Badania przeprowadzono przy trzech wartościach temperatury (700, 750, 800°C) i prędkości odkształcania 0,008, 0,025, 0,05s⁻¹. Spośród badanych stopów, stop I.0 (Cu-IMN-1) wykazuje najmniejsze wartości naprężeń rzeczywistych: w zakresie od 3 do 11 MPa. Uzyskane wyniki krzywych wprowadzono do bazy materiałowej programu symulacyjnego w celu przeprowadzenia właściwych symulacji dla nowo opracowanych stopów miedzi.

3. TEST RESULTS

Fig. 3 presents hardening curves of the newly designed materials. Tests were performed at three temperatures (700, 750, 800°C) and strain rates 0.008, 0.025, 0.05s⁻¹. Among the tested alloys, alloy I.0 (Cu-IMN-1) exhibits the lowest real stress values, within the range from 3 to 11 MPa. Obtained results of curves were entered into the material database of the simulation program in order to conduct proper simulations for the newly developed copper alloys.



a)

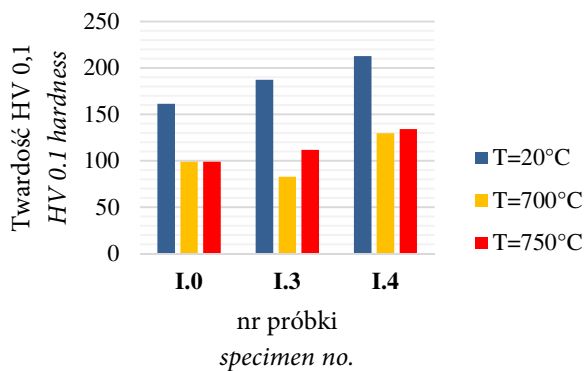


Rys. 3. Zestawienie krzywych zależności naprężenia rzeczywistego od odkształcenia wyznaczonych na podstawie statycznej próby ściskania dla próbek: a) I.0 (Cu-IMN-1), b) II.0 (Cu-IMN-2), c) III.0 (Cu-IMN-3)

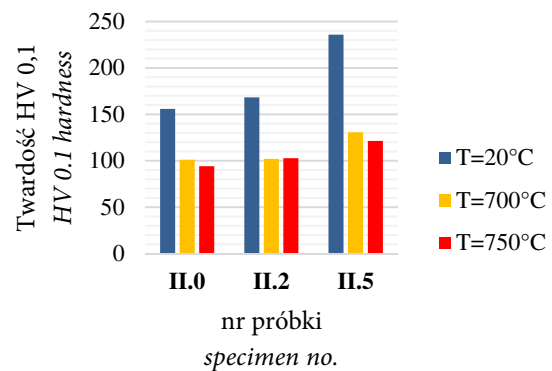
Fig. 3. Comparison of real stress-strain curves determined on the basis of a static compression test for samples: a) I.0 (Cu-IMN-1), b) II.0 (Cu-IMN-2), c) III.0 (Cu-IMN-3)

Twardość na przekroju (powierzchni) próbek ze stopów miedzi o obniżonej zawartości ołowiu wykonano w temperaturze otoczenia po wcześniejszym nagraniu do temperatury 700°C i 750°C, pokazano na rys. 4. Im wyższa temperatura nagrzewania próbki, tym niższa jej twardość, jedynie w pierwszej grupie stopów odnotowano wzrost twardości po nagraniu próbek do 750°C.

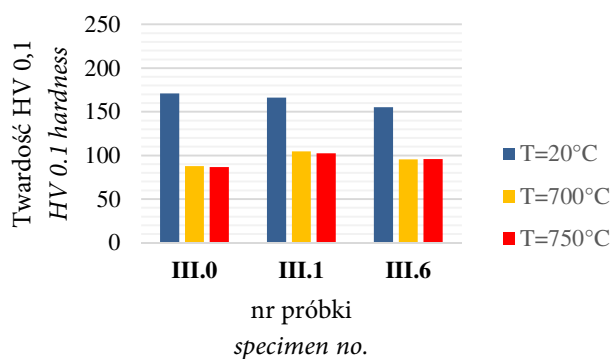
Hardness measurements on the cross-section (surface) of samples of copper alloy with reduced lead content, performed at room temperature after prior heating to 700°C and 750°C, are shown in Fig. 4. The higher the temperature of sample heating, the lower the sample hardness, and only in the first group of alloys was an increase in hardness noted after samples were heated to 750°C.



a)



b)



c)

Rys. 4. Twardość stopów po różnych wariantach obróbki cieplnej: a) grupa I, b) grupa II, c) grupa III

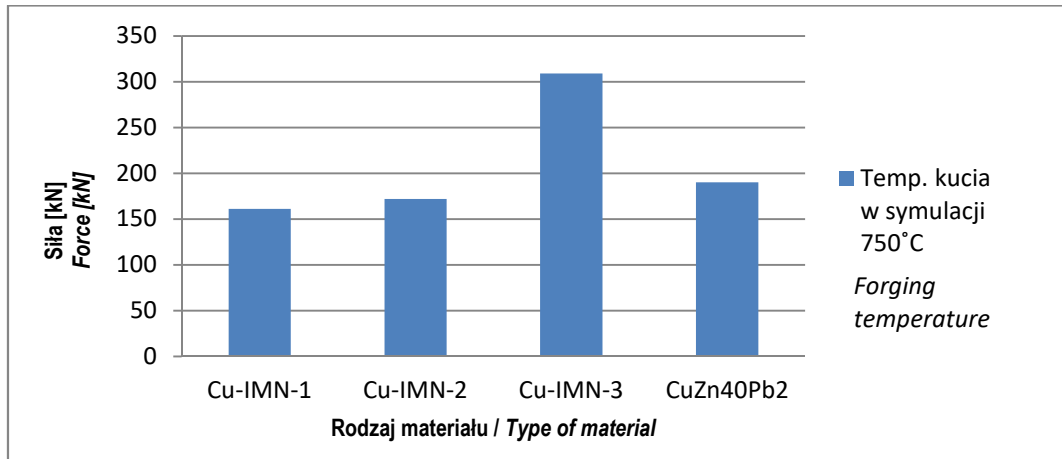
Fig. 4. Hardness of alloys after different heat treatment variants: a) group I, b) group II, c) group III

3.1. Symulacje numeryczne

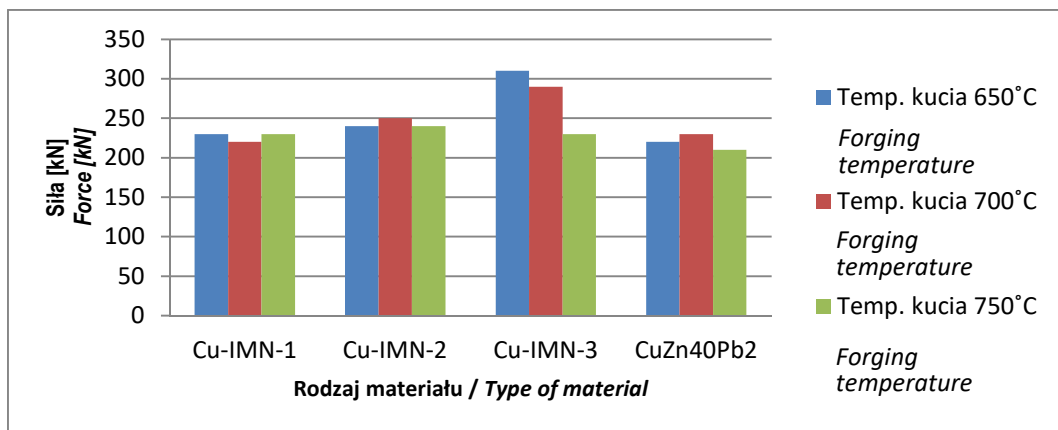
Po wprowadzeniu nowych materiałów do bazy materiałowej programu komercyjnego nr 2 przeprowadzono symulacje kucia bezwypływkowego korpusu wodomierza oraz zaślepki/korka w trzech rozmiarach tj; korek 1", korek 1 ¼", korek 1 ½". Wszystkie symulacje przeprowadzono dla tych samych parametrów, różny był jedynie rodzaj materiału wsadowego. Na rys. 5a przedstawiono zestawienie sił kształtowania z symulacji w programie komercyjnym dla odkuwki korek 1" dla różnych materiałów wsadowych kutych przy temperaturze 750°C. Na rys. 5b przedstawiono zestawienie sił kształtowania na prasie podczas kucia bezwypływkowego, różnych materiałów wsadowych, przy trzech wartościach temperatury, tj. 650, 700 i 750°C. Analizując wyniki badań symulacyjnych z wynikami badań wykonanych na stanowisku badawczo-kuźniczym, należy zaznaczyć, iż nie wykonano ich przy identycznych parametrach. Mała liczba próbek z nowych materiałów oraz charakter badań uniemożliwił ustabilizowanie procesu, co mogło przełożyć się na wzrost wartości sił kształtowania podczas procesu kucia na prasie. Analizując uzyskane dane, tj. wypełnienie matrycy oraz parametry siłowe procesów kucia, można stwierdzić, że dwa spośród trzech nowo opracowanych stopów miedzi o obniżonej zawartości ołowiu, były podobne do obecnie stosowanego materiału. Natomiast siły kształtowania nowego materiału były większe.

3.1. Numerical simulations

After the new materials were entered into the material database of commercial program no. 2, flashless forging simulations were conducted for the water meter body and plug/stopper in three sizes, i.e.: plug 1", plug 1 ¼", plug 1 ½". All simulations were performed for the same parameters, only the type of stock material differed. Fig. 5a presents forming forces from the simulation in the commercial program for the plug 1" forging for different stock materials forged at 750°C. Fig. 5b presents forming forces on the press during flashless forging of different stock materials at three temperatures, i.e. 650, 700 and 750°C. Analyzing the results of simulations in comparison with tests performed on the testing-forging stand, it should be emphasized that they were not performed with identical parameters. The small number of samples of the new materials and the nature of tests made it impossible to stabilize the process, which could have translated to an increase in the value of forming forces during the forging process conducted on the press. Analyzing the data obtained, i.e. die filling and force parameters of forging processes, it can be stated that two among the three newly developed copper alloys, with reduced lead content, were similar to the material currently applied. However, the forces forming the new material were greater.



a)



b)

Rys. 5. Siły kształtowania odkuwki Korek 1" dla różnych materiałów wsadowych: a) dane z symulacji, b) dane doświadczalne
 Fig. 5. Forces forming the Plug 1" forging for different stock materials: a) simulation data, b) experimental data



a)



b)



c)

Rys. 6. Odkuwki z nowych stopów kształtowane przy różnych temperaturach; stopy: a) Cu-IMN-1, b) Cu-IMN-2, c) Cu-IMN-3

Fig. 6. Forgings made of new alloys formed at different temperatures; alloys: a) Cu-IMN-1, b) Cu-IMN-2, c) Cu-IMN-3

Na rys. 6 przedstawiono wpływ temperatury na przebieg kształtowania odkuwki korek 1” uzyskane na stanowisku badawczo-kuźniczym. Próby zostały wykonane dla nowo opracowanych stopów miedzi o obniżonej zawartości ołowiu. Stwierdzono, że odkuwki z trzeciej grupy nowych materiałów (rys. 6c) wykazały przy każdej temperaturze kucia liczne pęknięcia, co jednoznacznie dyskwalifikowało wyrób i materiał.

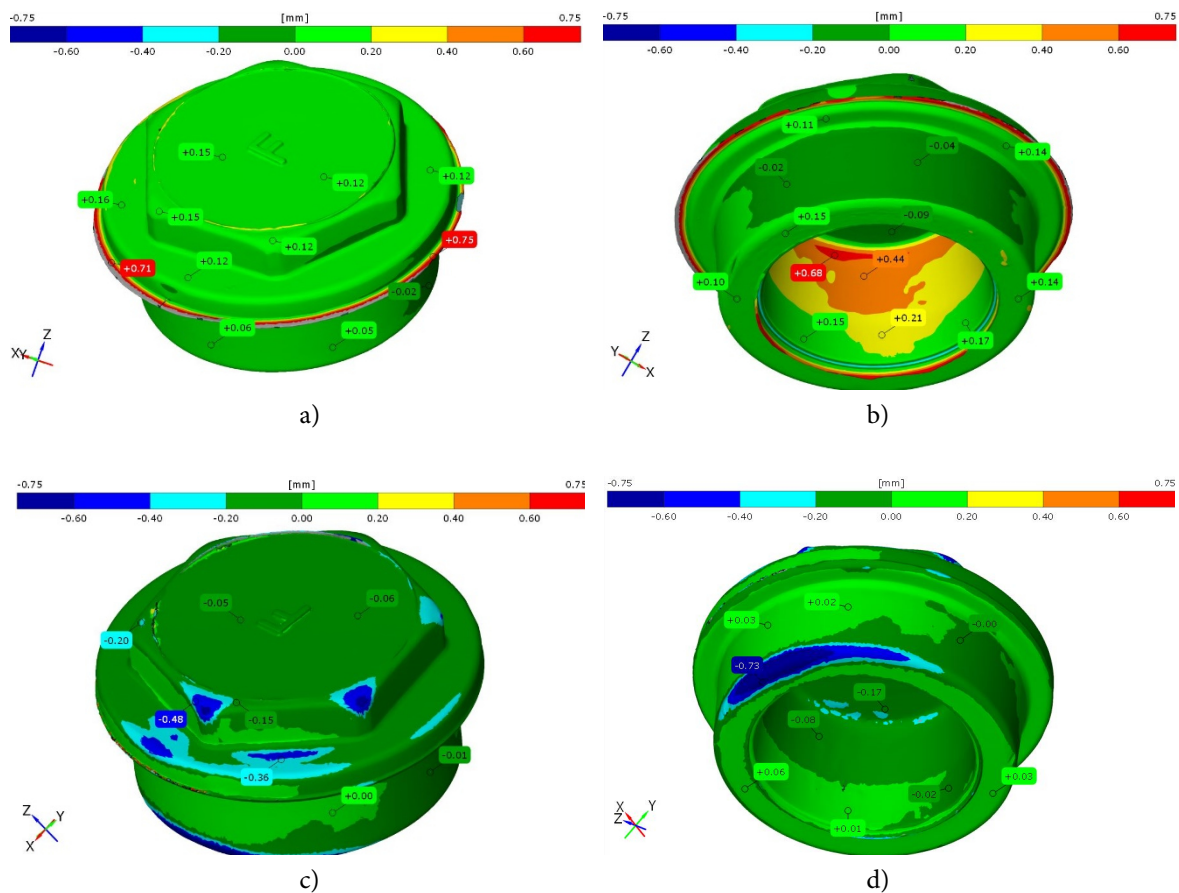
W celu udoskonalenia cięcia wsadu w ramach weryfikacji technologii kucia bezwypływkowego, przeprowadzono porównanie wpływu objętości materiału wsadowego na uzyskany kształt gotowej odkuwki. Porównanie wykonano na przykładzie odkuwki korek 1”. Próby kucia zrealizowano dla trzech objętości materiału wsadowego. Jako pierwszy wariant rozpatrzono wstępniak, którego objętość była równa objętości gotowej odkuwki i wynosiła $V_{korek1} = 12048,8 \text{ mm}^3$ ($\text{Ø}23 \times 29 \text{ mm}$). Wstępniak w drugim wariantcie był krótszy o 1 mm, co stanowiło ok. 96,5% objętości pierwszego wstępniaka. Natomiast wstępniak w trzecim wariantcie objętości był o 1 mm dłuższy, co stanowiło ok. 103,5% objętości pierwszego wstępniaka. Po odkuciu wszystkie odkuwki zeskanowano skanem optycznym ATOS COMPACT SCAN 5M, co pokazano na rys. 7. Odkuwkę uzyskaną z prawidłowej objętości materiału wsadowego przyjęto jako odnośnik do porównania. Na rys. 7a i 7b przedstawiono skany odkuwek o większej objętości materiału wsadowego. Wykazano, że zbyt duża objętość materiału wsadowego powoduje znaczącą zmianę w geometrii odkuwki. W płaszczyźnie podziału matrycy pojawiła się niepożądana wypływka, spowodowana otwarciem się matrycy w trakcie kształtowania. Na rys. 7c i 7d przedstawiono skany odkuwek o mniejszej objętości materiału wsadowego, na których widocznym jest brak wypełnienia. Zatem potwierdzono, że dokładność cięcia materiału

Fig. 6 presents the influence of temperature on the course of forming the Plug 1” forging, obtained on the testing-forging stand. Tests were performed for the newly developed copper alloys with reduced lead content. It was determined that forgings from the third group of new materials (Fig. 6c) exhibited numerous cracks at every temperature, which unequivocally disqualified both the product and material.

To improve stock cutting, as part of the verification of the flashless forging technology, the influence of the stock material’s volume on the obtained shape of the ready forging was compared. The comparison was carried out on the example of the Plug 1” forging. Forging tests were realized for three volumes of the stock material. The first considered variant was a preform with a volume equal to the volume of the ready forging, amounting to $V_{plug1} = 12048,8 \text{ mm}^3$ ($\text{Ø}23 \times 29 \text{ mm}$). In the second variant, the preform was shorter by 1 mm, and so its volume was approx. 96.5% of the first preform’s volume. Whereas the preform in the third variant was longer by 1 mm, and so its volume was approx. 103.5% of the first preform’s volume. After forging, all forgings were scanned by an ATOS COMPACT SCAN 5M optical scanner, as shown in Fig 7. The forging obtained from the correct volume of stock material was adopted as a reference for comparison. Fig. 7a and 7b present scans of forgings with a greater volume of stock material. It was demonstrated that excessive stock material volume causes a substantial change in the forging’s geometry. Undesired flash appeared on the plane of the die partition, due to opening of dies during forming. Fig. 7c and 7d present scans of forgings with a lesser volume of stock material, in which underfill is visible. Thus, it was confirmed that the accuracy of cutting the

wsadowego (wstępniaków) ma bardzo istotny wpływ na uzyskanie wyrobu wolnego od wad kształtu.

stock material (preforms) has a very significant influence on whether a product without shape defects will be obtained.



Rys. 7. Wpływu objętości materiału wsadowego na kształt odkuwki: a, b) zbyt duża objętość materiału wsadowego, c, d) za mała objętość materiału wsadowego

Fig. 7. Influence of stock material volume on forging shape: a), b) excessive stock material volume, c), d) insufficient stock material volume

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie analizy wyniki badań symulacyjnych pod kątem siły kształtowania zaślepki/korka i wodomierza stwierdzono, że przy kuciu bezwplywkowym nowo opracowanych materiałów grupy pierwszej (Cu-IMN-1) i grupy drugiej (Cu-IMN-2), o obniżonej zawartości ołowiu, występują porównywalne parametry siłowe podczas symulacji kształtowania do kucia materiału obecnie stosowanego w Fabryce Armatur Swarzędz Sp. z o.o. Natomiast przy kuciu trzeciej grupy nowo opracowanych materiałów znacząco wzrastają siły kształtowania, a plastyczność materiału jest na tyle niska, że w trakcie kształtowania odkuwka ulega licznym pęknięciom.

4. CONCLUSION

Based on analysis of simulation results from the perspective of forming forces for the plug/stopper and water meter, it was determined that comparable force parameters occur during simulations of flashless forging of the newly developed materials with reduced lead content in the first group (Cu-IMN-1) and second group (Cu-IMN-2) with respect to the material currently applied at Fabryka Armatur Swarzędz Sp. z o.o. Whereas, during forging of the third group of the newly developed materials, forming forces rise substantially, and the material's plasticity is low enough that the forging undergoes numerous cracks over the course of forming.

PODZIĘKOWANIA

Badania zostały zrealizowane w ramach projektu finansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego (Nr projektu: POIR.04.01.02-00-0030/2016) pt. „Bezodpadowa technologia kształtowania elementów armatury wody pitnej z bezołowiowych stopów miedzi”. Badania realizowane w ramach współpracy w konsorcjum obejmującym trzy jednostki naukowe: Politechnikę Poznańską, Instytut Obróbki Plastycznej z Poznania i Instytut Metali Nieżelaznych z Gliwic oraz przedsiębiorstwo Fabryka Armatur Swarzędz Sp. z o. o.

LITERATURA

- [1] Sińczak Jan. 2007. *Kucie dokładne*. Kraków: Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne.
- [2] Krocak Paweł. 2012. „Badania procesu kucia trójników z bezołowiowego stopu miedzi”. *Obróbka Plastyczna Metali XXIII* (4): 255-263.
- [3] Kondracki Marcin, Józef Gawroński, Jan Szajnar. 2005. „Eliminacja ołowiu z armaturowych stopów miedzi z cynkiem”. *Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji*.
- [4] Rządkosz Stanisław, Janusz Kozana, Aldona Garbacz-Klempka, Marcin Piękoś. 2015. „Structure analysis and properties of unleaded brasses”. *Archives of Metallurgy and Materials* (60): 323-328.
- [5] Rządkosz Stanisław, Marcin Piękoś, Janusz Kozana. 2003. „Effect of modification on the mechanical properties and structure of brass CuZn38PbAl”. *Archiwum Odlewnictwa* 3 (7): 121-126.
- [6] Janus Andrzej, Bohdan Ankudowicz. 2000. „Possibility of lead elimination from CuZn39Pb2 brass”. *Krzepnięcie Metali i Stopów* (43). Katowice: PAN.
- [7] Rządkosz Stanisław, Mariusz Holtzer. 1997. *Aspekty ekologiczne w zakresie stosowania mosiądzów armaturowych*. Kraków: Konferencja Nowoczesne Tendencje w Odlewnictwie Metali Nieżelaznych.

ACKNOWLEDGEMENTS

Research was realized as part of a project financed with funds from the European Regional Development Fund (Project no.: POIR.04.01.02-00-0030/2016) titled “Waste-free technology of forming drinking water pipe fittings from lead-free copper alloys”. Research was conducted as part of collaboration within a consortium including three scientific units: Poznań University of Technology, Metal Forming Institute in Poznań, and Institute of Non-Ferrous Metals from Gliwice, as well as the enterprise Fabryka Armatur Swarzędz Sp. z o. o.

REFERENCES

- [1] Sińczak Jan. 2007. *Kucie dokładne*. Kraków: Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne.
- [2] Krocak Paweł. 2012. „Badania procesu kucia trójników z bezołowiowego stopu miedzi”. *Obróbka Plastyczna Metali XXIII* (4): 255-263.
- [3] Kondracki Marcin, Józef Gawroński, Jan Szajnar. 2005. „Eliminacja ołowiu z armaturowych stopów miedzi z cynkiem”. *Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji*.
- [4] Rządkosz Stanisław, Janusz Kozana, Aldona Garbacz-Klempka, Marcin Piękoś. 2015. „Structure analysis and properties of unleaded brasses”. *Archives of Metallurgy and Materials* (60): 323-328.
- [5] Rządkosz Stanisław, Marcin Piękoś, Janusz Kozana. 2003. „Effect of modification on the mechanical properties and structure of brass CuZn38PbAl”. *Archiwum Odlewnictwa* 3 (7): 121-126.
- [6] Janus Andrzej, Bohdan Ankudowicz. 2000. „Possibility of lead elimination from CuZn39Pb2 brass”. *Krzepnięcie Metali i Stopów* (43). Katowice: PAN.
- [7] Rządkosz Stanisław, Mariusz Holtzer. 1997. *Aspekty ekologiczne w zakresie stosowania mosiądzów armaturowych*. Kraków: Konferencja Nowoczesne Tendencje w Odlewnictwie Metali Nieżelaznych.