



Wytwarzanie prętów do produkcji elektrod do zgrzewania punktowego za pomocą wyciskania metodą KOBO

Manufacturing rods for production of spot welding electrodes using the KOBO extrusion method

(1) Filip Heyduk*, (2) Stanisław Ziółkiewicz, (3) Włodzimierz Bochniak, (4) Andrzej Korbel

Instytut Obróbki Plastycznej, ul. Jana Pawła II 14, 61-139 Poznań, Poland

Informacje o artykule

Data przyjęcia: 3.08.2015
Data recenzji: 8.09.2015
Data akceptacji: 30.12.2015

Wkład autorów

- (1) Autor koncepcji, metodyki przeprowadzonych prac naukowo-badawczych, współautor analizy i interpretacji uzyskanych wyników i wniosków
- (2) Współautor analizy i interpretacji uzyskanych wyników i wniosków
- (3) Współautor analizy i interpretacji uzyskanych wyników i wniosków
- (4) Współautor analizy i interpretacji uzyskanych wyników i wniosków

Streszczenie

Zgrzewanie punktowe jest najpopularniejszą metodą łączenia blach, szczególnie w przemyśle motoryzacyjnym i kolejowym. W artykule przedstawiono wyniki wstępnych badań wytwarzania prętów, będących półwyrobem elektrod przeznaczonych do zgrzewania punktowego. Do badań wykorzystano pręty o średnicy 40 mm ze stopu miedzi Cu-Cr-Zr, które poddano przesycaniu przy dwóch wariantach temperatur: 900°C i 1030°C, a następnie wyciskano na zimno metodą KOBO i starzono. Wyciskanie metodą KOBO prowadzono przy dwóch wartościach siły wyciskania: 400 i 650 kN. W badaniach wykazano, że po tak przeprowadzonym procesie nastąpił wzrost twardości próbek, dochodzący do 10% przy wyciskaniu z siłą 650 kN w stosunku do materiału wyjściowego. W obu przypadkach próbek wyciskanych metodą KOBO obserwuje się ultra drobne ziarna w warstwie przypowierzchniowej na grubości ok. 200 µm, niezależnie od przyjętej siły wyciskania. Półwyroby po procesie KOBO i starzeniu mają inną strukturę przy powierzchni, w porównaniu do struktury rdzenia, niezależnie od wielkości siły wyciskania. Widać również układ pofalowanych pasm będących efektem płynięcia metalu w procesie wyciskania KOBO. W obu przypadkach próbek wyciskanych metodą KOBO i starzonych obserwuje się równomierne rozmieszczenie wydzieleni dyspersyjnych na tle rozdrobnionej struktury, przy czym rozdrobnienie jest większe dla próbki wyciskanej z większą siłą (650 kN). Uzyskane wyniki stanowią bazę umożliwiającą podjęcie w Instytucie Obróbki Plastycznej dalszych badań nad kształtowaniem plastycznym elektrod o wysokiej twardości, co pozwoli na zmniejszenie stopnia odpadu w stosunku do technologii obróbki skrawania o ok. 30%.

Słowa kluczowe: wyciskanie KOBO, Cu-Cr-Zr, zgrzewanie oporowe, elektrody

Article info

Received: 3.08.2015
Reviewed: 8.09.2015
Accepted: 30.12.2015

Authors' contribution

- (1) Author of concept, method of conducted research, co-author of analysis and interpretation of the results and conclusions
- (2) Co-author of analysis and interpretation of the results and conclusions

Abstract

Spot welding is the most popular method of joining sheets, particularly in the motorization and railway industries. This article presents the results of preliminary research on manufacturing rods as components used in the production of electrodes intended for spot welding. Rods with a diameter of 40 mm made of Cu-Cr-Zr copper alloy, hyperquenched at two different temperatures: 900°C and 1030°C, cold-extruded using the KOBO method and aged, were used in tests. KOBO extrusion was performed using two different extrusion force values: 400 and 650 kN. Tests prove that the hardness of specimens increased after this process, by up to 10% at extrusion with 650 kN of force compared to the starting material. In both cases of specimens extruded using the KOBO method, ultra-fine grains are observed in the near-surface layer over a thickness of approx. 200 µm, regardless of the accepted extrusion force. Semi-finished products after the KOBO process and ageing have a different structure near the surface

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

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

(3) *Co-author of analysis and interpretation of the results and conclusions*

(4) *Co-author of analysis and interpretation of the results and conclusions*

than in the core, regardless of the extrusion force value. A wavy arrangement of bands can also be seen, the effect of metal flow during the KOBO extrusion process. In both cases of specimens extruded using the KOBO method and aged, uniform distribution of dispersive precipitates is observed on the background of the refined structure, where refinement is greater in the specimen extruded with greater force (650 kN). Obtained results constitute the foundations making it possible to undertake further research of plastic forming of electrodes of high hardness at the Metal Forming Institute, enabling reduction of waste by 30% compared to machining technology.

Keywords: KOBO extrusion, Cu-Cr-Zr, resistance spot welding, electrode

1. WPROWADZENIE

Zgrzewanie punktowe jest najpopularniejszą metodą łączenia blach, szczególnie w przemyśle motoryzacyjnym i kolejowym. Proces ten polega na łączeniu blach na zakładkę i dociskaniu ich za pomocą elektrod, przez które przepływa prąd elektryczny. Miejsce styku elektrod i łączonych materiałów zostaje nagrzane na skutek wydzielania się ciepła Joule'a. Pod wpływem nacisku elektrod i wytworzonego ciepła, łączone blachy zostają miejscowo zgrzane [1, 2]. Złożony stan obciążenia cieplno-mechanicznego elektrod podczas procesu zgrzewania powoduje konieczność zapewnienia im odpowiednio wysokich własności, szczególnie w zakresie temperatury pracy (około 400°C) [3] takich, jak:

- granica plastyczności,
- twardość i odporność na ścieranie,
- przewodność elektryczna.

Na elektrody można stosować miedź elektrolityczną (z wyjątkiem zgrzewania blach miedzianych), jednak ze względu na bardzo małą twardość (90 HB), żywotność wykonanych z niej elektrod nie jest zadowalająca. Podwyższenie właściwości użytkowych miedzi uzyskuje się poprzez stosowanie dodatków stopowych (Cr, Zr, Co, Be, Cd, Ni, Si), pozwalających na dyspersyjne umocnienie stopu miedzi. Inną metodą podniesienia własności mechanicznych miedzi jest zastosowanie odkształcenia plastycznego w takich procesach, jak: walcowanie, przeciąganie, kucie czy wyciskanie. W ostatnim okresie coraz więcej uwagi poświęca się metodom intensywnego odkształcania plastycznego (SPD – ang. *Severe Plastic Deformation*). Autorzy pracy [4] przedstawili wyniki badań przeciskania materiału przez kanał kątowy (ECAP – ang. *Equal Cha-*

1. INTRODUCTION

Spot welding is the most popular method of joining sheets, particularly in the motorization and railway industries. This process is based on overlap joining of sheets and their clamping by electrodes through which an electrical current is running. The point of contact between the electrodes and joined materials is heated as a result of Joule heat emission. Under the influence of pressure from electrodes and generated heat, the sheets are locally welded [1, 2]. The complex thermomechanical load state of electrodes during the welding process creates the necessity of ensuring that they have adequately high properties, particularly in the working temperature range (approx. 400°C) [3], such as:

- *yield point,*
- *hardness and resistance to abrasion,*
- *electrical conductivity.*

*Electrolytic copper can be used for electrodes (unless copper sheets are being joined), however, due to their very low hardness (90 JB), the lifetime of electrodes made from electrolytic copper is unsatisfactory. Improvement of the functional properties of copper is achieved by applying alloying agents (Cr, Zr, Co, Be, Cd, Ni, Si) allowing for dispersion hardening of the copper alloy. Another way to improve copper's mechanical properties is to apply plastic deformation in such processes as: rolling, pull broaching, forging, or extrusion. Recently, an increasing amount of attention is being given to SPD (*Severe Plastic Deformation*) methods. The authors of article [4] presented the results of equal channel angular pressing (ECAP) extrusion tests. Cu-Cr-Zr copper alloy rods with a diameter of 10 mm exhibited a refined structure and high hardness, 220–225 HV,*

nel Angular Pressing). Pręty ze stopu miedzi Cu-Cr-Zr o średnicy 10 mm po procesie ECAP i obróbce cieplej (starzenie 375°C, 15h) charakteryzowały się rozdrobnioną strukturą i wysoką twardością 220–225 HV. Niestety wadą takiego rozwiązania, w odróżnieniu od typowych procesów obróbki plastycznej, jest niska wydajność i ograniczona wielkość półwyrobów, wynikająca z wysokiego oporu odkształcania plastycznego i tarcia oraz mały uzysk, wynikający z około 50% odpadu technologicznego.

Znacznie wydajniejszym procesem SPD, jest metoda KOBO. Polega ona na cyklicznej zmianie drogi odkształcania wsadu poddawanemu procesowi wyciskania, kucia, walcowania czy ciągnięcia. Najbardziej rozpowszechnioną metodą KOBO jest proces wyciskania chroniony patentem [5]. Wyroby wytworzone metodą KOBO cechują się bardzo dobrym odwzorowaniem kształtu narzędzi roboczych, wysoką plastycznością i jednorodnością struktury. Powstała w trakcie procesu KOBO wysoka koncentracja defektów punktowych struktury zostaje zachowana w wyrobach w postaci gęstych nanometrycznych klastrów. Dzięki temu wyroby charakteryzują się korzystnymi właściwościami mechanicznymi, niespotykanymi przy stosowaniu innych metod wyciskania, a kąt i częstość skręcania matrycy są dodatkowymi parametrami procesu umożliwiającymi pełną kontrolę oraz sterowanie strukturą i właściwościami wyrobu [6, 7].

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie wstępnych wyników prac eksperymentalnych związanych z wykorzystaniem metody KOBO do wytwarzania prętów ze stopu Cu-Cr-Zr, będących półwyrobem do produkcji elektrod przeznaczonych do zgrzewania punktowego.

2. METODYKA BADAŃ

Do badań wykorzystano komercyjnie dostępny stop miedzi Cu-Cr-Zr w postaci prętów o średnicy 40 mm. Materiał ten o składzie chemicznym przedstawionym w tab. 1 jest stosowany do produkcji elektrod metodą obróbki skrawaniem.

after the ECAP a diameter of 10 mm exhibited a refined structure and high hardness, 220–225 HV, after the ECAP process and heat treatment (ageing at 375°C, 15h). Unfortunately, a disadvantage of this solution, in contrast to typical plastic working processes, is low output and limited size of semi-finished products, which is caused by high resistance to plastic deformation and friction, as well as low yield due to approx. 50% process waste.

The KOBO method is a much more productive SPD process. It is based on cyclic changing of the deformation path of the stock subjected to the extrusion, forging, rolling, or pull broaching process. The patented extrusion process is the most widespread KOBO method [5]. Products manufactured using the KOBO method are characterized by very good representation of the shape of working tools, high plasticity, and uniformity of structure. The high concentration of point defects in the structure occurring during the KOBO process is preserved in products in the form of dense nanoclusters. Thanks to this, products are characterized by desirable mechanical properties not encountered when other extrusion methods are applied, and the angle and frequency of die turning are additional process parameters that give full control over the product's structure and properties [6, 7].

The objective of this article is to present the preliminary results of experimental work related to utilization of the KOBO method for manufacturing Cu-Cr-Zr alloy rods as a component in the production of spot welding electrodes.

2. RESEARCH METHODOLOGY

Commercially available Cu-Cr-Zr copper alloy in the form of rods 40 mm in diameter was used for tests. This material, with the chemical composition presented in Tab. 1, is used for manufacturing electrodes by machining.

Tab. 1. Skład chemiczny stopu Cu-Cr-Zr
 Tab. 1. Chemical composition of Cu-Cr-Zr alloy

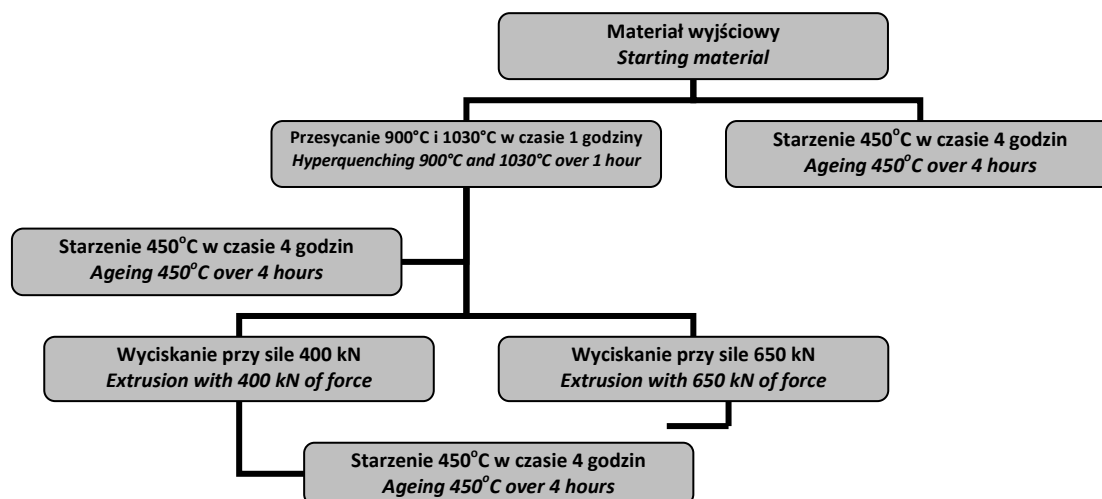
Cr		Fe		Si		Zr		Cu Reszta Residue
Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
0,5	1,2	—	0,08	—	0,1	0,03	0,3	

Przyjęty schemat badań przedstawiono na rys. 1. Próbkę przed procesem wyciskania metodą KOBO poddano przesycaaniu. Przesycaanie prowadzono w temperaturze 900°C i 1030°C w czasie 1 godziny, a następnie próbkę chłodzono w wodzie.

W badaniach przyjęto, że poziomem referencyjnym do wyników badań procesu wyciskania metodą KOBO są własności, jakie posiada materiał wyjściowy po kontrolowanej obróbce cieplnej (tj. przesycaaniu i starzeniu). Dlatego część nieprzesyconych i przesyconych próbek poddano procesowi starzenia w temperaturze 450°C w czasie 4 godzin i chłodzeniu w powietrzu.

The accepted testing scheme is presented in Fig. 1. Specimens were hyperquenched before the KOBO extrusion process. Hyperquenching was performed at temperatures of 900°C and 1030°C over 1 hour, after which specimens were cooled in water.

The properties of the starting material after controlled heat treatment (i.e. hyperquenching and ageing) served as the level of reference accepted for the results of KOBO extrusion tests. This is why some non-hyperquenched and hyperquenched specimens were aged at a temperature of 450°C over 4 hours and air-cooled.

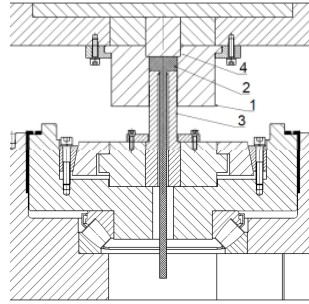


Rys. 1. Schemat badań eksperymentalnych

Fig. 1. Scheme of experimental tests

Proces wyciskania metodą KOBO przeprowadzono na zmodernizowanej prasie Sack & Kiesselbach 2500 T. Wyciskanie KOBO stopu Cu-Cr-Zr realizowano na zimno, co diametralnie różni się od konwencjonalnego wyciskania, w którym nawet czystą miedź wyciska się na gorąco. Na rys. 2 przedstawiono schemat przyrządu badawczego do wyciskania metodą KOBO, a na rys. 3 widok oprzyrządowanej prasy.

The KOBO extrusion process was performed on a modernized 2500 T Sack & Kiesselbach press. KOBO extrusion of the Cu-Cr-Zr alloy was performed cold, which is fundamentally different from conventional extrusion, where even pure copper is extruded hot. Fig. 2 presents the schematics of the testing apparatus for KOBO extrusion, and Fig. 3 shows a view of the press with mounted instrumentation.

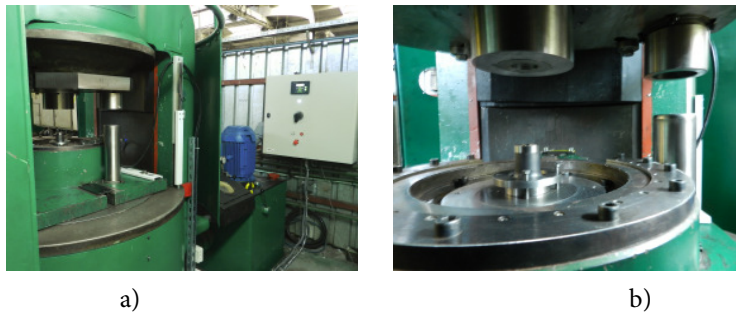


Rys. 2. Schemat przyrządu badawczego do wyciskania metodą KOBO:

1 – pojemnik, 2 – materiał wyciskany, 3 – obustronnie obracany stempel, 4 – przeciwstempel

Fig. 2. Schematics of test apparatus for KOBO extrusion:

1 – container, 2 – material being extruded, 3 – punch turning in two directions, 4 – counterpunch



Rys. 3. Widok prasy 2500 T wykorzystanej do badań eksperymentalnych:

a) widok ogólny, b) mechanizm obustronnego obracania stempla

Fig. 3. View of the 2500 T press used for experimental tests:

a) general view, b) two-directional punch turning mechanism

W zestawie narzędziowym zastosowano pojemnik (receptacle) o średnicy 40,5 mm i otwór w obrotowym stemple o średnicy 12,5 mm, co odpowiada stopniowi przerobu plastycznego materiału $\lambda=10$. W badaniach stosowano kąt obustronnego obrotu stempla $\pm 4^\circ$ przy częstotliwości 6 Hz. W celu zapewnienia założonego kąta skręcania wsadu, powierzchnia czołowa stempla miała promieniowo nacięte rowki (rys. 4). Uzyskano pręty o długości prawie 30 cm (rys. 5), które poddano procesowi starzenia dla identycznych parametrów jak dla próbek referencyjnych.

A container (receptacle) with a diameter of 40.5 mm and an opening on the rotating punch with a diameter of 12.5 mm, corresponding to the degree of the material's plastic deformation $\lambda=10$, were applied in the tool set. A two-directional punch rotation angle of $\pm 4^\circ$ was applied in tests at a frequency of 6 Hz. In order to ensure the assumed stock turning angle, the face of the punch was scored with radial grooves (Fig. 4). Rods with a length of nearly 30 cm (Fig. 5) were obtained and subjected to an ageing process with parameters identical to those for reference specimens.



Rys. 4. Widok czołowej powierzchni stempla do wyciskania metodą KOBO

Fig. 4. View of face of punch for KOBO extrusion



Rys. 5. Widok wyciśniętego pręta Cu-Cr-Zr metodą KOBO

Fig. 5. View of Cu-Cr-Zr rod extruded using the KOBO method

Do oceny własności badanych prętów po dwóch wariantach wyciskania przyjęto pomiar twardości metodą Vickersa, po końcowym procesie starzenia. Dla badań twardości stosowano twardościomierz Micromet 2104 firmy Buehler przy obciążeniu siłą 2,942 N.

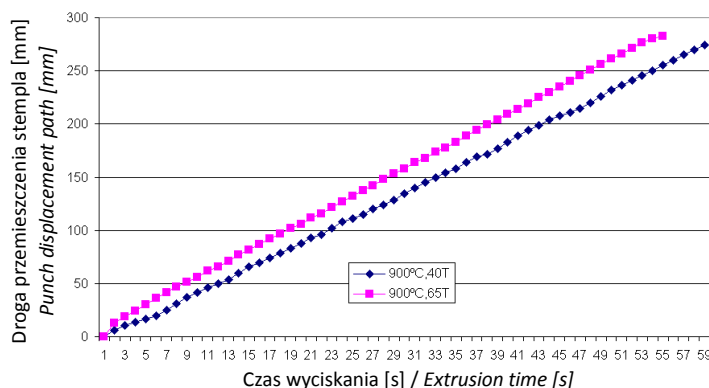
Vickers hardness measurements was accepted for assessment of the properties of rods after the final ageing process. A Micromet 2104 hardness tester from the Buehler company was used for hardness tests with 2.942 N load.

3. WYNIKI BADAŃ

Na rys. 6 przedstawiono zależność przemieszczenia stempla w czasie przy zadanych siłach wyciskania. Nierównomierny przebieg przemieszczenia stempla dla siły wyciskania 400 kN jest najprawdopodobniej związany z oddziaływaniem regulacji układu hydraulicznego prasy działającego w dolnych granicach siły, natomiast dla siły 650 kN przebieg ma charakter liniowy.

3. TEST RESULTS

Fig. 6 presents a chart of punch displacement over time at the set extrusion forces. The uneven progress of punch displacement at 400 kN extrusion force is probably related to the interaction of control of the press's hydraulic system, which was operating at the lower force limit, however displacement is linear for 650 kN of force.



Rys. 6. Zależność przemieszczenia stempla w czasie przy zadanych siłach wyciskania metodą KOBO stopu Cu-Cr-Zr

Fig. 6. Punch displacement over time at set forces of KOBO extrusion of Cu-Cr-Zr alloy

Wartość prędkości wyciskania, rozumianej jako prędkość przemieszczenia się stempla, podano w tab. 2. W procesie eksperymentalnym wzrost siły wyciskania o 250 kN (tj. o 60%) powodował wzrost prędkości wyciskania o 0,5 mm/s (10%).

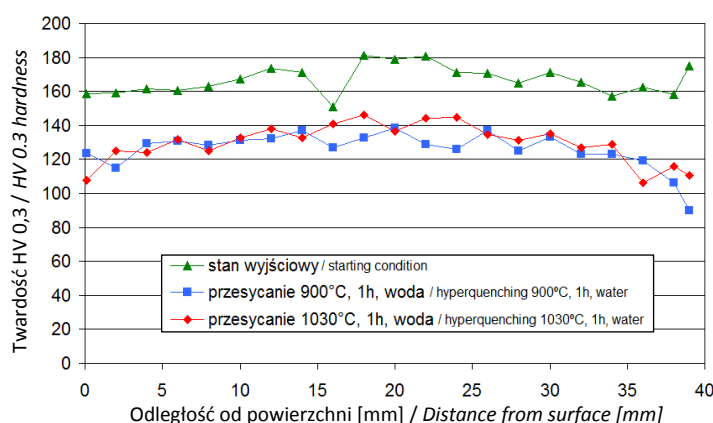
The value of extrusion rate, understood as the punch displacement rate, is given in Tab. 2. In the experimental process, an increase of extrusion force by 250 kN (i.e. by 60%) caused an increase in the extrusion rate by 0.5 mm/s (10%).

Tab. 2. Wpływ siły wyciskania na średnią prędkość wyciskania metodą KOBO stopu Cu-Cr-Zr
 Tab. 2. Influence of extrusion force on average rate of KOBO extrusion of Cu-Cr-Zr alloy

Parametry wyciskania / Extrusion parameters	Średnia prędkość przesuwu stempla / Average punch advance rate [mm/s]
900°C, 40 T	4,7
900°C, 65 T	5,2

Na skutek przeprowadzonego procesu przesycania prętów przed wyciskaniem (rys. 7) nastąpiło obniżenie ich twardości z 167 HV0.3 do 126 HV0.3 (przesycanie 900°C) i do 130 HV0.3 (przesycanie 1030°C).

Because rods were hyperquenched before extrusion (Fig. 7), their hardness was reduced from 167 HV0.3 to 126 HV0.3 (hyperquenching at 900°C) and to 130 HV0.3 (hyperquenching at 1030°C).

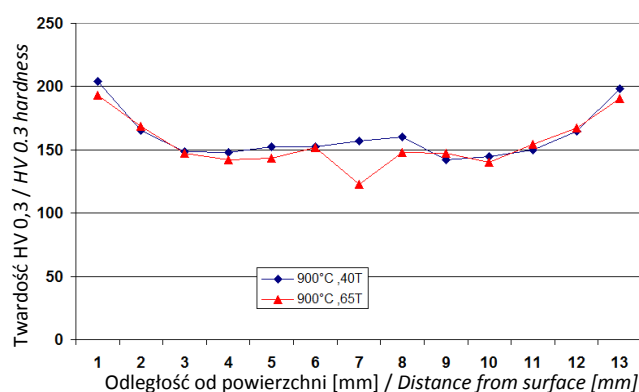


Rys. 7. Rozkład twardości na przekrojach prętów przed i po przesycaniu

Fig. 7. Hardness distribution on rod cross-sections before and after hyperquenching

Po procesie wyciskania stwierdzono wzrost twardości prętów do ok. 150 HV0.3 w rdzeniu i prawie 200 HV0.3 na powierzchni prętów. Uzyskane wyniki dowodzą, że wielkość i poziom twardości na przekroju próbki nie zależy od wartości siły wyciskania (rys. 8).

After the extrusion process, an increase in rod hardness, up to approx. 150 HV0.3 in the core and nearly 200 HV0.3 on the surface, was observed. Obtained results prove that the area and value of hardness on a specimen's cross-section do not depend on extrusion force values (Fig. 8).

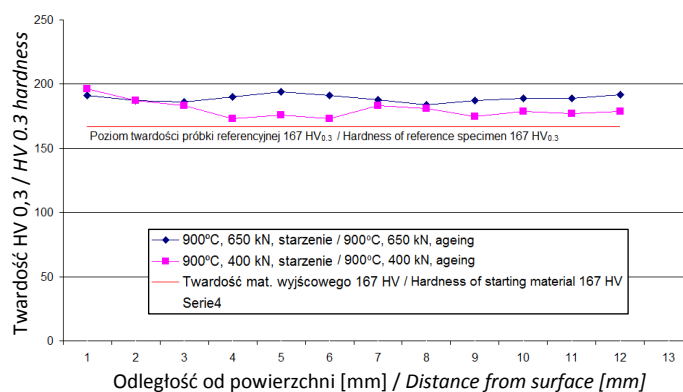


Rys. 8. Rozkład twardości na przekrojach prętów bezpośrednio po procesie wyciskania metodą KOBO dla badanych wartości sił

Fig. 8. Hardness distribution on rod cross-sections immediately after KOBO extrusion at the tested force values

Po procesie wyciskania metodą KOBO próbki poddano starzeniu. Parametry starzenia przyjęto takie jak dla próbki referencyjnej (próbki poddanej przesyleniu i starzeniu z materiału wyjściowego). Próbki wyciskane przy wartości siły 650 kN charakteryzują się wyższymi wartościami i większą jednorodnością rozkładu twardości na przekroju w porównaniu do próbek wyciskanych przy wartości siły 400 kN. W obu przypadkach po procesie wyciskania twardość próbek była wyższa niż próbki referencyjnej wynoszącej 167 HV_{0.3}. W przypadku próbki wyciskanej z siłą 400 kN i poddanej starzeniu średnia twardość wynosi 178 HV_{0.3} (wzrost o 6,5%). Dla próbki wyciskanej siłą 650 kN i poddanej starzeniu średnia twardość wynosi 189 HV_{0.3} (wzrost o 13%).

Specimens were aged after the KOBO extrusion process. The same ageing parameters as for the reference specimen were accepted (specimen of starting material that was hyperquenched and aged). Specimens extruded at a force value of 650 kN are characterized by higher hardness values and greater uniformity of hardness distribution over their cross-sections in comparison to specimens extruded with 400 kN of force. In both cases, the hardness of specimens after the extrusion process was greater than that of the reference specimen, equal to 167 HV_{0.3}. In the case of the specimen extruded with 400 kN of force and aged, the average hardness amounts to 178 HV_{0.3} (6.5% increase). In the case of the specimen extruded with 650 kN of force and aged, the average hardness amounts to 189 HV_{0.3} (13% increase).

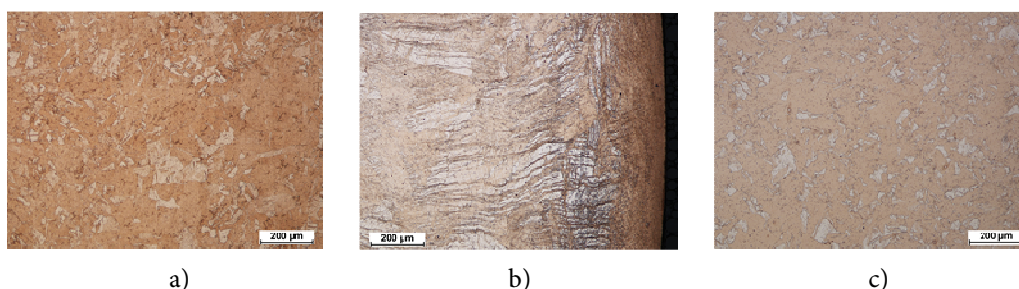


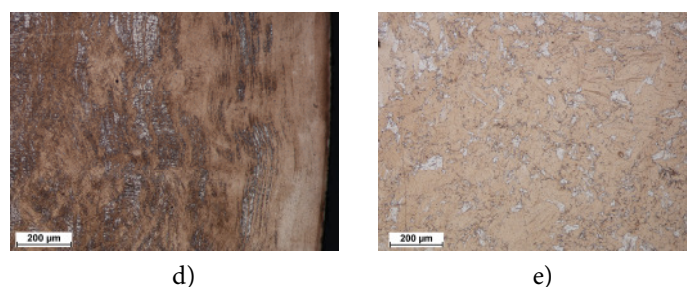
Rys. 9. Rozkład twardości na przekroju pręta wyciśniętego metodą KOBO i poddanego procesowi starzenia

Fig. 9. Hardness distribution on cross-section of rod extruded using the KOBO method and aged

Na rys. 10 przedstawiono strukturę badanych próbek, obserwowaną za pomocą mikroskopu optycznego Eclipse L150. Próbki trawiono w roztworze 100 ml H₂O, 5 g FeCl₃ i 10 ml HCl. Struktura próbki wyjściowej (rys. 10a) jest typowa dla obrobionego cieplnie stopu Cu-Cr-Zr z widocznymi bardzo drobnymi wydzieleniami dyspersyjnymi.

Fig. 10 presents the structure of specimens examined under an Eclipse L150 light microscope. Specimens were etched in a 100 ml H₂O, 5 g FeCl₃ and 10 ml HCl solution. The structure of the starting specimen (Fig. 10a) is typical for heat-treated Cu-Cr-Zr alloy; very fine dispersive precipitates are visible.





Rys. 10. Mikrostruktura miedzi Cu-Cr-Zr: a) w stanie wyjściowym, po procesie KOBO (siła wyciskania 400 kN) i starzeniu; b) brzeg próbki; c) środek próbki, po procesie KOBO (siła wyciskania 650 kN) i starzeniu; d) brzeg próbki; e) środek próbki

Fig. 10. Microstructure of Cu-Cr-Zr alloy: a) in starting condition, after the KOBO process (400 kN extrusion force) and ageing; b) edge of specimen; c) center of specimen, after KOBO process (650 kN extrusion force) and ageing; d) edge of specimen; e) center of specimen

W obydwu próbkach wyciskanych metodą KOBO i starzonych obserwuje się ultra drobne ziarna w warstwie przypowierzchniowej na grubości ok 200 μm niezależnie od przyjętej siły wyciskania.

Można zauważyć, że pręty po procesie wyciskania metodą KOBO i starzeniu mają inną strukturę przy powierzchni (rys. 10b,d) niż w rdzeniu (rys. 10c,e), niezależnie od wartości siły wyciskania. Widać również tam układ pofalowanych pasm będących efektem płynięcia plastycznego metalu w procesie wyciskania KOBO. W obydwu próbkach po wyciskaniu metodą KOBO i starzeniu obserwuje się równomierne rozmieszczenie wydzielen dyspersyjnych na tle rozdrobnionej struktury, przy czym rozdrobnienie jest większe dla próbki wyciskanej z większą siłą (650 kN).

4. WNIOSKI

W pracy wykazano, że:

1. Jest możliwe wykorzystanie metody KOBO do wytwarzania prętów ze stopu Cu-Cr-Zr przeznaczonych do wytwarzania elektrod do zgrzewania punktowego.
2. W wyniku zastosowania tej metody następuje wzrost twardości prętów średnio o 6,5–13% w stosunku do twardości prętów wytworzonych tradycyjnie.
3. Pręty wytworzone metodą KOBO charakteryzują się strukturą o mniejszym ziarnie z równomiernie rozłożonymi wydzieleniami dysper-

In both specimens extruded using the KOBO method, ultra-fine grains are observed in the near-surface layer over a thickness of approx. 200 μm , regardless of the accepted extrusion force.

It can be seen that rods after the KOBO extrusion process and ageing have a different structure near their surface (Fig. 10b,d) than in the core (Fig. 10c,e), regardless of extrusion force. A wavy arrangement of bands can also be seen there; the effect of metal flow during the KOBO extrusion process. In both specimens extruded using the KOBO method and aged, uniform distribution of dispersive precipitates is observed on the background of the refined structure, where refinement is greater in the specimen extruded with greater force (650 kN).

4. CONCLUSIONS

In this article, it was shown that:

1. *It is possible to use the KOBO method to produce rods from Cu-Cr-Zr alloy, intended for manufacturing of spot welding electrodes.*
2. *As a result of the application of this method, rod hardness is increased by 6.5–13% on average compared to the hardness of traditionally manufactured rods.*
3. *Rods manufactured using the KOBO method are characterized by a more refined structure with more uniformly distributed dispersive*

syjnymi, w stosunku do wyrobów komercyjnych.

4. Po zwiększeniu siły wyciskania od 400 kN do 650 kN można uzyskać drobniejsze ziarna oraz bardziej stabilny rozkład twardości na przekroju poprzecznym prętów.

Uzyskane wyniki stanowią bazę umożliwiającą podjęcie w Instytucie Obróbki Plastycznej dalszych badań nad kształtowaniem plastycznym elektrod o wysokiej twardości, co pozwoli na zmniejszenie stopnia odpadu w stosunku do technologii obróbki skrawania o ok. 30%.

PODZIĘKOWANIA

Praca zrealizowana została w ramach projektu NANOMET „Nowe materiały metaliczne o strukturze nanometrycznej do zastosowań w nowoczesnych gałęziach gospodarki” finansowanego z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach działania 1.3. podziałanie 1.3.1 Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka.

LITERATURA

- [1] Raelison, R.N. 2014. “Modeling and numerical simulation of the resistance spot welding of zinc coated steel sheets using rounded tip electrode: Analysis of required conditions.” *Applied Mathematical Modelling* 38: 2505–2521.
- [2] Pereira, A.M. 2010. “Effect of process parameters on the strength of resistance spot welds in 6082-T6 aluminium alloy.” *Materials and Design* 31: 2454–2463.
- [3] Xia, Chengdong. 2012. “High strength and high electrical conductivity Cu–Cr system alloys manufactured by hot rolling–quenching process and thermomechanical treatments.” *Materials Science and Engineering A* 538: 295–301.
- [4] Vinogradov, A. 2002. “Structure and properties of ultra-fine grain Cu–Cr–Zr alloy produced by equal-channel angular pressing.” *Acta Materialia* 50: 1639–1651.
- [5] Korbel, Andrzej, Bochniak, Włodzimierz. 1995. *Method of extrusion of materials*. Poland, Patent no. 168018.
- [6] Bochniak, Włodzimierz. 2013. „Wyciskanie metali i stopów metodą KOBO.” *Obróbka Plastyczna Metali XXIV* (2): 83–97.
- [7] Ziółkiewicz, Stanisław. 2012. „Wpływ obróbki KOBO na właściwości plastyczne stopu magnezu AM60.” *Obróbka Plastyczna Metali XXIII* (3): 149–158.

precipitates compared to commercial products.

4. After extrusion force is increased from 400 kN to 650 kN, it is possible to achieve finer grains and a more stable hardness distribution on rod cross-sections.

Obtained results constitute the foundations making it possible to undertake further research of plastic forming of electrodes of high hardness at the Metal Forming Institute, enabling reduction of waste by 30% compared to machining technology.

ACKNOWLEDGEMENTS

Financial support of Structural Funds in the Operational Program – Innovative Economy (IE OP) financed by the European Regional Development Fund – Project No POIG.01.03.01-00-015/08 (NANOMET) is gratefully acknowledged.

REFERENCES

- [1] Raelison, R.N. 2014. “Modeling and numerical simulation of the resistance spot welding of zinc coated steel sheets using rounded tip electrode: Analysis of required conditions.” *Applied Mathematical Modelling* 38: 2505–2521.
- [2] Pereira, A.M. 2010. “Effect of process parameters on the strength of resistance spot welds in 6082-T6 aluminium alloy.” *Materials and Design* 31: 2454–2463.
- [3] Xia, Chengdong. 2012. “High strength and high electrical conductivity Cu–Cr system alloys manufactured by hot rolling–quenching process and thermomechanical treatments.” *Materials Science and Engineering A* 538: 295–301.
- [4] Vinogradov, A. 2002. “Structure and properties of ultra-fine grain Cu–Cr–Zr alloy produced by equal-channel angular pressing.” *Acta Materialia* 50: 1639–1651.
- [5] Korbel, Andrzej, Bochniak, Włodzimierz. 1995. *Method of extrusion of materials*. Poland, Patent no. 168018.
- [6] Bochniak, Włodzimierz. 2013. „Wyciskanie metali i stopów metodą KOBO.” *Obróbka Plastyczna Metali XXIV* (2): 83–97.
- [7] Ziółkiewicz, Stanisław. 2012. „Wpływ obróbki KOBO na właściwości plastyczne stopu magnezu AM60.” *Obróbka Plastyczna Metali XXIII* (3): 149–158.