



Wytwarzanie drutu spawalniczego do spawania kształtowników ze stopów aluminium o podwyższonej zawartości magnezu za pomocą wyciskania na zimno metodą KOBO

Manufacture by means of KOBO cold extrusion method of welding wire with increased magnesium content for welding profiles of aluminum alloys

(1) Filip Heyduk*, (2) Dariusz Garbiec, (3) Marcin Lijewski

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

Informacje o artykule

Zgłoszenie: 5.02.2018

Recenzja: 14.02.2018

Akceptacja: 30.03.2018

Wkład autorów

- (1) Koncepcja, założenia, metody, przeprowadzenie badań
- (2) Analiza i interpretacja wyników badań
- (3) Wytworzenie materiału do badań

Streszczenie

Do spawania stopów aluminium serii 5xxx dostępne są na rynku jedynie druty spawalnicze wykonane ze stopów Al-Mg o zawartości magnezu do maksymalnie 5%. W artykule przedstawiono technologię wytwarzania drutu spawalniczego do spawania kształtowników ze stopów aluminium o podwyższonej zawartości magnezu za pomocą wyciskania metodą KOBO oraz wstępne wyniki badań drutu o 7% zawartości magnezu. Materiałem przeznaczonym do wyciskania były odlewy uzyskane w procesie odlewania grawitacyjnego z materiału wsadowego w postaci pociętych profili ze stopu AlMg7. Uzyskane odlewy, w kształcie walca o średnicy 40,0 mm, poddano wyciskaniu na zimno metodą KOBO z wykorzystaniem zmodernizowanej prasy Sack&Kiesselbach o sile 25000 kN. W zestawie narzędziowym zastosowano pojemnik (recypient) o średnicy 40,5 mm i otwór w obrotowym stemplu o średnicy 2,0 mm, co odpowiada stopniowi przerobu plastycznego materiału $\lambda = 410$. Celem uzyskania lepszej jakości powierzchni i dokładnej średnicy drutu, wynoszącej 1,2 mm, zastosowano proces przeciągania. Przeciąganie drutu od średnicy 2,0 mm do średnicy 1,2 mm ($\lambda = 3$) spowodowało wzrost twardości o 65%, wytrzymałości na rozciąganie o 63%, w porównaniu do drutu wyciskanego. Wykazano, że zastosowanie metody KOBO do wytwarzania drutu spawalniczego ze stopu AlMg7 jest możliwe. Wytworzony w ten sposób drut charakteryzuje się wymaganym składem chemicznym i właściwościami mechanicznymi umożliwiającymi stosowanie go w zrobotyzowanym procesie spawania.

Słowa kluczowe: stopy aluminium, wyciskanie, metoda KOBO, drut spawalniczy

Article info

Received: 5.02.2018

Reviewed: 14.02.2018

Accepted: 30.03.2018

Authors' contribution

- (1) Concept, assumptions, methodology, conducting research
- (2) Analysis and interpretation of the results
- (3) Preparation of research material

Abstract

For welding 5xxx aluminum alloys, only welding wires made of Al-Mg alloys with a magnesium content up to a maximum of 5% are available on the market. The paper presents the technology of welding wire production by means of KOBO extrusion with an increased magnesium content for welding profiles of aluminum alloys and the preliminary results of wire studies with a 7% magnesium content. The material to be extruded were ingots obtained in the process of gravity casting, from feedstock in the form of cut AlMg7 alloy profiles. The obtained cylindrical ingots with a diameter of 40.0 mm were subjected to cold extrusion using the KOBO method, using a modernized Sack & Kiesselbach press with the force of 25,000 kN. A container (recipient) with a diameter of 40.5 mm and a hole in a rotating punch with a diameter of 2.0 mm are used in the tool set, which corresponds to the degree of plastic material processing $\lambda = 410$. To achieve a better surface quality and accurate wire diameter of 1.2 mm, a drawing process was used. Wire drawing, from 2.0 mm in diameter to 1.2 mm in diameter ($\lambda = 3$),

* 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

increased the hardness by 65%, the tensile strength by 63% compared to the extruded wire. It has been shown that the use of the KOBO method for producing AlMg7 alloy welding wire is possible. The wire manufactured in this way is characterized by the required chemical composition and mechanical properties, making it possible to use it in a robotic welding process.

Keywords: aluminum alloys, extrusion, KOBO method, welding wire

1. WPROWADZENIE

Aluminium i jego stopy, pomimo swoich właściwości takich, jak stosunkowo niska temperatura topnienia oraz podatność na natychmiastową pasywację czystych powierzchni metalicznych w kontakcie z powietrzem, czego efektem jest powstająca warstwa tlenku aluminium, są materiałami spawalnymi. Jednakże, aby właściwie dobrać materiał spawalniczy do spawania stopów aluminium, konieczna jest znajomość jego składu chemicznego. Popularniejszymi stopami aluminium, stosowanymi m.in. w przemyśle stoczniowym ze względu na ich bardzo dobrą odporność na korozję, są stopy aluminium z serii 5xxx (Al-Mg). Obecnie do ich spawania wykorzystywane są druty spawalnicze o zawartości do 5% magnezu [1–2]. Ograniczenie spowodowane jest m.in. trudnościami technologicznymi związanymi z wyciskaniem stopów z serii 5xxx o zawartości magnezu powyżej 3,5%, brakiem rynkowego zapotrzebowania na druty spawalnicze o podwyższonej zawartości magnezu. Ostatnio sytuacja ta uległa zmianie, gdyż w wyniku realizacji m.in. projektu badawczego pt. „Opracowanie innowacyjnej technologii wyciskania kształtowników z trudno odkształcalnych stopów aluminium serii 5xxx”, realizowanego w ramach programu Demonstrator+, wytworzono kształtowniki ze stopu 5083 oraz 5019 o zawartości magnezu wynoszącej odpowiednio 4,4–4,5 oraz 5,5–5,6% [3]. Celem uzyskania spoiny o takiej samej zawartości magnezu co kształtownik, do spawania należy stosować drut spawalniczy ze stopu Al-Mg o jeszcze wyższej zawartości magnezu. Uwarunkowane jest to możliwością odparowywania składnika podczas spawania [4]. Stąd konieczne jest opracowanie technologii wytwarzania drutu spawalniczego o podwyższonej zawartości magnezu. Ponieważ konwencjonalne wyciskanie stopów z serii 5xxx o zawartości magnezu powyżej 7% i małym prze-

1. INTRODUCTION

Aluminum and its alloys, despite their properties such as relatively low melting temperature and susceptibility to immediate passivation of clean metal surfaces in contact with air, the effect of which is the resulting aluminum oxide layer, are weldable materials. However, to properly select the welding material for welding aluminum alloys, it is necessary to know its chemical composition. 5xxx aluminum alloys (Al-Mg) are more popular aluminum alloys, among others, used in the shipbuilding industry due to their very good corrosion resistance. At present, welding wires with up to 5% magnesium content are used for welding [1–2]. The restriction is caused, among others, by technological difficulties related to the extrusion of alloys from the 5xxx series, with a magnesium content above 3.5%, and a lack of market demand for welding wires with an increased magnesium content. Recently, this situation has changed because, as a result of the implementation of, among others, a research project entitled “The development of innovative technology extrusion of profiles from hard-to-deform series 5xxx aluminum alloys”, implemented as part of the Demonstrator + program, profiles from 5083 and 5019 alloys were manufactured with a magnesium content of 4.4–4.5 and 5.5–5.6% respectively [3]. In order to obtain a weld with the same magnesium content as the profile, welding wire made of Al-Mg alloy with an even higher magnesium content should be used. This is due to the possibility of evaporation of the component during welding [4]. Hence, the need to develop a technology for producing a welding wire with an increased content of magnesium. Since conventional extrusion of 5xxx alloys with a magnesium content of more than 7% and a small cross-section ($\varnothing 1.2$ mm) proved impossible, research work on

kroju ($\varnothing 1,2$ mm) okazało się niemożliwe, podjęto prace badawcze dotyczące zastosowania wyciskania na zimno z rewersyjnie obracającą się matrycą (metoda KOBO) [5], celem wytworzenia drutu spawalniczego AlMg7.

Metodę KOBO, którą omówiono szerzej w pracach [6–8], stosowano już do wyciskania stopu 5083 [9] oraz 7075 [10], uzyskując druty o średnicy wynoszącej odpowiednio 4,0 oraz 1,5 mm. W przypadku stopu 5083 proces wyciskania prowadzono jednoetapowo ($\varnothing 40,0 \rightarrow \varnothing 4,0$; $\lambda = 410$) oraz dwuetapowo ($\varnothing 40,0 \rightarrow \varnothing 12,0 \rightarrow \varnothing 4,0$; $\lambda = 11$ i 9). Z kolei wyciskanie stopu 7075 realizowano jednoetapowo przy zastosowaniu stopnia przerobu $\lambda = 711$. Oprócz stopów aluminium, metodą KOBO wyciskano jednoetapowo m.in. druty ze stopu MgLi4 przeznaczone na nici chirurgiczne ($\varnothing 40,0 \rightarrow \varnothing 0,4$; $\lambda \sim 10\,000$) [11] oraz stopu BAg7 [12].

2. MATERIAŁ I METODY BADAWCZE

Materiałem przeznaczonym do badań były gąski uzyskane z profili ze stopu AlMg7. Odlewanie grawitacyjne realizowano poprzez podgrzewanie w piecu laboratoryjnym profili umieszczonych w tyglu grafitowym do temperatury 980°C . Celem ograniczenia utleniania oraz powstawania porów i wytrąceń w odlewanym materiale do wsadu dodano 10 g boraksu. Po 30 min całość odlano do kokili i ochłodzono do temperatury otoczenia. Wyciskanie na zimno metodą KOBO realizowano z wykorzystaniem zmodernizowanej prasy Sack & Kiesselbach o sile 25000 kN. Kąt obustronnego obrotu stempla wynosił $\pm 6^\circ$, a częstotliwość 6 Hz.

Mikroanalizę składu chemicznego otrzymanego drutu przeprowadzono metodą spektroskopii dyspersyjnej energii promieniowania rentgenowskiego (EDS), z wykorzystaniem skaningowego mikroskopu elektronowego Inspect S (FEI), wyposażonego w spektrometr EDS (EDAX). Obserwacje mikroskopowe przeprowadzono za pomocą mikroskopu świetlnego Eclipse L150 (Nikon). Pomiary twardości metodą Vickersa przeprowadzono zgodnie z normą ISO 6507-1:2007, za pomocą twardościomierza FM-800 (Future-Tech), przy zastosowaniu obciążenia

the use of cold extrusion with a periodically rotated die (KOBO method) [5] was undertaken to manufacture AlMg7 welding wire.

The KOBO method, which was discussed in greater detail in [6-8], has already been used to extrude 5083 [9] and 7075 alloys [10], obtaining wires with a diameter of 4.0 and 1.5 mm, respectively. In the case of alloy 5083, the extrusion process was carried out in one ($\varnothing 40.0 \rightarrow \varnothing 4.0$, $\lambda = 410$) and in two stages ($\varnothing 40.0 \rightarrow \varnothing 12.0 \rightarrow \varnothing 4.0$, $\lambda = 11$ and 9). On the other hand, extrusion of the 7075 alloy was carried out in one step using a processing rate of $\lambda = 711$. In addition to aluminum alloys, among others, MgLi4 alloy wires for surgical threads ($\varnothing 40.0 \rightarrow \varnothing 0.4$, $\lambda \sim 10,000$) [11], and BAg7 alloy [12] were extruded in one step by the KOBO method.

2. MATERIAL AND METHODS

The research materials were ingots obtained from AlMg7 profiles. Gravitational casting was carried out by heating profiles placed in a graphite crucible in a laboratory furnace to the temperature of 980°C . To reduce oxidation as well as the development of pores and precipitations in the cast material, 10 g of borax was added to the stock. After 30 min, the whole material was poured into a mould and cooled to ambient temperature. Cold extrusion using the KOBO method was carried out using a modernized Sack & Kiesselbach press with a force of 25,000 kN. The angle of bilateral rotated punch was $\pm 6^\circ$ and the frequency 6 Hz.

The microanalysis of the chemical composition of the obtained wire was carried out by energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) using an Inspect S scanning electron microscope (FEI) equipped with an EDS spectrometer (EDAX). Microscopic observations were performed using an Eclipse L150 (Nikon) light microscope. Vickers hardness measurements were carried out in accordance with ISO 6507-1: 2007 using an FM-800 (Future-Tech) hardness tester with a load of 0.9807 N applied over a period of 15 s. A static

0,9807 N przyłożonego w czasie 15 s. Statyczną próbę rozciągania przeprowadzono z wykorzystaniem maszyny wytrzymałościowej Instron 4483, z prędkością ruchu trawersy 0,5 mm/min w temperaturze pokojowej.

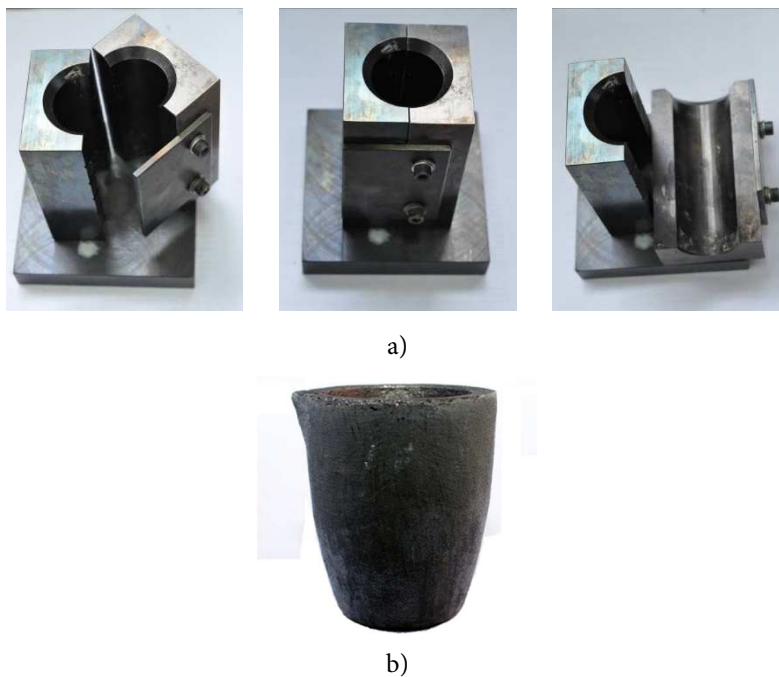
tensile test was carried out using an Instron 4483 testing machine, with a traverse speed of 0.5 mm/min at room temperature.

3. WYNIKI BADAŃ

Na rys. 1 przedstawiono narzędzia wykorzystywane przy odlewaniu, natomiast na rys. 2 widok uzyskanej gąski ze stopu AlMg7. Uzyskane gąski w kształcie walca o średnicy 40,0 mm poddano procesowi wyciskania na zimno metodą KOBO. Schemat przyrządu badawczego do wyciskania metodą KOBO przedstawiono na rys. 3, natomiast oprzyrządowanie prasy na rys. 4.

3. RESEARCH RESULTS

Fig. 1 presents the tools used for casting, while in Fig. 2, the view of the obtained AlMg7 alloy is shown. The obtained cylindrical ingots, with a diameter of 40.0 mm, were subjected to the cold extrusion process using the KOBO method. The diagram of the KOBO extrusion test apparatus is shown in Fig. 3, while the press instrumentation is in Fig. 4.



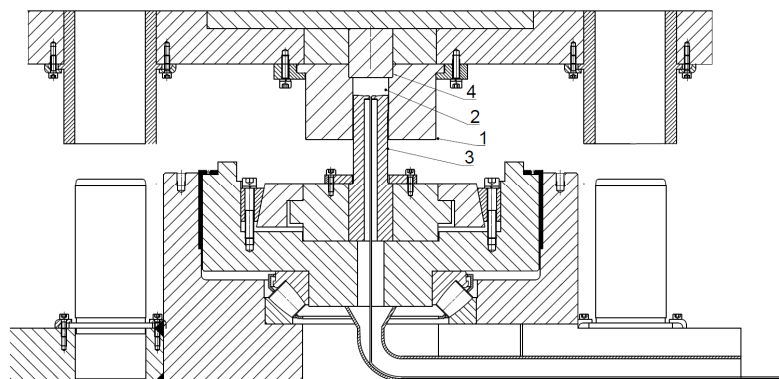
Rys. 1. Narzędzia do odlewania: (a) kokila, (b) tygiel grafitowy

Fig. 1. Casting tools: (a) mould, (b) graphite crucible



Rys. 2. Gąska ze stopu AlMg7

Fig. 2. Ingot from AlMg7 alloy



Rys. 3. Schemat przyrządu badawczego do wyciskania metodą KOBO: (1) pojemnik, (2) materiał wyciskany, (3) obustronnie obracany stempel, (4) przeciwstempel

Fig. 3. Scheme of KOBO extrusion test apparatus: (1) container, (2) extruded material, (3) bilateral rotated punch, (4) counterpunch



a)



b)

Rys. 4. Prasa wykorzystywana w pracy badawczej: (a) widok ogólny, (b) mechanizm obustronnego obracania stempla

Fig. 4. Press used in research work: (a) general view, (b) mechanism of bilateral rotated punch

Zestaw narzędziowy składał się z pojemnika (recypient) o średnicy 40,5 mm i obrotowego stempla z otworem o średnicy 2,0 mm. Stopień przerobu plastycznego materiału wynosił $\lambda = 410$. Celem zapewnienia założonego kąta skręcania wsadu, powierzchnia czołowa stempla miała promieniowo nacięte rowki (rys. 5).

The tool set consisted of a 40.5 mm diameter container (recipient) and a rotating punch with a 2.0 mm diameter hole. The degree of plastic processing of the material was $\lambda = 410$. In order to ensure the assumed torsion angle of the feedstock, the punch face had radially cut grooves (Fig. 5).



Rys. 5. Czołowa powierzchnia stempla do wyciskania metodą KOBO

Fig. 5. Face of KOBO extrusion punch

Podczas procesu wyciskania uzyskano druty o średnicy 2,0 mm i długości ok. 2 m (rys. 6). Celem uzyskania wymaganej średnicy wynoszącej 1,2 mm, wyciśnięty drut poddano przeciąganiu z wykorzystaniem przeciągarki zaprojektowanej w Instytucie Obróbki Plastycznej, której widok przedstawiono na rys. 7. Przeciąganie rozpoczęto od średnicy 2,0 mm, zmniejszając średnicę ciągadeł przeciągarki co 0,1 mm aż do uzyskania średnicy 1,2 mm. W efekcie uzyskano druty o długości około 6 m (rys. 8).

During the extrusion process, wires with a diameter of 2.0 mm and a length of approx. 2 m were obtained (Fig. 6). In order to obtain the required diameter of 1.2 mm, the extruded wire was drawn using a wire drawing machine designed at the Metal Forming Institute, the view of which is shown in Fig. 7. The drawing started from a diameter of 2.0 mm, reducing the diameter of the drawing dies every 0.1 mm until the diameter reached 1.2 mm. As a result, wires with a length of about 6 m were obtained (Fig. 8).



Rys. 6. Drut ze stopu AlMg7, o średnicy 2,0 mm, wyciśnięty metodą KOBO
Fig. 6. AlMg7 alloy wire, 2.0 mm in diameter, extruded using KOBO method



Rys. 7. Przeciągarka podczas przeciągania drutu ze stopu AlMg7
Fig. 7. Wire drawing machine when drawing AlMg7 alloy wire



Rys. 8. Przeciągnięty drut ze stopu AlMg7, o średnicy 1,2 mm
Fig. 8. Drawn AlMg7 alloy, with diameter of 1.2 mm

Wyniki mikroanalizy składu chemicznego wytworzonego drutu przedstawione w tab. 1 potwierdziły, że charakteryzuje się on wymaganą zawartością 7% magnezu.

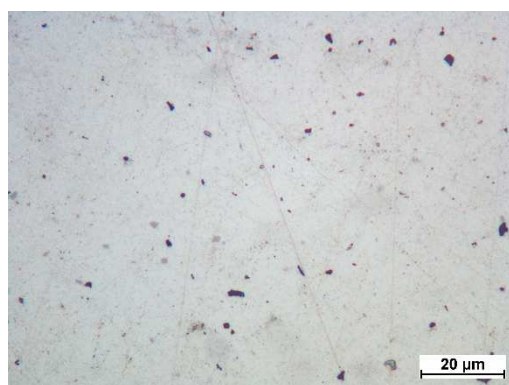
The microanalysis results of the chemical composition of the manufactured wire, presented in Tab. 1, confirmed that it has the required content of 7% magnesium.

Tab. 1. Skład chemiczny drutu ze stopu AlMg7
Tab. 1. Chemical composition of AlMg7 alloy wire

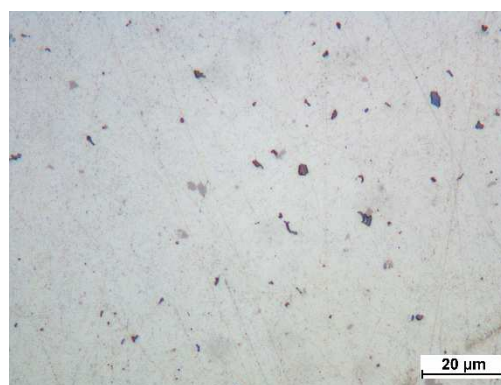
Drut Wire	Mg [% wag. / wt%]	Al [% wag. / wt%]	Mn [% wag. / wt%]
po wyciskaniu after extrusion	6,91	92,50	0,59
po wyciskaniu i przeciąganiu after extrusion and drawing	6,60	92,74	0,66

Na rys. 9 przedstawiono mikrofotografie wytworzonego drutu po wyciskaniu oraz po wyciskaniu i przeciąganiu. Na podstawie uzyskanych wyników obserwacji mikroskopowych wykazano, że w mikrostrukturze drutu zarówno wyciskanego, jak i przeciąganego obecne są zanieczyszczenia w postaci wydzielań Al_3Fe (obszary szare) oraz wtrącenia tlenkowe (obszary ciemne).

Fig. 9 shows the microphotographs of the manufactured wire after extrusion and after extrusion and drawing. Based on the obtained results of microscopic observations, it was shown that impurities in the form of Al_3Fe (gray areas) and oxide inclusions (dark areas) are present in the microstructure of the extruded and drawn wire.



a)



b)

Rys. 9. Obraz optyczny drutu ze stopu AlMg7: (a) po wyciskaniu, (b) po wyciskaniu i przeciąganiu

Fig. 9. Optical image of AlMg7 alloy wire: (a) after extrusion, (b) after extrusion and drawing

Wyniki pomiarów twardości metodą Vickersa oraz wytrzymałości na rozciąganie wytworzonego drutu, po wyciskaniu oraz po wyciskaniu i przeciąganiu, przedstawiono w tab. 2. Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów twardości wykazano, że twardość drutu wyciskanego metodą KOBO o średnicy 2,0 mm wynosi $96 \pm 3 HV_{0.1}$. W efekcie przeciągania drutu od średnicy 2,0 mm do średnicy 1,2 mm, na skutek zachodzących w materiale odkształceń plastycznych, twardość drutu wyciskanego i przeciąganego wzrosła

The results of Vickers hardness measurements and tensile strength of the manufactured wire after extrusion and after extrusion and drawing are shown in Tab. 2. Based on the obtained hardness measurements, it was shown that the hardness of the 2.0 mm diameter KOBO wire is $96 \pm 3 HV_{0.1}$. As a result of drawing the wire, from 2.0 mm in diameter to 1.2 mm in diameter, due to the plastic deformations occurring in the material, the hardness of the extruded and drawn wire increased by 65% to $147 \pm 6 HV_{0.1}$.

o 65% do wartości 147 ± 6 HV_{0,1}. Na podstawie uzyskanych wyników badań wykazano wzrost wytrzymałości na rozciąganie drutu wyciskanego i przeciąganego o 63% w stosunku do drutu tylko wyciskanego. Powodem jest odkształcenie plastyczne wynikające z przeciągania drutu od średnicy 2,0 do 1,2 mm.

On the basis of the obtained test results, an increase in the tensile strength of the extruded and drawn wire by 63% in relation to the only extruded wire was demonstrated. The reason is the plastic deformation resulting from drawing the wire from the diameter of 2.0 to 1.2 mm.

Tab. 2. Twardość oraz wytrzymałość na rozciąganie drutu ze stopu AlMg7

Tab. 2. Hardness and tensile strength of AlMg7 alloy wire

Drut Wire	Twardość [HV_{0,1}] Hardness [HV_{0,1}]	Wytrzymałość na rozciąganie [MPa] Tensile strength [MPa]
po wyciskaniu after extrusion	96 ± 3	359 ± 21
po wyciskaniu i przeciąganiu after extrusion and drawing	147 ± 6	569 ± 18

4. PODSUMOWANIE

W ramach zrealizowanych prac badawczych wykazano możliwość stosowania metody KOBO do wytwarzania drutu ze stopu AlMg7. Wytworzono drut spawalniczy o wymaganym składzie chemicznym i właściwościach umożliwiającym zastosowanie go w zrobotyzowanym procesie spawania. Przeciąganie drutu od średnicy 2,0 mm do średnicy 1,2 mm ($\lambda = 3$) spowodowało wzrost twardości drutu o 65% (do 147 ± 6 HV_{0,1}) i wytrzymałości na rozciąganie o 63% (do 569 ± 18 MPa). Obserwacje mikroskopowe wypolerowanej powierzchni stopu AlMg7 ujawniły obecność wydzieleni Al₃Fe oraz wtrąceń tlenkowych.

PODZIĘKOWANIA

Badania zostały zrealizowane w ramach pracy własnej Instytutu Obróbki Plastycznej w Poznaniu BS .904.0019 pt. „Wytwarzanie drutu spawalniczego do spawania innowacyjnych kształtowników ze stopu aluminium o podwyższonej zawartości Mg za pomocą wyciskania KOBO”.

4. SUMMARY

As part of the conducted research work, the use of the KOBO method for the manufacturing AlMg7 alloy wire was demonstrated. A welding wire with the required chemical composition and properties allowing it to be used in a robotic welding process was manufactured. Wire drawing from a diameter of 2.0 mm to a diameter of 1.2 mm ($\lambda = 3$) caused an increase in the wire hardness by 65% (up to 147 ± 6 HV_{0,1}) and tensile strength by 63% (up to 569 ± 18 MPa). Microscopic observations of the polished surface of AlMg7 alloy revealed the presence of Al₃Fe precipitates and oxide inclusions.

ACKNOWLEDGEMENTS

The research was carried out as part of independent work of the Metal Forming Institute in Poznan BS .904.0019 titled “The production of welding wire for welding innovative shapes from an aluminum alloy with an increased Mg content by means of KOBO extrusion”.

LITERATURA

- [1] <http://www.esab.pl> (18.10.2017).
- [2] <http://www.lincolnelectric.pl> (18.10.2017).
- [3] Leśniak D., A. Rękas, W. Libura, J. Zasadziński. 2014. „Badania odkształcalności stopów aluminium serii 5xxx o wysokiej zawartości Mg w procesie pół-przemysłowego wyciskania”. *Obróbka Plastyczna Metali* 25 (3): 159–167.
- [4] Heyduk F., D. Garbiec. 2014. Właściwości połączeń spawanych profili ze stopów aluminium serii 5XXX i 6063 wykonanych metodą TIG. W *Prace XLII Szkoły Inżynierii Materiałowej*, 202–206. Kraków: Wydawnictwo Naukowe AKAPIT.
- [5] Bochniak W., K. Marszowski, A. Korbel. 2005. „Theoretical and practical aspects of the production of thin-walled tubes by the KOBO method”. *Journal of Materials Processing Technology* 169: 44–53.
- [6] Rozwalka J., G. Płaczek, D. Andrzejewski. 2017. „Wpływ procesu KOBO na właściwości stopu CuCr1Zr”. *Obróbka Plastyczna Metali* 28 (2): 107–122.
- [7] Pawłowska B., R. Śliwa. 2017. „Recykling wiórów aluminium metodą KOBO”. *Obróbka Plastyczna Metali* 28 (4): 301–316.
- [8] Zwolak M., R. Śliwa. 2017. „Fizyczne modelowanie plastycznego płynięcia w procesie wyciskania metodą KOBO z użyciem matryc o różnej geometrii”. *Obróbka Plastyczna Metali* 28 (4): 317–330.
- [9] Jaskowski M., K. Pieła, L. Błaż. 2014. „Structure and mechanical properties of AlMg4.5 and AlMg4.5Mn wires extruded by KoBo method”. *Archives of Metallurgy and Materials* 59 (2) 473–479.
- [10] Korbel A., W. Bochniak, P. Ostachowski. 2011. „Visco-plastic flow of metal in dynamic conditions of complex strain scheme”. *Metallurgical and Materials Transactions A* 42A: 2281–2897.
- [11] Bochniak W., A. Korbel, P. Ostachowski, M. Łagoda. 2018. „Plastic flow of metals under cyclic change of deformation path conditions”. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 18 (3): 679–686.
- [12] Wiewiórowska S. 2005. „Analiza struktury i składu fazowego drutu ze stopu BAg7 otrzymanego metodą KOBO”. *Hutnik – Wiadomości Hutnicze* 72 (2): 131–132.

REFERENCES

- [1] <http://www.esab.pl> (18.10.2017).
- [2] <http://www.lincolnelectric.pl> (18.10.2017).
- [3] Leśniak D., A. Rękas, W. Libura, J. Zasadziński. 2014. „Study of the deformability of 5xxx series aluminum alloys with high Mg content in a semi-industrial extrusion process”. *Obróbka Plastyczna Metali* 25 (3): 159–167.
- [4] Heyduk F., D. Garbiec. 2014. Właściwości połączeń spawanych profili ze stopów aluminium serii 5XXX i 6063 wykonanych metodą TIG. In *Prace XLII Szkoły Inżynierii Materiałowej*, 202–206. Kraków: Wydawnictwo Naukowe AKAPIT.
- [5] Bochniak W., K. Marszowski, A. Korbel. 2005. „Theoretical and practical aspects of the production of thin-walled tubes by the KOBO method”. *Journal of Materials Processing Technology* 169: 44–53.
- [6] Rozwalka J., G. Płaczek, D. Andrzejewski. 2017. „Influence of KOBO process on the properties of CuCr1Zr alloy”. *Obróbka Plastyczna Metali* 28 (2): 107–122.
- [7] Pawłowska B., R. Śliwa. 2017. „Recycling aluminum chips by KoBo method”. *Obróbka Plastyczna Metali* 28 (4): 301–316.
- [8] Zwolak M., R. Śliwa. 2017. „Physical modeling of plastic flow in the KOBO extrusion process using dies of different geometry”. *Obróbka Plastyczna Metali* 28 (4): 317–330.
- [9] Jaskowski M., K. Pieła, L. Błaż. 2014. „Structure and mechanical properties of AlMg4.5 and AlMg4.5Mn wires extruded by KoBo method”. *Archives of Metallurgy and Materials* 59 (2) 473–479.
- [10] Korbel A., W. Bochniak, P. Ostachowski. 2011. „Visco-plastic flow of metal in dynamic conditions of complex strain scheme”. *Metallurgical and Materials Transactions A* 42A: 2281–2897.
- [11] Bochniak W., A. Korbel, P. Ostachowski, M. Łagoda. 2018. „Plastic flow of metals under cyclic change of deformation path conditions”. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 18 (3): 679–686.
- [12] Wiewiórowska S. 2005. „Analiza struktury i składu fazowego drutu ze stopu BAg7 otrzymanego metodą KOBO”. *Hutnik – Wiadomości Hutnicze* 72 (2): 131–132.

