

Dr inż. Stanisław ZIÓŁKIEWICZ, mgr inż. Maria GĄSIORKIEWICZ,  
mgr inż. Patrycja WESOŁOWSKA, prof. dr hab. inż. Robert SZYNDLER  
Instytut Obróbki Plastycznej, Poznań  
e-mail: stziolk@inop.poznan.pl

# Wpływ metody przygotowania wsadu ze stopu AM60 na przebieg procesu kucia korbowodów i ich własności wytrzymałościowe

## *Effect of the method of preparing AM60 alloy preform on the course of the process of forging connecting-rods and their strength properties*

### Streszczenie

Artykuł przedstawia badania procesu odkształcania plastycznego odlewniczych stopów magnezu. W badaniach porównano wpływ metody przygotowania wsadu z wlewką na procesy kucia izotermicznego stopu AM60. Porównano odkuwki korbowodu kute z wsadu wytworzonego metodą KOBO, bazującej na zmiennej drodze odkształcenia, i z wsadem wytworzonym metodą tradycyjną. Badaniom poddano ocenę odkształcalności metalu w procesie kucia oraz własności wytrzymałościowe wytworzonych korbowodów.

### Abstract

*The article presents studies of the plastic strain process of cast magnesium alloys. Studies compared the effect of the method of preparing the preform from an ingot on processes of isothermal forging of the AM60 alloy. Connecting-rod forgings, forged from a preform made by means of the KOBO method, were compared on the basis of a variable strain path with a preform made using a conventional method. Studies included evaluation of metal deformability during the forging process and strength properties of produced connecting-rods.*

**Słowa kluczowe:** stopy magnezu, kucie izotermiczne, metoda KOBO

**Keywords:** magnesium alloys, isothermal forging, KOBO method

## 1. WSTĘP

W ostatnim dziesięcioleciu obserwuje się wzrost znaczenia stopów magnezu jako materiału konstrukcyjnego. Przewiduje się, że światowe zapotrzebowanie na nowe wyroby wytwarzane ze stopów magnezu systematycznie będzie wzrastać o ok. 15-20% rocznie [1].

Szczególne zainteresowanie związane z możliwością poprawy własności stopów odlewniczych z gatunków AM60, AZ91. Stopy te charakteryzują się niskimi własnościami plastycznymi szczególnie w niskich temperaturach. Jednakże stopy te można kształtować

## 1. INTRODUCTION

*Over the last decade, an increase in the significance of magnesium alloys as a construction material can be observed. It is predicted that the global demand for new products produced from magnesium alloys will be growing systematically by approx. 15-20% annually [1].*

*Special interest has been given to the possibility of improving the properties of AM60 and AZ91 grade casting alloys. These alloys are characterized by low plastic properties, particularly at low temperatures. Nonetheless, these alloys can be formed using hot metal*

metodami obróbki plastycznej na gorąco w zakresie temperatur od 250 do 350°C [2].

W Instytucie Obróbki Plastycznej w Poznaniu podjęto badania wpływu metody przeróbki plastycznej odlewanych gąsek ze stopu AZ31 i AM60 na ich właściwości plastyczne [3, 4]. Zastosowanie metody "KOBO" pozwoliło na odkształcanie plastyczne na zimno stopu AZ31 z dużym stopniem przerobu ( $\lambda = 16$ ) na wyrób o drobnoziarnistej, stabilnej strukturze. Wyniki badań plastometrycznych oraz zgniotu krytycznego wykazały, że pręty uzyskane po wyciskaniu metodą KOBO można kształtować już w temperaturze 175 °C.

W pracy [5] przedstawiono wpływ przygotowania wsadu metodą KOBO na proces kucia korbowodów w warunkach izotermicznych ze stopu magnezu AZ31. Potwierdzono, że możliwe jest prowadzenie kucia w temperaturze 175 °C oraz podniesienie własności wytrzymałościowych odkuwek. Wyniki badań przedstawione w niniejszym artykule stanowią kontynuację badań wpływu technologii przygotowania wsadu ze stopu AM60 metodą KOBO na poprawę plastyczności i wytrzymałości na przykładzie odkuwek korbowodów otrzymanych w procesie kucia.

## 2. BADANIA LABORATORYJNE

Badaniom poddano odkuwkę korbowodu za stopu AM60 (rys. 1) przeznaczony do silników spalinowych wykorzystywanych w ręcznych narzędziach (pilarki, kosiarki) podobnie jak w [5]. Proces kucia realizowano w narzędziach do kucia izotermicznego na prasie hydraulicznej PHDW-250 (rys. 2). Dla zapewnienia izotermicznych warunków procesu matryce wyposażono w elektryczny układ nagrzewu wraz z układem sterowania temperaturą w wykroju matrycowym.

Stop magnezu AM60 wyciśnięto wspólnie z wsadu o średnicy wyjściowej 40 mm na średnicę końcową 12 mm – stopień przerobu  $\lambda = 11,1$ , dwoma sposobami:

1. na zimno metodą KOBO przy zachowaniu stałej siły wyciskającej 95T regulowanej poprzez zmianę częstotliwości oscylacji matrycy w granicach 8-2H, i stałej prędkości suwaka 0,33 mm/s,

*forming methods in the temperature range from 250 to 350 °C [2].*

*Studies of the effect of the plastic working method applied to cast AZ31 and AM60 alloy ingot on their plasticity properties [3, 4]. The application of the "KOBO" method enabled cold forming of the AZ31 alloy with a large degree of processing ( $\lambda = 16$ ) applied to a product with a fine-grained, stable structure. The results of plastometric and critical strain tests showed that rods obtained after extrusion using the KOBO method can be formed at temperatures as low as 175 °C.*

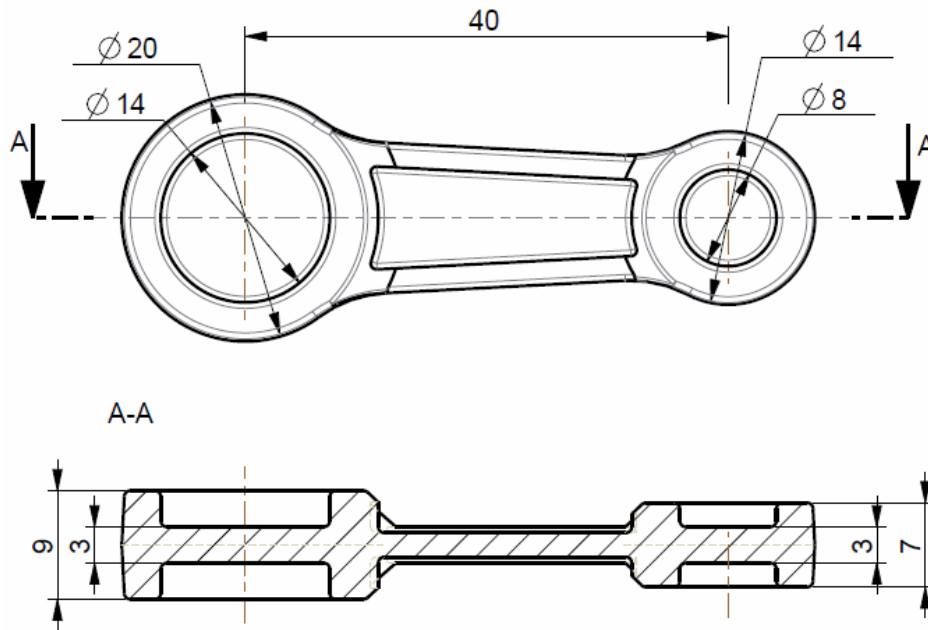
*In work [5], the effect of preparing a preform using the KOBO method on the process of forging AZ31 magnesium alloy connecting-rods under isothermal conditions. It was confirmed that it is possible to perform forging at a temperature of 175 °C and to improve the strength properties of forgings. The results of studies presented in this article constitute the continuation of studies on the influence of technologies for preparing an AM60 alloy using the KOBO method on the improvement of plasticity and strength using the example of connecting-rod forgings obtained from the forging process.*

## 2. LABORATORY TESTS

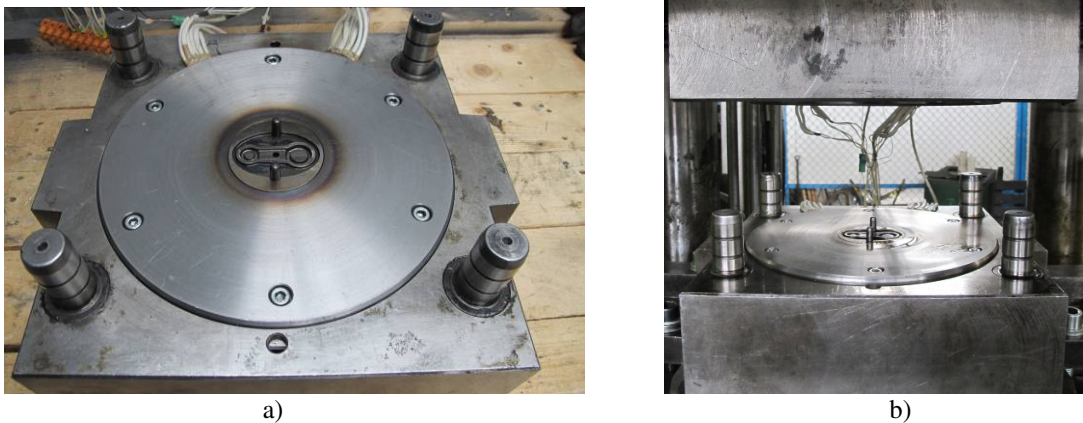
*An AM60 alloy connecting-rod forging (fig. 1) for use in combustion engines used in manual tools (sawing machines, mowers) was studied, similarly as in [5]. The forging process was realized in devices for isothermal forging on a PHDW-250 hydraulic press (fig. 2). To ensure isothermal process conditions, dies were equipped with an electrical heating system with a temperature control system in the die cavity.*

*The AM60 magnesium alloy was forward extruded from a preform with an initial diameter of 40 mm to a final diameter of 12 mm – degree of processing  $\lambda = 11.1$ , using two methods:*

1. *cold extrusion using the KOBO method with maintenance of a constant extruding force of 95T, regulated through changing the frequency of die oscillations within the range of 8-2H and a fixed slider rate of 0.33 mm/s,*



Rys. 1. Kształt i wymiary odkuwki korbrowodu przyjętej w badaniach  
 Fig. 1. Shape and dimensions of the connecting-rod forging accepted for studies



Rys. 2. Matryce do kucia korbrowodu zamocowane na stanowisku badawczym prasy PHDW-250  
 Fig. 2. Dies for forging a connecting-rod installed at the research station of the PHDW-250 press

2. metodą tradycyjną na gorąco z temperatury 250°C.

Pręty po procesie wyciskania były studzone na powietrzu.

Wsad, o długości 47 mm i średnicy 12 mm, pokryty smarem w postaci grafitu koloidalnego, był wstępnie nagrzewany w piecu laboratoryjnym do temperatur kucia: 150, 175, 200, 225 i 250 °C.

W tabelicy 1 zestawiono wyniki prób technologicznych kucia korbrowodu ze stopu AM60 z wsadu wyciśniętym metodą tradycyjną wraz z opisem powstałych wad.




2. hot conventional forging from the temperature of 250 °C.

After extrusion, rods were cooled in air.

The preform, with a length of 47 mm and diameter of 12 mm, coated with lubricant in the form of colloidal graphite, was heated in a laboratory furnace to the forging temperature of: 150, 175, 200, 225 and 250 °C.

Table 1 lists the results of technological tests of forging a connecting-rod from AM60 alloy from an preform extruded using a conventional method along with description of defects.

Tablica 1. Zestawienie odkuwek korbowodu kutego ze stopu AM60 ze wsadu wyciśniętego metodą tradycyjną  
 Table 1. List of connecting-rod forgings forged from AM60 alloy from a preform extruded using the conventional method

Odkuwka / Forging		Wady / Cons	
150 °C			<p>Na odkuwkach kutyh metodą tradycyjną w temp. 150 °C widoczne efekty niewielkiego nie wypełnienia matrycy oraz pęknięcia. Podczas okrawania rozwarstwienie materiału i oderwanie żebra.</p> <p><i>Slight incomplete filling of the die and cracks are visible on forgings forged using the conventional method at a temperature of 150°C. During trimming, delamination of the material and detachment of a rib occurred.</i></p>
175 °C			<p>Na odkuwkach kutyh metodą tradycyjną w temp. 175 °C można zaobserwować pęknięcia i rozwarstwienie na żebrze po okrawaniu.</p> <p><i>Cracks and delamination on a rib after trimming can be observed on forging forged using the conventional method at a temperature of 175 °C.</i></p>
200 °C			<p>Na odkuwkach kutyh metodą tradycyjną w temp. 200 °C widoczne są mikro i makropęknięcia.</p> <p><i>Micro and macro-cracks are visible on forgings forged using the conventional method at a temperature of 200°C.</i></p>
225 °C			<p>Na odkuwkach kutyh metodą tradycyjną w temp. 225 °C widoczne niewypełnienie wykoju matrycy i pęknięcia na powierzchni.</p> <p><i>Slight incomplete filling of the die and surface cracks are visible on forgings forged using the conventional method at a temperature of 225°C.</i></p>
250 °C			<p>Widoczne drobne pęknięcia na główce korbowodu.</p> <p><i>Small cracks are visible on the connecting-rod head.</i></p>

Odkuwki ze stopu AM60 charakteryzowały się znacznie większym oporem plastycznym niż w przypadku stopu AZ31 [5]. Kucie w zakresie temperatur 150-175°C spowoduje niewypełnienia grawury matrycy oraz powstanie wyraźnych pęknięć i rozwarstwienia materiału podczas kształtowania. Podniesienie temperatury kształtowania powyżej 200 °C prowadzi do lepszego wypełnienia wykroju matrycy, niemniej jednak wciąż na powierzchni odkuwek widoczne są ślady mikropęknięć. Najlepsze wypełnienie wykroju matrycy uzyskano wskutek kucia w temperaturze 250 °C jednak przy wystąpieniu pojedynczych mikropęknięciach na powierzchni odkuwki, mogących sugerować konieczność zastosowania smarów o wyższych własnościach poślizgowych np. na bazie molibdenu.

Z kolei, w tablicy 2 zestawiono wyniki prób technologicznych kucia korbowodu ze stopu AM60 z wsadu wytworzonego metodą KOBO oraz opis powstałych wad. Odkuwki korbowodu kształtowane z wsadu wytworzonego metodą KOBO charakteryzują się znacznie lepszym stopniem wypełnienia wykroju w stosunku do odkuwek kutyh ze wsadu wytworzonego metodą tradycyjną. W zakresie temperatur 150-200 °C nie obserwuje się niewypełnienia wykroju matryc, niemniej jednak widoczne są wady w postaci pęknięć w niższych temperaturach i mikropęknięć przy kształtowaniu w zakresie 175-200 °C. W przeciwieństwie do tego, odkuwki kształtowane w zakresie temperatur 225-250 °C nie wykazują żadnych wad powierzchniowych.

Dla oceny wpływu technologii przygotowania wsadu na własności końcowe wyrobów, odkuwki poddano badaniom wytrzymałości w statycznej próbie rozciągania. Próbkę mocowano na trzpieniach przechodzących przez ich otwory, rozciągano je z prędkością 3 mm/min w zakresie temperatur 19,8 °C÷20,2 °C. Badaniom poddano odkuwki bez widocznych wad powierzchniowych odkutej z prętów wytworzonych metodą KOBO w temperaturze 150 i 175 °C i porównawczo do odkuwki kutej w temperaturze 250 °C z pręta wytworzonego metodą tradycyjną. Na rys. 3 przedstawiono wykres próby rozciągania, a na rys. 4 widok przykładowych korbowodów po próbie.

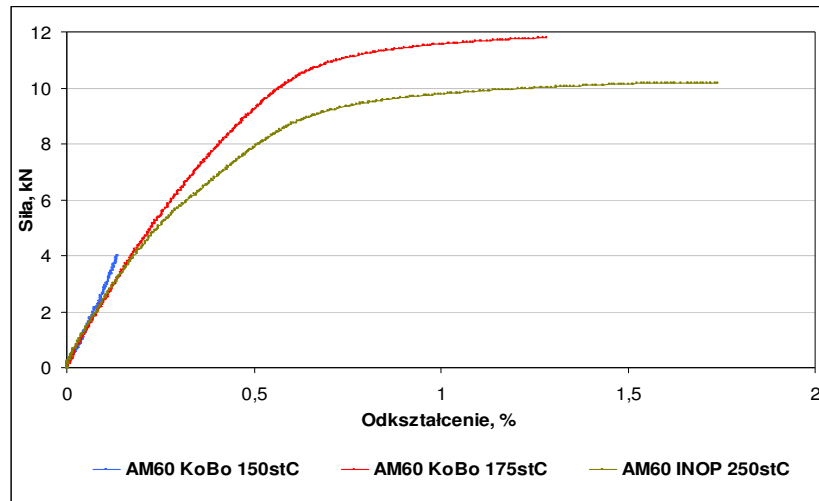
*AM60 alloy forgings were characterized by a significantly greater plastic resistance than in the case of the AZ31 alloy [5]. Forging in the temperature range of 150-175 °C will cause the die cavity to not be filled completely and the formation of cracks and delamination of the material during forming. Raising the forming temperature to above 200 °C leads to better filling of the die cavity, nevertheless, traces of micro-cracks will still be visible on the surfaces of forgings. The best filling of the die cavity was achieved as a result of forging at a temperature of 250 °C but with the presence of single micro-cracks on the surface of the forging, which may suggest a necessity for using lubricants with better slipping qualities, e.g. based on molybdenum.*

*In turn, table 2 lists the results of technological tests of forging of connecting-rods from AM60 alloy from a preform made using the KOBO method and descriptions of defects. Connecting-rod forgings formed from a preform made by means of the KOBO method are characterized by a significantly better degree of filling of the die cavity in comparison to forgings forged from a preform made by means of the conventional method. In the temperature range of 150-200 °C incomplete filling of die cavities is not observed, however defects in the form of cracks are visible at a lower temperatures and microcracks are visible after forming in the range of 175-200 °C. In contrast to these results, forgings formed in the temperature range of 225-250 °C do not exhibit any surface defects.*

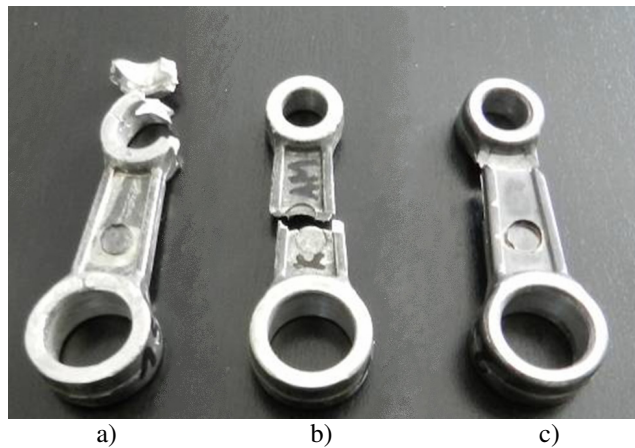
*To evaluate the influence of the preform preparation technology on the final properties of products, forgings were subjected to strength tests during a static tensile test. Samples were fastened on mandrels passing through their openings, and they were subjected to tension at a rate of 3 mm/min in the temperature range of 19,8 °C÷20,2 °C. Forgings without visible surface defects forged from rods produced using the KOBO method at the temperatures of 150 and 175 °C were studied and compared to a forging forged at a temperature of 250 °C from a rod produced using the conventional method. Fig. 3 shows a chart of the tensile test, and fig. 4 shows a view of exemplary connecting-rods after the test.*

Tablica 2. Zestawienie odkuwek korbowodu kutego ze stopu AM60 ze wsadu wyciśniętego metodą KOBO  
 Table 2. List of connecting-rod forgings forged from AM60 alloy from a preform extruded using the KOBO method

Odkuwka / Forging		Wady / Cons	
150 °C			<p>Na odkuwkach kutyh metodą KOBO w temp. 150 °C widoczne makropęknięcia.</p> <p><i>Macrocracks are visible on forgings forged using the KOBO method at a temperature of 150°C.</i></p>
175 °C			<p>Na odkuwkach kutyh metodą KOBO w temp. 175 °C widoczne mikropęknięcia na głowce korbowodu.</p> <p><i>Microcracks are visible on the connecting-rod head of forgings forged using the KOBO method at a temperature of 175°C.</i></p>
200 °C			<p>Na powierzchni części odkuwek kutyh metodą KOBO w temp. 200 °C widoczne mikropęknięcia.</p> <p><i>Microcracks are visible on the surfaces of parts of forgings forged using the KOBO method at a temperature of 200°C.</i></p>
225 °C		<p>Brak wad No defects</p>	
250 °C		<p>Brak wad No defects</p>	



Rys. 3. Wykres zależności siły od odkształcenia dla korbowodów wykonanych ze stopu AM60  
 Fig. 3. Chart of the dependency of force on strain for connecting-rods made from AM60 alloy



Rys. 4. Widok przykładowych korbowodów po statycznej próbie rozciągania:  
 a) AM60 KOBO 150 °C, b) AM60 KOBO 175 °C, c) AM60 INOP 250 °C  
 Fig. 4. View of exemplary connecting-rods after the static tensile test:  
 a) AM60 KOBO 150 °C, b) AM60 KOBO 175 °C, c) AM60 INOP 250 °C

Korbowody kształtowane w temperaturze 150 °C ze wsadu wytworzonego metodą KOBO uległy pęknięciu w głowce korbowodu już przy sile 4 kN. Tak niska wartość siły zrywania była przyczyną propagacji pęknięcia powstałego podczas kucia.

Korbowody kształtowane w temperaturze 175 °C ze wsadu wytworzonego metodą KOBO uległy zniszczeniu na łączniku przy średniej sile zrywającej 11,8 kN. Natomiast korbowody kute w temperaturze 250 °C ze wsadu wytworzonego metodą tradycyjną uległy zniszczeniu przy średniej sile 9,7 kN.

Wyniki badań pokrywają się z wcześniejszymi wynikami badań wykonanymi na stopie AZ31. W obu przypadkach można stwierdzić

*Connecting-rods formed at a temperature of 150 °C from a preform made using the KOBO method exhibited cracks on the connecting-rod head at a force of just 4 kN. Such a low breaking force value was the cause of crack propagation taking place during forging.*

*Connecting-rods formed at a temperature of 175 °C from a charge produced using the KOBO method were destroyed at the connector at an average breaking force of just 11.8 kN. However, connecting-rods forged at a temperature of 250 °C from a preform made using the conventional method were destroyed at an average force of 9.7 kN.*

*The results of studies overlap with earlier results of studies conducted on the AZ31 alloy.*

wzrost o ok. 10% wytrzymałości odkuwek kutyh z wsadu wytworzonego metoda KOBO w stosunku do odkuwek kutyh z wsadu tradycyjnego. Zwiększona wytrzymałość korbowodów kutyh ze wsadu wytworzonego metoda KOBO zarówno ze stopu AZ31 jak i AM60 charakteryzuje się nieznacznym plastycznym odkształceniem.

Na rysunku 5 pokazano zglądy odkuwek korbowodu kutyh ze wsadu wytworzonego metoda KOBO w temperaturze 150 i 175 °C w miejscach ich pęknięć. Na główce odkuwek kutyh w 150 °C (rys. 5a) widoczne są typowe pęknięcia i zakucia. Odkuwka kuta z temperatury 175 °C na bocznej powierzchni nie posiada wad zakucia (rys. 5b). Problemem jednak są pęknięcia odpowiadające tworzeniu się płaszczyn ścinania rozdzielających strefę mniejszej prędkości płynięcia od obszaru o zwiększonej intensywności płynięcia (rys. 5c).

Na rysunku 6 pokazano pęknięcia w obszarze jak na rysunku 5b, przy większym powiększeniu. Struktura pręta nabyta w procesie KOBO została zachowana, widać wyraźne pęknięcie przebiegające przez ziarna.

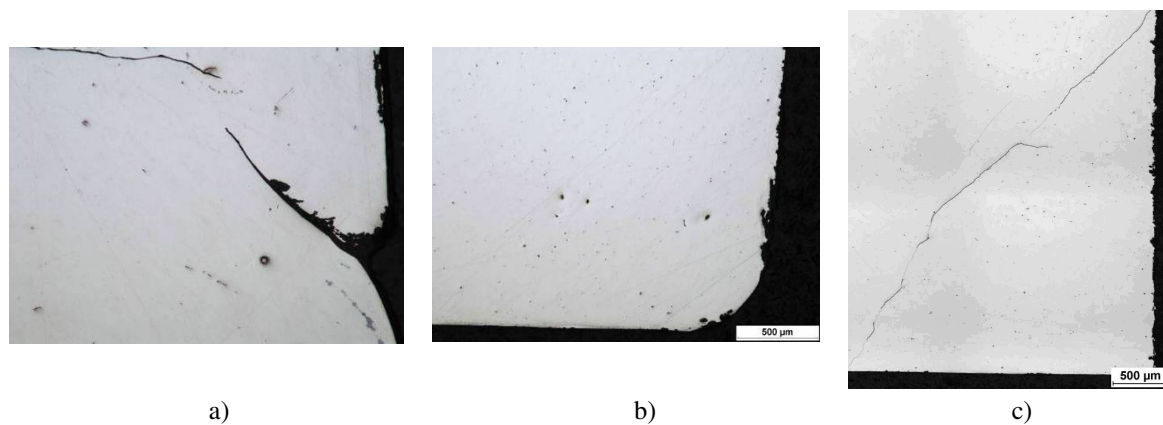
Rysunek 7 przedstawia strukturę odkuwki korbowodu kutej w temperaturze 200 °C ze wsadu wytworzonego metoda KOBO. Struktura wyjściowa wsadu została zachowana i nie obserwuje się skutków procesu rekrytalizacji.

*In both cases, an increase of the strength of forgings forged from a preform made using the KOBO method by approx. 10% can be noted in comparison to forgings forged from a preform made using the conventional method. The increased strength of connecting-rods forged from a preform made using the KOBO method from AZ31 as well as AM60 alloy is characterized by slight plastic deformation.*

*Figure 5 shows metallographic specimens of connecting-rod forgings forged from a preform made using the KOBO method at a temperature of 150 and 175 °C at points in which they cracked. Typical cracks and laps are visible on the head of forgings forged at 150 °C (fig. 5a). A forging forged at a temperature of 175 °C does not have lap defects on its lateral surface (fig. 5b). However, cracks corresponding to the formation of shearing planes dividing the zone of lesser plastic flow from the area with increased flow intensity are a problem (fig. 5c).*

*Figure 6 shows cracks in the area as in figure 5b, with a greater magnification. The rod structure achieved through the KOBO process was maintained, clear cracks running through grains are visible.*

*Figure 6 shows the structure of a connecting-rod forging forged at a temperature of 200 °C from a preform made using the KOBO method. The initial structure of the preform was maintained and no effects of the recrystallization process are observed.*

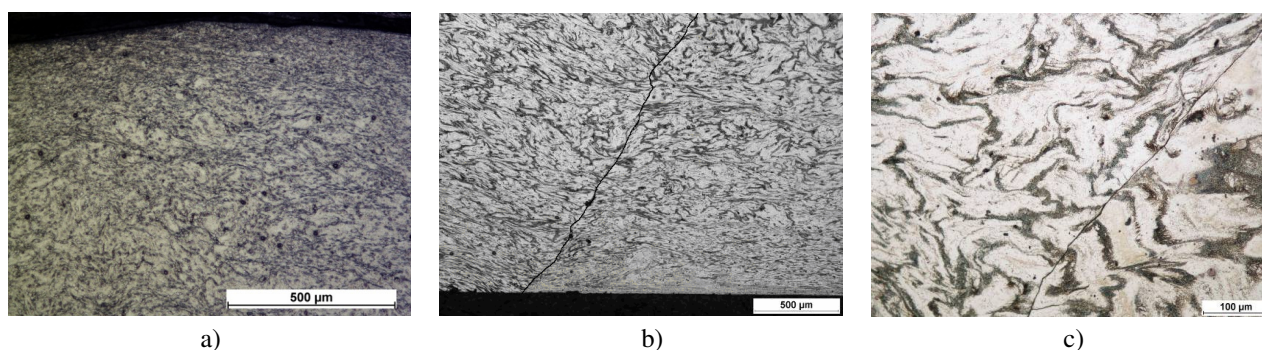


Rys. 5. Zglądy metallograficzne odkuwek korbowodu otrzymanych z wsadu wytworzonego metoda KOBO:

a) temperatura 150 °C obszar główki, b) temperatura 175 °C obszar główki, c) temperatura 175 °C obszar łącznika

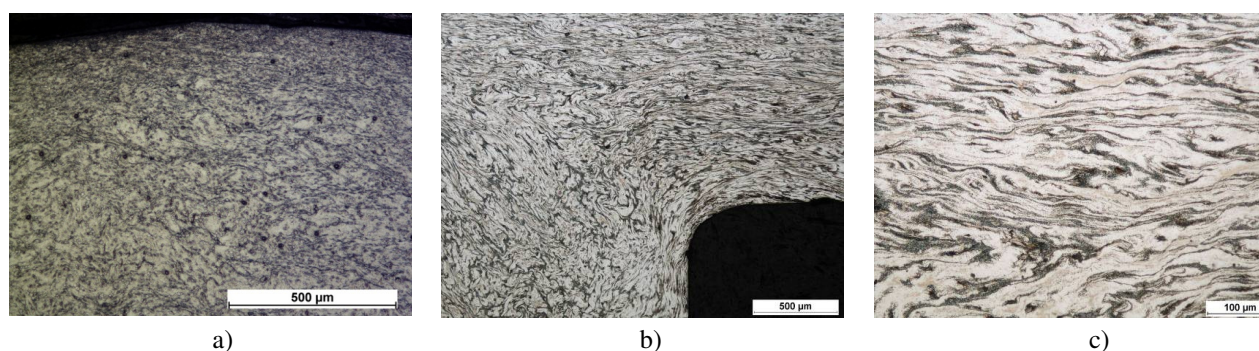
*Fig. 5. Metallographic specimens of connecting-rod forgings obtained from a preform made using the KOBO method: a) temperature of 150 °C head area, b) temperature of 175 °C head area, c) temperature of 175 °C connector area*





Rys. 6. Struktura wsadu oraz odkuwek korbowodów ze stopu AM60 kutyh w temperaturze 175 °C z prętów wytworzonych metoda KOBO: a) wsad, b, c) odkuwki korbowodów

Fig. 6. Structure of the preform and connecting-rod forgings made from AM60 alloy forged at the temperature of 175 °C from rods produced using the KOBO method: a) preform, b, c) connecting-rod forgings



Rys. 7. Struktura wsadu oraz odkuwek korbowodów kutyh w temperaturze 200 °C ze stopu AM60 z prętów wytworzonych metodą KOBO: a) wsad, b, c) odkuwki korbowodów

Fig. 7. Structure of the preform and connecting-rod forgings made from AM60 alloy forged at the temperature of 200 °C from rods produced using the KOBO method: a) preform, b, c) connecting-rod forgings

### 3. WNIOSKI

Przedstawione wyniki badań wskazują, że wytwarzanie z wlewa wsadu do kucia korbowodów przez współbieżne wyciskanie metodą KOBO czyli, w warunkach cyklicznie zmiennej drogi odkształcenia, pozwala na podniesienie własności plastycznych tego odlewniczego stopu magnezu. W szczególności umożliwia wytwarzanie odkuwek, bez śladów mikropełnięć, przy stosowaniu stosunkowo niskich temperatur 200-225 °C. Zachowanie nie zrekrystalizowanej struktury, ukształtowanej w procesie KOBO pozwala na podniesienie własności wytrzymałościowych odkuwek w próbie rozciągania o ok. 10% w stosunku do tradycyjnych technologii kucia.

### 3. CONCLUSIONS

The presented results of studies indicate that production of a charge from an ingot for forging connecting-rods by means of concurrent extrusion using the KOBO method, that is, under conditions of a cyclically variable strain path, makes it possible to raise the plasticity properties of this casting magnesium alloy. In particular, it makes it possible to produce forgings without traces of micro-cracks, with the application of relatively low temperatures in the range of 200-225 °C. The preservation of a non-recrystallized structure, formed during the KOBO process, makes it possible to raise the strength properties of forgings during tensile tests by approx. 10% in comparison with conventional forging methods.

Zagwarantowanie wysokiej jakości odkuwek ze stopu odlewniczego AM60 otrzymanych w procesie kucia wymaga ścisłego przestrzegania reżimu technologicznego. Zbyt duży spadek temperatury wsadu wytworzonego metodą KOBO lub spadek temp. narzędzi jest przyczyną wystąpienia mikropęknięć na powierzchni odkuwek. Również źle dobrane parametry smarowania mogą doprowadzić do wad powierzchniowych w postaci mikropęknięć. Z badań wynika, że mikropęknięcia stanowią główną przyczynę obniżenia wytrzymałości odkuwek korbowodów.

*Badania realizowane w ramach projektu badawczego własnego finansowanego przez MNiSW Nr N N507 439938. Umowa nr 4399/B/T02/2010/38 pt.: "Niskotemperaturowe kształtowanie plastyczne wyrobów z trudno odkształcalnych stopów magnezu".*

*Guaranteeing the high quality of forgings made from AM60 casting alloy obtained during the forging process requires strict observance of the technological regime. An excessive drop in the temperature of the preform made using the KOBO method or a drop in tool temperature is the cause of the formation of microcracks on forging surfaces. Also, incorrectly selected lubrication parameters may lead to surface defects in the form of microcracks. It results from studies, that microcracks constitute the main reason for decrease of the strength of connecting-rod forgings.*

*Studies were realized within the framework of an own research project financed by MNiSW No. N N507 439938. Contract No. 4399/B/T02/2010/38 titled: "Low-temperature plastic forming of products made from hard-deformable magnesium alloys".*

## LITERATURA/REFERENCES

- [1] Ravi Kumar N.V., Blandin J.J., Desrayaud C., Montheillet F., Suéry M.: Grain refinement in AZ91 magnesium alloy during thermomechanical processing. *Materials Science and Engineering* 2003, 359.
- [2] Watanabe H., Mukai T., Ishikawa K., Mohri T., Mabuchi M., Higashi K.: Superplasticity of a particle-strengthened WE43 magnesium alloy. *Materials Transactions* 2001, 42(1), 157-162.
- [3] Ziólkiewicz S., Gąsiorkiewicz M., Wesołowska P., Szczepanik S., Szyndler R.: Wpływ obróbki KOBO na właściwości plastyczne stopu magnezu AZ31. *Obróbka Plastyczna Metali* 2012 vol. XXIII nr 2 s. 57-67.
- [4] Ziólkiewicz S., Gąsiorkiewicz M., Wesołowska P., Szczepanik S., Szyndler R.: Wpływ obróbki KOBO na właściwości plastyczne stopu magnezu AM60. *Obróbka Plastyczna Metali* 2012 vol. XXIII nr 3 s. 149-158.
- [5] Ziólkiewicz S., Gąsiorkiewicz M., Wesołowska P., Szczepanik S., Szyndler S.: Wpływ metody przygotowania wsadu ze stopu AZ31 na proces kucia korbowodów, *Obróbka Plastyczna Metali* 2012 vol. XXIII nr 4 s. 197-206.