

Dr inż. Juliusz SENDERSKI, dr inż. Bartłomiej PŁONKA,
dr inż. Andrzej KŁYSZEWSKI, mgr inż. Tomasz STUCZYŃSKI
Instytut Metali Nieżelaznych, Oddział Metali Lekkich, Skawina

Kucie matrycowe stopów aluminium serii 2XXX, 4XXX przy zastosowaniu materiału wsadowego w różnej postaci

Die forging of aluminium alloys from series 2XXX and 4XXX using different types of stock material

Streszczenie

Przedstawiono obecne tendencje w zakresie wykorzystywania w procesie kucia matrycowego przygotówek ze stopów Al wytwarzanych różnymi metodami. Zamieszczono wyniki badań wytwarzania odkuwek matrycowych przy zastosowaniu wlewków odlewanych systemem półciągłym w krystalizatorze HOT-TOP ze stopu EN AW-4032 i EN AW-2618A jak również wlewków o strukturze rheocast ze stopu EN AB 42100. W celu uzyskania struktury rheocast wlewki były mieszane mechanicznie i magneto hydrodynamicznie (MHD). Zaprezentowano również wyniki z prób kucia materiałów wytwarzanych z proszków stopów metodą konsolidacji plastycznej na gorąco na przykładzie stopów AlSi26Ni8 i AlSi26Ni6Fe2. Wykonane przykładowe odkuwki tłoków poddano ocenie struktury oraz właściwości mechanicznych. Opisano również najnowsze kierunki badań związane z wykorzystaniem do kucia matrycowego wlewków kształtowych.

Abstract

Recent trends in the application of aluminium alloy stock fabricated by different methods in the process of die forging were presented. The results of the studies on fabrication of die forgings from billets cast in the EN AW-4032 and EN AW-2618A alloys by semi-continuous process in a HOT-TOP mould were quoted and compared with the results obtained on ingots of a rheocast structure made from the EN AB 42100 alloy. To obtain a rheocast structure, the ingots were subjected to mechanical stirring and to magnetohydrodynamic (MHD) stirring. The results of the trial forging of the stock prepared from alloy powders by the method of hot plastic consolidation were also presented, taking as an example the AlSi26Ni8 and AlSi26Ni6Fe2 alloys. The fabricated pilot forgings of pistons were next examined for their structure and mechanical properties. Recent trends in the research on application of shaped ingots in die forging have been described as well..

Słowa kluczowe: stopy Al, kucie matrycowe, rheocast, metalurgia proszków

Key words: Al alloys, die forging, rheocast, powder metallurgy

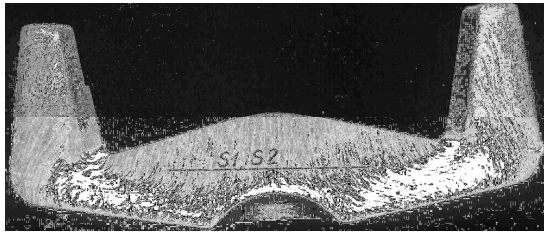
1. WPROWADZENIE

Do kucia matrycowego odkuwek ze stopów Al powszechnie stosuje się materiały wyjściowe w postaci prętów wyciskanych, walcowanych blach i płyt. Od szeregu lat w IMN OML Skawina prowadzi się prace badawczo-rozwojowe nad zastosowaniem procesu kucia matrycowego odkuwek z wlewków odlewanych systemem pionowym półciągłym

i poziomym ciągłym jako materiałów wyjściowych do kucia.

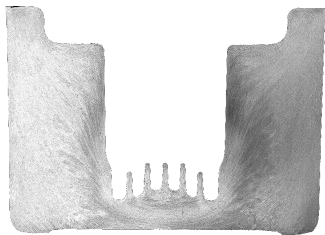
Zastosowanie wlewków do kucia matrycowego obniża koszty produkcji odkuwek o 15-20% w stosunku do prętów wyciskanych. Właściwości mechaniczne odkuwek po obróbce cieplnej w obu stosowanych technologiach są porównywalne a w wielu przypadkach korzystniejsze z uwagi na ich niską anizotropię. Występują natomiast różnice w strukturze odkuwki wykonanej z wlewka w porównaniu z zasto-

sowaniem do kucia wyciskanego pręta. Odkuwka wykonana z pręta wyciskanego może dziedziczyć w niektórych przekrojach strukturę włóknistą pręta, którą przecina kontur odkuwki (rys. 1). Jest to niekorzystne z punktu widzenia rozkładu właściwości mechanicznych w wyrobie. Zastosowanie wlewka do kucia matrycowego zapobiega temu niekorzystnemu zjawisku (rys. 2).



Rys. 1. Makrostruktura odkuwki wykonanej z pręta wyciskanego

Fig 1. Macrostructure of forging made from the extruded bar

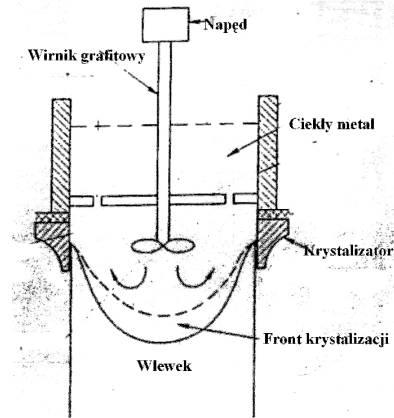


Rys. 2. Makrostruktura odkuwki wykonanej z wlewka

Fig 2. Macrostructure of forging made from the billet

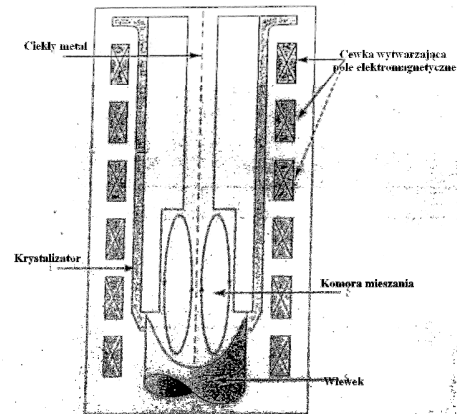
Coraz powszechniejsze jest stosowanie do procesu kucia matrycowego wlewków o strukturze rheocast. Wlewki te mają zastosowanie w procesie thixoforgingu. Proces kucia matrycowego realizowany jest w jednej operacji z udziałem fazy ciekłej we wlewku nagrzewanym indukcyjnie. Wlewki takie charakteryzuje się bezdendrytyczną, globularną strukturą.

Najbardziej rozpowszechnionymi metodami wytwarzania wlewków odlewanych systemem półciągnym o strukturze bezdendrytycznej są metody polegające na mieszaniu krzepnącego metalu w obrębie frontu krzepnięcia. Mieszanie takie można zrealizować mechanicznie lub magneto hydrodynamiczne (MHD) przez wykorzystanie sił pola elektromagnetycznego (rys. 3, 4).



Rys. 3. Schemat krystalizatora HOT-TOP z mieszadłem mechanicznym

Fig. 3. Schematic representation of a HOT-TOP mould with mechanical stirring system



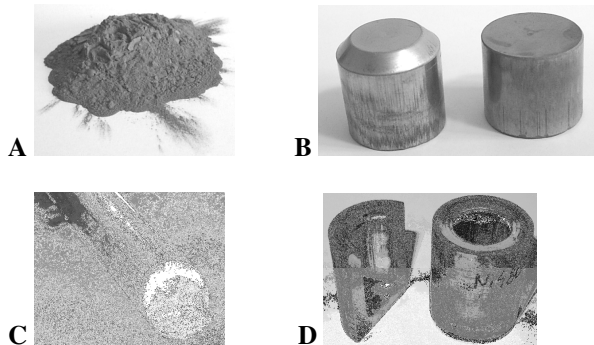
Rys. 4. Schemat elektro-magnetycznego mieszania

Fig. 4. Schematic representation of an electro-magnetic stirring system

Aktualnie prowadzone są prace nad technologiami kucia matrycowego stopów Al przy zastosowaniu skonsolidowanych na gorąco, np. w procesie współbieżnego wyciskania materiałów proszkowych. Głównie dotyczy to odkuwek ze stopów Al, kutych z materiałów wyjściowych o specyficznym składzie chemicznym, których nie daje się uzyskać tradycyjnymi metodami metalurgicznymi. Dotyczy to na przykład nadeutektycznych stopów Al-Si z dodatkami Ni, Fe oraz stopów o strukturze ultradroboziarnistej serii 2XXX i 7XXX z dodatkami np. Zr.

Na rysunku 5 przedstawiono schemat procesu wytwarzania wyrobów przy zastosowaniu materiałów proszkowych. Proszki stopów (rys. 5A) wytwarzane np. w procesie atomizacji są wstępnie zagęszczane na zimno (rys. 5B) a następnie formowane we „wlewki” i wyciskane na gorąco na współbieżnej prasie w po-

staci prętów, które są materiałem wyjściowym (rys. 5C) do procesu kucia matrycowego (rys. 5D).



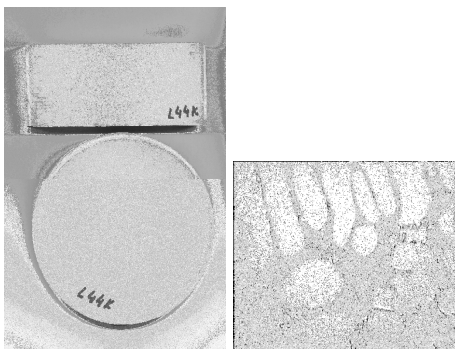
Rys. 5. Kolejne etapy konsolidacji proszku (A-B) i wyrób kuty matrycowo (D)

Fig. 5. Successive stages of powder consolidation (A-B) and a die forged product (D)

2. BADANIA

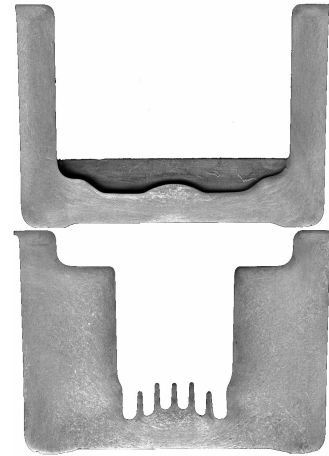
2.1. Stopy EN AW-4032 i EN AW-2618A

Przykładem zastosowania wlewków odlanych systemem półciąglym do kucia matrycowego jest technologia kucia odlewki tłoków ze stopów EN AW-4032 i EN AW-2618A. Na rysunku 6 przedstawiono makro i mikrostrukturę wlewka do kucia a na rysunkach 7 i 8 odlewki tłoków ze stopu EN AW-4032.



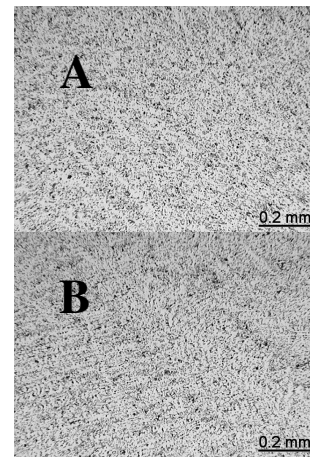
Rys. 6. Makro- i mikrostruktura wlewka ze stopu EN AW-4032

Fig. 6. Macro- and microstructure of billet made from the EN AW-4032 alloy



Rys. 7. Makrostruktura odlewki tłoka ze stopu EN AW-4032

Fig. 7. Macrostructure of piston forged from the EN AW-4032 alloy



Rys. 8. Mikrostruktura ścianki tłoka (A) i denka tłoka (B) ze stopu EN AW-4032

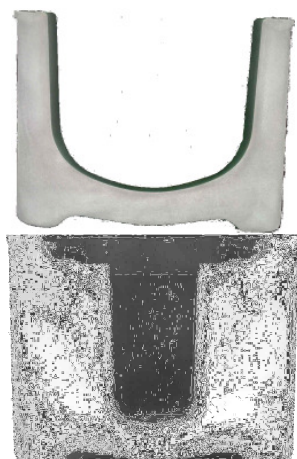
Fig. 8. Microstructure in wall (A) and web (B) of piston made from the EN AW-4032 alloy

Na rysunku 9 przedstawiono makrostrukturę wlewka do kucia, a na rysunkach 10 i 11 makrostrukturę i mikrostrukturę odlewki tłoków ze stopu EN AW-2618A.



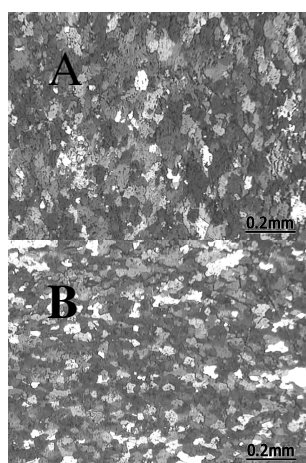
Rys. 9. Makrostruktura wlewka ze stopu EN AW-2618A

Fig. 9. Macrostructure of billet made from the EN AW-2618A alloy



Rys. 10. Makrostruktura odkuwki tłoka ze stopu EN AW-2618A

Fig. 10. Macrostructure of piston forged from the EN AW-2618A alloy



Rys. 11. Mikrostruktura ścianki tłoka (A) i denka tłoka (B) ze stopu EN AW-2618A

Fig. 11. Microstructure in wall (A) and web (B) of piston made from the EN AW-2618A alloy

Mikrostruktura denka tłoka stopu EN AW-4032 (rys. 8B) wykazuje częściową strukturę dendrytyczną. Dla stopu EN AW-2618A na uzyskanych makro i mikrostrukturach obserwowano drobne ziarno równomiernie rozłożone w całym przekroju tłoka.

Wyniki badań właściwości mechanicznych odkuwek ze stopów EN AW-4032 i EN AW-2618A przedstawiono w tabelicy 1.

Osiągnięte wyniki przemysłowych prób kucia matrycowego odkuwek ze stopów EN AW-4032 i EN AW-2618A przy zastosowaniu wlewków odlewanych systemem półciąglym wykazały dobrą podatność plastyczną takiego materiału wyjściowego do kucia.

Właściwości mechaniczne (tabela 1) uzyskane dla odkuwek we wszystkich próbach znacznie przewyższały minimalne wymagania. Stwierdzono także niską anizotropię tych właściwości dla ścianki i denka.

2.2. Stop EN AB-42100

W kolejnych próbach kucia matrycowego tłoków wykorzystano stop EN AB-42100 (tabela 2) odlewany w systemie półciąglym do krystalizatorów „HOT-TOP” przy zastosowaniu mieszania mechanicznego w obrębie frontu krzepnięcia oraz do krystalizatora z mieszanym MHD.

Zabiegi te miały na celu zapobieganiu rozrostu dendrytów na froncie krzepnięcia i uzyskanie struktury globularnej - rheocast (rys 12). W tabelicy 3 zamieszczono wyniki prób kucia matrycowego.

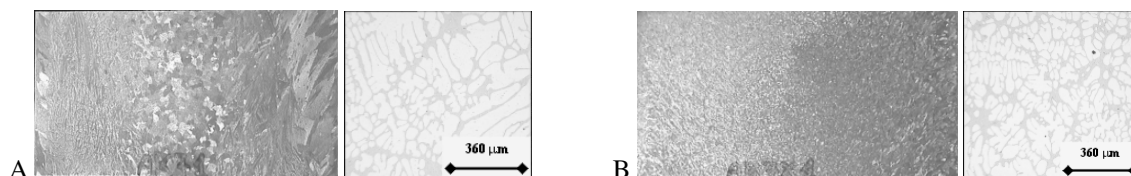
Tablica 1. Właściwości mechaniczne tłoków ze stopów EN AW-4032 i EN AW-2618A
Table 1. Mechanical properties of pistons made from the EN AW-4032 and EN AW-2618A alloys

Stop	Lokalizacja próbek	Parametry obróbki cieplnej	Właściwości mechaniczne		
			$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A_5 [%]
EN AW-4032	Ścianka	Przesycanie 520°C Starzenie 180°C/12 h	343	397	4,5
	Denko		340	390	7
EN AW-2618A	Ścianka	Przesycanie 530°C Starzenie 200°C/20 h	381	430	8,2
	Denko		350	424	9,7

* Wymagane właściwości mechaniczne według norm – EN AW-4032 ścianka – $R_m > 300$ MPa i $A_5 \geq 3\%$, denko – $R_m > 280$ i $A_5 > 2,5\%$, EN AW-2618A – $R_{p0,2} = 290$ MPa, $R_m = 380$ MPa, $A_5 = 6\%$.

Tablica 2. Skład chemiczny stopu 42100
 Table 2. Chemical composition of the 42100 alloy

Stop	Fe	Si	Cu	Zn	Ti	Mn	Mg	Ni	Sn
42100	0,15	7,45	0,002	0,01	0,023	0,003	0,34	0,001	0,001



Rys. 12. Makro- i mikrostruktura wlewka ze stopu 42100, **A** - bez mieszania, **B** – z mieszaniem mechanicznym
 Fig 12. Macro- and microstructure of billet made from the 42100 alloy, **A** - without stirring, **B** – with mechanical stirring

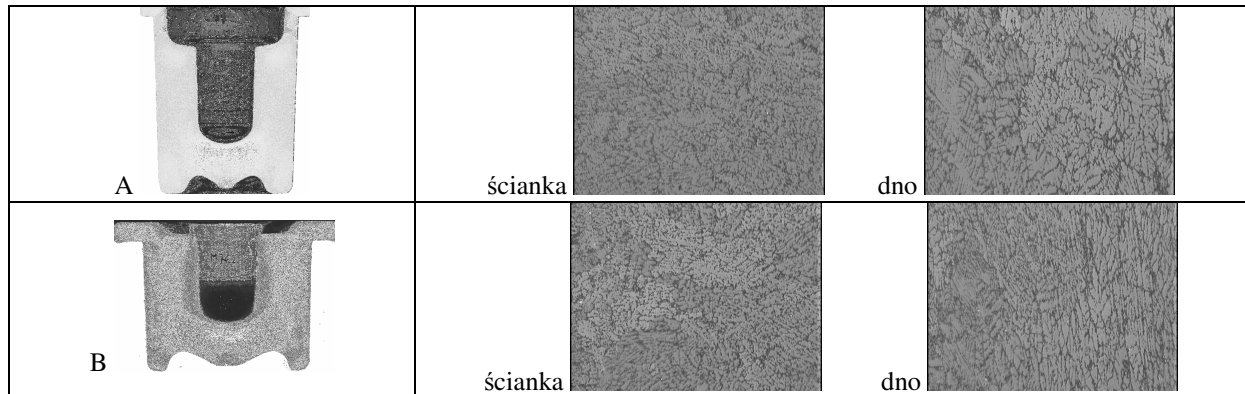
Tablica 3. Wyniki prób kucia matrycowego tłoków ze stopu 42100
 Table 3. The results of trial die forging of pistons from the 42100 alloy

Stop	Sposób odlewania	Temp. kucia	Wynik prób	Temp. likwidus i solidus [°C]
42100	MHD	480°C	Pozytywny	Likwidus 615 Solidus 555
		520°C		
		565°C		
	Bez mieszania	480°C		
	z mieszaniem mech.	480°C		
		520°C		
540°C				

Tablica 4. Wyniki badań właściwości mechanicznych odkuwek
 Table 4. The results of mechanical tests made on die forgings

STOP	Sposób odlewania	Temperatura kucia [°C]	R _{p0.2} * [MPa]		R _m * [MPa]		A* [%]	
			ścianka	denko	ścianka	denko	ścianka	denko
EN AB-42100	MHD	470 – 480	250	252	320	314	9.4	13.4
	Bez mieszania	470 – 480	264	267	335	330	12.4	13.1
	Miesz. mech	470 – 480	264	264	328	340	9.7	13.8
	MHD	520	250	248	306	311	8	13.6
	MHD	565	260	252	317	313	6.5	13.2
	Miesz. mech.	520	268	260	338	330	9	15
	Miesz. mech.	540	285	260	339	322	6.8	13.6

* wartość średnia z trzech próbek.



Rys. 13. Makro- i mikrostruktury tłoków ze stopu 42100. **A** - odlewane bez mieszania temp. kucia 480°C, **B** - odlewane z mieszaniem MHD, temp. kucia 565°C

Fig. 13. Macro- and microstructures of pistons made from the 42100 alloy. **A** - cast without stirring, forged at 480 °C, **B** - cast with MHD stirring, forged at 565 °C

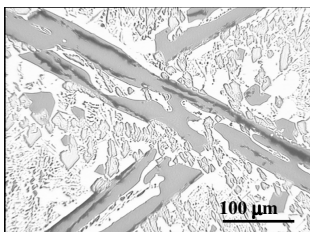
Właściwości mechaniczne określono po obróbce cieplnej (przesycanie 540°C/10h + chłodzenie w wodzie i sztuczne starzenie 160°C/6h) zarówno na próbkach wyciętych ze ścianki i denka tłoka (tablica 4).

Makro i mikrostruktury odkuwek przedstawiono na rysunku 13.

Zastosowanie do kucia matrycowego wlewków o strukturze rheocast wykazało szerokie możliwości kucia w temperaturach wyższych od standardowych, co pozwoliło zmniejszyć ilość operacji.

2.3. Stopy $AlSi26Ni8$ $AlSi26Ni6Fe2$

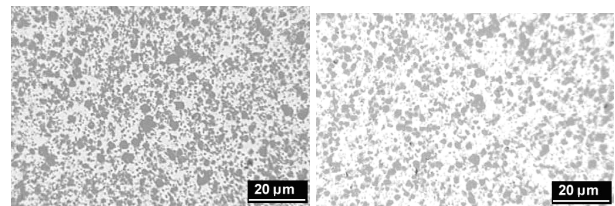
Stopy $AlSi26Ni8$ $AlSi26Ni6Fe2$ o tak dużej zawartości krzemu wytwarzane tradycyjnymi metodami odlewniczymi wykazują gruboziarnistą strukturę z pierwotnymi kryształami krzemu (rys. 14), co prowadzi do znacznego obniżenia ich właściwości mechanicznych.



Rys. 14. Mikrostruktura gąski ze stopu $AlSi26Ni6Fe2$

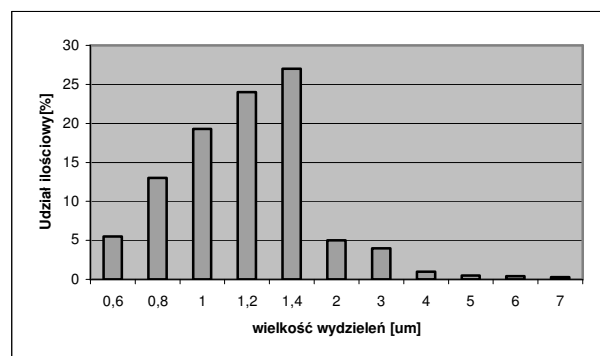
Fig. 14. Microstructure of ingot made from the $AlSi26Ni6Fe2$ alloy

Z tego względu do badań przygotowano materiały wyjściowe wykonane metodą konsolidacji plastycznej na gorąco w procesie wyciskania współbieżnego proszków uzyskując bardzo rozdrobioną strukturę (rys. 15, 16).



Rys. 15. Mikrostruktury pręta ϕ 40 mm wyciskanego z proszku stopu $AlSi26Ni6Fe2$

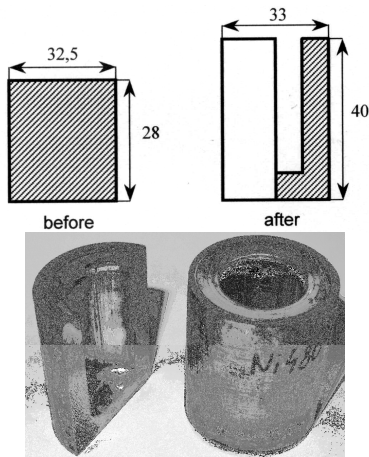
Fig. 15. Microstructures of ϕ 40 mm bar extruded from the $AlSi26Ni6Fe2$ alloy powder



Rys. 16. Histogram rozkładu wielkości wydzieli Si dla prętów z proszku stopu $AlSi26Ni6Fe2$

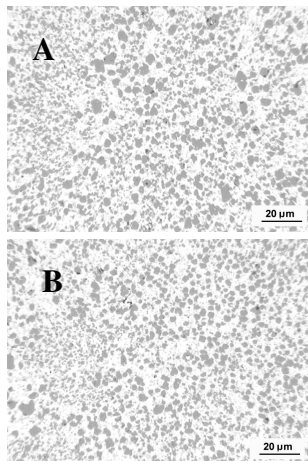
Fig. 16. Histogram of the silicon precipitates size distribution in bars made from the $AlSi26Ni6Fe2$ alloy powder

Pręty ϕ 40 mm wyciskano na przemysłowej prasie 12,5 MN, z których następnie wykonano próbki, które poddano przeciwbieżnemu prasowaniu na prasie hydraulicznej 0,6 MN. Proces przeciwbieżnego prasowania prowadzono w temperaturze 480°C dla różnych prędkości odkształcania. Na rysunku 17 przedstawiono rysunek próbki przed i po przeciwbieżnym prasowaniu oraz wyroby po wyciskaniu, a na rysunkach 18, 19 ich mikrostruktury z różnych miejsc.



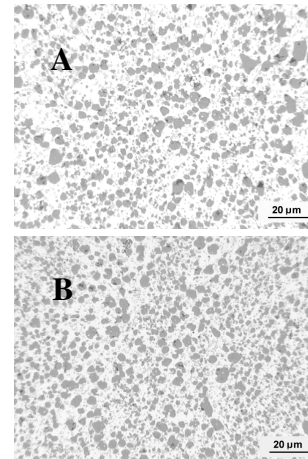
Rys. 17. Rysunek oraz wyroby z proszku AlSi26Ni8 i AlSi26Ni6Fe2 po wyciskaniu

Fig. 17. Schematic representation and samples forged from the AlSi26Ni8 and AlSi26Ni6Fe2 alloy powders



Rys. 18. Mikrostruktura ścianki (A) i denka (B) wypraski z proszku stopu AlSi26Ni8

Fig. 18. Microstructure in wall (A) and crown (B) of piston pressed from the AlSi26Ni8 alloy powder



Rys. 19. Mikrostruktura ścianki (A) i denka (B) wypraski z proszku stopu AlSi26Ni6Fe2

Fig. 19. Microstructure in wall (A) and crown (B) of piston pressed from the AlSi26Ni6Fe2 alloy powder

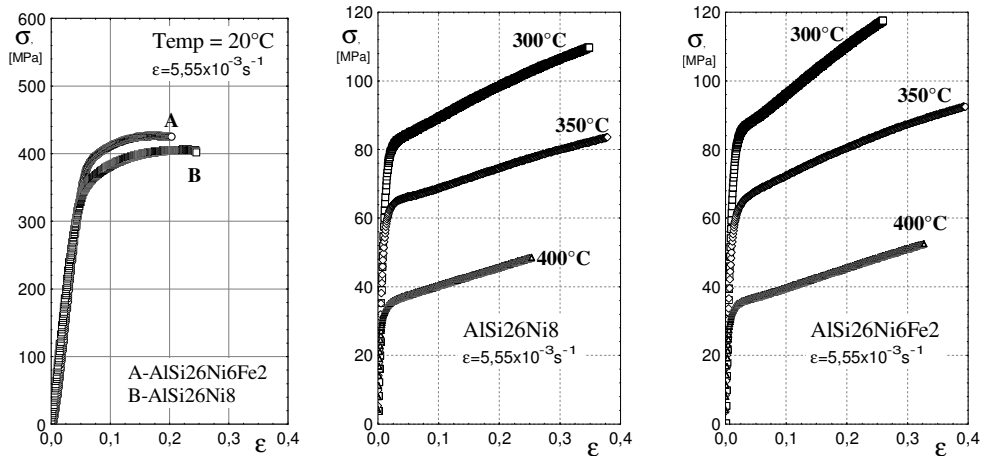
W tabelicy 5 zamieszczono wyniki pomiarów twardości Brinella oraz właściwości mechaniczne prętów wyciskanych ze stopów AlSi26Ni8 i AlSi26Ni6Fe2 (z próby rozciągania). Na rys. 20 zamieszczono charakterystyki mechaniczne odkształcania próbek w układzie σ - ϵ w próbie ściskania, dla badanych stopów konsolidowanych z proszków stopów AlSi26Ni8 i AlSi26Ni6Fe2, w temperaturach 20-400°C z prędkością odkształcania 10^{-3}s^{-1} .

Tabela 5. Twardość i właściwości mechaniczne (z próby rozciągania stopów AlSi26Ni8 i AlSi26Ni6Fe2

Table 5. Hardness and mechanical properties (from tensile test) obtained for AlSi26Ni8 and AlSi26Ni6Fe2 alloys

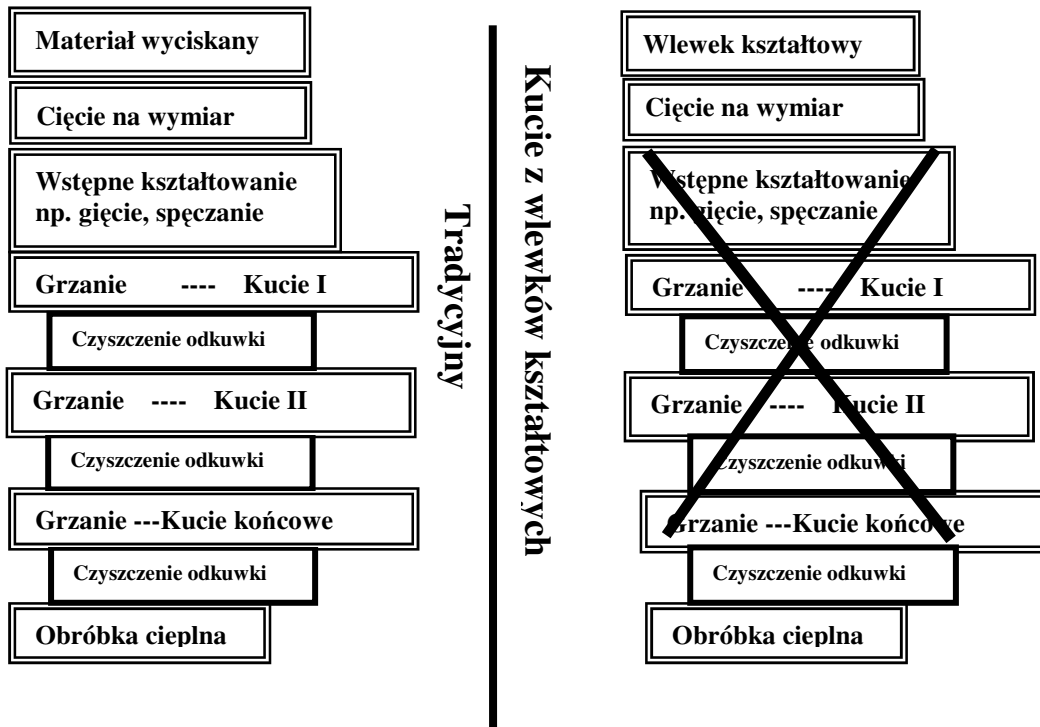
Alloy	HB	R _{P0,2} [MPa]	R _m [MPa]	A [%]
AlSi26Ni8	138	216	264	---
AlSi26Ni6Fe2	161	241	237	---

Jak widać z przedstawionych wyników w tabelicy 5, materiały te w próbie rozciągania wykazują niskie właściwości mechaniczne przy praktycznie zerowej plastyczności. Natomiast interesujące właściwości mechaniczne osiągnięte są w próbie ściskania w podwyższonych temperaturach (rys. 20), co kwalifikuje te materiały do zastosowania ich na tłoki silników spalinowych.



Rys. 20. Charakterystyki mechaniczne odkształcania σ - ϵ (z próby ściskania) próbek ze stopów AlSi26Ni8, AlSi26Ni6Fe2 w różnych temperaturach

Fig. 20. Mechanical characteristics of σ - ϵ strain (from compression test) obtained on samples of AlSi26Ni8 and AlSi26Ni6Fe2 alloys at different temperatures



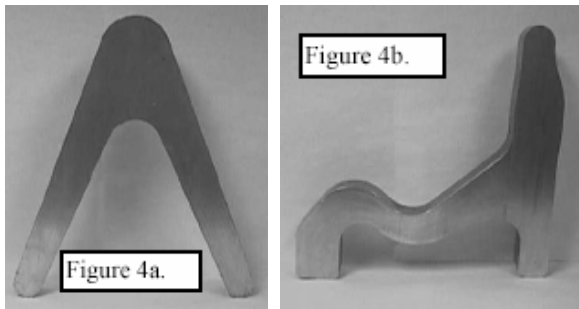
Rys. 21. Etapy kucia matrycowego przy zastosowaniu różnych materiałów wsadowych

Fig. 21. Stages of die forging using different stock materials

2.4. Kucie matrycowe odkuwek z wlewków kształtowanych ze stopu 6061 - TG

Zmniejszenie ilości operacji, oszczędność energii oraz możliwość wytwarzania odkuwek o skomplikowanych kształtach uzyskać również można poprzez zastosowanie do kucia matrycowego odlewanych wlewków kształtowych (technologia opracowana przez firmę Wagstaff Inc. i stosowana w koncernach: Alcan - odlewanie wlewków i Alcoa - kucie matry-

cowe). Na schemacie (rys. 21) przedstawiono etapy tradycyjnego procesu kucia matrycowego stosując jako materiał wsadowy przerobiony plastycznie materiał np. pręty wyciskane oraz przy wykorzystaniu wlewków kształtowych odlewanych np. w systemie półciągotym. Na rysunku 22 przedstawiono przykłady odlewanych w Alcoa Automotive Castings wlewków kształtowych, a na rys. 23 widok linii odlewniczej.



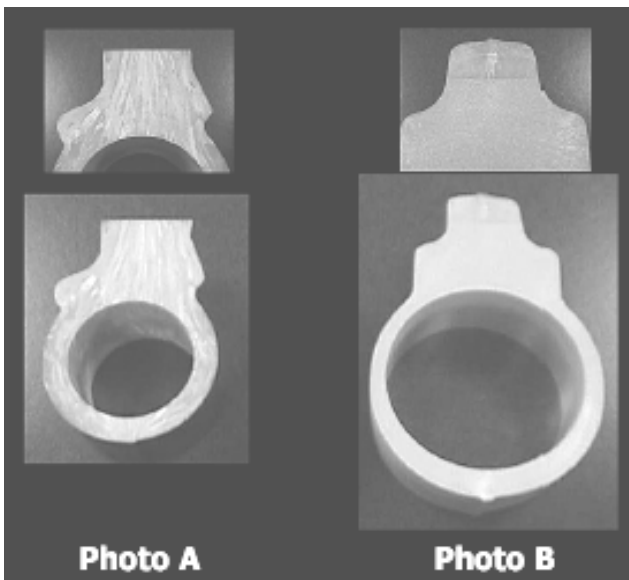
Rys. 22. Przykładowe kształty odlewane jako materiał wyjściowy do kucia

Fig. 22. Examples of cast shapes used as a stock for forging



Rys. 23. Linia odlewnicza wlewków kształtowych długości 6 m (Wagstaff Inc.)

Fig. 23. Casting facility for 6 meters long shaped billets (Courtesy of Wagstaff Inc.)



Rys. 24. Porównanie makrostruktury odkuwki kutej z pręta wyciskanego (A) i odkuwki z wlewka kształtowego (B)

A – kute w tradycyjnym schemacie, B - kute w jednej operacji (raz nagrzewane)

Fig. 24. Macrostructure in forging made from the extruded bar vs macrostructure in forging made from the cast shaped billet

Wykorzystanie jako materiału wyjściowego do kucia matrycowego wlewków kształtowych pozwala na zmniejszenie liczby operacji nagrzewania i kucia (rys. 21) co w konsekwencji prowadzi do uzyskania korzystniejszej mikro i mikrostruktury (rys. 24) i uzyskania wyższych właściwości mechanicznych (tablica 6).

Tablica 6. Właściwości mechaniczne kutech elementów ze stopu 6061-T6

Table 6. Mechanical properties of parts forged from the 6061-T6 alloy

Materiał wyjściowy	Właściwości mechaniczne		
	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	A ₅ [%]
Pręt wyciskany	277	312	15,5
Wlewek kształtowy	316	347	19

3. WNIOSKI

- Osiągnięte wyniki przemysłowych prób kucia matrycowego odkuwek ze stopów EN AW-4032 i EN AW-2618A przy zastosowaniu wlewków odlewanych systemem półciąglym ze stopów wykazały dobrą podatność plastyczną takiego materiału wyjściowego do kucia oraz jednorodną strukturę o wysokich quasiizotropowych właściwościach mechanicznych.
- Właściwości mechaniczne uzyskane dla odkuwek z wlewków odlewanych o strukturze rheocast kutech w temperaturach wyższych od standardowych (bez udziału fazy ciekłej) charakteryzują się wysokimi właściwościami mechanicznymi. Stwierdzono niską anizotropię właściwości mechanicznych ścianki i denka odkuwki tłoka.
- Wysoka podatność plastyczna wlewków o strukturze rheocast kutech tradycyjnie ale w temperaturach wyższych od standardowych stwarza możliwości zmniejszenia liczby operacji, wytwarzania odkuwek o skomplikowanych kształtach.
- Uzyskane na drodze atomizacji i konsolidacji plastycznej w procesie wyciskania współbieżnego na gorąco stopy AlSi26Ni8 i AlSi26Ni6Fe2 wykazują strukturę, która

przy tym składzie chemicznym jest nieosiągalna tradycyjnymi metodami zarówno metalurgią proszków, wyciskania prętów i kucia odkuwek.

5. Mikrostruktura prętów wyciskanych z proszków stopu AlSi26Ni8 i AlSi26Ni6Fe2 charakteryzuje się ultra-drobnoziarnistą strukturą z kilkumikronowymi wydzieleniami krzemowymi o równomiernej dyspersji.
6. Pozytywne wyniki laboratoryjnych prób prasowania świadczą o tym iż pręty wyciskane z proszków stopów AlSi26Ni8 i AlSi26Ni6Fe2 nadają się do dalszej obróbki plastycznej na gorąco przy parametrach nagrzewania 460-480°C i prędkości odkształcania $10^{-3} - 10^{-1} \text{ s}^{-1}$.
7. Uzyskane pozytywne wyniki badań nad zastosowaniem materiału wyjściowego ze stopów Al w różnej postaci do kucia matrycowego dają podstawę ekonomicznie uzasadnioną szerokiej aplikacji przemysłowej.

Prace finansowane były z VPR Unii Europejskiej projekt AluSiForm 6RD1-2000-25725 oraz przez Komitet Badań Naukowych w projekcie PBZ 15-15, Temat 4 „Nowe materiały i technologie na bazie metali lekkich szczególnie dla przemysłu motoryzacyjnego i transportowego”.

LITERATURA

- [1] ASM Specialty Handbook, Aluminum and Aluminum Alloys, ASM International 1993 r., s. 649-690.
- [2] J. Senderski, T. Stuczyński, A. Kłyszewski, B. Płonka “Influence of manufacturing conditions and of ingot structure on the mechanical properties and structure of die forgings”, International Conference – Aluminium in Transport 2003, Tomaszowice, 22-25 X 2003, s. 153-164.
- [3] T. Stuczyński, Z. Zamkotowicz, W. Wężyk, M. Lech-Grega, Sprawozdanie IMN nr 5697 „Nowe materiały i technologie na bazie metali lekkich szczególnie dla przemysłu motoryzacyjnego i transportowego”, zadanie 4.2 „Opracowanie technologii odlewania wlewków thixotropowych systemem półciąglym” (mat. niepublikowane).
- [4] J. Senderski, A. Kłyszewski, B. Płonka, W. Szymański, P. Dudek, PBZ-15-15, zadanie 4.3 Opracowanie technologii wytwarzania wyrobów metodą thixoforingu, pt. „Badania nad technologią wytwarzania wyrobów kutech przy zastosowaniu wlewków ze stopów Al o strukturze rheocast, badania struktury i własności mechanicznych wyrobów kutech.”, Gliwice 1999(mat. niepublikowane).
- [5] Tomasz Stuczyński, Juliusz Senderski, Bartłomiej Płonka, “Manufacturing of AlSiNi(Fe) powders and consolidation of semi-products”, International Conference – Aluminium in Transport 2003, Tomaszowice, 22-25 X 2003, s. 11-25.
- [6] Bartłomiej Płonka, Juliusz Senderski, Marzena Lech-Grega, Sonia Boczkał, Stanisław Wierzbński, “Structure and mechanical properties of Al-CuAg alloy after hot plastic consolidation with powders and ribbons” , 5th International Conference of PhD Students, University of Miskolc, Hungary, 14-20 VIII 2005, s. 173-178.