

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10)

PL 248063 B1

(12)

Opis patentowy

- (21) Numer zgłoszenia: **444487**
(22) Data zgłoszenia: **2023.04.19**
(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2024.10.21 BUP 43/2024**
(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2025.10.13 WUP 41/2025**

- (51) MKP:
C22F 1/04 (2006.01)
C22F 1/047 (2006.01)
C22F 1/057 (2006.01)
C22C 1/02 (2006.01)
B22D 11/00 (2006.01)
B22D 11/04 (2006.01)

- (73) Uprawniony z patentu:
**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE,
Kraków, PL**
- (72) Twórca(-y) wynalazku:
**WOJCIECH ŚCIEŻOR, Kraków, PL
ANDRZEJ MAMAŁA, Kraków, PL
PAWEŁ KWAŚNIEWSKI, Sułków, PL
GRZEGORZ KIESIEWICZ, Kraków, PL
SZYMON KORDASZEWSKI,
Zadole Kosmolowskie, PL
RADOSŁAW KOWAL, Pilica, PL
KRYSTIAN FRANCZEK, Prusy, PL**
- (74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Cezary Radecki, Częstochowa, PL

- (54) Tytuł:
Sposób wytwarzania profili odlewanych ze stopu Al-Cu-Mg

PL 248063 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób wytwarzania profili odlewanych ze stopu Al-Cu-Mg przeznaczony do stosowania w przemyśle metalurgicznym, głównie w odlewniach i walcowniach metali nieżelaznych. Profile wytworzone sposobem według wynalazku dzięki swoim wysokim własnościom mechanicznym i obniżonej masie będą miały zastosowanie zwłaszcza jako elementy konstrukcyjne, przemysłu motoryzacyjnego i transportowego.

Ze stanu techniki znane są różne sposoby wytwarzania prętów z wykorzystaniem odlewania grawitacyjnego stopów Al-Cu-Mg. Z kolei niekonwencjonalne procesy ich otrzymywania przewidują zastosowanie metod SPD czy technik przyrostowych. W praktyce przemysłowej obserwuje się wysoki odsetek wad materiałowych to jest mikropęknięcia, wciągi czy obwódki gruboziarniste powstałe w wyrobach w efekcie stosowania tradycyjnych technologii ich wytwarzania.

Konwencjonalna, najczęściej stosowana technologia wytwarzania profili z aluminium oraz jego stopów do dalszej przeróbki plastycznej lub obróbki mechanicznej obejmuje następującą ścieżkę technologiczną: odlewanie wielkogabarytowych wlewków i ich studzenie, proces długoczasowego wygrzewania wlewków tak zwanej homogenizacji oraz ich studzenie, ponowne nagrzewanie wlewków przed procesem wyciskania oraz następującego po nim procesu wyciskania prętów, wygrzewania ujednolniającego i przesycania oraz obróbki cieplnej w postaci starzenia naturalnego lub sztucznego w celu uzyskania wymaganych, stabilnych własności materiału. Pomimo, iż technologia ta pozwala na uzyskanie profilu o określonej geometrii charakteryzującego się wysokim zespołem własności mechanicznych, drobną równoosiową strukturą oraz odpowiednią plastycznością technologiczną, jest równocześnie technologią niezwykle energochłonną oraz kosztowną. W przypadku odlewania wlewków o średnicach 200 mm – 300 mm bardzo często pojawia się zjawisko dużej segregacji dodatków stopowych na jego przekroju poprzecznym oraz pęknięcia materiału w środkowej części wlewka, co jest skutkiem warunków krystalizacji występujących w tym procesie. Kolejny etap wytwarzania profili stanowiący proces wyciskania generuje duże koszty związane z wielokrotnym procesem nagrzewania wlewka, kosztem wytworzenia matryc oraz ich regeneracji. Dodatkowo w procesie wyciskania zawsze pojawia się tzw. piętką, która stanowi odpad technologiczny procesu.

Znany jest z opisu patentu europejskiego EP1945825B1 sposób wytwarzania wyrobu ze stopu aluminium o wysokiej wytrzymałości i wysokiej odporności na pękanie oraz wysokiej odporności na korozję międzykrystaliczną. Prezentowane w zgłoszeniu stopy przeznaczone są m.in. do lotniczych zastosowań. Zastosowane dodatki stopowe w postaci Cu, Mg i Ag w ilości odpowiednio Cu od 4,1 do 5,5%, Mg od 0,3 do 1,6% Mn od 0,14 do 0,8%, Ag <0,7% oraz Ti, Zr, Fe, Si pozwalają uzyskać stop odznaczający się również wysoką odpornością na korozję złuszczącą i odporność na pękanie korozyjne naprężeniowe. Proces otrzymywania przewiduje następujące etapy: odlewanie wlewka, homogenizacja, obróbka na gorąco, walcowanie, wytlaczanie i obróbka na zimno.

Znany jest z amerykańskiego opisu patentowego US7494552B2 sposób wytwarzania stopu aluminium-miedź o wysokiej ciągliwości i podwyższonej wytrzymałości. Produkt walcowany otrzymany niniejszym sposobem posiada następujący skład chemiczny Cu 4,5–5,5% wag., Mg 0,5–1,6% wag., Mn <0,8% wag., Zr < 0,18% wag., Cr i Fe korzystnie <0,1% wag. Odporność cieplna półproduktów ze stopu Al-Cu-Mg-Si daje wyrób w stanie T3 a zwłaszcza w stanie T39 lub T351, 22 o finalnej grubości od 25 do 50 mm z przeznaczeniem na kadłub samolotu lub arkusz członu dolnego skrzydła samolotu. Sposób obejmuje odlewanie wlewka, homogenizację i wstępne ogrzewanie wlewka po odlewaniu, odkształcanie na gorąco wlewka i walcowanie na zimno, hartowanie uzyskanego wyrobu poddanego obróbce cieplnej, rozciąganie schłodzonego wyrobu, a następnie naturalne starzenie walcowanego i poddanego obróbce cieplnej wyrobu.

Znany jest z europejskiego zgłoszenia patentowego EP3638820A1 sposób wytwarzania aluminium stopu łożyskowego nadającego się do odkształceń plastycznych zawierający od 0,05 do 7% wagowych miedzi oraz do 3% wagowych rozdrabniacza ziarna Al-Ti-B. W sposobie jako proces odlewania zastosowano proces ciągłego odlewania. Zastosowana szybkość chłodzenia w procesie odlewania wynosiła od 5 do 300 K/sek, a stop poddano co najmniej jednej obróbce cieplnej w temperaturach od 200°C do 400°C w trakcie kolejnych procesów formowania. Obróbka cieplna wyrobu odbywała się w procesie walcowania.

Znany jest z opisu patentu europejskiego EP3080318B1 sposób wytwarzania wyrobów ze stopów aluminium-miedziowo-litowych o ulepszonych właściwościach zmęczeniowych. Stop według wynalazku

lazu jest odlewany metodą pionowego odlewania półciąglego i zawiera miedź w ilości 3,0–3,9% wagowych, lit w ilości 0,71,3% wagowych, magnez w ilości 0,1–1,0% wagowych oraz co najmniej jeden pierwiastek z grupy: cyrkon, mangan, tytan. Sposób obejmuje homogenizowanie przed lub po przeróbce wyrobu w postaci płyty w celu uzyskania wymaganego kształtu, odkształcanie na gorąco i na zimno wspomnianego wyrobu, a po homogenizowaniu wyrobu poddanie go przeróbce plastycznej i hartowaniu.

Znany jest z japońskiego opisu zgłoszeniowego wynalazku JPH07252574A sposób wytwarzania stopu Al-Cu-Mg o doskonałej ciągliwości. Sposób według wynalazku prowadzi się przy zachowaniu temperatury równej lub wyższej niż temperatura walcowania na gorąco. Odlany w procesie odlewania ciągłego wyrób doprowadza się do temperatury walcowania na gorąco i walcuje. Stop uzyskany sposobem według wynalazku zawiera miedź w ilości 2 do 7% wagowych i magnez w ilości 0,2 do 2,5% wagowych.

Znany jest z amerykańskiego opisu patentowego US6569542B2 sposób wytwarzania elementu konstrukcyjnego skrzydła samolotu wytwarzanego z produktu walcowanego, wyciskanego lub kutego ze stopu Cu-Al z dodatkiem Mg, Mn, Si, Fe, Zn, Cr. Proces wytwarzania przewiduje ciągle odlewanie wlewków, homogenizacja, przeróbkę plastyczną na drodze kucia, przesycanie, hartowanie i starzenie, co pozwala na wzrost finalnej wytrzymałości wyrobu. Stop Al-Cu-Mg posiada następujący skład chemiczny: Cu od 4,6 do 5,3% wag., Mg od 0,1 do 0,5% wag., Mn od 0,15 do 0,45% wag., Zr poniżej 0,20% wag. resztę stanowią aluminium, pierwiastki śladowe i zanieczyszczenia.

Celem wynalazku było opracowanie efektywnego produkcyjnie przy jednocześnie zmniejszonych nakładach finansowych sposobu wytwarzania profili odlewanych ze stopu Al-Cu-Mg o podwyższonej podatności do obróbki skrawaniem

Istota sposobu wytwarzania profili odlewanych ze stopu Al-Cu-Mg o zawartości miedzi w ilości 3–4,5% wag., w którym do znajdującego się w piecu odlewniczym ujednorodnionego chemicznie wsadu dodaje się modyfikator struktury w postaci zaprawy aluminiowo-tytanowo-borowej, a zmodyfikowany wsad pozostawia się w piecu odlewniczym do ujednorodnienia jego składu chemicznego, przy czym wsad w piecu odlewniczym w postaci ciekłego metalu posiada temperaturę 780°C – 840°C, natomiast odlewanie ciekłego metalu prowadzone jest w sposób ciągły, a odlane profile poddaje się procesowi utwardzania wydzieleniowego i przeróbki plastycznej, polega na tym, że złom aluminiowy, magnezowy i miedziany stanowią razem co najmniej 80% wag. całości wsadu, a zawartość magnezu w stopie wynosi od 3,1 do 6% wag., z kolei ujednorodnienie składu chemicznego wsadu w piecu odlewniczym po dodaniu modyfikatora struktury trwa od 5 do 10 minut przy czym zawartość tytanu w modyfikatorze struktury wsadu wynosi 600–1000 ppm. objętości wsadu, natomiast proces odlewania ciągłego prowadzi się przy posuwie odlewu wynoszącym 8–12 mm i przy 2–5 s czasu postoju, a wydatek cieczy chłodzącej w procesie odlewania ciągłego w systemie pierwotnym wynosi od 0,12 do 0,3 l/min, zaś w procesie utwardzania wydzieleniowego homogenizacja odlanego profilu odbywa się w temperaturze 480–500°C w czasie od 6 do 24 godzin z chłodzeniem w wodzie, a starzenie jest starzeniem sztucznym i odbywa się w temperaturze 190–215°C w czasie od 3–14 godzin z chłodzeniem na powietrzu.

Istotną zaletą niniejszego wynalazku jest uproszczenie technologii i wyeliminowanie z procesu wytwarzania etapów takich jak odlewanie półciągle wielkogabarytowych wlewków, wyciskanie a także wszystkich operacji im towarzyszących, co pozwoliło na istotne obniżenie energochłonności oraz materiałochłonności procesu, a także skrócenie cyklu produkcyjnego ograniczając finalnie koszty potencjalnej wielkoseryjnej produkcji.

Profil według wynalazku dzięki odpowiednio dobranym parametrom procesowym i właściwej proporcji Cu oraz Mg w stopie, w którym zawartość miedzi jest w ilości 3–4,5% wag. a magnezu w stopie jest 3,1–6% wag., przy czym aż co najmniej 80% składników pochodzi z surowców wtórnych spowodowało, że wytworzony wyrób charakteryzuje się wysokim zespołem własności wytrzymałościowych będących superpozycją umocnienia wydzieleniowego jak i roztworowego.

Cechą charakterystyczną wyrobów uzyskanych sposobem według wynalazku jest wysoki zespół własności mechanicznych oraz technologicznych wytworzonych profili, korzystna drobnoziarnista struktura oraz równomierny rozkład dodatków stopowych zarówno na przekroju poprzecznym, jak i na długości otrzymywanego wyrobu uzyskanego poprzez odpowiednio dobrany skład chemiczny oraz dzięki precyzyjnemu doborowi sterowalnych warunków opracowywanej technologii.

Przykład 1

Materiały składające się w 80% z miedzianego, aluminiowego i magnezowego złomu oraz 20% czystych składników poddane zostały syntezie metalurgicznej z wykorzystaniem pieca indukcyjnego o mocy 150 kW. Zebrane materiały poddane zostały procesowi topienia w temperaturze 840°C i w osło-

nie gazu obojętnego w tyglu grafitowym wykonanym z grafitu izostatycznie prasowanego. Materiał wsadowy przewidywał następujące ilości składników: 180 kg złomu aluminium, 5,9 kg złomu magnezu, 8,8 kg złomu miedzanego oraz 48,675 kg czystych składników w postaci aluminium, miedzi i magnezu. Po procesie topienia i mieszania zadanej ilości materiału pozostawiono ciekłą kapiel na okres 20 min w celu ujednorodnienia składu chemicznego. Dodatkowo po tym czasie, do stopionych składników wprowadzono modyfikator struktury w postaci zaprawy AlTi5B1 tak, aby zawartość tytanu w objętości ciekłego metalu wyniosła 1000 ppm. Wsad z modyfikatorem struktury był pozostawiony w tyglu grafitowym przez 5 minut w celu ujednorodnienia jego składu chemicznego oraz skutecznego rozdrobnienia struktury.

Proces odlewania ciągłego prętów o kompozycji chemicznej AlCu_{4,5}Mg₃ z wykorzystaniem krystalizatora grafitowego odbywał się w warunkach chłodzenia pierwotnego krystalizatora o wydajności 0,3 l/min. Proces odlewania obejmował następujące parametry: 8 mm posuwu przy czasie postoju 2 s. Otrzymane pręty o średnicy 14 mm. Ze stopu uzyskanego w ramach syntezy metalurgicznej pobrano próbki do badań własności mechanicznych, elektrycznych oraz fizycznych. W oparciu o przeprowadzone badanie określono wytrzymałość na rozciąganie oraz wydłużenie całkowite stopu AlCu_{4,5}Mg₃, gdzie wytrzymałość na rozciąganie osiągnęła wartość $R_m = 278$ MPa, a wydłużenie $A_{50} = 3,6\%$. Na otrzymanych prętach przeprowadzono również badanie gęstości równej $2,67\text{g/cm}^3$, co świadczyło o braku porowatości otrzymanego materiału. Twardość w skali Brinell'a odlewów mieściła się w zakresie 93 HB. Wyznaczone na drodze eksperymentalnej parametry procesu odlewania przyczyniły się do uzyskania niskiej chropowatości powierzchni $R_a = 4\text{ }\mu\text{m}$, co świadczy o wysokiej jakości odlewu porównywalnego do wyrobów przerabianych plastycznie. W przypadku stopu AlCu_{4,5}Mg₃ zastosowanie zaprawy AlTi5B1 pozwoliło uzyskanie wyroby o wielkości ziarna do $150\text{ }\mu\text{m}$. Odlany półwyrób ze stopu AlCu_{3,1}Mg₆ w procesie utwardzania wydzieleniowego poddano homogenizacji w warunkach 480°C w czasie 24 h i starzeniu w warunkach temperaturowo-czasowych: 190°C przez 14 h.

Tak uzyskany wyrób poddano badaniom w tym procesowi toczenia, frezowania, wiercenia oraz testom skrawalności. Proces toczenia odbywał się z wykorzystaniem dwóch narzędzi, tj. z prostą krawędzią natarcia oraz z rowkiem do łamania wiórów na powierzchni natarcia, dwa zakresy prędkości obrotowych 250 i 560 obr/min., dwie prędkości posuwu 0,113 i 0,266 mm/obr. oraz trzy głębokości skrawania 0,5; 1,0 i 2,0 mm. Z kolei proces skrawania odbywał się z zastosowaniem chłodziwa Emulkol eko. Badania frezowania stopu AlCu_{4,5}Mg₃ przewidywało użycie dwóch głowic skrawających wyposażonych w płytki skrawające o średnicy 80 i 40 mm, ponadto zastosowano dwa zakresy prędkości obrotowych 380 i 850 obr/min., dwie prędkości posuwu 132 i 420 mm/min. oraz trzy głębokości skrawania 0,5; 1,0 i 2,0 mm. Proces wiercenia przewidywał wykorzystanie dwóch średnic wiertnicy odpowiednio 8 i 4 mm, ponadto zastosowano trzy zakresy prędkości obrotowych 2500, 850 i 250 obr/min. Badania przeprowadzono dla stopu AlCu_{4,5}Mg₃ oraz dla stopów EN AW-1050, EN AW-6060, EN AW-2017A stanowiących materiały odniesienia przy analizie porównawczej otrzymanych wiór. Dla stopu AlCu_{4,5}Mg₃ widoczne są wyraźne tendencje do spadku wielkości wiórów wraz ze wzrostem prędkości obrotowej wrzeciona oraz zwiększenie prędkości posuwu. Dla badanego materiału optymalne wydaje się zastosowanie głowic o mniejszej średnicy, co pozwala na uzyskanie wiórów krótszych niż 2 mm. Analiza procesu wiercenia wykazuje wyraźną przewagę stopu AlCu_{4,5}Mg₃ nad pozostałymi badanymi stopami, wiór towarzyszący wierceniu ma luźną strukturę i niewielkie rozmiary materiał nie wykazuje tendencji do nalepiania się na narzędzie niezależnie od prędkości obróbki czy średnicy wiertła.

Wyrób uzyskany sposobem według wynalazku będzie materiałem wsadowym do procesów kucia matrycowego oraz obróbki mechanicznej, a po ich zakończeniu gotowym wyrobem przeznaczonym do stosowania w przemyśle motoryzacyjnym, transportowym lub do zastosowań konstrukcyjnych.

Przykład 2

Materiały składające się w 100% z miedzanego, aluminium i magnezowego złomu poddane zostały syntezie metalurgicznej z wykorzystaniem pieca indukcyjnego o mocy 15 kW. Zebrane materiały poddane zostały procesowi topienia w temperaturze 780°C i w osłonie gazu obojętnego w tyglu grafitowym wykonanym z grafitu izostatycznie prasowanego. Materiał wsadowy przewidywał następujące ilości składników: 4 kg złomu aluminium, 264 g złomu magnezu, 130 g złomu miedzanego. Po procesie topienia i mieszania zadanej ilości materiału pozostawiono ciekłą kapiel na okres 23 min w celu ujednorodnienia składu chemicznego. Dodatkowo po tym czasie, do stopionych składników wprowadzono modyfikator struktury w postaci zaprawy AlTi5B1 tak, aby zawartość tytanu w objętości ciekłego metalu wyniosła 600 ppm. Wsad z modyfikatorem struktury był pozostawiony w tyglu grafitowym przez 5 minut w celu ujednorodnienia jego składu chemicznego oraz skutecznego rozdrobnienia struktury.

Proces odlewania ciągłego prętów o kompozycji chemicznej $\text{AlCu}_3,1\text{Mg}_6$ z wykorzystaniem krystalizatora grafitowego odbywał się w warunkach chłodzenia pierwotnego krystalizatora o wydajności 0,12 l/min. Proces odlewania obejmował następujące parametry: 12 mm posuwu przy czasie postoju 5 s. Otrzymane pręty o średnicy 14 mm. Ze stopu uzyskanego w ramach syntezy metalurgicznej pobrano próbki do badań własności mechanicznych, elektrycznych oraz fizycznych. W oparciu o przeprowadzone badanie określono wytrzymałość na rozciąganie oraz wydłużenie całkowite stopu $\text{AlCu}_3,1\text{Mg}_6$, gdzie wytrzymałość na rozciąganie osiągnęła wartość $R_m = 268$ MPa, a wydłużenie $A_{50} = 7,3\%$. Na otrzymanych prętach przeprowadzono również badanie gęstości równej $2,79 \text{ g/cm}^3$, co świadczyło o braku porowatości otrzymanego materiału. Twardość w skali Brinell'a odlewów wyniosła 83 HB. Wyznaczone na drodze eksperymentalnej parametry procesu odlewania przyczyniły się do uzyskania niskiej chropowatości powierzchni $R_a = 5 \text{ }\mu\text{m}$, co świadczy o wysokiej jakości odlewu porównywalnego do wyrobów przerabianych plastycznie. W przypadku stopu $\text{AlCu}_3,1\text{Mg}_6$ zastosowanie zaprawy AlTi_5B_1 pozwoliło uzyskanie wyroby o wielkości ziarna w granicach $50 \text{ }\mu\text{m}$. Odlany półwyrob ze stopu $\text{AlCu}_3,1\text{Mg}_6$ w procesie utwardzania wydzieleniowego poddano homogenizacji w warunkach 500°C w czasie 6 h i starzeniu w warunkach temperaturowo-czasowych: 215°C przez 2,5 h.

Tak uzyskany wyrób poddano badaniom w tym procesowi toczenia, frezowania, wiercenia oraz testy skrawalności. Proces toczenia odbywał się z wykorzystaniem dwóch narzędzi, tj. z prostą krawędzią natarcia oraz z rowkiem do łamania wiórów na powierzchni natarcia, dwa zakresy prędkości obrotowych 250 i 560 obr/min., dwie prędkości posuwu 0,113 i 0,266 mm/obr. oraz trzy głębokości skrawania 0,5; 1,0 i 2,0 mm bez dodatku czystych składników. Z kolei proces skrawania odbywał się z zastosowaniem chłodziwa Emulkol eko. Badania frezowania stopu $\text{AlCu}_3,1\text{Mg}_6$ przewidywało użycie dwóch głowic skrawających wyposażonych w płytki skrawające o średnicy 80 i 40 mm, ponadto zastosowano dwa zakresy prędkości obrotowych 380 i 850 obr/min., dwie prędkości posuwu 132 i 420 mm/min. oraz trzy głębokości skrawania 0,5; 1,0 i 2,0 mm. Proces wiercenia przewidywał wykorzystanie dwóch średnic wiertnicy odpowiednio 8 i 4 mm, ponadto zastosowano trzy zakresy prędkości obrotowych 2500, 850 i 250 obr/min. Badania przeprowadzono dla stopu $\text{AlCu}_3,1\text{Mg}_6$, $\text{AlCu}_4,5\text{Mg}_3$ oraz dla stopów EN AW-1050, EN AW-6060, EN AW-2017A stanowiących materiały odniesienia przy analizie porównawczej otrzymanych wiór. Podobnie jak w przypadku stopu $\text{AlCu}_4,5\text{Mg}_3$ obserwuje się spadek wielkości wiórów wraz ze wzrostem prędkości obrotowej wrzeciona i zwiększeniem prędkości posuwu. Wiór towarzyszący wierceniu ma luźną strukturę i równie niewielkie rozmiary, a co najważniejsze i powtarzalne przy tych stopach – materiał nie wykazuje tendencji do nalepiania się na narzędzie niezależnie od prędkości obrotów czy średnicy wiertła.

Przykład 3

Materiały składające się w 88,5% z miedzanego, aluminiowego i magnezowego złomu oraz 11,5% czystych składników poddane zostały syntezy metalurgicznej z wykorzystaniem pieca indukcyjnego o mocy 150 kW. Zebrane materiały poddane zostały procesowi topienia w temperaturze 800°C i w osłonie gazu obojętnego w tyglu grafitowym wykonanym z grafitu izostatycznie prasowanego. Materiał wsadowy przewidywał następujące ilości składników: 82 kg złomu aluminium, 3,5 kg złomu magnezu, 3 kg złomu miedzanego oraz ok 11,5 kg czystych składników w postaci aluminium, miedzi i magnezu. Po procesie topienia i mieszania zadanej ilości materiału pozostawiono ciekłą kąpiel na okres 25 min w celu ujednorodnienia składu chemicznego. Dodatkowo po tym czasie, do stopionych składników wprowadzono modyfikator struktury w postaci zaprawy AlTi_5B_1 tak, aby zawartość tytanu w objętości ciekłego metalu wyniosła 1000 ppm. Wsad z modyfikatorem struktury był pozostawiony w tyglu grafitowym przez 5 minut w celu ujednorodnienia jego składu chemicznego oraz skutecznego rozdrobnienia struktury.

Proces odlewania ciągłego prętów o kompozycji chemicznej $\text{AlCu}_3,9\text{Mg}_5$ z wykorzystaniem krystalizatora grafitowego odbywał się w warunkach chłodzenia pierwotnego krystalizatora o wydajności 0,22 l/min. Proces odlewania obejmował następujące parametry: 10 mm posuwu przy czasie postoju 4 s. Otrzymane pręty o średnicy 14 mm. Ze stopu uzyskanego w ramach syntezy metalurgicznej pobrano próbki do badań własności mechanicznych, elektrycznych oraz fizycznych. W oparciu o przeprowadzone badanie określono wytrzymałość na rozciąganie oraz wydłużenie całkowite stopu $\text{AlCu}_3,9\text{Mg}_5$, gdzie wytrzymałość na rozciąganie osiągnęła wartość $R_m = 270$ MPa, a wydłużenie $A_{50} = 5,2\%$. Na otrzymanych prętach przeprowadzono również badanie gęstości równej $2,7 \text{ g/cm}^3$, co świadczyło o braku porowatości otrzymanego materiału. Twardość w skali Brinell'a odlewów była równa 89 HB. Wyznaczone na drodze eksperymentalnej parametry procesu odlewania przyczyniły się do uzy-

skania niskiej chropowatości powierzchni $R_a = 3 \mu\text{m}$, co świadczy o wysokiej jakości odlewu porównywalnego do wyrobów przerabianych plastycznie. W przypadku stopu $\text{AlCu}_{3,1}\text{Mg}_6$ zastosowanie zaprawy AlTi5B1 pozwoliło uzyskanie wyroby o wielkości ziarna do $70 \mu\text{m}$. Półwyrób ze stopu $\text{AlCu}_{3,9}\text{Mg}_5$ poddano homogenizacji w warunkach 500°C w czasie 7 h i starzeniu w warunkach temperaturowo-czasowych: 200°C przez 6 h.

Tak uzyskany wyrób poddano badaniom w tym procesowi toczenia, frezowania, wiercenia oraz testom skrawalności. Proces toczenia odbywał się z wykorzystaniem dwóch narzędzi, tj. z prostą krawędzią natarcia oraz z rowkiem do łamania wiórów na powierzchni natarcia, przy prędkości obrotowej 560 obr/min. i dwóch prędkościach posuwu 0,113 i 0,266 mm/obr. oraz trzech głębokościach skrawania 0,5; 1,0 i 2,0 mm. Z kolei proces skrawania odbywał się z zastosowaniem chłodziwa Emulkol eko. Badania frezowania stopu $\text{AlCu}_{3,9}\text{Mg}_5$ przewidywało użycie dwóch głowic skrawających wyposażonych w płytki skrawające o średnicy 80 i 40 mm, ponadto zastosowano dwa zakresy prędkości obrotowych 380 i 850 obr/min., dwie prędkości posuwu 132 i 420 mm/min. oraz trzy głębokości skrawania 0,5; 1,0 i 2,0 mm. Proces wiercenia przewidywał wykorzystanie dwóch średnic wiertnicy odpowiednio 8 i 4 mm, ponadto zastosowano trzy zakresy prędkości obrotowych 2500, 850 i 250 obr/min. Badania przeprowadzono dla stopu $\text{AlCu}_{3,9}\text{Mg}_5$ oraz dla stopów EN AW-1050, EN AW-6060, EN AW-2017A stanowiących materiały odniesienia przy analizie porównawczej otrzymanych wiór. Obserwuje się spadek wielkości wiórów wraz ze wzrostem prędkości obrotowej wrzeciona i zwiększeniem prędkości posuwu. Wiór towarzyszący wierceniu ma luźną strukturę i równie niewielkie rozmiary, a co najważniejsze i powtarzalne przy tych stopach – materiał nie wykazuje tendencji do nalepiania się na narzędzie niezależnie od prędkości obróbki czy średnicy wiertła.

Zastrzeżenie patentowe

1. Sposób wytwarzania profili odlewanych ze stopu Al-Cu-Mg o zawartości miedzi w ilości 3–4,5% wag., w którym do znajdującego się w piecu odlewniczym wsadu dodaje się modyfikator struktury wsadu w postaci zaprawy aluminiumo tytanowo-borowej, a zmodyfikowany wsad pozostawia się w piecu odlewniczym do ujednorodnienia jego składu chemicznego, przy czym wsad w piecu odlewniczym w postaci ciekłego metalu posiada temperaturę 780°C – 840°C , natomiast odlewanie ciekłego metalu prowadzone jest w sposób ciągły, a odlane profile poddaje się procesowi utwardzania wydzieleniowego i przeróbki plastycznej, **znamienny tym**, że złom aluminiumo, magnezowy i miedziany stanowią razem co najmniej 80% wag. całości wsadu, a zawartość magnezu w stopie wynosi od 3,1 do 6% wag., z kolei ujednorodnienie składu chemicznego wsadu w piecu odlewniczym po dodaniu modyfikatora struktury trwa od 5 do 10 minut przy czym zawartość tytanu w modyfikatorze struktury wsadu wynosi 600–1000 ppm. objętości wsadu, natomiast proces odlewania ciągłego prowadzi się przy posuwie odlewu wynoszącym 8–12 mm i przy 2–5 s czasu postoju, a wydatek cieczy chłodzącej w procesie odlewania ciągłego w systemie pierwotnym wynosi od 0,12 do 0,3 l/min, zaś w procesie utwardzania wydzieleniowego homogenizacja odlanego profilu odbywa się w temperaturze 480 – 500°C w czasie od 6 do 24 godzin z chłodzeniem w wodzie, a starzenie jest starzeniem sztucznym i odbywa się w temperaturze 190 – 215°C w czasie od 3–14 godzin z chłodzeniem na powietrzu.