RZECZPOSPOLITA POLSKA

Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **241384**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **420949**

(22) Data zgłoszenia: **22.03.2017**

(51) Int.Cl.
***B22D 11/045 (2006.01)***
***B22D 11/115 (2006.01)***

(54) **Sposób odlewania materiałów o drobnoziarnistej strukturze oraz układ do jego realizacji**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
**24.09.2018 BUP 20/18**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
**19.09.2022 WUP 38/22**

(73) Uprawniony z patentu:
**METAL LAB WITOLD GAJDEK, ADAM PĘCZAR SPÓŁKA JAWNA, Rzeszów, PL**
**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE, Kraków, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:
**WITOLD GAJDEK, Rzeszów, PL**
**ADAM PĘCZAR, Rzeszów, PL**
**BARTOSZ KOCHAN, Rzeszów, PL**
**TADEUSZ KNYCH, Kraków, PL**
**ANDRZEJ MAMALA, Kraków, PL**
**PAWEŁ KWAŚNIEWSKI, Sułków, PL**
**GRZEGORZ KIESIEWICZ, Kraków, PL**
**WOJCIECH ŚCIĘŻOR, Kraków, PL**
**ARTUR KAWECKI, Kraków, PL**
**BEATA SMYRAK, Bulowice, PL**
**RADOSŁAW KOWAL, Pilica, PL**
**SZYMON KORDASZEWSKI, Kosmolów, PL**
**KRYSTIAN FRANCZAK, Prusy, PL**
**JUSTYNA GRZEBINOGA, Przytkowice, PL**
**ELIZA SIEJA-SMAGA, Dobra, PL**
**KINGA KORZEŃ, Kraków, PL**
**ANDRZEJ NOWAK, Kraków, PL**
**MICHAŁ JABŁOŃSKI, Kraków, PL**
**MAŁGORZATA ZASADZIŃSKA, Kraków, PL**
**MAREK GNIEŁCZYK, Chełmek, PL**
**BARTOSZ JURKIEWICZ, Ozorków, PL**

(74) Pełnomocnik:
**rzecz. pat. Anna Górska**

PL 241384 B1

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest układ do odlewania materiałów o drobnoziarnistej strukturze oraz sposób kształtowania struktury, poprzez jej rozdrobnienie oraz modyfikację własności odlewów na bazie aluminium na drodze parametryzacji układu do mieszania i rozdrabniania struktury wykorzystującego zjawisko indukcji elektromagnetycznej. Sposób według wynalazku obejmuje kształtowanie struktury odlewniczej stopów na bazie aluminium w polu elektromagnetycznym mając na celu ujednorodnienie oraz rozdrobnienie struktury pod kątem uzyskania pożądanych własności odlewów z aluminium i jego stopów.

Materiały powstałe w konwencjonalnym procesie odlewania charakteryzują się typową strukturą odlewniczą (tj. ziarnami o znacznych rozmiarach – ziarna kolumnowe), w wyniku której odlewy charakteryzują się niskimi własnościami mechanicznymi. Jednocześnie struktura taka utrudnia dalszą obróbkę oraz przeróbkę plastyczną odlewów.

W stanie techniki znane są rozwiązania umożliwiające rozdrobnienie i ujednorodnienie struktury odlewów czystych metali oraz odlewniczych stopów m.in. na bazie aluminium.

Jedną z metod jest modyfikacja chemiczna polegająca na wprowadzeniu do ciekłego metalu dodatków modyfikujących, co ujawniono np. w zgłoszeniu patentowym KR100551851 A. Najbardziej powszechnymi dodatkami modyfikującymi strukturę krystaliczną aluminium i jego stopów jest Ti i B, które wpływają na zmianę warunków krystalizacji (szybsze krzepnięcie metalu) i „sztucznym" zarodkowaniu ziarn w odlewanym metalu.

Z kolei szereg innych rozwiązań znanych ze stanu techniki skupia się na oddziaływaniu na strukturę odlewów poprzez czynniki zewnętrzne takie jak drgania ultradźwiękowe czy pole magnetyczne i elektromagnetyczne.

W zgłoszeniu patentowym TW200425976 A znane jest rozwiązanie do rozdrabniania ziarna wyrobów odlewanych. Realizowane jest ono w oparciu o drgania ultradźwiękowe wysokiej częstotliwości, przy czym źródło drgań i mechanizm do przekazywania wibracji, zainstalowany jest na zewnątrz formy odlewniczej/krystalizatora (w zależności czy proces realizowany jest w sposób ciągły, półciągły lub do formy), nie mając kontaktu z ciekłym metalem. Urządzenie wg wynalazku umożliwia regulację siły oraz częstotliwości drgań oraz znajduje zastosowanie w produkcji wlewków oraz odlewów.

Inne rozwiązania dotyczące mieszania oraz rozdrobnienia struktury odlewanych w sposób ciągły wyrobów, opierają się na wykorzystaniu do tego celu pola elektromagnetycznego. Pole to może być wytworzone przez magnesy stałe (rozwiązanie zaprezentowane w zgłoszeniu patentowym US2017003077 A) lub cewkę, gdzie w wyniku przepływu przez nią prądu elektrycznego generowane jest pole elektromagnetyczne (rozwiązania prezentowane w patentach: US9550232 B2 lub PL134861 B1). W każdym z wymienionych patentów proces mieszania i rozdrabniania struktury realizowany jest na etapie krzepnięcia metalu w krystalizatorze, gdzie występuje faza ciekła oraz stała metalu. W stanie techniki znane jest również rozwiązanie zaprezentowane w polskim zgłoszeniu patentowym PL414263, gdzie cewka indukcyjna umiejscowiona jest bezpośrednio przed krystalizatorem, która ma za zadanie podgrzewanie oraz mieszanie ciekłego metalu w celu uzyskania wyrobu jednorodnego pod względem składu chemicznego, własności i budowy krystalicznej.

Pomimo znanych w stanie techniki rozwiązań dotyczących sposobów kształtowania struktury oraz własności odlewów poprzez mieszanie ciekłego metalu oraz rozdrobnienie jego struktury, poszukiwane są rozwiązania, które umożliwią w sposób jeszcze bardziej efektywny uzyskać niniejszy cel. Przedstawione rozwiązania pomimo, iż są skuteczne, to jednak ujawniają pewne wady. W przypadku, gdy stosuje się modyfikatory wpływające na warunki krystalizacji odlewanego metalu, jednocześnie ingeruje się w ostateczny skład chemiczny wyrobu zwiększając w nim udział zanieczyszczeń. Z kolei użycie drgań ultradźwiękowych ma negatywny wpływ na organizmy żywe, a ponadto może negatywnie wpływać na żywotność krystalizatora, który w czasie pracy będzie wchodzić w rezonans. Z kolei stosowanie cewki indukcyjnej bądź magnesów stałych wytwarzających pole elektromagnetyczne w obszarze krystalizatora jest mało efektywne pod względem mieszania i rozdrabiania struktury odlewu, gdyż na froncie krystalizacji metal zmienia swoją lejność oraz lepkość utrudniając działanie pola elektromagnetycznego. Ponadto, stosowanie cewki indukcyjnej wytwarzającej pole elektromagnetyczne w obszarze krystalizatora lub w jego bezpośrednim sąsiedztwie powoduje wzrost temperatury ciekłego metalu oraz medium chłodzącego wpływając na wzrost energochłonności procesu oraz spadek efektywności chłodzenia i krzepnięcia metalu. Jednocześnie zmniejszenie gradientu temperatury w krystalizatorze sprzyja

powstawaniu struktury gruboziarnistej. Im większy gradient temperatury tym proces krzepnięcia następuje intensywniej, a struktura jest bardziej drobnoziarnista. Również niekorzystne usytuowanie cewki indukcyjnej przed krystalizatorem daje słabe efekty rozdrobnienia struktury odlewu. Bezpośredni kontakt cewki z krystalizatorem w wyniku nakładania się ciepła generowanego przez cewkę indukcyjną oraz zimna generowanego przez krystalizator wpływa na wydłużenie czasu krystalizacji metalu oraz zmniejszenia gradientu temperatury ciekłego metalu przez co struktura odlewu bywa niejednorodna pod względem budowy strukturalnej. Ponadto sam proces odlewania staje się również mniej efektywny i opłacalny ekonomicznie, gdyż ciepło generowane przez cewkę indukcyjną jest częściowo pochłaniane przez medium chłodzące w krystalizatorze, a zatem potrzebna jest większa energia na utrzymanie ciepła generowanego przez cewkę oraz niskiej temperatury w krystalizatorze. Z kolei zbyt duża odległość usytuowania cewki od krystalizatora uniemożliwia uzyskanie struktury drobnoziarnistej i ponadto może przyczyniać się do obklejania się krystalizatora odlewanym materiałem (szczególnie aluminium i jego stopami), a w przypadku krystalizatora grafitowego dodatkowo jego wycierania się.

Celem wynalazku jest opracowanie nowego sposobu krystalizacji stopów na bazie aluminium połączonych z rozdrabnianiem struktury oraz układ do modyfikacji własności odlewów w obecności pola elektromagnetycznego.

Podczas realizowanych badań nieoczekiwanie okazało się, że opracowano nowy sposób wytwarzania rozdrobnionej struktury odlewów na bazie aluminium o przekroju okrągłym i średnicy od 30 do 90 mm oraz płaskowników o szerokości od 30 mm do 90 mm i grubości od 5 mm do 20 mm w linii do poziomego ciągłego odlewania, a uzyskaną tym sposobem rozdrobnioną strukturę odlewu cechują korzystne własności mechanicznie co ułatwia ich dalsze przetwórstwo poprzez obróbkę plastyczną czy obróbkę ubytkową.

Istotą rozwiązania według wynalazku jest sposób odlewania materiałów o drobnoziarnistej strukturze, zwłaszcza odlewów o przekroju okrągłym i średnicy od 30 do 90 mm oraz płaskowników o szerokości od 30 mm do 90 mm i grubości od 5 mm do 20 mm w linii do poziomego ciągłego odlewania, znamienny tym, że metal topi się w piecu topielno-odlewniczym, a następnie stopiony metal przepływa do komory mieszania elektromagnetycznego z prędkością 120–180 mm/min, w której przy użyciu cewki indukcyjnej następuje jego intensywnie mieszanie oraz utrzymywana jest temperatura metalu od 770°C do 820°C, a następnie płynny metal wpływa do krystalizatora chłodzonego wodą, a przepływ wody przez krystalizator wynosi od 3 do 35 l/min, gdzie krzepnie i krystalizuje przybierając strukturę drobnoziarnistą.

Korzystnie ciekły metal stanowi aluminium i jego stopy, zwłaszcza z serii 6000.

Korzystnie temperatura ciekłego metalu w piecu topielno-odlewniczym wynosi od 750°C do 800°C.

Korzystnie ciekły metal z pieca topielno-odlewniczego przepływa przez komorę mieszania elektromagnetycznego i krystalizator z prędkością 120–180 mm/min.

Korzystnie komora mieszania elektromagnetycznego wykonana z materiału przenikliwego przez pole elektromagnetyczne.

Istotą rozwiązania według wynalazku jest także układ do odlewania materiałów o drobnoziarnistej strukturze sposobem według wynalazku, zawierających aluminium jako główny składnik, zwłaszcza materiałów o przekroju okrągłym i średnicy od 30 do 90 mm oraz płaskowników o szerokości od 30 mm do 90 mm i grubości od 5 mm do 20 mm w linii do poziomego ciągłego odlewania, składający się z pieca odlewniczego, cewki elektromagnetycznej do mieszania ciekłego metalu oraz krystalizatora, znamienny tym, że komora pieca topielno-odlewniczego i komora mieszania elektromagnetycznego tworzą jeden wspólny element układu, gdzie na obwodzie zewnętrznym komory mieszania elektromagnetycznego znajduje się cewka indukcyjna do mieszania ciekłego metalu, przy czym odległość cewki indukcyjnej od krystalizatora wynosi od 1,5 cm do 8 cm i cewka ta zbudowana jest z drutu, który nawinięty jest wokół komory mieszania elektromagnetycznego i do niej bezpośrednio przylega, natomiast kanał zalewowy stanowi wylot komory mieszania elektromagnetycznego który przymocowany jest mechanicznie poprzez połączenie śrubowe do pieca odlewniczego od strony komory mieszania elektromagnetycznego jak również poprzez połączenie śrubowe do krystalizatora, wewnątrz którego wydrążony jest kanał przepływowy na medium chłodzące odlewany materiał.

Korzystnie komora pieca topielno-odlewniczego jest usytuowana prostopadle do komory mieszania elektromagnetycznego.

Korzystnie komora mieszania oraz kanał zalewowy i krystalizator usytuowane są poosiowo.

Korzystnie odległość cewki indukcyjnej od krystalizatora wynosi od 1,5 cm do 4 cm.

Korzystnie cewka indukcyjna do mieszania ciekłego metalu w polu elektromagnetycznym wytwarza pole elektromagnetyczne o natężeniu 11–27 mH.

Korzystnie komora mieszania elektromagnetycznego wykonana jest z materiału wybranego z listy: grafit, azotek boru, tlenek aluminium $Al_2O_3$ (korund), szamot lub mieszanina szamotu, korundu i grafitu.

Zaletą rozwiązania według wynalazku jest uzyskanie rozdrobnionej i jednorodnej struktury odlewu na bazie aluminium poprawiającej własności eksploatacyjne wyrobu końcowego.

Rozwiązanie według wynalazku zostało bliżej przestawione w przykładach wykonania oraz na rysunkach, na których:

fig. 1 ilustruje schemat budowy części odlewniczej pieca do poziomego ciągłego odlewania w przekroju;

fig. 2 ilustruje strukturę poprzeczną (A) i wzdłużną (B) odlewu ze stopu EN AW-6060 (∅ 30 mm) uzyskanego przy niskiej intensywności mieszania (natężenie prądu w cewce = 230A, natężenie pola elektromagnetycznego w cewce = 11 mH), gdzie cewka indukcyjna podczas odlewania oddalona jest od krystalizatora o 1,5 cm;

fig. 3 ilustruje strukturę poprzeczną (A) i wzdłużną (B) odlewu ze stopu EN AW-6060 (∅ 30 mm) uzyskanego przy średniej intensywności mieszania (natężenie prądu w cewce = 350A, natężenie pola elektromagnetycznego w cewce = 17 mH), gdzie cewka indukcyjna podczas odlewania oddalona jest od krystalizatora o 1,5 cm;

fig. 4 ilustruje strukturę poprzeczną (A) i wzdłużną (B) odlewu ze stopu EN AW-6060 (∅ 30 mm) uzyskanego przy wysokiej intensywności mieszania (natężenie prądu w cewce = 560A, natężenie pola elektromagnetycznego w cewce = 27 mH), gdzie cewka indukcyjna podczas odlewania oddalona jest od krystalizatora o 1,5 cm;

fig. 5 ilustruje strukturę poprzeczną (A) i wzdłużną (B) odlewu ze stopu EN AW-6082 (∅ 40 mm) uzyskanego przy niskiej intensywności mieszania (natężenie prądu w cewce = 230A, natężenie pola elektromagnetycznego w cewce = 11 mH), gdzie cewka indukcyjna podczas odlewania oddalona jest od krystalizatora o 1,5 cm;

fig. 6 ilustruje strukturę poprzeczną (A) i wzdłużną (B) odlewu ze stopu EN AW-6082 (∅ 40 mm) uzyskanego przy średniej intensywności mieszania (natężenie prądu w cewce = 350A, natężenie pola elektromagnetycznego w cewce = 17 mH), gdzie cewka indukcyjna podczas odlewania oddalona jest od krystalizatora o 1,5 cm;

fig. 7 ilustruje strukturę poprzeczną (A) i wzdłużną (B) odlewu ze stopu EN AW-6082 (∅ 40 mm) uzyskanego przy wysokiej intensywności mieszania (natężenie prądu w cewce = 560A, natężenie pola elektromagnetycznego w cewce = 27 mH), gdzie cewka indukcyjna podczas odlewania oddalona jest od krystalizatora o 1,5 cm;

fig. 8 ilustruje makrostrukturę poprzeczną odlewu ze stopu EN-AW 6060 o średnicy ∅ 90 mm, gdzie cewka indukcyjna oddalona jest od krystalizatora o 0,5 cm – wysoka intensywność mieszania elektromagnetycznego (natężenie prądu w cewce = 560A; natężenie pola elektromagnetycznego w cewce = 27 mH);

fig. 9 ilustruje makrostrukturę poprzeczną odlewu ze stopu EN-AW 6060 o średnicy ∅ 90 mm, gdzie cewka indukcyjna oddalona jest od krystalizatora o 1,5 cm – wysoka intensywność mieszania elektromagnetycznego (natężenie prądu w cewce = 560A; natężenie pola elektromagnetycznego w cewce = 27 mH);

fig. 10 ilustruje makrostrukturę poprzeczną odlewu ze stopu EN-AW 6060 o średnicy ∅ 90 mm, gdzie cewka indukcyjna oddalona jest od krystalizatora o 6 cm – wysoka intensywność mieszania elektromagnetycznego (natężenie prądu w cewce = 560A; natężenie pola elektromagnetycznego w cewce = 27 mH);

fig. 11 ilustruje makrostrukturę poprzeczną odlewu ze stopu EN-AW 6060 o średnicy ∅ 90 mm, gdzie cewka indukcyjna oddalona jest od krystalizatora o 10 cm – wysoka intensywność mieszania elektromagnetycznego (natężenie prądu w cewce = 560A; natężenie pola elektromagnetycznego w cewce = 27 mH);

P R Z Y K Ł A D 1

**Wykonanie odlewów o przekroju okrągłym ∅ 30 mm metodą ciągłą**

Ciekły stop aluminium w gat. EN AW-6060 w komorze pieca topielno-odlewniczego **1** utrzymywany jest w temperaturze 750–760°C. Stop ten wypełnia również komorę mieszania elektromagnetycznego **3**, wykonaną z grafitu, w której działa pole elektromagnetyczne generowane przez cewkę indukcyjną **2**. Natężenie prądu płynącego przez cewkę **2** wynosi 230–560 A, natomiast indukcyjność cewki **2** wynosi 11–27 mH, a temperatura ciekłego metalu w komorze mieszania elektromagnetycznego utrzymywana jest w temperaturze 770–800°C. Cewka indukcyjna **2** umieszczona jest przed krystalizatorem

**4** w odległości 1,5 cm. W komorze mieszania elektromagnetycznego **3** ciekły metal jest intensywnie mieszany, a następnie wpływa przez kanał zalewowy **6** do krystalizatora **4** chłodzonego wodą gdzie metal krystalizuje i krzepnie. Przepływ wody przez kanał przepływowy **5** krystalizatora **4** wynosi od 3–8 l/min, natomiast prędkość odlewania 160 mm/min.

W wyniku realizacji tak przeprowadzonego procesu ciągłego odlewania otrzymano wyroby o przekroju kołowym i o rozdrobnionej strukturze.

Na fig. 2, 3 i 4 przedstawiono struktury odlewów w gatunku EN AW-6060 z modyfikacją struktury według sposobu będącego przedmiotem wynalazku oraz parametrami odlewania ukazanymi w niniejszym przykładzie, uwzględniając trzy wielkości natężenia prądu (230A, 350A i 560A) płynącego przez cewkę indukcyjną **2**. Dla wszystkich trzech odlewów przeprowadzono również weryfikację ich własności mechanicznych oraz porównano z własnościami odlewu wykonanego z pominięciem procesu rozdrobnienia struktury w wyniku działania pola elektromagnetycznego.

Wyniki przedstawiono w tabeli 1 poniżej.

**T a b e l a 1**

| Natężenie prądu [A] | Indukcyjność cewki [mH] | Rm [MPa] | HV5 |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 145 | 43 |
| 230 | 11 | 148 | 45,5 |
| 350 | 17 | 149 | 49 |
| 560 | 27 | 150 | 50,5 |

P R Z Y K Ł A D 2

**Wykonanie odlewów o przekroju okrągłym ∅ 40 mm metodą ciągłą**

Ciekły stop aluminium w gat. EN AW-6082 w komorze pieca topielno-odlewniczego **1** utrzymywany jest w temperaturze 780–800°C. Stop ten wypełnia również ceramiczną (z azotku boru) komorę mieszania elektromagnetycznego **3**, w której działa pole elektromagnetyczne generowane przez cewkę indukcyjną **2**. Natężenie prądu płynącego przez cewkę **2** wynosi 230–560 A, natomiast indukcyjność cewki **2** wynosi 11–27 mH a temperatura ciekłego metalu w komorze mieszania elektromagnetycznego utrzymywana jest w temperaturze 790–820°C. Cewka indukcyjna **2** umieszczona jest przed krystalizatorem **4** w odległości 1,5 cm. W komorze mieszania elektromagnetycznego **3** ciekły metal jest intensywnie mieszany, a następnie wpływa przez kanał zalewowy **6** do krystalizatora **4** chłodzonego wodą gdzie metal krystalizuje i krzepnie. Przepływ wody przez kanał przepływowy **5** krystalizatora **4** wynosi od 5–10 l/min, natomiast prędkość odlewania 150 mm/min.

W wyniku realizacji tak przeprowadzonego procesu ciągłego odlewania otrzymano wyroby o przekroju kołowym i o rozdrobnionej strukturze.

Na fig. 5, 6 i 7 przedstawiono struktury odlewów w gatunku EN AW-6082 z modyfikacją struktury według sposobu będącego przedmiotem wynalazku oraz parametrami odlewania ukazanymi w niniejszym przykładzie, uwzględniając trzy wielkości natężenia prądu (230A, 350A i 560A) płynącego przez cewkę indukcyjną **2**. Dla wszystkich trzech odlewów przeprowadzono również weryfikację ich własności mechanicznych oraz porównano z własnościami odlewu wykonanego z pominięciem procesu rozdrobnienia struktury w wyniku działania pola elektromagnetycznego. Wyniki przedstawiono w tabeli 2 poniżej.

**T a b e l a 2**

| Natężenie prądu [A] | Indukcyjność cewki [mH] | Rm [MPa] | HV5 |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 210 | 73,5 |
| 230 | 11 | 215 | 75 |
| 350 | 17 | 228 | 76,5 |
| 560 | 27 | 249 | 77 |

P R Z Y K Ł A D 3

**Wykonanie odlewów o przekroju okrągłym ∅ 90 mm metodą ciągłą**

Ciekły stop aluminium w gat. EN AW-6060 w komorze pieca topielno-odlewniczego **1** utrzymywany jest w temperaturze 750–760°C. Stop ten wypełnia również komorę mieszania elektromagnetycznego **3**, wykonaną z szamotu, w której działa pole elektromagnetyczne generowane przez cewkę indukcyjną **2**. Natężenie prądu płynącego przez cewkę **2** wynosi 560A, natomiast indukcyjność cewki **2** wynosi 27 mH, a temperatura ciekłego metalu w komorze mieszania elektromagnetycznego utrzymywana jest w temperaturze 770–800°C. Cewka indukcyjna **2** umieszczona jest przed krystalizatorem **4** w odległości 0,5–10 cm. W komorze mieszania elektromagnetycznego **3** ciekły metal jest intensywnie mieszany, a następnie wpływa przez kanał zalewowy **6** do krystalizatora **4** chłodzonego wodą gdzie metal krystalizuje i krzepnie. Przepływ wody przez kanał przepływowy **5** krystalizatora **4** wynosi od 20–35 l/min, natomiast prędkość odlewania 120 mm/min.

W wyniku realizacji tak przeprowadzonego procesu ciągłego odlewania otrzymano wyroby o przekroju kołowym i o zróżnicowanym stopniu rozdrobnienia struktury. Dla cewki ustawionej w odległości 1,5 cm (fig. 8) oraz 6 cm (fig. 9) przed krystalizatorem uzyskano odlewy o strukturze drobnoziarnistej, z kolei dla przypadku gdzie cewka oddalona była o jedyne 0,5 cm (fig. 7) struktura była niejednorodna pod względem wielkości ziaren, natomiast ustawienie cewki w odległości 10 cm (fig. 10) nie dało efektu w postaci rozdrobnienia struktury.

Na poniższych fig. 7, 8, 9 i 10 przedstawiono struktury odlewów w gatunku EN AW-6060 z modyfikacją struktury według sposobu będącego przedmiotem wynalazku oraz parametrami odlewania ukazanymi w niniejszym przykładzie, uwzględniając cztery pozycje ułożenia cewki indukcyjnej **2** (odległość cewki od krystalizatora: 0,5 cm; 1,5 cm; 6 cm i 10 cm).

P R Z Y K Ł A D 4

**Wykonanie odlewanych w sposób ciągły płaskowników o wymiarach 30 mm x 5 mm**

Ciekły stop aluminium w gat. EN AW-6060 w komorze pieca topielno-odlewniczego **1** utrzymywany jest w temperaturze 750–760°C. Stop ten wypełnia również komorę mieszania elektromagnetycznego **3**, wykonaną z $Al_2O_3$ (korund), w której działa pole elektromagnetyczne generowane przez cewkę indukcyjną **2**. Natężenie prądu płynącego przez cewkę **2** wynosi 230A, natomiast indukcyjność cewki **2** wynosi 11 mH, a temperatura ciekłego metalu w komorze mieszania elektromagnetycznego utrzymywana jest w temperaturze 770–780°C. Cewka **2** umieszczona jest przed krystalizatorem **4** w odległości 1,5 cm. W komorze mieszania elektromagnetycznego **3** ciekły metal jest intensywnie mieszany, a następnie wpływa przez kanał zalewowy **6** do krystalizatora **4** chłodzonego wodą gdzie metal krystalizuje i krzepnie. Przepływ wody przez kanał przepływowy **5** krystalizatora **4** wynosi od 3–10 l/min, natomiast prędkość odlewania 180 mm/min.

W wyniku realizacji tak przeprowadzonego procesu ciągłego odlewania otrzymano płaskownik o przekroju 30 mm x 5 mm i o rozdrobnionej strukturze.

P R Z Y K Ł A D 5

**Wykonanie odlewanych w sposób ciągły płaskowników o wymiarach 90 mm x 20 mm**

Ciekły stop aluminium w gat. EN AW-6082 w komorze pieca odlewniczego **1** utrzymywany jest w temperaturze 780–800°C. Stop ten wypełnia również komorę mieszania elektromagnetycznego **3**, wykonaną z mieszanin szamotu, korundu i grafitu, w której działa pole elektromagnetyczne generowane przez cewkę indukcyjną **2**. Natężenie prądu płynącego przez cewkę **2** wynosi 560A, natomiast indukcyjność cewki **2** wynosi 27 mH, a temperatura ciekłego metalu w komorze mieszania elektromagnetycznego utrzymywana jest w temperaturze 790–820°C. Cewka **2** umieszczona jest przed krystalizatorem **4** w odległości 1,5 cm. W komorze mieszania elektromagnetycznego **3** ciekły metal jest intensywnie mieszany, a następnie wpływa przez kanał zalewowy **6** do krystalizatora **4** chłodzonego wodą gdzie metal krystalizuje i krzepnie. Przepływ wody przez kanał przepływowy **5** krystalizatora 4 wynosi od 7– 5 l/min, natomiast prędkość odlewania 130 mm/min.

W wyniku realizacji tak przeprowadzonego procesu ciągłego odlewania otrzymano płaskownik o przekroju 90 mm x 20 mm i o rozdrobnionej strukturze.

## Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób odlewania materiałów o drobnoziarnistej strukturze, zwłaszcza odlewów o przekroju okrągłym i średnicy od 30 do 90 mm oraz płaskowników o szerokości od 30mm do 90 mm i grubości od 5mm do 20 mm w linii do poziomego ciągłego odlewania, **znamienny tym**, że metal topi się w piecu topielno-odlewniczym (1), a następnie stopiony metal przepływa do komory mieszania elektromagnetycznego (3) z prędkością 120–180 mm/min, w której przy użyciu cewki indukcyjnej (2) następuje jego intensywnie mieszanie oraz utrzymywana jest temperatura metalu od 770°C do 820°C, a następnie płynny metal wpływa do krystalizatora (4) chłodzonego wodą, a przepływ wody przez krystalizator (4) wynosi od 3 do 35 l/min, gdzie krzepnie i krystalizuje przybierając strukturę drobnoziarnistą.
2. Sposób odlewania materiałów o drobnoziarnistej strukturze według zastrz. 1, **znamienny tym**, że ciekły metal stanowi aluminium i jego stopy, zwłaszcza z serii 6000.
3. Sposób odlewania materiałów o drobnoziarnistej strukturze według zastrz. 1, **znamienny tym**, że temperatura ciekłego metalu w piecu topielno-odlewniczym (1) wynosi od 750°C do 800°C.
4. Sposób odlewania materiałów o drobnoziarnistej strukturze według zastrz. 1, **znamienny tym**, że ciekły metal z pieca topielno-odlewniczego (1), przepływa przez komorę mieszania elektromagnetycznego (3) i krystalizator (4) z prędkością 120–180 mm/min.
5. Sposób odlewania materiałów o drobnoziarnistej strukturze według zastrz. 1, **znamienny tym**, że komora mieszania elektromagnetycznego (3) wykonana z materiału przenikliwego przez pole elektromagnetyczne.
6. Układ do odlewania materiałów o drobnoziarnistej strukturze sposobem według zastrz. 1, zawierających aluminium jako główny składnik, zwłaszcza materiałów o przekroju okrągłym i średnicy od 30 do 90 mm oraz płaskowników o szerokości od 30 mm do 90 mm i grubości od 5 mm do 20 mm w linii do poziomego ciągłego odlewania, składający się z pieca odlewniczego, cewki elektromagnetycznej do mieszania ciekłego metalu oraz krystalizatora, **znamienny tym**, że komora pieca topielno-odlewniczego (1) i komora mieszania elektromagnetycznego (3) tworzą jeden wspólny element układu, gdzie na obwodzie zewnętrznym komory mieszania elektromagnetycznego (3) znajduje się cewka indukcyjna (2) do mieszania ciekłego metalu, przy czym odległość cewki indukcyjnej (2) od krystalizatora (4) wynosi od 1,5 cm do 8 cm i cewka (2) ta zbudowana jest z drutu, który nawinięty jest wokół komory mieszania elektromagnetycznego i do niej bezpośrednio przylega, natomiast kanał zalewowy (6) stanowi wylot komory mieszania elektromagnetycznego (3), który przymocowany jest mechanicznie poprzez połączenie śrubowe do pieca odlewniczego od strony komory mieszania elektromagnetycznego (3) jak również poprzez połączenie śrubowe do krystalizatora (4), wewnątrz którego wydrążony jest kanał przepływowy (5) na medium chłodzące odlewany materiał (7).
7. Układ do odlewania materiałów o drobnoziarnistej strukturze według zastrz. 6, **znamienny tym**, że komora pieca topielno-odlewniczego (1) jest usytuowana prostopadle do komory mieszania elektromagnetycznego (3).
8. Układ do odlewania materiałów o drobnoziarnistej strukturze według zastrz. 6, **znamienny tym**, że komora mieszania (3) oraz kanał zalewowy (6) i krystalizator (4) usytuowane są poosiowo.
9. Układ do odlewania materiałów o drobnoziarnistej strukturze według zastrz. 6, **znamienny tym**, że odległość cewki indukcyjnej (2) od krystalizatora (4) korzystnie wynosi od 1,5 cm do 4 cm.
10. Układ do odlewania materiałów o drobnoziarnistej strukturze według zastrz. 6, **znamienny tym**, że cewka indukcyjna (2) do mieszania ciekłego metalu w polu elektromagnetycznym ma indukcyjność 11–27 mH.
11. Układ do odlewania materiałów o drobnoziarnistej strukturze według zastrz. 6, **znamienny tym**, że komora mieszania elektromagnetycznego (3) wykonana jest z materiału wybranego z listy: grafit, azotek boru, tlenek aluminium $Al_2O_3$ (korund), szamot lub mieszanina szamotu, korundu i grafitu.

## Rysunki

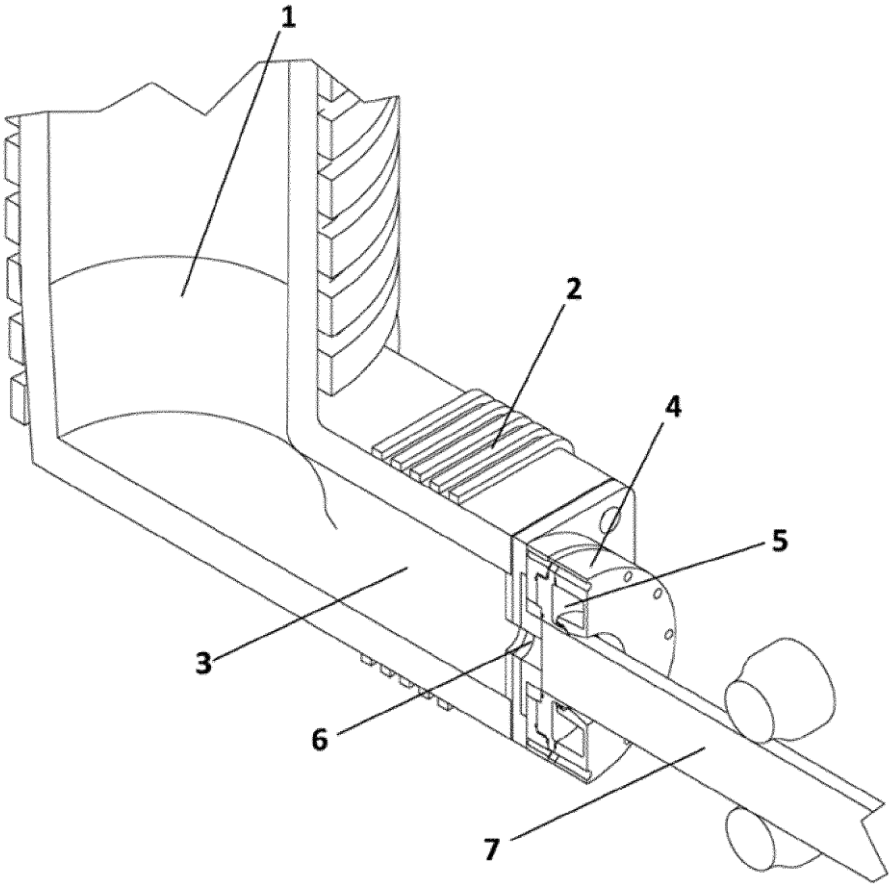
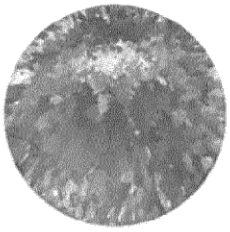
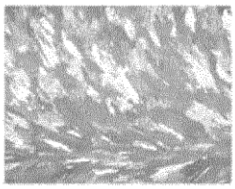
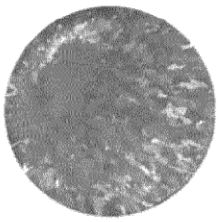
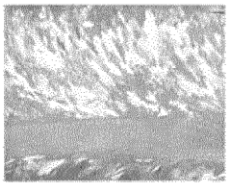
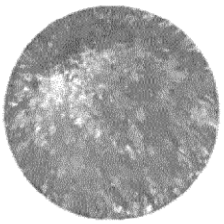
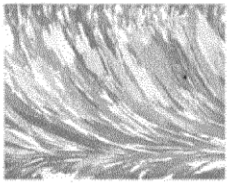
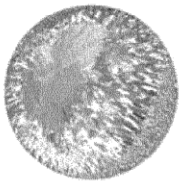
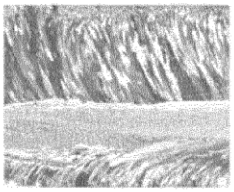
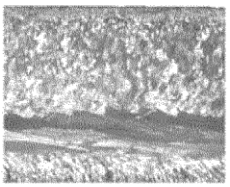
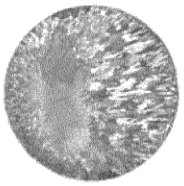
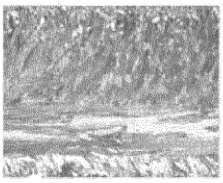
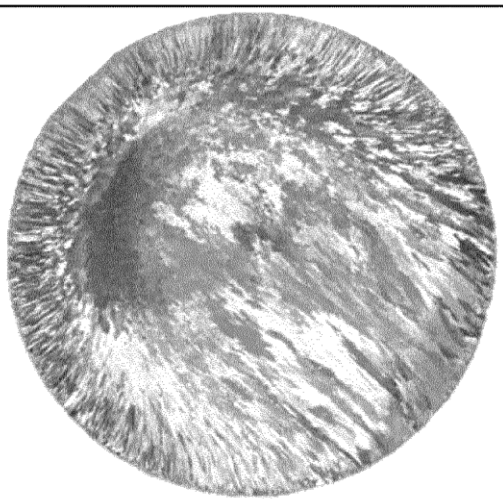



Fig. 1

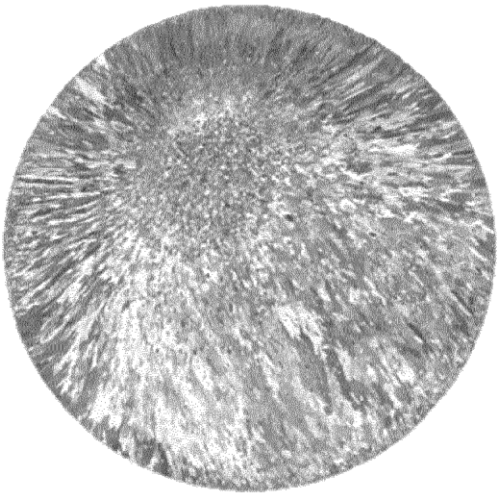
| | | |
|---|---|---|
| A)  B)  Stop EN AW – 6060; Natężenie prądu w cewce 230A | A)  B)  Stop EN AW – 6060; Natężenie prądu w cewce 350A | A)  B)  Stop EN AW – 6060; Natężenie prądu w cewce 560A |
| Fig. 2 | Fig. 3 | Fig. 4 |

| | | |
|---|---|---|
| A)  B)  Stop EN AW – 6082; Natężenie prądu w cewce230A | A) B)  Stop EN AW – 6082; Natężenie prądu w cewce 350A | A)  B)  Stop EN AW – 6082; Natężenie prądu w cewce 560A |
| Fig. 5 | Fig. 6 | Fig. 7 |



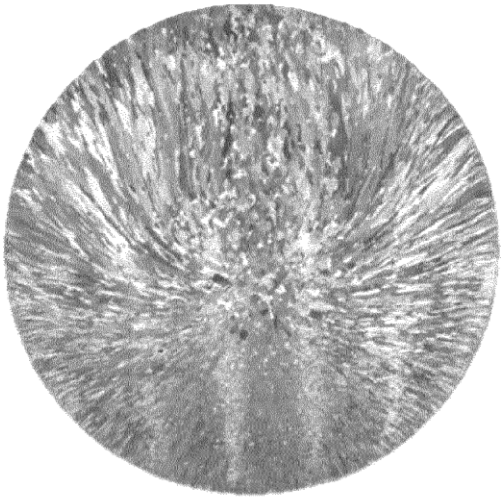
Stop EN AW – 6060;
Odległość cewki od krystalizatora = 0,5cm

Fig. 8



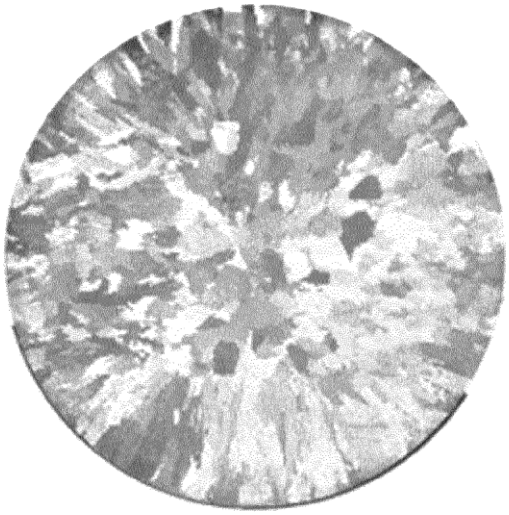
Stop EN AW – 6060;
Odległość cewki od krystalizatora = 1,5cm

Fig. 9



Stop EN AW – 6060;
Odległość cewki od krystalizatora = 6cm

Fig. 10



Stop EN AW – 6060;
Odległość cewki od krystalizatora = 10cm

Fig. 11