

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10)

PL 249752 B1

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **443988**

(22) Data zgłoszenia: **2023.03.07**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2024.09.09 BUP 37/2024**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2026.06.08 WUP 23/2026**

(51)

MKP:

B22D 1/00 (2006.01)

C21C 1/08 (2006.01)

C22C 33/10 (2006.01)

- (73) Uprawniony z patentu:
**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE,
Kraków, PL**
- (72) Twórca(-y) wynalazku:
**GRZEGORZ TĘCZA, Kraków, PL
ANDRZEJ SZCZĘSNY, Kraków, PL**
- (74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Alicja Rogozińska, Warszawa, PL

(54) Tytuł:

Sposób modyfikacji wydzielen węglików pierwotnych w odlewniczych stopach żelaza

PL 249752 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób modyfikacji wydzieli węglików pierwotnych w odlewniczych stopach żelaza.

Stopy odlewnicze na osnowie żelaza z węglem są szeroko rozpowszechnione z uwagi na ich prostą i stosunkowo tanią produkcję. Odpowiednio dobrane metody wytapiania, obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej, a także modyfikacji składu chemicznego pozwalają nadać im znakomite własności m.in. w zakresie odporności na zużycie, odporności na korozję, żaroodporności i żarowytrzymałości, dzięki czemu znajdują one zastosowanie m.in. do wytwarzania pracujących w warunkach wysokiego obciążenia, odlewanych narzędzi odpornych na ścieranie, np. w przemyśle górniczym, wydobywczym i przeróbce materiałów, kruszyw itp., na elementy narzędzi górniczych, kruszarek, frezarek, bijaków, listew kruszących itp. Narzędzia lub ich elementy o wysokiej odporności na ścieranie wykonuje się najczęściej metodą odlewania precyzyjnego.

Wymagane własności uzyskuje się za pomocą pierwiastków stopowych, wśród których specjalną grupę stanowią pierwiastki węglikotwórcze, stosowane w celu uzyskania efektu umocnienia twardą fazą w postaci węglików, które przy odpowiedniej morfologii i rozkładzie powodują, że stopy odlewnicze łączą w sobie właściwości typowe dla metali, takie jak plastyczność i ciągliwość, i typowe dla ceramiki, takie jak duża wytrzymałość i wysoka twardość.

Decydujący wpływ na właściwości stopów odlewniczych Fe-C ma stopień jednorodności rozkładu fazy umacniającej (węglików) w osnowie oraz morfologia samych wydzieli węglikowych. W innych materiałach odlewniczych, np. w stopach aluminium, stosuje się wytwarzanie kompozytowych tworzyw metalicznych przez wprowadzanie do ciekłego stopu cząstek ceramicznych, np. węglików Ti, W, V, rozwiązanie to jednak nie sprawdziło się w przypadku stopów Fe-C.

Dodatek pierwiastków silnie węglikotwórczych, takich jak Ti, Nb, V, W, Zr, Hf i Ta, jest zatem pożądanym z punktu widzenia własności odlewów, jednak węgliki pierwotne powstające w procesie metalurgicznym stopów Fe-C z udziałem tych pierwiastków mają najczęściej postać ścianowych wydzieli o ostrych krawędziach i/lub tworzą ciągłą siatkę po granicach ziaren. Przy odlewaniu gotowych elementów narzędzi ze stopu o możliwie dużym udziale objętościowym węglików, ograniczeniem jest leñość stopu, która maleje ze wzrostem ilości węglików pierwotnych. Przy dużym udziale objętościowym węglików, mają one tendencję do tworzenia skupisk, przez co nie są one równomiernie rozmieszczone w objętości, a powstające w ciekłej stali cząstki są najczęściej listwowe, płytkowe, ścianowe lub pręcikowe co znacznie obniża odporność odlewów na pękanie.

Znany jest szereg rozwiązań, prowadzących do poprawy struktury wydzieli w stopach odlewniczych Fe-C. Tak np. w Pat.216943 oraz P.407278, P.415314, P.417810 i P.417811 są ujawnione odlewnicze stopy żelaza i sposoby ich wytwarzania, polegające na wytwarzaniu w strukturze materiału węglików zwiększających odporność na ścieranie przez wprowadzanie do wsadu metalowego lub już do roztopionego stopu odlewniczego pierwiastków węglikotwórczych, a następnie modyfikowanie morfologii wydzieli węglikowych po zakończeniu procesu wytapiania, przed odlewaniem lub w kadzi, w ramach obróbki pozapiecowej. Jednak modyfikowanie morfologii i rozkładu powstałych już wcześniej w piecu, pierwotnych wydzieli węglikowych o niekorzystnym kształcie i rozkładzie, w ramach obróbki pozapiecowej nie przynosi zadowalających rezultatów, zarówno wskutek trudności w utrzymaniu wymaganej temperatury, jak też wskutek tego, że pozapiecowa modyfikacja ciekłego stopu nie przynosi znaczących zmian morfologii pierwotnie wytworzonych węglików pierwiastków stopowych.

Prowadzone są próby modyfikowania ciekłego stopu przez wdmuchiwanie gotowych proszków z węglików metali, bądź wytwarzanie podczas reakcji chemicznych stref kompozytowych w odlewach przez zamontowanie wkładek wykonanych z proszków metali. Znane też jest wytwarzanie przez autora węglików pierwotnych podczas wytapiania stali, i odlewanie z niej stopów odpornych na ścieranie.

W P.440950 jest opisany narzędziowy stop odlewniczy o wysokiej twardości i sposób jego wytwarzania, w którym po roztopieniu dodatków stopowych, wymieszaniu ciekłej stali, wyrównaniu temperatury oraz odtlenieniu metalu wprowadza się pierwiastek węglikotwórczy. Tak otrzymany metal odlewa się do kadzi, a następnie do form i poddaje się obróbce cieplnej, polegającej na hartowaniu i odpuszczaniu, otrzymując w rezultacie strukturę z węglnikami pierwotnymi rozmieszczonymi równomiernie w osnowie. Modyfikacje stopów odlewniczych na osnowie Fe-C umacnianych węglnikami prowadzi się według stanu techniki po zakończeniu procesu wytapiania, przed odlewaniem lub w kadzi. Opis ten nie dotyczy modyfikacji morfologii węglików pierwotnych.

W metalurgii stopów odlewniczych znane są również procesy sferoidyzacji (modyfikacji) wydzieleni grafitu z zastosowaniem modyfikatorów magnezowych. W literaturze patentowej, np. Pat.184889, Pat.180800, Pat.223581, Pat.220397, Pat.220050, Pat.204604, Pat.234059, Pat.169001, Pat.204607, Pat.205125 oraz Pat.180800, jest opisanych wiele rozwiązań, dotyczących sposobów i urządzeń do modyfikacji wydzieleni grafitowych w żeliwie, jak też postaci i składu chemicznego samych modyfikatorów magnezowych. Modyfikacji wydzieleni grafitowych dokonuje się w ramach obróbki pozapiecowej, w strudze lanego metalu lub w kadzi. Proces ten, podobnie jak wspomniana powyżej obróbka cieplna, nie wpływa znacząco na morfologię wytworzonych już wcześniej węglików pierwotnych, wobec czego w strukturze odlewów nadal występują listwowe, płytkowe, ścianowe lub pręcikowe cząstki, pogarszające własności odlewów, zwłaszcza ich odporność na pękanie.

W patentach amerykańskich US6511554B1 i US6511554B1 są ujawnione sposoby wytwarzania odlewniczych stopów żelaza o wysokiej zawartości manganu, umacnianych węglkami wanadu. W sposobach uzyskuje się sferoidalną postać węglików wanadu przez doprowadzanie ciekłego metalu w piecu do temperatury znacznie przekraczającej typowy zakres temperatur wytapiania. Gwałtowne „wrzenie” ciekłego metalu w obecności Mg powoduje rozproszenie pęcherzyków gazu w objętości ciekłego metalu, wytwarzając miejsca zarodkowania węglików wanadu i nadając im sferoidalny kształt. Sposoby te wymagają stosowania bardzo wysokiej temperatury topienia. Pociąga to za sobą problemy związane z trwałością wymurówki pieca, a także z nadmiernym zużyciem energii, co z kolei pociąga za sobą znaczący wzrost kosztów produkcji i jest nieprzyjemne dla środowiska.

Na obecną chwilę brak jest rozwiązania, które pozwoliłoby w prosty, tani w eksploatacji i nieobciążający nadmiernie środowiska sposób uzyskać w stopach na osnowie żelaza z węglem nie tylko korzystną morfologię i rozkład wydzieleni grafitu, ale także jednorodny rozkład i sferoidalny kształt wydzieleni węglików pierwotnych. Ponadto, z uwagi na znacznie mniejszą masę właściwą magnezu w stosunku do stopu na osnowie Fe-C, jego niską temperaturę wrzenia oraz duże powinowactwo do tlenu, w trakcie procesu następuje szybki ubytek zawartości magnezu w ciekłym metalu, co prowadzi do osłabienia efektu modyfikacji.

U podstaw wynalazku leży zatem zadanie, polegające na zaproponowaniu prostego i taniego w eksploatacji sposobu modyfikacji wydzieleni węglików pierwotnych w odlewniczych stopach żelaza, za pomocą którego w stopie na osnowie żelaza z węglem można uzyskać owalne (globularne, sferoidalne) wydzieliska węglików pierwotnych, które po odlaniu są równomiernie rozmieszczone w osnowie stopu, zaś efekt modyfikacji jest trwały.

Sposób modyfikacji wydzieleni węglików pierwotnych w odlewniczych stopach żelaza według wynalazku charakteryzuje się tym, że

- a) do pieca dostarcza się materiał wsadowy w postaci surówki hutniczej o znanym składzie lub innego złomu, lub ich mieszaniny;
- b) materiał wsadowy topi się, nagrzewając do temperatury wymaganej do stopienia wszystkich składników, miesza do wyrównania temperatury w całej objętości ciekłego metalu, następnie odtlenia, po czym określa się skład chemiczny stopionego materiału wsadowego;
- c) w przypadku stwierdzenia różnic pomiędzy składem chemicznym materiału wsadowego a zadaniem składem chemicznym materiału odlewu uzupełnia się skład chemiczny ciekłego metalu w piecu dożądanego składu zadanego, wprowadzając do odtlenionego ciekłego metalu stopniowo, by nie obniżać jego temperatury, wymagane dodatki stopowe w odpowiedniej ilości, z wyłączeniem pierwiastków węglkotwórczych obejmujących Ti, Nb, V, W, Zr, Hf i Ta, i po stopieniu wszystkich składników miesza się zawartość pieca do wyrównania temperatury;
- d) dodaje się modyfikator magnezowy w tak dobranej ilości, by zawartość Mg w ciekłym metalu wynosiła 0,01–0,05% masowych;
- e) do ciekłego metalu wprowadza się stopniowo, by nie obniżać jego temperatury, co najmniej jeden pierwiastek węglkotwórczy, wybrany spośród Ti, Nb, V, W, Zr, Hf i Ta, w ilości odpowiadającej zadanemu składowi chemicznemu odlewianego metalu;
- f) po wprowadzeniu ostatniej porcji co najmniej jednego pierwiastka węglkotwórczego i uzyskania w ten sposób zadanego składu chemicznego, ciekły metal wygrzewa się w piecu do wyrównania składu chemicznego w całej objętości i uzyskania jednolitej temperatury spustu metalu do kadzi;
- g) przeprowadza się spust metalu do kadzi;
- h) do ciekłego metalu w kadzi dodaje się ponownie modyfikator magnezowy w tak dobranej ilości, by zawartość Mg w ciekłym metalu wynosiła 0,01–0,05% masowych; oraz
- i) ciekły metal o zadanym składzie chemicznym odlewa się z kadzi do formy.

Korzystnie łączna zawartość pierwiastków węglilotwórczych, wybranych spośród Ti, Nb, V, W, Zr, Hf i Ta, wynosi od 1% mas. do 15% mas.

Korzystnie w pierwszym i drugim etapie modyfikacji stosuje się ten sam modyfikator magnezowy.

Korzystnie w pierwszym i drugim etapie modyfikacji stosuje się różne modyfikatory magnezowe.

Szczególną cechą sposobu według wynalazku jest zatem dwustopniowa modyfikacja staliwa lub żeliwa w stanie ciekłym, tj. ciekłego stopu żelaza z węglem i innymi pierwiastkami, przeprowadzana w piecu, nie zaś, jak ma to miejsce w stanie techniki, poza piecem. Okazało się nieoczekiwanie, że dodanie modyfikatora magnezowego do znajdującego się w piecu, ciekłego metalu przed wprowadzeniem do niego pierwiastków węglilotwórczych, wpływa bezpośrednio na morfologię węglików pierwotnych, pozwalając na otrzymywanie stopów o strukturze wielofazowej/kompozytowej z wytworzonymi bezpośrednio w piecu pierwotnymi węglnikami metali o żądanym owalnym, globularnym i kulistym kształcie, rozmieszczonymi równomiernie w osnowie Fe-C. W tym celu sposób według wynalazku proponuje dwustopniową modyfikację ciekłego stopu, obejmującą etap pierwszy, polegający na takiej zmianie składu chemicznego ciekłej stali podczas wytapiania, by poprzez modyfikację ciekłego metalu za pomocą odpowiedniej ilości modyfikatora uzyskać zawartość Mg w ciekłym metalu, zapewniającą sferoidyzację węglików pierwotnych, oraz etap drugi, który przeprowadza się tuż przed odlewaniem metalu do formy, za pomocą tego samego lub innego dostępnego modyfikatora, tak by utrzymać zawartość Mg w ciekłym metalu wymaganą dla działania modyfikatora przez wystarczająco długi czas aż do zakrzepnięcia stopu.

Według nowego rozwiązania, aby powstające cząstki węglików pierwotnych były owalne, globularne i sferoidalne, należy jeszcze przed dodaniem pierwiastków węglilotwórczych przeprowadzić modyfikację ciekłego stopu, tak aby jego stan fizykochemiczny pozwalał na tworzenie się owalnych cząstek. Zanim doda się pierwiastki węglilotwórcze, które według stanu techniki prowadzą nieuchronnie w warunkach wytopu w piecu do tworzenia wydzieliń o kształcie listwowym, płytkowym, ścianowym lub pręcikowym, mających tendencję do tworzenia skupisk (aglomeratów), przeprowadza się zatem pierwszy etap modyfikacji, polegający na tym, że do kąpeli ciekłego metalu w piecu wprowadza się magnez. Magnez może przy tym pochodzić z dowolnego dostępnego na rynku modyfikatora, korzystnie w postaci FeSi+Mg (70-95+30-5% mas.), ale także w innej postaci stopów, zapraw lub mieszanin. Modyfikację ciekłego metalu można przeprowadzić np. przez dodanie mieszaniny Fe-Si+Mg o zawartości Mg zazwyczaj od 5 do 30% mas. Ilość modyfikatora dobiera się w ramach rutynowej wiedzy inżynierskiej tak, by przed wprowadzeniem pierwiastków węglilotwórczych zawartość Mg w ciekłej stali wynosiła 0,01–0,05% mas. Taka ilość magnezu zapewnia warunki sprzyjające sferoidyzacji węglików pierwotnych. Po dwustopniowej modyfikacji w strukturze wytworzonych w ten sposób odlewów występują owalne, globularne i sferoidalne wydzieliska węglików, równomiernie rozłożone w objętości odlewu.

Wprowadzenie modyfikatora przed wprowadzeniem pierwiastków węglilotwórczych zapobiega powstawaniu węglików pierwotnych o kształcie listwowym, płytkowym, ścianowym lub pręcikowym, mających tendencję do tworzenia skupisk, i zapewnia uzyskanie pożądanego owalnego kształtu wydzieliń węglików pierwotnych.

Nieoczekiwanie okazało się, że wprowadzenie modyfikatora do ciekłego metalu przed dodaniem do niego pierwiastków węglilotwórczych powoduje taką zmianę stanu fizykochemicznego ciekłego metalu, że powstają w nim węgliki pierwotne o owalnym (sferoidalnym) kształcie, które nadają wytwarzanym z metalu odlewom pożądaną strukturę, nieobciążoną wadami wynikającymi z obecności płaskich wydzieliń, rozmieszczonych nierównomiernie w strukturze stopu.

Taka struktura zapewnia znaczącą poprawę odporności na pękanie odlewów o dużym udziale objętościowym węglików, co z kolei pozwala na odlewanie narzędzi ze stopu o założonym składzie chemicznym i bezpośrednie otrzymywanie narzędzi, co jest metodą prostą, szybką i taną. Tego typu stopy po odpowiedniej obróbce cieplnej lub cieplno-chemicznej, mogą stać się konkurencyjne dla materiałów wytwarzanych metodą metalurgii proszków.

Sposób według wynalazku można stosować do wszystkich stopów odlewniczych na osnowie żelaza z węglem, nadając im przez celową modyfikację morfologii pierwotnych wydzieliń węglkowych oraz ich równomierne rozmieszczenie w osnowie znakomite własności mechaniczne, zwłaszcza odporność na zużycie. Sposób jest prosty w realizacji, a także ekonomiczny, ponieważ prowadzi się go w typowym, dającym się skutecznie kontrolować zakresie temperatur przy użyciu typowych dostępnych materiałów wsadowych, tj. surówki hutniczej, złomu lub ich mieszanin oraz żelazostopów. W sposobie według wynalazku można stosować wszystkie dostępne na rynku modyfikatory magnezowe, jak również

wszystkie znane w stanie techniki metody modyfikacji. Sposób według wynalazku nadaje się do zastosowania w każdej odlewni w ramach istniejących urządzeń, nie wymaga zatem dodatkowych nakładów na nowe oprzyrządowanie ani skomplikowane techniki pomiarowe.

Dobór ilości i składu modyfikatora, jak również metody jego wprowadzania do ciekłego metalu są kwestią rutynowego doboru inżynierskiego, dokonywanego przez znawcę w zakresie metalurgii stopów żelaza, i nie są przedmiotem niniejszego wynalazku. Znaawca dysponujący odpowiednią wiedzą i doświadczeniem jest w stanie dobrać parametry modyfikacji odpowiednio do zastosowanego materiału wsadowego, składu metalu, własności odlewów, a także w zależności od możliwości technologicznych, czyli urządzeń i materiałów dostępnych w danej odlewni. To samo dotyczy parametrów topienia wsadu, doboru rodzaju i ilości odtleniacza, kontroli składu chemicznego ciekłego metalu i parametrów odlewania, które stanowią rutynowe procedury w odlewniach i nie wymagają tutaj bliższego opisu.

Przykład wykonania wynalazku zostanie objaśniony szczegółowo poniżej z odniesieniem do rysunku, na którym figura 1 przedstawia mikrostrukturę żeliwa wysokostopowego po klasycznej modyfikacji ciekłej stali przed odlaniem według stanu techniki, z widocznymi płytkowymi wydzieleniami węglików pierwotnych, zaś figura 2 – mikrostrukturę żeliwa wysokostopowego po dwustopniowej modyfikacji ciekłej stali według wynalazku, z widocznymi owalnymi, równomiernie rozmieszczonymi wydzieleniami węglików pierwotnych.

Przeprowadzono proces otrzymywania żeliwa wanadowego o dużej odporności na ścieranie, z wytworzonymi owalnymi węglkami wanadu, w którym ciekły metal podczas wytapiania przed dodaniem pierwiastków węglilotwórczych poddano modyfikacji przez wprowadzenie FeSi-Mg (80–20% mas.). Po pierwszej operacji modyfikacji dodano pierwiastki węglilotwórcze, a po ich roztopieniu i wymieszaniu ciekłego metalu, przed odlaniem do formy, przeprowadzono drugą operację modyfikacji przy użyciu tego samego modyfikatora magnezowego.

Wytapianie prowadzono w piecu indukcyjnym o pojemności tygla 10 kg dla żeliwa wanadowego, tj. stopu odlewniczego Fe-C z wanadem. Jako wsadu użyto 6420 g złomu własnego surówki zawierającej 93% mas. Fe, 4,5% mas. C, 0,03% mas. Mn, 0,30% mas. Si, 0,02% mas. Cr i 0,02% mas. Ni, reszta inne dodatki i nieuniknione zanieczyszczenia. Wsad załadowano na dno tygla przed włączeniem pieca. Po roztopieniu wsadu, nagrzaniu metalu do około 1500°C, wymieszaniu i wyrównaniu temperatury, metal odtleniono za pomocą aluminium w ilości 10 g, po czym dodano porcjami, tak, aby nie obniżać temperatury kąpeli metalowej, żelazostopy w ilości 117 g Fe-Mn80, 42 g Fe-Si75, 642 g Fe-Mo60, 101 g Fe-W90 oraz 101 g chromu (99,9% Cr).

Po roztopieniu dodatków stopowych, wymieszaniu ciekłej stali i wyrównaniu temperatury, metal poddano pierwszej modyfikacji, wprowadzając do ciekłej stali metodą prętową około 85 g FeSi-Mg 80-20, a następnie dodawano porcjami, w taki sposób aby nie obniżać temperatury kąpeli metalowej, pierwiastek węglilotwórczy w postaci żelazostopy Fe-V80 w ilości 1712 g. Po dodaniu ostatniej porcji żelazostopy, ciekły metal przetrzymano w piecu przez około 10 min. w celu wyrównania składu chemicznego i uzyskania temperatury zalewania formy (1550÷1600°C).

Przed odlaniem metalu do formy przeprowadzono drugi etap modyfikacji ciekłej stali, używając metody prętowej, za pomocą której wprowadzono, analogicznie do pierwszej modyfikacji, około 85 g FeSi-Mg 80-20.

Ciekle żeliwo poddano zatem dwustopniowej modyfikacji, po pierwsze przed wprowadzeniem dodatków węglilotwórczych, po drugie zaś przed odlaniem, wprowadzając każdorazowo do ciekłego metalu Mg w takiej ilości, by po modyfikacji/sferoidyzacji i odlaniu jego zawartość w stopie wynosiła 0,01–0,05% mas.

W ten sposób otrzymano żeliwo wanadowe o wysokiej twardości i odporności na ścieranie, którego skład chemiczny przedstawiono w tabeli 1, reszta Fe i nieuniknione zanieczyszczenia.

Tabela 1
Skład chemiczny otrzymanego żeliwa wanadowego

Skład chemiczny [% mas.]											
C	Mn	Si	P	S	Mo	Cr	Ni	W	Al	V	Mg
3,5	0,9	1,5	0,02	0,02	4,4	1,0	0,01	0,8	0,03	15	0,02

Na fig. 2 przedstawiono przykładową mikrostrukturę żeliwa wysokowanadowego poddanego dwustopniowej modyfikacji według wynalazku. Uzyskano mikrostrukturę, składającą się z osnowy i owalnych węglików pierwotnych równomiernie rozmieszczonych w osnowie stopu. Strukturę tę porównano do przykładowej mikrostruktury żeliwa wysokowanadowego, modyfikowanego według stanu techniki przed odlewaniem metalu do formy (fig. 1). Uzyskana mikrostruktura składa się z osnowy i węglików wanadu o charakterze płytkowym, występujących w obrębie ziaren. Skład chemiczny żeliwa wanadowego otrzymanego sposobem znanym ze stanu techniki przedstawiono w tabeli 2, reszta Fe i nieuniknione zanieczyszczenia.

Tabela 2

Skład chemiczny żeliwa wanadowego modyfikowanego borem według stanu techniki

Skład chemiczny [% mas.]											
C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	W	Al	V	B	Mg
3,3	0,6	0,5	0,03	0,03	1,7	2,9	2,8	0,04	13	0,003	<0,001

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób modyfikacji wydzieliń węglików pierwotnych w odlewniczych stopach żelaza, w którym:
 - a) do pieca dostarcza się materiał wsadowy w postaci surówki hutniczej o znanym składzie lub innego złomu, lub ich mieszaniny;
 - b) materiał wsadowy topi się, nagrzewając do temperatury wymaganej do stopienia wszystkich składników, miesza do wyrównania temperatury w całej objętości ciekłego metalu, następnie odtlenia, po czym określa się skład chemiczny stopionego materiału wsadowego;
 - c) w przypadku stwierdzenia różnic pomiędzy składem chemicznym materiału wsadowego a zadaniem składem chemicznym materiału odlewu uzupełnia się skład chemiczny ciekłego metalu w piecu dożądanego składu zadanego, wprowadzając do odtlenionego ciekłego metalu stopniowo, by nie obniżyć jego temperatury, wymagane dodatki stopowe w odpowiedniej ilości, z wyłączeniem pierwiastków węglilotwórczych obejmujących Ti, Nb, V, W, Zr, Hf i Ta, i po stopieniu wszystkich składników miesza się zawartość pieca do wyrównania temperatury;
 - d) dodaje się modyfikator magnezowy w tak dobranej ilości, by zawartość Mg w ciekłym metalu wynosiła 0,01–0,05% masowych;
 - e) do ciekłego metalu wprowadza się stopniowo, by nie obniżyć jego temperatury, co najmniej jeden pierwiastek węglilotwórczy, wybrany spośród Ti, Nb, V, W, Zr, Hf i Ta, w ilości odpowiadającej zadanemu składowi chemicznemu odlewanego metalu;
 - f) po wprowadzeniu ostatniej porcji co najmniej jednego pierwiastka węglilotwórczego i uzyskania w ten sposób zadanego składu chemicznego, ciekły metal wygrzewa się w piecu do wyrównania składu chemicznego w całej objętości i uzyskania jednolitej temperatury spustu metalu do kadzi;
 - g) przeprowadza się spust metalu do kadzi;
 - h) do ciekłego metalu w kadzi dodaje się ponownie modyfikator magnezowy w tak dobranej ilości, by zawartość Mg w ciekłym metalu wynosiła 0,01–0,05% masowych; oraz
 - i) ciekły metal o zadanym składzie chemicznym odlewa się z kadzi do formy.
2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że łączna zawartość pierwiastków węglilotwórczych, wybranych spośród Ti, Nb, V, W, Zr, Hf i Ta, wynosi od 1% mas. do 15% mas.
3. Sposób według zastrz. 1 albo 2, **znamienny tym**, że w pierwszym i drugim etapie modyfikacji stosuje się ten sam modyfikator magnezowy.
4. Sposób według zastrz. 1 albo 2, **znamienny tym**, że w pierwszym i drugim etapie modyfikacji stosuje się różne modyfikatory magnezowe.

Rysunki

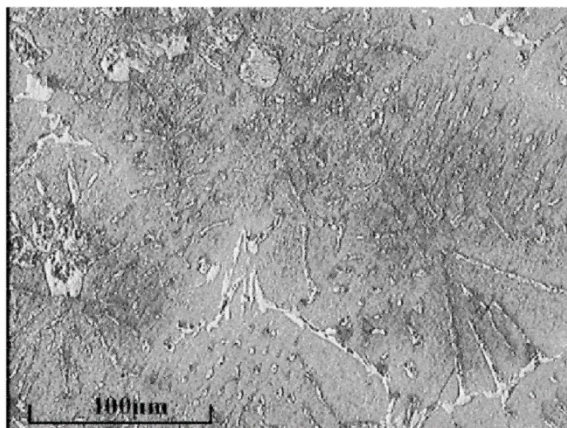


Fig. 1.

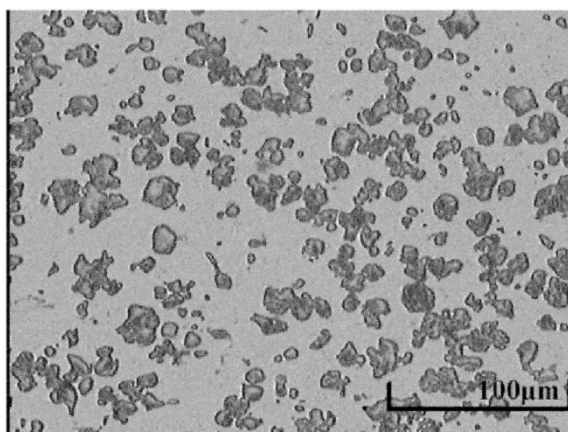


Fig. 2.