

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **222343**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **400856**

(22) Data zgłoszenia: **21.09.2012**

(51) Int.Cl.

**B22D 27/00 (2006.01)**

**B22D 27/02 (2006.01)**

**B22D 25/00 (2006.01)**

**B82B 3/00 (2006.01)**

**B22D 11/15 (2006.01)**

(54)

**Sposób wytwarzania nanokompozytów na osnowie metalowej**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

**31.03.2014 BUP 07/14**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

**29.07.2016 WUP 07/16**

(73) Uprawniony z patentu:

**POLITECHNIKA ŚLĄSKA, Gliwice, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**SŁAWOMIR GOLAK, Katowice, PL**

(74) Pełnomocnik:

**rzec. pat. Urszula Ziółkowska**

**PL 222343 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób wytwarzania nanokompozytów na osnowie metalowej poprzez wytwarzanie zjawiska kawitacji w odlewie przy pomocy zmiennego pola elektromagnetycznego wysokiej częstotliwości.

Nanokompozyty na osnowie metalowej zbrojone cząstkami o rozmiarach mniejszych niż 1  $\mu\text{m}$  charakteryzują się wysoką wytrzymałością przy zachowaniu dobrej plastyczności, odpornością na pękanie w wysokich temperaturach i dobrą wytrzymałością zmęczeniową.

Dotychczas opracowano wiele technik wytwarzania tych materiałów, takich jak: stopowanie mechaniczne, natryskiwanie, osadzanie laserowe, itp. Metody te charakteryzują się nierzadko niską efektywnością, energochłonnością i wysokimi kosztami oraz często są ograniczone do wytwarzania cienkich folii lub płytek.

Konkurencyjna dla nich metoda odlewnicza charakteryzuje się większą efektywnością i niższymi kosztami oraz pozwala wytwarzać produkty o złożonych kształtach. Jednakże zastosowanie nanocząstek jako zbrojenia powoduje szereg trudności. Podstawowym problemem, spowodowanym wysoką lepkością zawiesziny kompozytowej, słabą zwilżalnością cząstek przez ciekły metal i dużym stosunkiem ich powierzchni do objętości, jest uzyskanie jednorodnego rozkładu cząstek w ciekłym metalu. Skutkuje to niepożądanym agregowaniem, łączeniem się nanocząstek w klastry i pogorszeniem właściwości odlewu.

Drogą do rozwiązania tego problemu jest wykorzystanie ultradźwięków wysokiej mocy. Technika ta znana z wielu opisów patentowych jest wykorzystywana do ujednorodnienia różnego rodzaju kompozytów (US nr 6 253 831 B1 (2001)) i nanokompozytów (US nr 2004/0 016 318, CN nr 1 958 816 (2007), US nr 7 465 365 B1 (2008), US nr 7 509 993 B1 (2009), US nr 2009/0 162 574).

Zastosowanie ultradźwięków w procesie odlewania kompozytów i nanokompozytów wiąże się z pewnymi problemami. Pierwszym jest ograniczenie obszaru oddziaływania pola akustycznego do strefy pod głowicą ultradźwiękową. Drugim jest niebezpieczeństwo korozji w agresywnym środowisku ciekłego metalu głowicy ultradźwiękowej i zanieczyszczenia zawiesziny kompozytowej. W publikacji P. Padij, S. I Kar w *A Novel router for development of Bulk Al/SiC Metal Matrix Nano Composites* (Journal of Nanotechnology, v. 2011) zaproponowano ominięcie problemu rozpuszczania głowicy poprzez napromieniowanie ultradźwiękowe odlewu z zewnątrz, przez stalową formę. Jednakże metoda wiąże się koniecznością dogrzewania metalu w formie, co jest utrudnione przy bardziej złożonych geometriach odlewu.

Zgłoszenie US nr 2011/0 247 778 A1 proponuje rozwiązanie ograniczenia obszaru działania ultradźwięków poprzez sprzężone oddziaływanie pola elektromagnetycznego i ultradźwięków na metal w procesie wytwarzania *in situ* klasycznych, mikroskopowych kompozytów, w celu wzajemnego uzupełnienia braków tych technik. Pole elektromagnetyczne oddziałuje tu bezpośrednio na cząstki w zakresie jego głębokości wnikania (przy ścianie formy) i powoduje mieszanie ciekłego metalu, a pole ultradźwiękowe wytwarzane przez głowicę oddziałuje na środkową strefę odlewu. Wykorzystanie pola elektromagnetycznego jedynie do mieszania ciekłej zawiesziny w celu ujednorodnienia kompozytu po zalaniu formy było proponowane w kilku zgłoszeniach patentowych (US nr 4 901 781 (1990), US nr 6 253 831 (2001), US nr 2012/0 060 648 A1).

W patentach US nr 4 523 628 (1985) i US nr 4 530 4004 (1985) zaproponowano modyfikację procesu odlewania elektromagnetycznego metali (nie kompozytów) prowadzonego w trybie ciągłym, poprzez zastosowanie układu wzbudnika zasilanego prądem stałym i wzbudnika zasilanego prądem zmiennym. Interakcja statycznego i zmiennego pola magnetycznego wytwarza w ciekłym metalu wibracje korzystnie wpływające na rozdrobnienie jego struktury, jednak rozwiązanie nie zakłada wytworzenia akustycznej fali stojącej i zjawiska kawitacji. Konieczność stosowania dwóch wzbudników ogranicza możliwy do uzyskania obszar oddziaływania wibracji na metal, ograniczając praktycznie rozwiązanie do ciągłego odlewania.

W opisie zgłoszenia patentowego US nr 2006/0 096 732 przedstawiono wykorzystanie wibracji elektromagnetycznych do rozdrobnienia struktury metalu w oparciu o zjawisko kawitacji poprzez wymuszenie przy pomocy elektrod przepływu prądu zmiennego w obecności statycznego pola magnetycznego. Niedogodnością tego rozwiązania jest niebezpieczeństwo rozpuszczenia się elektrod w ciekłym metalu i jego zanieczyszczenie.

Sposób według wynalazku polega na tym, że wstępnie przygotowaną zawiesiną nanocząstek w ciekłym metalu zalewa się (grawitacyjnie, ciśnieniowo lub odśrodkowo) formę odlewniczą z materia-

tu o niskiej konduktywności (np. ceramiczną, grafitową) odtwarzającą kształt gotowego wyrobu lub półproduktu. Metal w formie poddaje się działaniu wytwarzanego przez wzbudnik zmiennego pola elektromagnetycznego indukującego w metalu prądy wirowe. Interakcja prądów wirowych w metalu oraz indukcji magnetycznej wytwarzanej przez ten wzbudnik powoduje powstanie siły Lorentza działającej (w kierunku prostopadłym do kierunku indukcji i kierunku prądu) na ciekły metal przy ścianie formy, w zakresie głębokości wnikania pola elektromagnetycznego. Okresowe zmiany prądu zasilającego wzbudnik powodują okresowe zmiany siły Lorentza oddziałującej na ciekłym metalu o częstotliwości dwukrotnie wyższej od częstotliwości prądu zasilającego wzbudnik. W wyniku zmian sił działających na metal przy granicy odlewu, powstaje fala akustyczna przemieszczająca się ku jego wnętrzu. Zasilanie wzbudnika prądem o częstotliwości równej połowie częstotliwości drgań własnych odlewu pozwala uzyskać w ciekłym metalu akustyczną falę stojącą o energii wystarczającej do wystąpienia zjawiska kawitacji. Tworzenie i zapadanie się pęcherzyków kawitacyjnych w ciekłym metalu i związane z tym powstawanie fal uderzeniowych i obszarów wysokich temperatur i ciśnień powoduje rozbitcie niepożądanych klastrów nanocząstek, poprawę jednorodności ich rozkładu w ciekłym metalu oraz zwiększenie zwilżalności nanocząstek przez ciekły metal. Częstotliwość zasilania wzbudnika może zostać dobrana eksperymentalnie poprzez wykrycie w drodze pomiarów powstania zjawiska rezonansu w odlewie lub obliczona na podstawie geometrii odlewu, wzbudnika i właściwości ciekłego metalu. Wzbudnik jest zasilany do czasu zakrzepnięcia odlewu, a następnie pozostawiony do wystudzenia i zakrzepnięcia.

W przypadku, gdy ilość ciepła Joule'a wytwarzanego w odlewie w wyniku działania pola elektromagnetycznego jest bliska lub przekracza ilość ciepła oddawanego przez ściany formy utrudniając lub uniemożliwiając zakrzepnięcie odlewu, możliwe jest wyłączenie zasilania wzbudnika przed zakrzepnięciem odlewu, co umożliwi jego wystudzenie i zakrzepnięcie.

W sytuacji, gdy geometria odlewu powoduje, że charakteryzuje się on kilkoma podstawowymi częstotliwościami drgań własnych, wzbudnik można zasiląć prądem o dwóch lub więcej wysokich częstotliwościach, stanowiących połowę tych częstotliwości własnych. Wzbudnik oprócz zasilania prądem częstotliwości równej połowie częstotliwości drgań własnych odlewu w celu wywołania zjawiska kawitacji może być zasilany prądem niskiej częstotliwości w celu mieszania elektromagnetycznego zawiesiny kompozytowej i poprawy jednorodności nanokompozytu w obszarach nie poddanych bezpośredniemu działaniu fali akustycznej. Istnieje możliwość wykorzystania w tym celu także dodatkowego, dedykowanego wzbudnika zasilanego prądem niskiej częstotliwości.

W przypadku odlewu o złożonej geometrii, gdzie nie istnieje możliwość wytworzenia przy pomocy pojedynczego wzbudnika fali stojącej w całym odlewie, można zastosować w różnych jego strefach odrębne wzbudniki zasilane prądem stanowiącym połowę częstotliwości drgań własnych danej strefy. Dla trudniejszych geometrii odlewów, gdzie nie można uzyskać efektu kawitacji w całej formie lub ważnych jej obszarach, zawieszinę kompozytową można poddać działaniu zmiennego pola elektromagnetycznego wysokiej częstotliwości przed wlaniem jej do formy odlewniczej, gdzie częstotliwość zasilania wzbudnika będzie równa połowie częstotliwości drgań własnych umieszczonego w nim tygla, w którym zawieszina jest przygotowywana.

Tą samą technikę polegającą na wywołaniu przez działanie zmiennego pola elektromagnetycznego zjawiska kawitacji można zastosować dla odlewów metalowych, niekompozytowych w celu ujednorodnienia i rozdrobnienia ich struktury.

Sposób według wynalazku pozwala zwiększyć efektywność i zmniejszyć koszty wytwarzania wyrobów nanokompozytowych, ponieważ jest metodą bezkontaktową, drgania w metalu są wymuszane indukcyjnie, nie występuje problem korozji głowicy ultradźwiękowej lub elektrod, a wywołana działaniem pola elektromagnetycznego fala ultradźwiękowa oddziałuje w całej objętości odlewu.

#### P r z y k ł a d

W celu wytworzenia w procesie odlewania tulei kompozytowej o średnicy zewnętrznej 65 mm, wysokości 65 mm i grubości ścianki 8 mm z aluminium zbrojonego nanocząstkami SiC należy wstępnie przygotować zawieszinę kompozytową poprzez mielenie proszku SiC, wprowadzenie uzyskanych nanocząstek w stężeniu 3% wagowych do ciekłego metalu i np. mechaniczne wymieszanie z czystym aluminium. Tak przygotowaną zawieszinę zalewa się wstępnie nagrzaną formę ceramiczną (w celu opóźnienia krzepnięcia metalu) umieszczoną wewnątrz cylindrycznego wzbudnika zasilanego prądem o natężeniu 600 A i częstotliwości 90 kHz (uwzględniającej szybkość rozchodzenia się dźwięku w ciekłym aluminium i grubość ścianki odlewu w celu wytworzenia fali stojącej). Średnica wewnętrzna wzbudnika wynosi 90 mm, a wysokość równa się wysokości odlewu. Grubość zewnętrznej ścianki formy wynosi 10 mm. Po ostygnięciu wyrób może zostać wydobyty z formy.

## Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób wytwarzania nanokompozytu na osnowie metalowej za pomocą pola elektromagnetycznego, **znamienny tym**, że przygotowaną zawiesziną nanocząstek w ciekłym metalu zalewa się formę odlewniczą z materiału o niskiej konduktywności odwzorowującej kształt wyrobu lub półproduktu, a następnie zawieszinę poddaje się działaniu zmiennego pola elektromagnetycznego wysokiej częstotliwości, które wytwarza się za pomocą wzbudnika, przy czym częstotliwość zasilania wzbudnika stanowi połowę częstotliwości drgań własnych ciekłego odlewu, wytwarza się akustyczna fala stojąca, a w jej wyniku następuje zjawisko kawitacji, które powoduje rozbicie niepożądanych klastrów nanocząstek, zwiększa się jednorodność ich rozkładu w ciekłym metalu oraz poprawia się zwilżalność nanocząstek przez ciekły metal, po czym po czasie, gdy nastąpi zakrzepnięcie odlewu, wyłącza się zasilanie wzbudnika i następuje całkowite wystudzenie odlewu.

2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że w przypadku, gdy ilość ciepła wytwarzanego w odlewie w wyniku działania pola elektromagnetycznego jest bliska lub przekracza ilość ciepła oddawanego przez ściany formy utrudniając lub uniemożliwiając zakrzepnięcie odlewu, po czasie, gdy nastąpi ujednorodnienie zawiesziny, wyłącza się zasilanie wzbudnika i następuje wystudzenie odlewu i jego zakrzepnięcie.

3. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że w przypadku gdy geometria odlewu powoduje, że charakteryzuje się on kilkoma podstawowymi częstotliwościami drgań własnych, wzbudnik zasila się prądem o dwóch lub więcej wysokich częstotliwościach, stanowiących połowę tych częstotliwości własnych.

4. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że wzbudnik oprócz zasilania prądem częstotliwości równej połowie częstotliwości drgań własnych odlewu w celu wywołania zjawiska kawitacji zasila się prądem niskiej częstotliwości w celu mieszania elektromagnetycznego zawiesziny kompozytowej.

5. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że wykorzystuje się dodatkowo dedykowany wzbudnik zasilany prądem niskiej częstotliwości w celu mieszania elektromagnetycznego zawiesziny kompozytowej.

6. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że w przypadku odlewu o złożonej geometrii, stosuje się w różnych jego strefach odrębne wzbudniki zasilane prądem stanowiącym połowę częstotliwości drgań własnych danej strefy.

7. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że działaniu pola elektromagnetycznego poddaje się odlewy jednofazowe (niekompozytowe) w celu ujednorodnienia i rozdrobnienia ich struktury.

8. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że zawieszinę kompozytową poddaje się działaniu zmiennego pola elektromagnetycznego wysokiej częstotliwości, przed zalaniem formy odlewniczej, gdzie częstotliwość zasilania wzbudnika jest równa połowie częstotliwości drgań własnych umieszczonego w nim tygła, w którym zawieszina jest przygotowywana.