

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **221275**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **403444**

(51) Int.Cl.
B23P 17/04 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **05.04.2013**

(54)

Sposób wytwarzania drutów ze stopów Cu-Ag

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

13.10.2014 BUP 21/14

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

31.03.2016 WUP 03/16

(73) Uprawniony z patentu:

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE,
Kraków, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**ARTUR KAWECKI, Kraków, PL
TADEUSZ KNYCH, Kraków, PL
ANDRZEJ MAMALA, Kraków, PL
PAWEŁ KWAŚNIEWSKI, Kraków, PL
GRZEGORZ KIESIEWICZ, Kraków, PL
BEATA SMYRAK, Bulowice, PL
ELIZA SIEJA-SMAGA, Dobra, PL**

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Anna Górka

PL 221275 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób wytwarzania drutów, w tym mikrodrutów, ze stopów Cu-Ag, a zwłaszcza ze stopu Cu-(8÷15)% wag. Ag, który poprzez zastosowanie odpowiednio dobrej, sekwencyjnej obróbki cieplno-mechanicznej umożliwia otrzymanie wyrobu finalnego o zespole bardzo wysokich własności wytrzymałościowych i wysokiej przewodności elektrycznej.

Wysokowytrzymałe i wysokoprzewodzące elementy ze stopów miedzi i srebra (w zakresie dodatku 8÷15%wag. Ag) znajdują zastosowanie w produkcji m.in. drutów, wiązek, kształtowników wykorzystywanych np. jako elementy zasilające uzwojeń generatorów silnych pól magnetycznych, przy np. 60÷80 Tesli dla magnesów pulsacyjnych, 35÷45 Tesli dla magnesów hybrydowych, przy dopuszczalnych temperaturach eksploatacji do 150°C. Wyroby ze stopów Cu-Ag o zawartości srebra 8÷15%wag. Ag posiadają korzystniejszy zespół własności mechanicznych i elektrycznych niż np. stopy Cu/SS (stainless steel) lub Cu/Ti, które dotychczas stosowane są w podzespołach pracujących pod działaniem silnych pól magnetycznych. Materiały o wysokiej przewodności elektrycznej odznaczające się równocześnie wysokimi własnościami wytrzymałościowymi, a do takich należą stopy Cu-Ag, minimalizują emitowane w skutek przepływu prądu przez przewodnik ciepło Joule'a, a także pulsacje magnetyczne (siła Lorentza), na które działanie narażony jest materiał podczas jego eksploatacji. Ponadto, stopy Cu-Ag znajdują również zastosowanie jako druty i przewody w elektroenergetyce i elektrotechnice, a także jako elementy składowe układów zasilających i sygnałowych infrastruktury kolei dużej prędkości oraz w systemach bezpieczeństwa w branży motoryzacyjnej.

Najnowsze światowe trendy w dziedzinie elektroenergetyki i elektroniki użytkowej zmierzają do redukcji masy stosowanych wyrobów jak również miniaturyzacji podzespołów i urządzeń przy jednoczesnym zachowaniu a nawet podwyższeniu ich własności eksploatacyjnych. Dotychczas stosowane materiały w analizowanych dziedzinach techniki to przewodowe stopy na bazie miedzi, zawierające oprócz miedzi np. Nb, Be, Zr, Cr, Mg. Jednak stopy te oprócz stosunkowo wysokich własności wytrzymałościowych charakteryzują się niską przewodnością elektryczną.

Wyroby ze stopów Cu-Ag oprócz wysokich własności wytrzymałościowych, charakteryzują się również ponadstandardowo wysokimi wartościami przewodności elektrycznej. Szereg światowych rozwiązań skupia się na kształtowaniu tych własności poprzez dobór odpowiedniej technologii otrzymywania i przetwarzania materiałów. Prace badawcze prowadzone w jednostkach naukowych i instytucjach badawczych na całym świecie zmierzają do uzyskania drutów o bardzo wysokich własnościach mechanicznych i jednocześnie jak najwyższej przewodności elektrycznej. Wśród znanych rozwiązań technologicznych uzyskania stopów można wyróżnić wytwarzanie wlewków o różnym kształcie przekroju poprzecznego i skończonej długości oraz systemy ciągłego topienia i odlewania gwarantujące otrzymywanie materiału teoretycznie nieskończonej długości.

Analiza światowych rozwiązań wskazuje, że uzyskane w ten sposób stopy Cu-Ag są następnie przetwarzane wg różnych technologii, w szczególności technologii przeróbki plastycznej, np. walcowania, kucia, ciągnięcia, wyciskania, przy czym stosowane są zabiegi obróbki cieplnej na różnym etapie obróbki mechanicznej w celu podwyższania własności wytrzymałościowych elektrycznych wyrobów.

Z japońskiego zgłoszenia patentowego nr JP 2001-40439, znany jest sposób otrzymywania materiałów ze stopów Cu-Ag na cele elektromagnetyczne. Według tego rozwiązania materiał uzyskany w procesie odlewania posiadał średnicę od 16 do 35 mm w zależności od zawartości składnika stopowego (od 0,6 do 15%wag. Ag). Właściwy proces obróbek cieplno-mechanicznych przewidywał na przemian występujące operacje wygrzewania odkształconego materiału (przy odkształceniu nie mniejszym niż 70%) w warunkach 300÷500°C w czasie 0,5÷5 godzin lub w warunkach 450÷500°C w czasie 10÷20 godzin. Kolejno zastosowane zostało ponowne odkształcenie nie mniejsze niż 80% lub 95%. Tak dobrany system operacji powtarzany był jedno, dwukrotnie lub w zależności od konieczności podwyższania własności proporcjonalnie zwiększany z zachowaniem jednakowych kolejności sekwencji. W wyniku przytoczonego opisu patentowego przewiduje się uzyskanie parametrów wytrzymałościowych i elektrycznych odpowiednio w zakresach 53÷135 kG/mm ($R_m = 519\div1300$ MPa) przy przewodności elektrycznej w granicach 58÷95% IACS (100% IACS=58,0 MS/m). Główną cechą metodologii opracowanej według omawianego rozwiązania są sekwencje przeróbki plastycznej i obróbki cieplnej występujące względem siebie naprzemiennie.

Znane rozwiązanie posiadające w swej technologii możliwości kształtowania materiałów wysokich własności wytrzymałościowo-elektrycznych zostało opublikowane również w amerykańskim opisie patentowym nr US 6,800,151 B1. Zgodnie z założeniami patentowymi, badaniom poddany został materiał o szczególnych zastosowaniach jako elementy składowe generatorów silnych pól magnetycznych. Według tego rozwiązania materiałem wyjściowym były blachy ze stopu Cu-Ag o zawartości $4\div 32\%$ wag. Ag. Podstawowym procesem przeróbki plastycznej, w wyniku którego następowało odkształcenie był proces walcowania. Operacje przeróbki plastycznej połączone zostały z zabiegami obróbki cieplnej realizowanej w warunkach próżni, w atmosferze gazu obojętnego w warunkach $150\div 400^\circ\text{C}$ przez czas $0,5\div 5$ godzin. Proces wygrzewania następował po kolejno zadanych operacjach odkształcenia na zimno. Przykładowy schemat obróbki przewidywał wstępne odkształcenie materiału o wymiarach poprzecznych: wysokość 50 mm, szerokość 200 mm. W ten sposób uzyskany wlewek został poddany procesowi odkształcenia na wysokość 21 mm oraz jednej operacji obróbki cieplnej w temperaturze 450°C w czasie 1 godziny w atmosferze gazu obojętnego. Następnie zastosowano ponowne odkształcenie z gniotem 70-cio procentowym, na wysokość 6,3 mm oraz wygrzewanie w temperaturze 400°C przez okres 1 godziny. Ostateczna grubość wyrobu wyniosła 0,4 mm. Przewodność elektryczna oraz wytrzymałość na rozciąganie osiągnęły wartość odpowiednio 80% IACS oraz $R_m = 800$ MPa.

Znane jest również z amerykańskiego zgłoszenia patentowego nr US 5,534,087 rozwiązanie przedstawiające metodę produkcji materiałów ze stopów Cu-Ag na cele elektryczne w szczególności jako materiały przewodzące wykorzystywane w projektowaniu generatorów silnych pól magnetycznych. Stop z opisu patentowego posiada od 10 do 20% at. Ag ($15\div 25\%$ wag. Ag). Sposób według tego rozwiązania zakłada przeprowadzenie wstępnego odkształcenia prętów otrzymanych w procesie ciągłego odlewania do poziomu nie mniejszego niż 80%. Po obróbce plastycznej następuje obróbka cieplna materiału w temperaturze w zakresie $250\div 350^\circ\text{C}$ przez czas 1 godziny bądź więcej. To pozwala na uzyskanie drutów o wytrzymałości na rozciąganie równej $R_m = 1000$ MPa oraz przewodności elektrycznej 75% IACS.

Wspólną wadą przedstawionych rozwiązań jest niewykorzystanie w pełni możliwości korzystnego kształtowania mikrostruktury stopów Cu-Ag, a co z tym związane, możliwości wytwarzania drutów o jeszcze wyższym zespole własności wytrzymałościowych i elektrycznych.

Wielosekwencyjne procesy obróbki cieplno-mechanicznej, przy niekorzystnie dobranych zakresach temperatur w połączeniu z nadmiernie wydłużonym czasem obróbki cieplnej, nie wpływają efektywnie na maksymalizację własności wytrzymałościowych i elektrycznych. Ponadto, dodatkowe międzyoperacyjne zabiegi obróbki cieplnej (związane nieodzwrotnie z generowaniem kosztów całkowitej produkcji), stosowane na niewłaściwym etapie wytwarzania drutów, nie przekładają się w pełni na wysoki zespół własności wytrzymałościowych i elektrycznych wyrobu finalnego.

Celem wynalazku jest osiągnięcie spójnej, zintegrowanej metody wytwarzania elementów w postaci drutów, w tym mikrodrutów, obejmującej proces ciągłego topienia i odlewania prętów z podeutektycznych stopów Cu-Ag zawartości srebra w stopie od 8 do 15% wag. oraz sekwencyjną obróbkę cieplną połączoną z ciągnięciem, umożliwiającą otrzymanie drutów i mikrodrutów o wytrzymałości na rozciąganie w przedziale $R_m = 1100\div 1500$ MPa i równocześnie przewodności elektrycznej w przedziale $64\div 82\%$ IACS.

Istota rozwiązania według wynalazku polega na tym, że materiały w postaci srebra i miedzi o wysokiej czystości chemicznej poddawane są procesowi topienia w temperaturze $1083\div 1300^\circ\text{C}$ w tyglu grafitowym umieszczonym w piecu, a następnie poddawane są procesowi odlewania ciągłego w temperaturze $1083\div 1300^\circ\text{C}$ w atmosferze gazu obojętnego przy zastosowaniu krystalizatora grafitowego w warunkach chłodzenia pierwotnego (chłodzenie krystalizatora) oraz wtórnego (zakrzepniętego stopu po wyjściu z krystalizatora), po czym tak otrzymany odlew poddawany jest obróbce cieplno-mechanicznej.

Korzystnie w trakcie obróbki cieplno-mechanicznej uzyskany odlew podlega przesycaniu w temperaturze $600\div 779,1^\circ\text{C}$ przez okres $0,5\div 100$ godzin, a następnie zostaje szybko schłodzony, po czym poddany zostaje wstępnemu odkształceniu w procesie ciągnięcia, o mierze odkształcenia rzeczywistego $0,1\div 1$, a następnie podlega procesom kolejnej dwuetapowej obróbki cieplnej, po czym jest odkształcany w procesie ciągnięcia na druty o średnicy finalnej.

Korzystnie w trakcie obróbki cieplno-mechanicznej uzyskany odlew podlega przesycaniu w temperaturze $600\div 779,1^\circ\text{C}$ przez okres $0,5\div 100$ godzin, zostaje szybko schłodzony, a następnie

podlega procesom kolejnej dwuetapowej obróbki cieplnej, po czym jest odkształczany w procesie ciągnięcia na druty o średnicy finalnej.

Korzystnie dwuetapowa obróbka cieplna polega na tym, że w pierwszym etapie następuje wygrzewanie w warunkach 150÷300°C przez okres 0,1÷100 godzin, po czym – w drugim etapie – następuje wygrzewanie w temperaturze 300÷500°C w czasie 0,1÷20 godzin, a następnie powolne chłodzenie.

Korzystnie podczas odkształcania materiału na druty o średnicy finalnej nie następuje międzyoperacyjna obróbka cieplna lub następuje co najmniej jedna międzyoperacyjna obróbka cieplna w zakresie 200÷600°C przez okres 0,1÷20 godzin, a następnie powolne chłodzenie.

Korzystnie podczas odkształcania materiału na druty o średnicy finalnej nie następuje międzyoperacyjna obróbka cieplna lub następuje co najmniej jedna międzyoperacyjna obróbka cieplna w zakresie 600÷900°C przez okres 0,1÷1000 sekund, a następnie szybkie chłodzenie.

Korzystnie druty o średnicy finalnej poddane zostają końcowej obróbce cieplnej w temperaturze 50÷250°C w czasie 0,1÷1000 godzin zakończonej powolnym chłodzeniem.

Korzystnie po przesyleniu odlew zostaje szybko schłodzony w wodzie.

Korzystnie po przesyleniu odlew zostaje szybko schłodzony w oleju.

Korzystnie po przesyleniu odlew zostaje szybko schłodzony w ciekłym azocie.

Korzystnie po przesyleniu odlew zostaje szybko schłodzony w emulsji.

Korzystnie tygiel grafitowy wykonany jest z grafitu wysokiej czystości, w którym składniki stopowe umieszczone są pod warstwą węgla drzewnego lub grafitu.

Korzystnie tygiel grafitowy znajduje się w atmosferze ochronnej.

Korzystnie krystalizator grafitowy chłodzony jest za pomocą osadzonej na nim instalacji, przez którą przepływa medium chłodzące (system chłodzenia pierwotnego).

Korzystnie odlew opuszczający krystalizator jest dodatkowo chłodzony poprzez medium chłodzące podawane bezpośrednio na odlew (system chłodzenia wtórnego).

Szczególną zaletą rozwiązania według wynalazku jest zastosowanie wstępnej obróbki cieplnej odlewu (proces przesylenia z homogenizacją), brak wstępnego odkształcania lub zastosowanie wstępnego odkształcania materiału, a następnie złożonej obróbki cieplnej, składającej się z dwóch etapów występujących jeden po drugim (starzenie pierwotne i starzenie wtórne), która korzystnie modyfikuje mikrostrukturę stopów przed ich odkształceniem na wyrób finalny, który poddany jest końcowej obróbce cieplnej, zapewniającej osiągnięcie wysokich własności wytrzymałościowych i wysokiej przewodności elektrycznej.

Rozwiązanie według wynalazku w przykładach wykonania przedstawiono w Tabeli 1, w której na przykładzie dwóch stopów Cu-Ag o różnej zawartości srebra, zaprezentowano sposób otrzymywania drutów (mikrodrutów) oraz zestawienie własności wytrzymałościowych i elektrycznych na poszczególnych etapach wytwarzania wyrobu.

Tabela 1

Zawartość Ag [%wag.]		8	15
Średnica [mm]		14	
Własności odlewu	R _m , MPa	260	290
	% IACS	83	81
Obróbka cieplna [°C/h] (przesykanie)		750/15 – chłodzenie w oleju	750/20 – chłodzenie w wodzie
Odkształcenie rzeczywiste ϵ_{rz}		0,4	brak
Własności	R _m , MPa	380	nie dotyczy
	% IACS	76	nie dotyczy
Obróbka cieplna [°C/h] (starzenie pierwotne)		250/10	200/20
		chłodzenie w powietrzu	
Obróbka cieplna [°C/h] (starzenie wtórne)		450/10 – chłodzenie w powietrzu	

Własności	R _m , MPa	350	370
	% IACS	94	93
Odształcenie rzeczywiste ϵ_{rz}		3	
Własności	R _m , MPa	640	680
	% IACS	82	84
Obróbka cieplna [°C/h]		350/2 – chłodzenie na powietrzu	brak
Własności	R _m , MPa	570	nie dotyczy
	% IACS	86	nie dotyczy
Średnica finalna drutu o przekroju okrągłym [mm]		0,15	
Odształcenie rzeczywiste ϵ_{rz}		9,1	
Obróbka cieplna końcowa [°C/h]		150/100	200/2
		chłodzenie w powietrzu	
Własności	R _m , MPa	1240	1380
	% IACS	74	65

Sposób otrzymywania mikrodrutów ze stopów Cu-Ag opisują poniższe przykłady.

Przykład 1

Materiały w postaci granulatu srebra o wysokiej czystości 99,99% oraz miedzi z gatunku OFE poddane zostały procesowi topienia w temperaturze 1230°C w tyglu grafitowym umieszczonym w piecu indukcyjnym. Proces odlewania ciągłego prowadzony był w temperaturze 1230°C w atmosferze gazu obojętnego. Proces odlewania ciągłego prętów o kompozycji chemicznej Cu-8%wag. Ag, przy zastosowaniu krystalizatora grafitowego odbywał się przy warunkach chłodzenia pierwotnego (chłodzenie krystalizatora) oraz wtórnego (zakrzepniętego stopu po wyjściu z krystalizatora). Otrzymane w wyniku procesu odlewania pręty o okrągłym przekroju poprzecznym posiadały średnicę 14 mm oraz typową strukturę odlewniczą. Pręty w stanie po odlaniu posiadały wytrzymałość na rozciąganie $R_m = 260$ MPa oraz przewodność elektryczną odpowiadającą 83% IACS ($100\%IACS=58,0MS/m$). Tak uzyskany materiał został poddany procesom obróbki cieplno-mechanicznej. Odlew podlegał przesycaaniu w temperaturze 750°C przez okres 15 godzin, a następnie został szybko schłodzony w oleju w celu zatrzymania homogenicznej struktury materiału. Dalszy schemat postępowania obejmował zadanie niewielkiego odkształcenia w procesie ciągnięcia, o mierze odkształcenia rzeczywistego 0,4. Po tym procesie pręty posiadały wytrzymałość na rozciąganie $R_m = 380$ MPa oraz przewodność elektryczną odpowiadającą 76% IACS. Następnie przeprowadzono proces dwuetapowego starzenia, które miało na celu wyprowadzenie maksymalnej ilości srebra z jednorodnego roztworu stałego Cu-Ag. Starzenie pierwotne (pierwszy etap) przeprowadzono w warunkach 250°C przez okres 10 godzin. Starzenie wtórne (drugi etap) następowało w temperaturze 450°C w czasie 10 godzin. Po przeprowadzonych zabiegach wstępnej obróbki cieplnej, mikrostruktura stopu składała się obok istniejącej struktury eutektycznej również z bardzo licznych drobnych wydzielań srebra w osnowie miedzi oraz wydzielań miedzi w obszarach wzbogaconych w srebro. Po tym procesie pręty posiadały wytrzymałość na rozciąganie $R_m = 350$ MPa oraz przewodność elektryczną odpowiadającą 94% IACS. Następnie, materiał był odkształcony w procesie ciągnięcia na druty z odkształceniem rzeczywistym 2,7 po czym poddany był międzyoperacyjnej obróbce cieplnej polegającej na wygrzewaniu w temperaturze 350°C przez okres 2 godzin. Po tym procesie pręty posiadały wytrzymałość na rozciąganie $R_m = 570$ MPa oraz przewodność elektryczną odpowiadającą 86% IACS. Następnie, materiał był odkształcony w procesie ciągnięcia na druty o średnicy finalnej. W celu podwyższenia własności elektrycznych, druty o średnicy finalnej poddane zostały końcowej obróbce cieplnej w temperaturze 150°C w czasie 100 godzin. Ostatecznie, druty o średnicy 0,15 mm o odkształceniu rzeczywistym 9,1 posiadały wytrzymałość na rozciąganie $R_m = 1240$ MPa oraz przewodność elektryczną odpowiadającą 74% IACS. Finalna mikrostruktura drutu, obserwowana na jego przekroju wzdłużnym, przedstawiała bardzo liczną

ne, wydłużone, cienkie pasma srebra na tle osnowy miedzi, korzystne dla uzyskania zespołu wysokich własności wytrzymałościowych i wysokiej przewodności elektrycznej wyrobu.

Przykład 2

Materiały w postaci granulatu srebra o wysokiej czystości 99,99% oraz miedzi z gatunku OFE poddane zostały procesowi topienia w temperaturze 1240°C w tyglu grafitowym umieszczonym w piecu indukcyjnym. Proces odlewania prowadzony był w temperaturze 1240°C w atmosferze gazu obojętnego. Proces odlewania prętów o kompozycji chemicznej Cu-15%wag. Ag, przy zastosowaniu krystalizatora grafitowego odbywał się przy warunkach chłodzenia pierwotnego (chłodzenie krystalizatora) oraz wtórnego (zakrzepniętego stopu po wyjściu z krystalizatora). Otrzymane w wyniku procesu odlewania pręty o okrągłym przekroju poprzecznym posiadały średnicę 14 mm, wytrzymałość na rozciąganie $R_m = 290$ MPa oraz przewodność elektryczną 81% IACS. Tak uzyskany materiał został poddany procesom obróbki cieplno-mechanicznej. Odlew podlegał przesycaniu w temperaturze 750°C przez okres 20 godzin, a następnie został szybko schłodzony w wodzie w celu zatrzymania homogenicznej struktury materiału. Następnie przeprowadzono proces dwuetapowego starzenia, które miało na celu wyprowadzenie maksymalnej ilości srebra z jednorodnego roztworu stałego Cu-Ag. Starzenie pierwotne (pierwszy etap) przeprowadzono w warunkach 200°C przez okres 20 godzin. Starzenie wtórne (drugi etap) następowało w temperaturze 450°C w czasie 10 godzin. Po przeprowadzonych zabiegach wstępnej obróbki cieplnej, mikrostruktura stopu składała się obok istniejącej struktury eutektycznej również z bardzo licznych drobnych wydzielań srebra w osnowie miedzi oraz wydzielań miedzi w obszarach wzbogaconych w srebro. Po tym procesie pręty posiadały wytrzymałość na rozciąganie $R_m = 370$ MPa oraz przewodność elektryczną odpowiadającą 93% w skali IACS. Następnie, materiał był odkształcony w procesie ciągnięcia na druty o średnicy finalnej. W celu podwyższenia własności elektrycznych, druty o średnicy finalnej poddane zostały obróbce cieplnej w temperaturze 200°C w czasie 2 godzin. Ostatecznie, druty o średnicy 0,15 mm o odkształceniu rzeczywistym 9,1 posiadały wytrzymałość na rozciąganie $R_m = 1380$ MPa oraz przewodność elektryczną 65% IACS. Finalna mikrostruktura drutu obserwowana na jego przekroju wzdłużnym przedstawiała bardzo liczne, wydłużone, cienkie pasma srebra w osnowie miedzi, korzystne dla uzyskania zespołu wysokich własności wytrzymałościowych i wysokiej przewodności elektrycznej wyrobu.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób wytwarzania drutów, w tym mikrodrutów, ze stopów Cu-Ag, a zwłaszcza ze stopów Cu-(8÷15)%wag. Ag, **znamienny tym**, że materiały w postaci srebra i miedzi o wysokiej czystości chemicznej poddawane są procesowi topienia w temperaturze 1083÷1300°C w tyglu grafitowym umieszczonym w piecu, a następnie poddawane są procesowi odlewania ciągłego w temperaturze 1083÷1300°C w atmosferze gazu obojętnego przy zastosowaniu krystalizatora grafitowego w warunkach chłodzenia pierwotnego (chłodzenie krystalizatora) oraz wtórnego (zakrzepniętego stopu po wyjściu z krystalizatora), po czym tak otrzymany odlew poddawany jest obróbce cieplno-mechanicznej.

2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że w trakcie obróbki cieplno-mechanicznej uzyskany odlew podlega przesycaniu w temperaturze 60÷779,1°C przez okres 0,5÷100 godzin, a następnie zostaje szybko schłodzony, po czym poddany zostaje wstępnemu odkształceniu w procesie ciągnięcia, o mierze odkształcenia rzeczywistego 0,1÷1, a następnie podlega procesom kolejnej dwuetapowej obróbki cieplnej, po czym jest odkształcany w procesie ciągnięcia na druty o średnicy finalnej.

3. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że w trakcie obróbki cieplno-mechanicznej uzyskany odlew podlega przesycaniu w temperaturze 600÷779,1°C przez okres 0,5÷100 godzin, a następnie zostaje schłodzony z szybkością większą niż proces wydzielenia składników z roztworu stałego, a następnie podlega procesom kolejnej dwuetapowej obróbki cieplnej, po czym jest odkształcany w procesie ciągnięcia na druty o średnicy finalnej.

4. Sposób według zastrz. 2, **znamienny tym**, że dwuetapowa obróbka cieplna polega na tym, że w pierwszym etapie następuje wygrzewanie w warunkach 150÷300°C przez okres 0,1÷100 godzin, po czym – w drugim etapie – następuje wygrzewanie w temperaturze 300÷500°C w czasie 0,1÷20 godzin, a następnie powolne chłodzenie.

5. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że podczas odkształcania materiału na druty o średnicy finalnej nie następuje międzyoperacyjna obróbka cieplna lub następuje co najmniej jedna

międzyoperacyjna obróbka cieplna w zakresie 200÷600°C przez okres 0,1÷20 godzin, a następnie powolne lub szybkie chłodzenie.

6. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że podczas odkształcania materiału na druty o średnicy finalnej nie następuje międzyoperacyjna obróbka cieplna lub następuje co najmniej jedna międzyoperacyjna obróbka cieplna w zakresie 600÷900°C przez okres 0,1÷1000 sekund, a następnie powolne lub szybkie chłodzenie.

7. Sposób według zastrz. 2 albo 3, **znamienny tym**, że druty o średnicy finalnej poddane zostają końcowej obróbce cieplnej w temperaturze 50÷250°C w czasie 0,1÷1000 godzin zakończonej powolnym chłodzeniem.

8. Sposób według zastrz. 2, **znamienny tym**, że po przesyceniu odlew zostaje szybko schłodzony w wodzie.

9. Sposób według zastrz. 2, **znamienny tym**, że po przesyceniu odlew zostaje szybko schłodzony w oleju, a zwłaszcza w oleju technicznym.

10. Sposób według zastrz. 2, **znamienny tym**, że po przesyceniu odlew zostaje szybko schłodzony w ciekłym azocie.

11. Sposób według zastrz. 2, **znamienny tym**, że po przesyceniu odlew zostaje szybko schłodzony w emulsji, o stężeniu oleju w wodzie od 3 do 25%.

12. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że tygiel grafitowy wykonany jest z grafitu wysokiej czystości, w którym składniki stopowe umieszczane są pod warstwą węgla drzewnego lub grafitu.

13. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że tygiel grafitowy znajduje się w atmosferze ochronnej.

14. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że tygiel krystalizator grafitowy chłodzony jest za pomocą osadzonej na nim instalacji, przez którą przepływa medium chłodzące (system chłodzenia pierwotnego).

15. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że odlew opuszczający krystalizator jest dodatkowo chłodzony poprzez medium chłodzące podawane bezpośrednio na odlew (system chłodzenia wtórnego).

