RZECZPOSPOLITA POLSKA

Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **236793**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **428136**

(22) Data zgłoszenia: **17.04.2017**

(86) Data i numer zgłoszenia międzynarodowego:
17.04.2017, PCT/RU17/000238

(87) Data i numer publikacji zgłoszenia międzynarodowego:
07.12.2017, WO17/209646

(51) Int.Cl.
C22C 21/00 (2006.01)

(54) **Stop na bazie aluminium oraz jego zastosowanie**

(30) Pierwszeństwo:
31.05.2016, RU, 2016121619

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
07.10.2019 BUP 21/19

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
22.02.2021 WUP 04/21

(73) Uprawniony z patentu:
OBSHCHESTVO S OGRANICHENNOY OTVETSTVENNOST'YU OBEDINENNAYA KOMPANIYA RUSAL INZHENERNO-TEKHNOLOGICHESKIY TSENTR, Krasnoyarsk, RU

(72) Twórca(y) wynalazku:
ALEKSANDR YUR'EVICH KROKHIN, Moskwa, RU
ALEKSANDR NIKOLAEVICH ALABIN, Moskwa, RU
ANTON SERGEEVICH ZAJTSEV, Krasnoyarsk, RU
VIKTOR FEDOROVICH FROLOV, Krasnoyarsk, RU
LEONID PETROVICH TRIFONENKOV, Krasnoyarsk, RU
ALEKSANDR VLADIMIROVICH STRELOV, Shlekhov, RU

(74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Piotr Kamiński

PL 236793 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest stop na bazie aluminium oraz jego zastosowanie.

Niniejszy wynalazek dotyczy dziedziny metalurgii, w szczególności stopu na bazie aluminium, a także wyrobów z określonego stopu, i może być wykorzystany do wytwarzania artykułów elektrycznych, szczególnie przy produkcji wyrobów kablowo-przewodowych do instalacji elektrycznych budynków i budowli.

Dodawanie do aluminium dodatków stopowych prowadzi do zmniejszenia przewodnictwa elektrycznego, dlatego drut zwykle jest wykonywany z aluminium technicznego (A5E lub A7E) lub ze stopów o małej zawartości materiałów stopowych, co zapewnia wysokie przewodnictwo elektryczne, niską gęstość i dobrą odporność na korozję.

Najbardziej rozpowszechnione w produkcji elektrotechnicznej drutu jest aluminium techniczne typu A5E, a w szczególności przykładem zastosowania takiego drutu jest produkcja przewodów powietrznych wysokonapięciowych linii elektroenergetycznych. W stanie utwardzonym drut z aluminium technicznego zapewnia udane połączenie właściwości wytrzymałościowych, oporności właściwej i wartości wyrobów przewodnikowych. Jednakże niski poziom wydłużenia względnego w stanie utwardzonym (zwykle nie przekracza 2–4%), niska odporność na zginanie i wielokrotne przegięcia ogranicza jego szerokie wykorzystanie do instalacji wnętrzowych budynków i budowli.

Wśród stopów o niskiej zawartości składników stopowych do zastosowań w elektrotechnice należy również wyodrębnić stopy układu Al-Mg-Si typu AVE lub 6101 (Alijewa S.G., Altman M. B. i wsp. „Przemysłowe stopy aluminium", M., Metalurgia, 1984, 528 str.). Stopy tego typu w postaci drutu w stanie T6 zapewniają wysokie wartości właściwości wytrzymałościowych, nie mniejsze niż 295 MPa, i zadowalający poziom wydłużenia względnego (zwykle na poziomie 6–8%). Wśród wad stopów tego typu należy wymienić konieczność stosowania operacji hartowania w wodzie i wyższy poziom wartości oporu właściwego (około 15%) w porównaniu z aluminium technicznym typu A5E.

Znane są inne stopy aluminium o niskiej zawartości składników stopowych serii 8xxx, typu 8030 i 8176 (Alijewa S. G. Altman M. B. i wsp. „Przemysłowe stopy aluminium", M., Metalurgia, 1984, 528 s.), przeznaczone do stosowania w wyrobach kablowo-przewodowych i zawierające (% wag.) 0,3–0,8% Fe, 0,15–0,3% Cu i 0,4–1% Fe, 0,03–0,15% Si, odpowiednio. Do wad wymienionych stopów należy zaliczyć to, że w górnym zakresie dodatków stopowych – przede wszystkim żelaza – wymienione stopy charakteryzują się niską technologicznością przy ciągnieniu z powodu kształtowania się stosunkowo grubych żyłek faz żelazistych, co prowadzi do zwiększonej zrywalności przy otrzymywaniu cienkiego drutu, a przy niskiej zawartości żelaza – niewystarczającym poziomem właściwości wytrzymałościowych.

Najbliższym analogiem przedstawionego wynalazku jest rozwiązanie techniczne ujawnione w patencie RU2550063 (MKP C22C21/00, C22C1/03, C23F1/04, C22C1/06, B22D24/04, opublikowanym 10.05.2015), gdzie zaproponowano materiał i sposób jego otrzymywania dla kabla na bazie stopu aluminium o wysokim wydłużeniu względnym. Materiał zawiera 0,3–1,2% Fe, 0,03–0,1% Si, 0,01–0,3% pierwiastków ziem rzadkich (Ce, La), a pozostałą część stanowią Al i nieuniknione zanieczyszczenia. Do wad tego stopu należą: a) konieczność wprowadzania składnika stopowego do stopu szybko utlenialnych na powietrzu metali ziem rzadkich, b) przygotowanie stopionej masy takich stopów prowadzi do zwiększonego powstawania żużla.

Przedmiotem niniejszego wynalazku jest dostarczenie nowego stopu przewodnikowego na bazie aluminium, charakteryzującego się połączeniem wysokiej jakości właściwości mechanicznych (nie mniej niż 75 MPa) i wysokiego poziomu wartości przewodności właściwej (nie niższej niż 60% IACS).

Wynikiem technicznym jest wzrost plastyczności technologicznej drutu otrzymanego z proponowanego stopu dzięki utworzeniu ścisłych cząstek, zawierających żelazo faz pochodzenia eutektycznego.

Przedmiotem wynalazku jest zatem stop na bazie aluminium, zawierający żelazo, krzem oraz co najmniej jeden dodatkowy pierwiastek, przy czym przedmiotowy stop ma osnowę w postaci roztworu stałego aluminium, w której równomiernie rozmieszczone są cząstki zawierające żelazo, przy czym stop według wynalazku charakteryzuje się tym, że zawiera wagowo: 0,3–1,0% żelaza, 0,04–0,15% krzemu, 0,005–0,2% niklu, 0,1–0,3% miedzi, reszta aluminium, przy czym łączna ilość krzemu i miedzi w stopie nie przekracza wagowo 0,35%, zaś zawartość równomiernie rozmieszczonych cząstek zawierających żelazo jest nie mniejsza niż 1%, a ich średnia wielkość nie przekracza 3 μm.

Korzystnie, stop zawiera wagowo: 0,4–0,5% żelaza, 0,04–0,08% krzemu, 0,005–0,1% niklu, 0,1–0,2% miedzi, reszta aluminium.

Również korzystnie, stop w temperaturze pokojowej wykazuje wartość przewodności właściwej nie mniejszą niż 60% IACS.

Pożądane jest, aby stop w temperaturze pokojowej wykazywał wartość wydłużenia względnego co najmniej 30%.

Przedmiotem wynalazku jest również stop na bazie aluminium, zawierający żelazo, krzem oraz co najmniej jeden dodatkowy pierwiastek, przy czym przedmiotowy stop ma osnowę w postaci roztworu stałego aluminium, w której równomiernie rozmieszczone są cząstki zawierające żelazo, przy czym według wynalazku stop charakteryzuje się tym, że zawiera wagowo: 0,3–1,0% żelaza, 0,04–0,07% krzemu, 0,1–0,3% miedzi, reszta aluminium, przy czym łączna ilość krzemu i miedzi w stopie nie przekracza wagowo 0,35%, zaś zawartość równomiernie rozmieszczonych cząstek zawierających żelazo jest nie mniejsza niż 1%, a ich średnia wielkość nie przekracza 3 μm.

Przedmiotem wynalazku jest również stop na bazie aluminium zawierający żelazo, krzem oraz co najmniej jeden dodatkowy pierwiastek, przy czym przedmiotowy stop ma osnowę w postaci roztworu stałego aluminium, w której równomiernie rozmieszczone są cząstki zawierające żelazo, przy czym stop według wynalazku charakteryzuje się tym, że zawiera wagowo: 0,5–1,0% żelaza, 0,04–0,15% krzemu, 0,005–0,2% niklu, reszta aluminium, przy czym zawartość równomiernie rozmieszczonych cząstek zawierających żelazo jest nie mniejsza niż 1%, a ich średnia wielkość nie przekracza 3 μm.

Przedmiotem wynalazku jest również zastosowanie opisanego powyżej stopu do wytwarzania produktu wybranego z grupy obejmującej walcówkę i drut.

A zatem zgodnie z jednym aspektem wynalazku osiągnięcie określonego wyniku technicznego gwarantuje to, że proponowany stop na bazie aluminium zawiera żelazo i krzem, a przy tym dodatkowo zawiera co najmniej jeden metal wybrany z grupy obejmującej nikiel i miedź przy następującym stosunku składników (w % wag.):

3–1,0 Fe, 0,04–0,15 Si, 0,005–0,2 Ni, 0,1–0,3 Cu, reszta Al,

przy czym stop ma osnowę utworzoną przez roztwór stały aluminium, w której są równomiernie rozmieszczone cząstki zawierające żelazo w ilości nie mniejszej niż 1% (obj.), posiadające średnią wielkość nie większą niż 3 μm, przy czym łączna ilość krzemu i miedzi w stopie nie przekracza 0,35% wag.

W innym korzystnym wariancie wykonania wynalazku osiągnięcie wyniku technicznego gwarantuje to, że proponowany stop na bazie aluminium zawiera żelazo i krzem, a przy tym dodatkowo zawiera co najmniej jeden metal wybrany z grupy obejmującej nikiel i miedź, przy następującym stosunku składników (w % wag.):

0,4–0,5 Fe, 0,04–0,08 Si, 0,005–0,1 Ni, 0,1–0,2 Cu, reszta Al.

W innym korzystnym wariancie wykonania wynalazku osiągnięcie wyniku technicznego gwarantuje to, że proponowany stop na bazie aluminium charakteryzuje się następującym stosunkiem składników (w % wag.):

0,5–1,0 Fe, 0,04–0,15 Si, 0,005–0,2 Ni, reszta Al.

W innym korzystnym wariancie wykonania wynalazku osiągnięcie wyniku technicznego gwarantuje to, że proponowany stop na bazie aluminium charakteryzuje się następującym stosunkiem składników (w % wag.):

0,3–1,0 Fe, 0,04–0,07 Si, 0,1–0,3 Cu, reszta Al.

Stop według wynalazku korzystnie charakteryzuje się przewodnością właściwą w temperaturze pokojowej nie mniejszą niż 60% IACS, a także wydłużeniem względnym w temperaturze pokojowej nie mniejszym niż 30%.

Niniejsze zgłoszenie ujawnia również produkt wytworzony ze stopu na bazie aluminium, który został opisany powyżej.

W wariancie wykonania ujawniony wyrób może być otrzymany jako walcówka lub drut, charakteryzujący się przewodnością właściwą w temperaturze pokojowej nie mniejszej niż 60% IACS i wydłużeniem względnym w temperaturze pokojowej nie mniejszym niż 30%.

Zgodnie z innym aspektem zgłoszony wynalazek dotyczy zastosowania powyższego stopu w celu uzyskania produktu w postaci walcówki i drutu.

Na fig. 1 przedstawiono typową strukturę stopu odpowiadającą składowi nr 4 z tablicy 1.

W celu osiągnięcia wysokiego poziomu właściwości mechanicznych i niskiego poziomu wartości oporności właściwej struktura materiału przewodnikowego powinna stanowić roztwór aluminiowy z niewielkimi cząstkami faz eutektycznych zawierających żelazo. Uzasadnienie ujawnionych ilości składników stopu zapewniających osiągnięcie zadanej struktury w stopie podano poniżej.

Żelazo w zastrzeganych ilościach jest konieczne w celu podniesienia ogólnego poziomu właściwości mechanicznych aluminium technicznego bez znaczącego zwiększenia oporności właściwej. Przy zawartości żelaza powyżej zadanej wartości pierwiastek ten będzie miał znacząco negatywny wpływ na opór elektryczny stopu poprzez zmniejszenie ułamka objętościowego roztworu aluminiowego. Minimalna zawartość żelaza odpowiada osiągnięciu minimalnego poziomu właściwości wytrzymałościowych.

Krzem w zastrzeganym zakresie stężeniowym zapewnia poprawę morfologii faz zawierających żelazo pochodzenia krystalizacyjnego, przy tym stężenie krzemu zapewnia jego minimalną ilość w stałym roztworze aluminium i maksymalną ilość fazy Al_8Fe_2Si. Przy zawartości krzemu powyżej zadanej wartości pierwiastek ten będzie miał znacząco negatywny wpływ na oporność właściwą stopu. Minimalna zawartość krzemu odpowiada poziomowi domieszek.

Nikiel w zastrzeganych ilościach jest niezbędny do poprawy morfologii zawierających żelazo faz pochodzenia krystalizacyjnego, w szczególności fazy Al_9FeNi tworzącej się w strukturze przy danej zawartości żelaza bez pogorszenia innych charakterystyk eksploatacyjnych, przede wszystkim przewodności elektrycznej. Taka struktura zapewnia wysoką przetwarzalność podczas walcowania odlewu surowego do walcówki i ciągnienia walcówki na drut. Przy niższych stężeniach niklu jego wpływ będzie niewystarczający dla zapewnienia wymaganej struktury, a podniesienie zawartości powyżej górnej granicy nie będzie miało znaczącego wpływu na zwiększenie przetwarzalności przy obróbce plastycznej.

Miedź w zastrzeganych ilościach jest niezbędna do poprawy właściwości wytrzymałościowych dzięki umocnieniu roztworowemu. Przy mniejszych stężeniach miedzi nie zostanie osiągnięty wymagany poziom właściwości wytrzymałościowych, a przy wyższych stężeniach miedzi będzie miało to znaczący wpływ na oporność właściwą.

Wynalazek został zilustrowany w poniższych przykładach realizacji.

Przykład 1

W celu potwierdzenia zakresu stężeniowego, w którym żelazo, krzem i nikiel tworzą głównie aluminidy pochodzenia eutektycznego z ułamkiem objętościowym nie mniejszym niż 1% obj. wykonano obliczenie ułamka objętościowego aluminidów pochodzenia eutektycznego zawierających żelazo, krzem i nikiel z wykorzystaniem programu Thermocalc (baza danych TTAL5). Skład chemiczny, składowe fazowe i obliczeniowy ułamek masowy faz zawierających Fe (Qm) pochodzenia eutektycznego (Al_6Fe, Al_9FeNi oraz Al_8Fe_2Si) przy temperaturze zakończenia krystalizacji podano w tablicy 1.

Tablica 1. Skład chemiczny doświadczalnych stopów, skład fazowy oraz szacunkowy całkowity udział objętościowy faz zawierających żelazo

Nr	Skład chemiczny, % wag.					Składniki fazowe	$\Sigma Q_{m(Fe)}$, % wag.
	Fe	Si	Ni	Cu	Al		
1	0,25	0,20	0,001	0,001	reszta	(Al), Al_6Fe, Al_8Fe_2Si	0,65
2	0,30	0,05	0,20	-	reszta	(Al), Al_9FeNi	1,39
3	0,33	0,05	-	0,20	reszta	(Al), Al_6Fe	1,03
4	0,45	0,07	0,005	-	reszta	(Al), Al_6Fe, Al_9FeNi	1,31
5	1,0	0,15	-	0,1	reszta	(Al), Al_6Fe	3,67
6	0,7	0,04	0,08	0,3	reszta	(Al), Al_6Fe, Al_9FeNi	2,58
7	1,1	0,03	0,22	0,35	reszta	(Al), Al_6Fe, Al_9FeNi	4,33

$\Sigma Q_{m(Fe)}$ - suma ułamków masowych wszystkich faz zawierających Fe.

Ocenę wpływu składu chemicznego na przewodność elektryczną i właściwości mechaniczne stopu o składach 1, 2, 3, 6 i 7 (tablica 1) oceniono na blasze walcowanej w stanie wyżarzonym według wartości oporu elektrycznego właściwego (ρ), wartości wytrzymałości doraźnej na rozciąganie (σ_B) i wartości wydłużenia względnego (δ). Wyniki pomiarów przedstawiono w tablicy 2. Sposób pobierania próbek obejmował: odlewanie wlewek do wlewnicy grafitowej o przekroju 40 x 120, walcowanie

(od początkowej temperatury półwyrobu 500°C) ze stopniem zgniotu 97% i obróbkę termiczną blach w temperaturze 350°C przez 3 godziny.

Tablica 2. Właściwości mechaniczne i przewodność stopów doświadczalnych

Nr [1]	ρ, μΩ·mm	IACS, %	$\sigma_в$, MPa	δ_{50}, %
1	27,3	63,2	72	44
2	27,2	63,4	75	44
3	27,4	62,9	85	36
6	28,5	60,5	98	46
7	29,3	58,8	109	28

[1] zob. tablica 1

gdzie:

ρ – opór właściwy, μΩ·mm,
IACS – przewodność, w % od zawartości miedzi (miedź przyjęto za 100%),
σ_B – wytrzymałość doraźna na rozciąganie, MPa,
δ_{50} – wydłużenie względne na długości obliczeniowej 50 mm, %.

Z przedstawionych wyżej tablic 1 i 2 wynika, że tylko składy 2–6 zgodne z zastrzeganym zakresem ilościowej zawartości składników zapewniają odpowiednie wartości ułamka masowego składowych żelazistych, przewodności i właściwości mechanicznych na rozciąganie. Stop o składzie 1 nie spełnia założonych wymagań pod względem wartości wytrzymałości doraźnej na rozciąganie, a stop o składzie 7 nie spełnia wymagań pod względem wartości oporności właściwej i wydłużenia względnego.

Przykład 2

Ze stopów o składach 3 i 4 w warunkach przemysłowych wykonano doświadczalno-przemysłowy produkt walcówki aluminiowej. Obróbkę termiczną zwojów walcówki o składzie 3 wykonano w temperaturze 550°C z hartowaniem przez 12 godzin (550°C, 12 godz.), a walcówkę o składzie 4 wykonano w temperaturze 390°C z hartowaniem przez 15 godzin (390°C, 15 godz.). Wyniki pomiaru oporu elektrycznego właściwego i właściwości mechanicznych walcówki do stanu utwardzonego (N) i wyżarzonego przedstawiono w tablicy 3.

Tablica 3. Parametry walcówki w stanie wyżarzonym

Nr [1]	Oznaczenie stanu	ρ, μΩ·mm	IACS, %	$\sigma_в$, MPa	δ_{200}, %
3	N	28,5	60,5	135	11,5
	550°C, 12 godz.	27,9	61,8	85	34
4	N	28,4	61,6	131	12,3
	390°C, 15 godz.	27,5	62,6	80	39

[1] zob. tablica 1

gdzie:

N – stan utwardzony,
ρ – opór właściwy, μΩ·mm,
IACS – przewodność, w % od zawartości miedzi (miedź przyjęto za 100%),
σ_B – wytrzymałość doraźna na rozciąganie, MPa,
δ_{200} – wydłużenie

Przykład 3

Drut o średnicy 1,8 mm uzyskany z walcówki stopu o składach 3 i 4 badano na wytrzymałość na przegięcie w porównaniu z drutem uzyskanym z aluminium technicznego typu A5E (GOST 11069-

-2001). Badanie polegało na wielokrotnym podwójnym przegięciu o kąt 90° od położenia pionowego próbki drutu w obie strony do zniszczenia. Wyniki badań przedstawiono w tablicy 4. Wysoka plastyczność technologiczna zapewnia duży ułamek objętościowy faz eutektycznych o wielkości nie większej 3 mikronów. Typowa struktura stopu o składzie nr 4 znajduje się na fig. 1.

Tablica 4. Liczba podwójnych przegięć drutu do zniszczenia

Nr [1]	Liczba przegięć
3	10
4	14
A5E	5

[1] zob. tablica 1

Zastrzeżenia patentowe

1. Stop na bazie aluminium, zawierający żelazo, krzem oraz co najmniej jeden dodatkowy pierwiastek, przy czym przedmiotowy stop ma osnowę w postaci roztworu stałego aluminium, w której równomiernie rozmieszczone są cząstki zawierające żelazo, **znamienny tym**, że zawiera wagowo: 0,3–1,0% żelaza, 0,04–0,15% krzemu, 0,005–0,2% niklu, 0,1–0,3% miedzi, reszta aluminium, przy czym łączna ilość krzemu i miedzi w stopie nie przekracza wagowo 0,35%, zaś zawartość równomiernie rozmieszczonych cząstek zawierających żelazo jest nie mniejsza niż 1%, a ich średnia wielkość nie przekracza 3 μm.
2. Stop na bazie aluminium według zastrz. 1, **znamienny tym**, że zawiera wagowo: 0,4–0,5% żelaza, 0,04–0,08% krzemu, 0,005–0,1% niklu, 0,1–0,2% miedzi, reszta aluminium.
3. Stop na bazie aluminium według zastrz. 1, **znamienny tym**, że w temperaturze pokojowej wykazuje wartość przewodności właściwej nie mniejszą niż 60% IACS.
4. Stop na bazie aluminium według zastrz. 1, **znamienny tym**, że w temperaturze pokojowej wykazuje wartość wydłużenia względnego co najmniej 30%.
5. Stop na bazie aluminium, zawierający żelazo, krzem oraz co najmniej jeden dodatkowy pierwiastek, przy czym przedmiotowy stop ma osnowę w postaci roztworu stałego aluminium, w której równomiernie rozmieszczone są cząstki zawierające żelazo, **znamienny tym**, że zawiera wagowo: 0,3–1,0% żelaza, 0,04–0,07% krzemu, 0,1–0,3% miedzi, reszta aluminium, przy czym łączna ilość krzemu i miedzi w stopie nie przekracza wagowo 0,35%, zaś zawartość równomiernie rozmieszczonych cząstek zawierających żelazo jest nie mniejsza niż 1%, a ich średnia wielkość nie przekracza 3 μm.
6. Stop na bazie aluminium zawierający żelazo, krzem oraz co najmniej jeden dodatkowy pierwiastek, przy czym przedmiotowy stop ma osnowę w postaci roztworu stałego aluminium, w której równomiernie rozmieszczone są cząstki zawierające żelazo, **znamienny tym**, że zawiera wagowo: 0,5–1,0% żelaza, 0,04–0,15% krzemu, 0,005–0,2% niklu, reszta aluminium, przy czym zawartość równomiernie rozmieszczonych cząstek zawierających żelazo jest nie mniejsza niż 1%, a ich średnia wielkość nie przekracza 3 μm.
7. Zastosowanie stopu określonego w jednym z zastrz. 1–6 do wytwarzania produktu wybranego z grupy obejmującej walcówkę i drut.

Rysunek

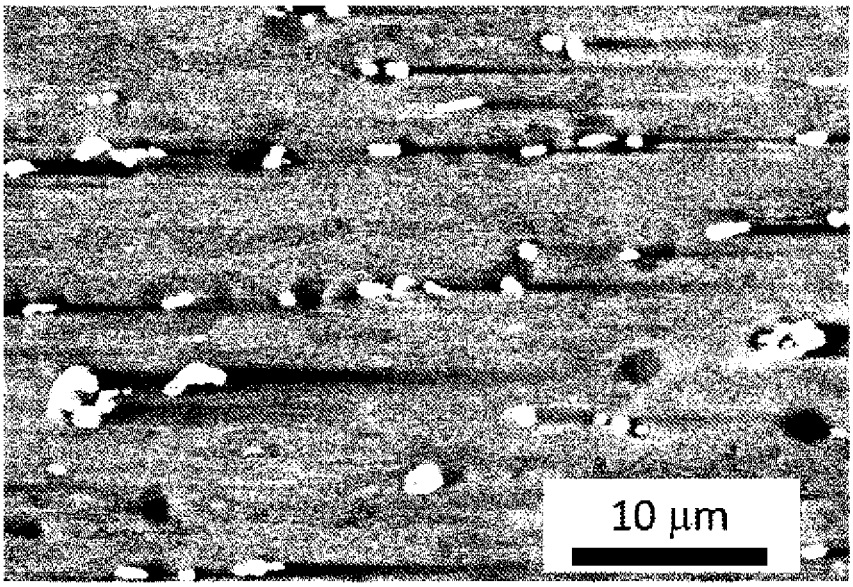

Fig. 1