

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **227018**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **412760**

(51) Int.Cl.  
**H01B 1/02 (2006.01)**  
**H01B 9/00 (2006.01)**

(22) Data zgłoszenia: **19.06.2015**

(54) **Druty ze stopu aluminium oraz sposób wytwarzania drutów ze stopu aluminium**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

**02.01.2017 BUP 01/17**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

**31.10.2017 WUP 10/17**

(73) Uprawniony z patentu:

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

(72) Twórca(y) wynalazku:

**TADEUSZ KNYCH, Kraków, PL  
ANDRZEJ MAMALA, Kraków, PL  
BEATA SMYRAK, Bułowice, PL  
ARTUR KAWECKI, Kraków, PL  
PAWEŁ KWAŚNIEWSKI, Kraków, PL  
MICHAŁ JABŁOŃSKI, Tarnobrzeg, PL  
GRZEGORZ KIESIEWICZ, Kraków, PL  
WOJCIECH ŚCIEŻOR, Kraków, PL  
KINGA KORZEŃ, Kraków, PL  
ANDRZEJ NOWAK, Kraków, PL  
ELIZA SIEJA-SMAGA, Dobra, PL  
MAREK GNIEŁCZYK, Chełmek, PL  
RADOSŁAW KOWAL, Pilica, PL  
JUSTYNA GRZEBINOĞA, Przytkowice, PL**

(74) Pełnomocnik:

**rzecz. pat. Anna Górka**

**PL 227018 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku są druty ze stopu aluminium o podwyższonej odporności termicznej, przeznaczone do wysokotemperaturowych przewodów elektroenergetycznych, stosowanych w liniach napowietrznych wysokiego napięcia oraz sposób wytwarzania drutów ze stopu aluminium.

W elektroenergetycznych liniach napowietrznych wysokiego napięcia do przesyłu energii elektrycznej wykorzystywane są przewody fazowe. Są to przewody wielodrutowe wykonane z drutów o przekroju okrągłym lub z drutów o przekroju innym niż okrągły. Druty w tych przewodach ułożone są w warstwach skręconych współosiowo na drucie centralnym, najczęściej naprzemiennie względem warstw sąsiadujących.

Przewody fazowe linii napowietrznych wysokiego napięcia rozpięte są nad powierzchnią ziemi w przęsłach i zamocowane poprzez odpowiedni osprzęt i izolatory do konstrukcji wsporczych. W przewodach tych występują obciążenia termiczne i mechaniczne, które determinują bieżące położenie nad ziemią. Obciążenia te wynikają z natężenia przepływającego prądu, warunków montażu przewodu, jego struktury oraz czynników otoczenia, takich jak wiatr, nasłonecznienie, deszcz i inne. Bezpośrednią konsekwencją występowania obciążeń mechanicznych w przewodach napowietrznych są wymagania odnośnie ich nośności mechanicznej, której podstawową miarą jest znamionowa siła zrywania przewodu. Siła zrywania przewodu zależy od charakterystyk rozciągania poszczególnych drutów oraz od struktury samego przewodu.

Standardowo w liniach napowietrznych wysokiego napięcia wykorzystuje się przewody stalowo-aluminiowe (ACSR – Aluminium Conductor Steel Reinforced), które posiadają rdzeń nośny wykonany z drutów ze stali węglowej obrobionej cieplnie i plastycznie, przy czym przewodność elektryczna drutów stalowych jest na tyle niska, że wpływ rdzenia na rezystancję liniową przewodu najczęściej jest zaniedbywany) oraz warstwy przewodzące wykonane z drutów z aluminium o czystości technicznej (99,5% Al lub wyżej) w stanie umocnionym odkształceniowo. Parametry techniczne tych przewodów opisane są w normach, m. in. w IEC 61089, EN 50182. Przewody takie, z uwagi na materiał warstw przewodzących tj. aluminium o czystości technicznej w stanie umocnionym odkształceniowo, mogą pracować w sposób długotrwały w temperaturach nieprzekraczających zakresu od +80°C do +100°C.

W temperaturach wyższych dochodzi do znaczącej i permanentnej degradacji własności wytrzymałościowych (np. twardości) drutów aluminiowych i w konsekwencji do obniżenia siły zrywania przewodu poniżej wartości znamionowej.

Przepływ prądu elektrycznego przez przewód fazowy powoduje jego nagrzewanie do temperatury wyższej niż temperatura otoczenia. Z tego powodu ogólnie ograniczenie maksymalnej dopuszczalnej temperatury ciągłej pracy przewodów, przekłada się na ograniczenie ich obciążalności prądowej.

W celu zwiększenia obciążalności prądowej do poziomu nieosiągalnego przy wykorzystaniu konwencjonalnych przewodów ACSR stosuje się przewody wysokotemperaturowe, które, w zależności od zastosowanych rozwiązań, mogą pracować w sposób długotrwały (ciągły) maksymalnych temperaturach sięgających zakresu od +150°C do +240°C.

Z amerykańskiego zgłoszenia patentowego nr US 3 813 481 (A) znane są przewody wysokotemperaturowe do linii napowietrznych wysokiego napięcia typu ACSS (Aluminium Conductor Steel Supported) o budowie zbliżonej do konwencjonalnych przewodów ACSR, przy czym wykorzystują one druty aluminiowe w stanie zrekrytalizowanym. Przewody takie wymagają często specjalnej metody instalacji obejmującej zabieg wstępnego przepiężania, tj. wstępnego krótkoczasowego obciążenia przewodów przed ich mocowaniem w uchwytach, w celu zmniejszenia zakresu zwisów roboczych.

Z amerykańskiego zgłoszenia patentowego nr LIS 7 438 971 (A1) znane są przewody wysokotemperaturowe do linii napowietrznych wysokiego napięcia ACCC (Aluminium Composite Core Conductors) posiadające rdzenie nośne z superlekkich kompozytów z włókien węglowych i szklanych na osnowie żywicy polimerowej oraz warstwy przewodzące wykonane z drutów z aluminium w stanie zrekrytalizowanym. Przewody takie wykazują niższą w stosunku do tradycyjnych rozwiązań masę jednostkowej przewodu, co umożliwia zmniejszenie zakresu zwisów przewodu.

Z amerykańskiego zgłoszenia patentowego nr US 4 568 794 znane są wysokotemperaturowe przewody do linii napowietrznych wysokiego napięcia typu GTACSR (Gap Type Thermal Resistant Aluminium Conductors Steel Reinforced) znamienne występowaniem specjalnie zaprojektowanej szczeliny (wypełnionej najczęściej odpowiednim smarem) między rdzeniem nośnym a warstwami przewodzącymi. W tego typu rozwiązaniach wymagana jest specjalna technika montażu, podczas którego siłę naciągu wprowadza się wyłącznie do rdzenia nośnego, podczas gdy warstwy przewodzą-

ce są odciążone. Takie zabiegi pozwalają obniżyć przyrosty zwisu przewodu w temperaturach wyższych niż temperatura montażu.

Z amerykańskiego opisu patentowego nr US 6 180 232 (B1) znane są przewody wysokotemperaturowe do linii napowietrznych wysokiego napięcia typu ACCR (Aluminium conductor Composite Core Reinforced), w których na rdzeń wykorzystano lekki i wysokowytrzymały kompozyt z włókiem  $Al_2O_3$  w osnowie aluminium, zaś warstwy przewodzące wykonano ze specjalnego stopu aluminium o podwyższonej odporności termicznej.

Znane są również przewody wysokotemperaturowe do linii napowietrznych wysokiego napięcia typu TACSR (Thermal Resistant Aluminium Conductor Steel Reinforced) i TACIR (Thermal Resistant Aluminium Conductor Invar Reinforced), w których rdzenie nośne wykonane są ze stali lub z inwaru, a warstwy przewodzące ze specjalnego stopu aluminium o podwyższonej odporności termicznej.

Opis parametrów technicznych oraz walorów opisanych wyżej przewodów, znaleźć można m. in. w raporcie EPRI oraz CEC: Demonstration of Advanced Conductors for Overhead Transmission Lines.

W ogólności, na warstwy przewodzące przewodów wysokotemperaturowych do linii napowietrznych wysokiego napięcia wykorzystywane jest czyste aluminium w stanie zrekrytalizowanym lub specjalne stopy na osnowie aluminium o podwyższonej odporności termicznej w stanie umocnionym odkształceniowo.

Pod pojęciem odporności termicznej materiału rozumie się tempo permanentnej degradacji makroskopowych właściwości wytrzymałościowych materiału w stanie umocnionym odkształceniowo (takich jak: twardość, wytrzymałość na rozciąganie, granica plastyczności mierzonych w temperaturze otoczenia po ekspozycji) w wyniku ekspozycji na działanie podwyższonej temperatury. Im mniejsze jest tempo degradacji właściwości wytrzymałościowych materiału wskutek działania podwyższonej temperatury, tym wyższa jest odporność termiczna takiego materiału.

Specjalne stopy aluminium o podwyższonej odporności termicznej wykorzystywane na warstwy przewodzące przewodów wysokotemperaturowych to najczęściej stopy grupy Al-Zr.

Parametry drutów ze stopu Al-Zr stosowanych w przewodach wysokotemperaturowych przedstawiono w tabeli 1 na bazie danych zawartych w normie EN 62004.

Tabela 1

Typ drutu	AT1 (Al-Zr)	AT2 (Al-Zr)	AT3 (Al-Zr)	AT4 (Al-Zr)	Al (Al)
Gęstość materiału drutu [ $g\cdot cm^{-3}$ ]	2,703	2,703	2,703	2,703	2,703
Rezystywność elektryczna w +20°C [ $n\Omega m$ ]	28,735	31,347	28,735	29,726	28,264
Współczynnik temperaturowy rezystancji [ $^{\circ}C^{-1}$ ]	0,0040	0,0036	0,0040	0,0038	0,00403
Wytrzymałość na rozciąganie [ $MPa$ ] <sup>*</sup>	159-171	225-248	159-176	159-169	160-200
Wydłużenie przy zerwaniu [%] <sup>*</sup>	2,0-1,3	2,0-1,5	2,0-1,5	2,0-1,5	– **
Współczynnik rozszerzalności cieplnej [ $^{\circ}C^{-1}$ ]	$23 \times 10^{-6}$	$23 \times 10^{-6}$	$23 \times 10^{-6}$	$23 \times 10^{-6}$	$23 \times 10^{-6}$
Temperatura pracy ciągłej (40 lat) [ $^{\circ}C$ ]	150	150	210	230	– **
Temperatura pracy 400h [ $^{\circ}C$ ]	180	180	240	310	– **

\* wartość zależna do przekroju poprzecznego drutu

\*\* właściwość nienormalizowana

Norma EN 62004 nie precyzuje sposobu wytwarzania drutów, ani szczegółowego składu chemicznego drutów, a jedynie nakreśla zespół wymagań technicznych stawianych drutom. Jak łatwo stwierdzić na podstawie danych zawartych w tablicy 1, właściwości wytrzymałościowe drutów typu AT1, AT3, AT4 są porównywalne do właściwości wytrzymałościowych osiąganych w drutach z czystego aluminium (Al) wykorzystywanych w przewodach konwencjonalnych.

Dodatek cyrkonu nie pozostaje jednak bez wpływu na rezystywność elektryczną omawianych drutów, która jest wyższa o 2–5% niż rezystywność czystego aluminium. Druty typu AT2 wykazują, z kolei, istotnie wyższe w odniesieniu do aluminium właściwości wytrzymałościowe i równocześnie zdecydowanie wyższą rezystywność elektryczną.

Wszystkie rozpatrywane znormalizowane typy drutów ze stopu Al-Zr (AT1, AT2, AT3, AT4) wg EN 62004 dzięki wprowadzeniu dodatku stopowego (dodatek Zr) posiadają istotnie wyższe maksy-

malne dopuszczalne temperatury pracy ciągłej niż tradycyjne druty z aluminium wg EN 60889. Norma EN 60889 nie specyfikuje maksymalnej dopuszczalnej temperatury pracy ciągłej drutów aluminiowych, jednak w raporcie technicznym IEC 1597 poziom temperatury ciągłej drutów aluminiowych ustalono na  $+80^{\circ}\text{C} - +100^{\circ}\text{C}$ .

Z japońskiego zgłoszenia patentowego nr JPS 57 200 539 (A) znany jest sposób wytwarzania drutów przewodowych ze stopu Al-Zr o podwyższonej odporności termicznej zawierającego od 0,004% do 0,05% wag. Zr oraz kontrolowaną zawartość dodatków Fe, Si obejmujący ciągle odlewanie wsadu, walcowanie na ciepło oraz ciągnięcie na zimno. Wszystkie procesy winny być realizowane w kontrolowanych warunkach temperaturowych.

Z japońskiego zgłoszenia patentowego nr JPS 61 238 944 (A) znany jest sposób wytwarzania drutów przewodowych ze stopu Al-Zr o podwyższonej odporności termicznej zawierającego od 0,01% do 0,2% wag. Zr oraz kontrolowaną zawartość dodatków Fe, Si obejmujący, ciągle odlewanie wsadu, jego walcowanie na gorąco w kontrolowanych warunkach termicznych, obróbkę cieplną materiału po walcowaniu na gorąco, a następnie jego odkształcenie na zimno.

Szerszy przegląd znanych składów chemicznych stopu Al-Zr o podwyższonej odporności termicznej stosowanych na drutach do warstw przewodzących przewodów wysokotemperaturowych będących przedmiotem patentów lub zgłoszeń patentowych w Japonii przedstawiono w publikacji T. Knych, A. Mamala, B. Smyrak: Przewodowe stopy na bazie aluminium, Rudy i Metale Nieżelazne, R49, nr 6, 2004, str. 292-295.

W wysokotemperaturowych przewodach elektroenergetycznych wykorzystywane mogą być również inne niż Al-Zr grupy stopu na osnowie aluminium o podwyższonej odporności termicznej. Z opisu patentowego nr US 3 278 300 znane są stopy na osnowie aluminium o podwyższonej odporności termicznej do przewodów wysokotemperaturowych zawierające od 0,1% do 0,5% Fe oraz od 0,6% do 3% pierwiastków ziem rzadkich (takich jak cer i lantan). Z publikacji R. Ircibar, C. Pampillo, H. Chia: Metallurgical aspects of aluminium alloys for electrical applications, Aluminium Transformation Technology and Applications; Puerto Madryn, Chubut; Argentina; 21-25 Aug. 1978, str. 241-303, znane są stopy przewodowe na osnowie aluminium o podwyższonej odporności termicznej, takie jak Al-Fe i Al-Fe-Co.

Celem wynalazku jest stworzenie drutów na osnowie aluminium, o podwyższonej odporności termicznej, do wysokotemperaturowych przewodów elektroenergetycznych, stosowanych w liniach napowietrznych wysokiego napięcia. W rozwiązaniu według wynalazku efekt ten osiągnięto w ten sposób, że do aluminium dodano specjalnie wyselekcjonowany dodatek stopowy, który przy zastosowanych stężeniu jedynie nieznacznie pogarsza przewodność elektryczną materiału, a równocześnie, w stanie umocnionym odkształceniowo, znacząco zwiększa odporność termiczną materiału, tj. odporność na degradację właściwości mechanicznych w wyniku ekspozycji na działanie podwyższonych temperatur. W efekcie druty będące przedmiotem wynalazku i wykonane z nich wysokotemperaturowe przewody elektroenergetyczne do linii napowietrznych mogą pracować w sposób ciągły w temperaturach istotnie wyższych niż temperatury znamienne dla drutów z czystego technicznie aluminium w stanie umocnionym odkształceniowo.

Istotą rozwiązania według wynalazku są druty wykonane ze stopu Al-Mo, zawierające od 0,025% wag. do 0,05% wag. molibdenu.

Istotę rozwiązania stanowi również sposób wytwarzania drutów ze stopu aluminium polegający na tym, że Al-Mo otrzymuje się w procesie stapiania czystych składników w osłonie gazu obojętnego w temperaturze przynajmniej  $1000^{\circ}\text{C}$ , przez co najmniej 1 h – do rozpuszczenia Mo, następnie poddaje dalszemu mieszaniu przez co najmniej 1 h, po czym obniża się temperaturę i utrzymuje na poziomie  $750^{\circ}\text{C}$  przez, co najmniej 0,25 h, po czym krystalizuje metodą ciągłego odlewania, dodatkowo poddaje procesowi homogenizacji w temperaturze przynajmniej  $600^{\circ}\text{C}$  przez co najmniej 300 h i następnie schładza w wodzie w celu zachowania przesyconego roztworu stałego Mo w Al.

Po procesie ciągłego odlewania, stop aluminium poddaje się przeróbce plastycznej metodą walcowania na gorąco, w temperaturze początkowej  $600^{\circ}\text{C}$ .

Po procesie homogenizacji i chłodzenia, stop aluminium poddaje się przeróbce plastycznej na zimno metodą ciągnięcia.

Rozwiązanie według wynalazku zostało bliżej określone w przykładzie realizacji oraz na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia w sposób graficzny wyniki badań twardości Vickersa mierzonej w temperaturze otoczenia dla stopu Al-Mo będących przedmiotem wynalazku oraz dla aluminium, jako

materiału odniesienia w różnych stanach struktury materiału, fig. 2 i fig. 3 przedstawiają wyniki badań rezystywności elektrycznej tych materiałów.

Na fig. 4 przedstawiono wpływ temperatury na zmiany rezystywności elektrycznej stopu Al-Mo oraz aluminium w postaci ilorazu rezystancji materiału w podwyższonej temperaturze, do rezystancji w temperaturze otoczenia.

Na fig. 5 przedstawiono krzywe mięknięcia stopu Al-Mo oraz aluminium, jako materiału odniesienia.

Na fig. 6 ukazano analogiczne zależności, przy czym jako materiał odniesienia przyjęto stopy Al-Zr wykorzystywane na druty warstw przewodzących przewodów wysokotemperaturowych wg normy EN 62004.

#### Przykład

Jako materiał referencyjny zastosowano aluminium. Dokonano syntezy metalurgicznej stopu Al-Mo o zawartościach 0,025% wag. Mo (AlMo, 0,025), 0,05% Mo (AlMo 0,05) oraz 0,08% wag. Mo (AlMo 0,08) poprzez stapianie aluminium o czystości 99,85% oraz molibdenu o czystości 99,95%. Materiały poddano procesowi topienia w tyglach grafitowych z pokryciem ceramicznym w osłonie gazu obojętnego w temperaturze 1000°C przez 1 h, po czym obniżono temperaturę, utrzymując ją na poziomie 750°C przez okres 0,25 h, skrzystalizowano metodą ciągłego odlewania. W analogicznych warunkach wytworzono referencyjne odlewy z czystego aluminium. Składy chemiczne zastosowanych stopów Al-Mo przedstawiono w tabeli 2 poniżej.

Tabela 2

Rodzaj/nazwa materiału	Zawartość pierwiastków w materiale [% wag.]							
	Mo	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
Al	<0,0005	0,0336	0,0709	<0,0005	0,00156	0,00086	0,00366	<0,0002
AlMo 0,025	0,0251	0,0421	0,0739	<0,0005	0,00162	0,00093	0,00269	<0,0002
AlMo 0,05	0,0485	0,0378	0,0774	<0,0005	0,00159	0,00097	0,00317	<0,0002
AlMo 0,08	0,0774	0,042	0,077	<0,0005	0,00189	0,00176	0,00393	<0,0002

Rodzaj/nazwa materiału	Zawartość pierwiastków w materiale [% wag.]						
	Cr	V	Zr	B	Ga	Inne suma	Al
Al	0,00073	0,0021	<0,0005	0,00147	0,00763	0,0076	reszta
AlMo 0,025	0,00057	0,0011	<0,0005	0,00164	0,00825	0,0097	reszta
AlMo 0,05	0,00065	0,0016	<0,0005	0,00156	0,00794	0,0096	reszta
AlMo 0,08	0,00036	0,00253	<0,0005	0,00131	0,00804	0,0093	reszta

Na materiałach po procesie odlewania, zbadano przewodności elektryczne oraz twardości metodą Vickersa w temperaturze otoczenia, a następnie, w celu homogenizacji składu chemicznego, materiały poddano wygrzewaniu w temperaturze 600°C przez 300 h i schłodzono w wodzie w celu zachowania przesyconego roztworu stałego molibdenu w aluminium. Następnie, na próbkach po schłodzeniu zbadano przewodność elektryczną oraz twardość metodą Vickersa w temperaturze otoczenia.

Dodatkowo, stop AlMo 0,05 w stanie po ciągłym odlewaniu poddano dodatkowej przeróbce plastycznej metodą walcowania na gorąco, przy temperaturze początkowej 600°C, następnie poddając cyklowi homogenizacji i chłodzenia w wodzie jak pozostałe materiały. Po procesie homogenizacji i chłodzenia, stop aluminium poddano przeróbce plastycznej na zimno metodą ciągnięcia, z umownym odkształceniem całkowitym wynoszącym 90% (całkowite odkształcenie rzeczywiste – logarytmiczne 2,31).

W tabeli 3 przedstawiono właściwości stopu Al-Mo (AlMo 0,025, AlMo 0,05, AlMo 0,08), będących przedmiotem rozwiązania oraz aluminium bazowego, jako materiału referencyjnego.

Tabela 3

Właściwość	Stan materiału	Rodzaj/nazwa materiału			
		Al	AlMo 0,025	AlMo 0,05	AlMo 0,08
Twardość Vickersa w temperaturze otoczenia [HV]	W stanie po ciągłym odlewaniu	21,3	21,9	21,8	22,2
	W stanie po ciągłym odlewaniu, po wygrzewaniu w 600°C przez 300 h i chłodzeniu do wody	19,8	20,0	20,2	20,5
	W stanie po ciągłym odlewaniu, po przeróbce plastycznej na gorąco (proces walcowania), po wygrzewaniu w 600°C przez 300 h i chłodzeniu do wody	-	-	22,3	-
	W stanie po ciągłym odlewaniu i po przeróbce plastycznej na zimno (proces ciągnięcia)	41,5	42,3	44,1	45,7
	w stanie po ciągłym odlewaniu, po przeróbce plastycznej na gorąco po wygrzewaniu w 600°C przez 300h i chłodzeniu do wody i po przeróbce plastycznej na zimno (proces ciągnięcia)	-	-	44,7	-
Rezystywność elektryczna w temperaturze otoczenia [ $\Omega\text{m}$ ]	W stanie po ciągłym odlewaniu	27,6	28,6	29,4	30,4
	W stanie po ciągłym odlewaniu, po wygrzewaniu w 600°C przez 300 h i chłodzeniu do wody	27,6	28,7	29,6	30,6
	W stanie po ciągłym odlewaniu, po przeróbce plastycznej na gorąco (proces walcowania), po wygrzewaniu w 600°C przez 300 h i chłodzeniu do wody	-	-	29,2	-
	W stanie po ciągłym odlewaniu i po przeróbce plastycznej na zimno (proces ciągnięcia)	27,8	28,7	29,8	30,8
	W stanie po ciągłym odlewaniu, po przeróbce plastycznej na gorąco (proces walcowania), po wygrzewaniu w 600°C przez 300 h i chłodzeniu do wody i po przeróbce plastycznej na zimno (proces ciągnięcia)	-	-	29,7	-
Temperatura początku mięknięcia (miara odporności termicznej) [°C]	W stanie po ciągłym odlewaniu i po przeróbce plastycznej na zimno (proces ciągnięcia)	200	250	-	-
	W stanie po ciągłym odlewaniu, po przeróbce plastycznej na gorąco (proces walcowania), po wygrzewaniu w 600°C przez 300 h i chłodzeniu do wody i po przeróbce plastycznej na zimno (proces ciągnięcia)	-	-	270	-

Współczynniki wydłużenia jednostkowego w poszczególnych ciągach były zbliżone i wynosiły ok. 1,3. Proces ciągnięcia prowadzono na oleju ciągniczym o lepkości 180 CSt i gęstości 0,9 g/cm<sup>3</sup> dedykowanym dla aluminium. Tym sposobem wytworzono druty (o znacznym poziomie umocnienia odkształceniowego). Na drutach, po ciągnięciu, zbadano rezystywność elektryczną oraz twardość sposobem Vickersa. Dla wybranych materiałów (Al, AlMo 0,025, AlMo 0,05, AlMo 0,08) w stanie po ciągnięciu zbadano wpływ temperatury na zmianę właściwości elektrycznych. W tym celu przygotowano próbki drutów w odcinkach prostych o długości ok. 0,6 m, które następnie zamocowano w szczękach pomiarowych mostka Kelvina do pomiaru rezystancji (umożliwiającego pomiar rezystancji metodą czteropunktową) i umieszczono w komorze badań cieplnych z wymuszonym obiegiem powietrza. Na początek zmierzono rezystancję badanych próbek w temperaturze otoczenia, a następnie podwyższano temperaturę badanych próbek w komorze badań cieplnych z krokami, co ok. 20°C i wytrzymywano przez okres konieczny do stabilizacji temperatury drutu. W każdej z zadanych temperatur mierzono rezystancję drutu, a następnie wyznaczono iloraz rezystancji w określonej temperaturze badania i rezystancji w temperaturze otoczenia. Wyznaczono liniową relację między ilorazem rezystancji a różnicą między podwyższoną temperaturą badania i temperaturą otoczenia (przyrost tem-

peratury). Dla drutów z wybranych materiałów (Al, AlMo 0,025 i AlMo 0,05) w stanie po ciągnięciu (stan umocniony odkształceniowo) określono odporność termiczną. W tym celu próbki drutów poddano ekspozycji na działanie podwyższonej temperatury poprzez ich umieszczenie w komorach badań cieplnych. Próbki wygrzewano przez czas jednej godziny w różnych temperaturach z zakresu od 100°C do 450°C, a następnie chłodzono swobodnie na powietrzu. Po ekspozycji próbki poddano badaniom twardości metodą Vickersa. W celach referencyjnych wytworzono dodatkowo z wykorzystaniem tego samego aluminium bazowego stopy Al-Zr o zawartości Zr wynoszącej 0,05% wag. (AlZr 0,05), 0,1% wag. (AlZr 0,1) oraz 0,2% wag. Zr (AlZr 0,2), które poddano ciągnięciu na druty wg identycznego schematu odkształcenia, jak objęte wynalazkiem stopy Al-Mo. Dla drutów AlZr 0,05 i AlZr 0,1 w stanie po ciągnięciu (stan umocniony odkształceniowo) określono odporność termiczną wg procedury identycznej jak dla drutów z Al, AlMo 0,025 i AlMo 0,05. Dla drutów ze stopu Al-Mo zanotowano podobny poziom temperatury początku mięknięcia – miary odporności termicznej, jak dla drutów ze stopu Al-Zr.

### Zastrzeżenia patentowe

1. Druty ze stopu aluminium do napowietrznych przewodów elektroenergetycznych, **znamiennie tym**, że wykonane są ze stopu Al-Mo i zawierają od 0,025% wag. do 0,05% wag. Mo.
2. Sposób wytwarzania drutów ze stopu aluminium, jako materiału o podwyższonej odporności termicznej, do przewodów wysokotemperaturowych, **znamiennie tym**, że stop Al-Mo otrzymuje się w procesie stapiania składników o czystości technicznej w osłonie gazu obojętnego w temperaturze przynajmniej 1000°C, przez co najmniej 1 h do rozpuszczenia Mo, następnie poddaje dalszemu mieszaniu, przez co najmniej 1 h, po czym obniża się temperaturę i utrzymuje na poziomie 750°C przez co najmniej 0,25 h, po czym krystalizuje metodą ciągłego odlewania, dodatkowo poddaje procesowi homogenizacji w temperaturze przynajmniej 600°C przez co najmniej 300 h i następnie schładza w wodzie w celu zachowania przesyconego roztworu stałego Mo w Al.
3. Sposób wytwarzania drutów według zastrz. 2, **znamiennie tym**, że po procesie krystalizacji, stopy aluminium poddaje się przeróbce plastycznej metodą walcowania na gorąco, w temperaturze początkowej 600°C.
4. Sposób wytwarzania drutów według zastrz. 2 lub 3, **znamiennie tym**, że po procesie homogenizacji i chłodzenia, stopy aluminium poddaje się przeróbce plastycznej na zimno metodą ciągnięcia.

## Rysunki

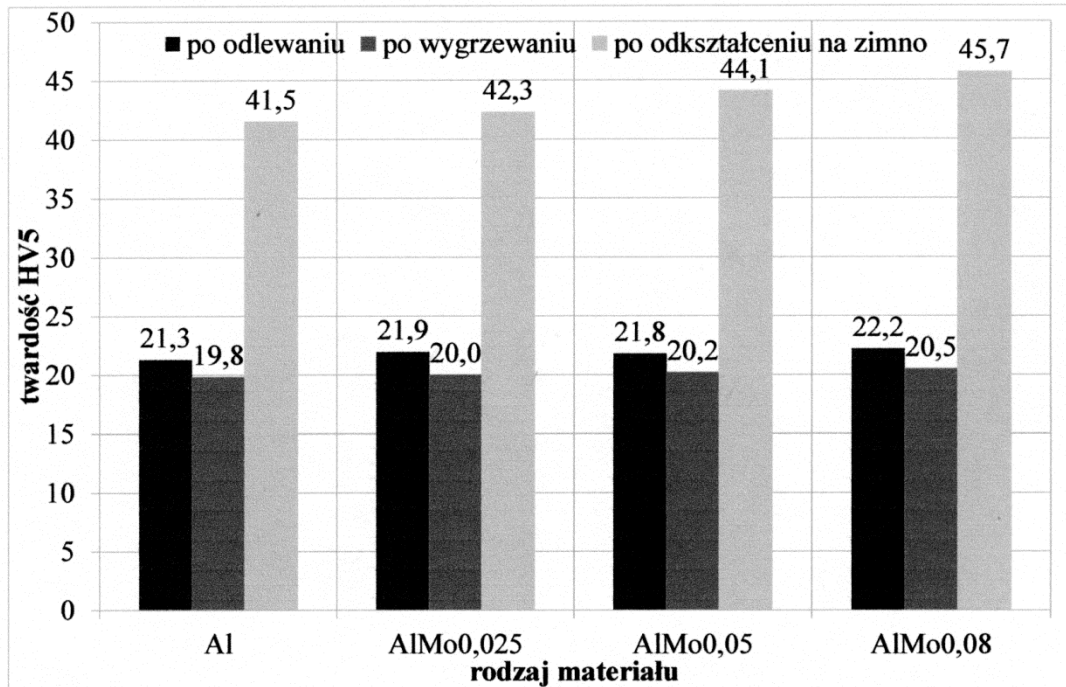


Fig.1

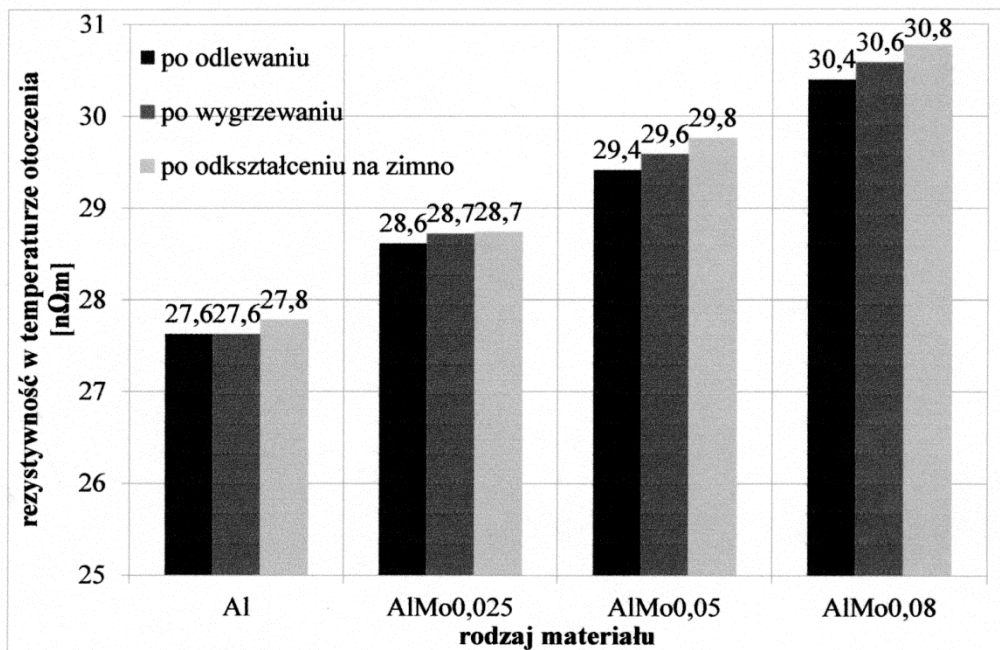


Fig.2



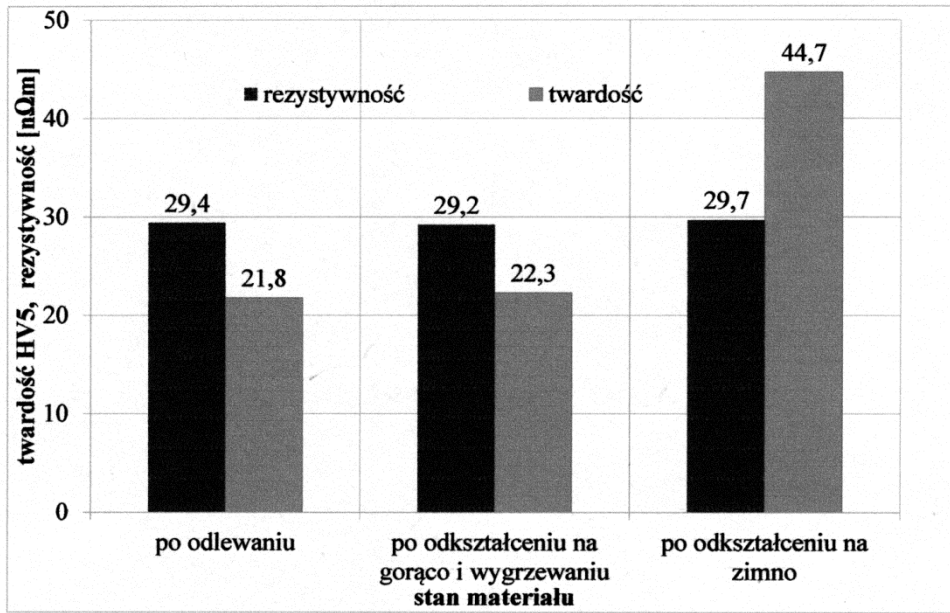


Fig.3

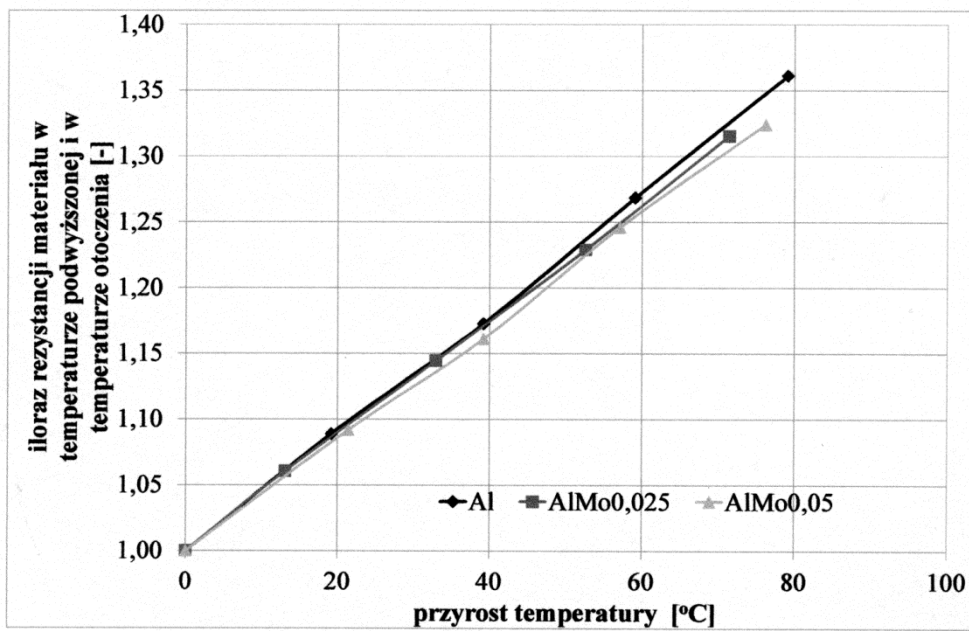


Fig.4

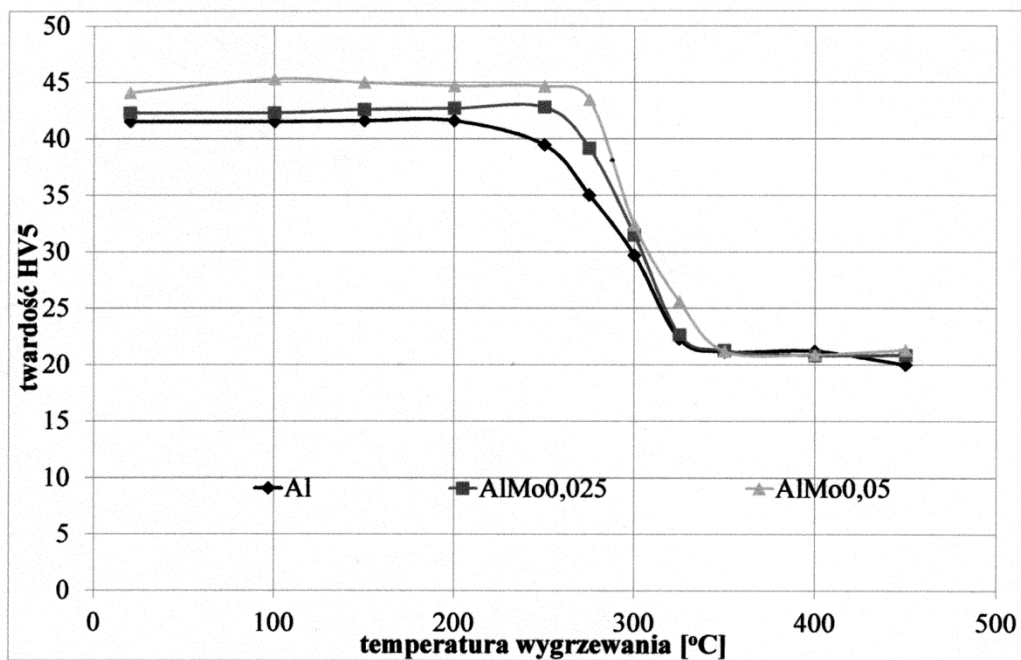


Fig. 5

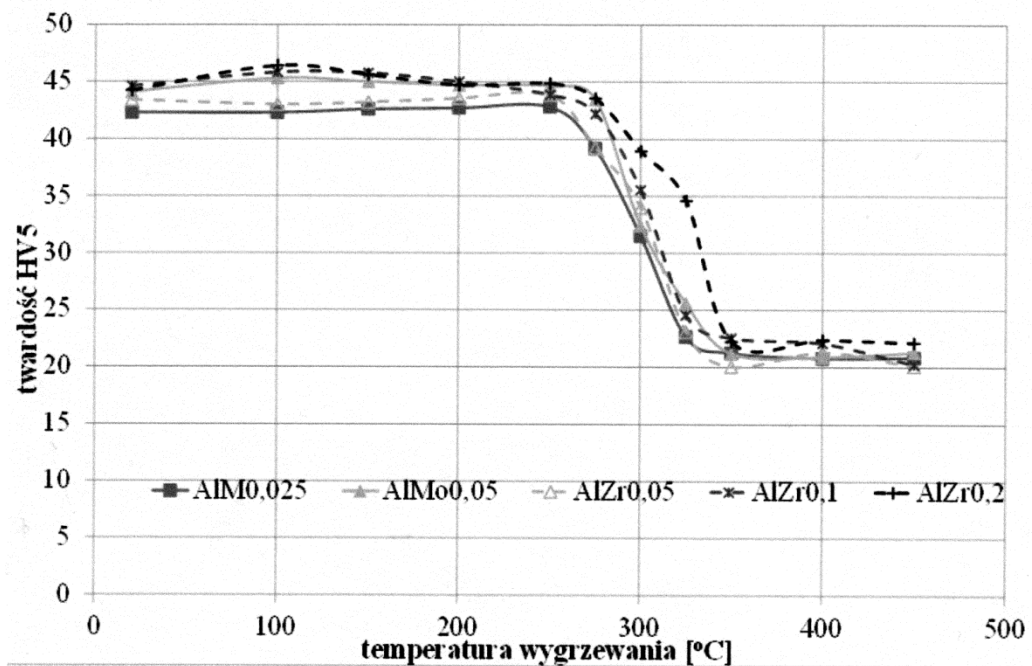


Fig.6