



Miedź w elektrotechnice

Raport z badań - Badanie rezystywności miedzi w zakresie temperatur 20 do 900°C

Kierownik pracy: Prof. Dr hab. inż. Tadeusz Knych
Wydział Metali Niezależnych Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie

Listopad 2014

Wstęp

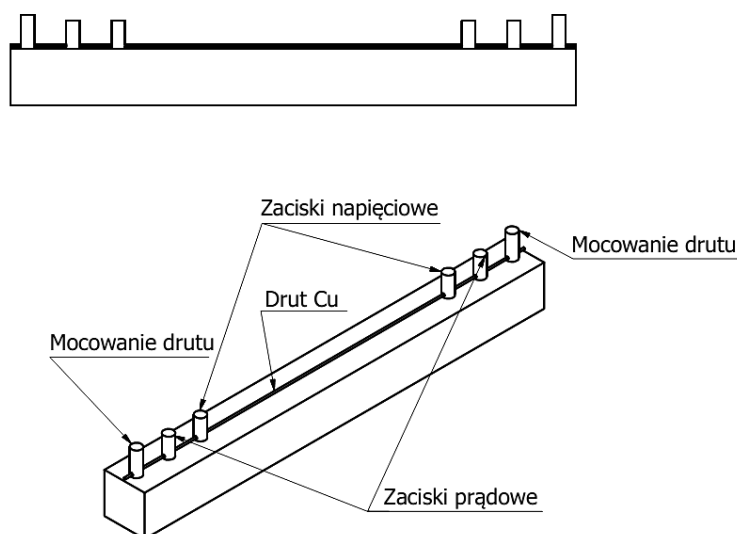
W sprawozdaniu zamieszczono wyniki badań rezystancji elektrycznej drutów miedzianych w gat. CuOFC oraz CuETP w zakresie temperatur od temperatury otoczenia do temp. 900°C. Druty o średnicy 2mm uzyskano metodą ciągnięcia prętów o średnicy 8 mm odlewanych metodą Up-Cast (dot. CuOFC) oraz walcówki z linii Contirod (dot. CuETP). Druty po procesie ciągnięcia wyżarzono w temperaturze 550°C przez okres 1 godziny, w atmosferze argonu (przepływ 5l/min) na stan miękki. Na rysunku 1 przedstawiono widok powierzchni drutu po procesie wyżarzania.



Rysunek 1. Drut w gat. CuOFC do badań własności elektrycznych.

Metodyka badań

Aby możliwe było przeprowadzenie badań własności elektrycznych drutów miedzianych w zakresie temperatur do 900°C, należało zaprojektować specjalną przystawkę do pozycjonowania i mocowania drutu, która w całości umieszczona w piecu zapewniać będzie izolację elektryczną elementów przewodzących od części metalowych urządzenia grzewczego. Przystawka ta wykonana została z termoodpornego betonu. W przystawce zainstalowano zaciski prądowe oraz napięciowe niezbędne do pomiaru rezystancji badanych drutów w funkcji temperatury, a także mocowania końców drutu. Schemat ideowy przystawki do badań przedstawiono na rysunku 2, natomiast na rysunku 3 pokazano widok rzeczywistego elementu z zamocowanym drutem oraz odprowadzeniami elektrycznymi w osłonach izolacyjnych.



Rysunek 2. Schemat ideowy przystawki do badań własności elektrycznych drutów w podwyższonych temperaturach.

Tak wykonaną przystawkę umieszczono w piecu rurowym, szczelnie izolując od zewnętrznej atmosfery powietrza. Z jednej strony przez specjalny kołpak podłączono przewód dostarczający gaz ochronny (argon) do komory pieca. Z drugiej strony przez izolację z wełny kaolinowej wyprowadzono przyłącza elektryczne od przystawki, a także poprzez kołpak ujście gazu ochronnego. Przewód odprowadzający gaz poprowadzono przez bufor z wodą w celu zabezpieczenia układu przed cofnięciem powietrza do komory pieca. W bezpośrednim sąsiedztwie badanego drutu umieszczono termoparę typu K, służącą do precyzyjnych odczytów temperatury podczas pomiarów rezystancji. Przyłącza elektryczne podłączono do urządzenia pomiarowego typu Electrical Resistance Testing RESISTOMAT Model 2304 – firmy Buster. Badania

prowadzono metodą mostkową Thomsona-Kelvina. Na rys. 4 przedstawiono stanowisko do badań własności elektrycznych drutów w podwyższonych temperaturach. Bezpośrednio przed rozpoczęciem badań komorę pieca przez okres 1 godziny płukano argonem z prędkością przepływu 5l/min. Prędkość ta została utrzymana przez cały czas badania. Badanie prowadzono na odcinku drutu 0,5m przy czym baza pomiarowa wynosiła 305mm. Odczyty rezystancji drutu prowadzono w zakresie temperatur 24-900°C po uprzednim 15min. ustabilizowaniu temperatury w danym punkcie pomiarowym. Dla sprawdzenia powtarzalności pomiarowej badania przeprowadzono dla dwóch próbek z miedzi CuOFC_1 oraz CuOFC_2 wykonanych z tego samego przemysłowego gatunku materiału (miedzi beztlenowej) i tej samej partii produkcyjnej.



Rysunek 3. Widok przystawki do badań w widoku ogólnym.



Rysunek 4. Stanowisko do badań własności elektrycznych drutów w podwyższonych temperaturach.

Wyniki badań

W tabelach 1-3 przedstawiono wyniki badań rezystancji oraz obliczone wartości rezystywności i przewodności elektrycznej drutów z miedzi w gat. CuOFC_1, CuOFC_2 oraz CuETP_1 poddanych badaniom. Na podstawie uzyskanych wyników opracowano bazę danych do wyznaczenia temperaturowego współczynnika rezystancji analizowanych drutów. Na rysunku 5 przedstawiono charakterystykę rezystywności, a na rysunku 6 przewodności elektrycznej drutów w funkcji temperatury natomiast na rysunkach 7 i 8 przedstawiono temperaturowy współczynnik rezystancji dla zakresu temperatur 300 i 900°C. Z przeprowadzonych badań wynika, że wraz ze wzrostem temperatury własności elektryczne drutów stopniowo maleją osiągając w 900°C zbliżoną wartość przewodności elektrycznej na poziomie 12 MS/m dla CuOFC_1, CuOFC_2 oraz CuETP_1. Z badań wynika również, że wyznaczony temperaturowy współczynnik rezystancji drutu CuOFC_1, CuOFC_2 oraz CuETP_1 w zakresie do 300°C wynosi $0,004 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, natomiast w zakresie do 900°C wynosi on $0,0045 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Tabela 1. Wyniki badań przewodności elektrycznej i rezystywności drutów CuOFC_1 w zakresie temperatur do 900°C.

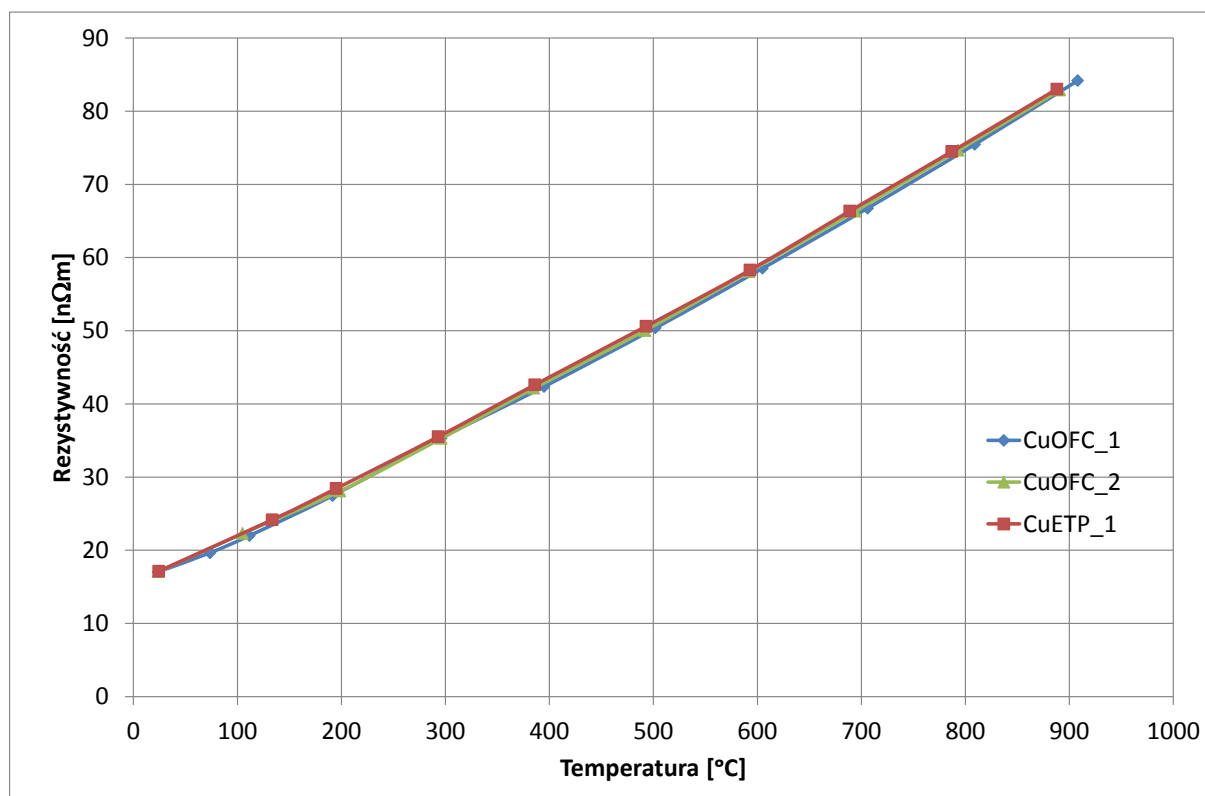
Lp	Temperatura drutu	Średnica drutu	Długość bazy pomiarowej	Rezystancja drutu (Rt)	Rezystywność	Przewodność elektryczna	%IACS	Rt/R24	Tt-T24	Rt/R24-1
	°C	mm	m	$\mu\Omega$	n Ω m	MS/m	-	-	°C	-
1	24,0	1,976	0,305	1697,03	17,05	58,66	101,13	1,000	0	0
2	73,7	1,976	0,305	1956,26	19,65	50,88	87,73	1,153	49,7	0,153
3	111,5	1,976	0,305	2188,6	21,99	45,48	78,42	1,290	87,5	0,290
4	191,5	1,976	0,305	2732,2	27,45	36,43	62,81	1,610	167,5	0,610
5	296	1,976	0,305	3520,1	35,36	28,28	48,76	2,074	272	1,074
6	395	1,976	0,305	4217,3	42,37	23,60	40,69	2,485	371	1,485
7	502	1,976	0,305	5015,5	50,39	19,85	34,22	2,955	478	1,955
8	605	1,976	0,305	5826,1	58,53	17,09	29,46	3,433	581	2,433
9	706	1,976	0,305	6644,1	66,75	14,98	25,83	3,915	682	2,915
10	809	1,976	0,305	7511,9	75,47	13,25	22,85	4,426	785	3,426
11	908	1,976	0,305	8379,3	84,18	11,88	20,48	4,938	884	3,938

Tabela 2. Wyniki badań przewodności elektrycznej i rezystywności drutów CuOFC_2 w zakresie temperatur do 900°C.

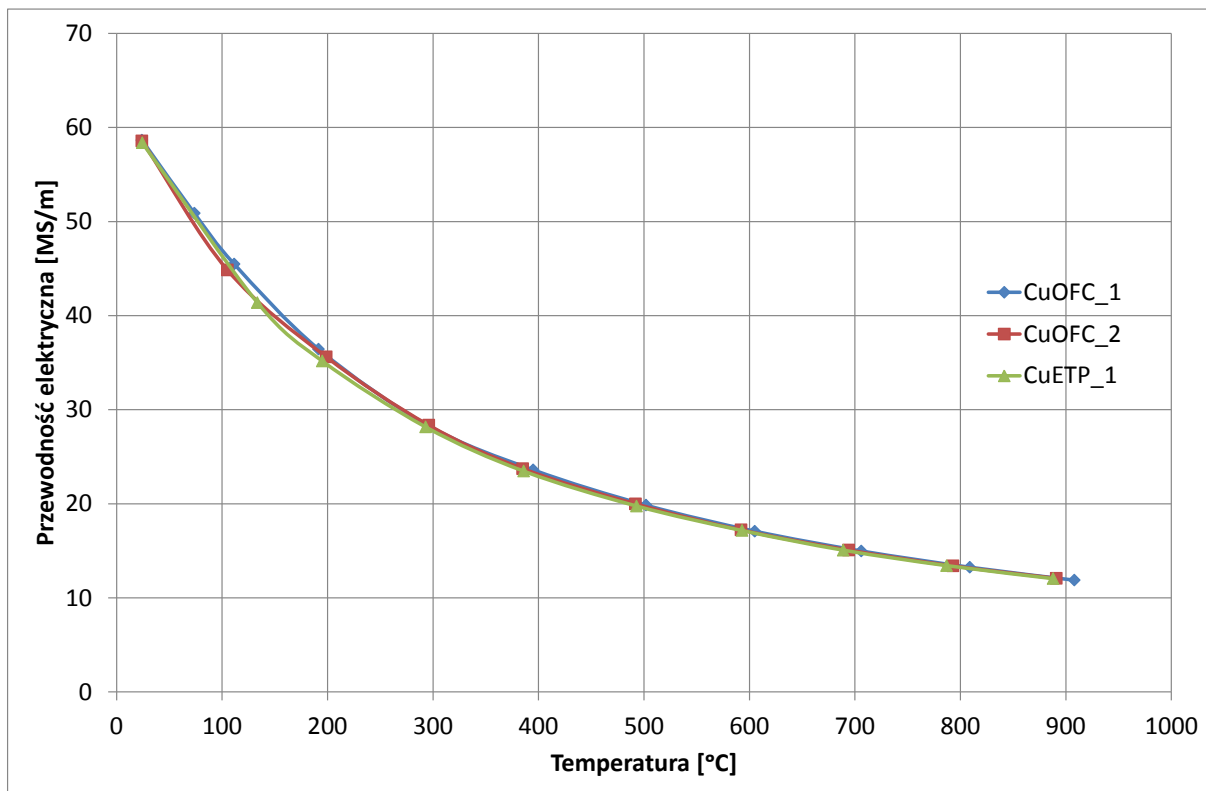
Lp	Temperatura drutu (Tt)	Średnica drutu	Długość bazy pomiarowej	Rezystancja drutu (Rt)	Rezystywność	Przewodność elektryczna	%IACS	Rt/R24	Tt-T24	Rt/R24-1
	°C	mm	m	$\mu\Omega$	n Ω m	MS/m	-	-	°C	-
1	24	1,985	0,305	1 683,44	17,07	58,57	100,99	1,00	-	-
2	105	1,985	0,305	2 198,30	22,29	44,86	77,34	1,31	81,0	0,31
3	198,7	1,985	0,305	2 768,80	28,08	35,61	61,40	1,64	174,7	0,64
4	296	1,985	0,305	3 478,30	35,27	28,35	48,88	2,07	272,0	1,07
5	385	1,985	0,305	4 154,60	42,13	23,73	40,92	2,47	361,0	1,47
6	492	1,985	0,305	4 932,40	50,02	19,99	34,47	2,93	468,0	1,93
7	592	1,985	0,305	5 725,80	58,07	17,22	29,69	3,40	568,0	2,40
8	694	1,985	0,305	6 540,30	66,33	15,08	25,99	3,89	670,0	2,89
9	793	1,985	0,305	7 362,60	74,67	13,39	23,09	4,37	769,0	3,37
10	891	1,985	0,305	8 171,70	82,87	12,07	20,81	4,85	867,0	3,85

Tabela 3. Wyniki badań przewodności elektrycznej i rezystywności drutów CuETP_1 w zakresie temperatur do 900°C.

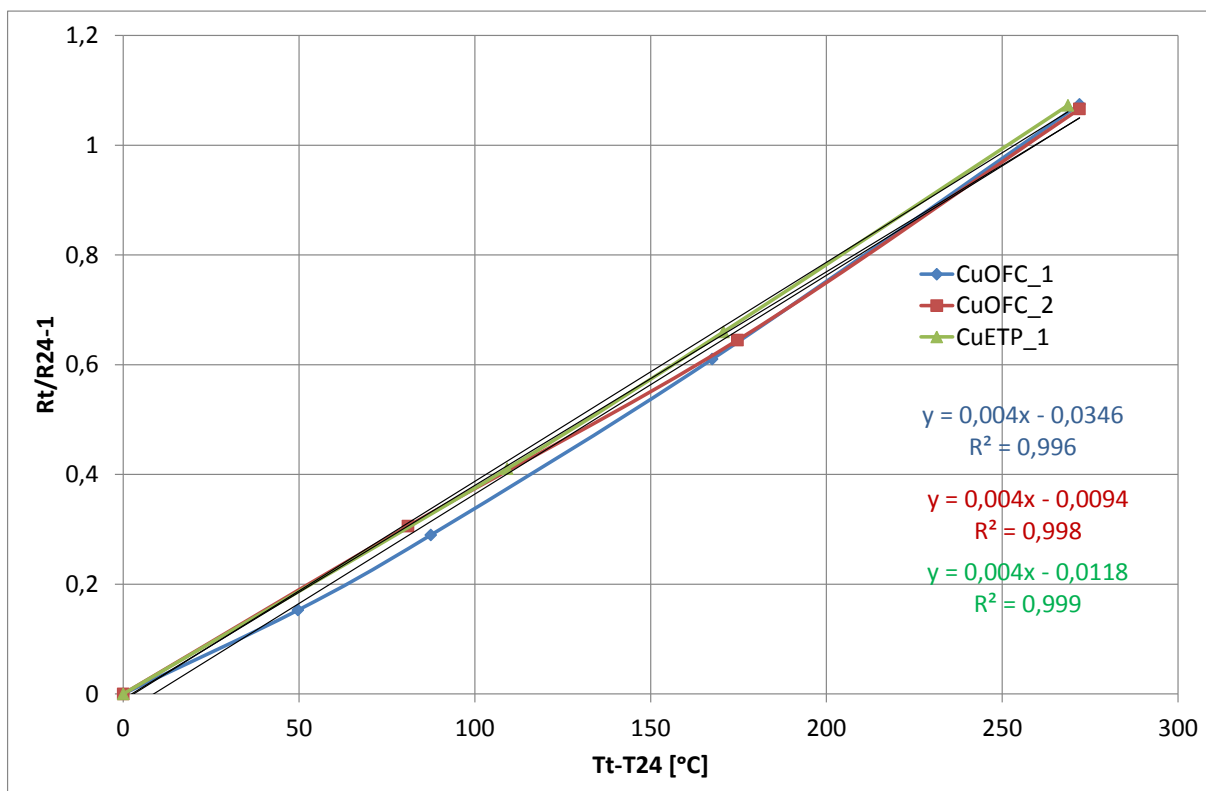
Lp	Temperatura drutu (Tt)	Średnica drutu mm	Długość bazy pomiarowej m	Rezystancja drutu (Rt)	Rezystywność	Przewodność elektryczna	%IACS	Rt/R24	Tt-T24	Rt/R24-1
	°C			$\mu\Omega$	n Ω m	MS/m	-	-	°C	-
1	24,3	1,985	0,305	1689,43	17,13	58,37	100,63	1,00	-	-
2	133,5	1,985	0,305	2382,7	24,16	41,38	71,35	1,41	109,2	0,41
3	195	1,985	0,305	2803,9	28,44	35,17	60,63	1,66	170,7	0,66
4	293	1,985	0,305	3501,6	35,51	28,16	48,55	2,07	268,7	1,07
5	386	1,985	0,305	4202,1	42,61	23,47	40,46	2,49	361,7	1,49
6	493	1,985	0,305	4990,4	50,61	19,76	34,07	2,95	468,7	1,95
7	593	1,985	0,305	5748,2	58,29	17,15	29,58	3,40	568,7	2,40
8	689	1,985	0,305	6544,4	66,37	15,07	25,98	3,87	664,7	2,87
9	787	1,985	0,305	7345,3	74,49	13,42	23,15	4,35	762,7	3,35
10	888	1,985	0,305	8187,3	83,03	12,04	20,77	4,85	863,7	3,85



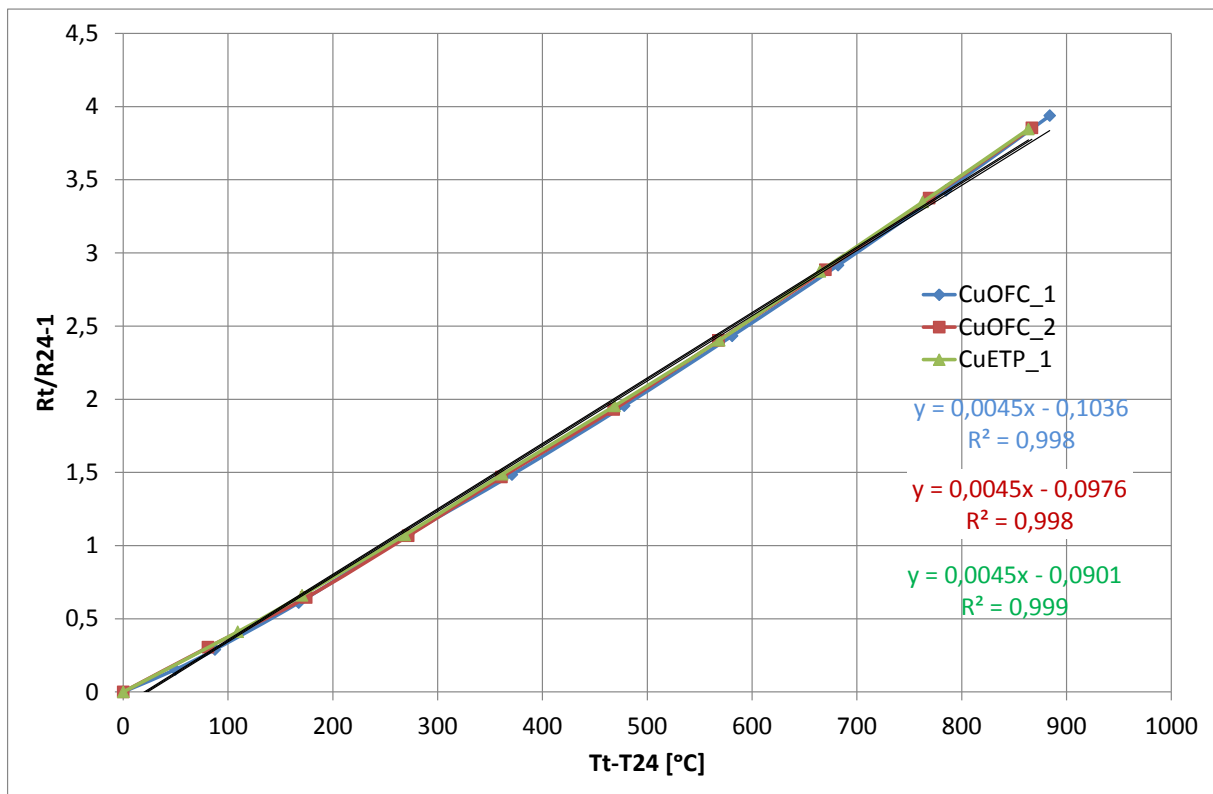
Rysunek 5. Rezystywność elektryczna drutów CuOFC_1, CuOFC_2 oraz CuETP_1 w funkcji temperatury.



Rysunek 6. Przewodność elektryczna drutów CuOFC_1, CuOFC_2 oraz CuETP_1 w funkcji temperatury.



Rysunek 7. Uśredniony temperaturowy współczynnik rezystancji drutów CuOFC_1, CuOFC_2 oraz CuETP_1 w zakresie temperatur do 300°C.



Rysunek 8. Uśredniony temperaturowy współczynnik rezystancji drutów CuOFC_1, CuOFC_2 oraz CuETP_1 w zakresie temperatur do 900°C