

Krzysztof KALETA

Fabryka Przewodów Energetycznych S. A.

Zastosowanie miedzi beztlenowej CU-OFE do produkcji metodą Konform szyn miedzianych i przewodów, wykorzystywanych w systemach rozpraszania energii elektrycznej

Streszczenie: W artykule zostały przedstawione różne sposoby wytwarzania surowców miedzianych używanych przez FPE S.A. poczynając od opisu produkcji katod, z których wytwarzane były wlewki miedziane i walcówki miedziane (metodą CONTIRODE) o zawartości do 200 ppm O₂, do opisu produkcji miedzi beztlenowej Cu OFE (technologia UPCAST), w postaci drutów używanych później w instalacjach typu KONFORM. W ostatniej części artykułu przedstawione są możliwości oszczędności miedzi wynikające z zastosowania gatunku Cu-OFE, w stosunku do miedzi Cu-ETP, oparte o różnicę we własnościach elektrycznych tych materiałów.

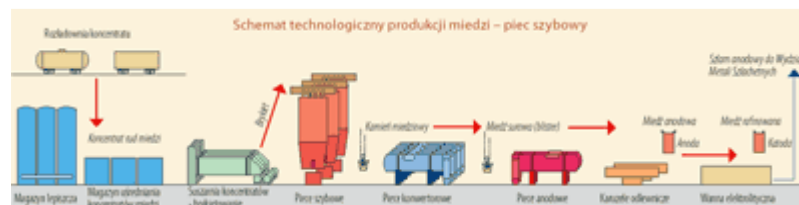
Słowa kluczowe: szyny miedziane, druty miedziane, przewody gołe, miedź beztlenowa, bus bars

Wstęp

Opis produkcji katod i wlewków (Materiał KGHM)

Produkcja w HM „Legnica” oparta jest na technologii przetopu koncentratów miedzi w piecach szybowych. Wsad do pieców szybowych stanowi uśredniony i zbrykietowany koncentrat, zawierający ok.15-20% -miedzi, oraz żużel konwertorowy i koks.

W wyniku przetopu wsadu otrzymuje się kamień miedziany oraz żużel odpadowy. W efekcie procesu konwertorowania kamienia miedzianego powstaje miedź konwertorowa (miedź blister) o zawartości ok. 98,5% Cu. W procesie rafinacji ogniowej - piece anodowe, zostają usunięte pozostałe zanieczyszczenie. Odlane anody poddawane są elektrorafinacji, w trakcie której miedź anodowa rozpuszcza się w elektrolicie i pod wpływem prądu stałego osadza się na podkładkach katodowych, tworząc produkt finalny – miedź katodową o zawartości 99,99% Cu o wadze ok. 100 kg.



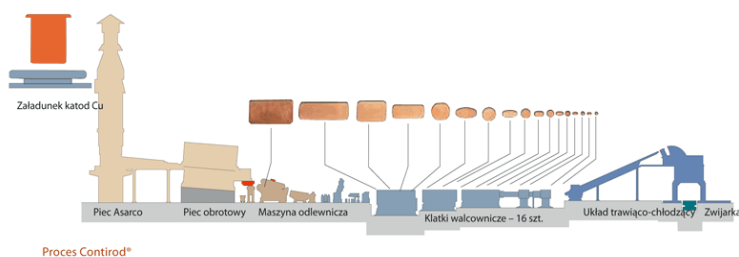
Rys. 1. Schemat technologiczny produkcji miedzi - HM „Legnica”

Opis procesu Contirod (Materiał KGHM)

W procesie „Contirod”, w pierwszej fazie produkcji, katody trafiają do pieca topielnego Asarco, przetapiającego 45 ton miedzi na godzinę w temperaturze 1120°C. Stopiona miedź jest transportowana systemem rynien do pieca odstojowego o pojemności ok. 20 ton. Ciekła miedź, dozowana do maszyny odlewniczej Hazelett, krystalizuje się w pasmo o przekroju 60 x 122 mm. Pasma miedzi, odlewane z prędkością 12 m/min. o temperaturze 850°C, jest poddawane przeróbce plastycznej w kłatkach walcowniczych.

Produktem finalnym jest walcówka o średnicy 8 mm, zwijana w kręgi o wadze 5 ton i zabezpieczona warstwą syntetycznego wosku, chroniącego przed wtórnym utlenieniem. Otrzymywana w tym procesie walcówka / do 200 ppm/ jest wykorzystywana w toku produkcji Fabryki Przewodów Energetycznych SA i stosowana m.in. do produkcji drutów nawojowych i drutów okrągłych do linek w gatunku Cu-ETP.

W dalszym etapie procesu produkcyjnego zakładu, miedź w postaci katod może zostać przetworzona w postać wlewków okrągłych o średnicach 150-300 mm i długościach 300-2500 mm. Z wlewków w Fabryce Przewodów Energetycznych SA w Będzinie, do 2013 roku wytwarzaliśmy szyny oraz inne profile z miedzi w gatunku Cu-ETP.



Rys. 2 Przebieg procesu Contirod

ZASTOSOWANIE:

- produkcja super cienkich drutów do średnicy 0,1mm lub poniżej
- produkcja cienkich drutów do średnic w zakresie od 0,2mm do 0,1mm
- produkcja przewodów emaliowanych, kabli energetycznych
- przewody instalacyjne
- kable energetyczne

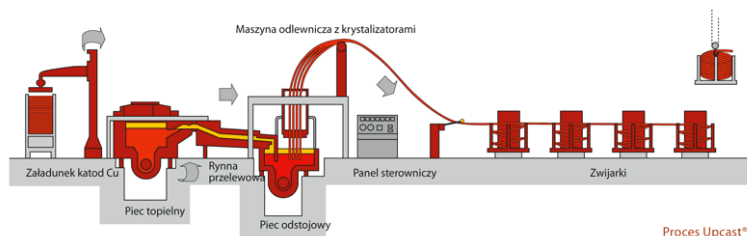
Drut z miedzi beztlenowej Cu-OFE –technologia UPCAST (materiał KGHM)

Technologia UPCAST umożliwia produkcję drutów o zróżnicowanej średnicy (8 10-12-16-18-20-22-24 mm) oraz drutów z miedzi niskostopowej (z dodatkiem 0,1% srebra). W skład przykładowej instalacji wchodzi system załadunku katod, indukcyjny piec topielny, indukcyjny piec odlewniczy, maszyna odlewnicza z krystalizatorami, chłodnicami pierwotnymi i wtórnymi do pionowego odlewania w górę oraz 16 zwijarek kręgow.

Opis procesu UPCAST

Proces UPCAST® jest instalacją do produkcji drutu z miedzi beztlenowej o wysokiej przewodności i plastyczności w zakresie średnic 8 -24 mm, metodą ciągłego topienia i pionowego odlewania „do góry”, w szesnastu żyłach z wydajnością 15 tys. ton rocznie. Wsad w postaci wysokiej jakości katod ładowany jest do pieca indukcyjnego z dwoma induktorami, gdzie są stapiane w piecu topielnym pod warstwą ochronną z węgla

drzewnego. Katody ułożone w stosach na stojakach są przenoszone pojedynczo urządzeniem dźwigowym na podajnik, który ładuje je do pieca. Okresowo wymagana ilość stopionej miedzi przekazywana jest z pieca topielnego poprzez gazoszczelną rynnę do pieca odlewniczego. Rolki ciągnące dla 16 żył walcówki o średnicy 8 mm są zlokalizowane nad piecem odlewniczym. Krystalizatory są przymocowane w taki sposób, że ciągadła grafitowe są zanurzone w ciekłej miedzi. Zestalone żyły drutu są wyciągane w górę poprzez rolki ciągnące. Ciągadła grafitowe są utrzymywane na stałej głębokości w topie poprzez pozycjonujący układ sterowania, który automatycznie podnosi i opuszcza maszynę odlewniczą w zależności od poziomu topu w piecu odlewniczym. Konstrukcja maszyny odlewniczej umożliwia indywidualną wymianę każdego krystalizatora bez wpływu na pozostałe. Dla każdej żyły przewidziana jest zwijarka, do której drut prowadzony jest z rolek ciągnących poprzez układ automatycznej kontroli prędkości. Prędkość zwijania dostosowywana jest automatycznie do prędkości odlewania. Promień zginania drutu w zwijarce jest regulowany automatycznie, aby uzyskać równo ułożone i zwarte zwoje.



Rys. 3. Przebieg procesu Upcast

Drut z miedzi beztlenowej ma wiele zastosowań, m.in. do:

- profili płaskich i kształtowych
- produkcji mikrodrutów,
- drutów emaliowanych i powlekanych Ag, Sn, Ni,
- kabli bezpieczeństwa odpornych na ogień,
- produktów z miedzi niskostopowej,
- produkcji kabli UTP 6 i 7 kategorii,

W praktyce drut CU-OFE może być technologicznie poddawany procesom:

- przeciągania:

Drut Cu-OFE z zawartością tlenu <3ppm jest odporny na zawodorowanie. Śladowa ilość tlenu zapewnia bardzo dobrą ciągliwość i niską temperaturę rekrytalizacji.

-wyciskania:

Drut z Cu-OFE jest materiałem idealnym do ciągłego wyciskania na profile płaskie i kształtowe w procesie Konform.

- walcowania:

Drut z Cu-OFE może być również walcowany na profile płaskie i kształtowe.

Korzyści stosowania drutu Cu-OFE:

- produkcja z katod selekcyonowanych,
- powierzchnia koloru jasnego metalicznego, wolna od łusek,
- brak wtrąceń z procesu walcowania,
- jednorodna jakość produktu,
- odporność na zawodorowania
- lepsze właściwości niż tradycyjne miedź.

Skład chemiczny:

Oznaczenie materiału			Skład chemiczny [ppm wag.]																				
Rodzaj	Symbol	Numer	Cu	Ag	As	Bi	Cd	Co	Cr	Fe	Mn	Ni	O	P	Pb	S	Sb	Se	Si	Sn	Te	Zn	Suma (bez O ₂)
Miedź tlenowa	Cu-ETP	CW003A	-	25	5 ¹⁾	2 ²⁾	1 ³⁾	1 ³⁾	10 ³⁾	1 ³⁾	1 ³⁾	max. 400	1 ¹⁾	5	15	4 ¹⁾	2 ²⁾	1 ³⁾	1 ³⁾	2 ²⁾	1 ³⁾	65	
Miedź beztlenowa	Cu-OFE	CW009A	min. 99,99	25	5	2	1	-	10	5	10	4 ¹⁾	3	5	15	4	2	-	2	2	1	-	

W przypadku miedzi o wysokiej czystości chemicznej suma zanieczyszczeń jest ściśle określona. W szczególności wyróżnia się trzy grupy domieszek [6, 7], których sumaryczna zawartość powinna wynosić maksymalnie:

¹⁾ (As + Cd + Cr + Mn + P + Sb) – 15 ppm wag. (0,0015 %),
²⁾ (Bi + Se + Te) – 3 ppm wag. (0,0003 %), w tym (Se + Te) – 3 ppm wag. (0,0003 %),
³⁾ (Co + Fe + Ni + Si + Sn + Zn) – 20 ppm wag. (0,002 %),
⁴⁾ zawartość tlenu powinna być kontrolowana przez wytwórcę w tym celu, aby materiał spełniał wymagania dotyczące odporności na kruchość wodorową podane w PN-EN 1976.

Fabryka Przewodów Energetycznych S.A. w Będzinie stosuje obecnie druty Cu-OFE do produkcji drutów nawojowych i szyn wykorzystując, do tego urządzenia typu Konform.

Porównanie własności miedzi Cu-ETP i Cu-OFE

Oznaczenie materiału		Symbol	Cu-ETP	Cu-OFE
		Numer	CW004A	CW009A
Własności elektryczne	Rezystywność objętościowa $\mu\Omega \times m$ max		0,01724	0,01707
	Nominalna rezystywność masowa $\Omega \times g/m^2$ max		0,15328	0,15176
	Nominalna konduktywność	MS/m min.	58,00	58,58
		%IACS min.	100	101
Skład chemiczny w % (m/m)	Pierwiastek	Cu	99,9	99,99
		Bi	0,0005	0,0002
		O	0,04	0
		PB	0,005	0,0005
		P	0	0,0003

Rys. 4. Porównanie własności miedzi Cu-ETP i Cu-OFE

Na podstawie danych zawartych w tabeli stwierdza się, że miedź typu CU-OFE posiada zdecydowanie lepsze parametry elektryczne niż miedź typu Cu-ETP

Porównanie własności elektrycznych szyn miedzianych, w zależności od materiału użytego do ich produkcji, na przykładzie szyny 10 x 100 mm (na podstawie obliczeń teoretycznych).

a) **własności elektryczne szyn z różnych gatunków miedzi o tych samych wymiarach**

Materiał	Wymiar a	Wymiar b	Długość pręta	4	Gęstość miedzi [g/cm ³]	8,9
			Pole	Waga	Rezystywność	Opór
CuOFE	10	100	1000	35,60	0,01707	0,0000171
CuETP	10	100	1000	35,60	0,01724	0,0000172

Rys. 5. Porównanie własności szyn z różnych gatunków miedzi

b) **Wymiary szyny z miedzi Cu-ETP, taki jaki osiąga szyna Cu-OFE o wymiarach 10x100 o długości 4m**

Materiał	Wymiar a [mm]	Wymiar b [mm]	Pole [mm ²]	Waga [kg]	Rezystywność [μΩ x m]	Opór [Ω/m]
Cu-ETP	10,10	100	1010	35,95	0,01724	0,0000171

c) **Wymiary szyny z miedzi Cu-OFE, taki jaki osiąga szyna Cu-ETP o wymiarach 10x100 o długości 4m**

Materiał	Wymiar a [mm]	Wymiar b [mm]	Pole [mm ²]	Waga [kg]	Rezystywność [μΩ x m]	Opór [Ω/m]
Cu-OFE	9,90	100	990	35,25	0,01707	0,0000172

Z obliczeń wynika jednoznacznie, że szyny wykonane z materiału Cu-OFE, pozwalają zaoszczędzić materiał w porównaniu z szynami wykonanymi z miedzi tradycyjnej Cu-ETP. Wykonanie ilości 100kg szyn z miedzi Cu-OFE, posiadających te same własności elektryczne co szyny z miedzi Cu-ETP, pociąga za sobą użycie 101kg tej drugiej.

Porównanie własności elektrycznych drutów nawojowych, w zależności od materiału użytego do ich produkcji, na przykładzie drutu nawojowego 3,80 x 11,00 mm (na podstawie badań próbek drutów).

a) **własności elektryczne drutów nawojowych z różnych gatunków miedzi o tych samych wymiarach**

Materiał	Wymiar a	Wymiar b	Długość pręta	4	Gęstość miedz [g/cm ³]	8,9	Własności mechaniczne	
			Pole	Waga	Rezystywność	Opór	Rm	A
			mm ²	kg	Ω x mm ² / m	Ω/km	N/mm ²	%
CuOFE	3,8	11	42	1,49	0,01724	0,4124	387	3,08
CuETP	3,8	11	42	1,49	0,01743	0,4170	395	2,38

b) Wymiary drutu nawojowego z miedzi CuETP taki, jaki osiągnie drut nawojowy z miedzi CuOFE o wymiarach 3,8x11 o długości 1m

Materiał	Wymiar a	Wymiar b	Pole	Waga	Rezystywność	Opór
	mm	mm	mm ²	kg	$\Omega \times \text{mm}^2 / \text{m}$	Ω/km
Cu-ETP	3,84	11	42	0,376	0,01743	0,4124

c) Wymiary drutu nawojowego z miedzi Cu-OFE taki, jaki osiągnie drut nawojowy z miedzi Cu-ETP o wymiarach 3,8x11 o długości 1m

Materiał	Wymiar a	Wymiar b	Pole	Waga	Rezystywność	Opór
	mm	mm	mm ²	kg	$\Omega \times \text{mm}^2 / \text{m}$	Ω/km
Cu-OFE	3,76	11	41	0,368	0,01724	0,4170

Z obliczeń wynika jednoznacznie, że szyny wykonane z materiału Cu-OFE pozwalają zaoszczędzić materiał w porównaniu z szynami wykonanymi z miedzi Cu-ETP.

Aby wykonać 100kg drutu nawojowego posiadającego te same własności elektryczne co 100kg drutu z miedzi Cu-OFE, należy użyć aż 101,1kg miedzi Cu ETP.

Wnioski:

1. Systemy rozprowadzania energii elektrycznej, w których wykorzystuje się przewody z miedzi beztlenowej CU-OFE, mogą być: lżejsze niż analogiczne z miedzi ETP lub mieć lepsze parametry eksploatacyjne przy tych samych wymiarach,
2. Poprzez obniżenie ilości miedzi w szynach lub uzwojeniach, możliwe jest zmniejszenie gabarytów rozdzielni lub maszyn elektrycznych,
3. Niższa rezystancja pozwala na obniżenie strat związanych z stratami cieplnymi w przewodniku, co za tym idzie lepszą efektywność energetyczną maszyn i niższe zużycie energii elektrycznej,
4. Mniejsze wydzielanie ciepła pozwoli ograniczyć wydatki na chłodzenie maszyn oraz wentylację pomieszczeń, w których znajdują

Bibliografia:

1. Strona internetowa KGHM – www.kghm.pl
2. NORMA PN-EN 1977
3. Materiały własne Fabryki Przewodów Energetycznych S.A.

Autor: Krzysztof Kaleta, Prezes Zarządu Fabryki Przewodów Energetycznych S.A., ul. Sielecka 1 42-500 Będzin, e-mail.: k.kaleta@fpe.com.pl