

---

***PRACE***

---

**Instytutu Szkła, Ceramiki  
Materiałów Ogniotrwałych  
i Budowlanych**

---

***Scientific Works***  
of Institute of Glass, Ceramics  
Refractory and Construction Materials

---

**Nr 1**

ISSN 1899-3230

**Rok I**

**Warszawa–Opole 2008**

---

*JERZY WITEK\**  
*JÓZEF BARAŃSKI\*\**  
*KRYSTYNA ZIMNA\*\*\**

# **Poprawa efektywności pieca kołpakowego do obróbki cieplnej taśm ze stopów miedzi**

Prezentowana praca przedstawia wpływ zmiany wyłożenia ogniotrwało-izolacyjnego i systemu ogrzewania pieca kołpakowego na poprawę efektywności procesu wyżarzania taśm ze stopów miedzi. W wyłożeniu ogniotrwało-izolacyjnym, w miejsce wyrobów tradycyjnych, zastosowano w całości wyroby na bazie włókien ceramicznych, a jednostrefowy dotychczas układ ogrzewania podzielono na cztery niezależnie zasilane i sterowane strefy grzejne. Przyjęte w nowym piecu rozwiązania zapewniły dużą jednorodność pola temperatur w komorze pieca. Różnice, które wcześniej wynosiły ok. 40°C, teraz praktycznie nie przekraczają 5°C. Konsekwencją jest duża jednorodność własności wyżarzanych taśm, w wyniku czego ilość powstających odpadów technologicznych zmniejszyła się z 0,9 do 0,3%. Jednocześnie sprawność cieplna procesu wyżarzania wzrosła z 28 do 43%, co praktycznie spowodowało, iż energochłonność procesu wyżarzania zmniejszyła się o 34%.

## **1. Wprowadzenie**

W procesie walcowania na zimno taśm ze stopów miedzi zmianie grubości taśmy towarzyszy deformacja struktury wewnętrznej i w efekcie zmiana własności walcowanego metalu; następuje tzw. umocnienie metalu – zwiększa się jego wytrzymałość, zmniejsza plastyczność. Przy pewnej wartości zgniotu plastyczność zmniejsza się tak dalece, że metal nie przenosi już dalszych nacisków i pęka. Dlatego konieczne jest międzyoperacyjne wyżarzanie rekrytalizujące, które zmiękcza i uplastycznia metal oraz odbudowuje jego strukturę wewnętrzną.

\*Mgr inż., Instytut Szkła, Ceramiki, Materiałów Ogniotrwałych i Budowlanych w Warszawie, Oddział Materiałów Ogniotrwałych w Gliwicach.

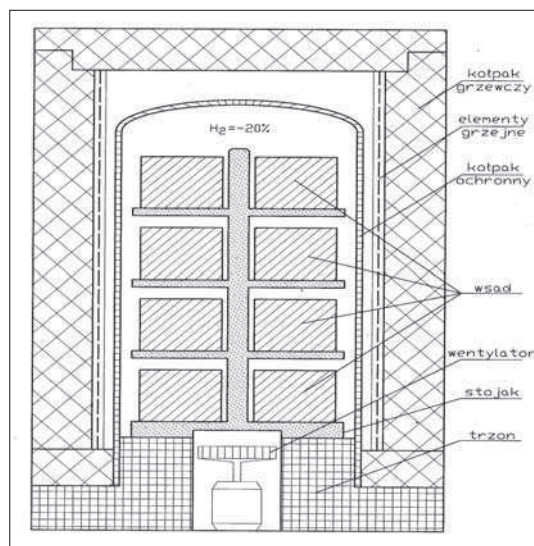
\*\*Mgr inż., Instytut Szkła, Ceramiki, Materiałów Ogniotrwałych i Budowlanych w Warszawie, Oddział Materiałów Ogniotrwałych w Gliwicach.

\*\*\*Mgr inż., Instytut Szkła, Ceramiki, Materiałów Ogniotrwałych i Budowlanych w Warszawie, Oddział Materiałów Ogniotrwałych w Gliwicach.

Zmiany te następują w temperaturze właściwej dla rekrytalizacji danego metalu czy stopu. W temperaturze tej, w atmosferze ochronnej (wodorowej lub azotowo-wodorowej), zabezpieczającej powierzchnię metalu przed utlenianiem, struktura, charakterystyczna dla metalu umocnionego przez zgniot, przebudowuje się ponownie w strukturę charakterystyczną dla metalu nieodkształconego, czemu towarzyszy obniżenie wytrzymałości i twardości oraz zwiększenie plastyczności, umożliwiające jego ponowne walcowanie. O prawidłowym przebiegu procesu przebudowy struktury i osiągnięciu odpowiednich dla procesu walcowania własności metalu decyduje temperatura wyżarzania. Bardzo niekorzystna jest sytuacja zarówno wówczas, gdy jest ona niższa, jak i wówczas, gdy jest ona wyższa od temperatury rekrytalizacji danego metalu czy stopu. Gdy jest niższa, proces przebudowy struktury jest niepełny, natomiast gdy jest wyższa, struktura jest zbyt gruboziarnista. W jednym i w drugim przypadku metal ma ograniczoną odkształcalność. Ponieważ w jednej operacji walcowania nie można nadać taśmom ostatecznej grubości, proces ten, jak również poprzedzające go wyżarzanie, powtarzane są w cyklu produkcyjnym najczęściej dwu-, trzykrotnie, stanowiąc tym samym bardzo istotny składnik kosztów wytwarzania taśm ze stopów miedzi.

## 2. Charakterystyka pieca kołpakowego

Proces wyżarzania międzyoperacyjnego taśm ze stopów miedzi realizowany jest w piecu kołpakowym. Jego schemat przedstawiono na ryc. 1. Stanowią go:



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 1. Schemat pieca kołpakowego

- kołpak grzewczy;
- kołpak ochronny;
- trzon z wentylatorem;
- stojak, na którym układany jest wsad (kręgi taśmy).

Podstawowym problemem związanym z piecem kołpakowym, eksploatowanym dotychczas w WMN w Gliwicach, była duża ilość powstających odpadów (0,9%) oraz wysoka energochłonność (205 kWh/tonę) wyżarzania. Z analizy dotychczasowych warunków procesu wyżarzania oraz wyników badań jakościowych wyżarzanych taśm wynikało, że przyczyny tego stanu rzeczy związane są głównie z wyłożeniem izolacyjnym oraz systemem ogrzewania i sterowania pieca. Dotychczasowe rozwiązania w tym zakresie, oprócz tego, że energochłonne, powodowały, że różnica temperatur pomiędzy górną i dolną częścią komory wyżarzania była na tyle duża (39°C), iż wyraźnie obserwowano dużą niejednorodność własności wyrobów, co było bezpośrednim źródłem powstania znacznej ilości odpadów. W związku z tym zaprojektowano i wykonano model nowego urządzenia, w którego wyłożeniu izolacyjnym stosowane dotychczas tradycyjne materiały gatunku L8 zastąpiono konstrukcją opartą w całości na wyrobach z włókien ceramicznych. Jednocześnie podwieszono na wyłożeniu włóknistym meandry drutu oporowego podzielono na cztery niezależnie zasilane i sterowane strefy grzejne, odpowiadające czterem poziomom usytuowania wsadu w komorze pieca. Zmieniono w ten sposób stosowany wcześniej system jednostrefowy. Charakterystykę porównawczą starego i nowego rozwiązania wyłożenia izolacyjnego pieca kołpakowego przedstawiono w tab. 1.

T a b e l a 1

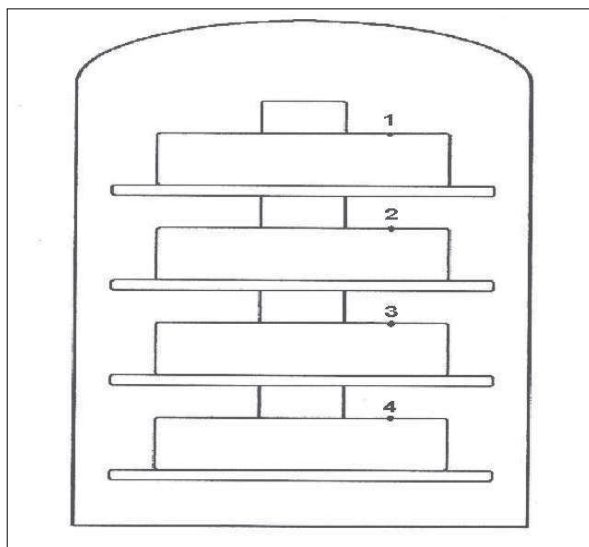
*Charakterystyka wyłożenia izolacyjnego pieca kołpakowego*

Parametry	Rodzaj wyłożenia	
	stare – wyroby tradycyjne, gatunek L8	nowe – wyroby na bazie włókien ceramicznych
Grubość warstwy [mm]	250	250
Gęstość pozorna [kg/m <sup>3</sup> ]	880	160
Ciepło właściwe [kJ/kgK]	0,95 (20–600°C)	0,90 (20–600°C)
Przewodność cieplna [W/mK]	0,32 (300°C)	0,10 (300°C)
Temperatura zewnętrzna wymurówki [°C]	67	37
Strumień ciepła przenikający przez wymurówkę [W/m <sup>2</sup> ]	506	163
Ciepło zakumulowane w wymurówce kJ/m <sup>2</sup>	53 922	8 748

Z danych przedstawionych w tab. 1 wynika, że, w porównaniu z konstrukcją wcześniej eksploatowaną, nowa konstrukcja charakteryzuje się wyraźnie lepszą izolacyjnością i zdecydowanie mniejszą zdolnością akumulowania ciepła. Strumień ciepła przenikający przez wyłożenie włókniste jest trzykrotnie mniejszy, a akumulowana w nim ilość ciepła sześciokrotnie niższa. Ten ostatni parametr, w związku z tym, że piec eksploatowany jest w sposób okresowy, ma szczególnie duże znaczenie i istotny wpływ na energochłonność procesu wyżarzania.

### 3. Próby wyżarzania w nowym piecu kołpakowym

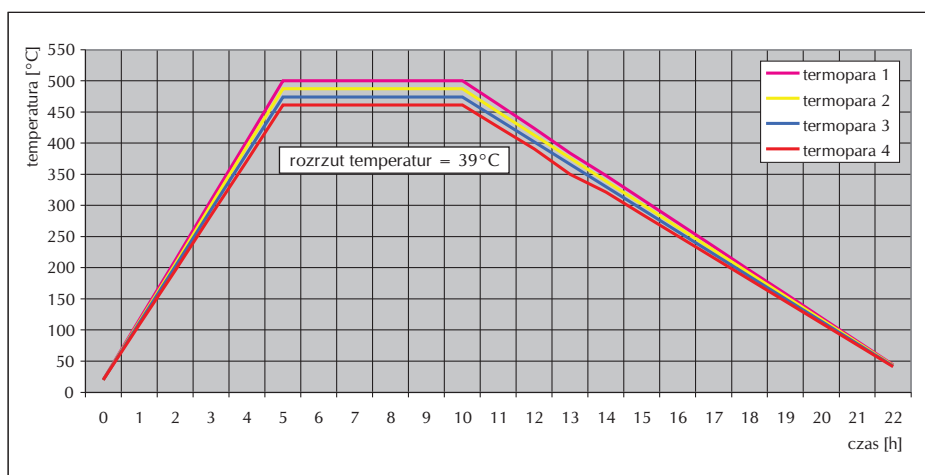
Na wykonanym modelu pieca kołpakowego przeprowadzono serię prób wyżarzania, które miały określić wpływ przyjętych dla nowego pieca rozwiązań konstrukcyjnych na charakterystykę temperaturową i energochłonność realizowanego w nim procesu obróbki cieplnej. Próby te przeprowadzono na taśmach mosiężnych w gatunku M70, wyżarzanych w temperaturze 500°C, w atmosferze ochronnej, wysokowodorowej. W pierwszym etapie przeprowadzono serię prób, podczas których, poza monitorowaniem zużycia energii, badano jednorodność pola temperatury w komorze wyżarzania. Otrzymane wyniki porównywano z rezultatami uzyskiwanymi w trakcie wyżarzania z zastosowaniem starych pieców kołpakowych. Rozmieszczenie termopar w czasie badania rozkładu temperatury przedstawiono na ryc. 2, a wyniki tych badań na ryc. 3 i 4. Z analizy przedstawionych rezultatów badań wynika, że w najistotniejszym dla przebudowy struktury metalu okresie obróbki cieplnej, tj. w czasie wytrzymania,



Źródło: Opracowanie własne.

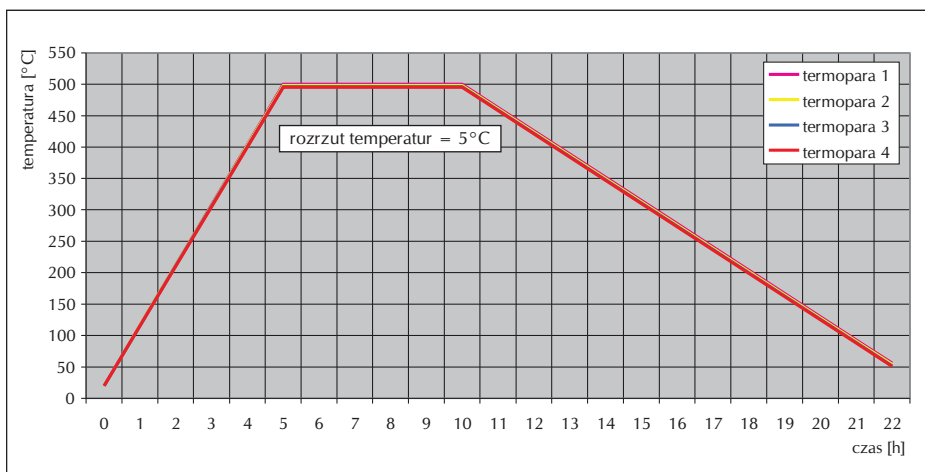
Ryc. 2. Rozmieszczenie termopar w trakcie badania rozkładu temperatur

rozrzut temperatury w komorze nowego pieca nie przekraczał  $5^{\circ}\text{C}$ . Biorąc pod uwagę to, iż w starych piecach rozrzut ten wynosił  $39^{\circ}\text{C}$ , widać, że nowe rozwiązanie przyniosło w tym przypadku zasadniczą poprawę. Równoległe z badaniem jednorodności pola temperatury w komorze wyżarzania i monitorowaniem energochłonności procesu prowadzono badania wpływu nowych warunków obróbki cieplnej na poprawę jakości taśm.



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 3. Charakterystyka temperaturowa procesu wyżarzania w starym piecu kołpakowym



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 4. Charakterystyka temperaturowa procesu wyżarzania w nowym piecu kołpakowym

W tym celu badano własności taśm wyżarzanych w nowych warunkach i porównywano je z własnościami uzyskiwanymi w starym piecu oraz z własnościami normowymi. W każdym przypadku pobierano próby z górnej i z dolnej części pieca oraz badano: wytrzymałość na rozciąganie  $R_m$ , twardość HV (w skali Vickersa, mierzonej przy obciążeniu 294,2 N), wydłużenie A10 (wydłużenie procentowe próbki mierzone po zerwaniu) i mikrostrukturę (wielkość ziarna). Badania te prowadzono zgodnie z wymaganiami stosownych norm:

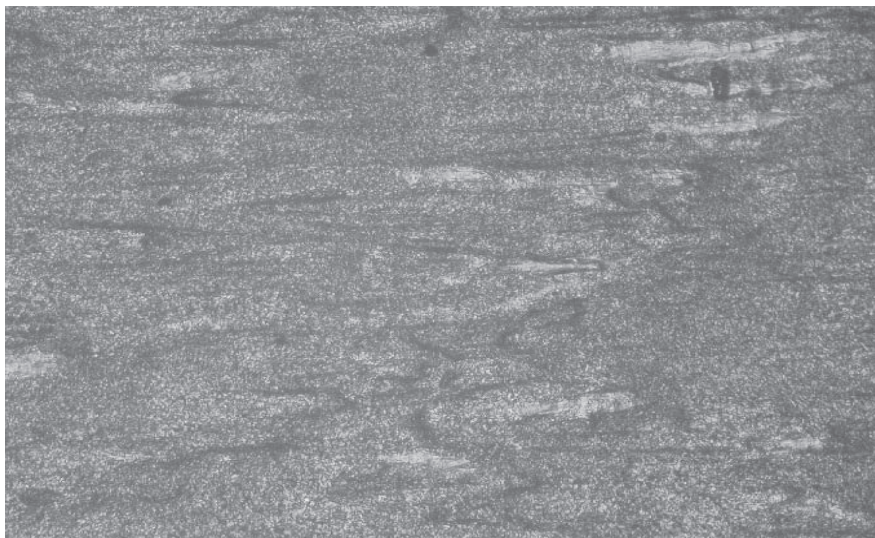
- PN-EN 10002-1/2004: „Próba rozciągania. Metoda badania w temperaturze otoczenia”;
- PN-EN ISO 6507-1/2006: „Pomiar twardości sposobem Vickersa. Metoda badań”;
- PN-EN ISO 2624/1997: „Miedź i stopy miedzi. Określenie średniej wielkości ziarna”.

Rezultaty wymienionych badań przedstawiono w tab. 2. Skonfrontowano w niej wyniki uzyskane w trakcie prób wyżarzania w starym oraz nowym piecu kołpakowym. Oprócz własności wyrobów zamieszczono w niej również dane charakteryzujące ilość powstających wybraków i energochłonność procesu wyżarzania. Wszystkie wyniki przedstawione w tab. 2 stanowią podsumowanie kilkudziesięciu prób wyżarzania. Analizując wyniki badań przedstawione w tab. 2, widać znaczną niejednorodność własności prób wygrzewanych w górnej i dolnej części starego pieca. Jest to, jak już wcześniej wspomniano, efekt niejednorodności pola temperatur w komorze wyżarzania. Własności taśm wyżarzanych w dolnej części komory pieca (niższa temperatura) sytuują się praktycznie na granicy wymaganego zakresu. Zdarzają się tam przypadki takie, jak te zaprezentowane na ryc. 5, gdzie proces odbudowy (rekrystalizacji) struktury, z uwagi na zbyt niską temperaturę, nie przebiegł do końca. W nowym piecu, gdzie rozrzut temperatur w komorze wyżarzania jest bardzo niewielki, niejednorodności tych już nie obserwujemy. Własności taśm wyżarzanych w górnej i dolnej części komory pieca praktycznie się nie różnią. Wszystkie są prawidłowo zrekrystalizowane, czego przykład przedstawiono na ryc. 6; wszystkie spełniają także wymagania normowe. W rezultacie, po przeprowadzeniu kilkudziesięciu prób wygrzewania, okazało się, że wskaźnik odpadów technologicznych z poziomu 0,9% zmniejszył się do ok. 0,3%. Jednocześnie prowadzony podczas każdej próby monitoring energetyczny wykazał, że w nowym piecu jednostkowe zużycie energii wyniosło średnio 135 kWh na tonę wyżarzanych wyrobów i było o 34% mniejsze w porównaniu z wynikami uzyskiwanymi wcześniej w starych piecach (średnio 205 kWh). W celu bardziej szczegółowego poznania charakterystyki energetycznej procesu wyżarzania rekrystalizacyjnego taśm ze stopów miedzi wykonano obliczenia bilansu cieplnego.

T a b e l a 2  
*Własności taśmy z mostadzu M70 wyżarzanej w warunkach starego  
i nowego pieca kołpakowego*

Miejsce pobrania prób do badań	Temperatura wyżarzania [°C]	Wytrzymałość na rozciąganie Rm [MPa]	Wydłużenie, A10 [%]	Twardość, HV [według Vickersa]	Wielkość ziarna [mm]	Ilość wybraków [%]	Energochłonność wyżarzania [kWh/tonę]
Stary piec	górną	323	61,2	73,9-75,9	0,031-0,062	0,9	205
	dół	350	48,8	83,2-85,5	0,022-0,031		
Nowy piec	górną	324	59,2	74,9-76,3	0,031-0,062	0,3	135
	dół	326	59,9	74,3-76,1	0,031-0,062		
Wymagania normy PN-EN 1652		270-350	min. 45	55-90	0,022-0,088 (tego parametru norma nie określa)	-	-





Źródło: Opracowanie własne.

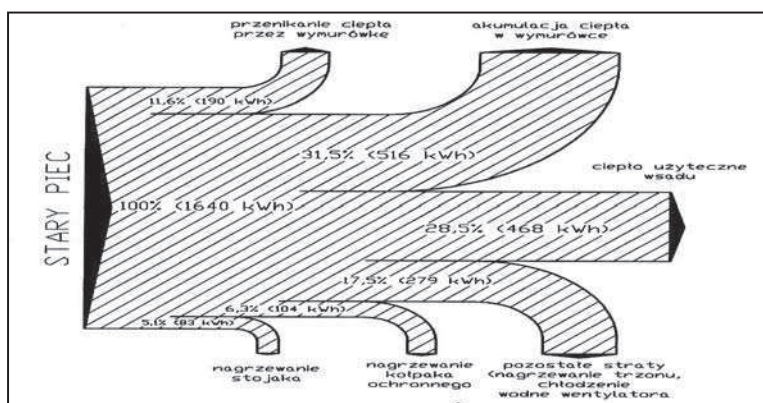
Ryc. 5. Mikrostruktura taśmy z mosiądzu M70 wyżarzanej w dolnej strefie starego pieca kołpakowego



Źródło: Opracowanie własne.

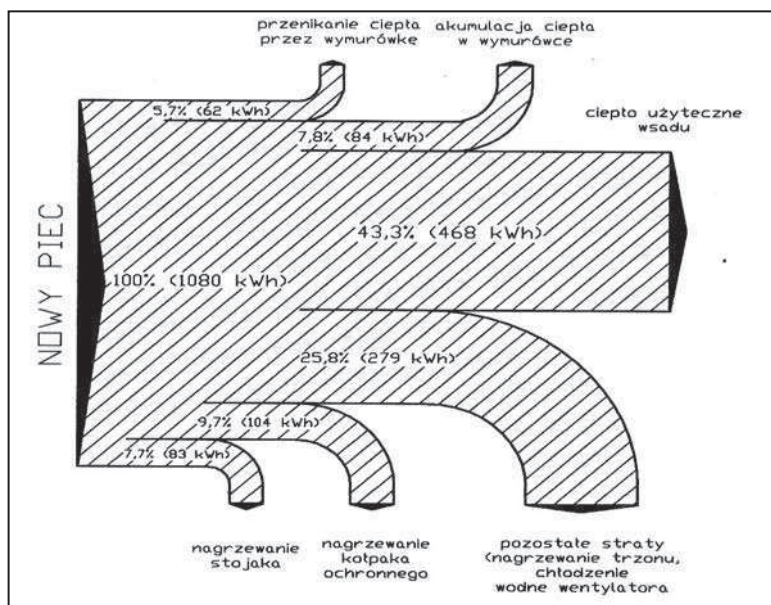
Ryc. 6. Mikrostruktura taśmy z mosiądzu M70 wyżarzanej w dolnej strefie nowego pieca kołpakowego

Obliczenia wykonano dla starego i nowego pieca kołpakowego, zakładając wyżarzanie 8 ton taśmy mosiężnej gatunku M70 w temperaturze 500°C, przy czasie dojścia do temperatury wyżarzania 5h, czasie wytrzymania w temperaturze wyżarzania 5h i czasie chłodzenia 12h. Wyniki obliczeń zobrazowano w postaci wykresów Sankey'a na ryc. 7 i 8. Wynika z nich, że sprawność cieplna procesu wyżarzania, liczona jako stosunek ciepła użytecznego wsadu do całkowitej



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 7. Bilans cieplny procesu wyżarzania w starym piecu kołpakowym



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 8. Bilans cieplny procesu wyżarzania w nowym piecu kołpakowym

ilości zużytego ciepła, wynosi: dla starego pieca – 28,5%, dla nowego pieca – 43,3%. Widać zatem, iż proces wyżarzania w nowym piecu jest zdecydowanie bardziej efektywny. Z wyników tych widać również, iż rezultat ten jest efektem zmiany wymurówki pieca. Straty energii związane z akumulacją i przenikaniem ciepła przez wymurówkę, które w przypadku starego pieca wynosiły w sumie 706 kWh (43% całkowitego zużycia energii), w nowym piecu zmniejszyły się do 146 kWh (odpowiednio 13,5%). Największe znaczenie miała w tym przypadku akumulacja, która przyniosła oszczędność 432 kWh, tj. 77% wszystkich uzyskanych oszczędności.

#### 4. Podsumowanie

- Badanie procesu wyżarzania rekrytalizacyjnego w istniejących piecach kołpakowych w Walcowni Metali Nieżelaznych w Gliwicach wykazały niejednorodność własności produkowanych taśm ze stopów miedzi, będącą źródłem powstawania znaczących ilości odpadów technologicznych (0,9%), wynikających z braku wymaganych własności wytrzymałościowych. Wykazały również, że przyczyną tej niejednorodności jest duży rozrzut temperatury (39°C) w komorze wyżarzania, związany przede wszystkim z wyłożeniem izolacyjnym oraz systemem ogrzewania i sterowania pieca. Stosowane dotychczas rozwiązania sprawiają, że, oprócz problemów jakościowych, proces obróbki cieplnej jest również bardzo energochłonny (205 kWh/tonę).
- Zaprojektowano i wykonano model nowego pieca kołpakowego, którego wyłożenie izolacyjne w całości stanowią wyroby na bazie włókien ceramicznych. Jednocześnie system ogrzewania pieca podzielono na cztery niezależnie zasilane i sterowane strefy grzejne, zharmonizowane z czterema poziomami usytuowania wsadu w komorze pieca.
- Badania procesu obróbki cieplnej z zastosowaniem nowego pieca kołpakowego wykazały dużą jednorodność pola temperatur w komorze wyżarzania. Rozrzut temperatur nie przekraczał 5°C. Wykazały również dużą jednorodność własności wyżarzanych taśm mosiężnych, w wyniku czego współczynnik ilości powstających odpadów technologicznych zmniejszył się z 0,9 do 0,3%. Jednocześnie prowadzony monitoring energetyczny oraz wyniki obliczeń bilansu cieplnego wykazały wzrost sprawności cieplnej procesu wyżarzania z 28,5 do 43,3%. Praktycznie oznacza to, że energochłonność procesu wyżarzania zmniejszyła się o 34%.

Niniejszy artykuł jest rezultatem badań zrealizowanych w ramach projektu celowego 6 T08 2004C/06351, pt. „Zwiększenie efektywności procesu obróbki cieplnej taśm z miedzi i jej stopów”.

## Literatura

1. Sprawozdanie IMO nr 3523/6 T08 2004C/06351/040510/BT/2006.

*JERZY WITEK  
JÓZEF BARAŃSKI  
KRYSTYNA ZIMNA*

### INCREASING THE EFFECTIVENESS OF HOOD-TYPE FURNACE FOR THERMAL TREATMENT OF COPPER ALLOY STRIPS

In the process of cold rolling of copper and copper alloy strips, after reaching a certain value of strain the deformed metal loses its plasticity to such an extent that it does not transmit any further stresses and finally cracks. That is why recrystallization annealing, which softens and plastifies the metal is necessary. This process takes place in hood-type furnaces. The previously applied constructional solutions for hood-type furnaces, in particular refractory insulating lining and the heating system made the process of thermal treatment of copper alloy strips energy-consuming. These solutions were also responsible for high heterogeneity of thermal field in the furnace chamber, causing heterogeneity of strips' properties, which in turn resulted in a considerable amount of waste. This work presents the effect of changing the refractory insulating lining and heating system of the hood-type furnace on the effectiveness of copper alloy strips' annealing. Traditional materials in the insulating lining were replaced with ceramic fibre-based products, and the previous single-zone heating system was divided into 4 independently supplied and controlled heating zones. The constructions adopted in the new furnace ensured high homogeneity of thermal field in the furnace chamber. The differences which previously reached ca 40°C now practically do not exceed 5°C. This results in high homogeneity of the annealed strips' properties and in consequence, the amount of technological waste dropped from 0,9% to 0,3%. At the same time thermal efficiency of the annealing process increased from 28% to 43%, which practically reduced its energy consumption by 34%.