

Franciszek FIKUS, Czesław SAJDAK,
Romuald KADZIMIERZ

Instytut Metalurgii
Politechnika Śląska

MIESZADŁO ELEKTROMAGNETYCZNE DO MIESZANIA CIEKŁYCH METALI NIEŻELAZNYCH W KADZI

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań parametrów i własności mieszadła elektromagnetycznego do metali nieżelaznych, zbudowanego w Instytucie Metalurgii Politechniki Śląskiej. Przeprowadzone próby mieszania składników stopu Zn-Pb wykazały, że w urządzeniu można uzyskać dużą jednorodność składu stopu.

1. WSTĘP

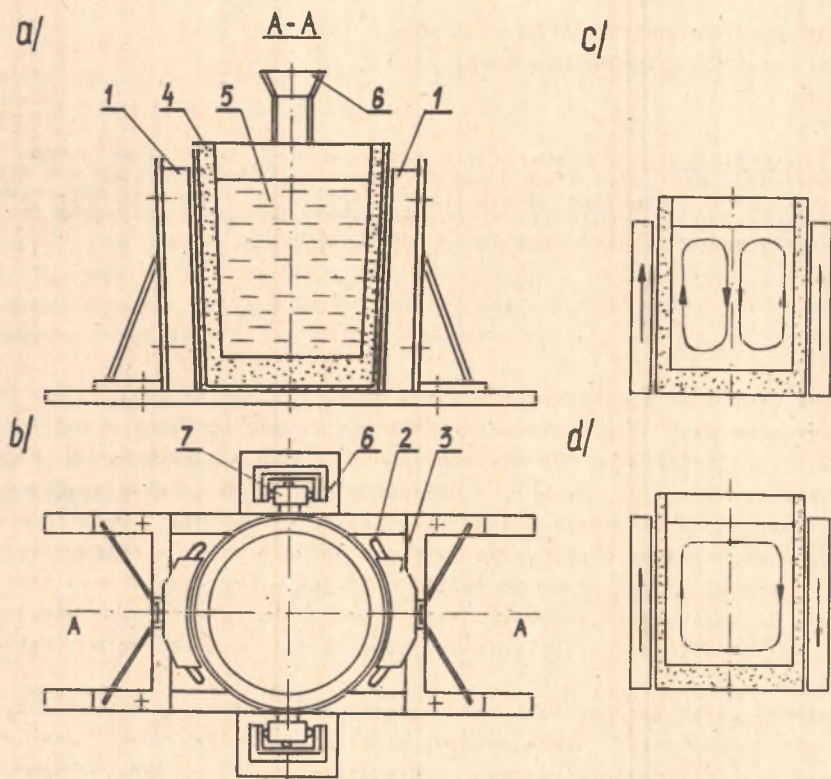
Metoda mieszania elektromagnetycznego znana jest od wielu lat i z powodzeniem stosowana przy wytapianiu stali w piecach łukowych o dużej pojemności (np. [1-3]) oraz w procesach obróbki stali w kadziach, w metalurgii pozapiecowej (np. [4-6]). W pierwszym przypadku mieszanie wpływa w znacznej mierze na skrócenie czasu roztopienia, wyrównanie temperatury, ujednorodnienie składu chemicznego, ułatwia wprowadzanie i rozpuszczanie dodatków stopowych oraz usuwanie żużla; w drugim - przyczynia się przede wszystkim do zwiększenia skuteczności i przyspieszenia obróbki ciekłego metalu, np. odsiarczenia, odtleniania, odwęglania, wprowadzania dodatków stopowych.

Mieszanie elektromagnetyczne można zastosować również przy produkcji niektórych stopów metali nieżelaznych, szczególnie Zn-Pb, Cu-Al, Zn-Al-Cu itp., dla przeciwdziałania segregacji grawitacyjnej składników stopowych. Ich nierównomierny rozkład we wlewku powoduje pogorszenie się własności mechanicznych, plastycznych i antykorozyjnych stopu.

Jednorodną strukturę można uzyskać przez intensywne wymieszanie składników stopowych w piecu lub poza nim, np. w kadzi. Wśród wielu możliwych rozwiązań urządzeń mieszających, opisanych m.in. w [7], największą skutecznością, prostotą budowy i niezawodnością odznacza się mieszadło elektromagnetyczne ze wzbudnikami pola biegnącego. W dalszym ciągu pracy przedstawi się wyniki badań i własności takiego urządzenia, zbudowanego w Instytucie Metalurgii Politechniki Śląskiej do produkcji stopów metali nieżelaznych.

2. MIESZADŁO ELEKTROMAGNETYCZNE DO METALI NIEŻELAZNYCH

Zasadniczymi elementami mieszadła elektromagnetycznego, przedstawionego schematycznie na rys. 1, są dwa wzbudniki (1) złożone z trójfazowych uzwojeń (2) i rdzeni magnetycznych (3). Przylegają one do kadzi (4), w której znajduje się ciekły metal (5). Dokładne ustawienie kadzi względem wzbudników umożliwiają prowadnice (6) oraz mechanizm prowadzący (7).



Rys. 1. Schemat uproszczony mieszadła elektromagnetycznego do metali nieżelaznych

a - przekrój, b - widok z góry, c, d - ruch metalu w kadzi przy zgodnym (c) i przeciwnym (d) kierunku pól biegnących

1 - wzbudnik, 2 - uzwojenie wzbudnika, 3 - rdzeń magnetyczny, 4 - kadź, 5 - ciekły metal, 6 - prowadnice kadzi, 7 - mechanizm prowadzący

Uzwojenie wzbudnika (jednowarstwowe, pętlicowe) nawinięte jest rurką miedzianą Φ 8/6 mm i chłodzone wodą. Dla zmniejszenia efektu ekranującego, płaszcz kadzi wykonany jest z blachy niemagnetycznej.

Wzbudniki, zasilane prądem przemiennym trójfazowym, są źródłem biegnącego pola elektromagnetycznego o indukcji B , które indukuje w kąpiel metalowej prądy o gęstości J . W wyniku oddziaływania tych wielkości powstają siły elektrodynamiczne o gęstości objętościowej $\vec{f} = \vec{J} \times \vec{B}$, wywołujące ruch ciekłego metalu w kadzi. Charakter tego ruchu zależy od kierunków pól biegnących, wytworzonych przez oba wzbudniki (rys. 1c i d).

Podstawowe dane techniczne mieszadła, zaprojektowanego i zbudowanego w Instytucie Metalurgii Politechniki Śląskiej zestawiono w tabelicy 1, natomiast na rys. 2 przedstawiono widok ogólny urządzenia.

Tabela 1

Dane techniczne mieszadła elektromagnetycznego

Kadź		Wzbudniki	
Pojemność	0,12 m ³	<u>Rdzeń magnetyczny</u>	
Średnica zewnętrzna	0,63 m	- długość	0,51 m
Wysokość	0,7 m	- szerokość	0,2 m
Grubość wymurówki:		- wysokość	0,04 m
- ścian bocznych	0,04 m	<u>Uzwojenie</u>	
- dna	0,11 m	- podziałka biegunowa	0,15 m
Materiał: blacha 6 i 10 mm 1H18N9T		- ilość par biegunów	2
		- ilość zwojów na fazę	16
		Długość całkowita wzbudnika	0,63 m

3. PARAMETRY ELEKTROMAGNETYCZNE MIESZADŁA

Podczas badań eksploatacyjnych mieszadła określono jego podstawowe parametry elektryczne (I , P , $\cos\varphi$) oraz zmierzono rozkłady składowych indukcji magnetycznej. Pomiarów dokonywano przy szeregowym połączeniu odpowiednich faz uzwojeń wzbudników.

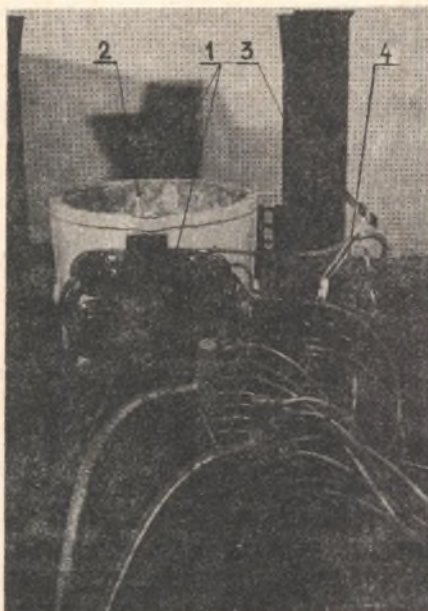
Charakterystyki elektryczne (rys. 3) zdjęto w stanie biegu jałowego (bez ciekłego metalu w kadzi) i w stanie obciążenia (z ciekłym cynkiem). Na ich podstawie wyznaczono dane znamionowe mieszadła, które zestawiono w tabelicy 2.

Zgodnie z przedstawionym wcześniej wzorem (p. 2) o wielkości sił elektrodynamicznych, wprawiających w ruch ciekły metal, decydują wartości składowych indukcji magnetycznej pola biegnącego¹⁾. Ich rozkłady mierzono

¹⁾ Przy założeniu, że gęstość prądu indukowanego posiada jedynie składową kątową J_{φ} składowe gęstości objętościowej sił elektrodynamicznych, uśrednione w czasie mają postać $[B]$:

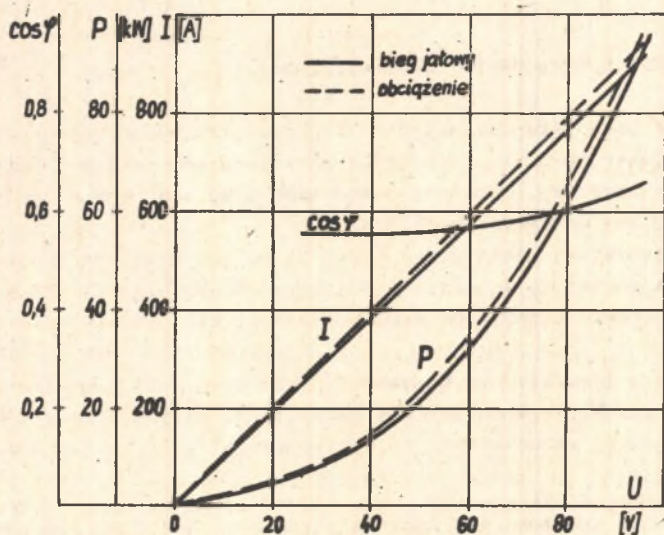
$$f_z = -\frac{1}{2} \operatorname{Re}(J_{\varphi} \cdot B_r^*), \quad f_r = \frac{1}{2} \operatorname{Re}(J_{\varphi} \cdot B_z^*),$$

gdzie: Re - część rzeczywista.



Rys. 2. Widok ogólny mieszadła (bez osłon wzbudników)

1 - wzbudniki, 2 - kadź, 3 - prowadnice kadzi, 4 - układ chłodzenia wodnego uzwojeń



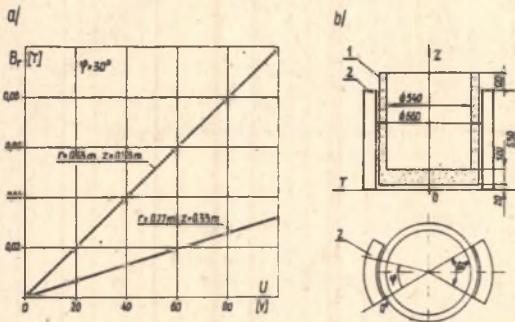
Rys. 3. Charakterystyki elektryczne mieszadła

Tablica 2

Znamionowe parametry mieszadła elektromagnetycznego

Częstotliwość prądu	50 Hz
Ilość faz	3
Napięcie	95 V
Natężenie prądu	900 A
Moc czynna	100 kW
Współczynnik mocy	0,65
Prędkość pola biegnącego	15 m/s
Gęstość liniowa prądu	$1,6 \cdot 10^5$ A/m
Zużycie wody chłodzącej	$2 \text{ m}^3/\text{h}$
Przyrost temperatury wody chłodzącej	30°C

przy biegu jałowym¹⁾ urządzenia, przy znamionowych warunkach zasilania ($U = 95 \text{ V}$, $I = 900 \text{ A}$).



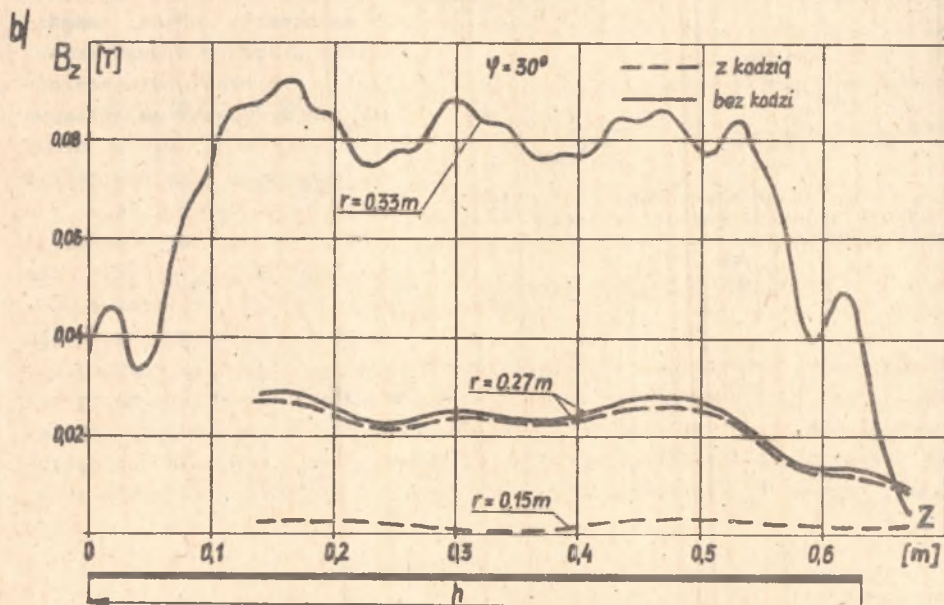
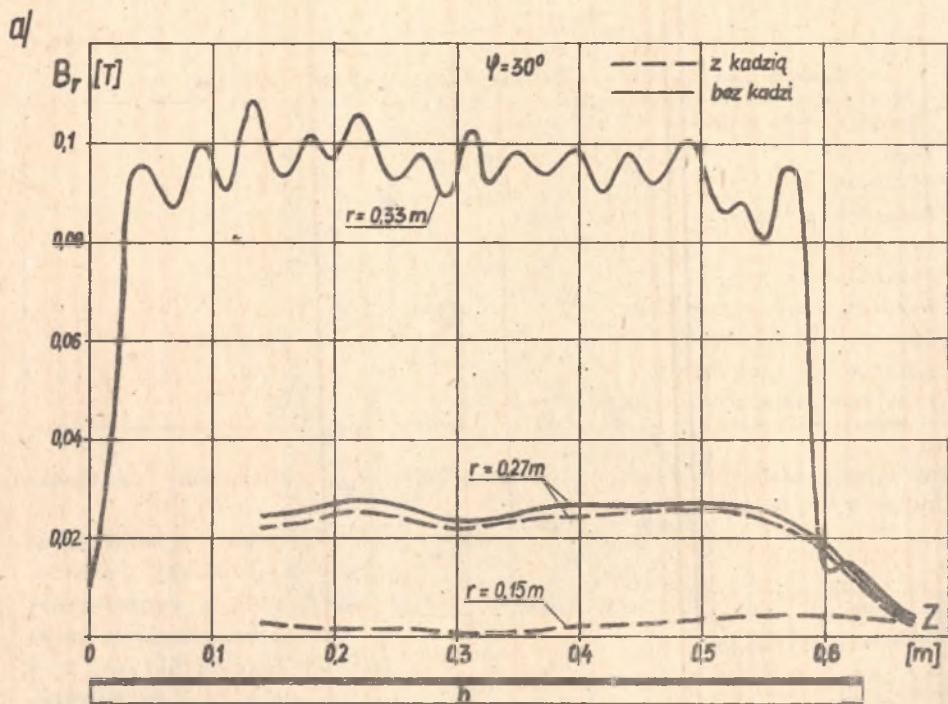
Rys. 4. Zależność składowej promieniowej indukcji magnetycznej od napięcia zasilania wzbudników (a) i układ współrzędnych (b)

1 - kadź, 2 - wzbudniki

samego rzędu, a więc i wartości składowych wektora siły elektrodynamicznej f_z i f_r powinny być również zbliżone do siebie. Z porównania odpowiednich krzywych na rys. 5a i b wynika ponadto, że ekranujące działanie niemagnetycznego płaszcza kadzi jest niewielkie. Powoduje on wytknięcie B_r i B_z na powierzchni wymurówki ($r = 0,27 \text{ m}$) zaledwie o ok. 10%.

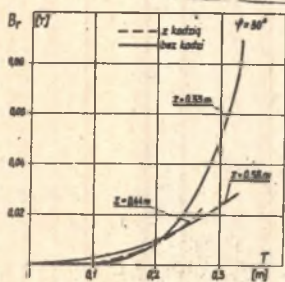
¹⁾ Wykonanie pomiarów indukcji magnetycznej w stanie obciążenia (z ciekłym metalem) było niemożliwe ze względu na wysoką temperaturę kąpiel ($\sim 500^\circ\text{C}$) i niską dopuszczalną temperaturę pracy czujnika halotronowego, użytego do pomiarów ($\sim 40^\circ\text{C}$).

Na rys. 4a przedstawiono zależność składowej promieniowej indukcji magnetycznej B_r od napięcia zasilania wzbudników. Charakterystyka $B_r = f(U)$ jest liniowa ze względu na otwarty obwód magnetyczny urządzenia (duże szczeliny powietrzne). Doświadczalnie stwierdzono, że składowa kątowna indukcji B_φ w badanym mieszadle jest pomijalnie mała: $B_\varphi \approx 0,005 \text{ T}$ dla $r = 0,27 \text{ m}$. Na rys. 5 pokazano rozkłady B_r , $B_z = f(z)$ dla kilku różnych promieni r . Wartości obu składowych są tego

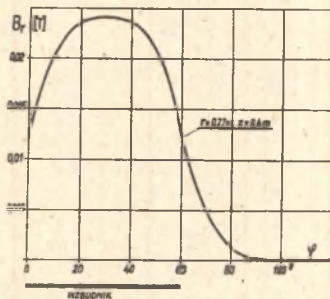


Rys. 5. Rozkłady składowej promieniowej B_r (a) i osiowej B_z (b) indukcji magnetycznej wzdłuż osi z (h - wysokość wzbudnika)

Badano również charakter zmian indukcji magnetycznej wzdłuż promienia r . Stwierdzono, że zmniejsza się ona szybko w miarę zbliżania się do środka kadzi (rys. 6).



Rys. 6. Zmiany składowej promieniowej indukcji magnetycznej wzdłuż promienia mieszadła

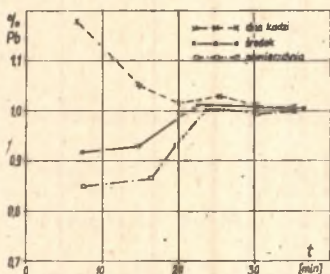


Rys. 7. Rozkład składowej promieniowej indukcji magnetycznej na obwodzie kadzi

Na rys. 7 przedstawiono rozkład składowej promieniowej indukcji magnetycznej B_r na obwodzie kadzi ($\psi = 0-120^\circ$). Poza powierzchniami obejmowanymi przez wzbudniki ($60^\circ < \psi < 180^\circ$ i $240^\circ < \psi < 360^\circ$) pole elektromagnetyczne jest już niewielkie, a więc i działające tam siły elektrodynamiczne będą bardzo małe.

4. WPŁYW MIESZANIA ELEKTROMAGNETYCZNEGO NA JEDNORODNOŚĆ STOPU

Dla oceny skuteczności mieszadła przeprowadzono próby mieszania składników stopu Zn-Pb. Cynk (gatunek E02; 99,95% Zn; 0,02% Pb) w ilości 500 kg przetopiono w piecu oporowym, a następnie przelano do kadzi. Ołów (5 kg) w postaci stałej wprowadzono do ciekłego cynku po włączeniu mieszadła. W trakcie mieszania pobierano próbki z dna kadzi, środka i powierzchni kąpielii metalowej. Ich analiza wykazała,



Rys. 8. Zmiany zawartości ołowiu w stopie w funkcji czasu mieszania

że po ok. 25 minutach pracy mieszadła zawartość ołowiu w stopie (rys. 8) wyrównuje się w całej objętości kadzi. Można więc przyjąć, że skład stopu jest jednorodny i przy dalszym mieszaniu praktycznie nie ulega zmianie. Podczas prób obserwowano silny ruch metalu w całym wsadzie (rys. 9), szczególnie intensywny w pobliżu wzbudników. Spadek temperatury stopu po 35 minutach mieszania wynosił 45°C (bez dodatkowego podgrzewania metalu).



Rys. 9. Kadź z ciekłym metalem podczas prób mieszania

5. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone próby mieszania składników stopu Zn-Pb wykazały, że już po 7 minutach pracy mieszadła zawartość ołowiu w kąpeli metalowej mieści się w granicach 0,85-1,17%. Wraz ze wzrostem czasu mieszania skład chemiczny wyrównuje i po 20 minutach zmiany zawartości Pb w całej objętości kadzi są minimalne (0,93-1,03%).

Przedstawione rozwiązanie konstrukcyjne mieszadła ma charakter prototypowy. W Instytucie Metalurgii Politechniki Śląskiej opracowano już koncepcję i założenia projektowe urządzenia przemysłowego do mieszania większych ilości metalu (pojemność kadzi ok. $0,4 \text{ m}^3$) [9]. Na ich podstawie PP1WO "Prodlew" w Bytomiu wykonało projekt mieszadła i obecnie przystępuje do jego budowy. Ze względu na większą pojemność kadzi zastosuje się tu do zasilania wzbudników tyrystorowy przemiennik częstotliwości 50/1-30 Hz.

LITERATURA

- [1] Swenczanskij A.D., Smieljanskij M.J.: Elektrizieskije promysliennyje peczy. Energija, Moskwa 1970, ss. 83-86.
- [2] Hammarlund E., Hanas B.: Induktive Umrührer und ihre Betriebsergebnisse bei Lichtbogenöfen. ASEA Zeitschrift 1960, nr 5.
- [3] Mazanek T., Tochowicz S.: Elektrometalurgia stali. Śląsk, Katowice 1974, ss. 139-141.
- [4] Werte L.A.: Magnitnaja gidrodinamika w metalłurgii. Metalłurgija, Moskwa 1975.
- [5] Herlitz M., Armann B.: SKF MR - Nouveau procédé d'élaboration d'aciers de haute qualité. Techn. Mod. t. 64 nr 12/1972, ss. 31-34.

- [6] Fikus F., Sajdak C.: Magnetohydrodynamiczne urządzenia do mieszania ciekłych metali w metalurgii pozapiecowej. Hutnik nr 9/1977, ss. 411-416.
- [7] Fikus F., Sajdak C.: Urządzenia do elektromagnetycznego mieszania ciekłych metali. Materiały I Krajowej Konferencji "MHD w metalurgii" Katowice 1977.
- [8] Voldek A.I.: Indukcionnyje MGD masziny s židkometalliczeskim rabo-
czim tiežom. Energija, Leningrad 1970.
- [9] Fikus F., Sajdak C.: The aspects of energy consumption and economy in MHD machines application for displacement and treatment of liquid metals in metallurgy. IX International Conference on Industrial Energetics. Bucuresti 1978. Raport S 1/17.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ МЕШАЛКА ДЛЯ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ЦВЕТНЫХ
ЖИДКИХ МЕТАЛЛОВ В КОВШЕ

Р е з ю м е

В статье приводятся результаты исследований параметров и свойства электромагнитной мешалки для цветных металлов, изготовленной в Институте металлургии Силезкого политехнического института. Произведённые испытания перемешивания компонентов сплава Zn-Pb показали, что в установке можно получить высокую однородность состава сплава.

THE ELECTRO-MAGNETIC STIRRER SERVING TO STIR LIQUID NON-FERROUS
METALS IN A LADLE

S u m m a r y

The paper presented the results of research on the parameters and properties of the electro-magnetic stirrer serving to stir liquid non-ferrous metals, designed in the Instytut Metalurgii Politechniki Śląskiej. The tests of stirring the constituents of Zn-Pb performed proved the device to be able to achieve the reasonable homogeneity of the resultant alloy.