

Seria: HUTNICTWO z. 36

Nr kol. 1063

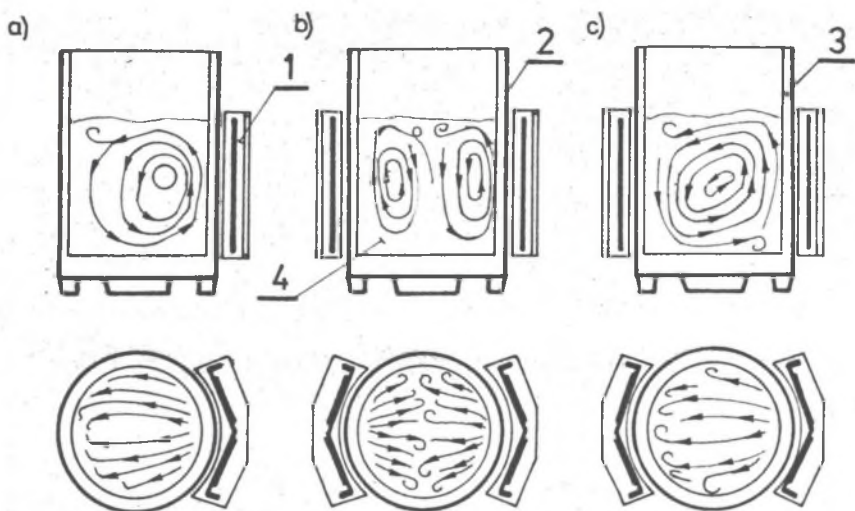
Romuald KADZIMIERZ  
Czesław SAJDAKInstytut Metalurgii  
Politechniki ŚląskiejZASTOSOWANIE INDUKCYJNEGO MIESZADŁA  
W PROCESIE WYTWARZANIA ZAPRAW ALUMINIOWYCH

**Streszczenie.** W pracy opisano budowę prototypu przemysłowego indukcyjnego mieszadła kadziowego oraz przedstawiono wyniki wstępnych prób i badań eksploatacyjnych urządzenia zastosowanego w procesie pozapieczowego wytwarzania zapraw aluminiowych.

1. Wstęp

Metoda indukcyjnego mieszania ciekłego metalu zgromadzonego w kadzi znana jest od wielu lat i ze względu na swe niezaprzeczalne zalety z powodzeniem stosowana we współczesnym hutnictwie. W procesach metalurgii pozapieczowej najczęściej używane są indukcyjne mieszadła kadziowe z zewnętrznymi wzbudnikami biegnącego pola magnetycznego. Budowę tych urządzeń poglądowo przedstawiono na rys. 1. Ruch ciekłego metalu (4) zgromadzonego w kadzi wywołany jest działaniem sił elektrodynamicznych, powstałych w wyniku wzajemnego oddziaływania biegnącego pola magnetycznego wytwarzanego przez wielofazowe wzbudniki (wzbudnik) (1) z prądem indukowanym w kąpielii metalowej. Cyrkulacja ciekłego metalu w kadzi wyposażonej w dwa wzbudniki (rys. 1b,c) zależy od kierunku przemieszczania się pól wytwarzanych przez oba wzbudniki. Dla ograniczenia efektu tłumienia pola magnetycznego cały płaszcz kadzi (2) lub jego część przylegającą do wzbudnika wykonuje się ze stali niemagnetycznej. Bliższe dane techniczno-eksploatacyjne tego typu mieszadeł znaleźć można m. in. w pracach [1,2].

Jednym z najważniejszych warunków skutecznego wymieszania kąpielii metalowej jest zapewnienie odpowiedniej głębokości wnikania pola magnetycznego w ciekły metal. Przy zasilaniu wzbudnika prądem o częstotliwości 50 Hz jest ona mała w porównaniu ze średnicami współczesnych kadzi hutniczych. W efekcie siła elektrodynamiczna działa praktycznie tylko w kilkucentymetrowej warstwie ciekłego metalu, bezpośrednio przylegającej do wymurówki kadzi (3) od strony wzbudnika. Warstwa ta jest zbyt cienka, aby jej ruch mógł wywołać efektywną turbulencję w całej objętości kadzi. Celem zwiększenia obszaru działania siły elektrodynamicznej należy obniżyć częstotliwość prądu zasilającego.



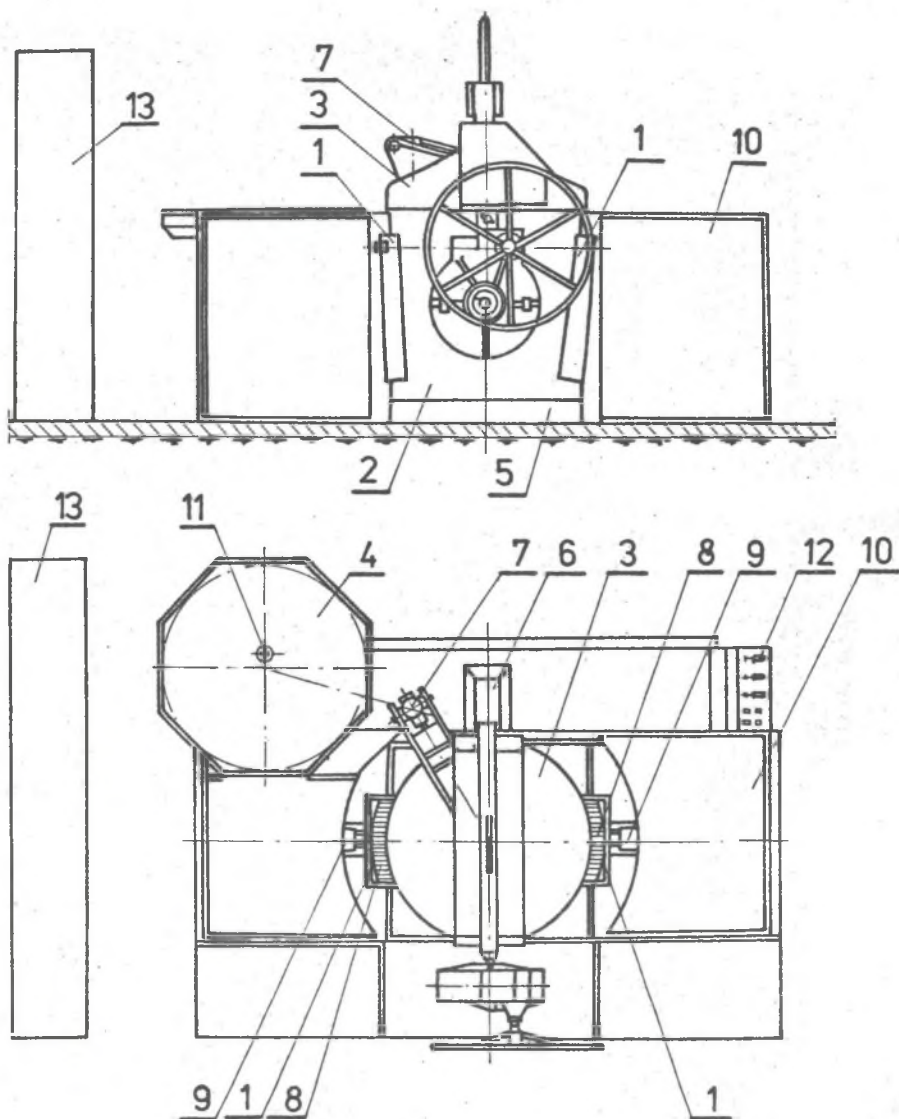
Rys.1 Cyrkulacja ciekłego metalu w procesie indukcyjnego mieszania w kadzi: a - z jednym wzbudnikiem, b - z dwoma wzbudnikami przy zgodnym kierunku poruszania się pól magnetycznych wytwarzanych przez wzbudniki c - z dwoma wzbudnikami przy przeciwnym kierunku poruszania się pól magnetycznych wytwarzanych przez wzbudniki, 1 - wzbudnik, 2 - pancierz kadzi, 3 - wymurówka kadzi, 4 - ciekły metal

Wiąże się to z koniecznością budowy specjalnych urządzeń zasilających. W początkowym okresie stosowane były do tego celu przetwornice maszynowe. Rozwój techniki półprzewodnikowej umożliwił zastąpienie maszyn wirujących tyrystorowymi przemiennikami częstotliwości, przyczyniając się tym samym do zmniejszenia wymiarów gabarytowych, poprawy sprawności i niezawodności urządzeń zasilających wzbudniki mieszadeł.

W Polsce prace teoretyczne i doświadczalne nad zagadnieniem indukcyjnego mieszania ciekłych metali w kadzi prowadzone są w Zakładzie Elektrotechniki Hutniczej Instytutu Metalurgii Politechniki Śląskiej. Jednym z pierwszych modeli laboratoryjnych było urządzenie do pozapiecowego indukcyjnego mieszania stopów metali nieżelaznych w kadzi o pojemności 0,12 m<sup>3</sup>. Budowę tego mieszadła oraz wyniki jego badań eksploatacyjnych opisano w pracach [3, 4].

## 2. Prototyp przemysłowy indukcyjnego mieszadła kadziowego

Pozytywne wyniki badań urządzenia do indukcyjnego mieszania stopów metali nieżelaznych w kadzi uzasadniały celowość prowadzenia dalszych, bardziej kompleksowych prac w tym zakresie.



Rys.2 Prototyp przemysłowy indukcyjnego mieszadła kadziowego: 1 - wzbudnik, 2 - kadź, 3 - pokrywa kadzi, 4 - gniazdo pokrywy, 5 - gniazdo kadzi, 6 - mechanizm prowadzący - 7 - mechanizm otwierania pokrywy, 8 - rdzeń wzbudnika, 9 - mechanizm przesuwu wzbudnika, 10 - obudowa, 11 - palnik gazowy, 12 - pulpit sterowniczy, 13 - tyrystorowy przemiennik częstotliwości

Kolejnym etapem było opracowanie założeń projektowych prototypu przemysłowego urządzenia do indukcyjnego pozapiecowego mieszania ciekłego żeliwa. Na ich podstawie Przedsiębiorstwo Projektowania i Wyposażenia Odlewni "PRODLEW" w Bytomiu opracowało dokumentację techniczną mieszadła, a następnie zleciło jego wykonanie Zakładom Urządzeń Hutniczych ZAM w Kętach. Szkic konstrukcji prototypu urządzenia, którego budowę zakończono w 1981r. przedstawiono na rys. 2.

Zgodnie z wymaganiami PPIWO "PRODLEW" mieszadło wyposażono w kadź cylindryczną (2) o pojemności 0,326 m<sup>3</sup>. Celem niedopuszczenia do zbyt dużego obniżenia temperatury kąpieli metalowej przewidziano zamykanie kadzi pokrywą (3) na czas trwania mieszania. Po jego zakończeniu pokrywa zostaje umieszczona w gnieździe (4) pozwalającym na podgrzewanie oraz utrzymanie temperatury wymurówki pokrywy na odpowiednim poziomie. Źródłem biegnącego pola magnetycznego są dwa zewnętrzne, trójfazowe wzbudniki półokrągłe (1), przylegające do ściany bocznej kadzi. Materiał nawojowy uzwojenia wzbudników chłodzonych wodą stanowi rurka miedziana. Woda chłodząca dostarczana jest z kolektorów rozdzielających strugę wodną na poszczególne sekcje uzwojeń. Doprowadzenie energii elektrycznej odbywa się z tablicy rozdzielczej umożliwiającej szeregowo lub równoległe łączenie wzbudników oraz przełączanie uzwojeń z gwiazdy w trójkąt. Aby nie dopuścić do mechanicznego uszkodzenia wzbudników w czasie ustawiania lub wyciągania kadzi, zapewniono możliwość odsunięcia ich na odległość ok. 0,2 m i powtórnego dosunięcia do kadzi. Odsunięcie oraz dosuwanie wzbudników realizowane jest za pomocą odpowiednich mechanizmów (9), napędzanych hydraulicznie. Hydraulicznie napędzany jest również układ (7) służący do podnoszenia i opuszczania pokrywy. Poszczególne elementy mieszadła zespolone zostały w całość za pomocą rozbiernalnych ram i osłon. W konstrukcji urządzenia przewidziano również miejsce na zabudowę agregatu hydraulicznego, pulpitu sterowniczego oraz zespołu kontrolującego przepływ i temperaturę wody chłodzącej.

Źródło zasilania wzbudników stanowi tyrystorowy przemiennik częstotliwości (13), zaprojektowany i wykonany przez OBA-EMAG w Katowicach. Uproszczony schemat ideowo-blokowy przemiennika z pośredniczącym obwodem prądu stałego i 3-fazowym falownikiem prądowym przedstawiono na rys.3.

Ważniejsze dane techniczne prototypu mieszadła oraz źródła zasilania zestawiono w tab. 1 i 2.

### 3. Indukcyjne mieszanie ciekłego aluminium w kadzi w procesie wytwarzania zapraw aluminiowych. Próby i badania eksploatacyjne prototypu mieszadła

Na początku 1987 r., po dokonaniu oceny stanu technicznego mieszadła oraz źródła zasilania i wykonaniu wstępnych badań laboratoryjnych, przystąpiono do prób zastosowania urządzenia w procesie pozapiecowego

wytwarzania zapraw aluminiowych typu Al-B (aluminium - bor) oraz Al-Ti-B (aluminium - tytan - bor).

Tablica 1

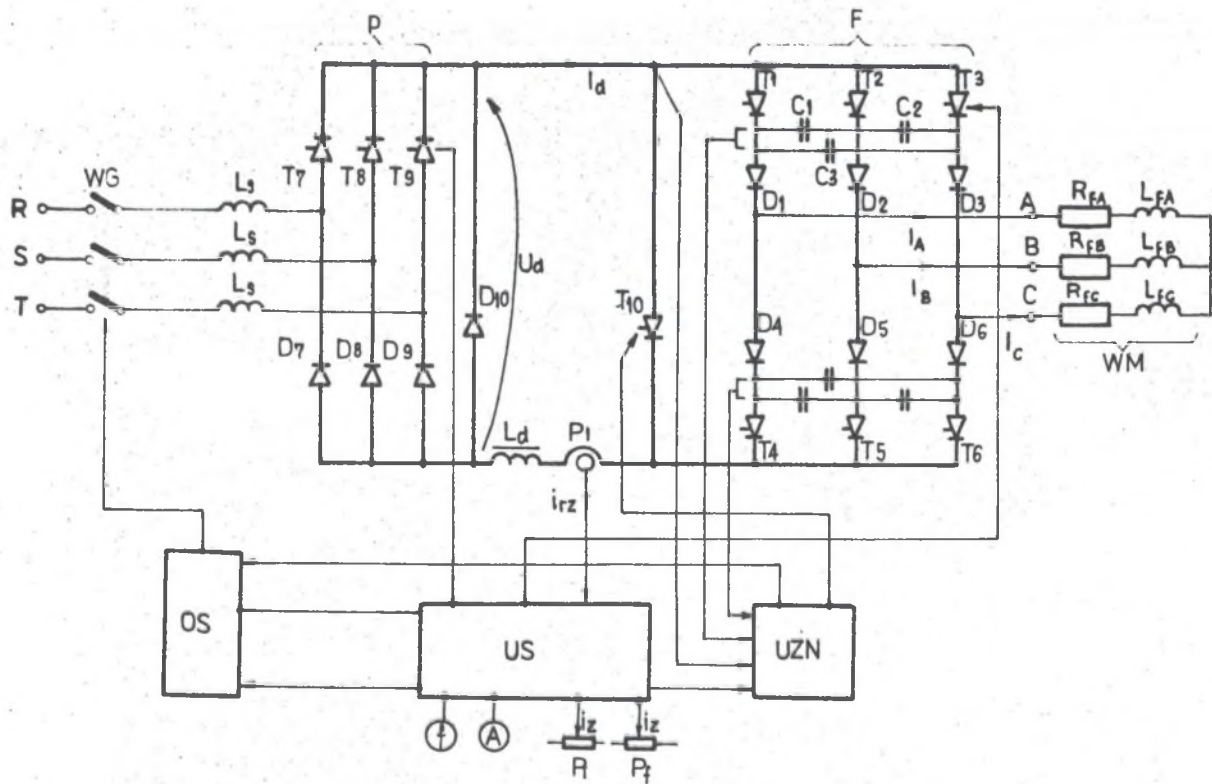
Dane techniczne prototypu indukcyjnego mieszadła kadziowego

Kadz 1)	Wzbudniki
Pojemność użyteczna - 0,326 m <sup>3</sup>	Rdzeń magnetyczny
Średnica zewnętrzna	- wysokość - 0,754 m
- górna - 0,955 m	- szerokość - 0,400 m
- dolna - 0,820 m	- grubość - 0,080 m
Wysokość - 1,050 m	- liczba żłobków - 24
Grubość wymurówki	Uzwojenie
- ścian bocznych - 0,055 m	- liczba faz - 3
- dna - 0,060 m	- liczba par biegunów - 1
Grubość panczerza - 0,008 m	- liczba prętów w żłobku - 6
	- podziałka biegunowa - 0,377 m
	- całkowita wysokość wzbudnika (z uzwojeniem kompensacyjnym) - 0,974 m
	- chłodzenie - wodne

1) W tab. 1 podano wymiary konstrukcyjne kadzi używanej w czasie prób indukcyjnego mieszania zapraw aluminiowych.

Dotychczas proces rozkładu soli, trwający od 40 ÷ 60 min, wspomagany był mieszaniem mechanicznym lub ręcznym. Taki sposób wymuszania ruchu kąpeli metalowej jest mało skuteczny i bardzo uciążliwy. Wprowadzenie mieszania indukcyjnego pozwoliło na znaczne zintensyfikowanie ruchu ciekłego metalu zgromadzonego w kadzi, przyczyniając się tym samym do skrócenia czasu reakcji chemicznych oraz wyrównania składu chemicznego i temperatury kąpeli metalowej.





Rys.3 Uproszczony schemat ideowo-blokowy tyrystorowego przemiennika częstotliwości: P - prostownik, F - falownik, OS - obwody sterownicze, US - układ sterowania, UZN - układ zabezpieczenia napięciowego, WM - wzбудniki mieszadła

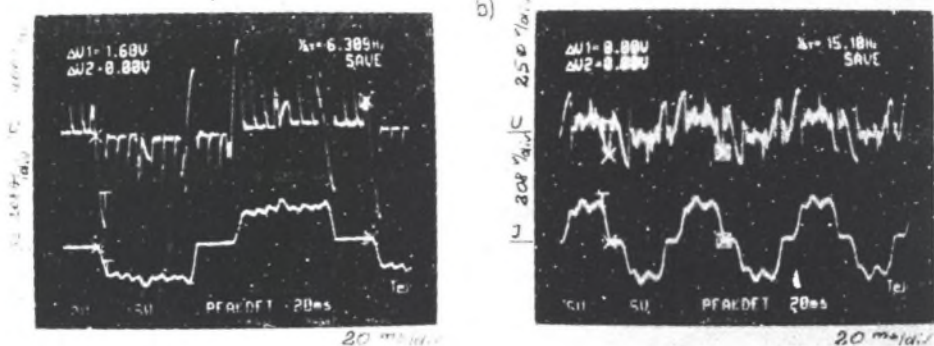
Tablica 2

## Dane techniczne tyrystorowego przemiennika częstotliwości

Rodzaj przemiennika: z pośredniczącym obwodem prądu stałego i 3-fazowym falownikiem prądowym	
Zakres regulacji wartości skutecznej wyjściowego prądu fazowego	- 120 ÷ 820 A
Zakres zmian częstotliwości podstawowej harmonicznej czasowej prądu wyjściowego	- 0,5 ÷ 35 Hz
Graniczne wartości parametrów fazowych odbiornika	
- rezystancja fazowa	- 0,12 Ω
- indukcyjność fazowa	- 0,50 mH
Znamionowe napięcie zasilania	- 3 x 380/220 V, 50 Hz
Temperatura otoczenia	- 0 ÷ 40°C
Wymiary gabarytowe	- 4,7 x 1,2 x 2,23 m

Przed przystąpieniem do prób i badań eksploatacyjnych prototypu mieszadła wykonane zostały prace mające na celu zaadaptowanie urządzenia do wymagań procesu wytwarzania zapraw aluminiowych. Prace te obejmowały:

- wykonanie i zabudowanie urządzenia do mechanicznego podawania i dozowania soli,
- zmianę konstrukcji i kształtu pokrywy kadzi w celu przyłączenia dozownika mechanicznego,
- zabudowę dodatkowego siłownika hydraulicznego i mechanizmu przechylania kadzi.



Rys.4. Oscylogramy przebiegów czasowych napięcia międzyfazowego  $U$  na zaciskach wzbudnika oraz fazowego prądu zasilania  $I$  a - częstotliwość  $f = 6,31$  Hz, b - częstotliwość  $f = 15,1$  Hz

Z przeprowadzonych badań tyrystorowego przemiennika częstotliwości obciążonego wzbudnikami mieszadła (połączonymi szeregowo i skojarzonymi w gwiazdę) wynika, że dla danego odbiornika o średniej wartości rezystancji fazowej  $R_{f\text{sr}} = 0,105\Omega$  i indukcyjności fazowej  $L_{f\text{sr}} = 2,32$  mH maksymalna wartość prądu wyprostowanego  $I_d$  (rys.3) wynosi 500 A, co odpowiada skutecznej wartości wyjściowego prądu fazowego falownika równej 410 A o częstotliwości  $f_{\text{max}} = 18$  Hz. Przykładowe oscylogramy przebiegów czasowych napięcia międzyfazowego na zaciskach wzbudnika oraz fazowego prądu zasilania przy różnych wartościach częstotliwości pokazano na rys. 4.

Przed rozpoczęciem prób mieszania wymurówka kadzi została wstępnie podgrzana za pomocą palników gazowych, a następnie po napełnieniu ciekłym aluminium o temperaturze  $700^\circ\text{C}$  (głębokość kąpielii metalowej - 0,7 m) kadź przewieziono i ustawiono na stanowisku doświadczalnym. Po dosunięciu wzbudników uruchomiono tyrystorowy przemiennik częstotliwości. Regulując natężenie i częstotliwość prądu zasilającego obserwowano zmiany intensywności mieszania oraz sposób rozprowadzania w kąpielii metalowej soli podawanych na powierzchnię ciekłego aluminium. W czasie badań wzbudniki połączone były w ten sposób, aby w kadzi wywołać cyrkulację ciekłego metalu, jak to przedstawiono na rys. 1b.

Obecnie prowadzone są badania wpływu indukcyjnego mieszania na czas trwania procesu oraz jakość wytwarzanych zapraw aluminiowych. W trakcie tych badań określone zostaną również ostateczne parametry zasilania urządzenia.



#### 4. Podsumowanie

Przeprowadzone próby i badania potwierdziły przydatność oraz możliwość zastosowania prototypu indukcyjnego mieszadła kadziowego w procesie wytwarzania zapraw aluminiowych. Z dokonanych obserwacji wynika, że sposób wymuszania ruchu kąpielii metalowej w kadzi, jak to pokazano na rys.1b, pozwala uzyskać wymaganą intensywność mieszania oraz spełnia wymagania technologiczne procesu.

#### LITERATURA

- [1] Sundberg Y.: Prinzip und Funktion der induktiven Umrührer. ASEA-Zeitschrift, z.5, 1971, s. 107-116.
- [2] Hanas B.: Induktive Umrührer, Gesichtspunkte der Konstruktion und Anlagentechnik. ASEA-Zeitschrift, z.5, 1971, s.123-128.
- [3] Fikus F., Sajdak Cz., Kadzimirz R.: Elektromagnetyczne mieszanie stopów metali nieżelaznych w kadzi. Rudy i Metale Nieżelazne, nr3, 1981, s.125-129.
- [4] Szczucki F., Kadzimirz R.: Wpływ parametrów konstrukcyjnych mieszadła indukcyjnego i pulsacji prądu zasilającego na wartość siły elektrodynamicznej. Archiwum Elektrotechniki, t.XXXV, z.1, 1986. s. 121+141.

#### THE APPLICATION OF INDUCTION STIRRER IN THE PROCESS OF ALUMINIUM MASTER ALLOYS PRODUCTION

##### Summary

Prototype design of induction industrial ladle stirrer as well as the results of initial testings and operating experiments of installation used in the proces of ladle-furnace production of aluminium foundry alloy have been presented in this paper.

#### ПРИМЕНЕНИЕ ИНДУКЦИОННОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЕВЫХ ЛИГАТУР

##### Резюме

В работе описана конструкция промышленного прототипа индукционного ковшевого перемешивателя а также описаны результаты предварительных испытаний и эксплуатационных исследований устройства применяемого в процессе выпечного производства алюминиевых лигатур.