

Romuald KADZIMIERZ
Krzysztof KUREK
Jan MURAS
Czesław SAJDAK
Tadeusz WIECZOREK

ZASTOSOWANIE INDUKCYJNEGO NAGRZEWANIA SKROŚNEGO W WYBRANYCH PROCESACH TECHNOLOGICZNYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono możliwości praktycznego zastosowania indukcyjnego nagrzewania skrośnego na przykładach prac badawczych prowadzonych przez Zakład Elektrotermii Hutniczej Instytutu Metalurgii Politechniki Śląskiej a to; nagrzewanie wlewków metali nieżelaznych i elementów stojaka "Valent" przed ich przeróbką plastyczną, indukcyjnego lutowania komór wodnych i prętów uzwojeń turbogeneratorów oraz nagrzewania uchwytów naklejniczych stosowanych w przemyśle optycznym. Omówiono wyniki badań oraz efekty technologiczne i ekonomiczne wynikające z zastosowania tej metody nagrzewania.

1. Wstęp

Nagrzewanie indukcyjne jest jednym ze sposobów podgrzewania metalu w celu przeprowadzenia określonego zabiegu technologicznego. Metoda ta znana jest od wielu lat i na świecie szeroko stosowana. Jednakże jej wdrażanie w przemyśle krajowym, także metalurgicznym, napotyka ciągle na znaczne trudności. Związane jest to głównie z małą dostępnością koniecznych elementów i urządzeń, ale także z brakiem przekonania technologów z przemysłu o możliwościach, jakie ona stwarza. Celem pracy jest więc wykazanie na przykładzie kilku konkretnych tematów wdrażanych przez Zakład Elektrotermii Hutniczej Instytutu Metalurgii Politechniki Śląskiej przewagi nagrzewania indukcyjnego nad innymi stosowanymi metodami. Omawiane zagadnienia dotyczą nagrzewania skrośnego, tzn. takiego, w którym na wskroś nagrzewana jest jednocześnie cała objętość elementu.

2. Nagrzewanie indukcyjne wlewków metali nieżelaznych wzbudnikami wielowarstwowymi

W przemyśle metali nieżelaznych nagrzewanie indukcyjne skrośne jest stosowane głównie w procesach przeróbki plastycznej. Materiał (np. mosiądz, miedź) w postaci wlewka jest nagrzewany w nagrzewnicy indukcyjnej częstotliwości sieciowej do temperatury ok. 720-750°C, a następnie w prasie hydraulicznej wyciska się z niego np. pręty czy kształtowniki. Duża energochłonność procesu nagrzewania (ok. 203 kWh/t dla mosiądzu - [1]) spowodowana jest głównie niewielką sprawnością elektryczną stosowanych obecnie nagrzewnic indukcyjnych.

Badania prowadzone przez Zakład Elektrotermii wykazały, że przy nagrzewaniu mosiądzu osiąga się sprawność ok. 42%. Znaczne oszczędności energii można uzyskać, gdy nagrzewanie prowadzi się przy użyciu nowego typu nagrzewnicy ze wzbudnikiem wielowarstwowym. Prace teoretyczne prowadzone przez Zakład Elektrotermii [1] wykazały, że zastosowanie tego typu wzbudników (uzwojenie trójwarstwowe) przy nagrzewaniu mosiądzu może spowodować zwiększenie sprawności elektrycznej do ok. 68%. Prototyp nagrzewnicy ze wzbudnikiem trójwarstwowym o mocy 350 kW, opierając się na obliczeniach Zakładu Elektrotermii zaprojektował Hutmaszprojekt-Hapeko, a wykonał „Zamet” w Piekarach Śl. W trakcie badań laboratoryjnych uzyskano przy nagrzewaniu mosiądzu i miedzi sprawności odpowiednio 66,8% i 58,5%, co w pełni potwierdzało wyniki prac teoretycznych. Zależność temperatury od czasu podczas laboratoryjnego nagrzewania wlewków miedzianych (obniżoną mocą ok. 250 kW) przedstawiono na rys. 1a. Należy nadmienić, że przy nagrzewaniu mosiądzu wzrost sprawności elektrycznej spowodował obniżenie energochłonności procesu do 129 kWh/t, co potwierdza możliwości osiągnięcia znacznych oszczędności energii przy tym sposobie nagrzewania.

3. Nagrzewanie indukcyjne elementów stojaka "Valent" przed ich przeróbką plastyczną

W skład stojaków górniczych "Valent" wchodzi elementy wymagające przy ich wytwarzaniu zastosowania przeróbki plastycznej na gorąco. Obecnie nagrzewane są one w piecach płomieniowych opalanych gazem, a następnie poddawane przeróbce plastycznej na młotach i prasach. Z uwagi na wysoką energochłonność, małą wydajność, brak możliwości automatyzacji, trudne warunki pracy i zanieczyszczanie środowiska zdecydowano się na zmianę technologii przez zastosowanie nagrzewania indukcyjnego. Do prób wytypowano 3 z wielu wchodzących w skład stojaka elementów, a to przedłużenie obejmy i opór klina (płaskowniki stalowe) oraz pierścień spodnika (pierścienie stalowe). Wybrano je dlatego, że mają zbliżone grubości (10-14 mm), co zezwala na zasilanie wszystkich trzech nagrzewnic z jednego generatora średniej częstotliwości (8-10 kHz). W wykonanych wzbudnikach doświadczalnych przeprowadzono próby nagrzewania wytypowanych elementów. Z przyczyn technologicznych wymagane jest ich nagrzanie skrośne do temperatury ok. 1100°C, przy stosunkowo krótkich (kilkusekundowych) czasach, ze względu na żądane duże wydajności (po 300000 szt./rok). Uzyskane w trakcie prób rozkłady temperatury przedstawiono na rys. 1b, c, d. Dla przedłużenia obejmy uzyskano 6-sekundowy cykl grzania, dla oparu klina cykl 9-sekundowy, a dla pierścienia spodnika 8-sekundowy, co spełnia żądania technologiczne [2]. Zastosowanie w omawianym przypadku nagrzewania indukcyjnego skrośnego zamiast płomieniowego, to nie tylko zmiana sposobu grzania. Spowodowało to zasadniczą zmianę technologii wytwarzania przez pełną mechanizację i automatyzację procesów, 3 - 4-krotny wzrost wydajności, pełną powtarzal-

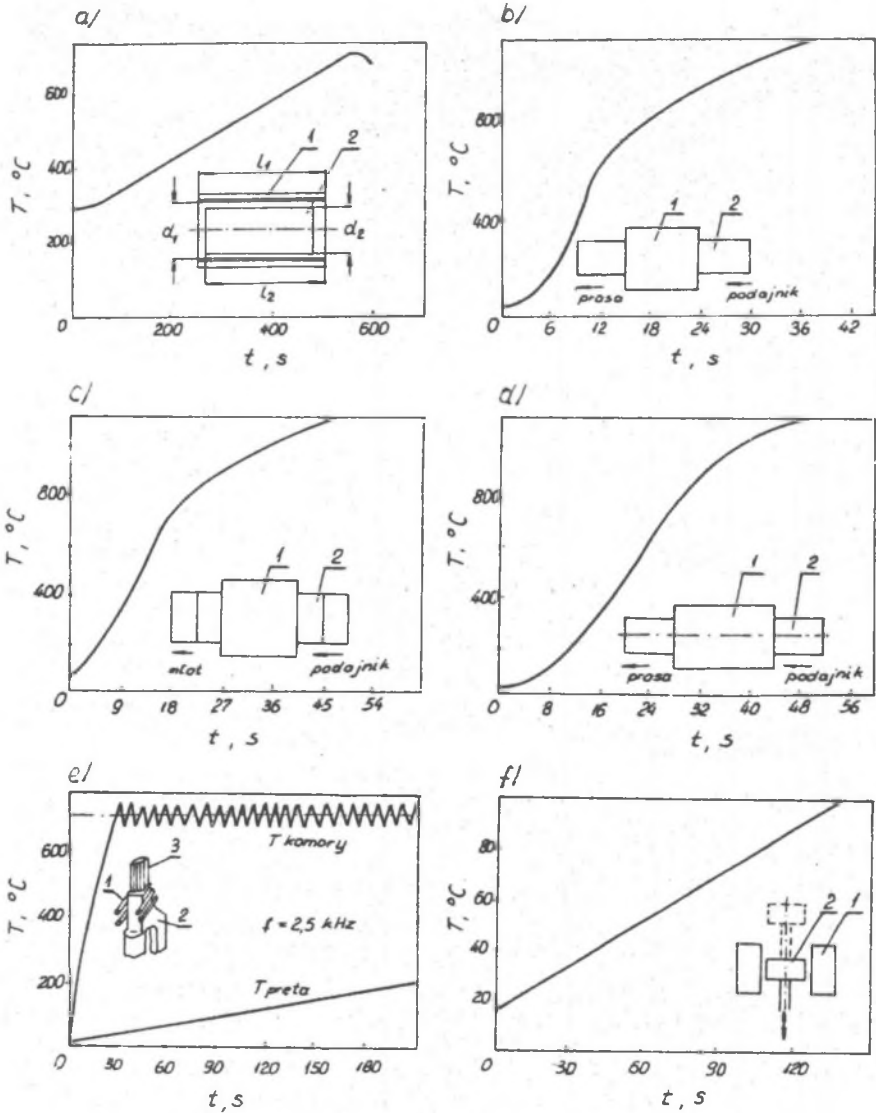
ność wyników, zmniejszenie strat metalu wskutek zgorzeliny oraz poprawę warunków pracy. Przeprowadzona analiza efektywności wykazała, że zwrot poniesionych nakładów nastąpi po ok. 5 latach.

4. Nagrzewanie indukcyjne w procesie lutowania komór wodnych i prętów uzwojeń turbogeneratorów

Łączenie miedzianych komór wodnych z prętami uzwojeń turbogeneratorów o mocy 200 MVA odbywa się przez spajanie ich lutami LS-45 lub LAG-15, z wykorzystaniem nagrzewania rezystancyjnego bezpośredniego, a w trakcie prac remontowych nagrzewania gazowego. Nie zapewnia to jednak uzyskania trwałego i szczelnego połączenia. Główną przyczyną jest nierównomierny rozkład temperatury w komorze i pręcie, co nie sprzyja właściwej penetracji roztopionego lutu. Lokalne przegrzewanie prętów może być ponadto przyczyną ich pęknięcia podczas eksploatacji. Doświadczenia uzyskane przy lutowaniu różnych elementów, w tym również uzwojeń maszyn elektrycznych, wykazują, że odpowiednio wysoką jakość połączeń uzyskuje się poprzez nagrzewanie indukcyjne łączonych części metalowych. Stosowany w procesie nagrzewania wzbudnik zasila się prądami średniej lub wysokiej częstotliwości. Lutowanie komór i prętów uzwojeń turbogeneratorów powinno odbywać się w temperaturze ok. 700-720°C. Osiągnięcie jej powinno nastąpić w możliwie krótkim czasie celem uniknięcia nadmiernego nagrzania części znajdujących się poza komorą. Korzystne jest pionowe ustawienie komory w trakcie lutowania. W Zakładzie Elektrotermii przy współpracy z Instytutem Maszyn i Urządzeń Elektrycznych Politechniki Śl. opracowano odpowiednią technologię, przeprowadzono badania oraz wybudowano prototyp nagrzewnicy indukcyjnej do lutowania komór wodnych i prętów uzwojeń turbogeneratorów o mocy 200 MVA [3,4,5]. Proces lutowania trwa ok. 3-4 min., a regulację temperatury w jego trakcie (po uzyskaniu temperatury końcowej) prowadzi się przez cykliczne załączenie i wyłączenie zasilania wzbudnika (rys. 1e). Przeprowadzone badania wykazały pełną przydatność prototypowej nagrzewnicy indukcyjnej w procesie lutowania. Obecnie opracowana technologia i wykonane urządzenia wdrażane są do praktyki przemysłowej w jednym z krajowych zakładów remontowych energetyki.

5. Nagrzewanie indukcyjne uchwytów naklejniczych

Stosowana obecnie w SZMO "Opta" technologia naklejania szkieł torycznych przewiduje nagrzewanie, wykonanych ze stopu aluminium, uchwytów przez umieszczenie ich na płycie metalowej podgrzewanej za pomocą palników gazowych. Po nagraniu uchwytu następuje przyklejanie szkieł i ich dalsza obróbka. Tak prowadzony proces jest bardzo uciążliwy dla obsługi, gdyż pozostałości kleju w czasie nagrzewania spływają na gorącą płytę, powodując wydzielanie się gęstego dymu i szkodliwych związków.



Rys. 1 Rozkłady temperatury w czasie nagrzewania poszczególnych elementów: a - wlewka miedzianego, b - przedłużenia obejmy, c - oporu klina, d - pierścienia spodnika, e - komory wodnej uzwojenia generatora, f - uchwytu naklejniczego. 1 - wzbudnik, 2 - nagrzewany element, 3 - pręty uzwojenia generatora

Z tych względów opracowano nową technologię indukcyjnego nagrzewania skrośnego uchwytyw. W celu uproszczenia układu zasilania oraz minimalizacji kosztów inwestycyjnych zastosowano wzbudniki wielowarstwowe zasilane z sieci zakładowej 220/380V i chłodzone powietrzem. Obliczeń wzbudników dokonano opierając się na metodzie oporów wniesionych [6,8]. Na tej podstawie zaprojektowano i zbudowano stanowisko doświadczalne [7]. W trakcie prób nagrzewano uchwyt naklejniczy mierząc jego temperaturę i czas nagrzewania (rys.1f). Po ok. 2 min. osiągnięto wymaganą przez technologię temperaturę 100°C, co gwarantuje uzyskanie założonej wydajności nagrzewania 450 uchwytyw na zmianę, przy zastosowaniu dwu wzbudników pracujących naprzemiennie. Uchwyt przed nagraniem jest nakładany na trzpień przewodnicy, zaryglowany i wsunięty do wzbudnika. Załączenie wzbudnika następuje automatycznie podczas wsuwania, co jednocześnie stanowi początek odliczania czasu grzania. Po jego upływie następuje samoczynne wyłączenie wzbudnika i wysunięcie nagrzanego uchwytyw. Nagrzewanie uchwytyw metodą indukcyjną umożliwia mechanizację procesu naklejania szkielek, zapewniając uzyskanie żądanej temperatury i wydajności, wpływając ponadto w sposób zasadniczy na poprawę warunków pracy obsługi.

LITERATURA

- [1] Sprawozdanie nr NB-455/RM-1/86. Pol.Śl., Katowice 1987/88. (mat. nie publ.).
- [2] Sprawozdanie nr NB-497/RM-1/86. Pol.Śl., Katowice 1987/88. (mat. nie publ.).
- [3] Sprawozdanie z ekspertyzy SITPH nr 192/84. Katowice 1985. (mat. nie publ.).
- [4] Sprawozdanie nr NB-648/RE-4/86. Gliwice 1988 (mat. nie publ.).
- [5] Paszek W., Żywiec A., Kadzimirz R., Sajdak G.; Lutowanie indukcyjne komór wodnych i prętów uzwojeń turbogeneratorów. Mat. III Konf. "Badania naukowe w elektrotermii", Wisła 1988. s.5-11.
- [6] Liwiński W.; Nagrzewanie indukcyjne skrośne. WNT, Warszawa 1968.
- [7] Kurek K.; Opracowanie technologii i urządzeń do nagrzewania indukcyjnego uchwytyw naklejniczych. Mat. III Konf. "Badania naukowe w elektrotermii", Wisła 1988.
- [8] Muras J.; Nowy typ wzbudnika o podwyższonej sprawności. Mat. I Konf. "Badania naukowe w elektrotermii", Wisła 1986.

THE APPLICATION OF THROUGH INDUCTION HEATING IN
SOME TECHNOLOGICAL PROCESSES

Summary

Practical applications of through induction heating during research works carried out at the Institute of Metallurgy of the Silesian Technical University have been presented in this paper. These applications can be: non-ferrous metals ingot heating and some elements of "Valent" stand before plastic processing, water chamber induction soldering and turbo-generator winding rod soldering as well as label grip heating used in optics.

The results of the experiments have been discussed together with technological and economical profits of heating up method application.

ПРИМЕНЕНИЕ СКВОЗНОГО ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Резюме

В работе представлены возможности практического применения индукционного сквозного нагрева на примерах исследовательских работ проводимых на кафедре металлургической электротермии Силезского политехнического института, а именно: нагрев слитков цветных металлов и элементов стоек "Valent" для их пластической обработки, индукционной пайки водных камер и стержней обмоток турбогенераторов, а также нагрев стеклодержателей применяемых в промышленной оптике. Описаны результаты исследований а также технологические и экономические эффекты вытекающие из применения этого метода нагревания.