

**Roman KOLANO, Marcin POLAK, Aleksandra KOLANO-BURIAN,
Jan SZYNOWSKI, Norbert WÓJCIK**
Instytut Metali Nieżelaznych, Gliwice

WYTWARZANIE TAŚM AMORFICZNYCH FeNbCuSiB Z ZASTOSOWANIEM PODAWANIA CIEKŁEGO STOPU NA DOLNĄ POWIERZCHNIĘ WIRUJĄCEGO BĘBNA

Słowa kluczowe

Szybkie schładzanie, urządzenie odlewnicze, technologia odlewania, stopy amorficzne, właściwości magnetyczne, taśma amorficzna, obróbka cieplna.

Streszczenie

W artykule przedstawiono nową metodę wytwarzania taśm amorficznych poprzez ultraszybkie schładzanie ciekłego stopu na dolnej powierzchni wirującego bębna metalowego. Opisano zasadę działania eksperymentalnego urządzenia odlewniczego zaprojektowanego i zbudowanego w Instytucie Metali Nieżelaznych w Gliwicach oraz wyniki dotychczas przeprowadzonych testów ze szczególnym uwzględnieniem problemu transportu ciekłego metalu na dolną powierzchnię bębna. Wyniki badań otrzymanych taśm potwierdziły ich dobre właściwości mechaniczne, strukturalne i magnetycznie miękkie.

Wstęp

Najczęściej stosowanym sposobem wytwarzania taśm amorficznych jest ultraszybkie schładzanie ciekłego stopu podawanego na górną powierzchnię wirującego bębna metalowego. Sposób ten stosowany jest w praktyce zarówno na skalę laboratoryjną [1, 2], jak i przemysłową [3, 4]. Jest on szczególnie przydatny do zastosowań laboratoryjnych przy odlewaniu taśm o masie do 0,5 kg

w trakcie pojedynczego cyklu, natomiast jego wykorzystanie w instalacji przemysłowej posiada następujące wady:

- bardzo skomplikowany i kosztowny system transportu ciekłego stopu z tygła topielnego na powierzchnię bębna,
- brak możliwości odlewania taśm o grubości poniżej 20 μm ,
- potencjalne zagrożenie wystąpienia niekontrolowanego wypływu ciekłego stopu na powierzchnię bębna na skutek uszkodzenia dyszy odlewniczej tygła pośredniego.

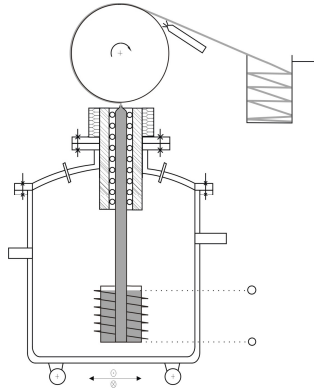
Powyższe wady nie występują w urządzeniu, w którym ciekły stop jest transportowany z tygła topielnego specjalną kolumną pionowo w górę na dolną powierzchnię wirującego bębna, na której powstaje taśma. Wstępne prace nad wykorzystaniem tego sposobu w instalacji przemysłowej prowadzone były w trakcie realizacji projektu międzynarodowego w ramach 5 Programu Ramowego Unii Europejskiej [5] oraz w ramach projektu badawczego realizowanego w latach 2001–2003 w Instytucie Metali Nieżelaznych (IMN) w Gliwicach [6]. Prace prowadzone w IMN zakończyły się zaprojektowaniem i wykonaniem prototypowego urządzenia doświadczalnego do odlewania taśm amorficznych z zastosowaniem nowej metody podawania ciekłego stopu na dolną powierzchnię bębna. Wstępne testy odlewania z użyciem zbudowanego prototypu potwierdziły możliwość odlewania taśm tym sposobem.

W niniejszym artykule przedstawione zostaną wyniki badań nad doskonaleniem kolumny transportującej ciekły metal z tygła topielnego pionowo w górę na dolną powierzchnię bębna oraz wyniki prób odlewania z zastosowaniem tej kolumny. Badania te prowadzono w ramach projektu PBZ PW-004/ITE/03/2004.

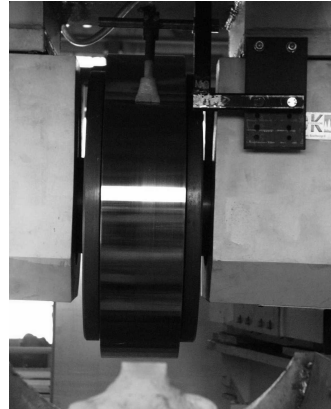
1. Zasada działania urządzenia

Na rys. 1 przedstawiono zasadę działania doświadczalnego urządzenia do wytwarzania taśm amorficznych metodą ultraszybkiego schładzania (10^6 K/s) ciekłego stopu podawanego na dolną powierzchnię wirującego bębna. Stop o żądanym składzie chemicznym umieszcza się w tyglu komory pieca i roztopia w atmosferze argonu, po czym do ciekłego stopu zanurza się rurę odlewniczą i zwiększa się ciśnienie argonu w hermetycznie zamkniętej komorze pieca, wypychając w górę rury odlewniczej ciekły stop, który następnie podawany jest przez dyszę na obracający się bęben odlewniczy. Po zakrzepnięciu metalu zdziera się pneumatycznie z powierzchni bębna powstałą taśmę, która jest następnie zwijana.

Na rys. 2 przedstawiono zdjęcie opracowanego w IMN doświadczalnego urządzenia do odlewania taśm amorficznych. W jego skład wchodzi zespół podgrzewający i podający ciekły metal oraz umieszczony nad nim obrotowy bęben odlewniczy. Ponadto urządzenie wyposażone jest w komputerowy system sterowania procesem nagrzewania i topienia metalu oraz procesem odlewania taśm.



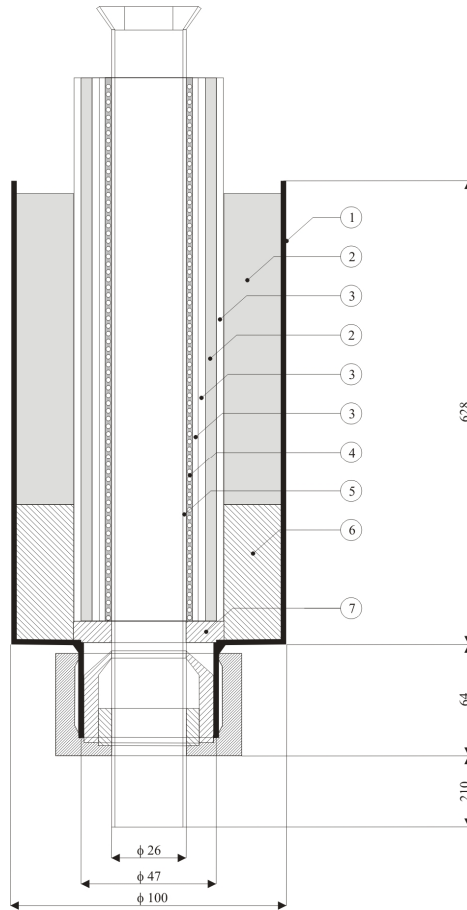
Rys. 1. Zasada działania doświadczonego urządzenia do odlewania taśm amorficznych



Rys. 2. Zdjęcia doświadczonego urządzenia do odlewania taśm amorficznych (widok ogólny oraz bębny odlewniczy)

Najważniejszą częścią zespołu podgrzewająco-podającego jest kolumna do pionowego transportu ciekłego stopu. Badania nad doskonaleniem kolumny do transportowania ciekłego metalu skoncentrowane były na trzech głównych problemach:

- możliwość odlewania taśm o szerokości do 25 mm,
- sterowanie nagrzewaniem wnętrza kolumny transportującej ciekły stop z możliwością osiągnięcia w niej temperatury ok. 1200°C,
- dobór izolacji termicznej kolumny transportującej ciekły stop, pozwalającej na utrzymanie temperatury tego stopu podczas jego pionowego transportu w górę.



Rys. 3 Przekrój poprzeczny kolumny do transportu ciekłego stopu

Przeprowadzone próby odlewania taśm z zastosowaniem rur kwarcowych o różnych średnicach wewnętrznych wykazały, że do otrzymania żądanej szerokości taśmy wymagane jest, aby średnica wewnętrzna rury miała wymiar co najmniej równy szerokości taśmy. Opracowana kolumna składa się z następujących elementów (rys. 3): nośna rura stalowa (1), przez środek której przechodzi rura kwarcowa (5) zakończona dyszą oraz grzejnik oporowy o mocy ok. 5 kW zamontowany na odcinku poniżej dyszy do podstawy rury nośnej. Grzejnik ten wraz z zastosowaną izolacją termiczną (2, 3, 6, 7) zapewnia utrzymanie wymaganej temperatury stopu transportowanego rurą kwarcową. Ustalono eksperymentalnie automatyczny program grzania rury, który zapewnia następujący rozkład temperatur wzdłuż osi rury:

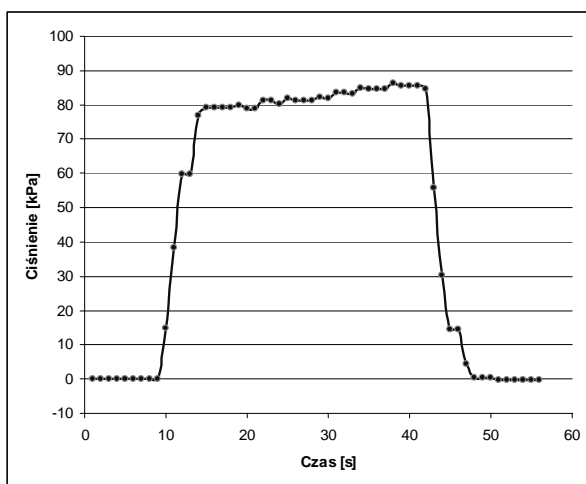
- 5 cm poniżej czoła dyszy – 1050°C,
- 40 cm poniżej czoła dyszy – 1200°C,
- 75 cm poniżej czoła dyszy – 1100°C.

2. Wytwarzanie taśm ze stopu FeNbCuSiB i badanie ich właściwości

W wyniku przeprowadzonych prób technologicznych z różnymi wymiarami dyszy odlewniczej (0,3 i 0,4 mm) oraz z różnymi dystansami pomiędzy bębniem a dyszą odlewniczą (0,4 i 0,8 mm) ustalono następujące parametry odlewania taśm:

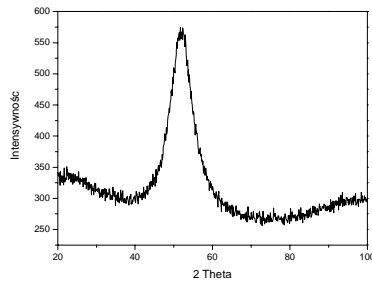
- wymiary dyszy – 20 x 0,3 mm,
- dystans pomiędzy bębniem a dyszą – 0,4 mm,
- prędkość metalu przy przechodzeniu przez dyszę – 2 m/s,
- długość rury kwarcowej – 0,96 m,
- prędkość liniowa bębna – 37 m/s,
- temperatura wsadu w tyglu – 1350°C,
- temperatura rury transportującej stop – od 1050 do 1200°C,
- wartość ciśnienia wstępnego P_1 – 60 kPa,
- wartość ciśnienia inicjującego wypływ metalu z dyszy P_2 – 80 kPa.

Proces odlewania prowadzono zapewniając automatyczne sterowanie grzaniem kolumny odlewniczej oraz grzaniem wsadu doprowadzając go do żądanej temperatury po stopieniu. Inicjacja procesu odlewania jest również sterowana automatycznie poprzez dwustopniowe zadawanie w odstępie ok. 2 sekund dwóch wartości ciśnienia – 60 i 80 kPa (rys. 4), które automatycznie jest uzupełniane z prędkością 0,2 kPa/s w celu kompensacji ubytku ciśnienia hydrostatycznego na skutek zmniejszenia się w tyglu topliwym słupa ciekłego stopu. Mimo to wystąpiły pewne problemy z odlaniem pełnej zawartości wsadu. Taśma otrzymana w tych warunkach ma szerokość ok. 20 mm, a jej grubość waha się w granicach 25 ± 4 μm . Taśma jest plastyczna i charakteryzuje się dobrą gładkością powierzchni.

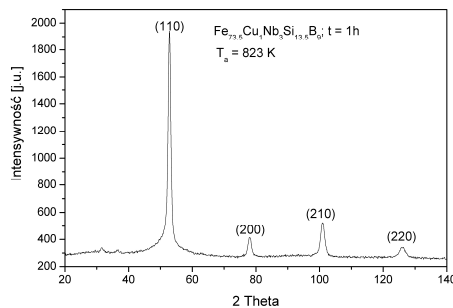


Rys. 4. Przebieg ciśnienia w trakcie odlewania taśmy

Zbadane właściwości strukturalne taśm po odlaniu oraz po obróbce cieplnej w temperaturze 545°C w czasie 1 godz. w atmosferze argonu przedstawiono na rys. 5 i 6. Uzyskany dyfraktogram (rys. 5) potwierdza amorficzność, a co za tym idzie plastyczność materiału. Natomiast charakterystyczne piki na rys. 6 dowodzą powstania w wyniku obróbki cieplnej struktury nanokrystalicznej decydującej o właściwościach magnetycznie miękkich otrzymanych taśm.



Rys. 5. Widmo dyfrakcyjne taśmy $\text{Fe}_{73,5}\text{Nb}_3\text{Cu}_1\text{Si}_{13,5}\text{B}_9$ w stanie po odlaniu

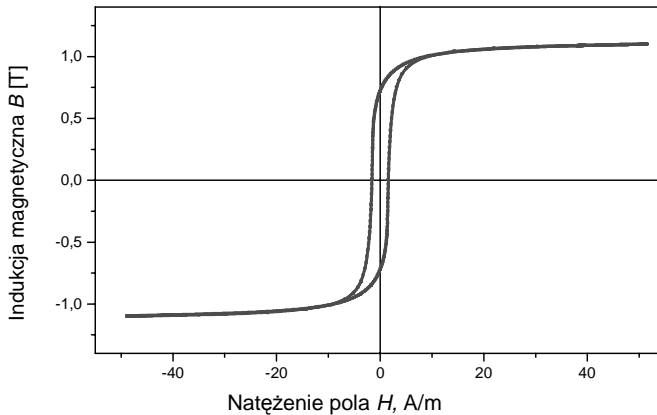


Rys. 6. Widmo dyfrakcyjne taśmy $\text{Fe}_{73,5}\text{Nb}_3\text{Cu}_1\text{Si}_{13,5}\text{B}_9$ po obróbce cieplnej (545°C/1 godz, Ar)

4. Badanie właściwości magnetycznych taśm $\text{Fe}_{73,5}\text{Nb}_3\text{Cu}_1\text{Si}_{13,5}\text{B}_9$

Taśmy amorficzne stosowane są w praktyce do wytwarzania różnego rodzaju zwijanych rdzeni toroidalnych lub poddawane proszkowaniu w celu wytworzenia z nich rdzeni z rozproszoną szczeliną. Wymagane właściwości rdzeni otrzymuje się po odpowiedniej obróbce cieplnej. W niniejszej pracy toroidalne rdzenie zwijane miały następujące wymiary geometryczne: średnica zewnętrzna – 31,5 mm, średnica wewnętrzna – 25 mm, wysokość – 20 mm, średnia droga magnetyczna – 88,7 mm, przekrój poprzeczny – 30 mm². Rdzenie poddawane były obróbce cieplnej w temperaturze 545°C±2°C przez 1 godzinę w atmosferze argonu, po czym były chłodzone z prędkością 20°C/min. Następnie ich dynamiczne właściwości magnetycznie miękkie były mierzone za pomocą specjali-

stycznego systemu pomiarowego typu Remacomp C-100. Na rys. 7 przedstawiono przykładową pętlę histerezy otrzymaną przy sinusoidalnym polu magnetycznym o częstotliwości 50 Hz i amplitudzie natężenia pola magnetycznego 50 A/m. Natomiast w tabeli 1 zamieszczono podstawowe parametry magnetyczne rdzeni otrzymanych z taśm wytworzonych nową metodą oraz, dla porównania, z taśm wytworzonych metodą tradycyjną (dane własne).



Rys. 7. Pętla histerezy zmierzona dla taśm ze stopu $\text{Fe}_{73,5}\text{Nb}_3\text{Cu}_1\text{Si}_{13,5}\text{B}_9$

Tabela 1. Porównanie właściwości magnetycznych rdzeni z taśm otrzymanych metodą nową i tradycyjną

Rodzaj taśmy	Parametry magnetyczne					
	B_m [T]	B_r [T]	H_c [A/m]	P_s [W/kg]	$\mu_{0,4}$	μ_{max}
nowa	1,1	0,72	1,6	0,04	80 000	312 000
tradycyjna	1,1 – 1,2	0,7 – 0,75	1,2 – 1,6	0,025 – 0,04	80 000 – 150 000	300 000 – 500 000

Podsumowanie

W artykule przedstawiono wyniki badań nad doskonaleniem doświadczalnego urządzenia do wytwarzania taśm amorficznych oraz wyniki prób technologicznych odlewania taśm typu $\text{Fe}_{73,5}\text{Nb}_3\text{Cu}_1\text{Si}_{13,5}\text{B}_9$. Badania skoncentrowane były głównie nad doskonaleniem procesu odlewania taśm przy zastosowaniu opracowanej i wykonanej nowej kolumny do transportu ciekłego stopu pionowo w górę. Opracowana kolumna odlewnicza daje możliwość wytwarzania taśm o szerokości do 25 mm, a zastosowany system grzewczy z odpowiednią izolacją zapewnia w rurze transportującej ciekły metal temperaturę ok. 1200°C. Ustalono parametry odlewania taśm ze stopu $\text{Fe}_{73,5}\text{Nb}_3\text{Cu}_1\text{Si}_{13,5}\text{B}_9$, charakteryzujące się

po odpowiedniej obróbce cieplnej zadowalającymi właściwościami magnetycznymi (tabela 1). Właściwości te mieszczą się w dolnym pułapie właściwości rdzeni wytwarzanych z taśm otrzymywanych metodą tradycyjną.

Praca naukowa finansowana ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego, wykonana w ramach realizacji Programu Wieloletniego pn. „Doskonalenie systemów rozwoju innowacyjności w produkcji i eksploatacji w latach 2004–2008”.

Bibliografia

1. Berger S.A., AiD.K.: Metallurgical Trans. B, 1988, vol. 19B, s. 571–579.
2. Kolano R., Kolano-Burian A., Szynowski J., Wójcik N., Polak M.: Rudy i Metale Nieżelazne, 2006, nr 3, s. 128–136.
3. Sussman R.C., Evans G.: Metallurgical trans. B, 1987, vol. 18B, s. 71–79.
4. Katalog firmowy Metglas® Inc. – Hitach Metals, 2005, s. 53.
5. Progress Report of the 5FP Project No. GRD2-2000-30349.
6. Kolano R.: Raport końcowy z projektu celowego nr 10TO8050 200C/5335.

Recenzent:
Tadeusz LUCIŃSKI

Fabrication of the FeNbCuSiB amorphous ribbons based on a molten metal transport onto a bottom surface of rotating wheel

Summary

A new fabrication method of amorphous ribbons by rapid quenching of a liquid metal on a bottom surface of rotating copper wheel has been presented. Principle of operation of an experimental casting installation designed and built at the Institute of Non-Ferrous Metals in Gliwice, Poland, has been described together with results of tests carried out so far, with a special emphasis put on the problem of transporting molten metal onto a bottom surface of a wheel. Examination of the amorphous ribbons obtained confirmed their good mechanical, structural and soft magnetic properties.