

**ODLEWANE I PRASOWANE MAGNESY ALNICO  
O PODWYŻSZONEJ JAKOŚCI  
DO SPRZĘTU ELEKTRONICZNEGO**A. TABOR<sup>1</sup>, R. MOSZUMAŃSKI<sup>2</sup>, Z. HADUCH<sup>3</sup>, A. STANEK<sup>4</sup><sup>1,2</sup> Politechnika Krakowska, Al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków<sup>3</sup> Universidad de Monterrey Av. Morones Prieto 4500 Pte.,  
66238 Monterrey N.L. Mexico<sup>4</sup> Magnesy Baildon Sp. z o.o., ul. Żelazna 9, 40-952 Katowice

## STRESZCZENIE

Przeprowadzono badania rozpoznawcze metody odlewania odśrodkowego w atmosferze ochronnej kształtek walcowych z materiału ALNICO. Równocześnie przeprowadzono badania rozpoznawcze metody prasowania składników materiału ALNICO w postaci sproszkowanej z późniejszym spiekaniem w próżni. Obserwowano struktury metalograficzne i fraktograficzne otrzymanych materiałów magnetycznych porównując je z materiałami dostępnymi na rynku krajowym i międzynarodowym. Wytypowano sprzęt elektroniczny, w którym materiały o podwyższonej jakości mogą znaleźć zastosowanie.

*Key words: alnico; permanent magnet; casting; powder pressing; sintering; metallographic structure; fractographic structure; electronic equipment.*

**1. ALTERNATYWNE TECHNIKI WYTWARZANIA MAGNESÓW ALNICO**

Odlewane magnesy ALNICO wytwarzane są w Polsce metodą syfonową. Pory zlokalizowane są w przypadku próbek walcowych w pobliżu osi od strony kanału wlewowego, a mikropęknięcia ujawniają się podczas obróbki ubytkowej. W celu podniesienia

---

<sup>1</sup> dr, atabor@mech.pk.edu.pl

<sup>2</sup> dr, rysmos@mech.pk.edu.pl

<sup>3</sup> dr prof. UDEM, zhaduch@udem.edu.mx

<sup>4</sup> astanek@magnesy.com.pl

jakości materiału magnetycznego przeprowadzono badania metody odlewania odśrodkowego w atmosferze ochronnej. Do dalszych badań wytypowano metodę ciśnieniową i podciśnieniową.

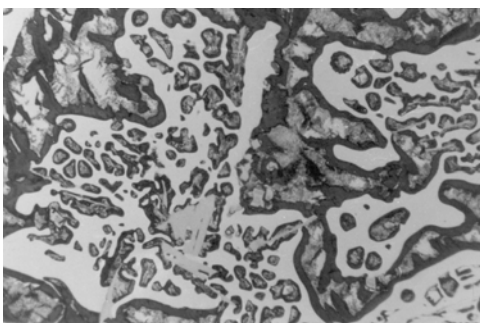
Prasowane magnesy proszkowe Alnico nie są dotychczas w Polsce produkowane. W Politechnice Krakowskiej przeprowadzono badania rozpoznawcze metody jednostronnego prasowania składników proszkowych materiału magnetycznego. W zależności od wartości ciśnienia prasowania i sposobu przyłożenia siły uzyskano po spieczeniu materiały magnetyczne o różnej porowatości. Do dalszych badań wytypowano metodę prasowania pulsacyjnego dwustronnego i izostatycznego.

## 2. CHARAKTERYSTYKA STRUKTURY MATERIAŁÓW ODLEWANYCH

Przedmiot badań strukturalnych stanowiły zglądy i przełomy stopu ALNICO wykonane z próbných odlewów w postaci wałków o średnicy  $d$  12,5 mm i długości ok. 150 mm. Próbki były odlewane odśrodkowo do form ceramicznych w atmosferze ochronnej (argon) i z zastosowaniem próżni. Materiałem wsadowym był rozdrobniony złom stopu ALNICO o składzie chemicznym typowym dla magnesów trwałych: Al - 8%, Ni - 14%, Co - 24%, Cu - 3%, C - max 0,03%, Mn - max 0,03%, Si - 0,1%, Ti - max 0,3%, S - 0,1%, P - 0,03%, Fe - reszta.

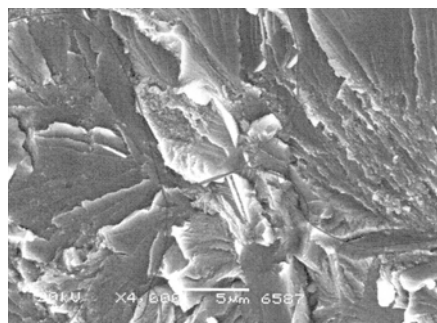
Struktura obserwowanych próbek składa się z trzech różniących się dyspersją obszarów (rys.1. - różne poziomy szarości). Budowa wewnętrzna tych obszarów to układ płytkowy - przełomy przebiegają wzdłuż płytek różniących się orientacją (rys.2)

Wyniki analizy przeprowadzonej w trzech punktach mikrostruktury obserwowanych obszarów próbek wykazują zróżnicowane stężenie pierwiastków wchodzących w skład chemiczny badanego stopu (rys.3, a,b,c,d).



Rys. 1. Charakterystyczna mikrostruktura stopu ALNICO odlewane go odśrodkowo w próżni i w atmosferze argonu (trawiony, pow. 500x)

Fig.1. Typical microstructure of ALNICO alloy centrifugally cast in vacuum under argon atmosphere (etched, 500x)

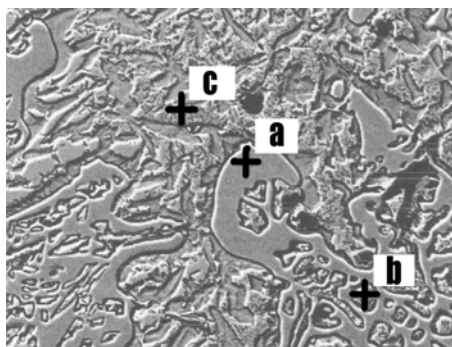


Rys.2. Charakterystyka przełomu ALNICO. Budowa płytkowa o różnej orientacji

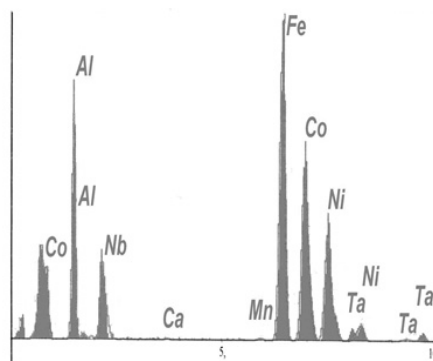
Fig.2. Typical ALNICO fracture. Lamellar structure of mixed orientation

Podsumowując wyniki obserwacji mikroskopowych struktury, przełomów oraz analizy punktowej, można powiedzieć, że struktura stopu uzyskana w wyniku odlewania odśrodkowego jest bardziej ujednorodniona i bardziej drobnoziarnista (a więc bardziej zwarta) w porównaniu z tradycyjnym odlewaniem grawitacyjnym, przy którym pojedyncze pęcherze mają wielkość do 5 mm lub nieciągłości struktury składają się z licznych, mniejszych pęcherzy o dużym skupieniu tworzącym gąbką.

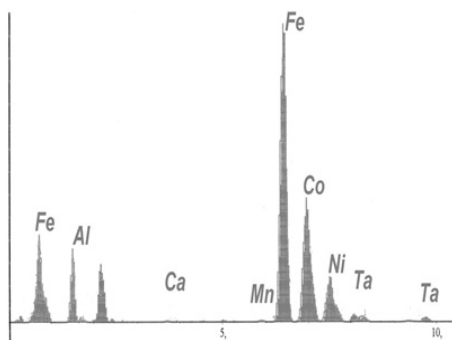
Zastosowanie próżni i atmosfery ochronnej nie pozwala na duże ubytki składników chemicznych stopu - głównie aluminium. Przy takiej strukturze możliwe będzie osiągnięcie wyższych parametrów magnetycznych od uzyskiwanych metodą odlewania grawitacyjnego a nawet w przypadku magnesów spiekanych.



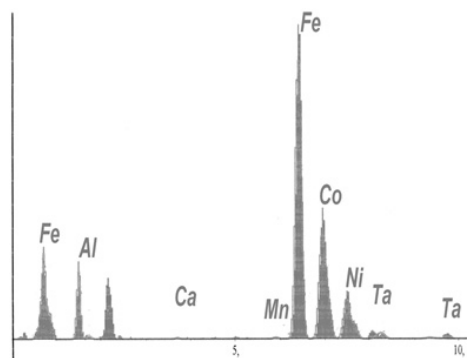
Rys. 3a. Struktura metalograficzna odlewane-go materiału magnetycznego ALNICO  
Fig. 3a. Metallographic structure of cast magnetic ALNICO alloy



Rys. 3b. Skład chemiczny w punkcie a  
Fig. 3b. Chemical composition at point a



Rys. 3c. Skład chemiczny w punkcie b  
Fig. 3c. Chemical composition at point b



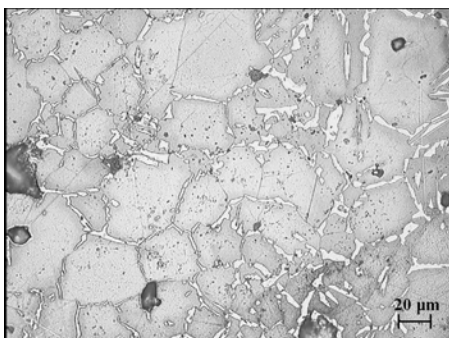
Rys. 3d. Skład chemiczny w punkcie c  
Fig. 3d. Chemical composition at point c

### 3. CHARAKTERYSTYKA STRUKTURY MATERIAŁÓW PRASOWANYCH

Przygotowano mieszankę proszków o następującym składzie chemicznym: Al - 8,2%, Ni - 14,7%, Co - 36,0%, Ti - 5,7%, Cu - 3,1%, Fe – reszta. Aluminium występowało w postaci stopu wstępnego FeAl (1:1), natomiast pozostałe składniki były czystymi metalami. Wielkość cząstek proszków nie przekraczała 160  $\mu\text{m}$ . Proces mieszania był realizowany w czasie 1 h w mieszalniku dwustożkowym.

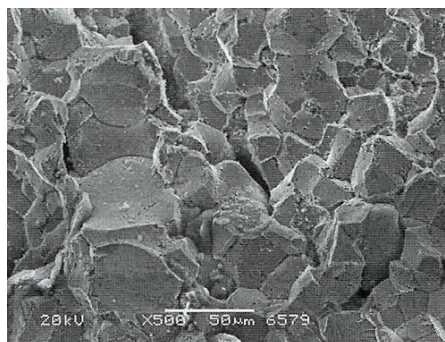
Mieszankę prasowano jednostronnie w matrycy zamkniętej o średnicy  $\varnothing 12,2$  mm. Masa naważki wynosiła 4,2 g. Czoła stempli i ścianę matrycy pokrywano środkiem poślizgowym. Stosowano ciśnienia 400, 600 i 800 MPa. Spiekanie wyprasek przeprowadzono w piecu próżniowym z grzałką wolframową w temperaturach 1250, 1300 i 1350  $^{\circ}\text{C}$  przez 2 h. Dzięki temu otrzymano 9 rodzajów materiału magnetycznego.

Obróbka termiczna spieku obejmowała: homogenizację w temperaturze 1280  $^{\circ}\text{C}$  przez 20 min z szybkim chłodzeniem w zakresie 1200-900  $^{\circ}\text{C}$ , wyżarzanie izotermiczne w polu magnetycznym przez 20 min w temp. 830  $^{\circ}\text{C}$  oraz trzystopniowe starzenie w temp 610  $^{\circ}\text{C}$  przez 2 h, w temp. 590  $^{\circ}\text{C}$  przez 4 h i w temp. 570  $^{\circ}\text{C}$  przez 6 h.



Rys. 4. Charakterystyczna mikrostruktura spieku ALNICO prasowanego ciśnieniem 400MPa i spiekanego w temp. 1300 $^{\circ}\text{C}$  (pow. 500x)

Fig. 4. Typical microstructure of ALNICO sinter pressed under 400MPa and sintered at 1300 $^{\circ}\text{C}$  (500x)



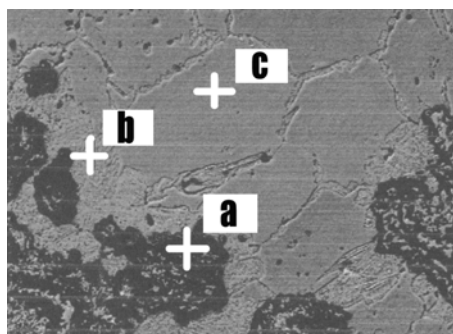
Rys. 5. Charakterystyka przelomu spieku ALNICO. Cząsteczki proszku o różnej wielkości

Fig. 5. Typical ALNICO sinter fracture. Note powder particles of different sizes

Badania metalograficzne (rys.4.) obejmowały obserwację zglądów nietrawionych w celu oceny rozkładu i morfologii porów oraz trawionych odczynnikiem chlorkowym w celu oceny struktury fazowej. Widoczny jest kształt i konfiguracja ziaren proszku oraz wielkość i lokalizacja porów.

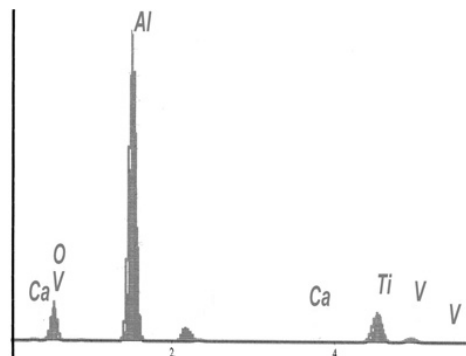
Badania fraktograficzne (rys.5.) obejmowały obserwację przelomów materiałów magnetycznych po spiekaniu. Pęknięcia przebiegały pomiędzy ziarnami lub wewnątrz ziaren.

Analiza punktowa przeprowadzona również w trzech charakterystycznych obszarach mikrostruktury wykazuje stężenie pierwiastków wchodzących w skład materiały magnetycznego otrzymanego z surowców sypkich (rys.3, a,b,c,d).



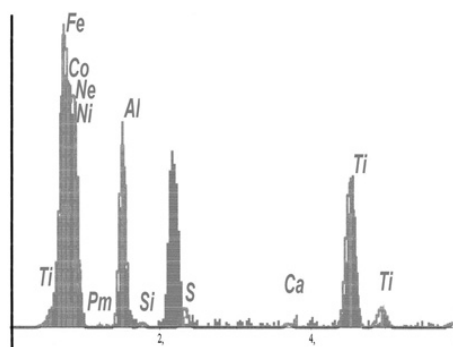
Rys. 6a. Struktura metalograficzna materiału magnetycznego ALNICO po spiekaniu

Fig. 6a. Metallographic structure of magnetic ALNICO alloy after sintering

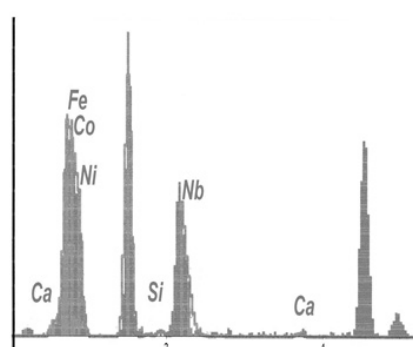


Rys. 6b. Skład chemiczny w punkcie a

Fig. 6b. Chemical composition at point a



Rys. 6c. Skład chemiczny w punkcie b  
Fig. 6c. Chemical composition at point b



Rys. 6d. Skład chemiczny w punkcie c  
Fig. 6d. Chemical composition at point c

Opanowanie techniki prasowania i spiekania proszków umożliwia projektowanie struktury i właściwości materiałów magnetycznych. Istotnym jest dobór właściwej mieszanki (skład chemiczny, kształt, wielkość ziaren, modyfikatory aktywujące proces spiekania) i specjalnych metod zagęszczania (prasowanie pulsacyjne, pole magnetyczne) oraz warunków spiekania i uszlachetniania.

Struktura magnesów z proszków różni się od odlewów przede wszystkim występowaniem niewielkich porów. Są one ulokowane głównie na granicach, ale i wewnątrz

ziaren. Mają przeważnie sferoidalny kształt. Materiał po uszlachetnianiu cieplno-magnetycznym osiąga ok. 97% gęstości teoretycznej.

#### **4. MAGNESY ALNICO DO SPRZĘTU ELEKTRONICZNEGO**

Hermetyczne układy pompowe z magnesami trwałymi umożliwiają przeniesienie napędu w ruchu obrotowym lub posuwisto-zwrotnym z elementu napędzającego znajdującego się na zewnątrz przestrzeni sterylnej na element napędzany za pomocą sił pola magnetycznego. Płyn ustrojowy jest przepompowywany bez kontaktu z otoczeniem.

Natomiast zabezpieczenie silnie obciążonych zespołów napędowych maszyn technologicznych lub środków transportu, narażonych na zużycie ściernie, zatarcie i zniszczenie stanowią inicjatory z elementami magnetycznymi aktywnymi lub pasywnymi. Produkty zużycia (opiłki, wióry) są przyciągane siłami pola magnetycznego powodując zamknięcie obwodu elektrycznego, co jest sygnalizowane na pulpicie operatora i umożliwia niezwłoczne (manualne lub automatyczne) wyłączenie zespołu napędowego.

#### **LITERATURA**

- [1] Kubicki A., Kołodziej L.: *Magnes trwały odlewane typu Alnico – przeszłość i teraźniejszość*. Przegląd Odlewnictwa 10-11'2004.
- [2] Moszumański R. *Polarization system for magnetic hard materials of special properties*. Düsseldorf, 1986.
- [3] Moszumański R., Stanek A., *Nowe materiały magnetyczne do budowy czujników zużycia przekładni zębatych*. X Kongres Eksploatacji Urządzeń Technicznych, Stare Jabłonki 2005.
- [4] Tabor A. *Leksykon podstawowych określeń, pojęć i definicji w metalurgii i odlewnictwie, Kraków 2003*

#### **CAST AND PRESSED HIGH-QUALITY ALNICO MAGNETS FOR ELECTRONIC APPLICATIONS**

##### **SUMMARY**

Preliminary investigations were made as regards the method of centrifugal casting under protective atmosphere of the cylindrical specimens of ALNICO alloy. In parallel, the studies were conducted on the technique of pressing the ALNICO alloy constituents in powdered form followed by sintering in vacuum. The metallographic and fractographic structures of the produced magnetic materials were examined and compared with materials available on both home and international markets. The electronic equipment in which the high-quality materials can find application was selected.

Recenzował: Prof. Józef Suchy