

**Dr hab. inż. Joanna Karwan-Baczewska**  
**Katedra Materiałów Metalicznych i Nanoinżynierii**  
**Wydział Metali Nieżelaznych AGH –Kraków**

**Kolokwium habilitacyjne** odbyło się w dniu 30 czerwca 2009 r. na Wydziale Metali Nieżelaznych AGH w Krakowie

**Joanna Karwan-Baczewska, Rozprawa habilitacyjna: „Spiekane stopy na bazie proszku żelaza modyfikowane borem” Monografia 181, (2008), s. 1-192, AGH-Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2008**

## **Spiekane stopy na bazie proszku żelaza modyfikowane borem** **Sintered alloys base on iron powder modified with boron**

### **Streszczenie**

Celem pracy było wytworzenie spieków z proszku żelaza NC 100,24 i z proszków stopowanych: Astaloy Mo (Fe-1,5 %Mo) i Distaloy SA (Fe-1,75 %Ni-1,5 %Cu-0,5 %Mo) z dodatkiem proszku boru (0,2 %, 0,4 % i 0,6 %) oraz przeanalizowanie wpływu dodatku boru na kształtowanie mikrostruktury oraz właściwości wytrzymałościowych i sprężystych badanych materiałów. Materiały z proszku żelaza NC 100,24 i z proszków stopowanych Astaloy Mo i Distaloy SA modyfikowanych proszkiem boru otrzymano w wyniku mieszania proszków, prasowania pod ciśnieniem  $p=600$  MPa i spiekania przy temperaturze  $1200^{\circ}\text{C}$ , w czasie 60 minut, w atmosferze wodoru. W toku eksperymentów przeprowadzono badania gęstości, twardości, właściwości wytrzymałościowych i sprężystych spieków modyfikowanych borem jak również przeprowadzono szczegółową analizę mikrostruktury próbek wykorzystując metody mikroskopii optycznej, skaningowej oraz analizy fazowej.

W przypadku proszku Distaloy SA, analizowano procesy spiekania z zastosowaniem różnych frakcji ziarnowych tego proszku zarówno z dodatkiem boru jak i bez dodatku boru. Dokonano także analizy porównawczej wpływu dodatku proszku boru (B), borku niklu (NiB) i borku żelaza ( $\text{Fe}_2\text{B}$ ) na zmiany zachodzące w mikrostrukturze i właściwościach mechanicznych spieków z proszku Distaloy SA.

W celu zweryfikowania wyników eksperymentalnych, szczególnie analizy procesu spiekania próbek z proszku Distaloy SA z dodatkiem boru oraz kształtowania określonej mikrostruktury badanych spieków dokonano analizy termodynamicznej równowagi faz w układzie Fe-Ni-Mo-Cu-B.

W toku badań stwierdzono, że dodatek boru aktywizuje proces spiekania poprzez tworzenie fazy ciekłej, w wyniku reakcji eutektycznej pomiędzy pierwiastkami osnowy (Fe, Mo, Ni) a borkami (Fe, Mo, Ni)<sub>2</sub>B i w rezultacie podwyższa stopień zagęszczenia oraz właściwości mechaniczne badanych spieków. Najwyższy stopień zagęszczenia oraz najwyższe właściwości mechaniczne uzyskano w przypadku proszku Distaloy SA. Udowodniono, że skład chemiczny proszków Distaloy SA pozwala na osiągnięcie znacznie wyższych właściwości mechanicznych w spiekach o niższej zawartości boru niż to ma miejsce w spiekach Astaloy Mo modyfikowanych borem. Ponadto, stosując drobniejsze frakcje ziarnowe proszku Distaloy SA (40-56  $\mu\text{m}$ ) uzyskuje się wyższy stopień zagęszczenia spieków już przy niższych zawartościach boru (0,4 %).

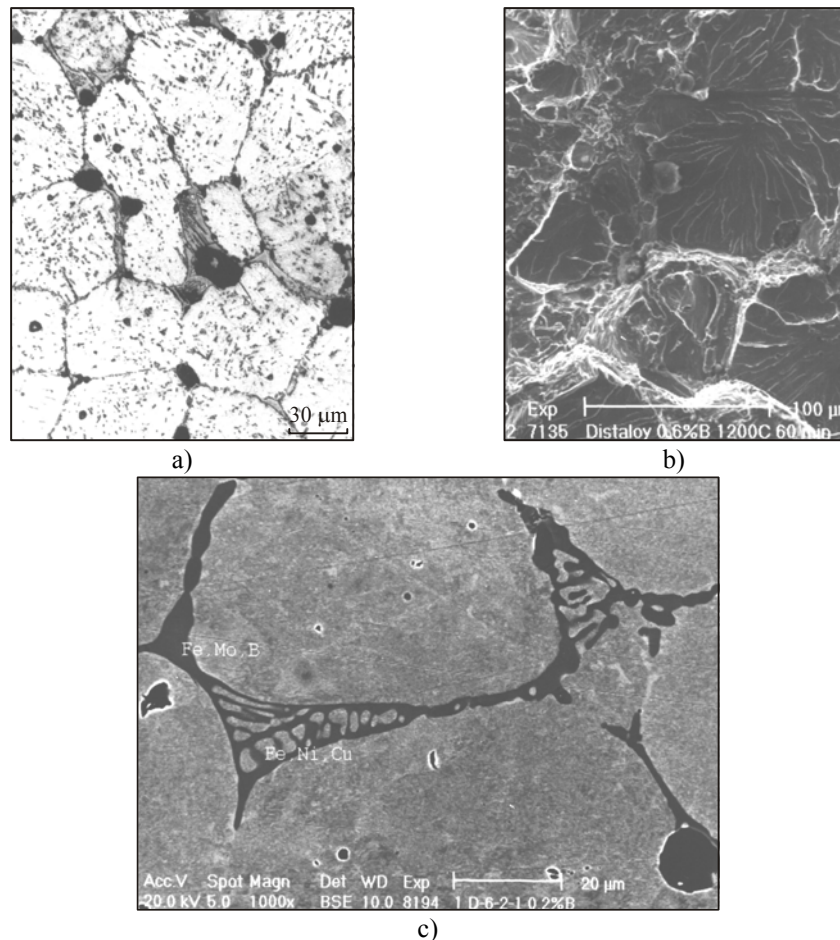
### **Summary**

The aim of that research-work was producing sintered materials base on NC 100,24 iron powder, Astaloy Mo (Fe-1,5 %Mo) and Distaloy SA (Fe-1,75 %Ni-1,5 %Cu-0,5 %Mo) prealloyed powders with boron addition and an influence of boron on the microstructure as well as on strength and elastic properties of P/M alloys was analyzed. Sintered alloys base on NC 100,24 iron powder, Astaloy Mo and Distaloy SA powders modified by boron powder were obtained by mixing powders said above, followed by compacting at 600 MPa pressure and sintered at  $1200^{\circ}\text{C}$ , during 60 minutes in hydrogen atmosphere. In the experiments density and hardness measurements as well as strength and elastic properties of P/M alloys with boron addition were performed. A detailed microstructure investigation of sintered samples with boron addition using light microscopy, SEM methods and phase analysis were done.

In case of Distaloy SA powder, a sintering process of different grain size fractions of said powder with boron and without boron was analyzed. A comparative analysis of the effect of boron powder, NiB powder and Fe<sub>2</sub>B powder on the changes appeared in the microstructure and mechanical properties of sintered Distaloy SA alloys were performed.

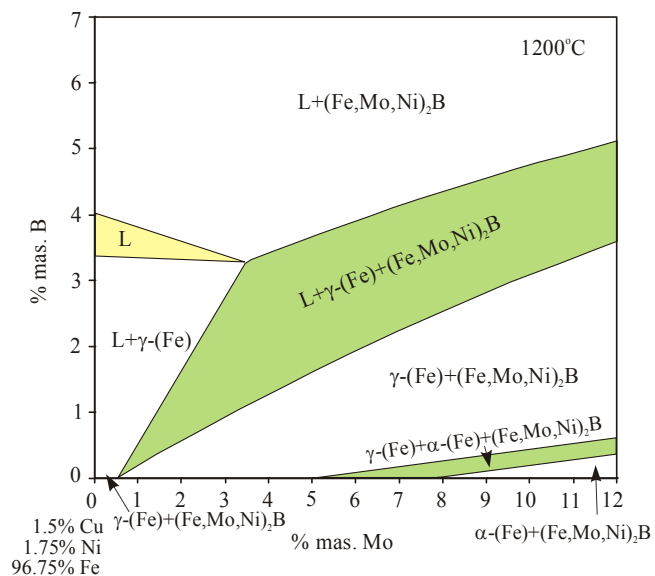
In order to verify experimental results, particularly results of the sintering process analysis of Distaloy SA samples alloyed by boron powder as well as modeling (formation) well-defined microstructure of tested sinters, a thermodynamic analysis of phases equilibrium in Fe-Ni-Mo-Cu-B system was calculated.

During the experimental procedure, it was stated that boron activates a sintering process through a liquid phase formation as a result of eutectic reaction between matrix elements (Fe, Mo, Ni) and borides type (Fe, Mo, Ni)<sub>2</sub>B. That process increases a consolidation level and mechanical properties of investigated sintered samples. The highest consolidation level and the highest mechanical properties were attained for Distaloy SA powder. It was proved that a chemical constitution of Distaloy SA powders allows to obtain appreciable higher mechanical properties for sinters alloyed a lower boron addition than it took place in case of Astaloy Mo sintered samples modified by boron. Moreover, applying finer grain fractions of Distaloy SA powder (40-56 μm) a higher consolidation level of sinters is possible, by a lower boron content (0,4 wt %).



**Rys. 1.** Spiek Distaloy SA + 0,6 %B. Parametry spiekania: 1200°C/60'/wodór  
a) mikrostruktura spieku. Mikroskop optyczny, b) mikrofotografia przełomu. SEM, c) analiza punktowa. EDAX

**Fig. 1.** Sintered sample: Distaloy SA + 0,6%B.  
a) Microstructure of sintered sample - light microscope, b) Fracture surface - SEM, c) EDAX Sintering parameters: 1200 C/60'/ hydrogen



**Rys. 2.** Wykres fazowy bogatej w żelazo części układu fazowego Fe-Mo-Ni-Cu-B obliczona dla 1,5 % mas. Cu, 1,75 % mas. Ni i dla temperatury 1200°C. Linia przerywaną zaznaczono zakres stężeń próbek poddanych spiekaniu w niniejszej pracy

**Fig.2.** Phase diagram of iron-rich portion of phase diagram Fe-Mo-Ni-Cu-B calculated for 1,5wt%Cu, 1,75 wt%Ni at 1200°C dashed line stands for the range of concentrations of samples subject to sintering