

---

**POLITECHNIKA ŚLĄSKA**  
**WYDZIAŁ INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ**



**Rozprawa doktorska**

**mgr inż. Agata BRZEZIŃSKA**

**Uwarunkowania strukturalne wpływające na poprawę właściwości  
mechanicznych odlewniczych stopów Al-Cu  
po zastosowaniu odkształcania SPD**

Promotor: dr hab. inż. Kinga Rodak, prof. PŚ

Katowice, styczeń 2021 r.

---

## Streszczenie

Zasadniczym celem badawczym pracy było poznanie zjawisk strukturalnych jakie zachodzą w odlewniczych stopach Al-Cu pod wpływem odkształcania SPD z wykorzystaniem metody KoBo oraz ich wpływ na właściwości materiału. Z przeglądu literatury wynika, że wytrzymałość stopów Al-Cu można zwiększyć poprzez dodatek Cu, która z Al tworzy twardą fazę międzymetaliczną odporną na działanie temperatury. Z drugiej strony, obecność w stopie dużej ilości fazy międzymetalicznej utrudnia proces deformacji. Rozwiązaniem tego problemu jest zastosowanie techniki SPD. Jak dotąd w dostępnej literaturze nie ma wielu doniesień odnośnie wykorzystania technik SPD do rozdrabniania tychże stopów.

Prace eksperymentalne objęły wykonanie odlewów stopu granicznego, podeutektycznego, eutektycznego i nadeutektycznego z układu Al-Cu, a następnie rozdrobnienie materiału przy użyciu techniki KoBo. Praca miała na celu: określenie zmian strukturalnych po zastosowaniu SPD (wielkość ziaren, struktura dyslokacyjna, typ utworzonych granic), zdefiniowanie mechanizmu rozdrobnienia struktury stopów Al-Cu, sformułowanie wpływu odkształcenia na wytrzymałość, plastyczność (nadplastyczność) i właściwości fizyczne oraz ustalenie zależności pomiędzy strukturą, a właściwościami mechanicznymi.

Do realizacji zadań zastosowano badania mikrostruktury obejmujące mikroskopię świetlną, skaningową oraz skaningowo transmisyjną mikroskopię elektronową i rentgenowską analizę mikrostrukturalną. Właściwości mechaniczne materiału oceniono na podstawie pomiarów mikrotwardości, statycznej próby rozciągania, statycznej próby ściskania oraz badań nadplastyczności. Wykonano pomiary rozszerzalności cieplnej oraz konduktywności elektrycznej.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że metoda KoBo umożliwia rozdrobnienie fazy  $\alpha$ -Al oraz  $\text{Al}_2\text{Cu}$  do poziomu ultradrobnoziarnistego. Zastosowana wartość odkształcenia ( $\lambda$ ) odgrywa istotną rolę w odkształceniu KoBo. Jeżeli próbki są odkształcone przy  $\lambda=98$ , wówczas ziarna są rozdrobnione do mniejszych rozmiarów, dodatkowo mikrostruktura jest jednorodna. Wzrost odkształcenia powoduje wzrost właściwości plastycznych przy spadku właściwości wytrzymałościowych. Konsekwencją rozdrobnienia ziarna jest wzrost właściwości mechanicznych uzyskiwany w próbach statycznego ściskania i rozciągania. Obserwuje się znaczną poprawę właściwości mechanicznych przy rozciąganiu wraz z poprawą plastyczności wraz ze wzrostem odkształcenia. Próbki odkształcone szczególnie w  $400^\circ\text{C}$  wykazywały właściwości nadplastyczne. Zjawisko to dotyczy głównie stopów Al-25%Cu i Al-33%Cu. Eutektyczny stop Al-33%Cu ze względu na ultradrobnoziarnistą strukturę wykazuje największe wydłużenie podczas próby rozciągania.

---

Mechanizm poślizgu granic ziaren jest prawdopodobnie inicjowany już podczas odkształcenia KoBo. Podczas deformacji KoBo powstają nano/mikropustki, które obserwuje się głównie w obszarach fazy  $Al_2Cu$ . Te elementy mikrostrukturalne w warunkach odkształcenia nadplastycznego ułatwiają odkształcanie za pomocą mechanizmu poślizgu po granicy ziaren.