


|   |   |
|---|---|
|  <p><b>POLITECHNIKA LUBELSKA</b><br/> <b>WYDZIAŁ MECHANICZNY</b><br/> <b>KATEDRA INŻYNIERII</b><br/> <b>MATERIAŁOWEJ</b></p> | <p><b>Laboratorium</b><br/> <b>Materiały Metaliczne II</b><br/> <b>ĆWICZENIE Nr 8/N</b></p> |
| <p>Akceptował:<br/> Kierownik Katedry<br/> prof. dr hab. inż. A. Weroński</p>   | <p>Opracowała:<br/> dr Hanna de Sas Stupnicka,<br/> dr inż. Sławomir Szewczyk</p>           |

I. Temat ćwiczenia: **Utwardzanie wydzieleniowe stopów aluminium**

II. Cel ćwiczenia: Badanie zmian struktury i własności mechanicznych stopów aluminium poddanych procesowi przesycania i starzenia.

III. Ważniejsze pytania kontrolne:

1. Wieloskładnikowe stopy aluminium – durale, główne dodatki stopowe, właściwości, obróbka cieplna, zastosowania
2. Istota przesycania stopów aluminium
3. Starzenie samorzutne i sztuczne, przebieg procesu
4. Układ równowagi Al-Cu
5. Wpływ temperatury i czasu starzenia na wytrzymałość stopów Al-Cu
6. Charakterystyka stref G-P (Guiniera-Prestona) w stopach aluminium
7. Etapy starzenia stopów Al-Cu.

IV. Literatura:

1. Przybyłowicz K.: Metaloznawstwo. WNT, Warszawa 2007.
2. Blicharski M.: Wstęp do inżynierii materiałowej. WNT, Warszawa 2006.
3. Praca zbior. pod red. A. Werońskiego: Ćwiczenia laboratoryjne z inżynierii materiałowej. Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin 2002.
4. Dobrzański L. A.: Materiały inżynierskie i projektowanie materiałowe. Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. WNT, Warszawa 2006.
5. Szewieczek D. i in.: Ćwiczenia laboratoryjne z obróbki cieplnej stopów metali. Wyd. Pol. Śląskiej, Gliwice 1994.
6. Łatkowski A., Jarominek J.: Metaloznawstwo metali nieżelaznych – Laboratorium. Wyd. AGH, Kraków 1994.
7. Wielgosz R. i in.: Zajęcia laboratoryjne z metaloznawstwa. Wyd. Pol. Krakowskiej, Kraków 2003.

## V. Przebieg ćwiczenia:

### 1. Materiały i urządzenia do badań

- 1.1. Próbkki ze stopu aluminium do przeróbki plastycznej PA6 (AlCu4MgSi) lub PA9 (AlZn5,5MgCu)
- 1.2. Piece elektryczne komorowe LAC - PK 10 oraz LH 10
- 1.3. Wanna wodna
- 1.4. Twardościomierz Vickersa lub Rockwella (HRB)
- 1.5. Rękawice hartownicze, kleszcze kowalskie, fartuch ochronny.

### 2. Przebieg badań

Przed rozpoczęciem ćwiczenia student obowiązkowo **zapoznaje się z zaleceniami instrukcji BHP**. Prowadzący zajęcia sprawdza opanowanie wiadomości podanych w instrukcji BHP i znajomość problematyki badawczej. Po dopuszczeniu do wykonania ćwiczenia należy wykonać następujące czynności:

- 2.1. Pobrać od prowadzącego zajęcia próbki do badań
- 2.2. Dokonać pomiaru twardości metodą Vickersa lub Rockwella (HRB) pięciu próbek ze stopu PA6 lub PA9
- 2.3. W oparciu o układ równowagi Al-Cu określić temperaturę przesycań stopu. Powinna ona być o około 30<sup>0</sup>C wyższa od temperatury wyznaczonej dla danego stopu linią granicznej rozpuszczalności Cu w Al. Czas wygrzewania powinien spełniać warunek: 2 minuty na milimetr najmniejszego przekroju. Po procesie wygrzewania próbki oziębć w wodzie
- 2.4. Zbadać twardość próbek po przesycańiu na twardościomierzu Vickersa lub Rockwella (HRB) – wykonać trzy pomiary dla każdej próbki i podać wartość średnią
- 2.5. Dla czterech próbek przeprowadzić starzenie sztuczne (przyśpieszone) w temperaturze 180<sup>0</sup>C, stosując różne czasy wygrzewania (15, 30, 45, i 75 min.)
- 2.6. Dla jednej z przesyconych próbek przeprowadzić starzenie naturalne, pozostawiając ją na 7 dni w temperaturze pokojowej
- 2.7. Zbadać twardość próbek po starzeniu sztucznym na twardościomierzu Vickersa lub Rockwella (HRB) – wykonać trzy pomiary dla każdej próbki i podać wartość średnią
- 2.8. Sporządzić wykres zmian twardości w funkcji czasu dla próbek starzonych sztucznie
- 2.9. Po 7 dniach zbadać twardość próbki starzonej naturalnie na twardościomierzu Vickersa lub Rockwella (HRB) - wykonać trzy pomiary i podać wartość średnią.

### 3. Opracowanie sprawozdania

Sprawozdanie z przeprowadzonych badań powinno zawierać:

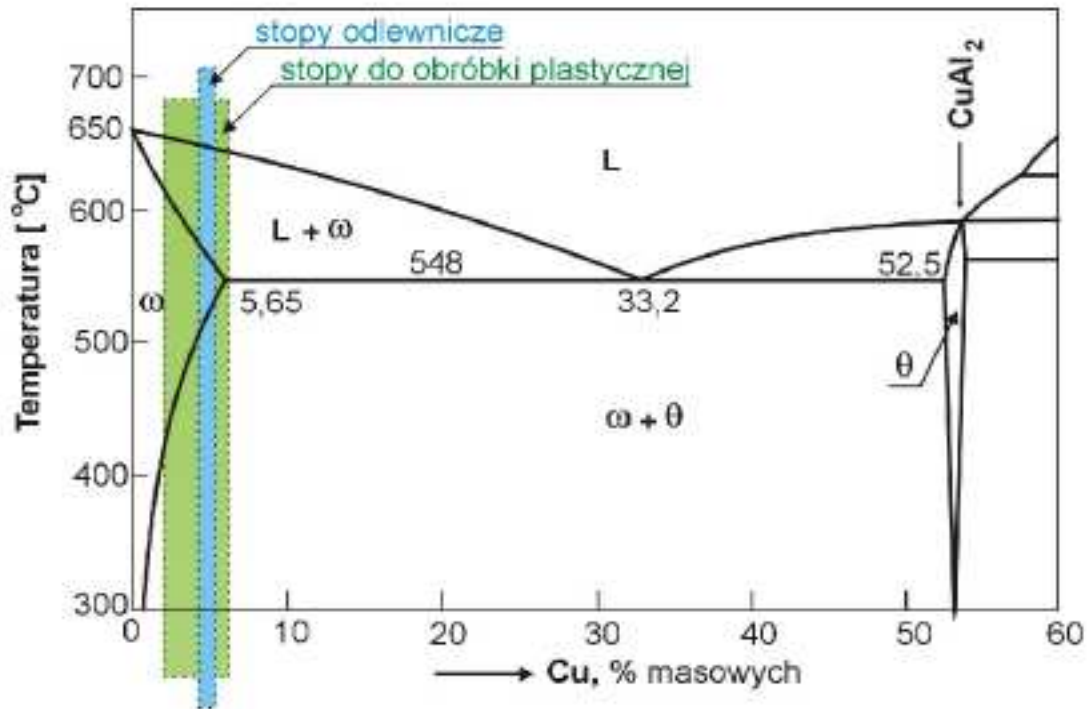
- 3.1. Cel badań, przedmiot badań, spis literatury
- 3.2. Sposób przygotowania próbek
- 3.3. Uzasadnienie doboru temperatury przesycańia i starzenia oraz czasu grzania
- 3.4. Krótki opis przebiegu ćwiczenia
- 3.5. Tabelaryczne zestawienie wyników pomiarów twardości (HV lub HRB)
- 3.6. Wykres zmian twardości w funkcji czasu starzenia
- 3.7. Wnioski odnośnie wpływu obróbki cieplnej (utwardzania wydzieleniowego) na strukturę i własności stopów aluminium do przeróbki plastycznej
- 3.8. Praktyczne aspekty wykorzystania utwardzania wydzieleniowego.

4. Materiały uzupełniające.

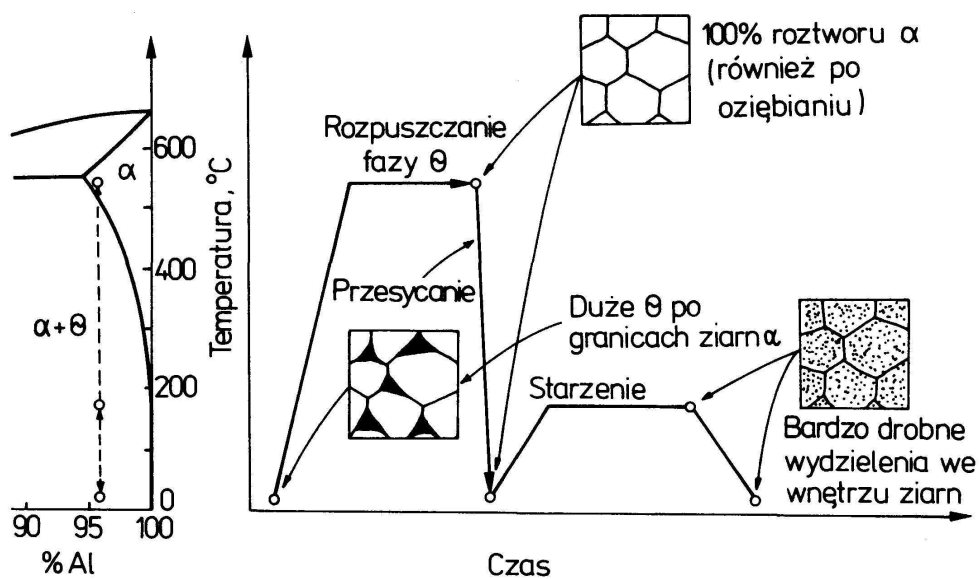
4.1. Wykres równowagi Al-Cu

4.2. Tablica – temperatury utwardzania wydzieleniowego stopów aluminium do obróbki plastycznej

4.3. Wzór protokołu badań utwardzania wydzieleniowego stopów aluminium.



Rys.1. Układ równowagi Al-Cu (wg. Dobrzańskiego)



Rys.2. Schemat przesycania i starzenia stopu Al-Cu (wg. Blicharskiego)

Tablica 1

Temperatury utwardzania wydzieleniowego stopów aluminium do obróbki plastycznej

| Gatunek stopu |       | Przesycanie |          |                       | Starzenie             |                 | Twardość po utwardz. wydzielen. |
|---------------|-------|-------------|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------|---------------------------------|
| Znak          | Cecha | Temp. [°C]  | Czas [h] | Ośrodek chłodzący     | Temp. [°C]            | Czas [h]        | HB                              |
| AlMg1Si1      | PA4N  | 480-505     | 1-2      | zimna lub gorąca woda | samorzutne            | 5 dni           | 45                              |
| AlSiMgCu      | PA10N | 520-535     | 1-2      | zimna lub gorąca woda | samorzutne<br>150-175 | 5 dni<br>6-12 h | 45<br>65                        |
| AlCu4MgSi     | PA6   | 495-515     | 0.5-1    | zimna lub gorąca woda | samorzutne<br>160-175 | 5 dni<br>6-12 h | 95<br>100                       |
| AlCu4Mg       | PA21  | 495-515     | 0.5-1    | zimna lub gorąca woda | samorzutne            | 5 dni           | 105                             |
| AlCu4Mg1      | PA7N  | 495-515     | 0.5-1    | zimna lub gorąca woda | samorzutne            | 5 dni           | 105                             |
| AlCu4MgA      | PA25  | 495-515     | 0.5-1    | zimna lub gorąca woda | samorzutne            | 5 dni           | 105                             |
| AlCu4Mg1A     | PA23  | 495-515     | 0.5-1    | zimna lub gorąca woda | samorzutne            | 5 dni           | 105                             |
| AlCu2Mg       | PA24  | 495-515     | 0.5-1    | zimna lub gorąca woda | samorzutne            | 5 dni           | 105                             |
| AlCu2MgNi1    | PA30N | 500-520     | 0.5-1    | zimna lub gorąca woda | samorzutne<br>155-160 | 5 dni<br>3-8 h  | 95<br>95                        |
| AlCu2Mg2Ni1Si | PA29N | 500-520     | 0.5-1    | zimna lub gorąca woda | 155-160               | 3-8 h           | 95                              |
| AlCu2SiMg     | PA31  | 480-510     | 1-2      | zimna lub gorąca woda | samorzutne<br>160-175 | 5 dni<br>5-15 h | 95<br>100                       |
| AlCu4SiMg     | PA33  | 490-500     | 1-2      | zimna lub gorąca woda | samorzutne            | 5 dni           | 105                             |
| AlZn5.5MgCu   | PA9   | 510-520     | 1-2      | zimna lub gorąca woda | 165-175               | 16-18 h         | 95                              |
| AlZn3Mg2Ti    | PA46  | 520         | 1-2      | zimna lub gorąca woda | samorzutne            | 5 dni           | -                               |