 <p style="text-align: center;"><b>POLITECHNIKA LUBELSKA</b>  <b>WYDZIAŁ MECHANICZNY</b>  <b>KATEDRA INŻYNIERII</b>  <b>MATERIAŁOWEJ</b></p>	<p><b>Laboratorium</b>  <b>Struktura i procesy strukturalne</b>  <b>ĆWICZENIE Nr 2</b></p>
<p>Akceptował: Kierownik Katedry  prof. dr hab. B. Surowska</p>	<p>Opracowała:  prof. dr hab. Barbara Surowska</p>

I. Temat ćwiczenia: Wyżarzanie sferoidyzujące – wpływ parametrów technologicznych na strukturę i twardość stopów

II. Cel ćwiczenia: Analiza zależności pomiędzy temperaturą i czasem wyżarzania a stopniem sferoidyzacji węglików

III. Ważniejsze pytania kontrolne:

1. Definicje koagulacji oraz sferoidyzacji
2. Sposoby realizacji wyżarzania sferoidyzującego
3. Proces sferoidyzacji w stali nadeutektoidalnej
4. Powstawanie sferoidytu w wyniku wysokiego odpuszczania stali
5. Wpływ morfologii wydzielen na właściwości mechaniczne stopów

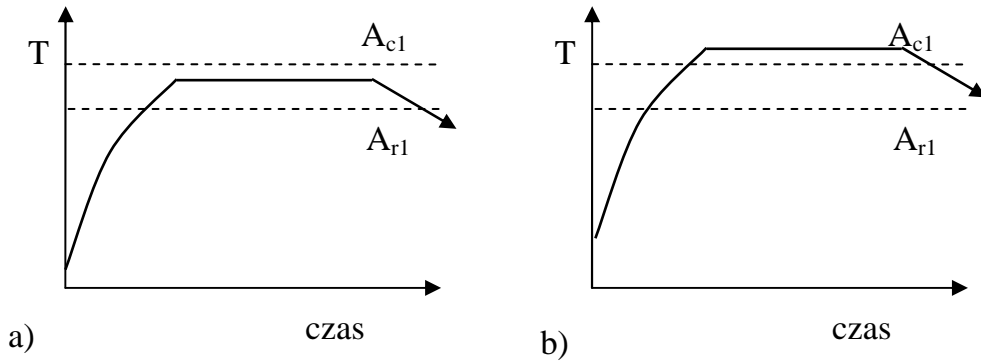
IV. Literatura:

1. Przybyłowicz K.: Podstawy teoretyczne metaloznawstwa, WNT, Warszawa 1999
2. Prowans S.: Struktura stopów, PWN, Warszawa 1991
3. Adamczyk J.: Metaloznawstwo teoretyczne, cz.I. Struktura metali i stopów, Wyd. Pol. Śląskiej, Gliwice 1999
4. Adamczyk J.: Metaloznawstwo teoretyczne, cz.I. Przemiany fazowe, Wyd. Pol. Śląskiej, Gliwice 1991

V. Wiadomości podstawowe

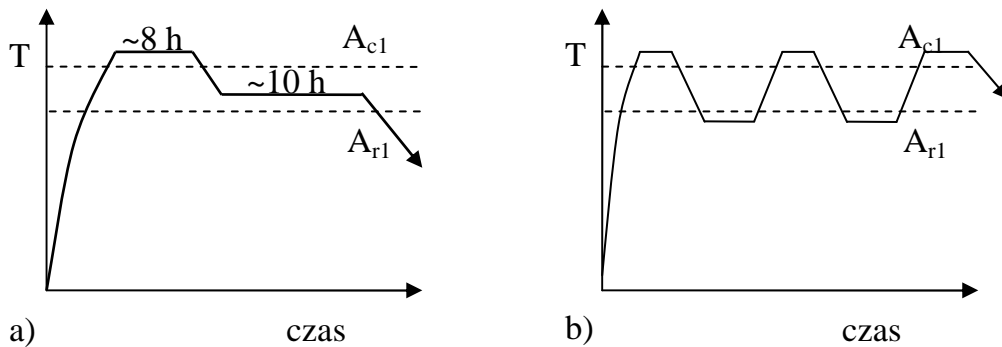
Wyżarzanie sferoidyzujące (sferoidyzacja) stali ma na celu uzyskanie cementytu w stalach niestopowych lub węglików wtórnych w stalach stopowych w postaci dyspersyjnych wydzielen sferoidalnych.

W najprostszym przypadku polega na nagrzaniu stopu do temperatury z zakresu pomiędzy  $A_{c1}$  i  $A_{r1}$  (rys.1a) lub nieco powyżej  $A_{c1}$  (rys. 1b), wygrzewaniu w tej temperaturze i powolnym studzeniu w celu sferoidyzacji węglików. Czas wygrzewania jest stosunkowo długi i może wynosić od kilkunastu do kilkudziesięciu godzin.



Rys.1. Wyżarzanie sferoidyzujące z powolnym chłodzeniem: a) poniżej  $A_{c1}$ , b) powyżej  $A_{c1}$  wg. R.Haimann'a

Wyżarzanie sferoidyzujące można również prowadzić z przemianą izotermiczną (rys. 2a), co pozwala na skrócenie czasu procesu ale nadal jest to czas rzędu kilkunastu godzin. Obecnie najczęściej stosowane jest wyżarzanie sferoidyzujące wahadłowe (rys.2b), które pozwala na skrócenie czasu procesu do maksymalnie kilkunastu godzin.



Rys.2. Wyżarzanie sferoidyzujące: a) izotermiczne, b) wahadłowe

W wyniku wyżarzania sferoidyzującego otrzymuje się strukturę ziarnistego cementytu (lub innych węglików) w osnowie ferrytycznej. Cementyt ziarnisty powstaje przez koagulację i sferoidyzację podczas wygrzewania w temperaturze bliskiej  $A_{c1}$ . Sferoidyzacja wydzielen następuje przez dążność tej fazy do zmniejszenia energii powierzchniowej.

Uzyskana struktura charakteryzuje się niską twardością, co zapewnia optymalną podatność na odkształcenia plastyczne przy obróbce plastycznej na zimno, a także dobrą skrawalność. Z tego względu wyżarzanie to nazywa się również zmiękczającym. W stali eutektoidalnej i nadeutektoidalnej wyżarzanie sferoidyzujące pozwala otrzymać korzystną strukturę wyjściową do hartowania - uzyskuje się drobny i równomiernie rozłożony cementyt w osnowie ferrytu w miejsce płytkowego perlitu lub siatki cementytu na granicach ziaren.

Sferoidyzacja zachodzi również w czasie wygrzewania w procesie wysokiego odpuszczenia. Dyfuzja węgla z sieci krystalicznej martenzytu jest przyczyną tworzenia się

drobnodispersyjnych węglików. W prawidłowo przeprowadzonym wysokim odpuszczeniu (wyrzewanie około 2 h) otrzymuje się strukturę sorbityczną. Przedłużenie czasu wyrzewanania skutkuje sferoidyzacją, w wyniku której następuje rozrost ziaren węglików ze zmniejszaniem ich ilości. Obserwuje się zdecydowane obniżenie twardości i strukturę sferoidytu.

## VI. Przebieg ćwiczenia:

### 1. Materiały i urządzenia do badań

- 1.1. Zestaw próbek do sferoidyzacji – stal nadeutektoidalna, stal eutektoidalna, stal podeutektoidalna
- 1.2. Piece elektryczne komorowe LAC - PK 10 oraz LH 15
- 1.3. Twardościomierz hydrauliczny Brinella typ B2
- 1.4. Rękawice hartownicze, kleszcze kowalskie, fartuch ochronny
- 1.5. Karty materiałowe
- 1.6. Mikroskop optyczny z oprogramowaniem do analizy ilościowej obrazu
- 1.7. Instrukcja obsługi mikroskopu.

### 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. Wykonać pomiar twardości metodą Brinella na próbkach przed obróbką cieplną
- 2.2. Wykonać zglądy metalograficzne do obserwacji mikrostruktury
- 2.3. Dokonać obserwacji mikrostrukturalnych wraz z ich dokumentacją
- 2.4. Wykonać obróbkę cieplną według schematu ustalonego z prowadzącym zajęcia
- 2.5. Powtórzyć czynności z pkt. 2.1-2.3 na próbkach po obróbce cieplnej

### 3. Opracowanie sprawozdania

Sprawozdanie z przeprowadzonych badań powinno zawierać:

- 3.1. Cel badań, przedmiot badań, spis literatury
- 3.2. Sposób przygotowania próbek
- 3.3. Krótki opis sposobu przeprowadzenia obróbki cieplnej
- 3.5. Fotografie uzyskanych struktur przed i po wyżarzaniu wraz z opisem
- 3.6. Wyniki pomiarów twardości
- 3.7. Wnioski dotyczące związków między budową strukturalną a właściwościami

### 4. Materiały uzupełniające

- 4.1. Instrukcja użytkownika oprogramowania ImagePro Plus
- 4.2. Instrukcja obsługi oprogramowania Nis Elements
- 4.3. Atlasy struktur stali po wyżarzaniu
- 4.4. Wzór protokołu z badań.