

**PRZEDMIOT: PODSTAWY NAUKI O MATERIAŁACH II (Tworzywa Metaliczne)**

Temat ćwiczenia:

**STRUKTURY STOPÓW wg UKŁADU RÓWNOWAGI ŻELAZO – WĘGIEL**

**Cel ćwiczenia:**

Celem ćwiczenia jest:

- poznanie podstawowych składników występujących w układzie Fe – C,
- określanie przemian zachodzących w układzie Fe – C
- analizowanie przemian zachodzących w stopach w zależności od temperatury,
- określanie składników struktury typowych stali węglowych,
- analizowanie przebiegu zmian zachodzących przy wolnym chłodzeniu stopów o różnych zawartościach węgla

**I. Wiadomości podstawowe**

Wykres równowagi układu żelazo – cementyt przeszedł długą ewolucję od najprostszej postaci zaproponowanej przez Czernowa do postaci współczesnej. Najnowsza wersja wykresu, opracowana przez J. Chippmana, jest przedstawiona poniżej.

Wykres ten ma dwie wersje:

- metastabilną odnoszącą się do układu Fe – Fe<sub>3</sub>C wykreśloną linią ciągłą,
- stabilną opisującą układ żelazo – grafit wykreśloną linią przerywaną.

Mają one znaczenie przy opisie strukturalnym różnych tworzyw metalicznych.

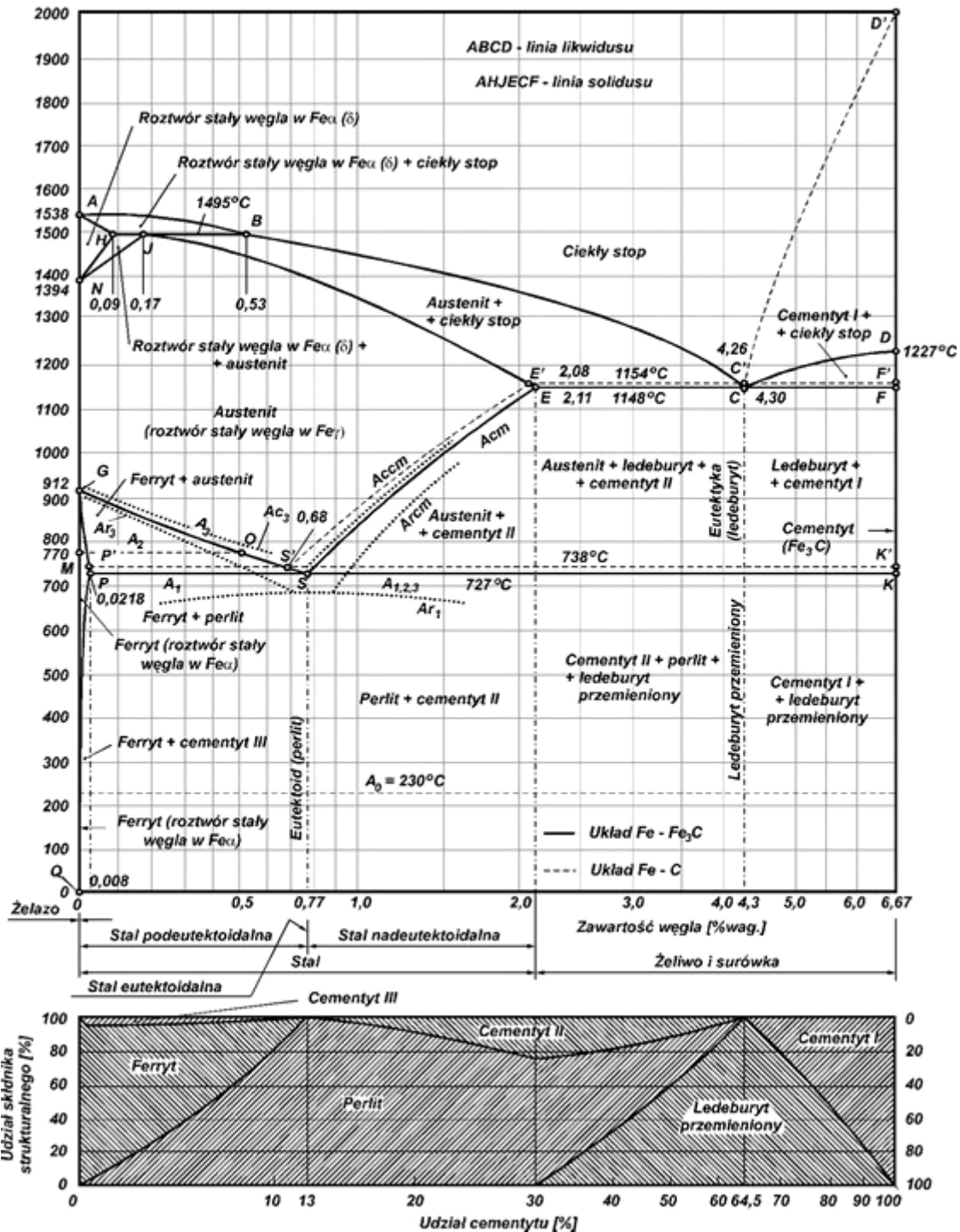
Wykres Fe – Fe<sub>3</sub>C odzwierciedla równowagę fazową w stalach i surówkach (żeliwach) białych, w których nie występuje grafit, wykres żelazo – grafit zaś opisuje częściową równowagę w stopach z grafitem. Linie obydwu układów są nieznacznie przesunięte. Wszystkie punkty charakterystyczne wykresu oznaczono dużymi literami alfabetu, przy czym punkty odnoszące się do układu żelazo – grafit oznacza się dodatkowo przecinkiem. Oznaczenia te mają charakter międzynarodowy i są ujęte w Polskiej Normie – PN-93/H-012000. W tabelicy pod wykresem podano współrzędne (temperatury i składy) wszystkich punktów charakterystycznych.

**Składniki strukturalne**

W stopach żelazo – cementyt w stanie równowagi występują następujące składniki strukturalne:

- **ferryt** – roztwór stały węgla w żelazie  $\alpha$  krystalizujący w układzie regularnym przestrzennie centrowanym. Do temperatury 770°C ferryt jest ferromagnetyczny, a w wyższych temperaturach jest paramagnetyczny. Ze względu na małą zawartość węgla właściwości ferrytu niewiele różnią się od właściwości czystego żelaza  $\alpha$ . Występuje również ferryt  $\delta$ , który jest roztworem stałym węgla w wysokotemperaturowej odmianie żelaza  $\alpha$ . Wykazuje on większą rozpuszczalność węgla niż ferryt  $\alpha$ .
- **austenit** – roztwór stały węgla w żelazie  $\gamma$ , krystalizujący w układzie regularnym płasko centrowanym. W stalach węglowych austenit jest trwały powyżej 727° C; jest paramagnetyczny. Wprowadzenie pierwiastków austenitotwórczych np. Mn, Ni obniża zakres istnienia austenitu do temperatury pokojowej.

# Układ Fe-Fe<sub>3</sub>C

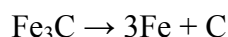


Rys. 1. Układ Fe - C

- **cementyt** – węgiel żelaza Fe<sub>3</sub>C o strukturze rombowej. Zawiera 6,67% mas. węgla. Ze względu na znaczny udział wiązania metalicznego ma właściwości metaliczne, a więc jest fazą między-metaliczną. Cementyt jest składnikiem bardzo twardym i jednocześnie bardzo kruchym. Różni się następujące rodzaje cementytu:
  - *pierwotny* krystalizujący z roztworu ciekłego węgla w żelazie zgodnie ze zmianą rozpuszczalności wg linii DC,
  - *wtórny* – wydzielający się w stanie stałym z austenitu wskutek malejącej rozpuszczalności węgla w żelazie γ według linii ES,
  - *trzeciorzędowy* – wydzielający się z ferrytu na skutek malejącej rozpuszczalności węgla w żelazie α według linii PQ.

Cementyt występuje również jako składnik eutektyki (ledeburyt) lub eutektoidu (perlit).

W czasie wyżarzania w wysokich temperaturach cementyt ulega rozkładowi na austenit i grafit według reakcji:

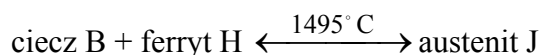


- *perlit* – eutektoidalna mieszanina ferrytu i cementytu, zawierająca 0,77%C. Powstaje z rozpadu austenitu w temperaturze 727°C. Jest zbudowany na przemian z płytek ferrytu i cementytu.
- *ledeburyt* – eutektyczna mieszanina austenitu i cementytu, tworząca się w temperaturze 1148°C, przy krzepnięciu cieczy o zawartości 4,3%C. Po ochłodzeniu do temperatury 727°C austenit ledeburytu przemienia się w perlit, tak, że poniżej tej temperatury występuje mieszanina perlitu i cementytu; taka struktura eutektyczna nosi nazwę *ledeburytu przemianionego*.

## Przemiany

W układzie Fe – C wyróżniamy przemiany:

- *przemiana perytektyczna* – linia HB



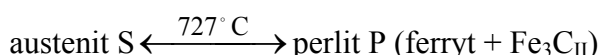
co oznacza, że przy chłodzeniu ferryt  $\delta$  o składzie punktu H reaguje z roztworem ciekłym L o składzie punktu B dając w wyniku austenit o składzie punktu J. Przemiana ta zachodzi w stopach o zawartości węgla w zakresie między 0,09% (punkt H) i 0,53% (punkt B),

- *przemiana eutektyczna* – linia ECF



co oznacza, że przy chłodzeniu roztwór ciekły o składzie punktu C (4,3%) ulega rozkładowi na mieszaninę eutektyczną złożoną z austenitu o składzie punktu E i cementytu, zwaną ledeburytem. Przemiana ta zachodzi w stopach o zawartości węgla wyższej od punktu E (2,11%).

- *przemiana eutektoidalna*  $A_1$  – linia PSK



co oznacza, że przy chłodzeniu austenit o składzie punktu S (0,77%C) ulega rozpadowi na mieszaninę eutektoidalną ferrytu o składzie punktu P i cementytu drugorzędowego, zwana perlitem. Przemiana ta występuje we wszystkich stopach o zawartości węgla wyższej od 0,0218%.

- *przemiana alotropowa*

$A_3 - \text{Fe}_\alpha \leftrightarrow \text{Fe}_\gamma$  zachodząca w czystym żelazie w temperaturze 912°C. W stopach żelaza z węglem oznaczająca początek wydzielania się ferrytu z austenitu – przy chłodzeniu, lub koniec przemiany ferrytu w austenit – przy nagrzewaniu, zgodnie z przebiegiem linii GOS.

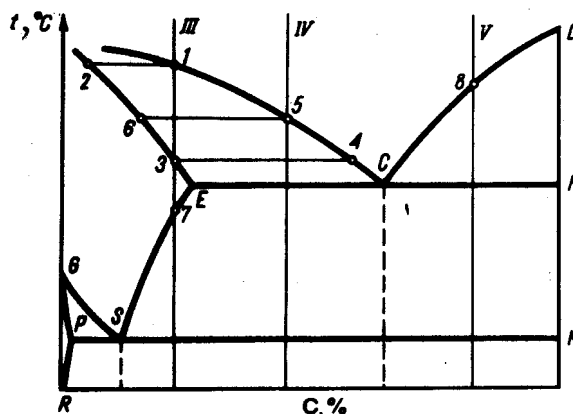
$A_4 - \text{Fe}_\gamma \leftrightarrow \text{Fe}_\alpha$  zachodząca w stopach o zawartości węgla poniżej 0,17%.

- $A_{cm}$  – początek wydzielania się cementytu wtórnego z austenitu lub koniec rozpuszczania się cementytu wtórnego w austenicie zgodnie z przebiegiem linii ES.
- *przemiany magnetyczne*

$A_0$  – przemiana magnetyczna cementytu w stałej temperaturze 230°C,

$A_2$  – przemiana magnetyczna ferrytu, zachodząca w stałej temperaturze 770°C w stopach zawierających poniżej 0,6% węgla; przy chłodzeniu pojawiają się właściwości magnetyczne, natomiast przy nagrzewaniu następuje ich utrata. W stopach powyżej 0,65% węgla przemiana magnetyczna zachodzi równocześnie z przemianą alotropową.

### Przemiany zachodzące w stopach żelazo – cementyt przy wolnym chłodzeniu dla wybranych stopów



Rys. 2. Fragment układu równowagi żelazo – cementyt

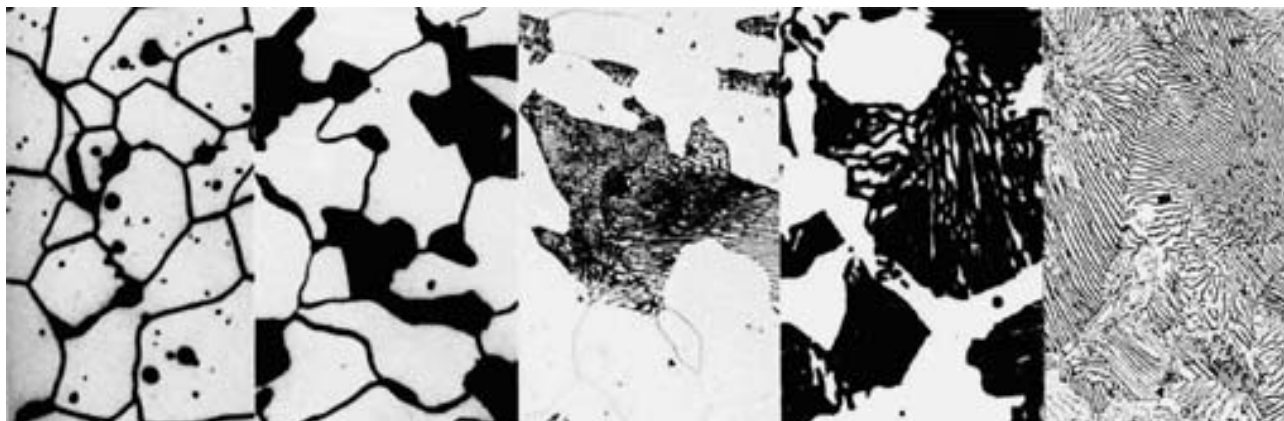
Dla zapoznania się z zasadniczymi przemianami w układzie żelazo – cementyt należy przeanalizować przebieg zmian zachodzących przy wolnym chłodzeniu wybranych stopów o różnej zawartości węgla.

Stop III – zawartość węgla 1,3% węgla (stal narzędziowa) – zaczyna krzepnąć w temperaturze ok. 1400°C (pkt.1 na rys. 2). Z ciekłego roztworu 1 – 4 wydziela się austenit o zmieniającym się składzie chemicznym wzdłuż linii 2 – 3. W zakresie temperatur 3 – 7 żadne przemiany nie zachodzą i dopiero od temperatury odpowiadającej punktowi 7 z austenitu o zmieniającym się składzie chemicznym wzdłuż linii 7 – S wydziela się cementyt wtórny, po czym austenit o składzie punktu S ulega w temperaturze 727 °C przemianie perlitycznej.

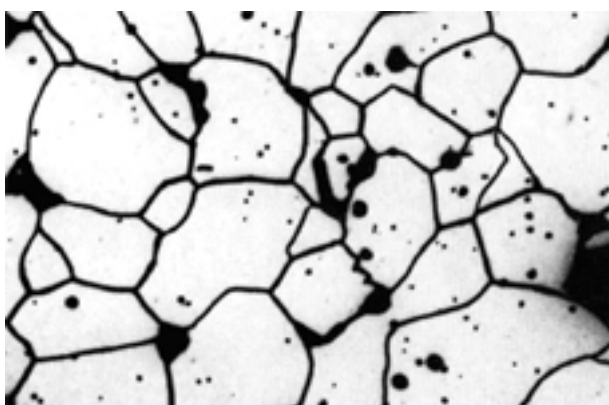
Stop IV – zawartość 3,0%C węgla (żeliwo białe) – zaczyna krzepnąć w temperaturze ok. 1300°C (punkt 5 na rys.2). Z cieczy o składzie 5 – C wydzielają się kryształy austenitu o zmieniającym się składzie chemicznym wzdłuż linii 6 – E. W stałej temperaturze 1148°C ciecz o zawartości 4,3% węgla krzepnie jako mieszanina eutektyczna austenitu zawierającego 2,11%C węgla oraz cementytu I. Po zakrzepnięciu w strukturze stopu będą występowały kryształy austenitu obok ledeburytu. Przy dalszym chłodzeniu z austenitu o zmieniającym się składzie wzdłuż linii E – S wydziela się cementyt wtórny, przy czym w temperaturze 727°C austenit ulega przemianie w perlit, w związku z czym ledeburyt przechodzi w ledeburyt przemieniony.

Stop V – zawartość 5% węgla – zaczyna krzepnąć w temperaturze ok. 1200°C (punkt 8 na rys. 2). Z cieczy o składzie zmieniającym się wzdłuż linii 8 – C wydziela się cementyt pierwotny. W temperaturze 1148°C reszta cieczy o składzie punktu C krzepnie, tworząc mieszaninę eutektyczną, tj. ledeburyt, a w temperaturze 727°C austenit ledeburytyczny o składzie punktu S ulega przemianie w perlit – ledeburyt przechodzi w ledeburyt przemieniony. W temperaturze otoczenia w strukturze omawianego stopu będą występowały igły cementytu pierwotnego na tle ledeburytu przemienionego.

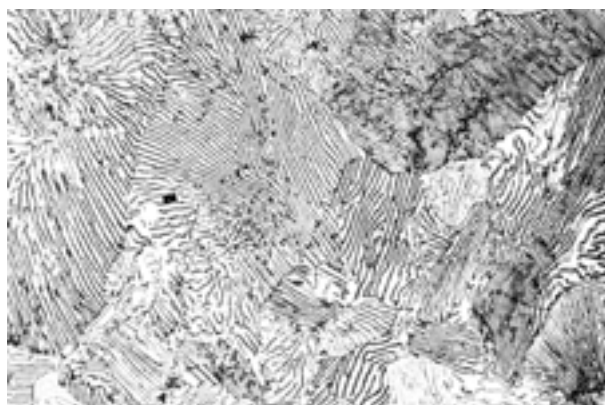
PRZYKŁADOWE STRUKTURY STOPÓW:



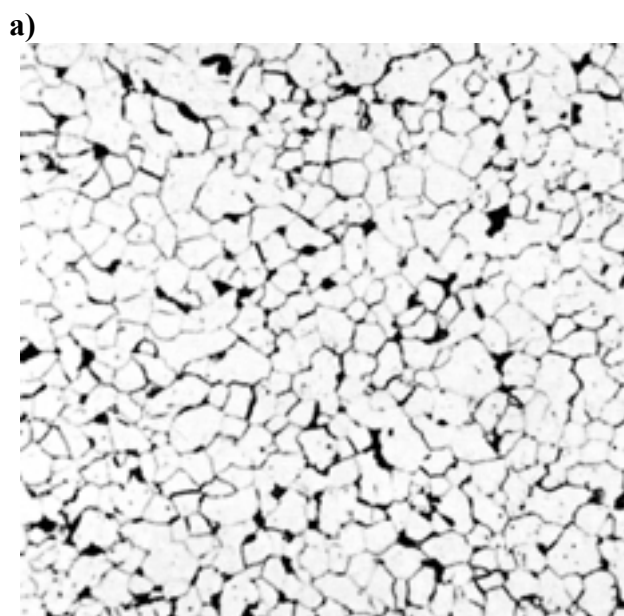
Rys. 3. Pięć struktur ferrytyczno –perlitycznych o różnej zawartości węgla.  
(Wraz ze wzrostem zawartości węgla wzrasta zawartość perlitu w strukturze)



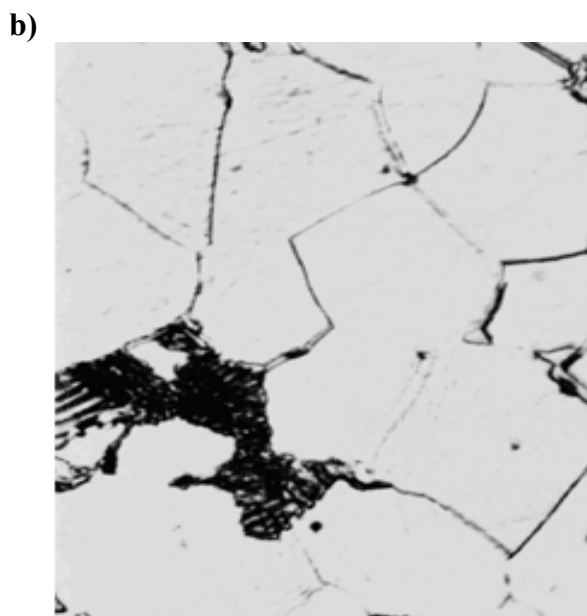
Rys. 4. Struktura ferrytyczna z niewielką ilością perlitu; 0,05% C, Powiększenie:500x



Rys. 5. Struktura perlityczna; 0,8%C, Powiększenie: 700x



230x



1000x

Rys. 6. Struktura ferrytyczno –perlityczna; 0,05%C. Widoczne wydzielenia cementytu III (b)

## II. Przebieg ćwiczenia

Ćwiczenie polega na obserwacji i analizie wybranych struktur stopów Fe – C.

Wykonanie ćwiczenia:

- przygotowanie mikroskopu metalograficznego do obserwacji,
- obserwacja zglądów wybranych próbek,
- narysowanie i opisanie struktur,
- w wybranej próbce dokonanie pomiarów i obliczeń udziału danej fazy i zawartości węgla w próbce zgodnie ze instrukcją poniżej:

Określenie zawartości węgla w próbkach wykonuje się na podstawie oceny ilości fazy perlitycznej, stosując metodę siatki lub linijki.

Pomiaru metodą siatki dokonujemy przy pomocy specjalnego okularu z siatką, zliczając węzły siatki przypadające na daną fazę.

Obliczeń dokonujemy po kilkakrotnym przyłożeniu siatki w różnych miejscach zglądu.

$$\text{Udział fazy} = \frac{\sum \text{węzłów siatki przypadających na badaną fazę}}{n \times \text{całkowita ilość węzłów siatki}}$$

gdzie:

n – ilość dokonanych rzutów siatki

Pomiaru za pomocą linijki dokonujemy na zdjęciu mikrostruktury kilkakrotnie przykładając w różnych miejscach linijkę. Mierzmy długość odcinków przypadających na badaną fazę w ramach założonego odcinka pomiarowego np. 5 cm.

$$\text{Udział \% C} = \frac{\sum \text{długości odcinków przypadających na perlit w badanej fazie} \times 0,8}{n \times \text{długość odcinka pomiarowego}}$$

gdzie:

n – ilość dokonanych przyłożeń linijki

## III. Pytania kontrolne

1. Wymienić i opisać właściwości składników występujących w układzie Fe – C.
2. Omówić przemiany zachodzące w trakcie chłodzenia stopów.
3. Narysować wykres żelazo – cementyt, zaznaczyć na nich współrzędne punktów charakterystycznych, oznaczyć linie przemian i składniki występujące w poszczególnych obszarach.
4. Na podstawie wykresu sporządzić krzywe chłodzenia i opisać jak przebiegają przemiany w stanie stałym podczas chłodzenia stopów żelaza z węglem zawierających: 0,05; 0,12; 0,4; 0,77; 1,2; 2,5; 4,3; 5% C.
5. Jaka będzie struktura stopów w temperaturze otoczenia w stopach podeutektoidalnych, eutektoidalnych, nadeutektoidalnych, podeutektycznych, eutektycznych i nadeutektycznych?

## Literatura:

1. Rudnik St., Metaloznawstwo, PWN, Warszawa 1996.
2. Prowans St., Materiałoznawstwo, PWN, Warszawa, 1997.
3. Przybyłowicz K., Metaloznawstwo, WNT, Warszawa 1996.
4. Wesołowski K., Metaloznawstwo i obróbka cieplna, WNT, Warszawa 1981.