



Wykład 6

Henryk Adrian

*Wg M. Blicharski: Wstęp do inżynierii
materiałowej*



Wykresy fazowe

- **Definicje podstawowe:**
 - **Faza** – część układu oddzielona granicą, na której niektóre własności makroskopowe ulegają skokowej zmianie
 - **składnik:** pierwiastki lub związki chemiczne, niezbędne do utworzenia wszystkich faz
 - **układ**, zbiór faz w stanie równowagi termodynamicznej (układy jednoskładnikowe, wieloskładnikowe)



Reguła faz

- **Liczba stopni swobody, s** – liczba możliwych w układzie zmiennych niezależnych, których zmiana nie spowoduje zmiany liczby faz (T , p , skład)
- W warunkach równowagi fazowej między liczbą stopni swobody, s , liczbą składników, n , i liczbą faz, f , istnieje zależność wyrażona **regułą faz Gibbsa**
- Reguła faz określa za pomocą formuły matematycznej warunki współistnienia faz w układach o dowolnej liczbie składników
- ujmuje zależność pomiędzy liczbą swobody s , liczbą składników n , liczbą faz f oraz T i p

Reguła faz

- $s = X - R$, X - liczba zmiennych, R - liczba równań ograniczających
- $x = f(n-1) + 2$ (stężenia w każdej fazie $+T, p$)
- $R = n(f-1)$ (stężenia w każdej fazie są od siebie zależne)
- $s = f(n-1) + 2 - n(f-1) = n - f + 2$
- przy stałym ciśnieniu $s = n - f + 1$

		Nr składnika				
		1	2	3	4	n
Nr fazy	1	C_1^1	C_2^1	C_3^1	C_4^1	C_n^1
	2	C_1^2	C_2^2	C_3^2	C_4^2	C_n^2
	3	C_1^3	C_2^3	C_3^3	C_4^3	C_n^3
	4	C_1^4	C_2^4	C_3^4	C_4^4	C_n^4
	f	C_1^f	C_2^f	C_3^f	C_4^f	C_n^f

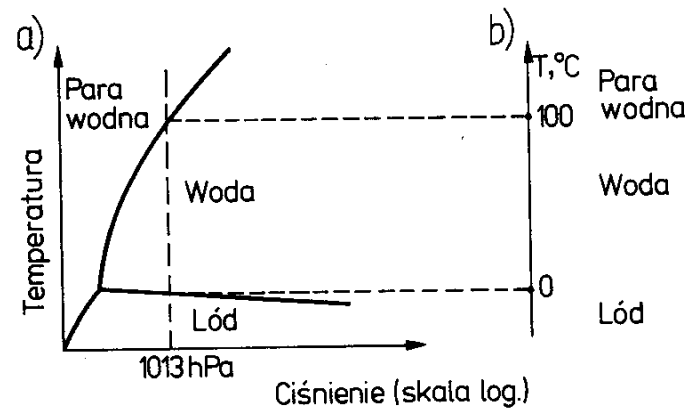


Reguła faz

- $s=0$ - Oznacza to, że żadnej zmiennej niezależnej nie można zmienić, aby nie zmienić liczby faz w układzie
- $s=1$ oznacza, że zmiana temperatury nie powoduje zmiany liczby faz. W układach wieloskładnikowych zmienia się skład chemiczny faz

Układ jednoskładnikowy

- Wykres dla H_2O (rys.6.1)





Układy wieloskładnikowe

- Stężenie składników podawane jest zwykle w procentach masowych lub atomowych
- W układzie dwuskładnikowym wystarczy podawać zawartość jednego ze składników
- Przy większej liczbie składników liczba zmiennych jest większa od dwóch
- Dla takich układów w dwu wymiarach można przedstawić jedynie przekroje przez wielowymiarowe wykresy fazowe, np. przy stałej T lub stałym stężeniu jednego ze składników



Układy dwuskładnikowe

- Dwuwymiarowe mapy przedstawiające obszary poszczególnych faz we współrzędnych T-c
- Umożliwiają określenie tworzących się w stopach mikrostruktur oraz przemian zachodzących pod wpływem T
- Należy podkreślić, że wykresy fazowe dotyczą warunków równowagi fazowej
- W stopach w warunkach odbiegających od równowagi powstają struktury, których stan równowagi nie przewiduje

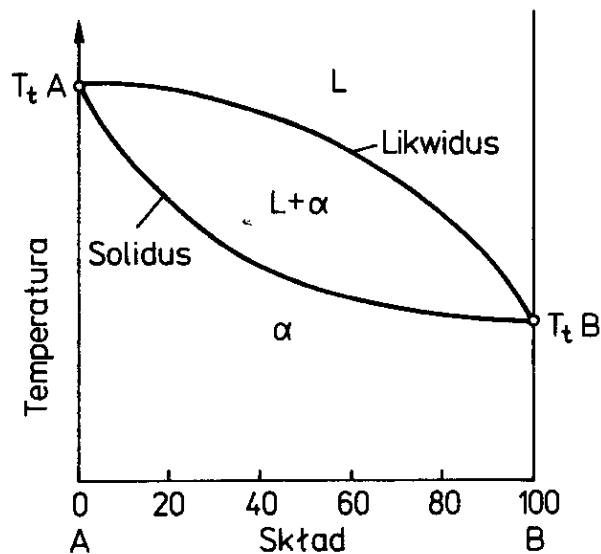


Układy dwuskładnikowe

- Oznaczenia faz:
 - Roztwory – greckie małe litery
 - Składniki – duże litery alfabetu łacińskiego
 - Związki np. Fe_3C

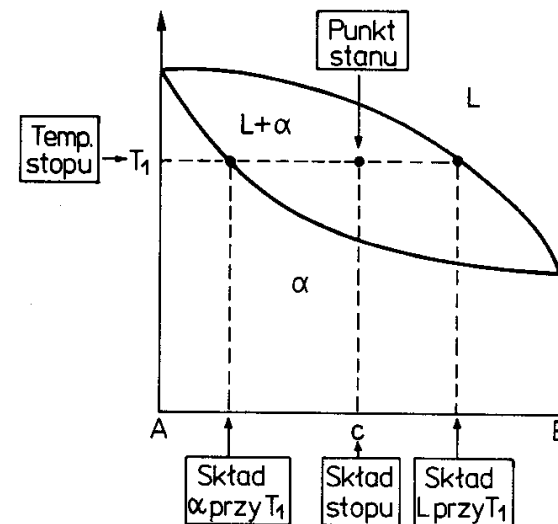
Ciągła rozpuszczalność w stanie stałym

- Typowy wykres fazowy dla składników rozpuszczających się wzajemnie w dowolnych ilościach w stanie stałym
- Linia graniczna istnienia fazy stałej nazywa się linią **likwidus**
- Linia graniczna istnienia fazy ciekłej nazywa się linią **solidus**



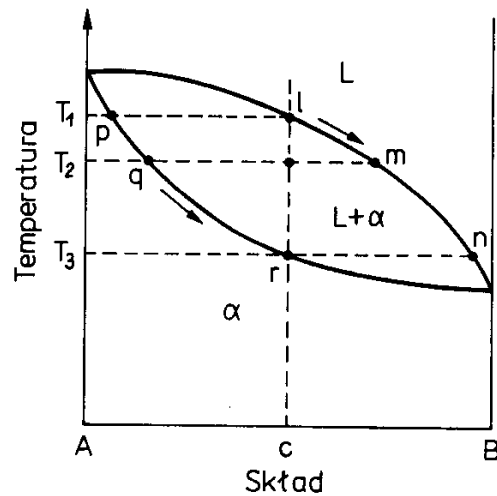
Wyznaczanie składu chemicznego faz

- Przy określaniu składu fazowego w obszarze dwufazowym: przez wybrany **punkt stanu** prowadzimy linię poziomą do przecięcia z liniami **likwidus** i **solidus**
- Zrzutowane na oś składu punkty przecięcia określają skład cieczy i skład roztworu stałego



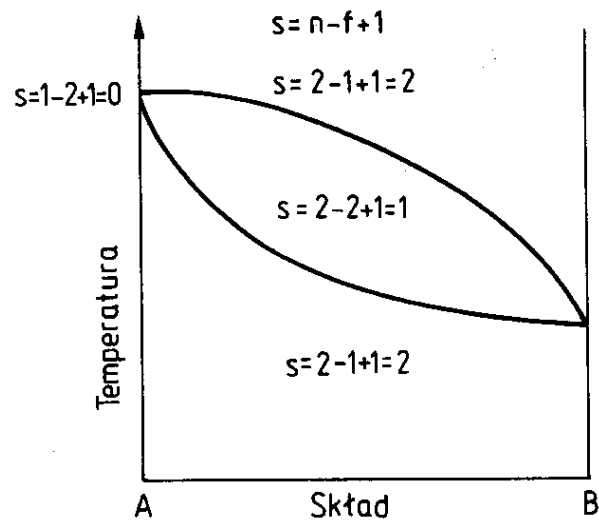
Wykresy z ciągłą rozpuszczalnością

- Krzywa chłodzenia i procesy zachodzące podczas chłodzenia



Zastosowanie reguły faz

- Obliczanie liczby stopni swobody

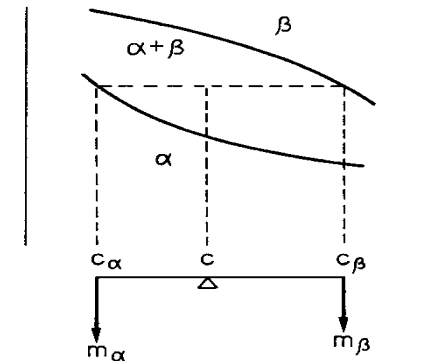


Reguła dźwigni

- Przy temperaturze T stop o składzie c składa się z N atomów
- x - ułamek roztworu stałego o składzie c_α
- $1-x$ ułamek roztworu stałego o składzie c_β ,
- Bilans: $N \cdot c = N \cdot x \cdot c_\alpha + N \cdot (1-x) \cdot c_\beta$
- $x \cdot c_\alpha + (1-x) \cdot c_\beta = c$
- $x \cdot (c_\alpha - c_\beta) = c - c_\beta$

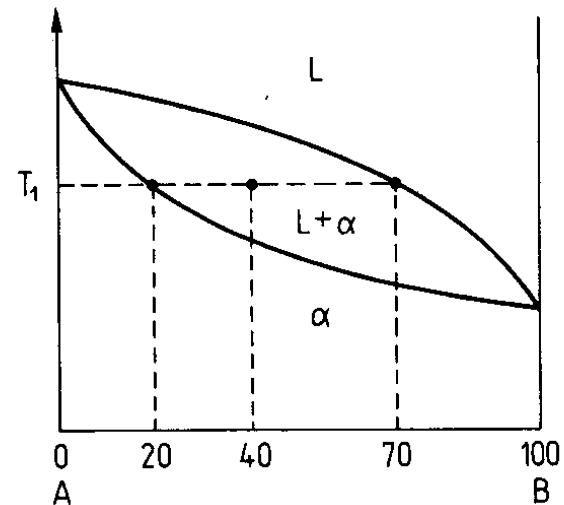
$$x = \frac{c_\beta - c}{c_\beta - c_\alpha}$$

$$1 - x = \frac{c - c_\alpha}{c_\beta - c_\alpha}$$



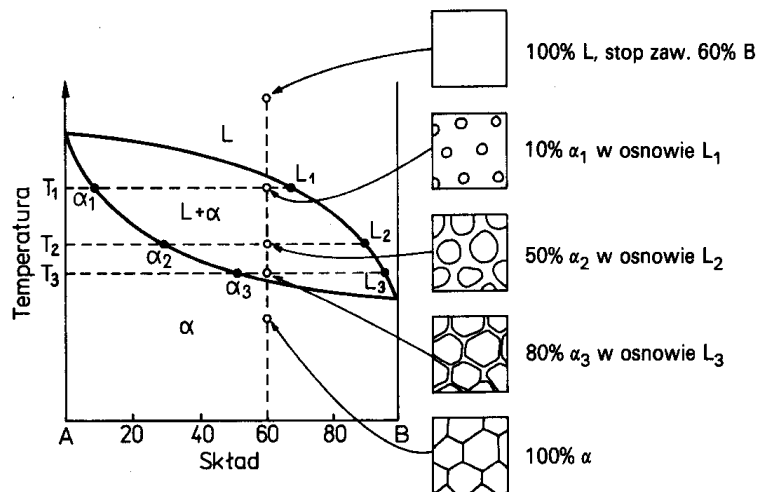
Reguła dźwigni

- Zastosowanie reguły dźwigni - do przewidywania składu fazowego i strukturalnego stopu o znanym składzie o przy danej temperaturze



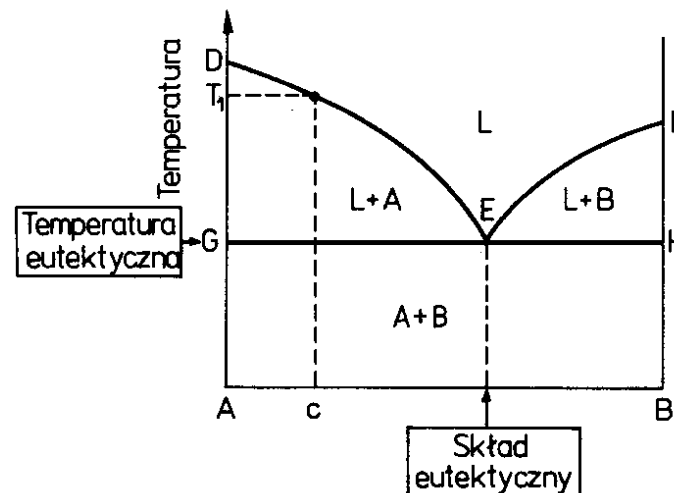
Tworzenie struktur w układzie z ciągłą rozpuszczalnością

■ Tworzenie struktur



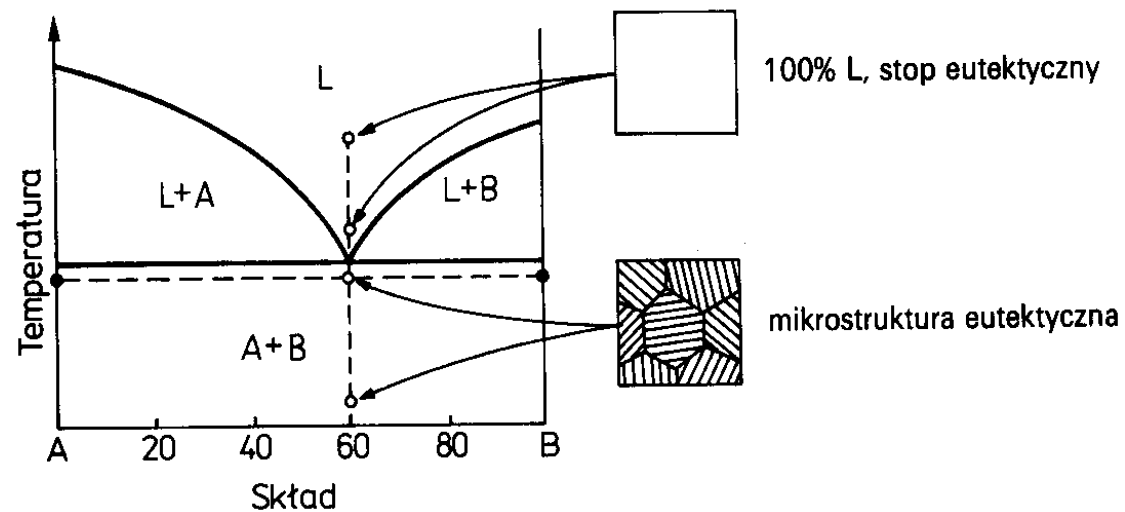
Brak rozpuszczalności w stanie stałym

- Wykres fazowy
- Przemiana eutektyczna: $L_E \leftrightarrow A+B$
- Stopy znajdujące się na lewo od punktu eutektycznego nazywamy **podeutektycznymi**
- Stopy znajdujące się na prawo od punktu eutektycznego nazywamy **nadeutektycznymi**



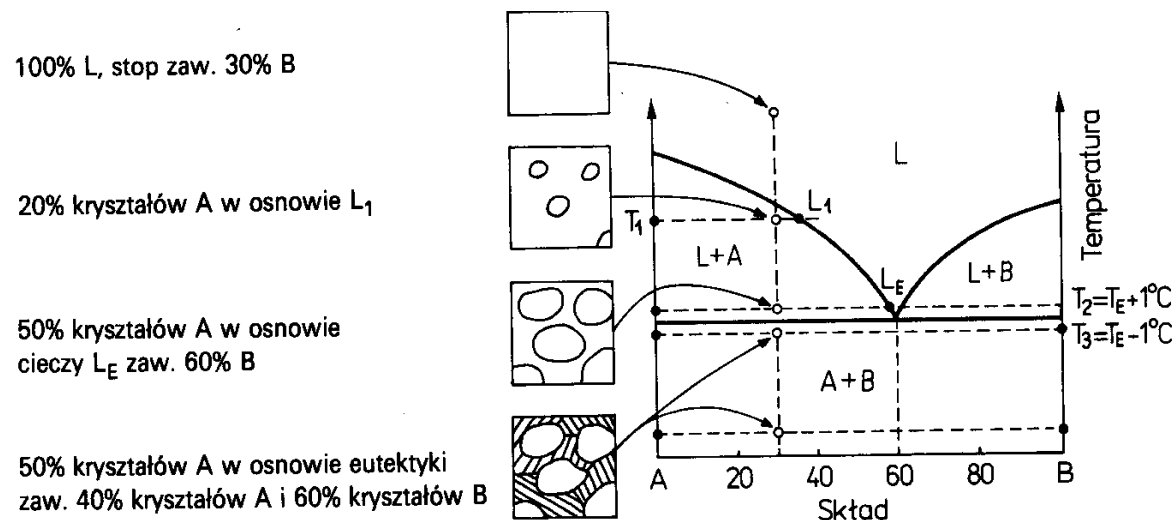
Tworzenie struktury przy braku rozpuszczalności w stanie stałym

- Tworzenie struktury - stop eutektyczny
- Podczas chłodzenia stopu od temperatury eutektycznej jego struktura nie ulega zmianie



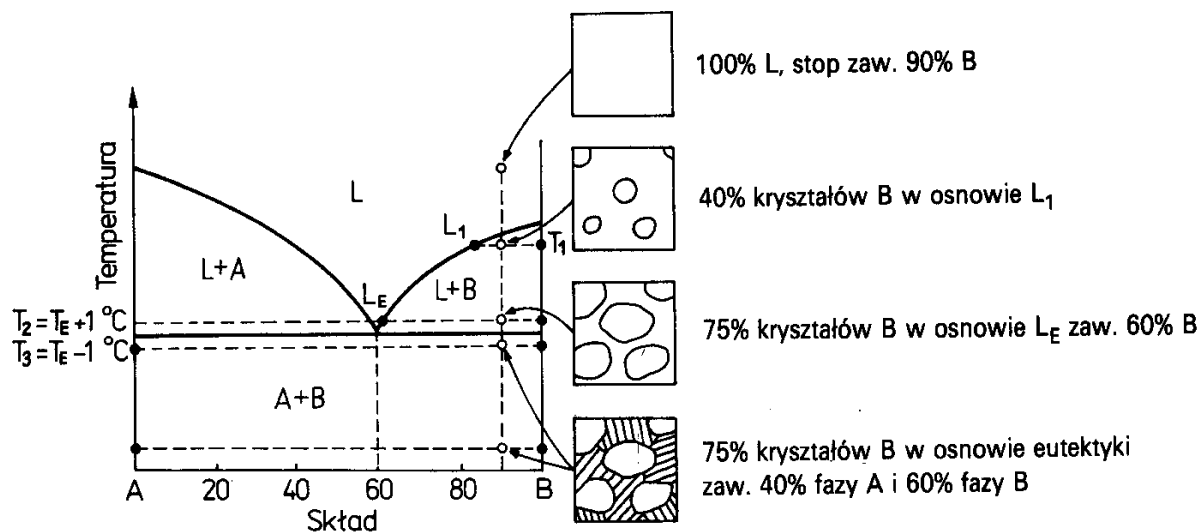
Tworzenie struktury przy braku rozpuszczalności w stanie stałym

- Tworzenie struktury - stop podeutektyczny



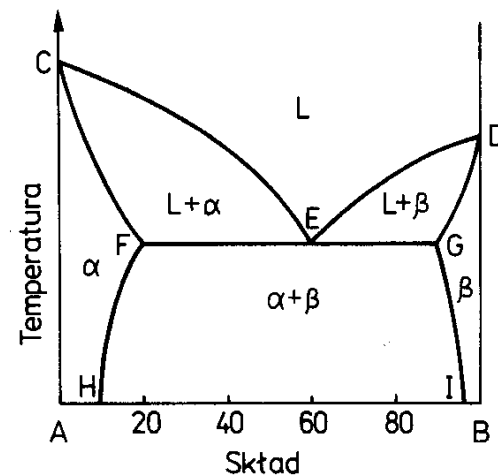
Tworzenie struktury przy braku rozpuszczalności w stanie stałym

- Tworzenie struktury - stop nadeutektyczny



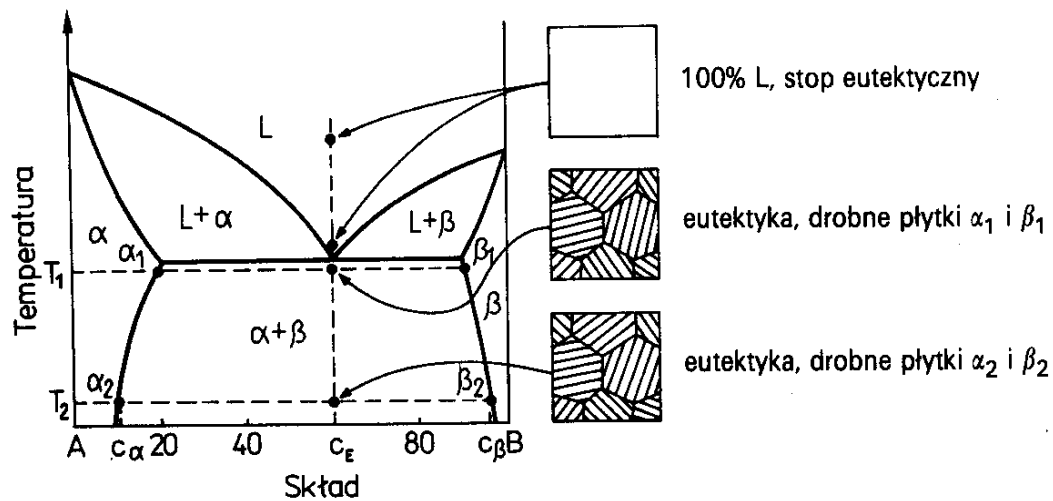
Ograniczona rozpuszczalność - wykres z eutektyką

- Ograniczona rozpuszczalność w stanie stałym
- Likwidus: CED, solidus: CFEGD
- FH i GI linie ograniczonej rozpuszczalności składników w stanie stałym
- Przemiana: $L_E \leftrightarrow \alpha_F + \beta_G$



Ograniczona rozpuszczalność - wykres z eutektyką

■ stop eutektyczny



Ograniczona rozpuszczalność - wykres z eutektyką

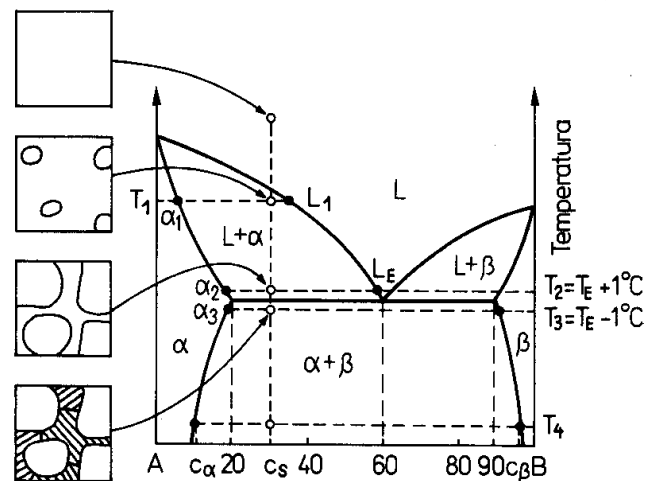
■ stop podeutektyczny

100% L, stop zaw. 30% B

20% α_1 w osnowie L_1

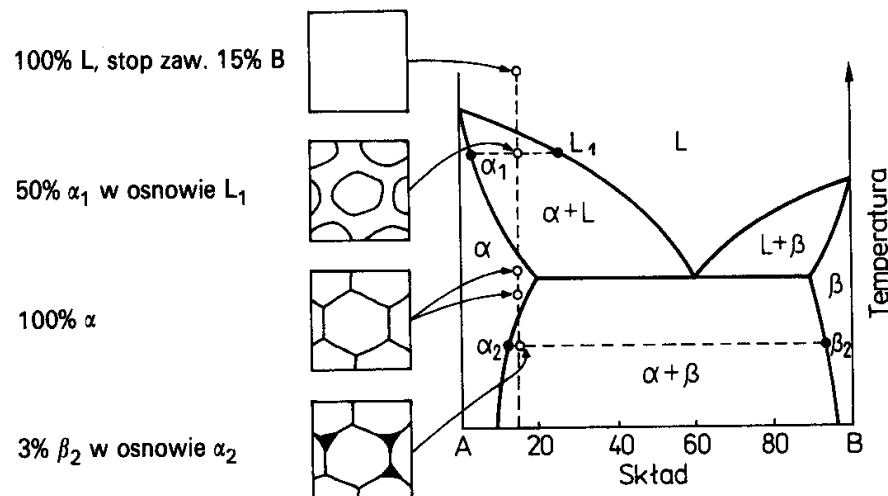
75% α_2 zaw. 20% B
w osnowie L_E zaw. 60% B

75% α_3 zaw. 20% B w osnowie
eutektyki ($\alpha = 86\%$ zaw. 20% B, $\beta = 14\%$
zaw. 90% B)



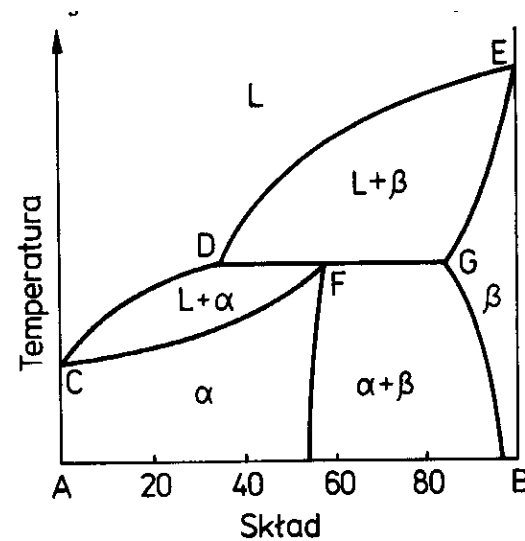
Ograniczona rozpuszczalność - wykres z eutektyką

- Stop bez przemiany eutektycznej



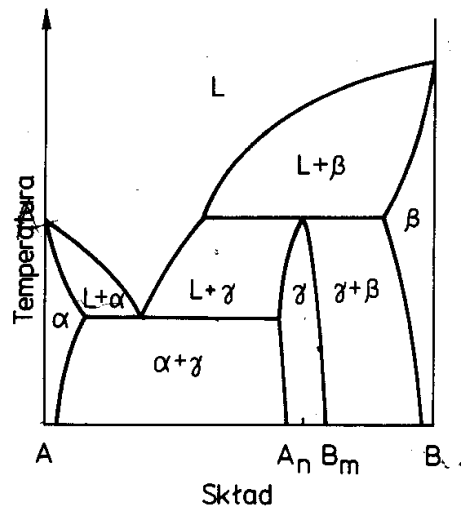
Wykres fazowy z przemianą perytektyczną

- przemiana perytektyczna
- $L_D + \beta_G \leftrightarrow \alpha_F$



Tworzenie fazy pośredniej

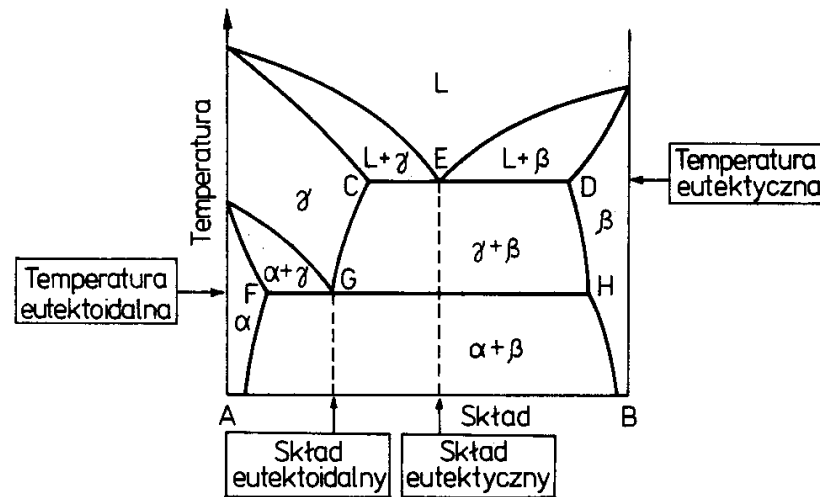
- Tworzenie fazy pośredniej podczas przemiany perytektycznej



Wykres fazowy z przemianą eutektoidalną

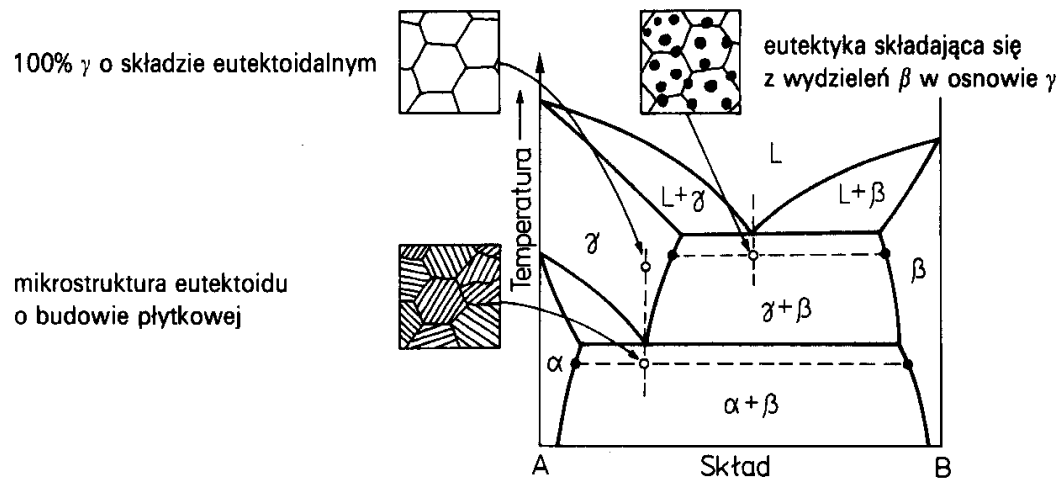
■ Wykres fazowy

- $L_E = \gamma_C + \beta_D$
- $\gamma_G = \alpha_F + \beta_H$



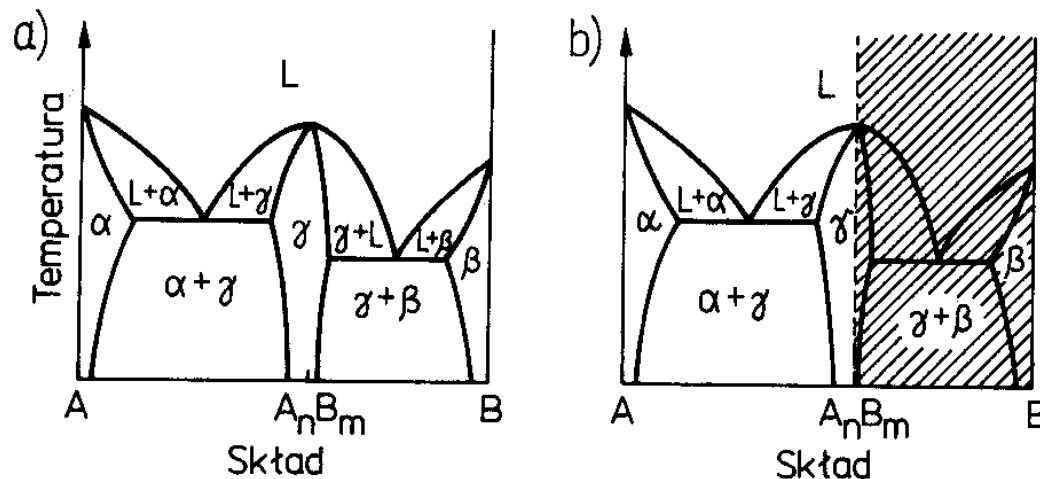
Wykres fazowy z przemianą eutektoidalną

■ Wybrane mikrostruktury



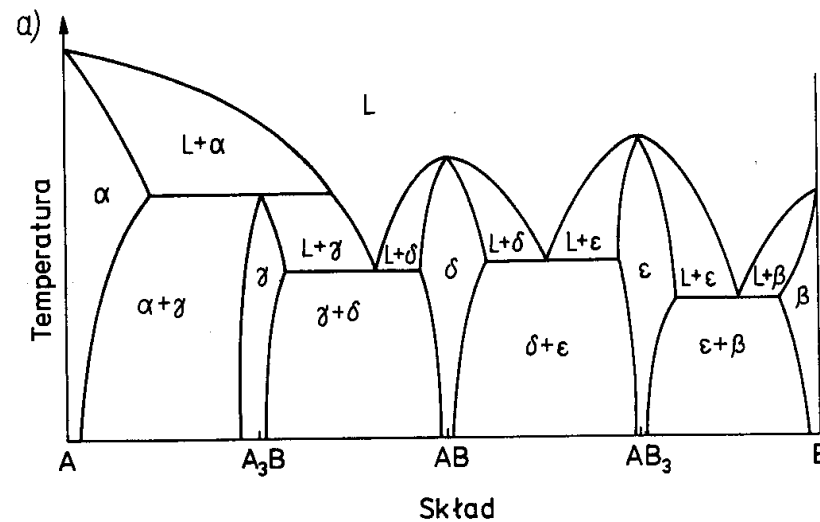
Złożone wykresy fazowe

- Z cieczy wydziela się bezpośrednio faza A_nB_m
- Wykresy złożone można podzielić na proste wykresy, które analizujemy niezależnie



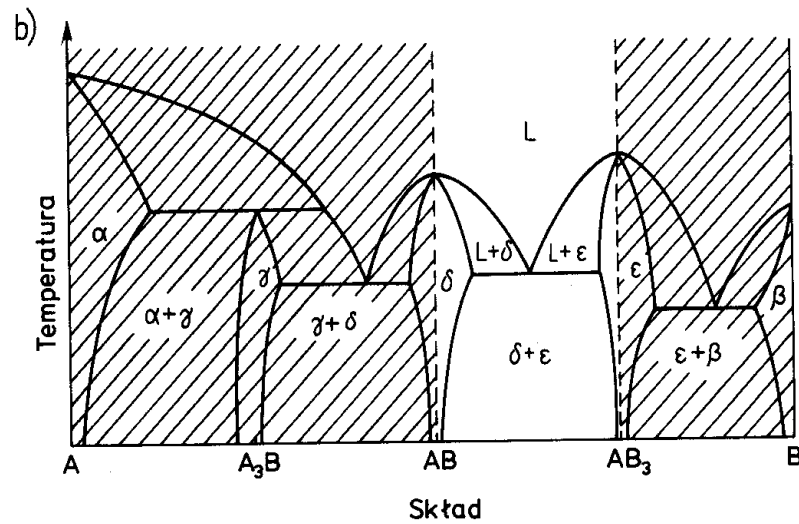
Złożone wykresy fazowe

- Przykład wykresu dwoma trwałymi fazami pośrednimi AB i AB₃



Złożone wykresy fazowe

- przykłady





Uwagi o wykresach dwufazowych

- obszary jednofazowe są zawsze rozdzielone obszarami dwufazowymi
- w obszarze dwufazowym są takie same fazy, jak w rozdzielanych obszarach jednofazowych
- obszary dwufazowe stykają się tylko w punktach lub wzdłuż linii poziomych
- linie poziome odpowiadają przemianom w stałych temperaturach, - liczba stopni swobody jest równa 0



Uwagi o wykresach dwufazowych

- Z wykresów fazowych można uzyskać informacje o mikrostrukturze:
 - jakie fazy występują w stopie
 - jaki jest ich skład chemiczny
 - jaki jest udział procentowy faz w stopie
 - dokładność tych informacji maleje w miarę wzrostu szybkości chłodzenia
 - Wykresy fazowe służą do doboru temperatur obróbki cieplnej

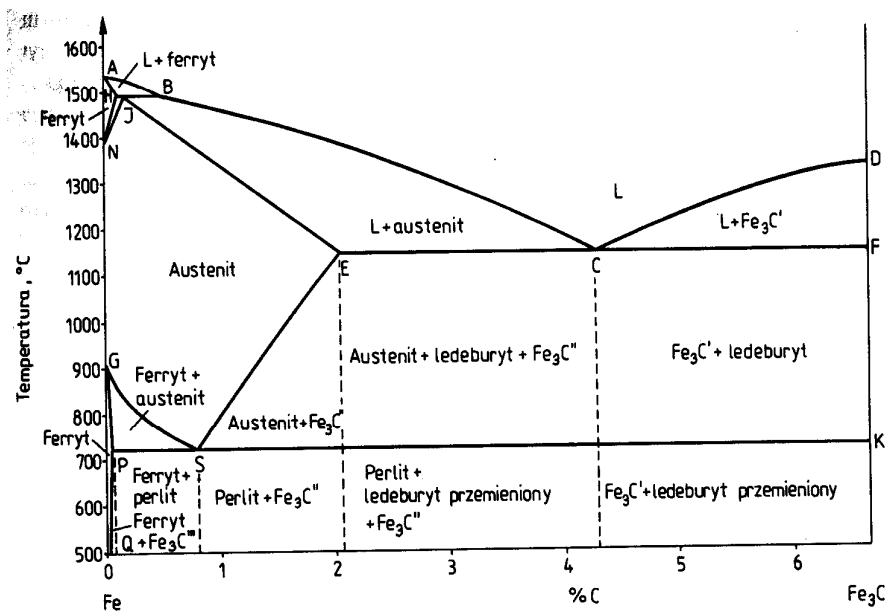


Uwagi o wykresach dwufazowych

- Mając informację o składzie strukturalnym stopu i o własnościach fizycznych składników strukturalnych można obliczyć własność fizyczną stopu
- Np stop zawiera $Vv1$ składnika strukturalnego 1 o własności $W1$ i $Vv2$ składnika strukturalnego 2 o własności $W2$
- Średnia wartość własności stopu:
- $W = Vv1 * W1 + Vv2 * W2$ (prawo mieszanin)

Wykres fazowy Fe-Fe₃C

- Wykres stanowi podstawę dyskusji nad mikrostrukturami stopów Fe



Ozn.	A	B	C	D	E	G	H	J	N	P	S	Q
%C	0	0,53	4,30	6,67	2,11	0	0,09	0,17	0	0,0218	0,77	0,008
Temp. °C	1538	1495	1148	1227	1148	912	1495	1495	1394	727	727	20

składniki fazowe:

ferryt - roztwór stałymiędzywęzłowy

C w Fe_a

austenit - roztwór stały międzywęzłowy

C w Fe_g

cementyt - Fe₃C

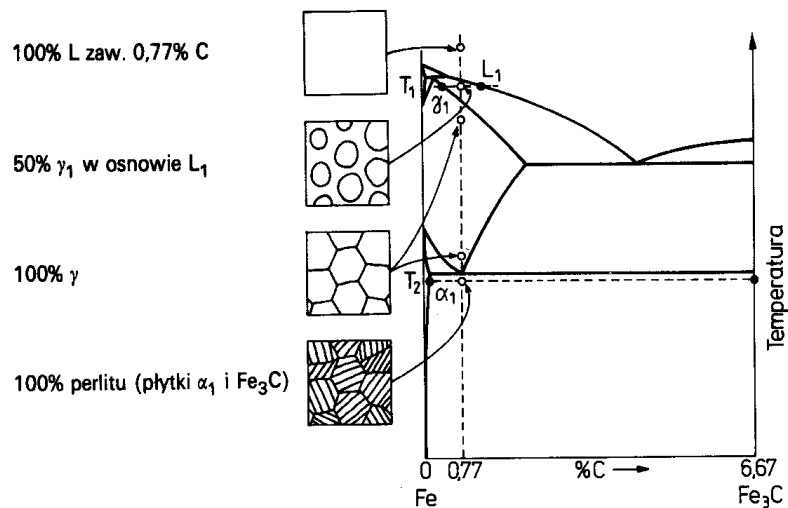


Wykres fazowy Fe-Fe₃C

- Składniki strukturalne
 - perlit - produkt przemiany eutektoidalnej - mieszanina płytek ferrytu i cementytu
 - ledeburyt - produkt przemiany eutektycznej - mieszanina austenitu i cementytu
 - ledeburyt przemieniony - produkt przemiany ledeburytu w temperaturze 727°C - mieszanina perlitu i cementytu
- Stopy Fe - C
 - do zaw. 2.11% - stale lub staliwa
 - powyżej 2.11% - surówki i żeliwa

Wykres fazowy Fe-Fe₃C

■ Struktura eutektoidalna



Wykres fazowy Fe-Fe₃C

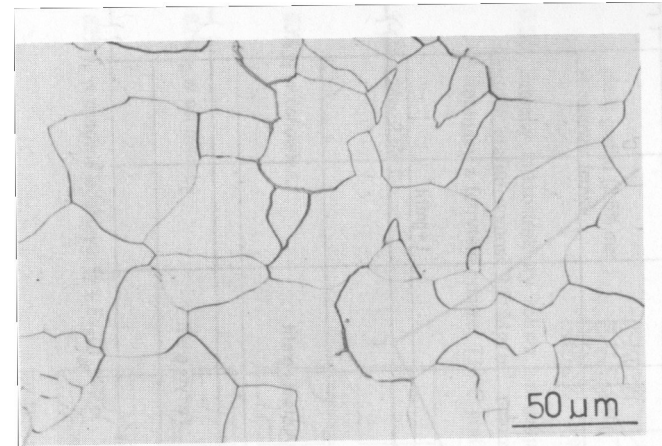
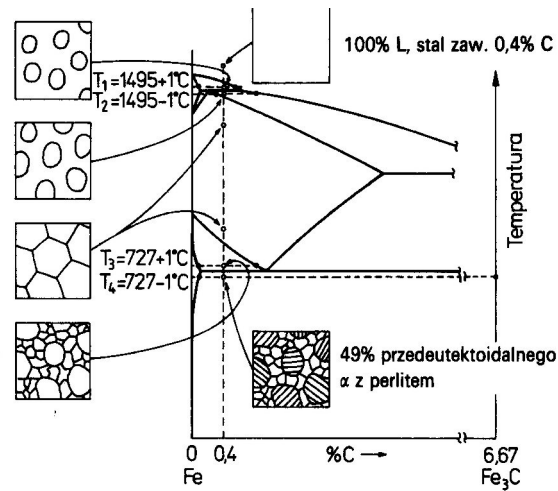
■ stal podeutektoidalna

30% $\alpha(\delta)$ zaw. 0,09% C
w osnowie L zaw. 0,53% C

36% γ zaw. 0,17% C
w osnowie L zaw. 0,53% C

100% γ

51% γ zaw. 0,77% C i przedeutektoidalny α
zaw. 0,0218% C po granicach ziarn γ



Wykres fazowy Fe-Fe₃C

■ Stal nadeutektoidalna

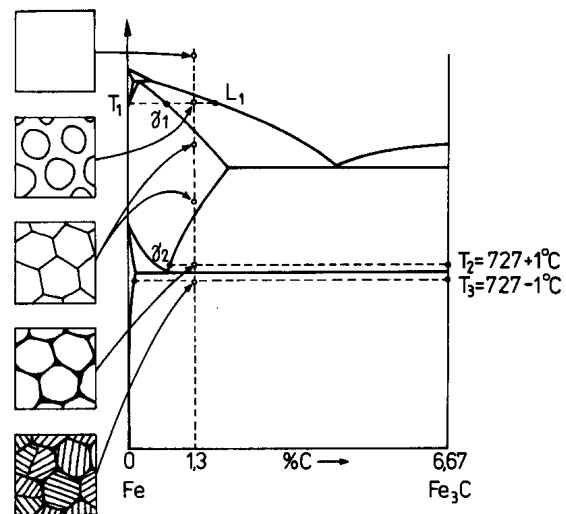
100% L zaw. 1,3% C

50% γ_1 w osnowie L_1

100% γ

9% drugorzędowego Fe₃C po granicach ziarn γ_2 zaw. 0,77% C

9% drugorzędowego Fe₃C z perlitem



Wykres fazowy Fe-C

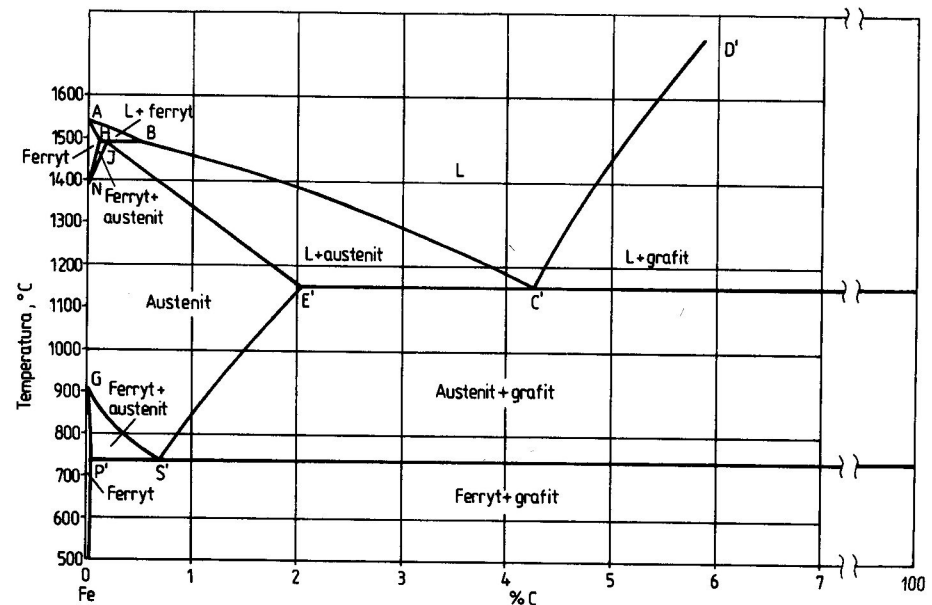
■ Układ stabilny

dlaczego powstaje struktura zgodna z układem metastabilnym?

- przy powstawaniu grafitu konieczne większe rozsegregowanie C
- praca zarodkowania grafitu duża
- stale zawierają Mn stabilizujący Fe_3C

w żeliwach

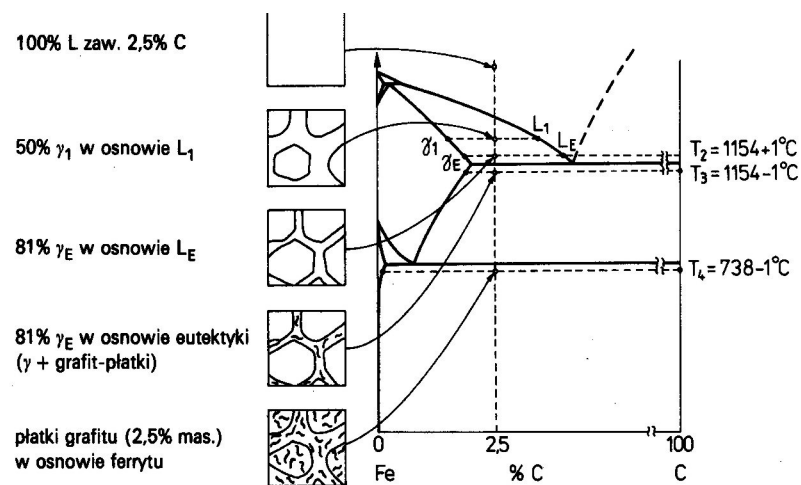
- więcej C
- obecność Si stabilizującego grafit



Ozn.	C'	E'	S'
%C	4,26	2,08	0,68
Temp.°C	1154	1154	738

Wykres fazowy Fe-C

■ stop podeutektyczny



Wykres fazowy Fe-C

■ stop nadeutektyczny

