

Przemiany alotropowe

Do metali mających odmiany alotropowe należy:

żelazo z odmianami:

- Fe α o sieci A2 (ferryt)
- Fe γ o sieci A1 (austenit)
- Fe δ (wysokotemperaturowa odmiana Fe α o sieci A2)

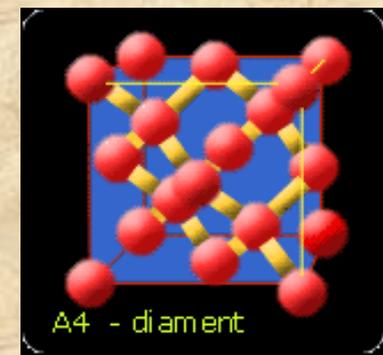
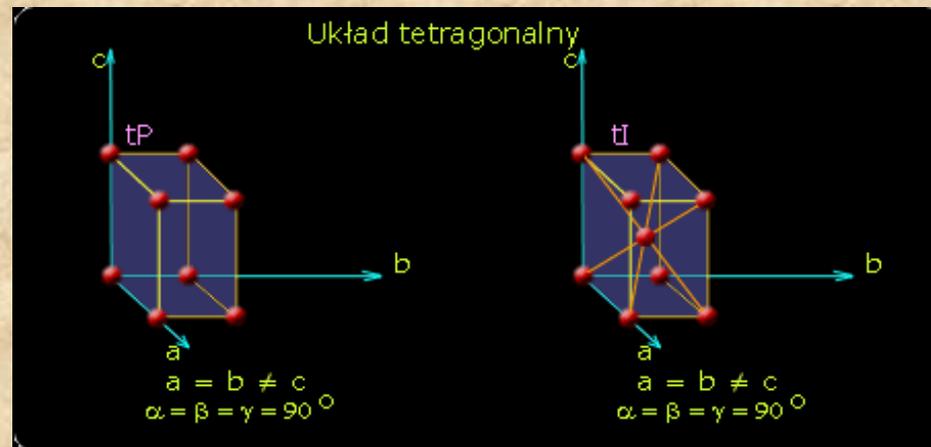
cyna z odmianami:

- Sn α – cyna szara (odmiana niemetaliczna o sieci A4 (struktura A4 - struktura diamentu a także takich pierwiastków jak Si, Ge)
- Sn β (tetragonalna o sieci A5)

mangan

kobalt

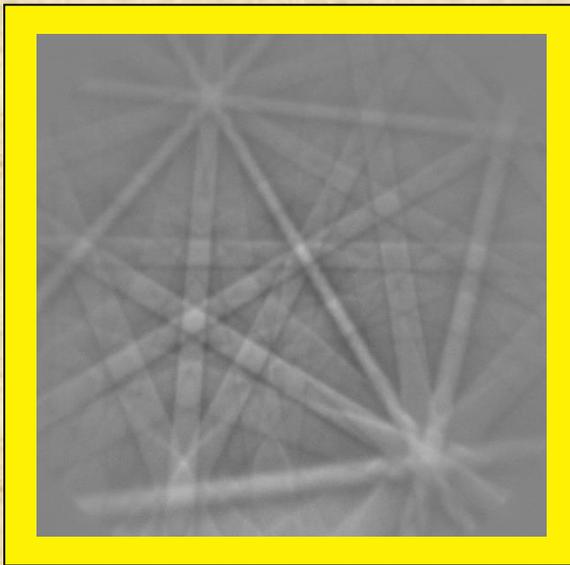
tytan



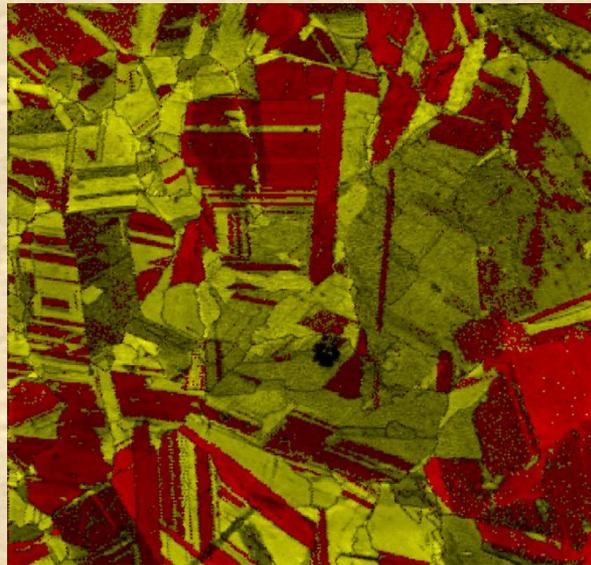
- W cynie przemiana alotropowa zachodzi w temp. 13.2°C . Odmiana β (zwana cyną białą) ma sieć tetragonalną i właściwości metaliczne (jest plastyczna). Odmiana niskotemperaturowa α (cyna szara) o sieci diamentu nie ma właściwości metalicznych. Specyfiką tej przemiany jest duże przechłodzenie konieczne do jej zajścia z towarzyszącą jej znaczą zmianą objętości właściwej (25%). Powoduje to, że odmiana α zamienia się w szary proszek.
- Alotropia cyny była jedną z przyczyn tragedii ekspedycji angielskiego zdobywcy bieguna południowego Roberta Scotta (w 1912 r). Kanistry z naftą były lutowane cyną, która w niskiej temperaturze wskutek przemiany alotropowej zamieniała się z plastycznej białej Sn β na sproszkowaną szarą Sn α .
- Zjawisko przemiany cyny białej w szarą nosi nazwę „zarazy cynowej”.

EBSD - Analiza przemian fazowych

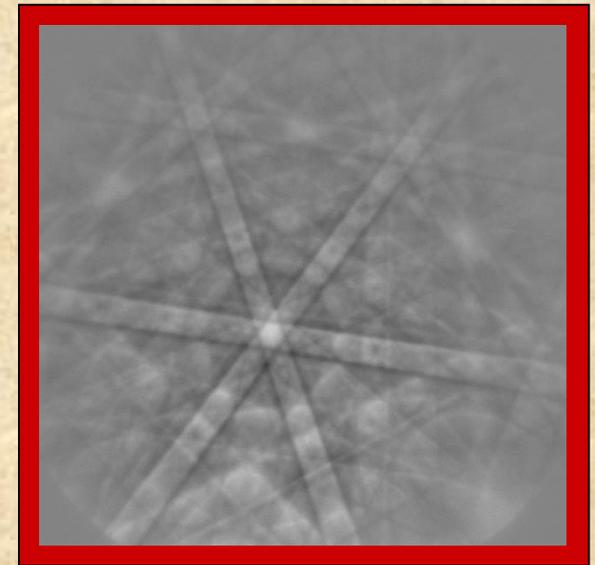
***Kobalt β : faza
wysokotemperaturowa
sieć FCC***



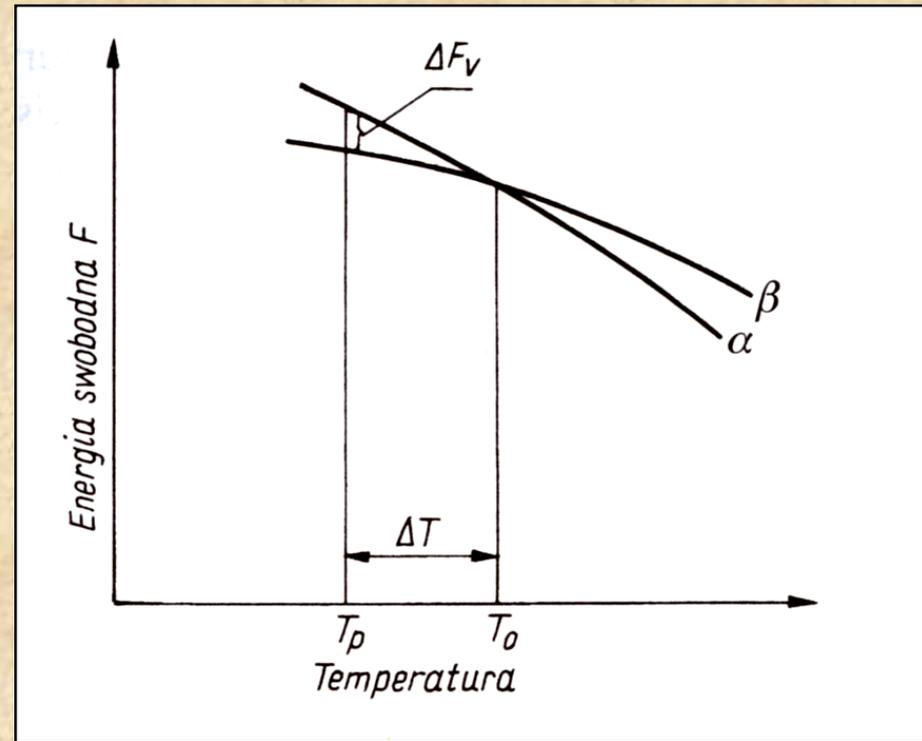
***Temperatura przemiany
alotropowej 417°C***



Kobalt α sieć HCP



Siłą pędną przemiany alotropowej (tak jak każdej innej przemiany fazowej) jest różnica energii swobodnej ($\Delta G_v = \Delta F_v$) fazy wyjściowej „ α ” i nowo powstałej fazy „ β ”, która tworzy się po przekroczeniu temperatury T_0 , czyli równowagowego współistnienia tych faz. Różnica narasta w miarę przechłodzenia od T_0 do T_p .



A zatem, **im większe przechłodzenie, tym szybciej zachodzi przemiana.**

Natomiast w temperaturze T_0 obie fazy pozostają w równowadze, gdyż ich energie swobodne są jednakowe.

Powoduje to, że przemiana fazowa zostaje zahamowana

- Do zajścia przemiany alotropowej (fazowej) przy chłodzeniu jest wymagane pewne **przechłodzenie**, a przy nagrzewaniu - pewne **przeegrzanie** względem temperatury równowagowego współistnienia faz T_0 .
- Wynika stąd, że przy nagrzewaniu i chłodzeniu przemiana nie zachodzi w tej samej temperaturze. Różnica zależy od szybkości zmiany temperatury, zwiększając się wraz z jej wzrostem.

Pojawia się wtedy:

histereza cieplna przemiany alotropowej

Przy przemianie alotropowej (fazowej) następuje:

a) **skokowa zmiana energii wewnętrznej** w wyniku pochłaniania ciepła przemiany przy nagrzewaniu oraz wydzielania ciepła przemiany przy chłodzeniu. Ciepło to, które jest stałe dla danego pierwiastka i danego typu przemiany może być wykorzystane przy analizie cieplnej (**różnicowy skaningowy mikrokalorymetr DSC** – urządzenie do precyzyjnego pomiaru temperatury i ciepła pochłanianego lub wydzielanego w przemianie fazowej).

b) **skokowa zmiana objętości molowej** (analiza dylatometryczna)

c) **skokowa zmiana właściwości magnetycznych:**

Fe α (poniżej punktu Curie jest ferromagnetyczne)

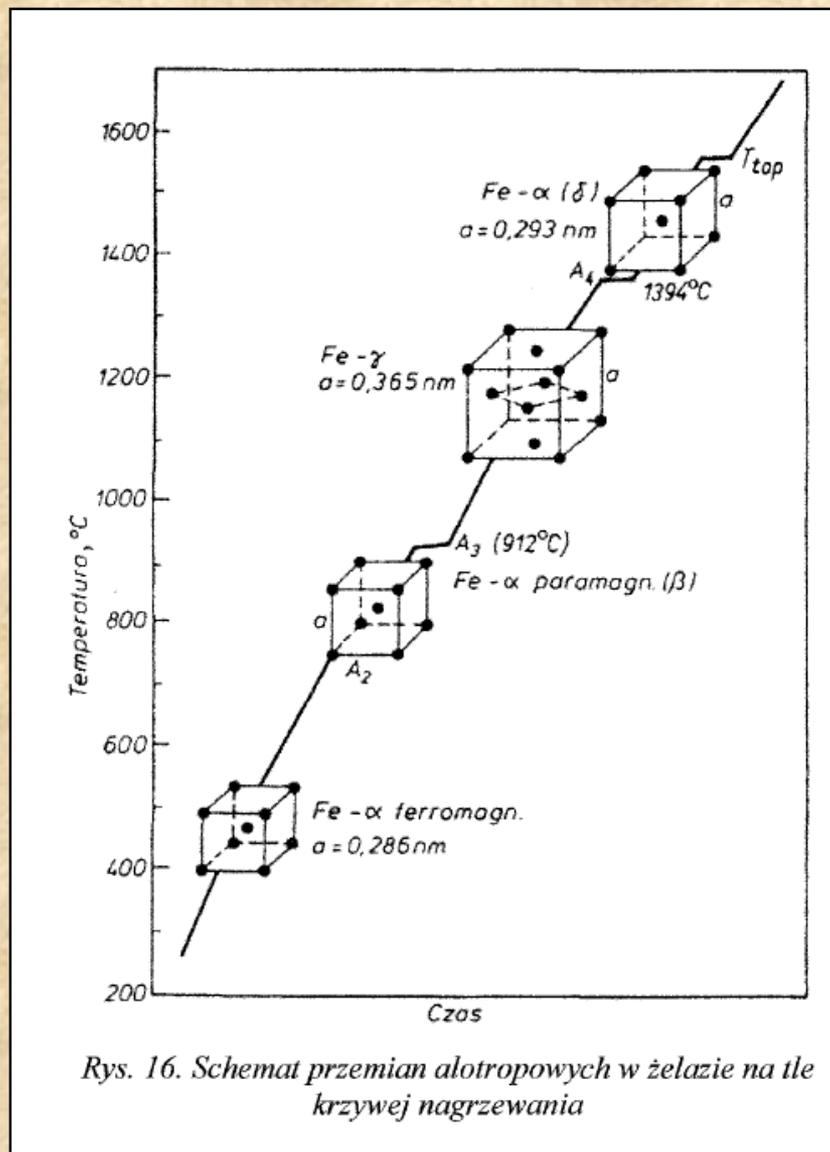
Fe γ (poniżej punktu Curie jest paramagnetyczne).

Zjawisko to wykorzystuje się do określenia temperatury przemiany metodami magnetycznymi.

Tendencje przy tworzeniu odmian alotropowych

- **Odmiany o strukturze regularnej przestrzennie centrowanej A2 (jako mniej gęsto upakowanej) są bardziej stabilne w wyższych temperaturach niż odmiany o najgęstszym wypełnieniu sieci (A1 i A3).**
- **Odmiany powstające przy wysokich ciśnieniach mają struktury o gęstszym wypełnieniu niż odmiany występujące przy ciśnieniu atmosferycznym, np. Fe tworzy odmianę o sieci A3 (struktura typu magnezu: Mg, Zn, Cd, Ti, Zr, Co- α) przy ciśnieniu 1.3×10^4 MPa.**

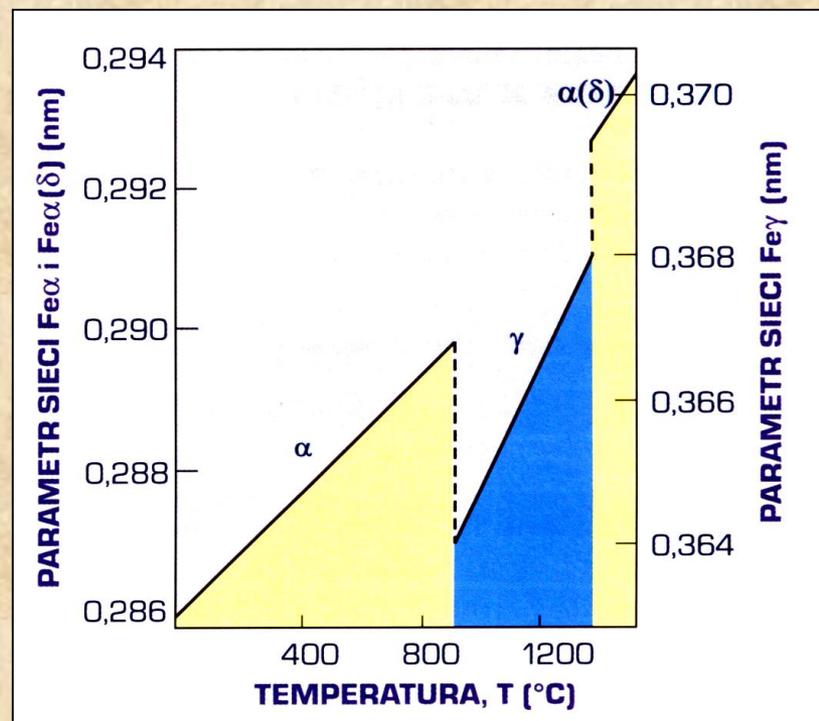
ODMIANY ALOTROPOWE Fe



ODMIANY ALOTROPOWE Fe

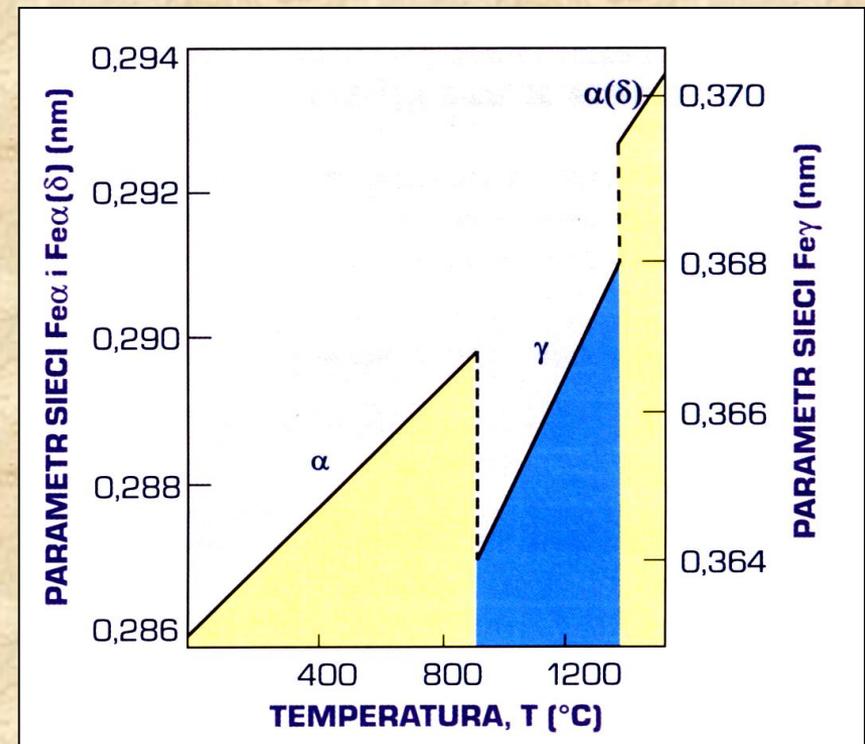
Żelazo wykazuje dwie odmiany alotropowe

- W temperaturze niższej od 914°C występuje odmiana alotropowa **Fe α** oraz w zakresie temperatur od 1394°C do 1538°C - odmiana wysokotemperaturowa **Fe $\alpha(\delta)$** lub δ . Odmiana **Fe α** krystalizuje w sieci regularnej przestrzennie centrowanej układu (bcc)
- Roztwory stałe węgla w Fe α nazywane są ferrytem
- Parametr sieci „a” zwiększa się wraz z podwyższaniem temperatury: dla odmiany Fe α wynosi 0.286 nm w temperaturze pokojowej i 0.293 nm w 1394°C .

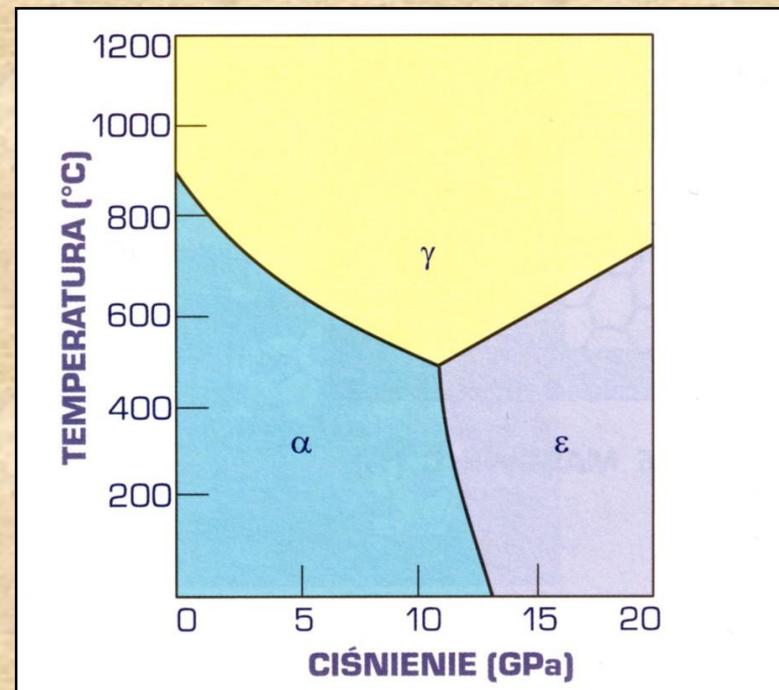


ODMIANY ALOTROPOWE Fe

- W zakresie temperatur od 914°C do 1394°C występuje odmiana alotropowa oznaczana jako **Fe γ** .
- Odmiana **Fe γ** krystalizuje w sieci regularnej ściennie centrowanej (fcc),
- Roztwory stałe węgla w Fe γ nazywane są austenitem
- Parametr sieci „a” zwiększa się wraz z podwyższaniem temperatury: dla odmiany Fe γ wynosi 0.365 nm w 914°C i 0.368 nm w 1384°C .



- Przemianie Fe_α w Fe_γ towarzyszy zmniejszenie objętości właściwej, a przemianie odwrotnej – wzrost objętości. Decydują o tym różne liczby koordynacyjne sieci, w której krystalizuje każda z tych odmian.
- Zwiększenie objętości podczas przemiany Fe_γ w Fe_α i związane z tym zwiększenie naprężeń wyjaśniają zależność struktury sieciowej Fe od ciśnienia.
- Wysokie wartości ciśnienia stabilizują odmianę alotropową Fe_γ (fcc) o mniejszej objętości właściwej.
- Przy niskim ciśnieniu i niskiej temperaturze stabilna jest odmiana Fe_α (bcc).
- Przy ciśnieniu od ok. 12-13 GPa występuje odmiana Fe_ϵ o sieci heksagonalnej (hcp).



Przemiana dyfuzyjna Fe γ w Fe α

$$r^* = \frac{2\gamma_{\alpha\gamma} T_E}{\Delta H(T_E - T)}$$

$$r_{910}^* = \frac{2\gamma_{\alpha\gamma} (914 + 273)}{\Delta H(914 + 273) - (910 + 273)} = \frac{2\gamma_{\alpha\gamma}}{\Delta H} 296,75$$

$$r_{900}^* = \frac{2\gamma_{\alpha\gamma} (914 + 273)}{\Delta H(914 + 273) - (900 + 273)} = \frac{2\gamma_{\alpha\gamma}}{\Delta H} 84,78$$

$$\frac{r_{910}^*}{r_{900}^*} = \frac{296,75}{84,78} = 3.5$$

$$\frac{V_{910}^*}{V_{900}^*} = 3.5^3 = 43$$

Zarodkowanie heterogeniczne Fe α nie pojawi się dopóki Fe γ nie zostanie ochłodzone poniżej 910°C

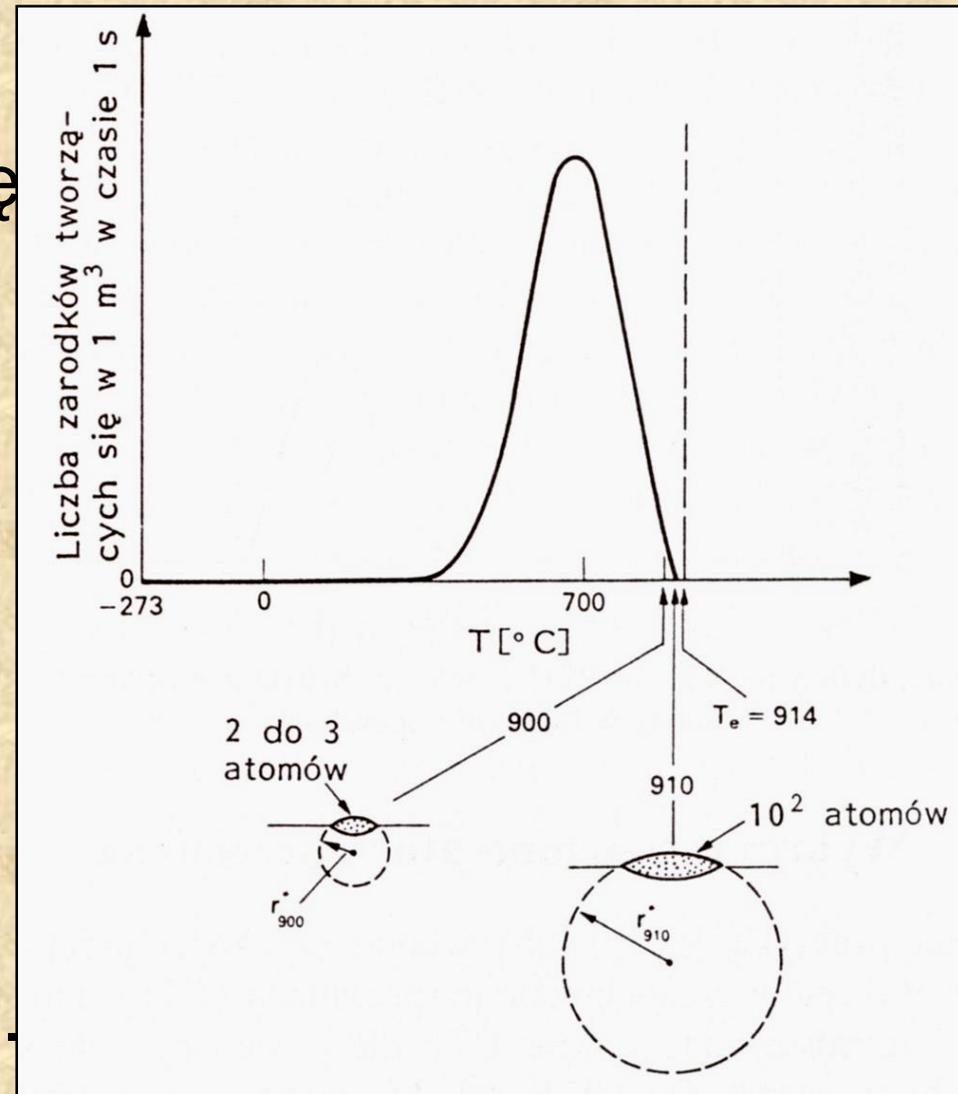
Zarodkowanie Fe α w temp. 910°C nastąpi wówczas, gdy w wyniku przypadkowych fluktuacji uporządkuje się odpowiednio ok. 100 atomów

Natomiast w temp. 900°C zarodkowanie wymaga uporządkowania w wyniku fluktuacji tylko 100/43 atomów

Szanse zgrupowania tak małej liczby atomów są znacznie większe niż 100 atomów.

Zarodkowanie będzie bardziej prawdopodobne w temp. 900°C niż w 910°C

- W niższych temperaturach szybkość zarodkowania zaczyna się zmniejszać.
- Im mniejsza energia cieplna, tym trudniejsza staje się dyfuzja atomów i trudniej jest im utworzyć zarodek.
- Dla 0°K (brak energii cieplnej) szybkość zarodkowania spada do 0.

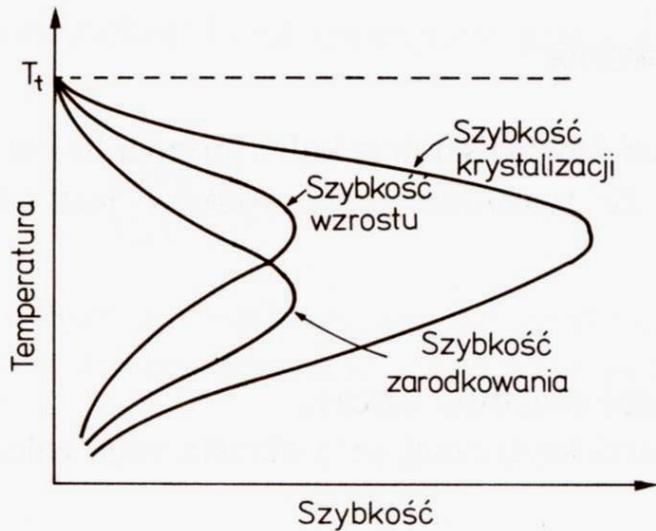


Zarodkowanie heterogeniczne

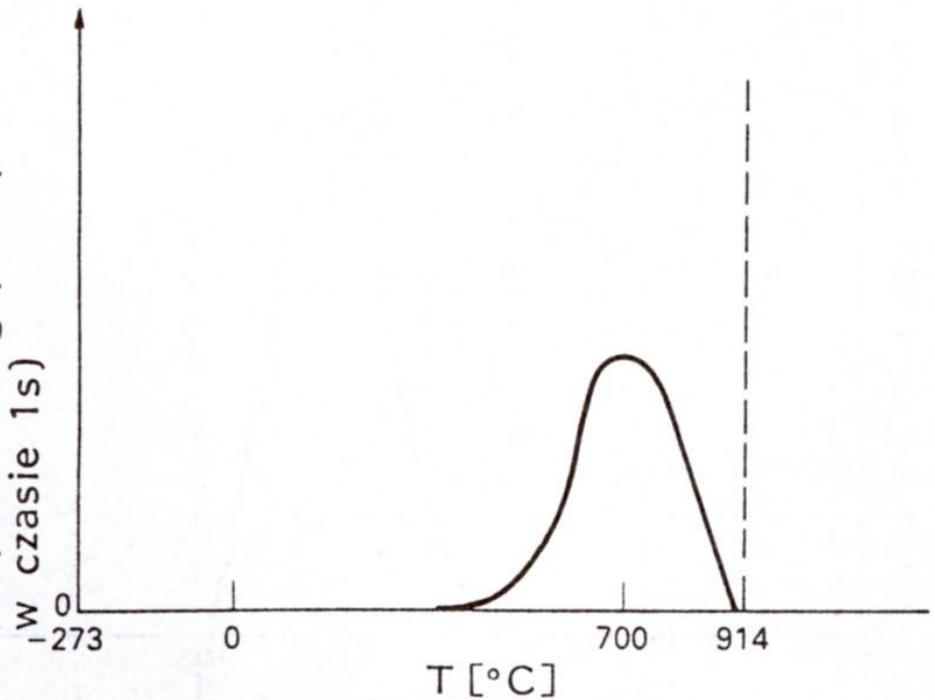
Podsumowanie

Przy takim samym promieniu krytycznym

- zarodek homogeniczny jest kulą
- zarodek heterogeniczny jest wycinkiem kuli
- Praca zarodkowania heterogenicznego ma się tak do pracy zarodkowania homogenicznego jak objętość danego wycinka kuli do objętości pełnej kuli



Wynikowa szybkość przemiany
(objętość ulegająca przemianie
w czasie 1s)

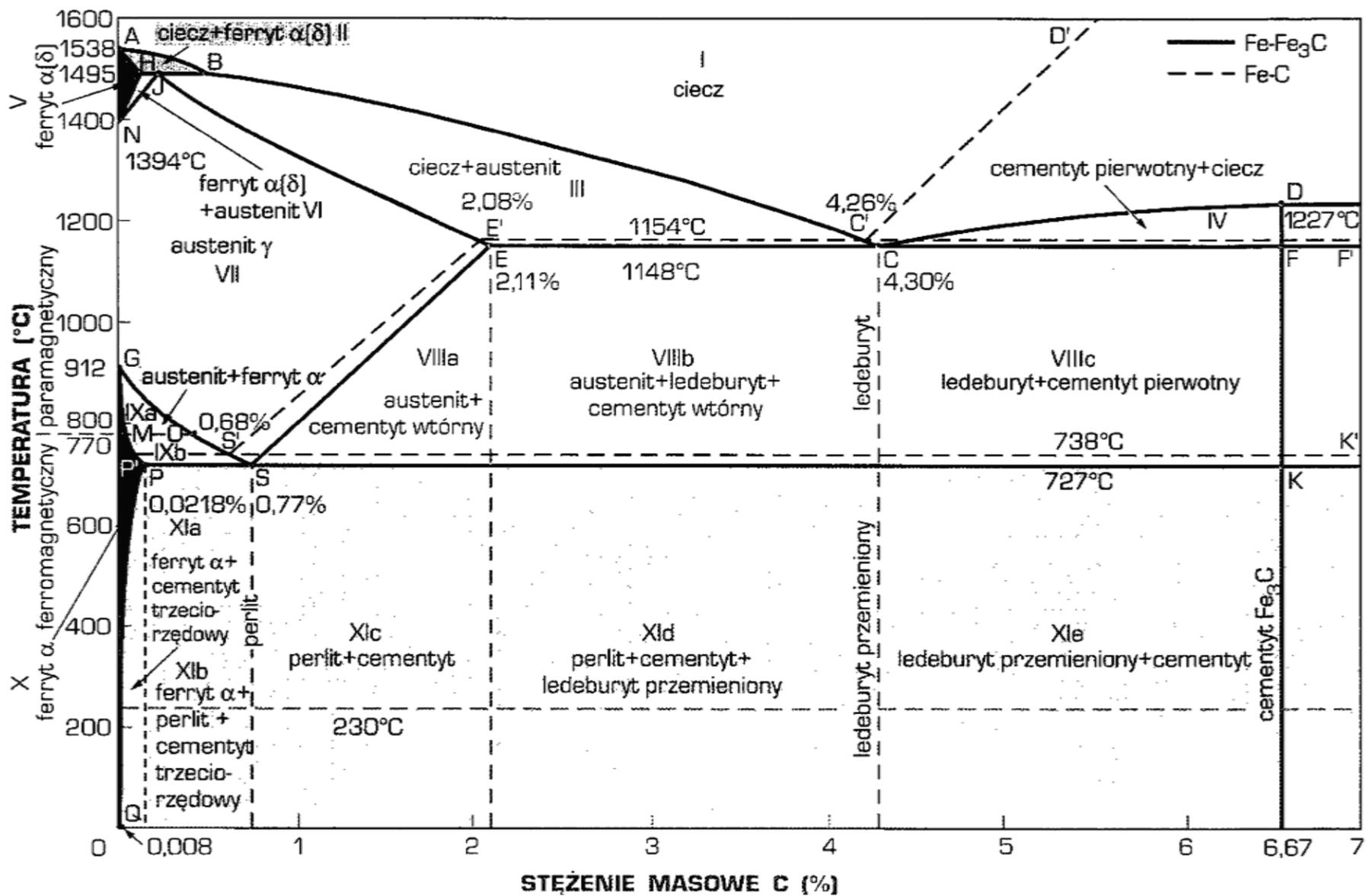


Przemiana dyfuzyjna fcc-bcc w żelazie

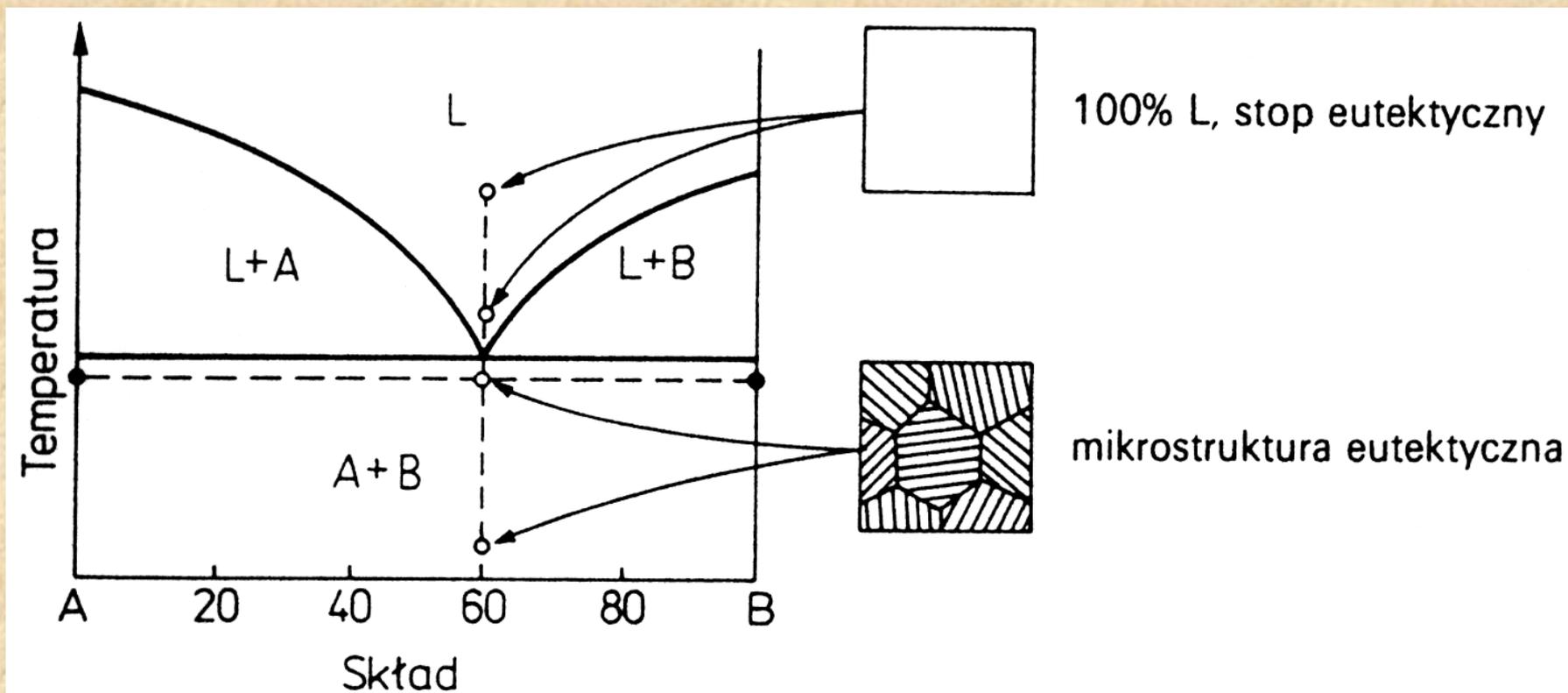
Schemat wynikowej szybkości przemiany w funkcji temperatury

Efekty strukturalne przemian fazowych (2)

Układ Fe+C

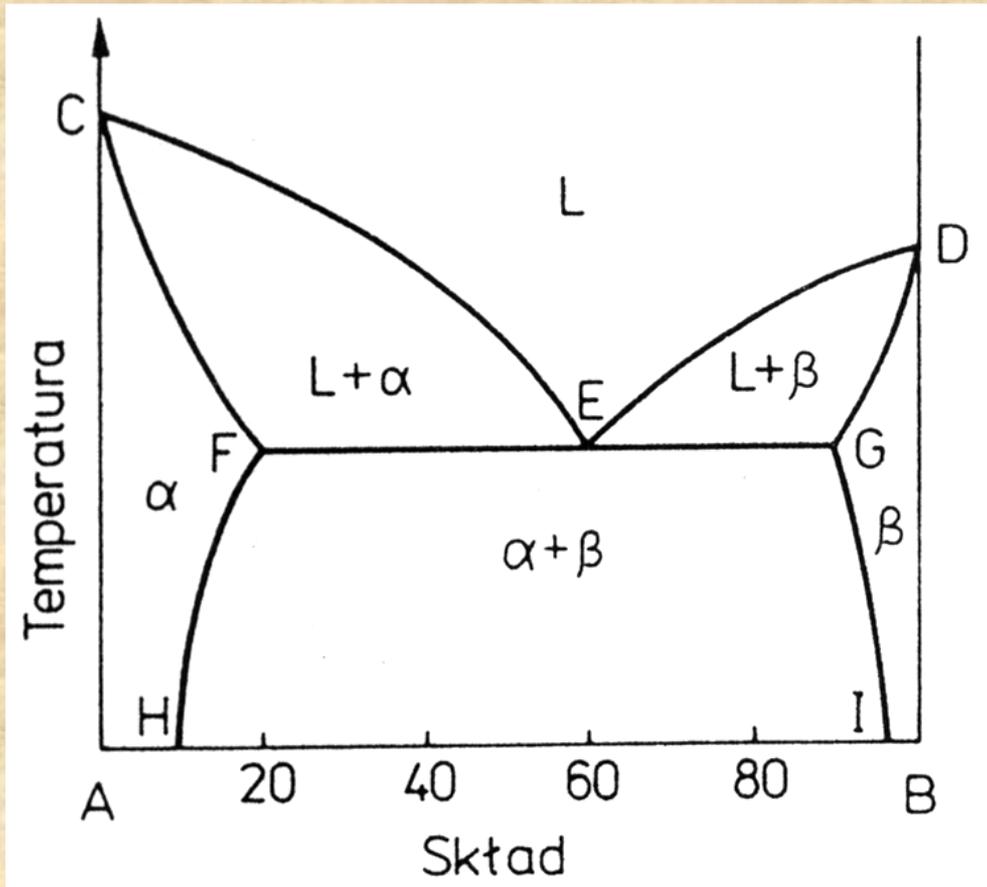


Wykres fazowy dla składników nie rozpuszczających się wzajemnie w stanie stałym



Tworząca się mikrostruktura w stopie eutektycznym. Mikrostruktura eutektyczna składa się z drobnych, na przemian położonych płytek kryształów składnika A i składnika B

Wykres fazowy z przemianą eutektyczną gdy składniki rozpuszczają się w stanie stałym



CED – Likwidus

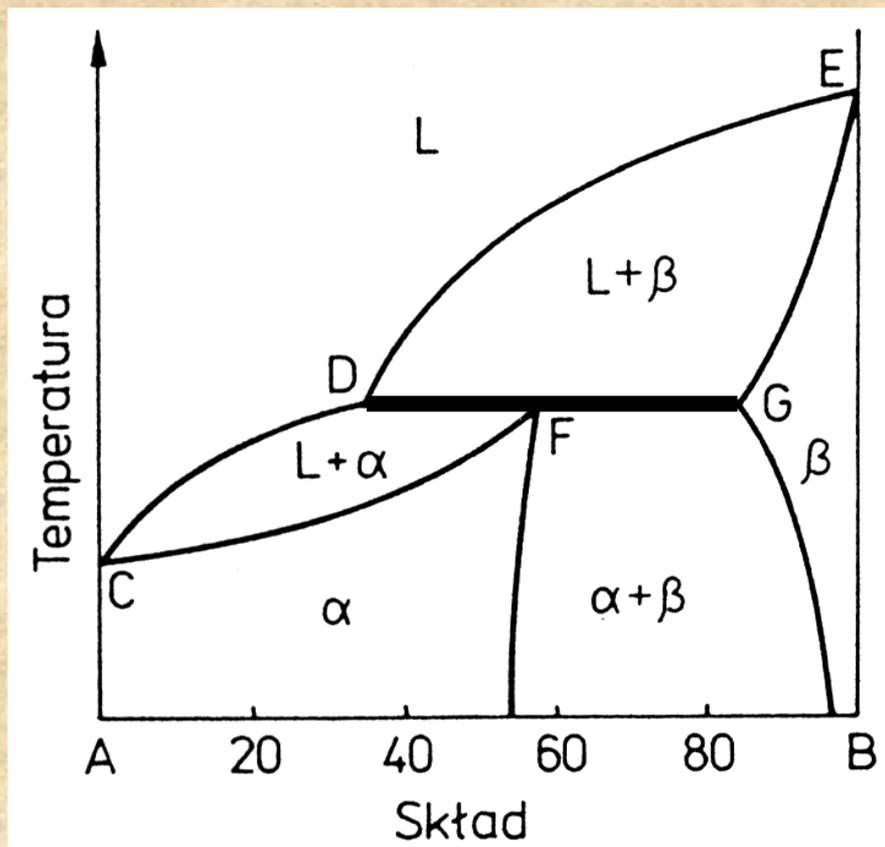
CFEGD – Solidus

FH i GI – to linie ograniczonej rozpuszczalności składników w stanie stałym – odpowiednio, składnika B w A i składnika A w B

Wykres fazowy z przemianą eutektyczną dla składników tworzących w stanie stałym roztwory. Przemiana eutektyczna.

Mikrostruktura eutektyczna składa się z drobnych, na przemian położonych płytek kryształów fazy α i fazy β

Wykres fazowy z przemianą perytektyczną



Likwidus – linia CDE

Solidus – linia CFGE

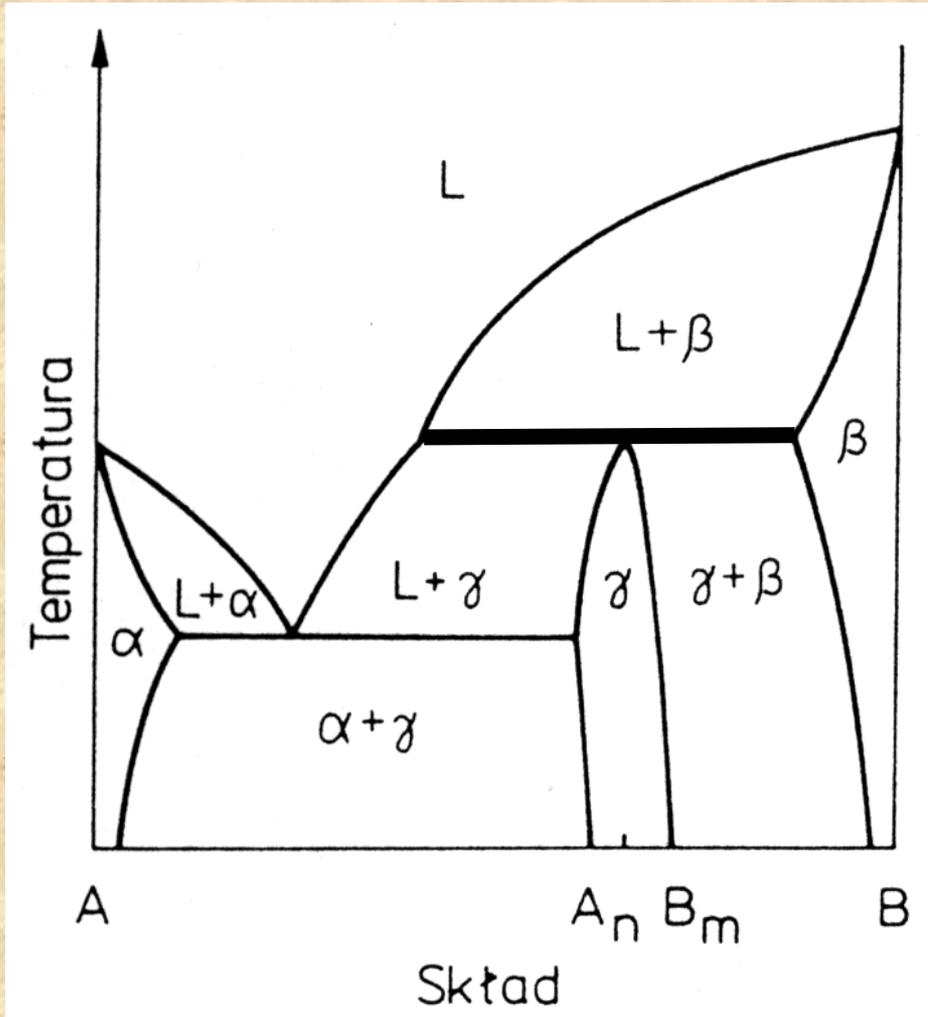


$$\frac{\text{ilość } L}{\text{ilość } \beta} = \frac{FG}{DF}$$

Wykres fazowy z przemianą perytektyczną

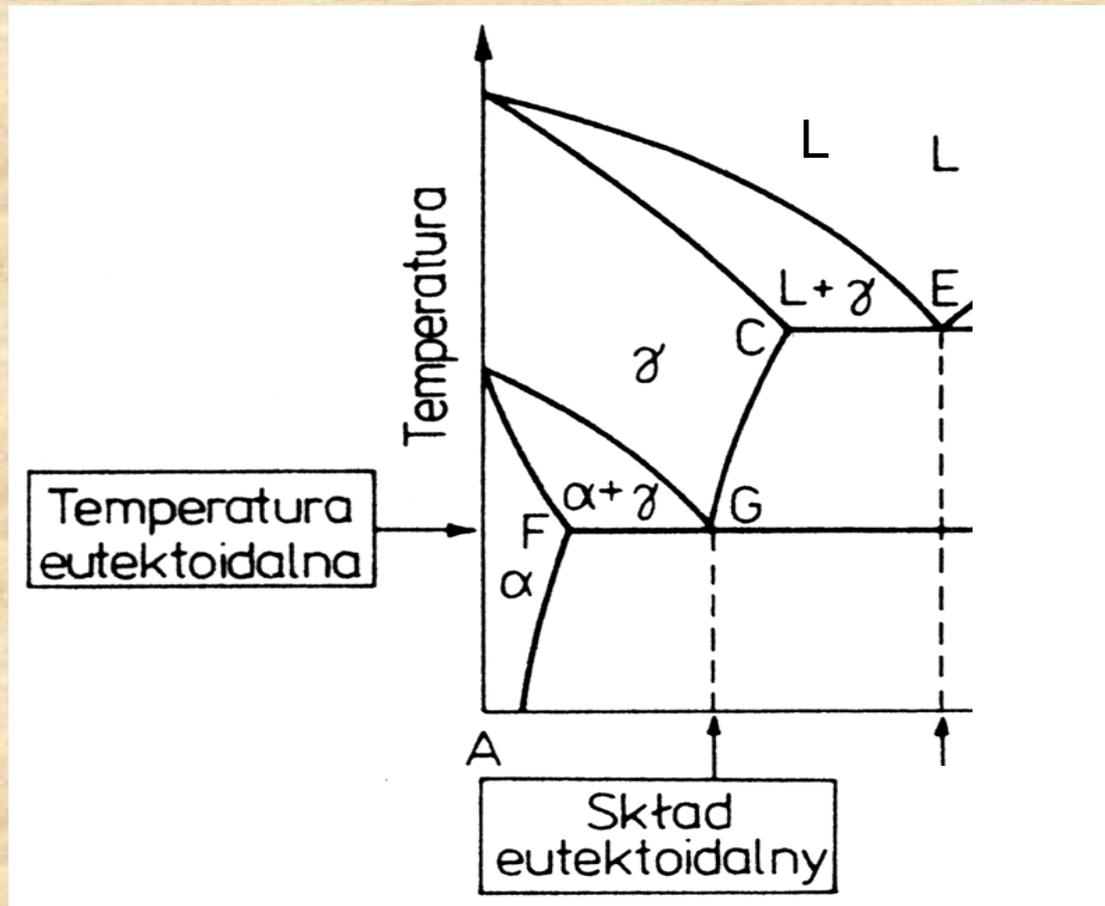
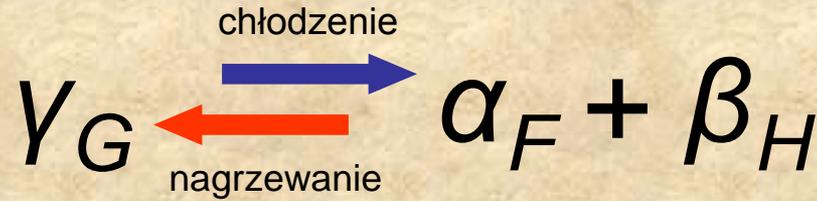
Wykres fazowy z przemianą perytektyczną

Tworzenie się fazy pośredniej

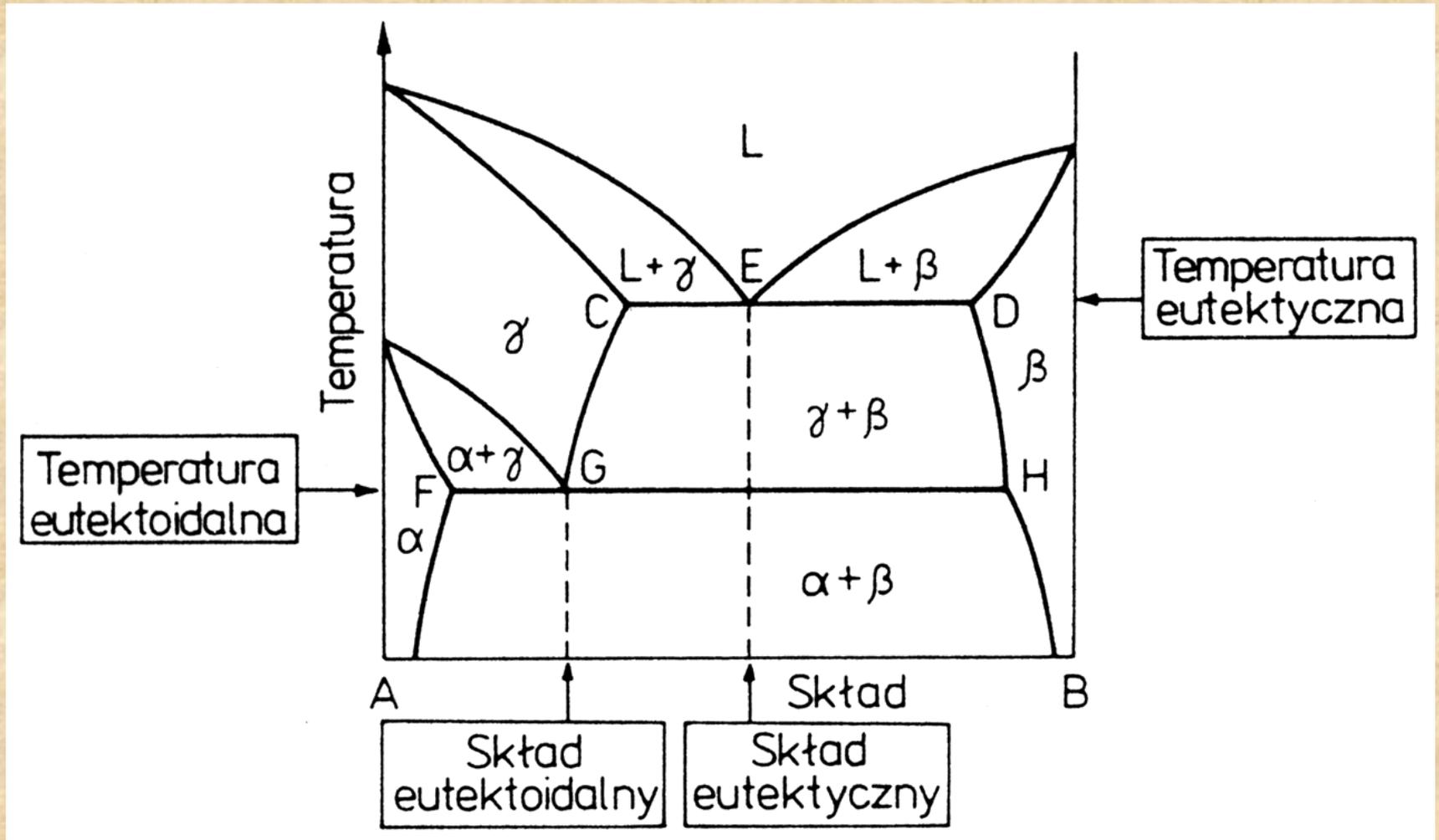


Tworzenie się fazy pośredniej $A_n B_m(\gamma)$ podczas przemiany perytektycznej

Wykres fazowy z przemianą eutektoidalną

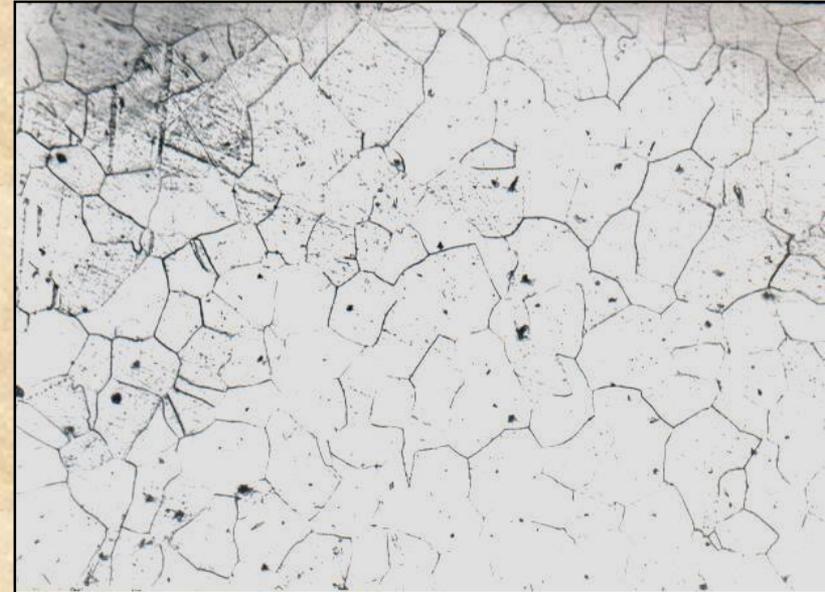


Wykres fazowy z przemianą eutektoidalną i eutektyczną

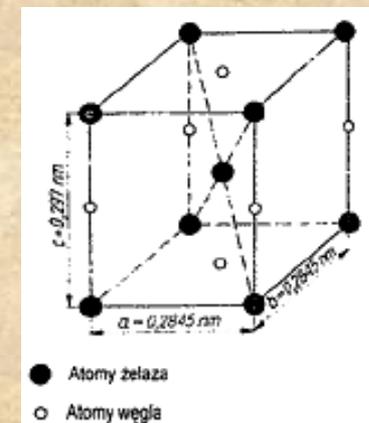
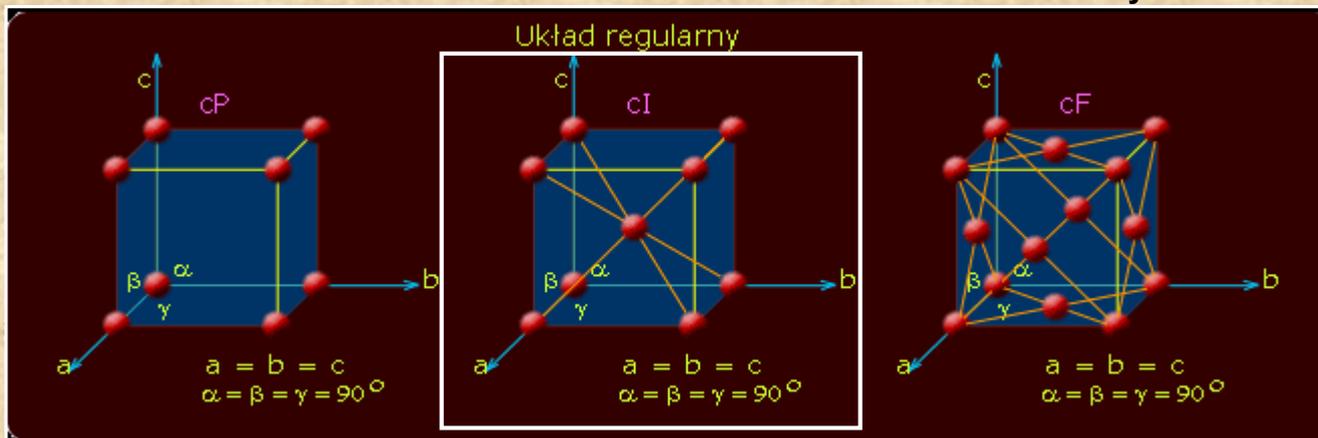


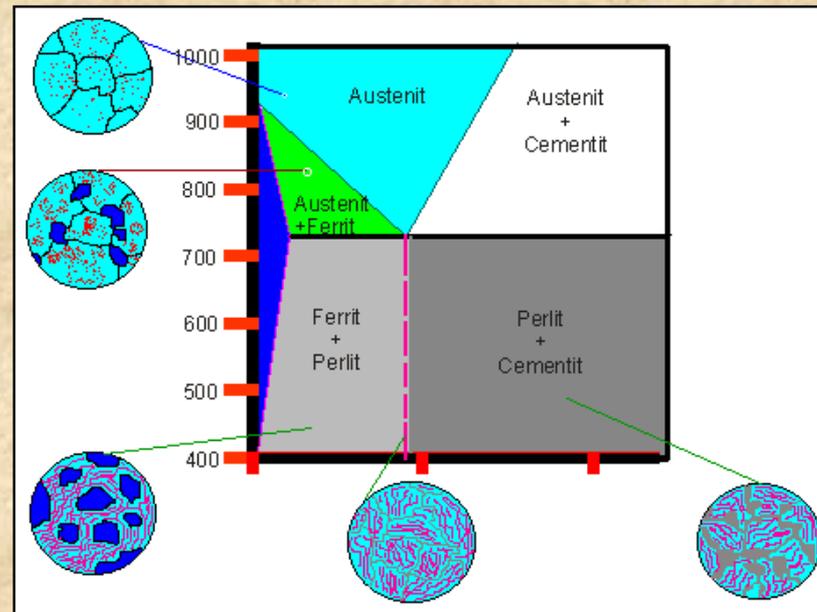
Stop żelaza z węglem

Ferryt α jest roztworem stałym C w Fe α o bardzo małej zawartości węgla (do ok.0.02%) i z tego powodu jego właściwości różnią się niewiele od właściwości czystego Fe; na zglądach metalograficznych widoczny jako jasny składnik, sieć bcc – regularna przestrzennie centrowana, liczba atomów w komórce elementarnej 2; do punktu Curie (770°C) wykazuje właściwości ferro-, a powyżej paramagnetyczne, twardość: 80 HB

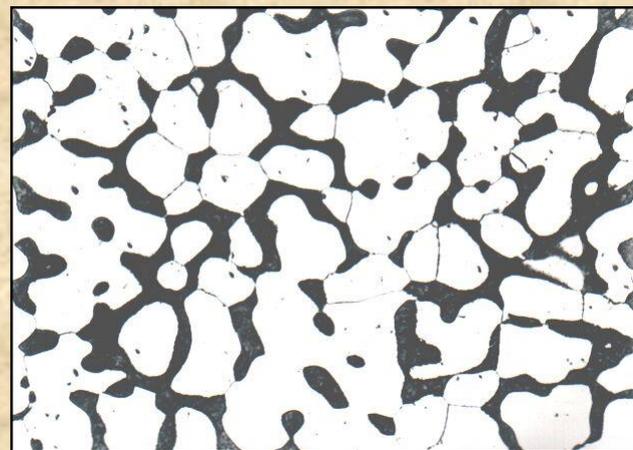


Stal węglowa konstrukcyjna o strukturze ferrytycznej. Na tle ferrytu widoczne wtrącenia niemetaliczne.



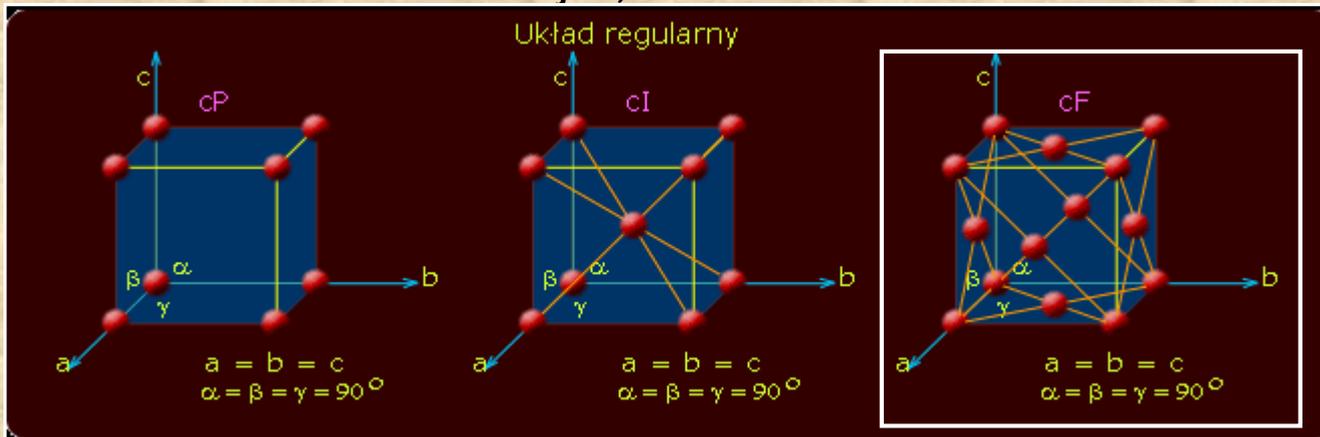
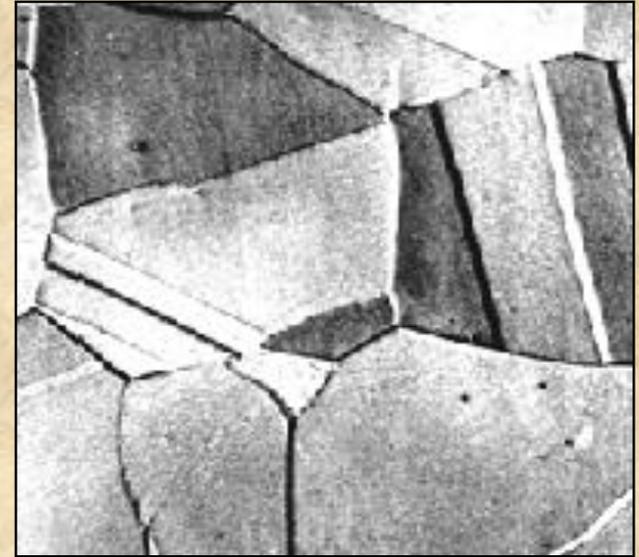


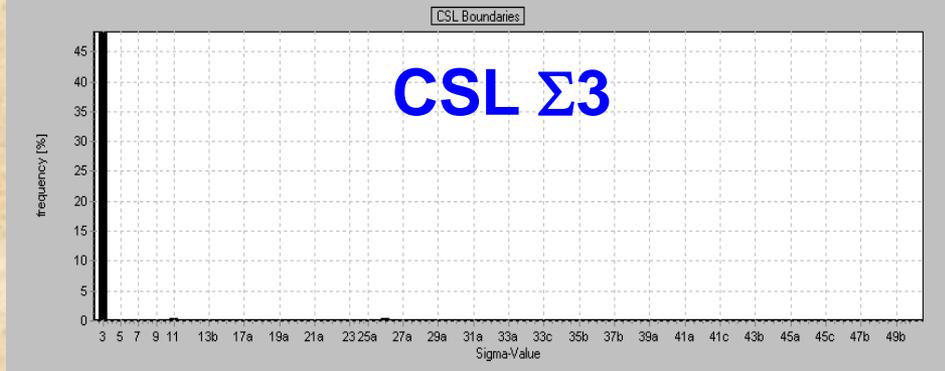
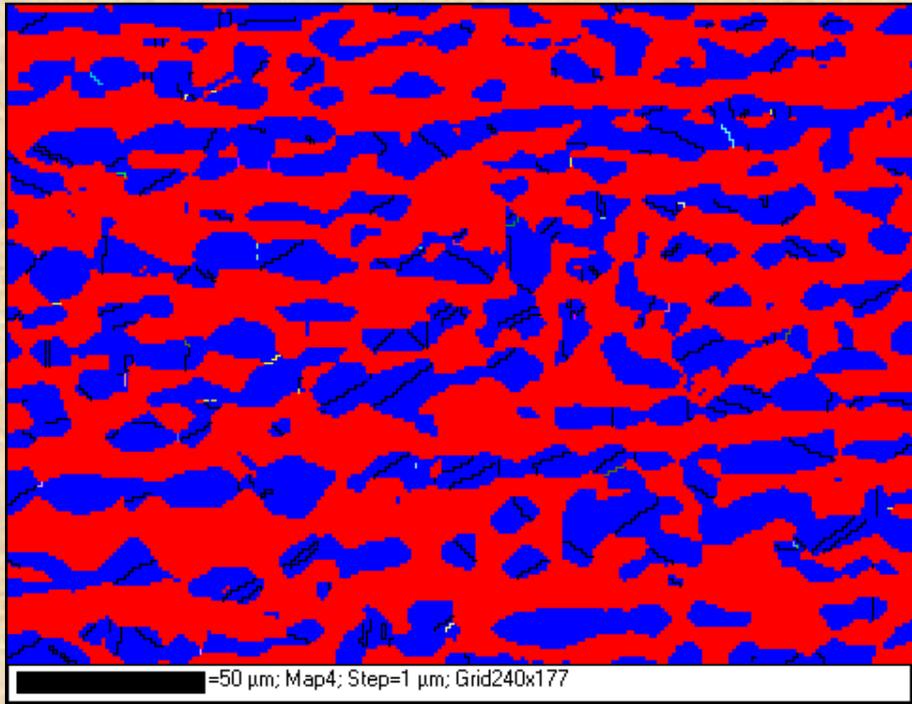
Ferryt (jasne obszary) oraz perlit (ciemne obszary). Ich procentowy udział zależy od ilości węgla w stopie.



Stop żelaza z węglem

Austenit γ jest roztworem stałym C w Fe γ o zawartości węgla do 2.11%. Ma największą gęstość spośród wszystkich faz układu Fe-C. W warunkach równowagi nie może istnieć poniżej temperatury 727°C. Na zglądach metalograficznych występuje jako składnik jasny z **charakterystycznymi, prostoliniowymi granicami bliźniaczymi** (jest to skutek jego niskiej EBU); sieć fcc – regularna ściennie centrowana, liczba atomów w komórce elementarnej 4; twardość: 200 HB.





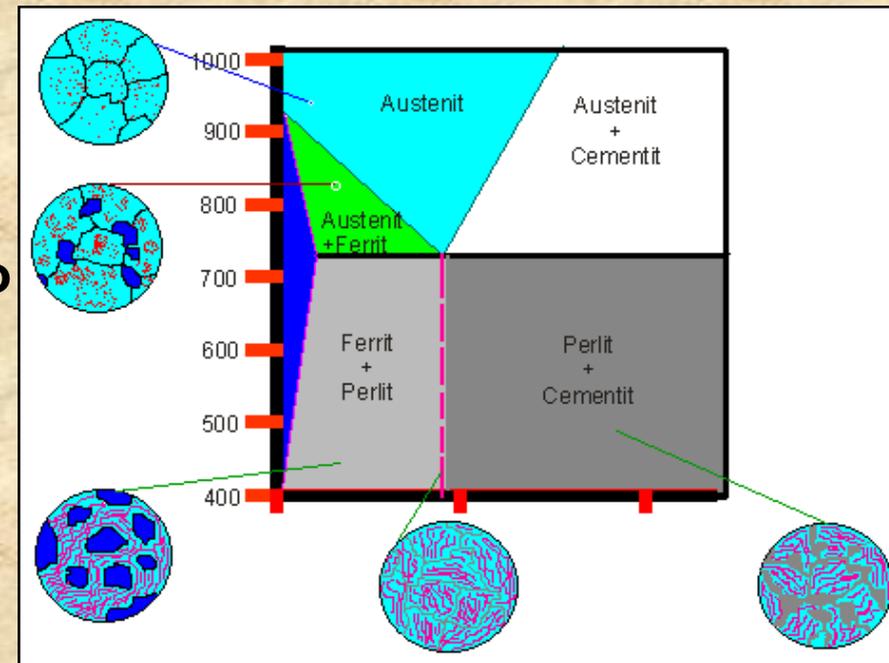
Austenit schłodzony poniżej temperatury 727°C rozpada się na mieszaninę ferrytu i perlit (jeśli zawiera do $0,77\% \text{ C}$) lub perlitu i cementytu (jeśli zawiera więcej niż $0,77\% \text{ C}$). W przypadku zawartości $0,77\%$ węgla przemienia się w perlit.

Bardzo szybko schładzany austenit może nie ulec rozpadowi na opisane wyżej mieszaniny, tylko przemienić się w martenzyt.

Duże ilości dodatków stopowych, takich jak Ni, obniżają temperaturę przemiany austenitycznej \longrightarrow

stabilny austenit w temperaturze otoczenia.

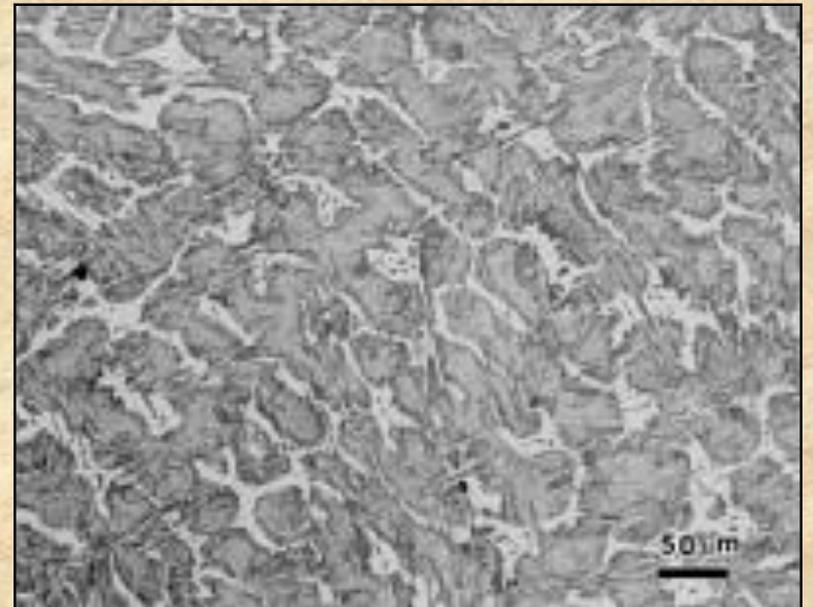
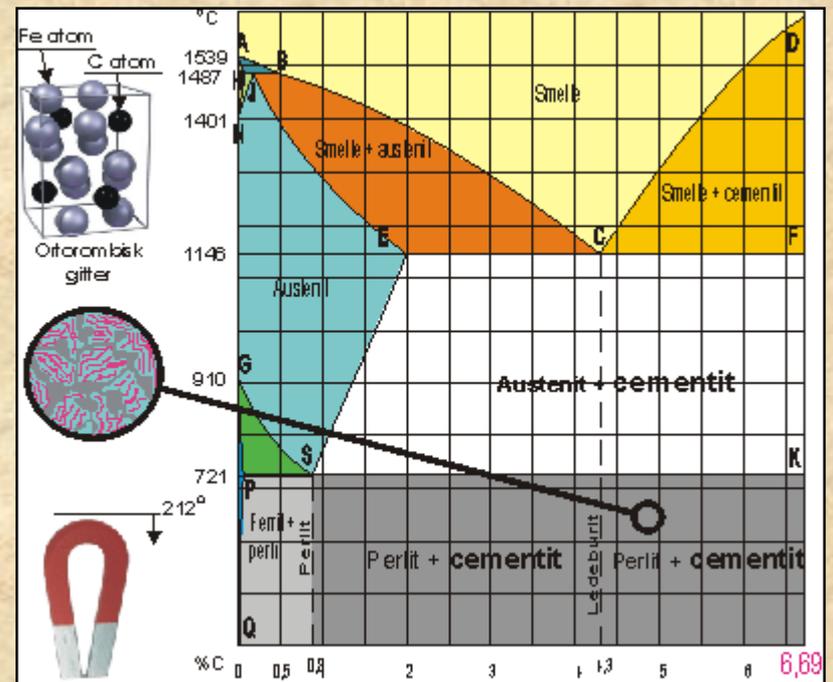
Austenit jest bardziej wytrzymały i bardziej plastyczny niż ferryt. Jest paramagnetykiem.



Cementyt - węgiel żelaza Fe_3C o strukturze rombowej; zawiera 6.67% wagowych C (25% at.C). Ze względu na znaczny udział wiązania metalicznego ma właściwości metaliczne. Punkt Curie 212°C . Jest bardzo twardy (700 HB), ale kruchy.

W stopach żelaza występuje w różnych składnikach strukturalnych (perlit, ledeburyt) lub w postaci oddzielnych wydzielań.

Nie jest trwały termodynamicznie – w wysokich temperaturach rozkłada się na ferryt i grafit.

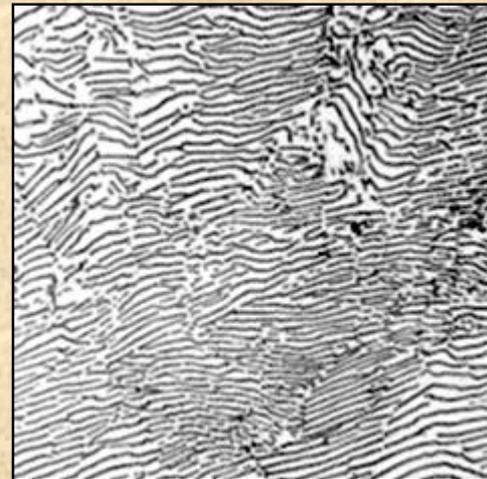


Perlit – eutektoid złożony z ferrytu i cementytu. Powstaje z austenitu w temperaturze eutektoidalnej 727°C .

Jest zbudowany z płytek ferrytu i cementytu w stosunku 7:1. Dyspersja perlitu (tzn. odległość pomiędzy płytkami) jest odwrotnie proporcjonalna do wielkości przechłodzenia względem temperatury eutektoidalnej 727°C .

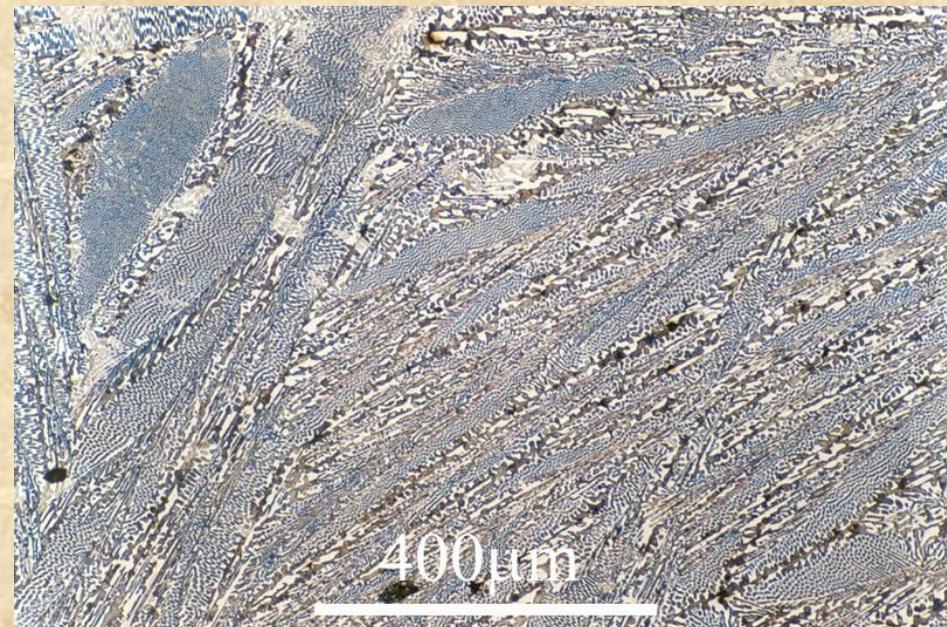
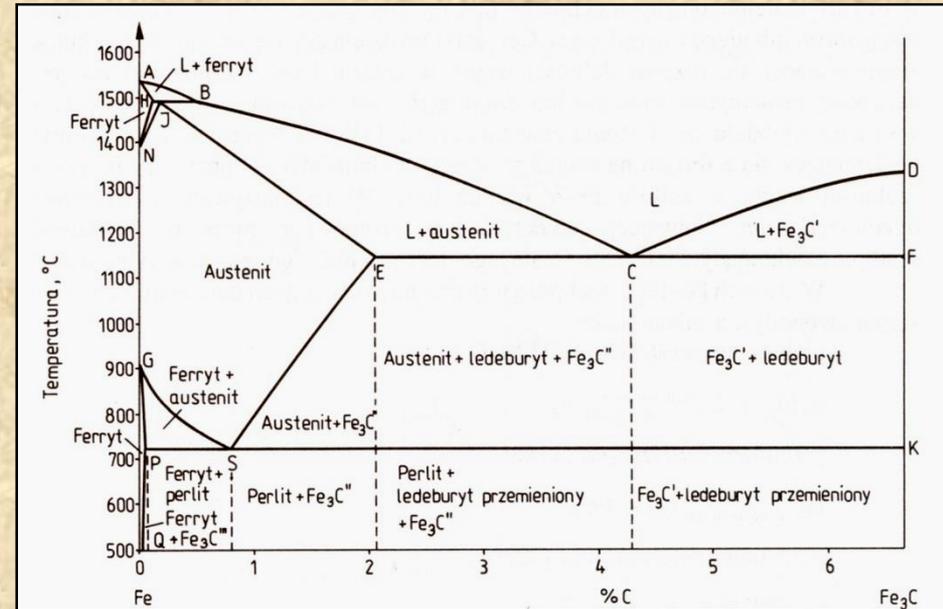
Właściwości perlitu zależą od jego dyspersji, tzn. wytrzymałość i twardość rosną w miarę rozdrabniania struktury. Pod mikroskopem optycznym przy małych powiększeniach perlit przybiera wygląd małych, perlitycznych obszarów, co jest przyczyną jego nazwy. Przy większych powiększeniach widoczna jest jego budowa płytkowa.

Twardość 180-220HB



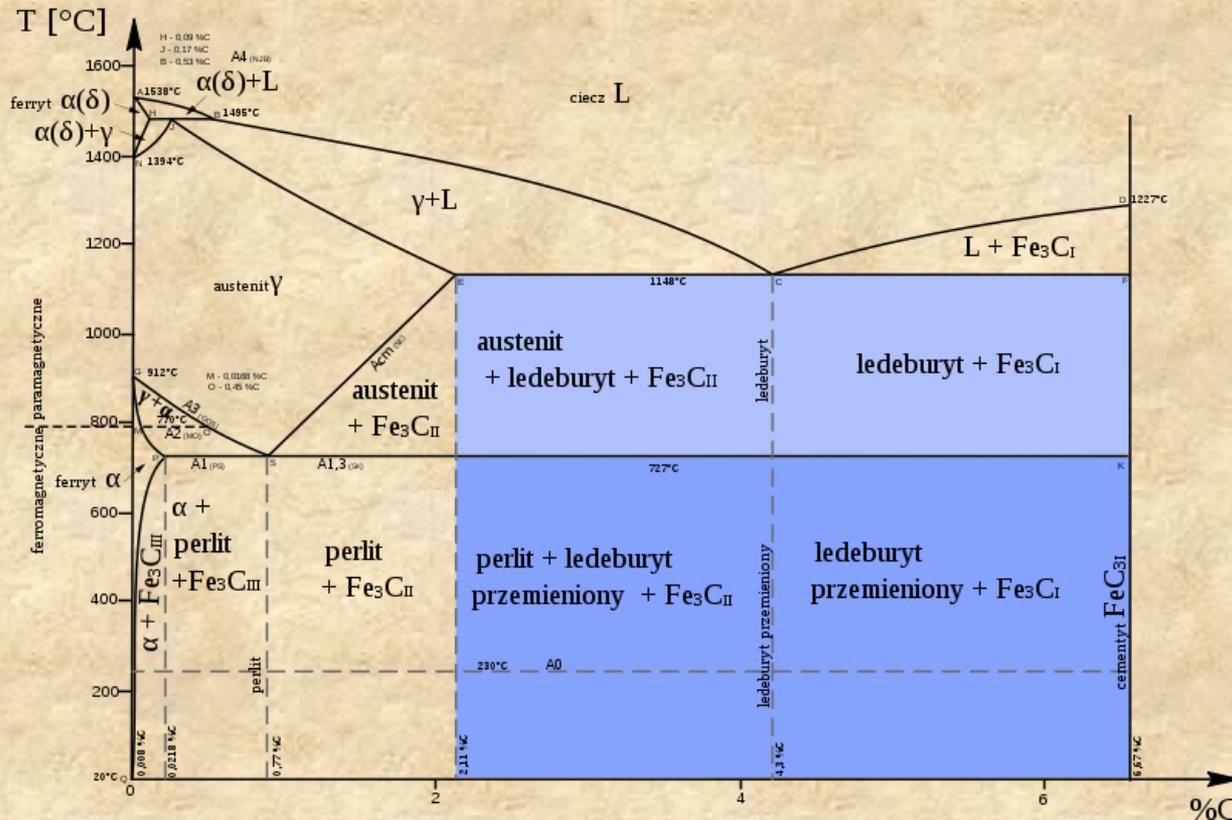
Stal węglowa konstrukcyjna wyższej jakości o strukturze perlityczno-ferrytycznej.

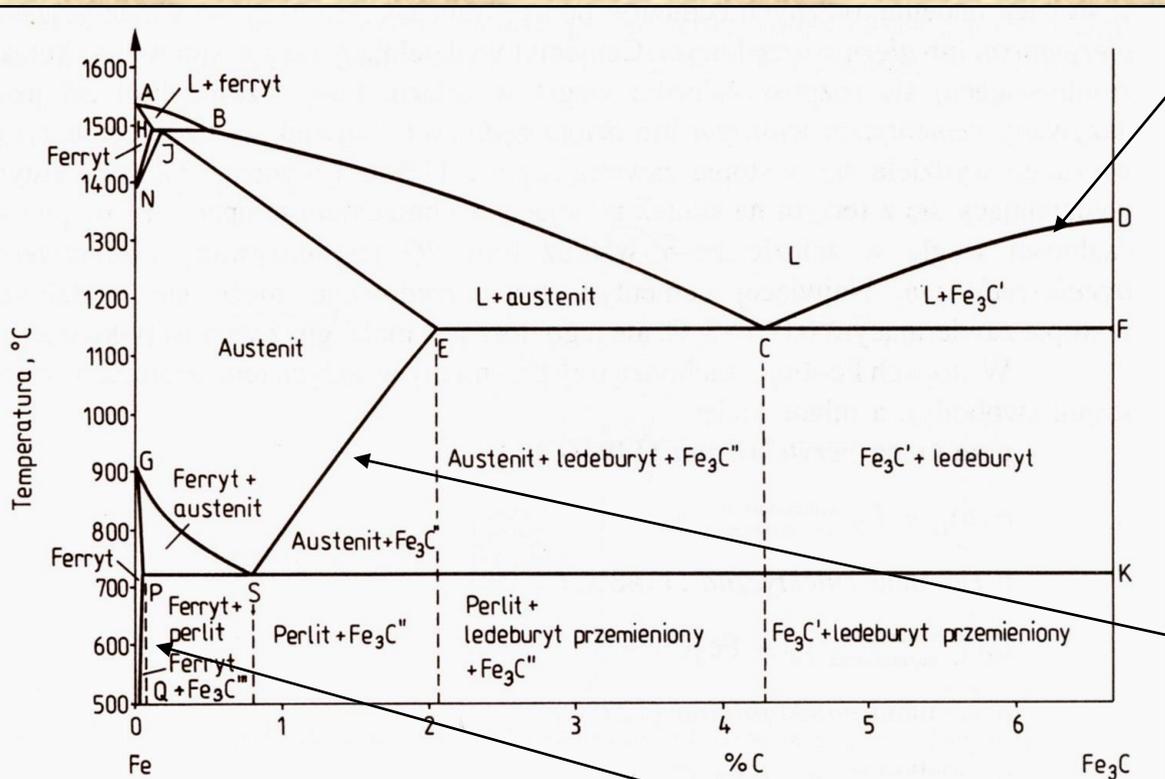
Ledeburyt – mieszanina eutektyczna austenitu i cementytu. Powstaje z roztworu ciekłego o zawartości 4.3%C. Jest składnikiem surówek (żeliw białych). Duża twardość (ok. 450 HB) i kruchość. Poniżej temperatury eutektoidalnej występuje jako **ledeburyt przemieniony** wskutek przemiany austenitu w perlit.



W temperaturze 727°C austenit zawarty w ledeburycie ulega przemianom. Austenit zawarty w ledeburycie rozkłada się na mieszaninę eutektoidalną ferrytu i cementytu drugorzędowego. **Ledeburyt przemieniony** to mieszanina perlitu i cementytu, Poniżej temperatury 727°C z ferrytu zawartego w **ledeburycie przemienionym** wydzielił się cementyt trzeciorzędowy w wyniku zmiennej rozpuszczalności węgla w $\text{Fe } \alpha$.

Ledeburyt przemieniony jest strukturą twardą i kruchą, nieplastyczną, trudno obrabialną mechanicznie. Te właściwości zawdzięcza on dużemu udziałowi cementytu, którego zawartość w mikrostrukturze wynosi ok. 64,5%.





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

Wydzielający się z cieczy w stopach nadeutektycznych cementyty poniżej linii DC – **Cementyt pierwotny lub pierwszorzędowy**

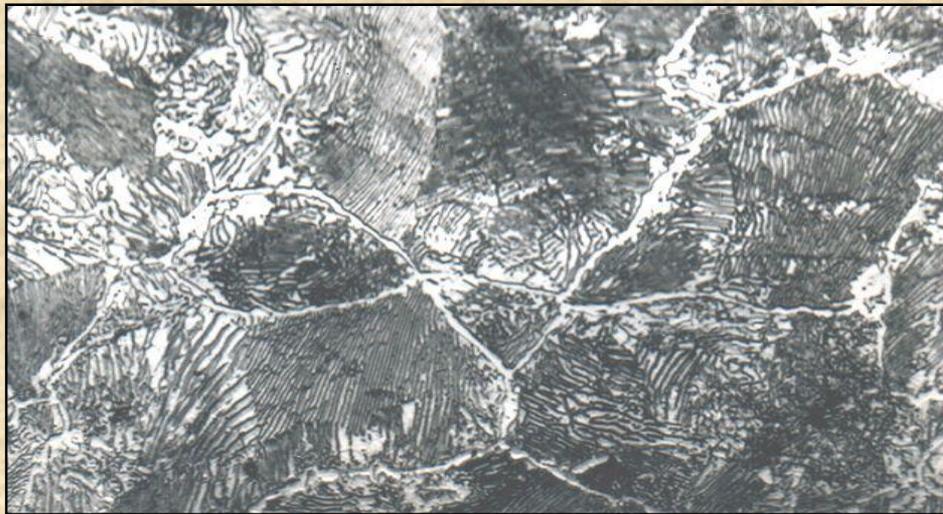
Wydzielający się z austenitu wskutek zmniejszającej się rozpuszczalności C w Fe γ wzdłuż linii ES **Cementyt wtórny lub drugorzędowy**

(największa ilość cementytu wtórnego wydziela się w stopie zawierającym 2.11%C i wynosi 23%)

Wydzielający się z ferrytu wskutek zmniejszającej się rozpuszczalności C w Fe α wzdłuż linii P poniżej linii PQ – **Cementyt trzeciorzędowy**
 (największa ilość cementytu trzeciorzędowego wydziela się w stopie zawierającym 0.0218%C i wynosi tylko 0.2%)



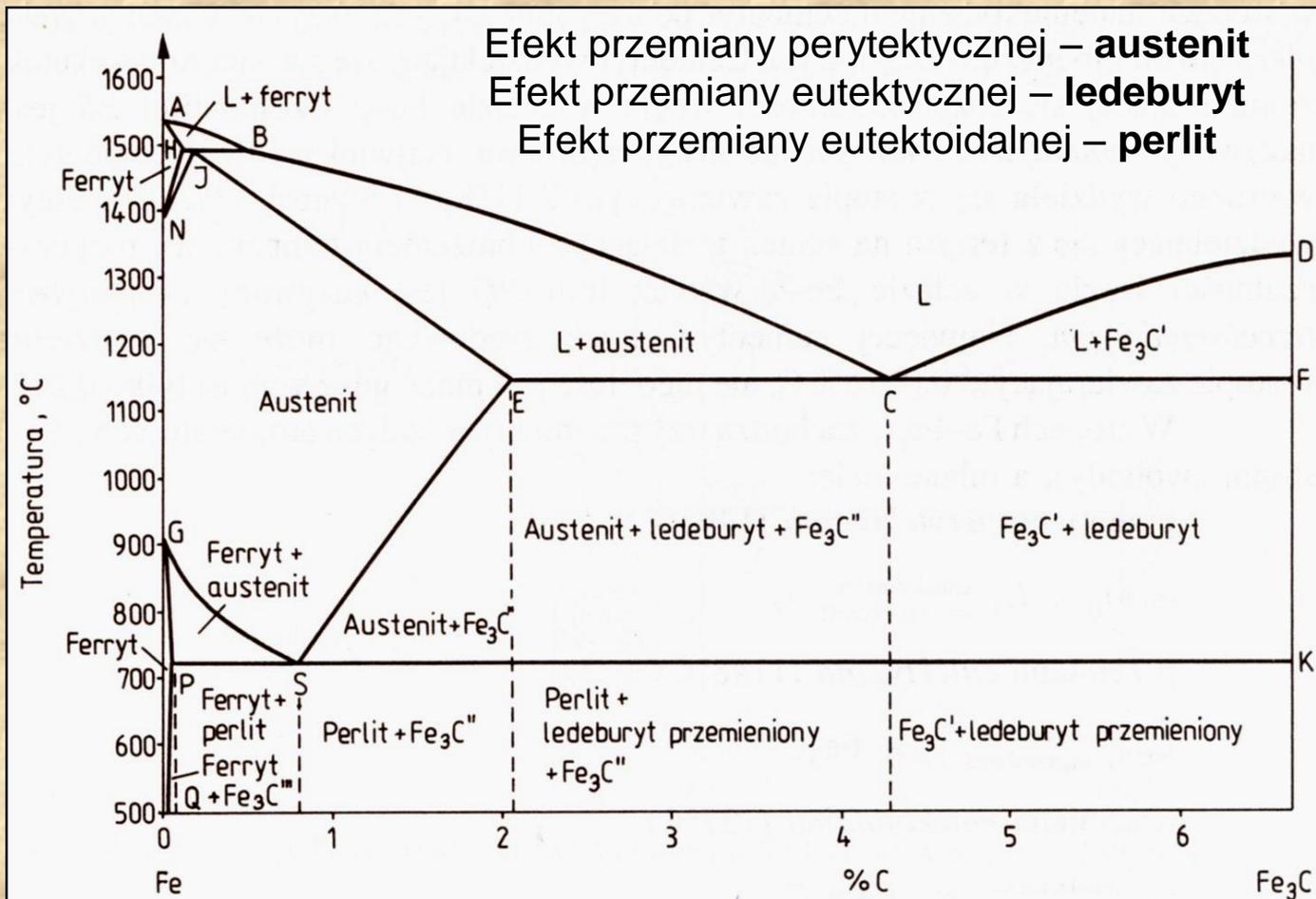
Długie wydzielienia **cementytu pierwotnego** na tle ledeburytu przemianego.



Ciemne ziarna perlitu, jasny **cementyt wtórny** na granicach ziarn.

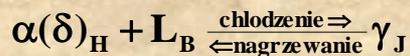


Jasne ziarna ferrytu, ciemny **cementyt trzeciorzędowy** na granicach ziarn (zawartość mniej niż 0.0218%C).

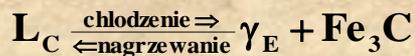


Ozn.	A	B	C	D	E	G	H	J	N	P	S	Q
%C	0	0,53	4,30	6,67	2,11	0	0,09	0,17	0	0,0218	0,77	0,008
Temp,°C	1538	1495	1148	1227	1148	912	1495	1495	1394	727	727	20

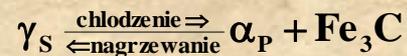
przemiana perytektyczna (1495° C)



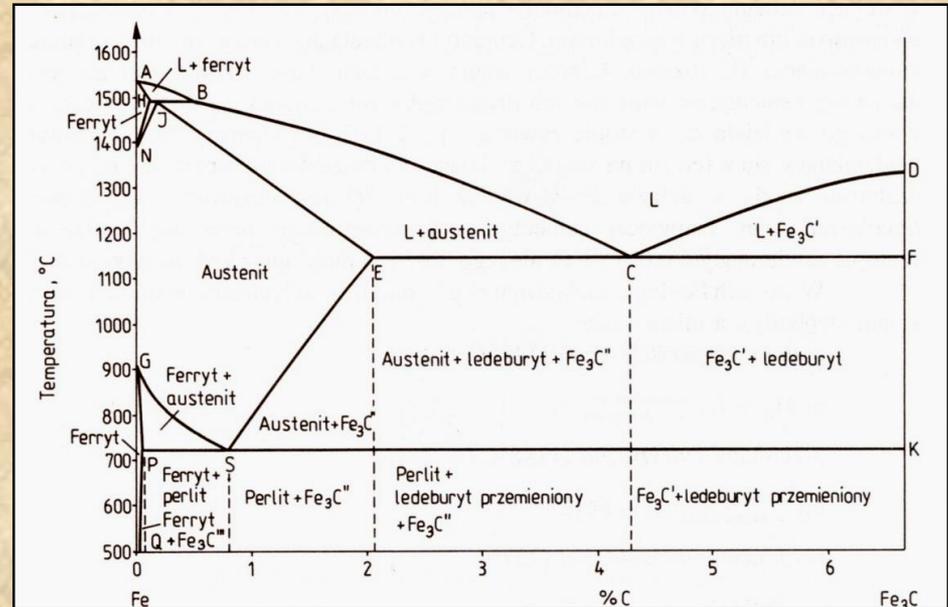
przemiana eutektyczna (1148° C)



przemiana eutektoidalna (727° C)



- Wykresy CPT_i stosuje się dla stali ze względu na dużą różnorodność tworzących się mikrostruktur podczas przemiany przechłodzonego Fe_γ



- Nomenklatura:

➤ linia PSK – A₁

(przemiana eutektoidalna)

➤ linia GS – A₃ (przemiana eutektoidalna)

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 GS.

➤ linia NJ – A₄

<http://akochmanska.zut.edu.pl/>

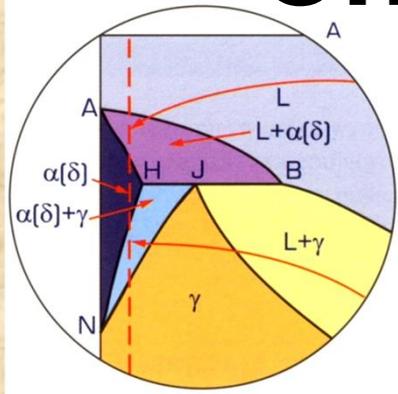
➤ linia SE – A_c*

➤ linia przemiany magnetyczne ferrytu – A₂ (770°C)

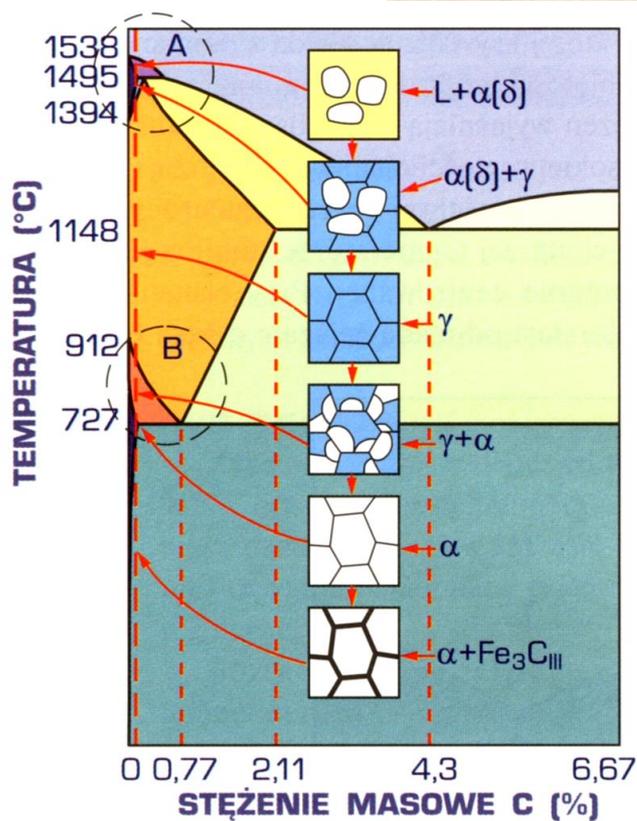
Typowe stopy żelaza z węglem

Oznaczenie stopu	Stężenie węgla	Typowe dla przedziału stężenie węgla na wykresie żelazo-cementyt, %
I	0,0218	$0 \div 0,17 (J)$
II	0,4	$0,17 (J) \div 0,53 (B)$
III	1,2	$0,53 (B) \div 2,11 (E)$
IV	3,5	$2,11 (E) \div 4,3 (C)$
V	5	$4,3 (C) \div 6,67 (F)$

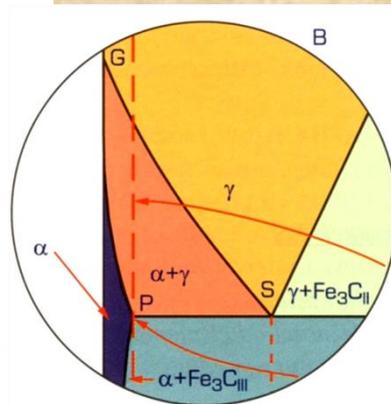
Chłodzenie stali ferrytycznej



Obniżenie temp. cieczy do linii AB powoduje wydzielanie z cieczy kryształów ferrytu $\alpha(\delta)$; zakres krzepnięcia ograniczony linią AB i AH. W obszarze AHN stop ma strukturę ferrytu $\alpha(\delta)$; z obniżeniem temp. poniżej linii HN – **przemiana dyfuzyjna ferrytu $\alpha(\delta)$ w austenit γ**



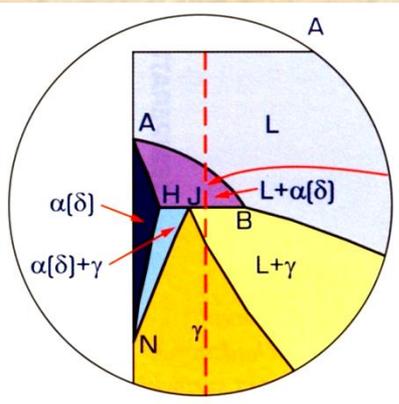
Poniżej linii NJ występuje austenit γ . Po obniżeniu temp. poniżej linii GS następuje przemiana dyfuzyjna austenitu γ w ferryt α . Dalsze chłodzenie – ubywa austenitu γ . Po osiągnięciu punktu P występuje 100% ferrytu α maksymalnie nasyconego węglem (0.0218%C)



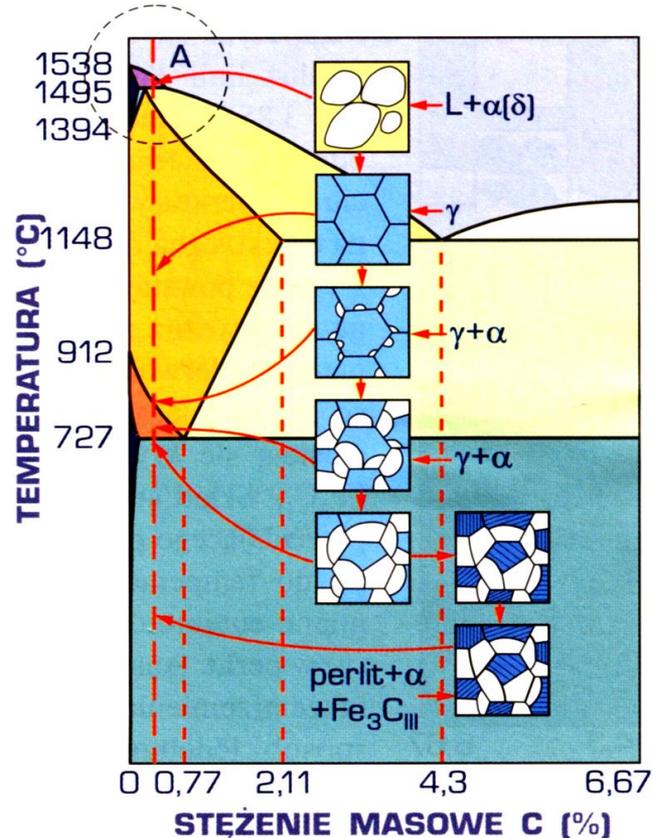
Przy dalszym chłodzeniu, na granicach ziaren ferrytu α nadmiar węgla wydziela się wzdłuż linii PQ w postaci cementytu trzeciorzędowego $\text{Fe}_3\text{C}_{III}$.

Struktura stali ferrytycznej w temp. pokojowej: **ferryt α i $\text{Fe}_3\text{C}_{III}$** .

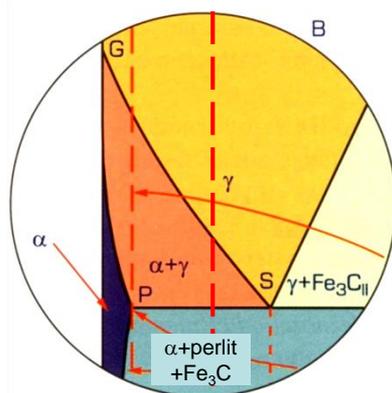
Chłodzenie stali podeutektoidalnej



Obniżenie temp. cieczy do linii AB powoduje wydzielanie z cieczy kryształów ferrytu $\text{Fe } \alpha(\delta)$ o udziale zwiększającym się aż do osiągnięcia 1495°C . W tej temp. – **reakcja perytektyczna: $L + \alpha(\delta) = \gamma$** . Nadmiar cieczy w tym stopie decyduje o uzyskaniu mieszaniny austenitu γ i cieczy L po zakończeniu przemiany perytektycznej. Ciecz z tej mieszaniny przemienia się z kolei w kryształy austenitu γ . Poniżej linii JE występuje wyłącznie austenit γ .

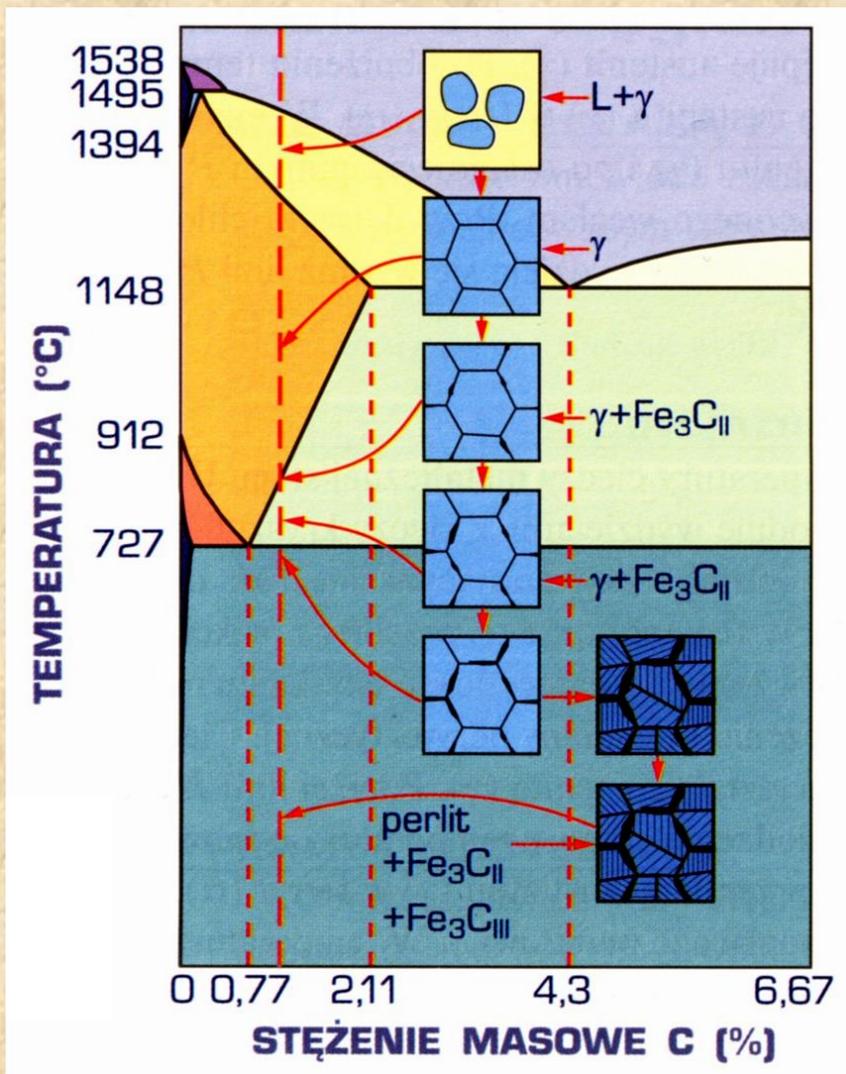


Po obniżeniu temp. poniżej linii GS następuje **przemiana dyfuzyjna** austenitu γ w ferryt α . Skład austenitu $\text{Fe } \gamma$ przesuwa się do punktu S a skład ferrytu α - do punktu P. W temp. 727°C **przebiega przemiana eutektoidalna** austenitu γ w perlit (eutektoid ferrytu α i cementytu Fe_3C).



Przy dalszym chłodzeniu poniżej 727°C z przesyconego ferrytu α nadmiar węgla wydziela się wzdłuż linii PQ w postaci cementytu trzeciorzędowego $\text{Fe}_3\text{C}_{III}$. Struktura podeutektoidalnej w temp. pokojowej: **ferryt, perlit i $\text{Fe}_3\text{C}_{III}$** .

Chłodzenie stali nadeutektoidalnej



Obniżenie temp. cieczy do linii BC powoduje wydzielanie z cieczy kryształów austenitu γ . Jego udział zwiększa się w tym stopie w miarę dalszego chłodzenia. Poniżej linii JE występuje wyłącznie austenit Fe γ .

Po obniżeniu temp. do linii SE austenit γ wykazuje pełne nasycenie węglem. Powoduje to wydzielanie kryształów cementytu wtórnego Fe₃C o udziale zwiększającym z obniżeniem temp do 727°C. Skład austenitu γ zmienia się wzdłuż linii SE do odpowiadającego punktowi S.

W temp. 727°C przebiega **przemiana eutektoidalna austenitu γ w perlit** (eutektoid ferrytu i cementytu), a wydzielony uprzedni cementyt wtórny Fe₃C_{II} nie ulega zmianie.

Struktura stali nadeutektoidalnej w temperaturze pokojowej: **perlit, Fe₃C_{II} i bardzo mały udział Fe₃C_{III}.**

Chłodzenie surówki podeutektycznej

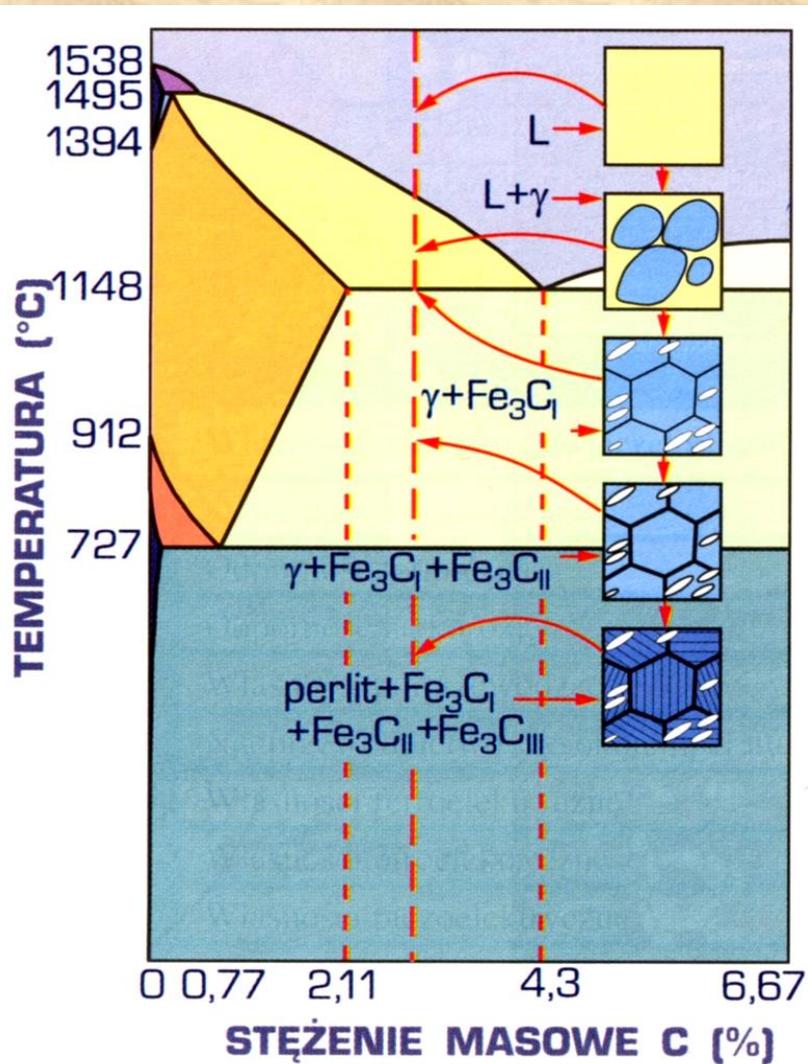
Obniżenie temp. cieczy do linii BC powoduje wydzielanie kryształów austenitu γ . Skład cieczy L zmienia się do punktu C. Po osiągnięciu temp. 1148°C przebiega **przemiana eutektyczna:**

$L = \gamma + \text{Fe}_3\text{C}$ Bezpośrednio z cieczy powstaje ledeburyt czyli mieszanina austenitu γ i cementytu pierwotnego Fe_3C_I .

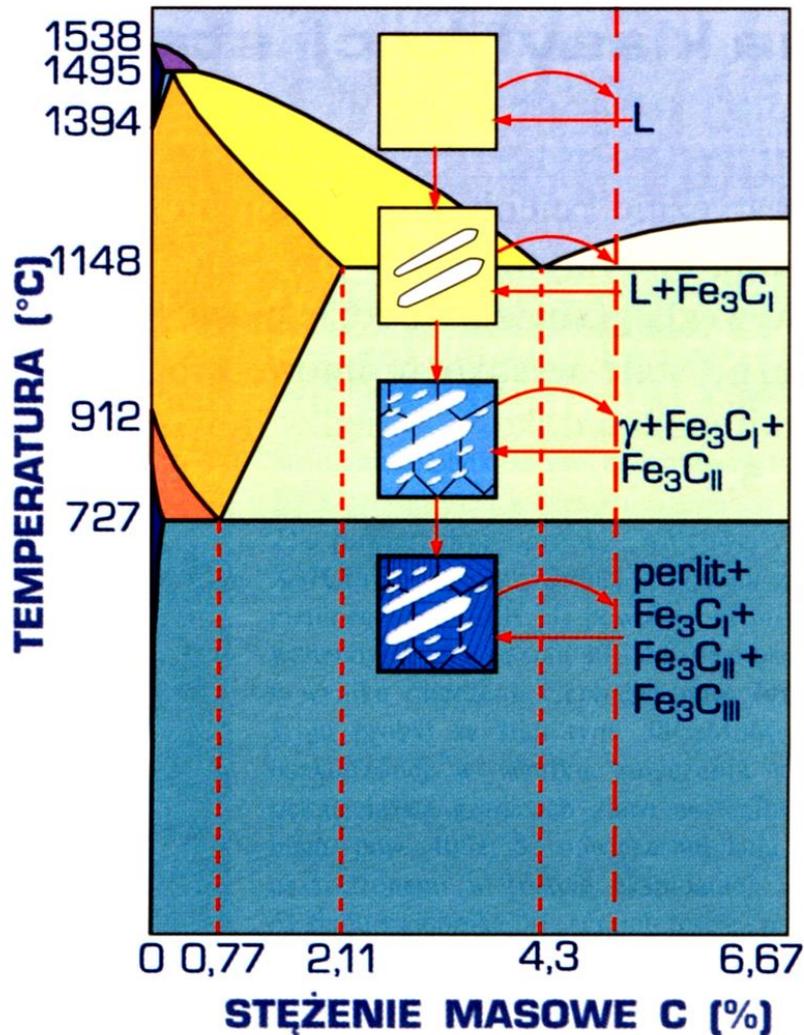
Podczas dalszego chłodzenia z przesyconego austenitu wydzielają się kryształy cementytu wtórnego Fe_3C_{II} . Skład austenitu γ przesuwa się do punktu S. Ochłodzenie stopu do temp. 727°C powoduje **przemianę eutektoidalną austenitu pierwotnego γ w perlit**.

Austenit γ tworzący ledeburyt także przemienia się w perlit. Powstaje w ten sposób **ledeburyt przemieniony (tj. mieszanina perlitu i cementytu)**. Poniżej temp. 727°C strukturę stopu stanowi **perlit, ledeburyt przemieniony (czyli mieszanina perlitu i cementytu) i cementyt wtórny**.

Dalsze chłodzenie stopu do temperatury pokojowej powoduje wydzielanie z ferrytu α cementytu trzeciorzędowego $\text{Fe}_3\text{C}_{III}$. Struktura surówki podeutektycznej: **perlit, ledeburyt przemieniony (perlit i Fe_3C_I), Fe_3C_{II} i $\text{Fe}_3\text{C}_{III}$** .



Chłodzenie surówki nadeutektycznej



Obniżenie temp. cieczy do linii CD powoduje wydzielanie kryształów cementytu pierwotnego Fe_3C_I . W miarę dalszego chłodzenia stopniowo zwiększa się udział tych kryształów. Jednocześnie ciecz ubożeje w węgiel aż do stężenia odpowiadającego punktowi C. Po osiągnięciu temp. $1148^\circ C$ przebiega **przemiana eutektyczna: $L = \gamma + Fe_3C$** . Bezpośrednio z cieczy powstaje eutektyka - ledeburyt czyli mieszanina austenitu γ i Fe_3C . Dalsze chłodzenie stopu do temp. $727^\circ C$ wpływa na wydzielanie węgla z austenitu ledeburycznego γ w postaci kryształów cementytu wtórnego Fe_3C_{II} . W temp. $727^\circ C$ austenit przemienia się w perlit tworząc **ledeburyt przemieniony (tj. mieszaninę perlitu i cementytu)**. Poniżej temp. $727^\circ C$ czyli temperatury eutektoidalnej strukturę stopu tworzy ledeburyt przemieniony i cementyt pierwotny Fe_3C_I . Dalsze chłodzenie stopu do temperatury pokojowej powoduje wydzielanie z ferrytu α cementytu trzeciorzędowego Fe_3C_{III} . Struktura surówki nadeutektycznej: **perlit, ledeburyt przemieniony (tj. mieszanina perlitu i cementytu Fe_3C_I), Fe_3C_{II} i Fe_3C_{III}** .