

7. UKŁADY RÓWNOWAGI FAZOWEJ

W rozważaniach dotyczących przemian fazowych i strukturalnych stopów metalicznych bardzo często korzysta się z wykresów równowagi, będących graficznym odpowiednikiem ich układów równowagi fazowej.

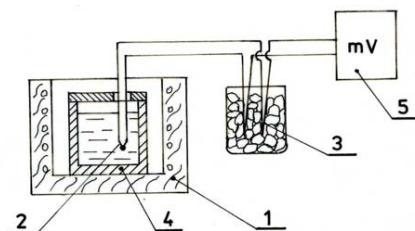
Wykresy układów równowagi fazowej wyznacza się doświadczalnie. Do tego celu służy analiza cieplna polegająca na pomiarze temperatur występujących w czasie nagrzewania lub chłodzenia poszczególnych stopów rozważanego układu równowagi. Mierzac temperaturę podczas chłodzenia wybranego stopu w określonych odcinkach czasu, można wyznaczyć dla niego krzywą chłodzenia i otrzymać charakterystyczne punkty (potocznie zwane krytycznymi), które mogą odpowiadać temperaturom: krzepnięcia, przemian alotropowych lub innych przemian fazowych w stanie stałym.

Punkty krytyczne mogą być wyznaczane metodą różnicową Roberts-Austena, przy pomocy analizy dylatometrycznej lub automatycznego zapisu zmian temperatury w czasie za pośrednictwem systemów komputerowych. Najprostszym jednak urządzeniem służącym do tego celu jest stanowisko z wykorzystaniem termopary.

7.1. Budowa stanowiska do analizy cieplnej stopów z zastosowaniem termopary

Stanowisko z zastosowaniem termopary przedstawiono na rys. 7.1. Składa się ono z pieca (1), termopary o zimnych końcach (3), zanurzonych w naczyniu z lodem, gorących końcach (2), umieszczonych w tyglu z badanym stopem (4), miliwoltomierza (5) oraz miernika czasu.

Mierzac temperaturę stopu od stanu ciekłego do temperatury pokojowej co pewien okres czasu (np. co 15 s) uzyskuje się punkty krytyczne, które umożliwiają wyznaczenie krzywych chłodzenia we współrzędnych temperatura - czas. Powtarzając takie pomiary dla wielu stopów utworzonych z tych samych składników ale o różnym stężeniu, otrzymuje się odpowiednio wiele krzywych chłodzenia. Chłodzenie stopu (lub nagrzewanie) należy prowadzić w warunkach zbliżonych do stanu równowagi, tj. z możliwie najmniejszymi szybkościami zmian temperatury.



Rys. 7.1. Schemat urządzenia do analizy cieplnej

7.2. Zasady pomiaru temperatury za pomocą termopary

Pomiar temperatury za pomocą termopary oparty jest na zjawisku termoelektrycznym oraz ściślej – na zależności siły termoelektrycznej od temperatury. Zjawisko termoelektryczne polega na powstawaniu siły termoelektrycznej w obwodzie zamkniętym (tzw. termooogniwie), złożonym z dwóch różnych przewodników metalowych w wyniku różnicy temperatur obu końców (spoin) obwodu. W termooogniwie (rys. 7.2) metalem dodatnim A względem drugiego

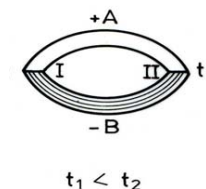
metalu B nazywa się metal, w którym prąd termoelektryczny będzie płynąć od spoiny cieplejszej II do zimniejszej I. Do celów technicznych wartość siły termoelektrycznej powstającej w termooogniwie określa równanie:

$$E = A(t_2 - t_1) + B(t_2^2 - t_1^2) \quad (7.1)$$

gdzie: t_1 – temperatura zimniej spoiny, °C

t_2 – temperatura gorącej spoiny, °C

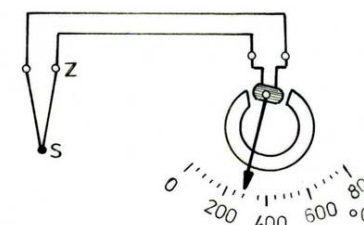
A, B – współczynniki stałe dla danego termooogniwa.



Rys. 7.2. Termooogniwo złożone z dwóch przewodników

Jak wynika z równania (7.1), wartość siły termoelektrycznej zależy od rodzaju materiałów termooogniwa oraz różnicy temperatur jego spoin. Siła termoelektryczna w termooogniwie jest proporcjonalna do różnicy temperatur obu spoin. Jeżeli założymy, że temperatura jednej ze spoin, np. zimniejszej będzie stała ($t_1 = \text{const}$), to w równaniu otrzymamy tylko jedną niewiadomą – temperaturę cieplejszej spoiny (t_2). Oznacza to, że siła termoelektryczna będzie proporcjonalna tylko do temperatury cieplejszej spoiny. Jeżeli następnie włączy się w miejscu spoiny zimniejszej miliwoltomierz, to będzie można mierzyć nim siłę termoelektryczną. Otrzymuje się w ten sposób termometr termoelektryczny (rys. 7.3), w którym wychylenia miernika są proporcjonalne do mierzonej temperatury. Termopara (termooogniwo) jako część składowa termometru nosi nazwę termoelementu, a poszczególne jego druty nazywane są termoelektrodami. Połączenie termoelektrod S (rys. 7.3) nazywa się spoiną mierniczą (spoina gorąca), a połączenia termoelektrod z miernikiem lub z przewodami łączeniowymi Z – spoinami odniesienia (zimne końce).

Spośród wielu metali i stopów używanych do termoelementu tylko nieliczne stosuje się do celów termometrycznych. Najczęściej używane termoelementy wraz z ich zakresem zastosowania podano w tabl. 7.1.



Rys. 7.3. Schemat termometru termoelektrycznego

Do analizy cieplnej stopów niskotopliwych zaleca się stosować termopary (termoelementy) żelazo – konstantan.

Tabl. 7.1. Najczęściej stosowane termoelementy

Skład termoelementu		Granice zastosowania [°C]			Uwagi
Termoelektroda		dolna	górna		
+	-		trwała	chwilowa	
miedź – konstantan		-200	400	600	wrażliwy na utlenianie
żelazo – konstantan		-200	700	900	wrażliwy na utlenianie
nikielchrom – kopel		0	600	800	wrażliwy na utlenianie
nikielchrom – nikiel		0	1000	1300	wrażliwy na gazy zawierające siarkę
platynorod - platyna		0	1300	1600	wrażliwy na związki siarki, krzemu i pary metali

7.3. Pojęcie fazy, składnika stopu i układu równowagi

Zmiany temperatury w czasie chłodzenia i nagrzewania stopu zależą od rodzaju powstających faz.

Fazą nazywa się jednorodną pod względem składu i budowy część układu równowagi, oddzieloną od pozostałej części powierzchnią rozdziału, zwaną granicą faz. Na granicy faz skład i właściwości zmieniają się w sposób nieciągły (skokowy). Rozróżnia się fazy ciekłe i stałe. Wśród faz stałych wyróżnia się czyste pierwiastki, roztwory stałe i fazy międzymetaliczne.

Składnikiem układu mogą być zarówno pierwiastki, jak i fazy międzymetaliczne.

Układem równowagi nazywa się zbiór faz znajdujących się w stanie równowagi.

Przebieg krystalizacji stopów zależy od rodzaju składników w nich występujących ich stężenia, tworzących się faz, a także warunków fizycznych: temperatury i ciśnienia. Związek między liczbą składników i faz oraz liczbą stopni swobody układu ujmuje reguła faz Gibbsa.

7.4. Reguła faz Gibbsa

Liczba stopni swobody układu jest to liczba zmiennych niezależnych układu, jak temperatura, ciśnienie oraz stężenie składników w stopie, niewywołujących zmiany liczby faz w tym stopie.

Przyjmując, że w stopach metali nie zachodzą reakcje chemiczne oraz że w rozpatrywanym zakresie temperatur ciśnienie jest stałe, reguła faz Gibbsa przyjmuje postać:

$$S = m - f + 1$$

gdzie: S – liczba stopni swobody układu,
 m – liczba składników niezależnych (pierwiastki lub fazy międzymetaliczne),
 f – liczba faz.

Z zależności tej wynika, że w przypadku czystego metalu znajdującego się w stanie ciekłym liczba stopni swobody $S = 1 - 1 + 1 = 1$, ponieważ: $m = 1$ (istnieje jeden składnik), $f = 1$ (istnieje tylko faza ciekła). Jeśli liczba stopni swobody wynosi 1, to można zmieniać tylko temperaturę (w pewnym zakresie), aby metal pozostał w stanie ciekłym. Natomiast podczas krystalizacji metalu liczba stopni swobody $S = 1 - 2 + 1 = 0$, ponieważ współistnieją dwie fazy (faza ciekła i stała), co oznacza, że nie można zmienić temperatury, aby nie spowodować zaniku żadnej z faz. Fazy te mogą być więc w równowadze tylko w stałej temperaturze (metale krzepną w stałej temperaturze).

W układach dwuskładnikowych S może przyjąć trzy wartości $S = 0, 1$ i 2 . Oznacza to, że czynnikami, które można zmieniać, są: temperatura i skład faz.

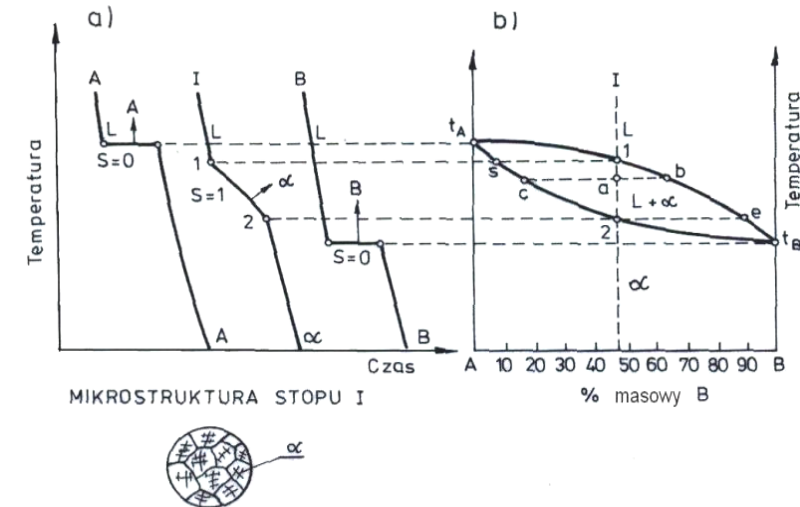
7.5. Budowa, opis fazowy i strukturalny wykresów równowagi stopów dwuskładnikowych

Wyznaczone w wyniku analizy cieplnej temperatury przemian fazowych czystych składników układu oraz stopów o różnym stężeniu przenosi się do układu współrzędnych temperatura-skład chemiczny i łączy punkty początku i końca określonych przemian. W efekcie powstają pola o takich samych składach fazowych na wykresie równowagi fazowej.

7.5.1. Układ o nieograniczonej rozpuszczalności składników w stanie stałym

Układ ten powstaje wówczas, gdy składniki stopów tworzą roztwory stałe ciągle różnowęzłowe. Należą do nich między innymi stopy: Au–Ag, Au–Bi, Bi–Sb, Cu–Ni, Fe–Mn, Fe–Ni.

Przebieg krystalizacji poszczególnych stopów układu przedstawiają krzywe chłodzenia (rys. 7.4a), zaś wykres równowagi fazowej zbudowany na ich podstawie pokazano na rys. 7.4b.



Rys. 7.4. Budowa wykresu równowagi stopów dwuskładnikowych o nieograniczonej rozpuszczalności składników w stanie stałym: a) krzywe chłodzenia, b) wykres równowagi fazowej

W rozważanym układzie równowagi, w którym składniki nazwano ogólnie A i B, wyróżnić można obszar, w którym występuje roztwór ciekły (L), obszar $(L+\alpha)$ oraz obszar roztworu stałego α . Fazami w tym układzie są roztwory: ciekły (L) i stały (α). Linia $t_A t_B$ (końca krystalizacji) - linią solidus. Proces krystalizacji roztworu stałego z cieczy przebiega podobnie dla wszystkich stopów układu. Dlatego też omówiony zostanie przykładowo dla stopu I, chłodzonego z obszaru roztworu ciekłego L. Tworzące się w punkcie 1 zarodki krystalizacji (ilość stopni swobody $S = 2 - 2 + 1 = 1$) stanowią zarazem zarodki dendrytów fazy α (dendryt – kryształ o rozgałęzionej budowie, wykazujący zróżnicowanie składu chemicznego między wnętrzem i powierzchnią), posiadają skład chemiczny odpowiadający punktowi s i są

bogate w składnik A o wyższej temperaturze krzepnięcia. W miarę obniżania temperatury od linii likwidus do solidus następuje stopniowy rozrost dendrytów i wypełnianie przestrzeni międzydendrytycznych, przy czym skład roztworu α zmienia się wzdłuż linii solidus (odcinek s-2), natomiast skład cieczy wzdłuż likwidus (odcinek l-e).

W stopie I ilość fazy stałej α i ciekłej L w obszarze między liniami likwidus i solidus (punkt a) można wyznaczyć z reguły dźwigni (rys. 7.4b).

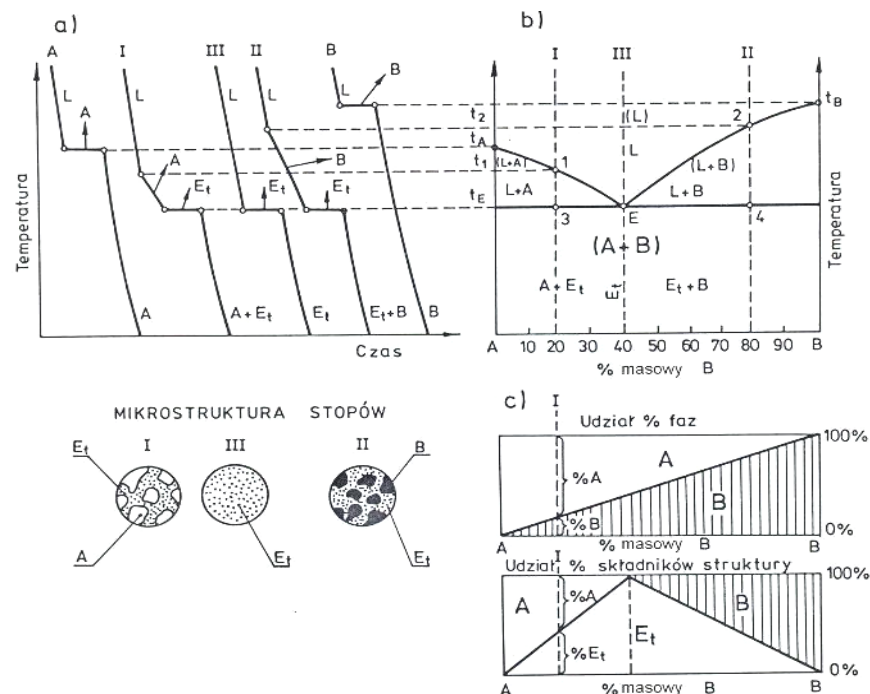
$$\% \alpha = \frac{ab}{cb} \cdot 100\%, \quad \% L = \frac{ca}{cb} \cdot 100\% \quad (7.3)$$

Wszystkie stopy w układzie o nieograniczonej rozpuszczalności składników w stanie stałym w temperaturze otoczenia zbudowane są wyłącznie z roztworu stałego - fazy α .

7.5.2. Układ bez rozpuszczalności składników w stanie stałym z eutektyką

Układ ten tworzą składniki A i B wykazujące całkowitą rozpuszczalność w stanie ciekłym i brak rozpuszczalności w stanie stałym. Przykładem mogą być stopy: Cd-Bi, As-Pb, Cr-Mo, Zn-Sn lub Pb-Sn.

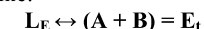
Podobnie jak poprzedni, wykres ten można skonstruować w oparciu o krzywe chłodzenia badając temperatury przemian fazowych czystego składnika A i kolejnych stopów składnika A z rosnącą zawartością składnika B, aż w końcu czystego składnika B (rys. 7.5).



Rys. 7.5. Budowa wykresu równowagi stopów dwuskładnikowych bez rozpuszczalności składników w stanie stałym z eutektyką: a) krzywe chłodzenia, b) wykres równowagi fazowej, c) wykres Sauveura. Opis fazowy wykresu podano w nawiasach

Krzepnięcie roztworu ciekłego L w stopie I odbywa się w temperaturach od t_1 do t_E . W temperaturze t_1 rozpoczyna się krystalizacja pierwszych kryształów metalu A, których ilość wzrasta wraz ze spadkiem temperatury. Występujący obok kryształów metalu A roztwór ciekły ubożeje w ten metal, a jego skład chemiczny samoczynnie zmienia się od punktu 1 w temperaturze t_1 do E w temperaturze t_E . Zatem tuż po osiągnięciu temperatury t_E w stopie I występują kryształy metalu A oraz roztwór ciekły (L) o składzie chemicznym punktu E.

W tym momencie rozpoczyna się przemiana zwana **eutektyczną**. Polega ona na tym, iż z roztworu ciekłego o składzie punktu E krystalizują jednocześnie oba metale A i B. Przemianę tę można zapisać w formie:



Drobnoziarnistą mieszaninę (A + B), tworzącą się zawsze w stałej temperaturze t_E nazywa się mieszaniną eutektyczną lub krótko eutektyką E_t , zaś temperaturę t_E – temperaturą eutektyczną.

Jak już zauważono, w czasie tworzenia się eutektyki utrzymuje się stała temperatura t_E . Również skład chemiczny faz biorących udział w przemianie jest stały: A (100%A), B (100%B) i L (L_E). Potwierdza to reguła faz Gibbsa: $S = 2 - 3 + 1 = 0$.

W temperaturach od t_E do temperatury otoczenia w stopie I nie zachodzą już inne przemiany fazowe i mikrostruktura tego stopu składa się z kryształów metalu A, który wykrył się między punktami 1-3, oraz mieszaniny eutektycznej E_t powstałej w temperaturze t_E . W skrócie mikrostrukturę stopu I w temperaturze otoczenia można opisać: A + E_t .

Przebieg krzepnięcia stopu II jest podobny, z tą jednak różnicą, że krzepnięcie rozpoczyna się od krystalizacji metalu B i w miarę obniżania się temperatury od t_2 do t_E skład chemiczny roztworu ciekłego zmierza od punktu 2 do E. Po osiągnięciu przez roztwór ciekły składu punktu E krystalizuje także mieszanina eutektyczna złożona z drobnych kryształów metali A i B. Mikrostrukturę stopu II w temperaturze otoczenia można opisać: B + E_t .

Stop III pozostający ciekłym do temperatury t_E , w której z roztworu ciekłego L_E krystalizuje drobnoziarnista mieszanina eutektyczna (A + B) = E_t nazywa się stopem eutektycznym.

Omawiany wykres można opisać dwójako: podając wyłącznie rodzaj faz lub uwzględniając dodatkowo ich morfologię. W pierwszym wypadku używa się określenia: opis fazowy. Na wykresie w nawiasach podano fazy występujące w obszarach ograniczonych grubymi liniami (rys. 7.5b): (L), (L + A), (L + B) i (A + B).

Opis, który uwzględnia obecność produktu przemiany eutektycznej – eutektykę $E_t = (A + B)$, nazwano strukturalnym. Jest on pomocny przy ocenie struktury stopów w badaniach mikroskopowych. Mimo, że wszystkie stopy tego układu w temperaturze otoczenia zawierają fazy A i B, ich struktura jest różna: A + E_t (stopy podeutektyczne), E_t (stop eutektyczny) i B + E_t (stopy nadeutektyczne).

Powyżej temperatury t_E opis strukturalny nie różni się od fazowego, ponieważ fazy: roztwór ciekły L, metale A i B są również składnikami struktury.

Relacje ilościowe między fazami lub składnikami struktury i składem chemicznym można określić na podstawie wykresów Sauveura przedstawionych na rysunku 7.5c.

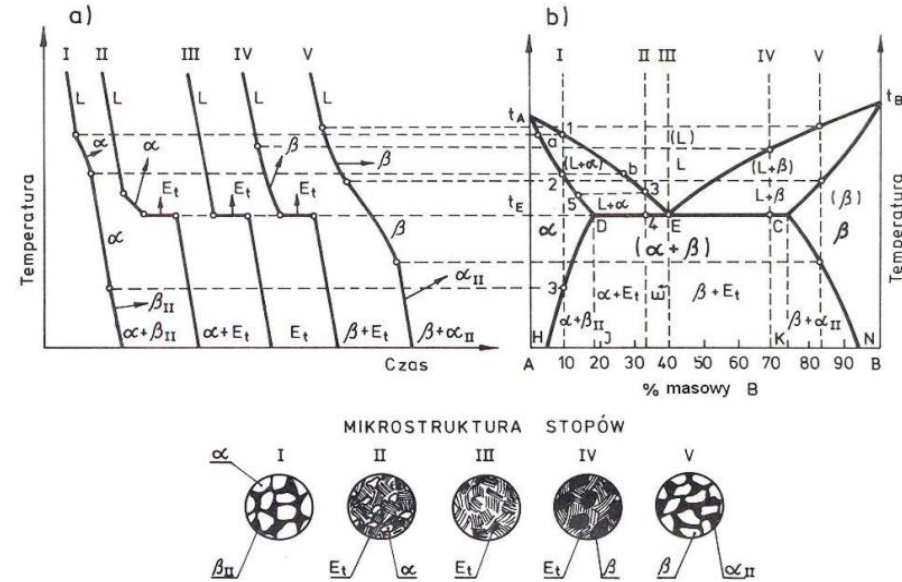
7.5.3. Układ z ograniczoną rozpuszczalnością składników w stanie stałym z eutektyką

Układ taki tworzą: Al z Ge, Zn z Mg, Ag z Cu, Cu z Sn, tj. metale które wykazują całkowitą rozpuszczalność w stanie ciekłym oraz ograniczoną w stanie stałym (rys. 7.6).

Ograniczona rozpuszczalność metalu B w metalu A (tworzenie roztworu granicznego α) w stanie stałym polega na tym, iż tylko pewna ilość atomów metalu B jest rozmieszczona w sieci przestrzennej metalu A. Natomiast w roztworze stałym granicznym β , atomy metalu A rozmieszczone są w ograniczonej ilości w sieci przestrzennej metalu B.

Podobnie jak w poprzednich układach, ten wykres równowagi można skonstruować badając temperatury przemian fazowych czystego metalu A i kolejnych stopów metalu A z rosnącą zawartością metalu B, aż w końcu czystego metalu B (rys. 7.6).

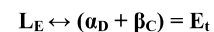
W tym układzie stop I krzepnie w temperaturach między punktami 1-2, czego produktem są kryształy roztworu stałego α . Od punktu 2 do 3 skład chemiczny roztworu stałego α nie ulega zmianie. W temperaturach niższych od punktu 3 rozpuszczalność składnika B w roztworze zmniejsza się wraz ze spadkiem temperatury wzdłuż linii DH. Nadmiar składnika B wydziela się w obrębie granic ziarn roztworu α w postaci fazy wtórnej β_{II} .



Rys. 7.6. Budowa wykresu równowagi stopów dwuskładnikowych z ograniczoną rozpuszczalnością składników w stanie stałym z eutektyką: a) krzywe chłodzenia, b) wykres równowagi fazowej. Opis fazowy wykresu podano w nawiasach

Przebieg krzepnięcia stopu II w temperaturach między liniami likwidus i solidus jest podobny, jak w stopie I. W tych warunkach krystalizuje roztwór α , którego skład chemiczny wraz ze spadkiem temperatury samoczynnie zmienia się od punktu 5 do punktu D w temperaturze t_E . Natomiast skład chemiczny roztworu ciekłego L w podobny sposób zmienia swój skład od punktu 3 do E. Po osiągnięciu przez roztwór ciekły składu punktu E i temperatury t_E zachodzi przemiana eutektyczna (analogicznie przebiega w stopie III), w wyniku której krystalizują jednocześnie roztwory graniczne α (skład punktu D) i (skład punktu C).

Przemianę eutektyczną w tym układzie można zapisać w formie:



Poniżej temperatury przemiany eutektycznej z roztworów stałych granicznych α i β , zarówno pierwotnych (wydzielonych przed przemianą eutektyczną), jak i wchodzących w skład eutektyki $E_t = (\alpha + \beta)$, na skutek zmniejszenia się rozpuszczalności wzajemnej składników A i B wydziela się kryształy α_{II} i β_{II} . Fazy te dokrystalizowują do ziarn roztworów α i β w

eutektyce i najczęściej nie można ich odróżnić w badaniach metalograficznych mikroskopowych.

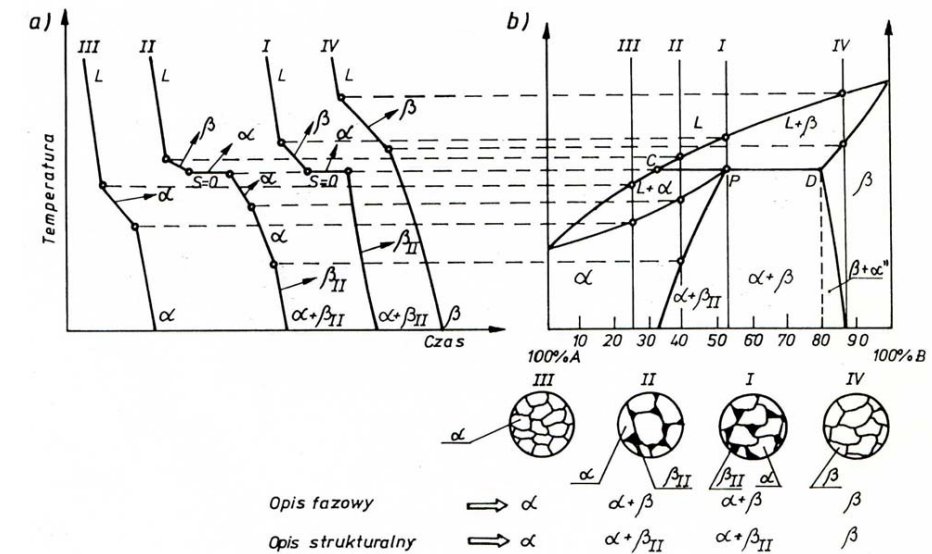
Przebieg krzepnięcia stopów IV i V jest podobny jak stopów I i II.

Opis fazowy wykresu równowagi o ograniczonej rozpuszczalności (rys. 7.6b) podano w nawiasach: (L), (L + α), (α), (β) i ($\alpha + \beta$).

Opis strukturalny uwzględni obecność produktów przemiany eutektycznej $E_t = (\alpha + \beta)$ oraz wydzielań wtórnych α_{II} i β_{II} . W stanie stałym dokonuje podziału na stopy eutektyczne o strukturze $E_t = (\alpha + \beta)$, podeutektyczne $\alpha + E_t$ oraz nadeutektyczne o strukturze $E_t + \beta$. W opisie strukturalnym wykresu należy również wyróżnić pola pod liniami zmiennej rozpuszczalności DH i CN, które opisano odpowiednio $\alpha + \beta_{II}$ i $\beta + \alpha_{II}$.

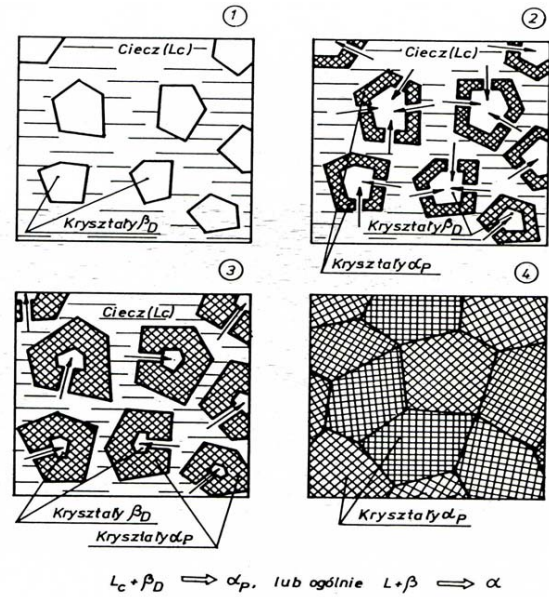
Na podstawie opracowanych wykresów równowagi faz można odczytać zakresy stabilności faz ciekłych i stałych występujących w danym układzie w zależności od temperatury i składu chemicznego poszczególnych jego stopów, jak również dokonać opisu mikrostruktury, prognozować niektóre właściwości oraz zaprojektować procesy obróbki cieplnej stopów.

7.5.4. Układy równowagi o ograniczonej rozpuszczalności w stanie stałym z perytektką (rys. 7.7) tworzą stopy: Ag-Pt, Au-Fe, Co-Cu, Co-Os, Ti-W i inne, których składniki wykazują ograniczoną rozpuszczalność w stanie stałym. Cechą charakterystyczną tego układu (stop I) jest reakcja cieczy Lc (skład punktu C) z wydzielnymi kryształami roztworu stałego granicznego β_D (skład punktu D), wskutek czego powstaje nowy roztwór stały α o stężeniu punktu P (**punkt przemiany perytektycznej**). Stąd przemiana ta nazywa się przemianą perytektyczną, a jej przebieg wyjaśnia rys. 7.8.



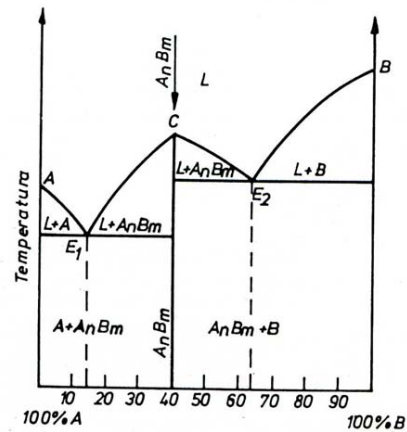
Rys. 7.7. Budowa wykresu równowagi stopów dwuskładnikowych o ograniczonej rozpuszczalności w stanie stałym z perytektką: a) krzywe chłodzenia, b) wykres równowagi fazowej

Na podstawie reguły faz Gibbsa można określić, iż przemiana odbywa się w stałej temperaturze ($S = 0$) do momentu wyczerpania się cieczy o stężeniu punktu C. Dalszy przebieg stygnięcia stopu I oraz pozostałych (rys. 7.7), jest podobny, jak w układzie o ograniczonej rozpuszczalności w stanie stałym z eutektyką (rys. 7.6).

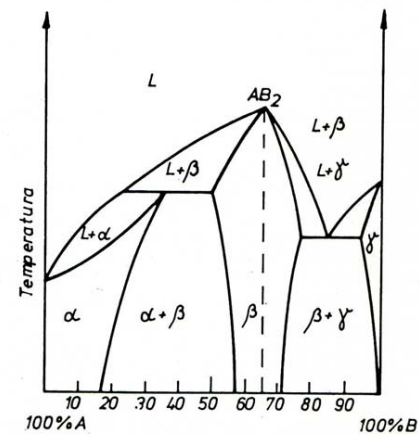


Rys. 7.8. Schemat przemiany perytektycznej

7.5.5. Układ równowagi z fazami międzymetalicznymi tworzą składniki rozpuszczające się całkowicie w stanie ciekłym, natomiast nierozpuszczające się w stanie stałym, lecz tworzące fazy międzymetaliczne (rys. 7.9). W wielu wypadkach fazy międzymetaliczne występują także w szerszym zakresie stężeń tworząc tzw. **roztwory wtórne** oparte na fazie międzymetalicznej (rys. 7.10).



Rys. 7.9. Wykres równowagi fazowej składników tworzących w stanie stałym trwałą fazę międzymetaliczną $A_n B_m$



Rys. 7.10. Wykres równowagi fazowej z roztworami stałymi granicznymi (α i γ) oraz granicznym wtórnym (β) opartym na fazie międzymetalicznej AB_2

7.5.6. Układ równowagi o ograniczonej rozpuszczalności w stanie ciekłym

Niektóre składniki wykazują ograniczoną rozpuszczalność w stanie ciekłym i bardzo małą rozpuszczalność albo brak rozpuszczalności w stanie stałym. W takim przypadku mogą one tworzyć układ równowagi fazowej z **monotektyką**, w którym występują w stanie ciekłym dwie fazy, tak jak na wykresie przedstawionym na rys. 7.11: roztwór L_1 , o max. rozpuszczalności metalu B w A - c_1 i roztwór L_2 , o max. rozpuszczalności metalu A w B - c_2 . Ze wzrostem temperatury rozpuszczalność wzajemna składników w stanie ciekłym zwiększa się, aż do utworzenia jednorodnego roztworu ciekłego L. Przykładem składników tworzących układy z monotektyką są Cu-Pb, Pb-Ge.

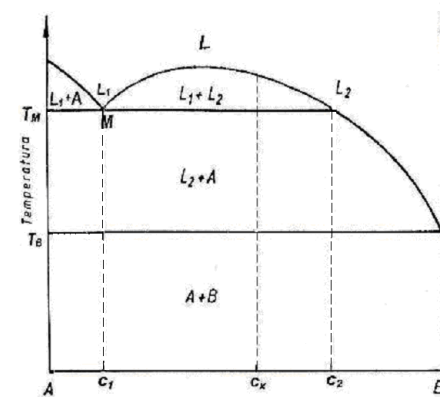
Podczas chłodzenia przykładowego stopu o składzie chemicznym odpowiadającym punktowi c_x (rys. 7.11) z roztworu ciekłego L, powstaje mieszanina dwóch cieczy L_1 i L_2 , które są w równowadze do temperatury przemiany monotektycznej T_M . W tej temperaturze roztwór ciekły L_1 ulega przemianie monotektycznej w punkcie M, na mieszaninę fazy stałej A i roztworu ciekłego L_2 bogatego w składnik B. Podczas dalszego obniżania temperatury z roztworu L_2 krystalizuje składnik A, dopóki ciecz nie osiągnie składu B i w stałej temperaturze T_B wykrytalizuje jako B.

7.5.7. Układy równowagi z przemianami fazowymi w stanie stałym

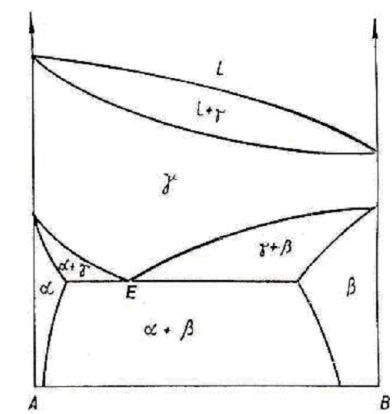
W przypadku gdy przynajmniej jeden ze składników tworzących układ równowagi posiada odmiany alotropowe, np. Fe, Co, Mn Sn, Zr, Ti, to oprócz krystalizacji ze stanu ciekłego występują dodatkowo przemiany fazowe w stanie stałym. Przykładem mogą być układy z przemianami fazowymi: **eutektoidalną** bądź **perytektoidalną**. Przemiany te zachodzą tylko z udziałem faz stałych.

Jeżeli każdy ze składników tworzących układ równowagi ma dwie odmiany alotropowe i ograniczoną rozpuszczalność w stanie stałym, to przemiana eutektoidalna w takim układzie przedstawionym na wykresie równowagi (rys. 7.12), polega na przemianie fazowej roztworu stałego γ na mieszaninę eutektoidalną roztworów granicznych ($\alpha + \beta$), w stałej temperaturze, w punkcie eutektoidalnym E. Przemiana ta jest analogiczna do przemiany eutektycznej, która polega na tworzeniu mieszaniny eutektycznej z roztworu ciekłego, a w przypadku eutektoidu - z roztworu stałego.

Podobna analogia dotyczy przemiany perytektoidalnej w stosunku do przemiany perytektycznej.



Rys. 7.11. Wykres równowagi fazowej składników z ograniczoną rozpuszczalnością w stanie ciekłym - układ z monotektyką



Rys. 7.12. Wykres równowagi fazowej z eutektoidem ($\alpha + \beta$). Opis fazowy