

Ferryt:

- Międzywęzłowy roztwór stały węgla w żelazie (alfa lub δ)

W fazie alfa:

- Występuje w polu AHN
- Maksymalna rozpuszczalność węgla to 0.09% przy temp ok. 1500 stopni.

W fazie δ :

- Niewielka rozpuszczalność węgla (w 20 stopni to 0,008% C)
- (w 727stopni to 0,022% C)

Austenit:

- Międzywęzłowy roztwór stały węgla w żelazie (γ)
- Występuje w polu NJESG
- Rozpuszczalność węgla w Fe- γ jest znacznie większa niż w tych ferrytowych, zmienia się wraz z linią SE
- W temp. Przemiany eutektoidalnej: rozp węgla to 0.77 %C
- W temp. Przemiany eutektycznej: rozp węgla jest MAXYMALNA = 2,11%C

Cementyt (Fe₃C)

- Węglik żelaza o rombowej strukturze krystalicznej
- Temperatura topnienia to 1227
- STAŁA Zwartosc węgla 6,67 %C

Perlit:

- Produkt przemiany eutektoidalnej austenitu zaw. 0.77%C
- Mieszanina ferrytu i cementytu (eutektoid)
- Zbudowany z naprzemiennie ułożonych płytek ferrytu i cementytu (stosunek grubości płytek 7:1)

Ledeburyt:

- Produkt przemiany eutektycznej

- Powstaje z cieczy zaw. 4.3% C
- Stanowi mieszaninę eutektyczną kryształów austenitu i cementytu

Ledeburyt przemieniony:

- Powstaje poniżej temp. 727 stopni
 - Powstaje na skutek przemiany eutektoidalnej :
Zawarty w ledeburycie austenit → perlit
-

Stal:

- stop żelaza z węglem i innymi pierwiastkami, ale do ok. 1.5 % węgla
- Przerobiony plastycznie

Staliwo:

- Stop żelaza z węglem zaw. Do ok 2 % węgla
- Odlewany do form
- Nie przerobiony plastycznie

Surówka:

- Stop żelaza z węglem i innymi pierwiastkami , ale zawart. węgla to 2.5-4.3 %
 - Materiał wyjściowy do produkcji stali i żeliw
-

Żeliwo:

- Stopy odlewnicze
- Zawierają >2 % węgla, ale zawierają większe dodatki Mn, Si ,S, P

Białe:

- Cały węgiel w postaci cementytu
- Bardzo twarde i kruche
- Trudna obróbka mechaniczna = Ograniczone zastosowanie
- Zwiększona odporność na ścieranie

Szare:

- Cały węgiel w postaci grafitu w postaci płatków
- Dobre własności odlewnicze, dobra skrawalność i obrabialność
- Dobre tłumienie drgań
- NISKA WYTRZYMAŁOŚĆ I MAŁA PLASTYCZNOŚĆ
- Zast: przemysł kolejowy, samochodowy

Sferoidalne:

- Węgiel w postaci grafitu kulkowego
- Dobra wytrzymałość na obciążenia mechaniczne
- Elastyczne własności
- Zast. RUROCIĄGI

Podział stali ze względu na zastosowanie

- Konstrukcyjne (podwyższona wytrzymałość, [do ulepszania cieplnego](#), azotowania, łożyska)
([średniowęglowe min 0.25 %C](#))
- Narzędziowe (duża twardość, odporność na ścieranie - do pracy zimno, gorąco, szybkoobrotowe)

- Specjalne

Ze względu na strukturę:

- Podeutektoidalna
- Eutektoidalna
- Nadeutektoidalna

- ❖ Na własności stopu wpływa **ilość dodanego pierwiastka, jego wpływ na rodzaj tworzących się faz, ich własności, postać i stopień dysocjacji.**

- ❖ W stopach mogą występować następujące fazy:
 - **Roztwory stałe na podstawie żelaza α lub β ,**
 - **Węglik i azotki:**
 - **Węglik** dzielimy na 3 klasy:
 - **I** – sieć regularna odpowiadająca wzorowi MC (m-metal)
 - **II** – sieć heksagonalna; MC, M_2C
 - **III** – sieć rombową; M_3C
 - **Azotki** –
 - wiele analogii z węglkami
 - azot ma mniejszą średnicę atomu niż węgiel dlatego podobnie jak węgliki **I** i **II** są to również fazy międzywęzłowe M_2N i MN .
 - **Związki międzymetaliczne:** – stale wysokostopowe, stopy prawie bez węgla:
 - Fazy **sigma** - bardzo twarde stopy ---> kruchość stali i stopów
 - Fazy **Lawesa** – o wzorze **A_2B**
 - Fazy o wzorze **A_3B**
 - **Wtrącenia niemetaliczne :**
 - **Egzogeniczne** – cząstki materiałów lub żużła,
 - **Endogeniczne** – produkty reakcji składników stali z tlenem, siarką i azotem. Mają niewielki udział, ale silny wpływ na własności.
 - **Fazy obce** – wtrącenia metaliczne pierwiastka, który w ogóle nie rozpuszcza się w osnowie stali zawierającej żelazo.

- ❖ **Pierwiastki austenitotwórcze: Mn, Ni, Co**
 - powodują rozszerzenie obszaru występowania roztworu stałego γ .
 - przy odpowiednio dużym stężeniu tych pierwiastków austenit może występować nawet przy temp. otoczenia (*otwarte pole austenitu*)

Stale austenityczne: (rodzaj stali nierdzewnej - 70% produkcji światowej)

niska zawartość węgla do 0.15%

18% chrom

8% nikiel - rozszerza zakres austenitu

- **wysoka odporność na korozję (chrom, molibden + = +++)**
- Są odporne **na większość kwasów** (bez HCl).
- Odporność na agresywne warunki otoczenia
- **obróbka na zimno -> wzrost granicy plastyczności**
 - dobra zdolność do odkształceń plastycznych
 - dobra spawalność
 - Doskonała ciągliwość (też w ujemnych temperaturach)=
 - = zła skrawalność

Korozja międzykrystaliczna:

1. wydzielenie węglików
2. zmniejszenie stężenia Cr
3. w strefach granic ziaren stężenie Cr spada poniżej 10,5%

ZAPOBIEGANIE:

ograniczenie stężenia C do 0,02-0,03% (węgliki chromy nie mogą powstać wtedy)

Obróbka cieplna:

1. Wyżarzanie w temp 1000-1150 -> chłodzenie żeby nie było wytrąceń

brak możliwości hartowania

STALE STOPOWE SPECJALNE NARZEDZIOWE:

twardość, odp na ścieranie, hartowność, odp. na wyższe temperatury

Stale szybko tnące:

- na narzędzia skrawające pracujące w ciężkich warunkach
(*duże szybkości skrawania + duże przekroje wióra*)
- **zachowana twardość i odporność na ścieranie do ok 600 st.**
- wystąpienia zjawiska **twardości wtórnej** po odpuszczaniu przy ok. 560°C.
- wynika z tego: **wysoka twardość i odporność na ciepło**

Zastosowanie: noże tokarskie, wiertła, sprężyny, łożyska do pracy w wysokiej temperaturze

węgiel: 0.77-1.4%

wysoka zawartość węgla = niezbędna do utworzenia węglików, aby w stanie wyżarzonym związać w węglkach prawie całkowicie pierwiastki stopowe, a w temp austenitizowania do hartowania część rozpuścić, a część zostawić do zapobieżenia rozrostu ziarn ausenitu i zwiększenia odporności na ścieranie

Zawiera ok 30% dodatków stopowych:

(dodaje się aby wytworzyć odp ilość stabilnych węglików)

4% chromu - zwiększa hartowność, wzmacnia efekt twarości wtórnej

1-5% wanadu - zwiększa odporność na ścieranie, najbardziej węglotwórczy pierwiastek

do 10.5% wolframu - opóźnia procesy występujące podczas odpuszczania

molibden 1-10% - j/w

czasem **5-10% kobaltu**

- zwiększa twardość w podwyższonych temperaturach

- zwiększa przewodność cieplną

Obróbka cieplna:

1. zahartowanie do 1200-1270°C w oleju lub powietrzu
2. odpuszczanie przy ok. 560°C na maksimum twardości wtórnej.

Podział: **Wolframowe**, **molibdenowe** i **kobaltowe (najlepsze)**

Stal do pracy na gorąco:

- Do narzędzi narażonych na ścieranie, ale również odpuszczające działanie ciepła (temp. powierzchni >200 st)
(np. wkładki matrycowe do pras, narzędzia do wyciskania, formy odlewnicze)
- **dobre właściwości mechaniczne (wytrzymałość, twardość, ciągliwość)**
- **dobre przewodnictwo ciepłe**
- **cykliczne nagrzewanie i chłodzenie** => odporność na zmiany temperatury (zmęczenie cieplne -> powoduje zużywanie się narzędzi do pracy na gorąco)
- dobra odporność na pękanie
- **odporność na odpuszczanie**
- Stale wolframowe, chromowo-molibdenowe, Ni-Mo, Cr-Mn, Cr-W.

węgiel 0.25 - 0.6 % (średniostopowe/wysokostopowe)

chrom 5.5%

wanad do 2.1%

molibden do 3.2%

krzem do 1%

(czasem **wolfram**, **kobalt**, nikiel)

Obróbka cieplna:

1. Hartowanie i wysokie odpuszczanie

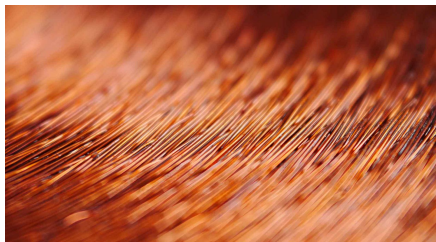
1. Odcynkowanie i sezonowe pękanie
2. Mosiądze zwykłe
3. Wykres utwardzania wydzieleniowego
4. Własności stopów łożyskowych
5. choroba wodorowa,
6. jeden rodzaj brazu opisać
7. ~~własności łożysk wykres pokazany na prezentacji podczas zajęć~~
8. Charakterystyka i zastosowanie miedzi
9. opisać co to są siluminy
10. i co to jest ich modyfikacja

Ogólnie:

Metale nieżelazne - metale nie będące żelazem

Stopy metali nieżelaznych - stopy utworzone na bazie metali innych niż żelazo

Miedź - charakterystyka i zastosowanie:



- Krystalizuje się w układzie regularnym o sieci ściennie centrowanej
- Nie ma odmian alotropowych
- Temperatura topnienia to 1085 stopni

Własności:

- Wysoka przewodność elektryczna
- Przewodnictwo cieplne
- Dużą plastyczność
- Zdolność do tworzenia licznych stopów o dużym znaczeniu technicznym

Zastosowanie:

- Budownictwo: pokrywanie dachów, elementy wykończeniowe, rynny, parapety
- Elektronika
- Przesyłanie energii elektrycznej
- Przemysł chemiczny: chłodnice
- Elementy grzejne, wymienniki ciepła
- Jubilerstwo: dodatek do srebra i złota -> poprawia własności mechaniczne

Stopy miedzi:

Mosiądze: zwykłe

- Główny składnik stopowy: cynk
- Czym więcej cynku tym lepsze własności wytrzymałościowe (kolor czerwony -> złoty)
- Bardzo duża plastyczność --->
- Dobra odporność korozyjna -> szerokie zastosowanie przemysłowe
- Techniczne znaczenie mają mosiądze z 44% cynku

Podział mosiądzy:

- Jednofazowe: 32% Zn

- Przejściowe 23 - 39 % Zn
- Dwufazowe a+B 39-44% Zn

Dwuskładnikowe Cu-Zn to są zwykłe mosiądze.

Mosiądze wieloskładnikowe to specjalne lub stopowe.
Zawierają dodatki np. Ołów, aluminium, krzem, nikiel

Dzielić można też na sposób wytwarzania gotowego wyrobu:

- Mosiądze odlewnicze
- Do przeróbki plastycznej

Brązy

- Stopy miedzi w których głównymi pierwiastkami stopowymi nie są cynk i nikiel

W porównaniu do mosiądzów

- Większa odporność korozyjna
- Większa wytrzymałość
- Większa odporność na ścieranie
- Lepsze własności ślizgowe
- Bardzo dobre własności odlewnicze

Brązy aluminiowe:

- 4-11 % aluminium
- Może zawierać też żelazo czy mangan nikiel itp
- Dobre własności wytrzymałościowe
- Zastosowanie:
 - części do przemysłu chemicznego,
 - elementy do pracy w wodzie morskiej,
 - Monety
 - Styki ślizgowe
 - Części łożysk,
 - Wały
 - Śruby

Stopy łożyskowe:

- stopy cyny i ołowiu
- Dobra smarowność
- Wysoka odporność na korozję
- Nieważliwość na zacieranie się
- Dobre przewodnictwo cieplne
- Odporność na ścieranie
- Mały współczynnik tarcia
- Dobra plastyczność
- Dobra wytrzymałość na ściskanie
- Dobre własności odlewnicze
- Odporność na zmęczenie
- Duża udurowienie

KOROZJE MOSIADZOW:

Odcynkowanie:

- Zachodzi w obecności niektórych elektrolitów, zawierających jony chloru ogółem
- Cynk i miedź przechodzą do roztworu z którego następnie wydziela się z powrotem miedź, ale już w postaci gąbczastej
- Korozja się nasila
- Po dłuższym okresie znaczna część przekroju wyrobu zajmuje gąbczasta miedź
- Prowadzi to do powstawania pęknięć
- Niebezpieczny FUN FACT: korozja ta nie uwidacznia się na powierzchni elementów konstrukcyjnych, powierzchnia zachowuje pierwotny wygląd do momentu pęknięcia

Sezonowe pękanie:

- Selektywne oddziaływanie czynników korozyjnych na granice ziarn elementów z mosiądzu w których następuje naprężenia wewnętrzne czyli jest międzykrystaliczną korozją naprężeniową
- Można ograniczyć: WYZARZANIE ODPREZAJACE PRZY 200-300 STOPNI ROBI ROBOTE

CHOROBA WODOROWA MIEDZI

- Szkodliwe zjawisko w miedzi
- Powyżej temperatury 380 tlen w miedzi występuje w postaci tlenku miedzi
- Wskutek wyzarzania w temp >500 stopni następuje dyfuzja atomów wodoru w głąb sieci krystalicznej tego metalu
- Atomy wodoru potrafią PENETROWAĆ miedź na znaczne głębokości
- Wodów w miedzi reaguje z zawartym w niej tlenkiem miedzi, wydziela się para wodna
- Para wodna jednak nie jest w stanie wydostać się na zewnątrz, gromadzi się wewnątrz struktury, wytwarza ciśnienie, → powstają mikropeknięcia i naderwania ->> zmniejsza się plastyczność miedzi
- JAK UNIKNĄC : użycie miedzi niezawierającej tlenu LUB wyzarzanie w atmosferze bez wodoru i jego związków

Stopy odlewnicze aluminium:

SILUMINY : 4-30 % krzemu

- Bardzo dobre własności odlewnicze
- Bardzo dobra leśność
- Mały skurcz
- Mała skłonność do pęknięcia -> można z nich odlewać elementy o skomplikowanych kształtach/cienkich ściankach
- ZASTOSOWANIE:
 - części maszyn -> przemysł okrętowy
 - Aparatura chemiczna
 - Wyroby galmanteryjne
 - Najbardziej PRZEMYSŁ MOTORYZACYJNY : podstawowy materiał na elementy silników spalinowych (TŁOKI/GŁOWICE)

MODYFIKACJA SILUMINOW

- Poprawa ich własności
- Oddziałuje się na proces krystalizacji odpowiednimi dodatkami wprowadzonymi do ciekłego stopu
- Powoduje to obniżenie temperatury przemiany eutektycznej i przeniesienie punktu eutektycznego

Statyczna próba rozciągania

Wynikiem próby rozciągania jest wykres $F(\Delta L)$. Celem rozciągania jest określenie podstawowych parametrów charakteryzujących **własności wytrzymałościowe i plastyczne** badanych materiałów.

Dla próbek wyznacza się:

- **obciążenie**(siłę)
- **wydłużenie**
- **przewężenie**

dla poszczególnych etapów rozciągania.

Na ich podstawie wyznacza się:

- a) **Granice plastyczności (R_e) i umowną granicę plastyczności (R_{o2})**
- b) **Granice wytrzymałości (R_m)** - wytrzymałość na rozciąganie
- c) **Względne wydłużenie procentowe A_p**
- d) **Względne przewężenie procentowe Z**

a,b← wł wytrzymałościowe
c,d←wł. plastyczne

Udarność

- **odporność materiału na pękanie przy obciążeniu dynamicznym.**
- stosunek **pracy potrzebnej do złamania znormalizowanej próbki z karbem (L)** do **poła powierzchni przekroju poprzecznego tej próbki w miejscu karbu: (A)**

$$U = \frac{L}{A}$$

Udarność materiałów **kruchych jest mała a ciągliwych duża.**

Następuje jednorazowe uderzenie młotem wahadłowym.

Obserwacje przełomów po wykonaniu próby:

przełom ciągliwy - próbka zostaje zgięta, a pęknięcie następuje po przekroczeniu granicy plastyczności

przełom kruchy - próbka pęka nie wykazując widocznego odkształcenia plastycznego

Pomiar twardości :

Twardość – opór plastyczny stawiany przez badany materiał pod działaniem zlokalizowanej siły, przy wciskaniu ciała nie odkształcającego się plastycznie, tzw. wgłębnika lub penetratora. Najczęściej stosowane metody:

Rockwella

Pomiar **głębokości** (h) odcisku, powstałego wskutek **dwustopniowego wciskania wgłębnika** (**stożka diamentowego lub kulki stalowej**) **w płaską powierzchnię badanego materiału.**

Czujnik w twardościomierzu umożliwia pomiar, działka elementarna – 0,002mm.

$$HR = K - \frac{h}{0,002}$$

K - stała zależna od rodzaju wgłębnika

H - głębokość

Brinella

wgniatanie **kalibrowanej kulki hartowanej** o średnicy $D[\text{mm}]$ w płaską, dostatecznie gładką powierzchnię pod naciskiem $P[\text{kG}]$, prostopadłym do tej powierzchni i na **zmierzeniu średnicy** $d[\text{mm}]$ **trwałego odcisku kulki** powstałego na powierzchni.

Średnica odcisku:

- Mierzy się za pomocą lupy lub mikroskopu z dokład. 0.01mm ($<2.5\text{mm}$ odcisk) lub 0.05mm ($>2.5\text{mm}$ odcisk)

Twardość Brinella HB jest ilorazem **nacisku P** przez **powierzchnię kulistego wgłębienia A_{cz}**

$$HB = \frac{P}{A_{cz}}$$

Vickersa

Wgniatanie w materiał **czworobocznego ostrosłupa diamentowego** o kącie wierzchołkowym $>136^\circ$.

Zakres stali :: zastosowane obciążenie

Nanotwardość - $<10\text{ G}$

Mikrotwardość - $<200\text{G}$

Twadość pod małymi obciążeniami - $<1000\text{ G}$

Twardość $<120\text{kG}$

- Dla materiałów o średniej twardości możliwe jest porównanie wyników z próbą Brinella
- Dla materiałów twardych **wyniki różnią się**.

Twardość Vickersa: **stosunek obciążenia P** do **powierzchni bocznej odcisku A_b w postaci wgniecionego ostrosłupa**

$$HV = \frac{P}{A_b} \quad [\text{kG/mm}^2]$$

1. Defekty sieci

SĄ TO zaburzenia w periodycznym ułożeniu atomów

NIE SĄ TO wady materiałowe (wtrącenia niemetaliczne, pęcherze gazowe, mikropęknięcia)

Podział defektów sieciowych w oparciu o kryterium geometryczne:

1.1 Defekty punktowe ✓

- wady sieciowe, których pozycje określa się punktem (tzw. defekty zerowymiarowe)
- defekty te powodują lokalne odkształcenie sprężyste sieci kryształu rozprzestrzeniające się sferycznie na niewielkie odległości
- w praktyce: atomy wychylają się z położeń równowagowych, wychylenie to jednak zmniejsza się wraz z odległością od defektu

Podstawowe defekty punktowe:

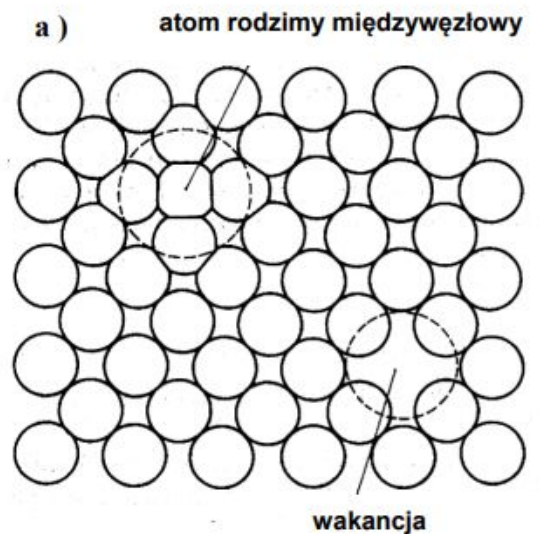
1) W strukturach czystych pierwiastków metalicznych:

a) wakancje

- Powstają w wyniku nie obsadzenia węzła sieci przez atom
- Stanowią puste miejsca w sieci krystalicznej
- Wywołuje to lokalne hydrostatyczne **naprężenia rozciągające**

b) atomy w położeniach międzywęzłowych

- Powstają na drodze przemieszczenia atomu rodzimego z węzła sieci do pozycji międzywęzłowej
- Wywołuje to lokalne **naprężenia ściiskające** bezpośrednio w pobliżu defektu



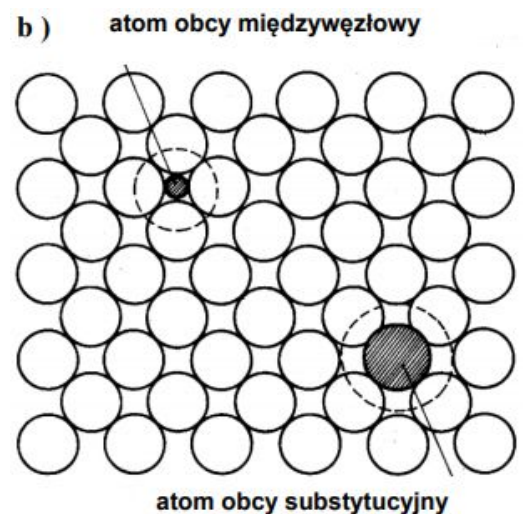
2) W strukturach stopów metali (defekty związane z atomami pierwiastków stopowych)

c) atomy obce substytucyjne (podstawieniowe)

- Mają średnicę atomową zbliżoną do średnicy atomów macierzystych
- Znajdują się w węzłach sieci
- Zastępują atomy macierzyste
- Tworzą roztwory stałe substytucyjne

d) atomy obce międzywęzłowe

- Są dużo mniejsze niż atomy macierzyste
- Rozmieszczone są w położeniach międzywęzłowych (lukach międzyatomowych)
- Tworzą roztwory stałe międzywęzłowe



3) Defekty złożone

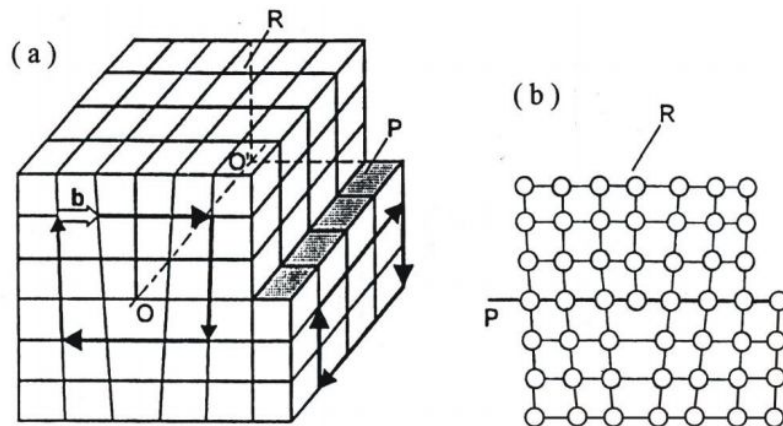
- np. podwójna wakancja

1.2 Defekty liniowe - dyslokacje

- Posiadają jeden wymiar (długość) znacznie większy od pozostałych ponieważ zaburzenie w periodycznym ułożeniu atomów dotyczy położenia tylko najbliższych atomów wokół linii dyslokacyjnej

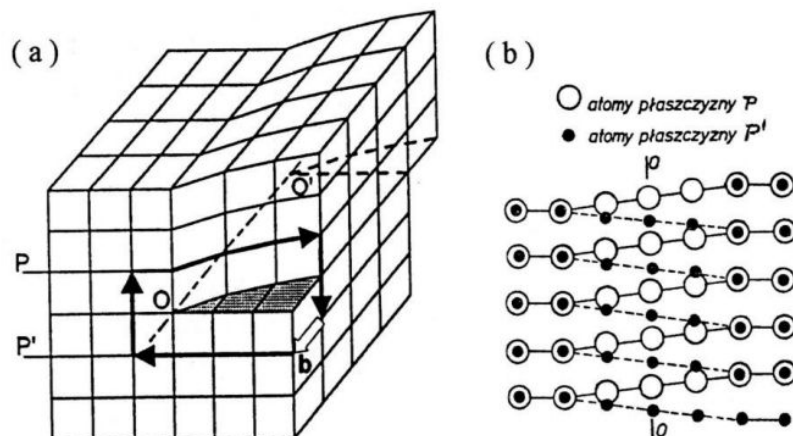
a) Dyslokacja krawędziowa

- przesunięcie nastąpiło prostopadłe do krawędzi nacięcia
- Linia dyslokacji jest krawędź dodatkowej



b) Dyslokacja śrubowa

- Przesunięcie równoległe do krawędzi nacięcia
- Płaszczyzny atomowe prostopadłe do linii dyslokacji układają się w taki sposób, że tworzą powierzchnię śruby



Ogólnie:

- Dyslokacja to podstawowy czynnik umożliwiający odkształcenie plastyczne.
- Zawsze linia dyslokacji leży w określonej płaszczyźnie krystalograficznej (tzw. Płaszczyźnie poślizgu)
- Linia ta **oddziela** obszar płaszczyzny poślizgu (w którym przecież nastąpiło względne przesunięcie górnej i dolnej części kryształu) od obszaru w którym to przesunięcie jeszcze nie wystąpiło
- Przejście dyslokacji wzdłuż płaszczyzny poślizgu przez cały kryształ powoduje jego ścięcie = zmianę kryształu = odkształcenie plastyczne

Aby opisać dyslokację:

- Należy podać **położenie** i **charakter** wszystkich odcinków linii dyslokacji wewnątrz kryształu

Położenie każdego odcinka opisuje wektor **t** styczny do linii dyslokacji

Charakter każdego odcinka opisuje **wektor Burgersa b**

- Stała wartość dla danej dyslokacji
- Charakteryzuje kierunek i wielkość przesunięcia przy ruchu dyslokacji
- Należy zakresić tzw. Kontur Burgersa wokół linii krawędziowej

1.3 Defekty powierzchniowe ✓

- Dwuwymiarowe defekty struktury krystalicznej:

Jednofazowe materiały polikrystaliczne:

- Duża liczba kryształów o tym samym składzie chemicznym i wielkości od 10 do 100 mikrometrów które różnią się tylko orientacją przestrzenną sieci
- Poszczególne kryształy = ziarna
- Powierzchnie styku między kryształami = granice ziarn

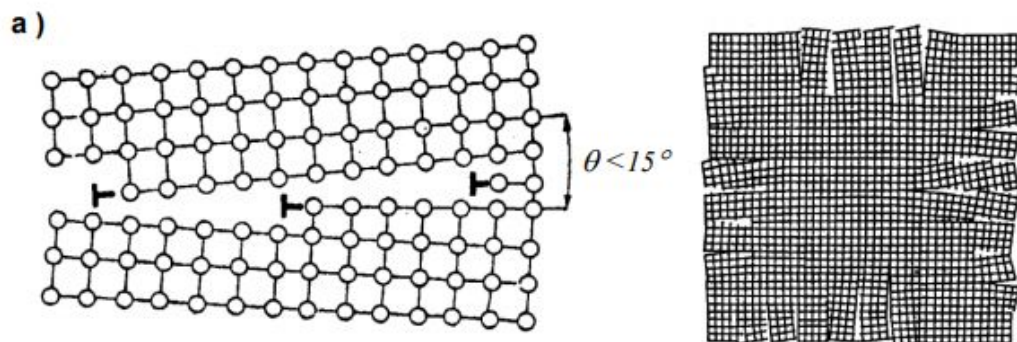
a) Granice ziaren

- Strefy o szerokości 2-3 średnic atomowych
- Występuje w nich niedopasowanie atomowe struktury krystalicznej sąsiednich ziarn = zakłócenie periodycznej budowy kryształu
- W wyniku tego następują przesunięcia atomów z ich pozycji równowagi (położeń najniższej energii)
- Granice ziaren są miejscami o zwiększonej energii

Podział ze względu na budowę:

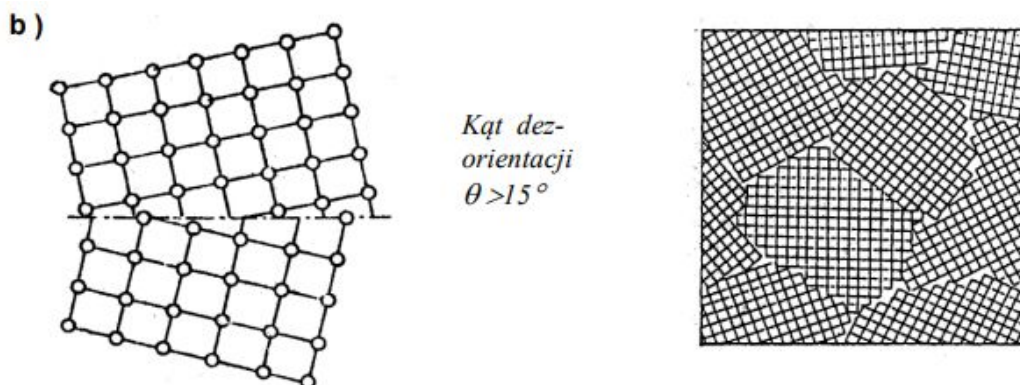
1. Granice małego kąta (granice podziarn)

- Są to powierzchnie styku dwóch kryształów o kącie dezorientacji sieci wynoszącym < 15 stopni
- Niedopasowanie atomowe jest kompensowane występowaniem dyslokacji w granicach



2. Granice dużego kąta

- Większe niedopasowanie atomowe
- Powstają granice ziarn dużego kąta



3. Granice bliźniacze - szczególny przypadek granic dużego kąta

- tworzą się przy ściśle określonej dezorientacji kryształitów
- Granica jest symetrycznie nachylona do określonej płaszczyzny krystalograficznej w obu kryształach

b) Granice międzyfazowe

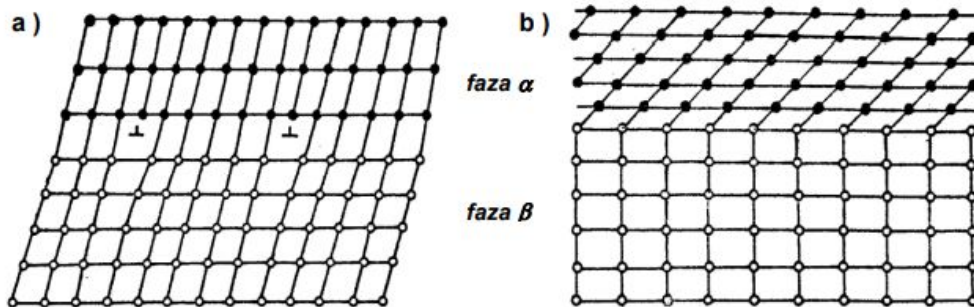
- Rozdzielają kryształy (ziarna) różnych faz = różnią się składem chemicznym

1. Granica koherentna (spójna)

- na granicy styku kryształów obu faz jest pełna zgodność obu sieci krystalicznych = atomy na granicy należą równocześnie do węzłów sieci obu kryształów

2. Granica pół-koherentna (częściowo spójna)

- Nieznaczna różnica w odległościach międzyatomowych na granicy styku obu faz

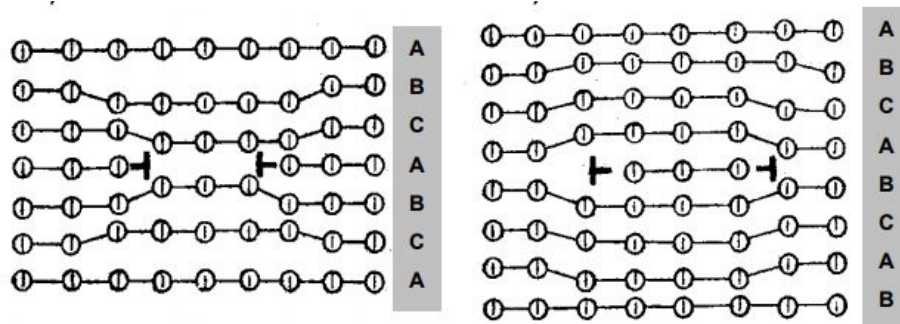


3. Granice niekoherentna (niespójna)

- Całkowity brak zgodności w rozmieszczeniu atomów
- Budowa podobna do granicy ziarn dużego kąta

c) Błędy ułożenia

- Ułożenie płaszczyzn w sieci typowe dla sieci heksagonalnej zwartej
- Czyli jest sekwencja typu ..ABABAB.. (zamiast ..ABCABCABC..)
- Jest płaszczyzna obsadzona atomami np {0001} (zamiast {111})
- **LEWO: błąd zgodny - usunięcie części warstwy atomowej**
- **PRAWO: błąd niezgodny (podwójny) - wstawienie części warstwy atomowej**



- Jest zawsze oddzielony od reszty kryształu tzw. dyslokacją częściową (wektor Burgersa <wektor dyslokacji jednostkowej)
- Zaburzenie sekwencji płaszczyzn sieciowych powoduje **zwiększenie energii wewnętrznej kryształu**
- Wzrost energii na jednostkę powierzchni błędu = **energia błędu ułożenia EBU** = istotny czynnik określający **mechanizm odkształcenia plastycznego metali i stopów**

2. Mechanizmy odkształcenia plastycznego ✓

- Zachodzi poprzez ruch dyslokacji
- Miarą łatwości przemieszczania się dyslokacji jest tzw. naprężenie krytyczne (Jest to minimalne naprężenie styczne do płaszczyzny i kierunku poślizgu zdolne wywołać ruch dyslokacji)
- **Wynik:** względne przemieszczenia atomów znajdujących się pod i nad płaszczyzną poślizgu

a) Poślizg dyslokacji

- występuje w uprzywilejowanych płaszczyznach krystalograficznych: **gęsto wypełnionych atomami i w kierunkach o najgęstszym ułożeniu atomów**

Dlaczego? w tych płaszczyznach i kierunkach są najmniejsze odległości między atomami, **czyli:**

- najmniejsze opory ruchu sieci dla ruchu dyslokacji
- Najmniejsze wektory Burgersa dyslokacji

Ponieważ **energia dyslokacji jest proporcjonalna do kwadratu wektora Burgersa**, więc **najbardziej prawdopodobne** są dyslokacje z **wektorami równoległymi** do kierunku najgęstszego ułożenia (bo mają najmniejszą energię)

b) Bliźniakowanie mechaniczne

- Nagły proces poślizgu
- Zachodzi w niewielkim obszarze struktury (ściśle ograniczonym przez granice bliźniacze)
- Największą rolę odgrywa przy odkształceniu metali o sieci heksagonalnej
- Niska temperatura i duża prędkość odkształcenia
- Niska wartość energii błędu ułożenia EBU
- Wielkość przemieszczenia kolejnych warstw atomowych **zwiększa się** proporcjonalnie do odległości od płaszczyzny zbliźniaczenia

Różnice między odkształceniem przez poślizg a przez bliźniakowanie:

1. Orientacja wzajemnie przemieszczających się części kryształu zmienia się **tylko** przez **bliźniakowanie**.
2. Przemieszczenie atomów
 - **Poślizg:** Zachodzi w jednej płaszczyźnie
 - **Bliźniakowanie:** zachodzi w kolejnych płaszczyznach równoległych do płaszczyzny bliźniaczej.

3. Przemiany podczas wyżarzania po odkształceniu ✓

Tr - temperatura rekryształizacji (ok. 0,4 temperatury topnienia w stopniach K)- oddziela przeróbkę “na zimno” i “na gorąco”

Ogólnie o odkształceniach:

Odkształcenie “na zimno”:

- Materiał ulega umocnieniu = można robić duże odkształcenia
- Wytworzona mikrostruktura jest silnie zdefektowana = stan równowagi nietrwałej
- Nie można dalej przerabiać dopóki nie przeprowadzi się **wyżarzania rekryształizującego**
- Następuje **rekryształizacja**: odbudowa struktury poprzez tworzenie się nowych nieodkształconych ziarn

Odkształcenie “na gorąco”:

- Rekryształizacja następuje natychmiast (bo jest wysoka temperatura od początku)

Zmiany struktury zachodzą w 3 etapach:

a) Zdrowienie

- Zachodzi podczas nagrzewania lub podczas wygrzewania materiału odkształconego "na zimno"
- Następuje istotne zmniejszenie koncentracji defektów punktowych poprzez dyfuzję i anihilację

b) rekrytalizacja pierwotna = odbudowa struktury

- Tworzą się nowe nieodkształcone ziarna = powstają i rosną zarodki
- Zarodkowanie = tworzą się małe obszary o niemal doskonałej strukturze krystalicznej, zdolne do ciągłego wzrostu kosztem odkształconej osnowy.
- Mechanizmy tworzenia zarodków zależą od wielu czynników m.in.:
 - Struktury materiału po odkształceniu
 - Wielkości energii zmagazynowanej
 - Temperatury wyżarzania rekrytalizującego
- **Wyróżniamy:**
 - Zarodkowanie poprzez migrację granic ziaren pierwotnych
 - Zarodkowanie na drodze wzrostu podziarn poprzez koalescencję i migrację granic podziarn
- Zarodki tworzą się w miejscach o podwyższonej energii (granice ziarn, miejsca przecięcia blizniaków przekształcenia, pasma ścianania)
- Rozrost zarodków związany jest z migracją szeroko-kątowych granic ziarn (zwanych frontami rekrytalizacji)
- **Siła pędna migracji frontów:**
 - energia zmagazynowana podczas procesu odkształcenia.----> energia materiału wyżarzonego

c) rozrost ziarn

- Zachodzi od momentu wyczerpania zdeformowanej osnowy i zetknięcia się zrekrystalizowanych ziarn
- Utworzona chwilę wcześniej drobnoziarnista struktura jest wolna od naprężeń i ma mniejszą energię
- Znaczna ilość energii jest jednak zawarta nadal w granicach ziarn, przez co po zakończeniu rekrytalizacji pierwotnej dalej zmniejsza się energia układu
- Siła pędna rozrostu ziarn to
 - Dążenie do obniżenia energii granic ziarn
 - Można to osiągnąć poprzez wzrost przeciętnej wielkości nowo utworzonych ziarn z czasem
- Rodzaje przebiegu:
 - **Normalny rozrost ziaren:**
 - Ciągły wzrost ziarn jednakowy na całej objętości materiału
 - Kształt ziarn i rozkład wielkości zostają zachowane, lecz krzywa rozkładu idzie w kierunku większych wielkości ziarna
 - Jest efektem dążenia układu do wystąpienia równowagi napięć powierzchniowych granic ziarn na krawędziach i na narożach ziarn
 - **Nieciągły rozrost ziaren - rekrytalizacja wtórna:**
 - Wzrost tylko niewielkiej liczby dużych ziarn kosztem pozostałych
- Rozrost ziarn rozpoczyna się natychmiast po zakończeniu rekrytalizacji pierwotnej, **a rekrytalizacja wtórna dopiero po pewnym czasie**
- Czas ten jest konieczny aby pewne ziarna rozrosły się do odpowiednio większych wielkości od sąsiadów

Wyżarzanie rekrytalizujące

- Likwidacja skutków umocnienia ukształceniowego
- Przywracalność dzięki czemu można wykonywać kolejne operacje odkształcenia plastycznego
- Stosuje się je również jako zabieg końcowy celem otrzymania określonych własności mechanicznych wyrobu gotowego
- Stopniem rekrytalizacji można bowiem regulować własności materiałów metalicznych

Rekrystalizacja dynamiczna - po przeróbce “na gorąco”

- Natychmiast po odkształceniu
- Własności wyrobów zależą od tego, który proces następuje szybciej.
- Jeśli rekrystalizacja nadąża usuwać skutki zgniotu wywołane przez odkształcenie to nie następuje umocnienie
- Jeśli szybkość odkształcenia jest duża i niska temperatura to rekrystalizacja nie nadąża i materiał się umacnia

Utrwalanie skutków zgniotu -> Obróbka cieplno-plastyczna: prowadzi do uzyskania wysokich własności wytrzymałościowych, ale utrzymuje również stosunkowo dużą plastyczność

Nadmierny rozrost ziarn może nastąpić gdy: (zjawisko niekorzystne)

- skończymy przeróbkę plastyczną przy zbyt wysokiej temperaturze
- W wyniku zgniotu krytycznego (zastosowanie zbyt małego stopnia odkształcenia $<10\%$ w ostatniej operacji przeróbki plastycznej).

Przemiany przy nagrzewaniu: ✓

Przemiana austenityczna

- zarodkowanie austenitu w granicach międzyfazowych ferryt - cementyt
- ma charakter dyfuzyjny

Szybkość zachodzenia przemiany austenitycznej zależy:

gdy GRZANIE IZOTERMICZNE: od stopnia przegrzania perlitu (ferrytu) powyżej temperatury A_{c1} , (A_{c3})

gdy GRZANIE CIĄGŁE: od szybkości nagrzewania przy grzaniu ciągłym

-od ogólnej powierzchni granic międzyfazowych ferryt-cementyt

Etapy:

- utworzenie austenitu niejednorodnego,
- utworzenie austenitu jednorodnego,
- rozrost ziaren austenitu

W stalach podeutektoidalnych - przemiana ferrytu w austenit

W stalach nadeutektoidalnych - proces rozkładu cementytu

Przemiany przy chłodzeniu: ✓

Przemiany dyfuzyjne

- Zachodzą podczas wolnego chłodzenia
- Podstawową rolę odgrywają procesy dyfuzji
- Zachodzą po ochłodzeniu austenitu poniżej temperatury A_{r1}
- Zarodki perlitu powstają na granicach ziarn austenitu

Przemiana perlityczna: przemiana eutektoidalna austenitu w perlit

W stalach podeutektoidalnych (poniżej 0.77% C) przemianę austenitu w perlit poprzedza wydzielanie ferrytu

W stalach nadeutektoidalnych (powyżej 0.77% C) przemianę austenitu w perlit poprzedza wydzielanie cementytu

b) Przemiany pośrednie austenitu

- Zwiększenie szybkości chłodzenia stali -> tracą charakter dyfuzyjny
(Ponieważ zmiany składu chemicznego w austenicie nie nadążają za szybkością chłodzenia)

Tworzenie się bainitu górnego i dolnego

c) Przemiana bezdyfuzyjna austenitu

- Przebudowa struktury krystalicznej

Przemiana martenzytyczna

Warunki konieczne do zajścia przemiany martenzytycznej. ✓

- W przebiegu przemiany martenzytycznej CZAS nie odgrywa żadnej roli!!!

Warunkiem zajścia jest chłodzenie austenitu:

1. z szybkością WIEKSZA od krytycznej (dla uniknięcia przemiany dyfuzyjnej)
2. PONIŻEJ temperatury początku przemiany martenzytycznej M_s .
 - Przemiana rozpoczyna się natychmiast po ochłodzeniu (nie ma okresu inkubacyjnego)
 - przebiega z szybkością 7000 m/s – czas utworzenia jednej płytki 10-7s!!!
 - Kończy się w temperaturze końca przemiany M_f .

Przemiana martenzytyczna zachodzi pod warunkiem ciągłego obniżania temperatury w zakresie temp. M_s (temperatura początku przemiany) do temp. M_f (temperatura końca przemiany)

Wartości Ms i Mf zależą od składu chemicznego austenitu

Przemiany przy nagrzewaniu ze stanu zahartowanego: ✓

a) odpuszczanie stali

- Nagrzewanie zahartowanej stali celem zwiększenia jej plastyczności
- Zmiana struktury i właściwości materiału
- Poprawa ciągliwości, zmniejszenie kruchości, obniżenie twardości
- Usunięcie występujących po hartowaniu naprężeń własnych

Proces:

1. Nagrzanie stali nagrzanej do temperatury niższej od Ac1
 2. Wygrzanie przy tej temperaturze (30min - kilka godzin)
 3. Ochłodzenie do temperatury pokojowej
- NALEŻY JE WYKONAC BEZPOŚREDNIO PO HARTOWANIU (żeby uniknąć pęknięć)
 - Siła napędowa: różnica energii swobodnej między fazą metastabilną (martenzyt) a mieszaniną faz (feryt + wydzielania węglaków)

Rodzaje odpuszczania:

a) Odpuszczanie niskie

- Temperatury < 250 st C
- Czas 1-3h
- Chłodzenie z dowolną szybkością
- ZASTOSOWANIE: części maszyn, od których wymaga się dużej twardości i małych naprężeń własnych

b) Odpuszczanie średnie

- Temperatury 250 - 500 st C
- Wysoka granica sprężystości, dostateczna plastyczność (sprężyny, resory)

c) Odpuszczanie wysokie

- Temperatura od 500 st C do temperatury Ac
- 2-3h przy chłodzeniu powolnym lub przyspieszonym
- STALE KONSTRUKCYJNE

Wypisać właściwości substancji poddanych (z wykresu wygrzewania martenzytu)

??????????

Zabiegi obróbki cieplnej (?)

2.1 Wyżarzanie

- Nagrzanie stali do określonej temperatury
- Wytrzymanie przy tej temperaturze
- Powolne studzenie
- CEL: przybliżenie stanu stopu do warunków równowagi

- a) ujednoladniające
- b) Zupelne
- c) Niezupelne
- d) Normalizujące
- e) Z przemianą izotermiczną
- f) Sferoidyzujące
- g) Odprężające
- h) rekrytalizujące

2.2 Hartowanie

- a) Martenzytyczne
- b) bainityczne

MG opracowanie:

1. Narysuj i opisz wykres wygrzewania martenzytu

???????????????

Austenit szczątkowy: ✓

- Objętość właściwa martenzytu jest o około 3% większa od objętości właściwej austenitu.
- DLATEGO: w nieprzemienionym austenicie powstają silne naprężenia ściskające, hamujące lub całkowicie blokujące dalszą przemianę.
- Przemiana nie przebiega w całej objętości austenitu i dlatego po jej zakończeniu pozostaje zawsze pewna ilość austenitu zwanego austenitem szczątkowym
- jego ilość wzrasta wraz ze stężeniem C w stali

Prędkość krytyczna chłodzenia: ✓

- szybkość zabezpieczająca przed wystąpieniem przemian dyfuzyjnych (zachodzą one w wyższych temperaturach niż przemiana martenzytyczna i przez to uniemożliwiają jej przemianę w martenzyt
- wyraża ją styczna do krzywej początku przemiany

Ulepszanie cieplne:

- Hartowanie i wysokie odpuszczanie

Faza:

- część układu (stopu) jednorodna pod względem **krystalograficznym**, **chemicznym** i **fizycznym**
- oddzielona od reszty układu powierzchnią rozdziału (**granicą międzyfazową**)
- w stopach metali jako **roztwory stałe** i **fazy międzymetaliczne**.
- **Czyste pierwiastki jako fazy** występują w przypadku braku rozpuszczalności składników stopu w stanie stałym

Roztwory stałe graniczne:

- roztwory podstawowe
- może się w nich rozpuścić jedynie pewna ograniczona ilość atomów pierwiastka stopowego.

Roztwory stałe

- jednorodne fazy złożone z co najmniej dwóch pierwiastków
- w strukturze krystalicznej pierwiastka podstawowego rozpuszczony jest inny składnik

• **Roztwór stały** - jednorodna faza o **wiązaniu metalicznym** i **strukturze krystalicznej**, czego skutkiem są właściwości metaliczne

• Wyróżnia się **rozpuszczalnik** (pierwiastek – składnik o większym stężeniu) i pierwiastek - **składnik rozpuszczony**

Roztwory stałe:

➤ **Roztwory podstawowe**: rozpuszczalnikiem jest pierwiastek

➤ **Roztwory wtórne**: rozpuszczalnikiem jest faza międzymetaliczna

Roztwory stałe:

• **międzywęzłowe** (atomy składnika rozpuszczonego między węzłami sieci rozpuszczalnika) – **graniczne**- np. Fe z B, O, C, H, N

• **różnowęzłowe** (atomy rozpuszczalnika i składnika rozpuszczonego w węzłach sieci)- **ciągłe** lub **graniczne** – ekspansja lub kontrakcja sieci

- Roztwory międzywęzłowe są roztworami **granicznymi**; zawsze ma miejsce ekspansja sieci.
- Tworzą je metale przejściowe (np. Fe, Ti) z pierwiastkami niemetalicznymi o bardzo małych promieniach atomowych (H, C, N).

Roztwory **różnowęzłowe** mogą być:

- ❖**ciągłe** (dowolne proporcje atomów rozpuszczalnika i pierwiastka rozpuszczonego) lub
- ❖**graniczne** (ograniczona rozpuszczalność pierwiastka rozpuszczonego); zawsze ma miejsce ekspansja lub kontrakcja sieci.

Reguła faz Gibbsa

- prawidłowość rządząca stanami równowagi w układach jedno i wielofazowych
- określa **liczbę stopni swobody s układu**,
(liczbę zewnętrznych i wewnętrznych czynników, które można zmienić nie powodując zmiany liczby faz w stopie)

Wzorek na liczbę stopni swobody przy stałym ciśnieniu:

$$S = n - f + 1$$

w zależności do ciśnienia

niezmienne +1

zmiennie +2.

n -liczba składników układu -substancje proste lub złożone nie ulegające przemianom, z których składają się fazy układu	f -liczba faz przy określonej temperaturze i stężeniu składników układu).
--	--

- **S=0, układ jest niezmienny**: równowaga może istnieć tylko przy:
 - pewnej **stałej temperaturze**
 - określonym składzie faz

bez naruszenia równowagi można zmienić w nim (w pewnych granicach):

- **S=1, układ jednozmienny** – **tylko** temperaturę **lub tylko** skład jednej fazy
- **S=2, układ dwuzmienny** – temperaturę i skład jednej fazy **lub tylko** skład dwóch faz.

Reguła dźwigni

- dotyczy wszystkich obszarów w układach podwójnych, **gdzie s=1**.
- Pozwala ona dla określonego stopu przy określonej temperaturze określić **rodzaj faz**, ich **skład chemiczny** oraz ich **udział w stopie**.
- Prowadzi się przez punkt wskazujący skład stopu i analizowaną temperaturę linię poziomą, aż do przecięcia się z najbliższymi liniami wykresu równowagi.

Solidus

- linia lub powierzchnia na wykresie fazowym, na której **kończy się przemiana cieczy w ciało stałe** (początek tej przemiany określa likwidus)

Po jednej stronie: znajduje się **ciało stałe** (kryształy soli lub metalu)

Po drugiej stronie: **dwie fazy: ciało stałe i roztwór nasycony** (ciekły lub stały) względem składników fazy stałej.

- jest to **linia** dla układów dwuskładnikowych
- jest to **powierzchnia** dla układów trójskładnikowych.

Przesycenie roztworu

- jest siłą napędową procesu krystalizacji.

Można go osiągnąć przez:

- **ochłodzenie roztworu nasyconego**
- **przez odparowanie rozpuszczalnika**
- **dodatek substancji wysalającej**
- w wyniku reakcji chemicznej między dwiema jednorodnymi fazami.