KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

PROJEKT FINANSOWANY
ZE ŚRODKÓW UNII EUROPEJSKIEJ I BUDŻETU PAŃSTWA

W GŁOGOWIE PWSZ

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Państwowa
Wyższa Szkoła Zawodowa w Głogowie

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

MATERIAŁOZNAWSTWO

Dr inż. Robert HANARZ

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

CEL PRZEDMIOTU

Zapoznanie z ogólnym podziałem materiałów. Przedstawienie tworzyw stosowanych w technice. Przedstawienie związku pomiędzy składem chemicznym, strukturą i własnościami podstawowych materiałów konstrukcyjnych. Omówienie zjawisk i procesów mających wpływ na kształtowanie i zmianę własności materiałów. Przegląd technik łączenia oraz spajania materiałów.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

WYMIAR ZAJĘĆ

WYKŁAD: 30 GODZIN
LABORATORIUM: 30 GODZIN

FORMA ZALICZENIA ZAJĘĆ:

WYKŁAD – egzamin w formie pisemnej lub/i ustnej.
LABORATORIUM – zaliczenie

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Tematyka wykładu

Struktura tworzyw metalicznych, polimerów, szkieł i ceramik. Tlenkowe materiały ceramiczne, materiały beztlenkowe -własności i zastosowania. Struktura polimerów, składniki modyfikujące ich własności, zależność ich własności od temperatury, polimery termoplastyczne, termo – i chemoutwardzalne Szkło i ceramika, materiały szklane. Defekty struktur ich wpływ na własności. Mechanizmy wzrostu wytrzymałości i zniszczenia materiałów przez odkształcenie plastyczne, kruche pękanie, zmęczenie, pełzanie, zniszczenie powierzchniowe przez utlenianie wysokotemperaturowe i korozję elektrochemiczną. Krystalizacja- szkła metaliczne, rekrystalizacja. Struktura fazowa tworzyw metalicznych. Podstawy obróbki cieplnej i cieplno chemicznej. Stopy żelaza, stale węglowe i stopowe, żeliwa, Stopy metali nieżelaznych. Wybrane zagadnienia z technik łączenia i spajania materiałów

MATERIAŁOZNAWSTWO

Tematyka ćwiczeń

Zajęcia laboratoryjne obejmujące: Procesy zgniotu mechanizm i temperatura rekrystalizacji metali. Mikrostruktura tworzyw metalicznych, stali węglowych i stopowych, żeliw, metali kolorowych. Zmiany struktury i własności w procesie obróbki cieplnej, hartowania i odpuszczania. Własności materiałów spiekanych i kompozytów. Pomiar wybranych własności fizycznych metali i stopów

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Literatura:

1. Ashby M.F., Jones D.R.H.: Materiały inżynierskie t1 Właściwości i zastosowania. WNT, 2000
2. Blicharski M.: Wstęp do inżynierii materiałowej. WNT, 2003.
3. Ashby M.F., Jones D.R.H.: Materiały inżynierskie t2 Kształtowanie struktury i własności. WNT, 2000 i poprzednie wydania.
4. Dobrzański L. A.,: Materiały inżynierskie i projektowanie materiałowe. WNT Warszawa 2006.
5. Prowans S.: Struktura stopów. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa 2000.
6. Przybyłowicz K.: Metaloznawstwo. WNT Warszawa 2007.
7. Pacyna J.: Ćwiczenia z materiałów metalicznych. Wyd. WMiIM AGH Kraków 2003.
8. Jan Pielichowski, Andrzej Puszyński, "Chemia polimerów", Wydawnictwo "Teza", 2004
9. Przybyłowicz K.: Strukturalne aspekty odkształcania metali. WNT Warszawa 2002.

MATERIAŁOZNAWSTWO:

Nauka zajmująca się budową, opisem, podziałem i własnościami materiałów.

Materiałoznawstwo zajmuje się również metodami badań niezbędnych do określania jakości i cech materiałów używanych do produkcji maszyn, urządzeń i konstrukcji.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

- Zadaniem **materiałoznawstwa** jest określanie zależności pomiędzy składem i budową tworzywa a jego właściwościami. Przedstawienie wpływu procesów obróbki cieplnej, plastycznej, cieplno-chemicznej
- i innych na właściwości materiałów.

- Zrozumienie tych zależności wymaga znajomości procesów zachodzących w materiale pod wpływem **zmian składu, struktury, temperatury, obciążenia i innych czynników zewnętrznych..**

Zdefiniowanie pojęcia struktury (budowy) materiału zależy od przyjętej **skali obserwacji**.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Rozróżnimy badania w skali:

- **Makroskopowej**
- **Mikroskopowej**
- **Submikroskopowej**

Cały szereg badań makro i mikro wykonuje się przy użyciu technik optycznych makroskopowych (obserwacje optyczne makroskopowe), oraz technik optycznych mikroskopowych (mikroskopia optyczna) , innymi metodami badań to mikroskopia skaningowa, transmisyjna mikroskopia elektronowa, mikroskopia polowa i inne. Nieocenione usługi oddaje promieniowanie rentgenowskie w badaniach krystalograficznych, fazowych, teksturowych i innych.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Metody **makroskopowe** prowadzone są gołym okiem lub przy pomocy sprzętu optycznego o powiększeniach do kilku (kilkunastu) razy, które umożliwiają bezpośrednią obserwację makrostruktury (struktury) materiału oraz jej ilościowy opis przy wykorzystaniu odpowiednich parametrów i wskaźników.

Metody **mikroskopii świetlnej i elektronowej** umożliwiają bezpośrednią obserwację mikrostruktury materiału oraz jej ilościowy opis przy wykorzystaniu odpowiednich technik i zjawisk fizycznych wskaźników.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Metody mikroskopii elektronowej (mikroskopia elektronowa) pozwalają badać ***strukturę rzeczywistą***, tj. budowę kryształu albo ziarna. Bardzo popularną techniką obserwacji elektronomikroskopowej jest technika TRANSMISYJNEJ MIKROSKOPII ELEKTRONOWEJ (TEM), z użyciem cienkich folii, która umożliwia bezpośrednią obserwację mikrostruktury; dyslokacji, granic ziaren, orientację ziaren itp. Inna techniką mikroskopii elektronowej jest technika replik.

MATERIAŁOZNAWSTWO

W skali **submikroskopowej** (atomowej) rozpatruje się *strukturę krystaliczną,* tj. przestrzenny rozkład cząstek materii (atomów, jonów, cząsteczek), typ i symetrię sieci przestrzennej, rozkład cząstek materii w komórce elementarnej, jej wymiary.

Współczesne metody eksperymentalne umożliwiają bezpośrednią obserwację zgrupowań atomów (np. strefy GP). Jednak pośrednio metodami dyfrakcji rentgenowskiej lub elektronowej można określić położenie poszczególnych atomów w przestrzeni (komórce elementarnej) wymienione cechy struktury krystalicznej można określić i zmierzyć ze znaczną dokładnością.

MATERIAŁOZNAWSTWO

O niezawodności i trwałości konstrukcji decyduje zespół cech umożliwiających zachowanie niezmiennych w czasie, właściwości materiału, do których można zaliczyć:

- Stabilne własności mechaniczne
- wysokie własności trybologiczne (odporność na mechaniczne ścieranie współpracujących elementów, erozję, kawitację)
- Odporność na działanie podwyższonej temperatury
- odporność na korozję , itp

MATERIAŁOZNAWSTWO

Pełny opis struktury wymaga znajomości :

- **Składu chemicznego materiału**
- **Składu fazowego** (faz składowych)
- **Struktury materiału** (monokryształ, polikryształ, morfologia)

Struktura materiału jest stabilna w określonych warunkach zewnętrznych (temperatura, ciśnienie).

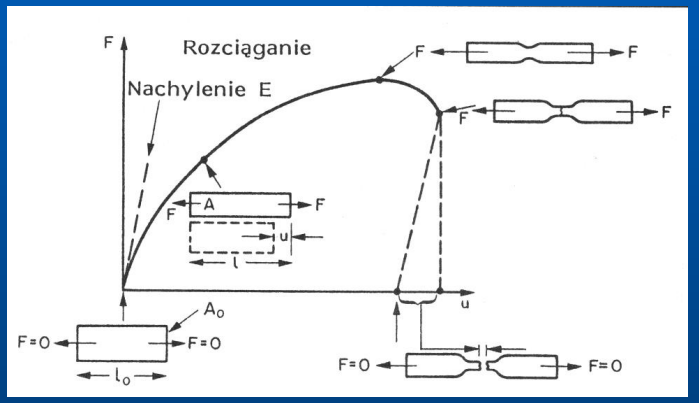
Zmiana tych warunków może wywołać w materiale przemianę fazową i w konsekwencji zmianę struktury, a więc i właściwości. Analogiczny skutek można uzyskać poddając materiał odpowiednim procesom technologicznym; w tym zakresie szczególnie efektywne są obróbka plastyczna i obróbka cieplna.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Do cech materiału o szczególnym znaczeniu użytkowym należą właściwości mechaniczne i plastyczne.

Rozumie się przez nie zespół cech tj:

- granica sprężystości
- granica plastyczności
- wytrzymałość na rozciąganie
- wydłużenie
- przewężenie
- udarność
- twardość



Spośród nich najczęściej granica plastyczności jest podstawą obliczeń podczas projektowania. Decydując o wymiarach przekroju elementów, niezbędnych do przenoszenia przewidywanych obciążeń, wespół z ciężarem właściwym przesądza o gabarycie i ciężarze konstrukcji.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Przez **właściwości technologiczne** rozumie się podatność materiału do określonych technik wytwarzania, np.: odlewanie (lejność), spawanie (spawalność), obróbka plastyczna (ciągliwość, tłoczność), obróbka skrawaniem (skrawalność), obróbka cieplna (hartowność) itp. Właściwości te, przy uwzględnieniu wielkości produkcji, decydują o wyborze optymalnej technologii, a w połączeniu z ceną materiału o koszcie konstrukcji.

W konkretnych przypadkach jedna cecha przesądza o wyborze materiału, usuwając na dalszy plan właściwości mechaniczne,technologiczne oraz cenę.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Podział materii ze względu na charakter dominującego wiązania pomiędzy atomami lub cząsteczkami:

- **metaliczne** o wiązaniu metalicznym,
- **ceramiczne** o wiązaniu kowalencyjnym albo jonowym,
- **polimeryczne**, w których działa wiązanie kowalencyjne (w obrębie makrocząsteczek) i siły Van der Waalsa (między makrocząsteczkami).

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

PROJEKT FINANSOWANY
ZE ŚRODKÓW UNII EUROPEJSKIEJ I BUDŻETU PAŃSTWA

W GŁOGOWIE PWSZ

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Układ Okresowy Pierwiastków

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H 1 Wodór																	He 2 Hel
2	Li 3 Lit	Be 4 Beryl											B 5 Bor	C 6 Węgiel	N 7 Azot	O 8 Tlen	F 9 Fluor	Ne 10 Neon
3	Na 11 Sód	Mg 12 Magnez											Al 13 Glin	Si 14 Krzem	P 15 Fosfor	S 16 Siarka	Cl 17 Chlor	Ar 18 Argon
4	K 19 Potas	Ca 20 Wapń	Sc 21 Skand	Ti 22 Tytan	V 23 Wanad	Cr 24 Chrom	Mn 25 Mangan	Fe 26 Żelazo	Co 27 Kobalt	Ni 28 Nikiel	Cu 29 Miedź	Zn 30 Cynk	Ga 31 Gal	Ge 32 German	As 33 Arsen	Se 34 Selen	Br 35 Brom	Kr 36 Krypton
5	Rb 37 Rubid	Sr 38 Stront	Y 39 Itr	Zr 40 Cyrkon	Nb 41 Niob	Mo 42 Molibden	Tc 43 Technet	Ru 44 Ruten	Rh 45 Rod	Pd 46 Palad	Ag 47 Srebro	Cd 48 Kadm	In 49 Ind	Sn 50 Cyna	Sb 51 Antymon	Te 52 Tellur	I 53 Jod	Xe 54 Ksenon
6	Cs 55 Cez	Ba 56 Bar	La* 57 Lantan	Hf 72 Hafn	Ta 73 Tantal	W 74 Wolfram	Re 75 Ren	Os 76 Osm	Ir 77 Iryd	Pt 78 Platyna	Au 79 Złoto	Hg 80 Rtęć	Tl 81 Tal	Pb 82 Ołów	Bi 83 Bizmut	Po 84 Polon	At 85 Astat	Rn 86 Radon
7	Fr 87 Frans	Ra 88 Rad	Ac** 89 Aktyn	Rf 104 Rutherf.	Db 105 Dubn	Sg 106 Seaborg	Bh 107 Bohr	Hs 108 Has	Mt 109 Meitner	Ds 110 Darms.	Rg 111 Roent.	Uub 112	Uut 113	Uuq 114	Uup 115	Uuh 116	Uus 117	Uuo 118

MATERIAŁOZNAWSTWO

Rodzaje materiałów:

- Metale i ich stopy
- Materiały ceramiczne i szkła
- Polimery
- Kompozyty
- Półprzewodniki





MATERIAŁOZNAWSTWO

Materiały metaliczne, tj. metale techniczne i ich stopy, należą do grupy tworzyw krystalicznych. Charakteryzują się bardzo dobrymi właściwościami wytrzymałościowymi i plastycznymi, dobrą przewodnością elektryczną i cieplną oraz zróżnicowaną odpornością na korozję. Odznaczają się na ogół dobrymi właściwościami technologicznymi oraz łatwością nadawania im (stopy metali) bardzo różnorodnych właściwości fizycznych i chemicznych. Wadą materiałów metalicznych jest na ogół duży ciężar właściwy. Stanowią one podstawowe tworzywo na wyroby przemysłu maszynowego oraz na konstrukcje metalowe.

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

PROJEKT FINANSOWANY
ZE ŚRODKÓW UNII EUROPEJSKIEJ I BUDŻETU PAŃSTWA

W GŁOGOWIE PWSZ

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

METALE I STOPY METALI:

Spośród 103 pierwiastków 80 to metale



Wyróżniamy:
Czyste metale np.: Cu, Zn, Au , Ag
Stopy metali np.:
Brązy, mosiadze (stopy miedzi)
stale (stopy żelaza)
stopy aluminium
stopy złota
stopy srebra
i wiele innych …..



MATERIAŁOZNAWSTWO

Materiały ceramiczne należą w zasadzie do tworzyw krystalicznych, jakkolwiek mogą mieć pewien udział fazy amorficznej. Cechuje je duża twardość i kruchość. Przeważnie są izolatorami elektrycznymi i cieplnymi, o znacznej odporności na korozję. Wadą ich są złe właściwości technologiczne, przez co wymagają specjalnych technik przetwarzania. Właściwości predystynują materiały ceramiczne do specjalnych zastosowań, np. do wyrobu elementów żaroodpornych, elektroizolacyjnych, termoizolacyjnych oraz jako specjalne materiały narzędziowe (ostrza narzędzi skrawających, środki ścierne i polerskie).

MATERIAŁOZNAWSTWO

MATERIAŁY CERAMICZNE I SZKŁA:

Wiekszość materiałów ceramicznych to:
- **tlenki metali** (Al_2O_3, MgO, SiO_2, SiC, Si_3N_4)
- **związki chemiczne metali z** C, N, P, S

Materiały ceramiczne dzielą się na:
- **krystaliczne (typowe materiały ceramiczne)**
- **amorficzne (szkła)**

Materiały te charakteryzują się:
- **małą przewodnością cieplną i elektryczną**
- **wysoką odporność na obciążenia ściskające**
- **wysoką odpornością korozyjną (zwłaszcza materiały ceramiki tlenkowej)**
- **wysokimi temperaturami topnienia**
- **stosunkowo dużą stabilnością chemiczną**

MATERIAŁOZNAWSTWO

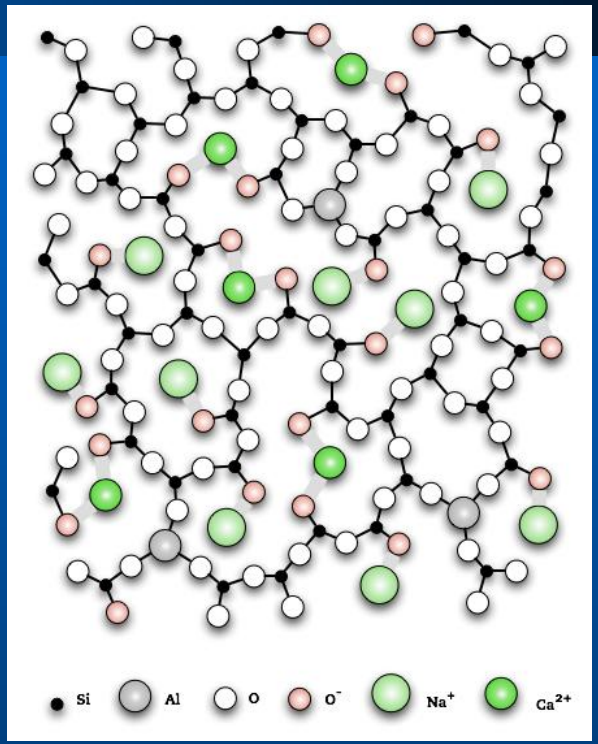
MATERIAŁY CERAMICZNE I SZKŁA:

Spośród matariałów ceramicznych o budowie amorficznej na szczególna uwagę zasługują **szkła krzemianowe.**

Ich wiodąca cechą jest **przeźroczystość** dla światła widzialnego.

Typowe szkło „okienne” posiada skład:

72% SiO_2, reszta Na_2O, CaO



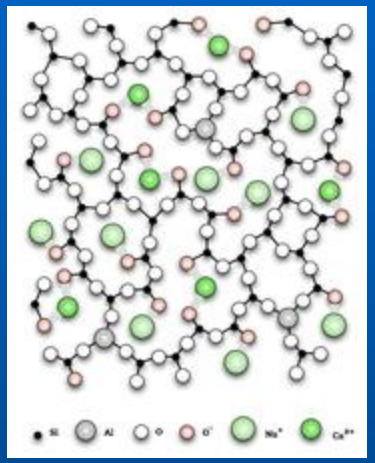
Struktura szkła sodowo-wapniowego

MATERIAŁOZNAWSTWO

CECHY szkła sodowo-wapniowego:

- substancja bezpostaciowa, tzn. nie ma uporządkowanej budowy wewnętrznej
- nie posiada stałej temperatury topnienia
- materiał izotropowy
- słaby przewodnik dla elektryczności
- materiał o dużej odporności chemicznej (nie jest odporny na działanie kwasu fluorowodorowego)

Właściwości szkła są uzależnione od sposobu wytopu, oraz w ograniczonym zakresie od składu chemicznego.



Struktura szkła sodowo-wapniowego

WŁASCIWOŚCI MECHANICZNE szkła budowlanego:

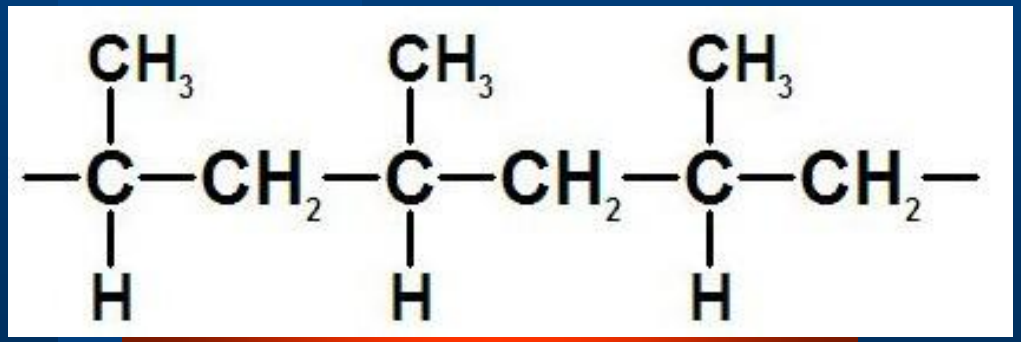
- twardość w skali Mosha 5-7
- gęstość szkła budowlanego 2400–2600 kg/m³
- wytrzymałość na zginanie 30–50 MPa
- wytrzymałość na sciskanie 800–1000 MPa
- Moduł Younga 70 Gpa

MATERIAŁOZNAWSTWO

POLIMERY (tworzywa sztuczne)

Polimery (gr. *polymeres* - wieloczęściowy, zbudowany z wielu części) Substancje chemiczne o bardzo dużej masie cząsteczkowej, które składają się z wielokrotnie powtórzonych jednostek zwanych merami. Są to głównie związki chemiczne węgla z wodorem, oraz O, N, F, Cl, S.

Polimery cechują się dobrą odpornością na korozję, małą gestością, niską przewodnością cieplną i elektryczną a także łatwością nadawania skomplikowanych kształtów w formach, co jest wykorzystywane do produkcji całej gamy wyrobów. Polimery posiadają niską temperaturę topnienia (przechodzenia w stan ciastowato-płyny), małą sztywność.



Fragment łańcucha przykładowego polimeru – polipropylenu

MATERIAŁOZNAWSTWO

Polimery, tj. tworzywa sztuczne, należą do grupy tworzyw amorficznych.

Odznaczają się stosunkowo dobrymi właściwościami mechanicznymi, są elektroizolatorami oraz są bardzo odporne na działanie czynników chemicznych. Zaletą ich jest mały ciężar właściwy, a wadą - mała odporność na działanie temperatur przekraczających 200-300° C (organiczne związki węgla z wodorem i tlenem). Aktualnie obserwuje się ogromny wzrost zastosowań tworzyw sztucznych, coraz skuteczniej konkurujących z materiałami metalicznymi w zakresie elementów maszyn i zdecydowanie wypierających metale i szkło w zakresie opakowań, albo metale i drewno w zakresie elementów wystroju wnętrz i taboru komunikacyjnego. Jednym z powodów wzrostu produkcji tworzyw sztucznych jest możliwość wydatnego powiększenia ich cech mechanicznych przez tzw. zbrojenie kompozyty), np. włóknami metalicznymi lub ceramicznymi (szkło, węgiel).

MATERIAŁOZNAWSTWO

Wyróżnia się następujące podziały **polimerów**:

- ze względu na ich pochodzenie
- ze względu na topologię cząsteczek, czyli ich ogólny kształt przestrzenny
- ze względu na jednorodność budowy

Podział ze względu na pochodzenie:

Polimery syntetyczne - są to polimery pochodzące w 100% z syntezy chemicznej zaczynającej się od prostych monomerów

Polimery naturalne - są to polimery wytwarzane w 100% przez organizmy żywe; są to m.in. celuloza, białka, kwasy nukleinowe

polimery modyfikowane - są to polimery naturalne, które jednak zostały sztucznie zmodyfikowane chemicznie, zwykle w celu zmiany ich własności użytkowych np.: octan celulozy, białko modyfikowane, skrobia modyfikowana

MATERIAŁOZNAWSTWO

Podział polimerów ze względu na topologię:

Polimer liniowy - są to polimery, w których łańcuchy główne są proste i nie mają żadnych rozgałęzień np: wysokociśnieniowy **polietylen , teflon**

Polimer rozgałęziony - są to polimery, w których łańcuchy główne są rozgałęzione - wyróżnia się tutaj:

Polimer bocznołańcuchowy - w którym, krótkie, boczne łańcuchy są regularnie bądź nieregularnie rozmieszczone wzdłuż głównego łańcucha

Polimer rozgałęziony wielokrotnie -po angielsku *hyperbranched*, w którym występuje wiele wielkokrotnych rozgałęzień, tak że nie da się już wyróżnić głównego łańcucha;

Polimer gwiazdowy - w którym z jednego centralnego punktu wybiega kilka do kilkunastu "ramion" będących zwykłymi liniowymi łańcuchami;

Polimer drabinkowy- są to polimery, w których występują dwa równoległe łańcuchy główne połączone od czasu do czasu, krótkimi, bocznymi łańcuchami

Polimer usieciowany - są to polimery, które tworzą przestrzenną ciągłą sieć, tak że nie da się już w nich wyróżnić pojedynczych cząsteczek.

Plimer cykliczny - stosunkowo rzadko spotykany - w którym zamiast liniowych cząsteczek występują ogromne cząsteczki cykliczne.

MATERIAŁOZNAWSTWO

KOMPOZYTY

Kompozyt (materiał kompozytowy) - materiał o strukturze niejednorodnej, złożony z dwóch lub więcej komponentów (faz) o różnych właściwościach. Uzyskane cechy kompozytów różnią się od właściwości tworzących go składników.

Kompozyty dzielimy na:

- Kompozyty **Naturalne** (drewno)
- Kompozyty **Sztuczne** (sklejka, żywice polimerowe zbrojone włóknami węglowymi, itp)

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kompozyty są to tworzywa składające się z dwóch lub więcej faz o własnościach nieosiągalnych w żadnym innym materiale. Kompozyty pozwalają na otrzymywanie lekkich, mocnych i elastycznych konstrukcji. Są nimi także materiały żarowytrzymałe (np. łopatki turbin gazowych) i narzędzia (np. węgliki spiekane

Do najbardziej znanych kompozytów należą żelazo - beton, eternit, szkło zbrojone siatką metalową, węgliki spiekane, cermetale i inn.

Kompozyty dzielimy na umacniane:

- **cząstkami (dyspersyjnie)**
- **włóknami (włókniste -włókna cięte i ciągłe)**

Możliwe są różne kombinacje przy komponowaniu kompozytów. Np. osnowa metaliczna, polimerowa, ceramiczna, a cząstki lub włókna mogą być metalowe, ze związków międzymetalicznych, ceramiczne, węglowe (grafit), polimerowe, lub o złożonej budowie (np. włókna borsic).

MATERIAŁOZNAWSTWO

Funkcje zbrojenia kompozytu :

- poprawia określone właściwości mechaniczne i/lub użytkowe wyrobu
- niekiedy zmniejsza koszt wsadu surowcowego (dotyczy to napełniaczy proszkowych)

Funkcje osnowy kompozytu:

- utrzymuje razem zbrojenie
- zapewnia wytrzymałość na ściskanie
- przenosi naprężenie zewnętrzne na zbrojenie,
- zatrzymuje rozprzestrzenianie się pęknięć,
- nadaje wyrobom żądany kształt.

Kompozyty

Osnowa kompozytu – jest to najczęściej polimer, może to być także metal (np. tytan, glin, miedź) lub ceramika (np. tlenek glinu). Wymienione materiały różnią się znacznie właściwościami takimi jak wytrzymałość na rozciąganie, sztywność, odporność na kruche pękanie, temperatura użytkowania, a przede wszystkim różnią się ciężarem właściwym. Najczęściej osnową są polimery, ze względu na ich mały ciężar właściwy i łatwość kształtowania. Niezależnie jednak, jaki to jest materiał osnowa spełnia w kompozycie wymienione funkcje.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Podział kompozytów ze względu na osnowę:

1)kompozyty metalowe
- kompozyty o osnowie ze stopu metali lekkich (Mg, Al, Ti)
- kompozyty o osnowie ze stopu srebra i miedzi
- kompozyty o osnowie ze stopu niklu
- kompozyty o osnowie ze stopu ołowiu i cynku

2) kompozyty polimerowe (żywice termoutwardzalne jak fenoplasty i aminoplasty; duroplasty chemoutwardzalne, silikony, tworzywa termoplastyczne)

3) kompozyty ceramiczne (materiały budowlane jak cement i gips; materiały hutnicze - głównie ogniotrwałe; materiały stosowane w elektronice)

MATERIAŁOZNAWSTWO

PÓPRZEWODNIKI

Półprzewodniki to najczęściej substancje krystaliczne, których konduktancja właściwa jest rzędu 10^{-8} do 10^{6} S/m (Simensa na metr), co plasuje je pomiędzy przewodnikami i dielektrykami.
Materiały półprzewodnikowe są wytwarzane w postaci monokryształów lub polikryształów w postaci litej lub proszkowej.

W przemyśle elektronicznym najczęściej stosowanymi materiałami półprzewodnikowymi są:

- pierwiastki grupy IV (np. **krzem, german**)

- związki pierwiastków grup III i V (np. **arsenek galu , azotek galu , antymonek indu)**

- Związki pierwiastków grup II i VI (**tellurek kadmu**).

MATERIAŁOZNAWSTWO

PÓPRZEWODNIKI

Półprzewodniki posiadają pasmo wzbronione pomiędzy pasmem walencyjnym a pasmem przewodzenia w zakresie 0 - 5 eV

- Ge 0,7 eV
- Si 1,1 eV
- GaAs 1,4 eV
- GaN 3,4 eV

Koncentracje nośników ładunku w półprzewodnikach można zmieniać w bardzo szerokich granicach, poprzez zmianę:

- temperatury półprzewodnika. (Wartość rezystancji półprzewodnika maleje ze wzrostem temperatury)
- natężenie światła padającego na półprzewodnik
- wywołanie stanu **naprężeń ściskających lub rozciągających** w materiale półprzewodnika.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Rodzaje półprzewodników

• **samoistne** (Półprzewodnik samoistny jest to półprzewodnik, którego materiał jest idealnie czysty, bez żadnych zanieczyszczeń, domieszek i defektów struktury krystalicznej). Koncentracja wolnych elektronów w półprzewodniku samoistnym jest równa koncentracji dziur.
Przyjmuje się, że w temperaturze zera bezwzględnego (0 K) w paśmie przewodnictwa nie ma elektronów, natomiast w temperaturach większych ma miejsce generacja par elektron-dziura; im wyższa temperatura, tym więcej takich par powstaje. Półprzewodniki samoistne to np.: Si, Ge.

• **domieszkowe** (Półprzewodniki domieszkowe powstają poprzez wprowadzenie do struktury materiału półprzewodnika samoistnego domieszek- atomów obcych) Domieszki są to atomy pierwiastków, które nie wchodzą w skład półprzewodnika samoistnego. Materiały uzyskane tym sposobem nazywają się *półprzewodnikami niesamoistnymi* lub *półprzewodnikami domieszkowanymi*. Na przykład domieszka krzemu (Si) w arsenku galu (GaAs).

PÓŁPRZEWODNIKI DOMIESZKOWE dzielą się na:

- **Półprzewodniki „typu n”** Mówimy wtedy o przewodnictwie elektronowym, lub przewodnictwie typu *n* (z ang. *negative* - ujemny). Dla krzemu (Si) typowymi domieszkami donorowymi są atomy 5 grupy układu okresowego (więcej elektronów walencyjnych), głównie Fosfor (P).

- **Półprzewodniki „typu p”** Wprowadzenie domieszki dającej niedobór elektronów (w stosunku do półprzewodnika samoistnego) powoduje powstanie *półprzewodnika typu p*, domieszka taka zaś nazywana jest *domieszką akceptorową* ("przyjmuje elektron"). Typowymi akceptorami dla Krzemu (Si) są atomy 3 grupy układu okresowego (mniej elektronów na ostatniej powłoce), zwykle Bor (B).

PÓŁPRZEWODNIKI DOMIESZKOWE

Półprzewodniki „typu n”

Występowanie w strukturze półprzewodnika atomów obcych zaburza równowagę elektronów w wiązaniach kowalencyjnych powodując wystąpienie nadmiaru lub niedoboru elektronów.

Wprowadzenie domieszki dającej nadmiar elektronów (w stosunku do półprzewodnika samoistnego) powoduje powstanie *półprzewodnika typu n*, domieszka taka zaś nazywana jest *domieszką donorową* ("oddaje elektron"). W takim półprzewodniku powstaje dodatkowy poziom energetyczny (poziom donorowy) położony w obszarze pasma zabronionego niewiele poniżej poziomu przewodnictwa, lub w samym paśmie przewodnictwa. Nadmiar elektronów jest uwalniany do pasma przewodnictwa (prawie pustego w przypadku półprzewodników samoistnych) w postaci elektronów swobodnych zdolnych do przewodzenia prądu.

MATERIAŁOZNAWSTWO

PÓŁPRZEWODNIKI DOMIESZKOWE

Półprzewodniki **„typu p”**

Wprowadzenie domieszki dającej niedobór elektronów (w stosunku do półprzewodnika samoistnego) powoduje powstanie *półprzewodnika typu p*, domieszka taka zaś nazywana jest *domieszką akceptorową* ("przyjmuje elektron"). W takim półprzewodniku powstaje dodatkowy poziom energetyczny (poziom akceptorowy) położony w obszarze pasma zabronionego niewiele nad poziomem walencyjnym, lub w samym paśmie walencyjnym. Poziomy takie wiążą elektrony znajdujące się w paśmie walencyjnym (prawie zapełnionym w przypadku półprzewodników samoistnych) powodując powstanie w nim wolnych miejsc. Takie wolne miejsce nazwano *dziurą elektronową*. Zachowuje się ona jak swobodna cząstka o ładunku dodatnim i jest zdolna do przewodzenia prądu. Mówimy wtedy o przewodnictwie dziurowym, lub przewodnictwie typu *p* (z ang. *positive* - dodatni). Dziury, ze względu na swoją masę efektywną, zwykle większą od masy efektywnej elektronów, mają mniejszą ruchliwość a przez to rezystywność materiałów typu *p* jest z reguły większa niż materiałów typu *n* mających ten sam poziom domieszkowania.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Zastosowanie półprzewodników:

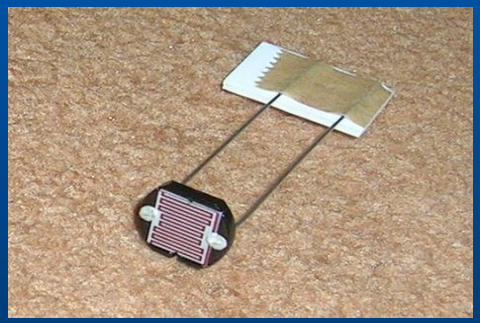
Diody
- prostownicze
- LED
- stabilizacyjne (Zenera)
- Fotodiody
- pojemnosciowe
- Schottky'ego
- tunelowe itp.

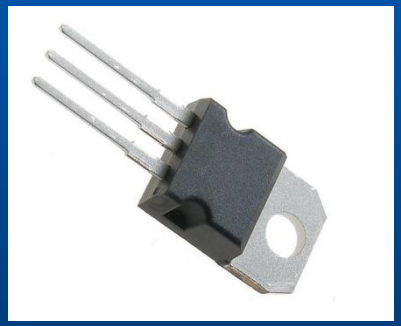
Tyrystory
Termistory
Dynistory
Hallotrony
Tranzystory
- bipolarne
- unipolarne
- fototanzystory

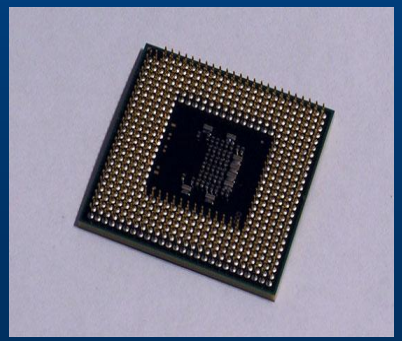
Lasery półprzewodnikowe
Podłoża w elementach elektroniki
Mikrosystemy











ENERGIA ATOMÓW I CZĄSTEK

Izolowana cząstka (oprócz energii wewnętrznej) posiada jedynie energię kinetyczną ruchu postępowego niezależną od położenia:

$$E_m = (1/2)\, m\, \upsilon^2$$

Pojawienie się oddziaływań (pola potencjalnego) może wywołać drgania, których energia kinetyczna E_h zwiększa energię kinetyczną atomu.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Energia każdego obiektu materialnego w tym atomów i cząstek jest sumą energii **kinetycznej i potencjalnej**

$$E = E_k + E_p$$

Energia potencjalna E_p pojawia się, gdy obiekt znajduje się w polu potencjalnym, to znaczy, gdy pojawią się oddziaływania. Energia potencjalna zależy od położenia.

Energia kinetyczna:

$$E_k = E_m + E_h$$

gdzie: E_m energia związana z ruchem postępowym atomu,
E_h energia kinetyczna ruchu drgającego atomu

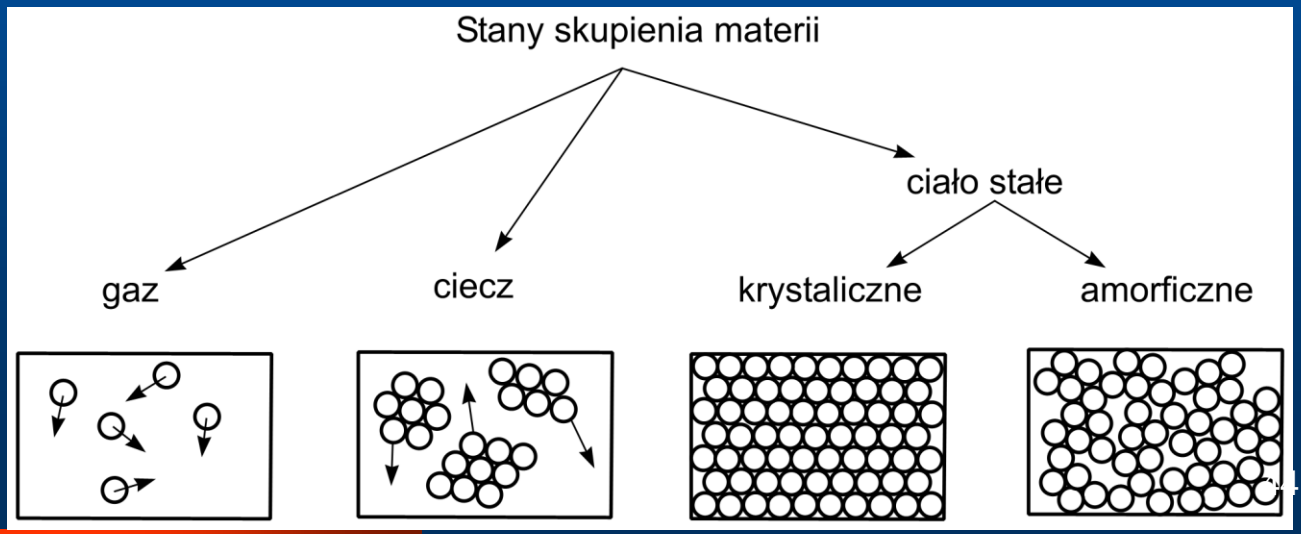
Ruch drgający jest możliwy jedynie w polu potencjalnym

MATERIAŁOZNAWSTWO

Jeżeli, energia kinetyczna $E_m >> E_h + E_p$ to atom porusza się swobodnie - jest zatem w **gazowym stanie skupienia**.

Jeżeli, energia kinetyczna $E_m \approx E_h + E_p$ to atom porusza się jedynie w ograniczonym zakresie (dystans ruchu jest porównywalny z jego wymiarami) - jest zatem w **ciekłym stanie skupienia**.

Jeżeli, energia kinetyczna $E_m << E_h + E_p$ lub $E_m \approx 0$ to atom porusza się jedynie ruchem drgającym wokół ustalonego położenia - jest zatem w **stałym stanie skupienia.**



MATERIAŁOZNAWSTWO

Stan skupienia materii zależy od energii kinetycznej atomów lub cząstek substancji.

Na powyższej obserwacji zbudowano definicję temperatury ciała:

Temperatura to bezwymiarowa liczba proporcjonalna do średniej energii kinetycznej cząstek (atomów) danej substancji

$$T = E_k/k$$

gdzie: **k** – stała Boltzmana

MATERIAŁOZNAWSTWO

Zmiana stanu skupienia oznacza **zanik lub pojawienie się nowej składowej ruchu cząstki** czyli zanik lub pojawienie się specyficznego sposobu gromadzenia energii kinetycznej.

Lokalne różnice energii kinetycznej w stosunku do średniej energii stanowią **fluktuacje termiczne**. Czym większa fluktuacja i czym większą objętość zajmuje tym mniejsze prawdopodobieństwo jej wystąpienia.

W temperaturze zera bezwzględnego atomy (cząstki) są w bezruchu, zatem nie występują również fluktuacje termiczne.

MATERIAŁOZNAWSTWO

ODDZIAŁYWANIA CZĄSTEK ELEMENTARNYCH

Oddziaływanie - rodzaj działania, które występuje gdy dwa lub więcej obiektów ma na siebie jakiś wpływ. Różne nauki używają słowa *oddziaływanie* do różnych celów.

W **fizyce i chemii**, oddziaływanie odnosi się do działania jednego obiektu na drugie i jego miarę stanowi energia oddziaływania. Oddziałujące obiekty mogą być dowolnymi obiektami fizycznymi od punktu materialnego do pól kwantowych. Na przykład, oddziaływanie elektryczne następuje za pośrednictwem naładowanych cząstek. Oddziaływania podstawowe to takie oddziaływania, które nie dają się sprowadzić do innych oddziaływań.

Obecnie znamy następujące rodzaje oddziaływań podstawowych:

oddziaływanie elektromagnetyczne!!!
oddziaływanie słabe
oddziaływanie silne
oddziaływanie grawitacyjne

MATERIAŁOZNAWSTWO

Oddziaływanie elektromagnetyczne - odpowiada ono za siły działające między naładowanymi cząstkami - ładunkami dodatnimi i ujemnymi. Jednoimienne się odpychają, różnoimienne przyciągają. Oddziaływanie to odpowiedzialne jest za siły kontrolujące strukturę atomową, reakcje chemiczne i wszystkie zjawiska elektromagnetyczne.

Siłę oddziaływania wyraża prawo Culomba

$$F = k \cdot q_1 \cdot q_2 / r^2$$

F- siła wzajemnego oddziaływania dwóch ładunków elektrycznych, q_1 , q_2 - punktowe ładunki elektryczne, r - odległość między ładunkami, k - stała

MATERIAŁOZNAWSTWO

Oddziaływanie silne - jest około 100 razy silniejsze od oddziaływania elektromagnetycznego stąd jego nazwa. Działa **tylko** na niewielkie odległości rzędu 10^{-15} m działa między kwarkami.

Oddziaływanie słabe - są one około 10^{10} słabsze od oddziaływania elektromagnetycznego i działają na bardzo małe odległości rzędu 10^{-18} m.

Oddziaływania grawitacyjne - występuje między każdymi ciałami posiadającymi masę. Jest to najsłabsze znane oddziaływanie. Przy oddziaływaniu między dwoma protonami siła grawitacyjna jest około 10^{36} razy mniejsza od siły elektrostatycznej. Ma ona znaczenie przy oddziaływaniu ciał o bardzo dużych masach. Siłę tego oddziaływania wyraża prawo powszechnego ciążenia $F = q \cdot m_1 \cdot m_2 / r^2$, gdzie m_1 i m_2 to masy ciał, q jest stałą grawitacji.

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

PROJEKT FINANSOWANY
ZE ŚRODKÓW UNII EUROPEJSKIEJ I BUDŻETU PAŃSTWA

W GŁOGOWIE PWSZ

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Wiązania międzyatomowe są konsekwencją oddziaływań elektromagnetycznych i dzielą się na pierwotne i wtórne

Wiązanie według klasycznej definicji to każde trwałe połączenie dwóch atomów. Wiązania powstają na skutek zlokalizowanego lub zglobalizowanego uwspólnienia elektronów pochodzących bądź z jednego, bądź wielu łączących się atomów, albo przeskoku jednego lub więcej elektronów z jednego atomu na inny atom i utworzenia w wyniku tego tzw. par jonowych.

Wiązania pierwotne:

-Wiązanie jonowe
-Wiązanie kowalencyjne
-Wiązanie metaliczne

Wiązania wtórne:

- Wiązanie wodorowe
- Wiązanie Van der Waalsa

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

PROJEKT FINANSOWANY
ZE ŚRODKÓW UNII EUROPEJSKIEJ I BUDŻETU PAŃSTWA

W GŁOGOWIE PWSZ

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

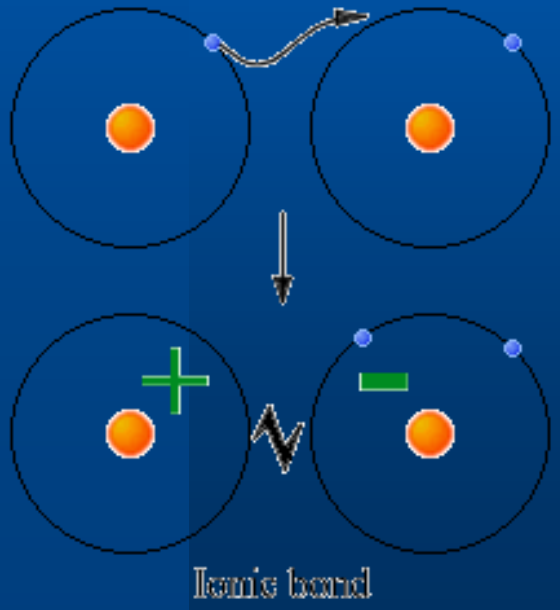
KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

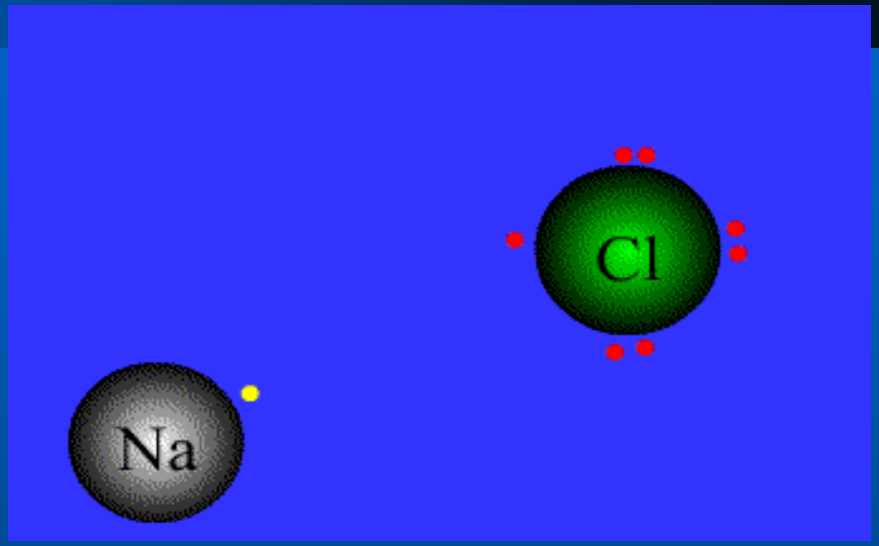
MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: **AUTOMATYKA I ROBOTYKA**

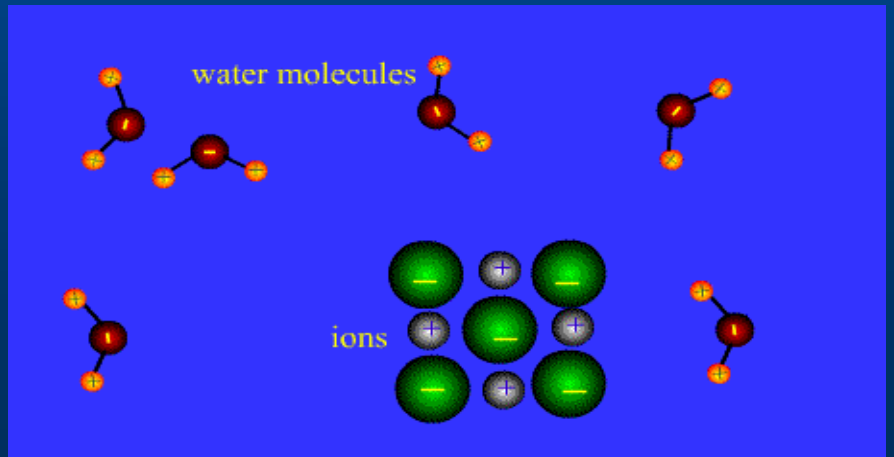
Wiązania jonowe

Mechanizm powstawania

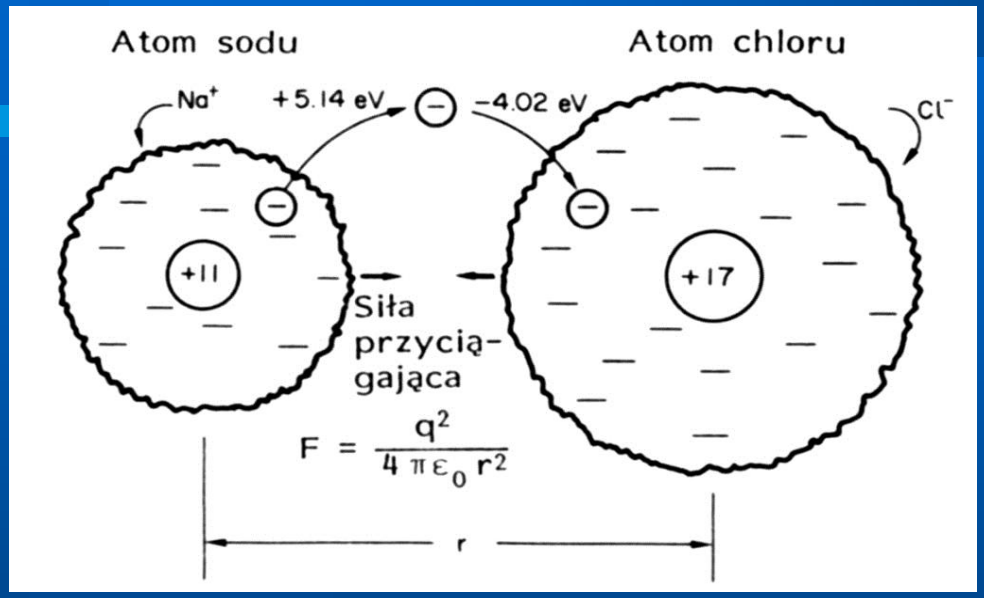


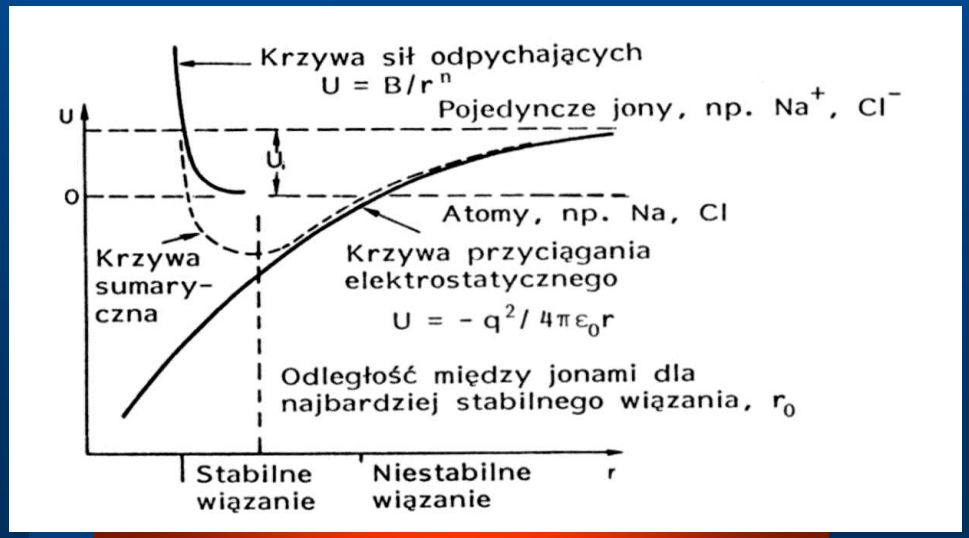


Dysocjacja w roztworze wodnym



MATERIAŁOZNAWSTWO





Praca jonizacji sodu i chloru:

$U_i = -5{,}14eV + 4{,}02eV = -1{,}12eV$

Praca wykonana przez siły przyciągania elektrostatycznego:

$U = \int F dr = (q^2)/(4\pi\varepsilon r)$ dla $r \approx 1nm$

$U \approx 1.12eV$

Praca sił odpychających:

$U_r = B/r^n$, a minimum energii wystąpi:

$U_{min} = U_i - (q^2)/(4\pi\varepsilon r) + B/r^n$

dla r=a, a – stała, parametr sieci

$U_{min} = 3{,}3eV$

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

PROJEKT FINANSOWANY
ZE ŚRODKÓW UNII EUROPEJSKIEJ I BUDŻETU PAŃSTWA

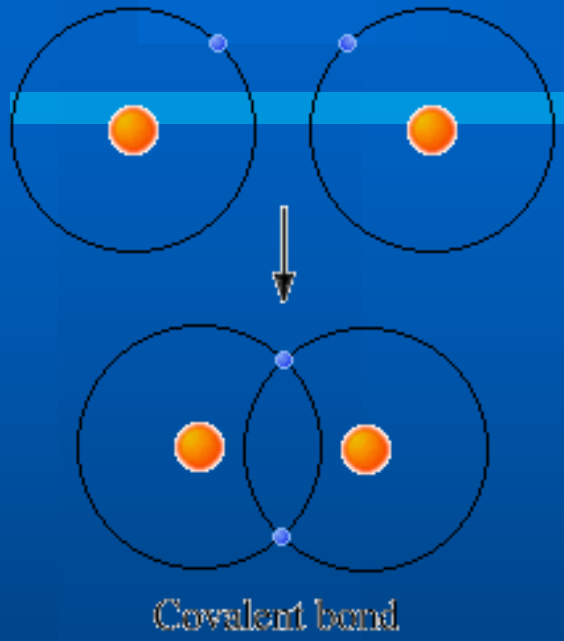
W GŁOGOWIE PWSZ

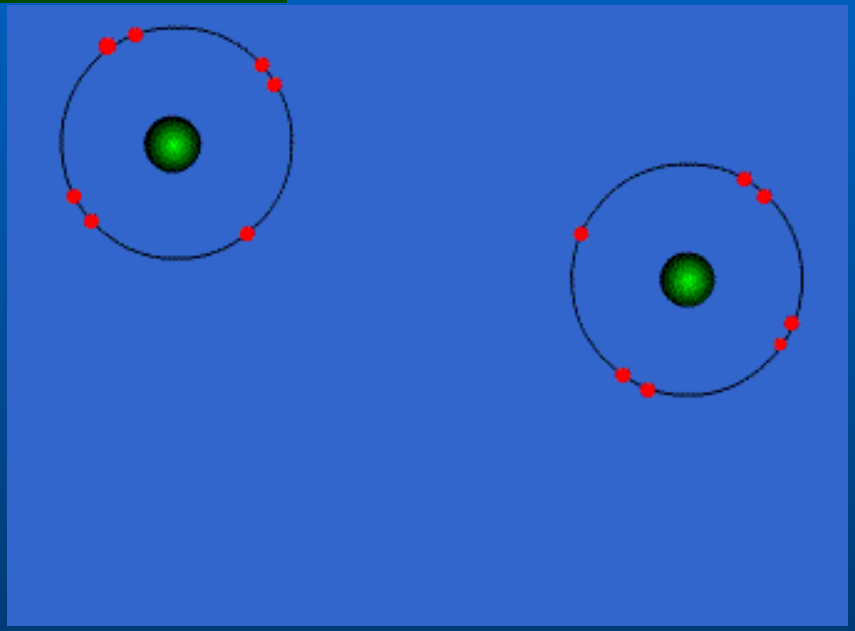
UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

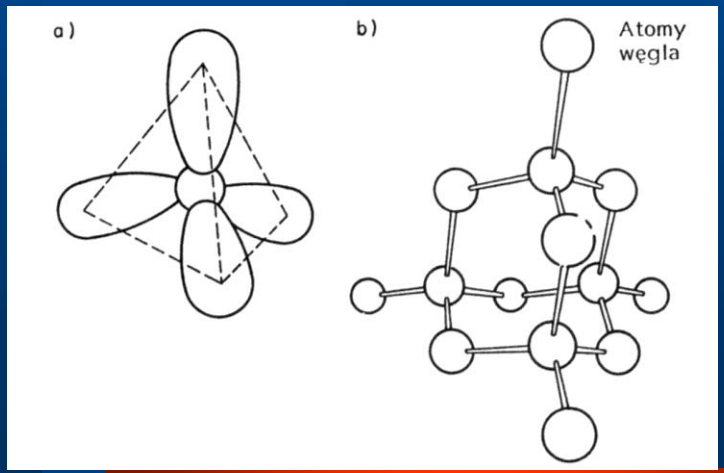
KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

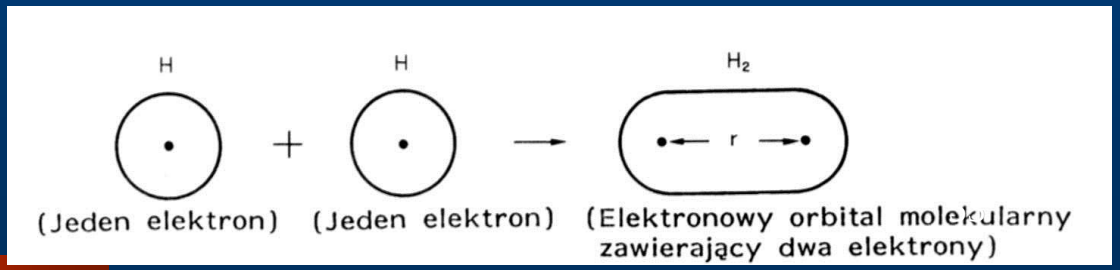
Wiązanie kowalencyjne

Mechanizm powstawania



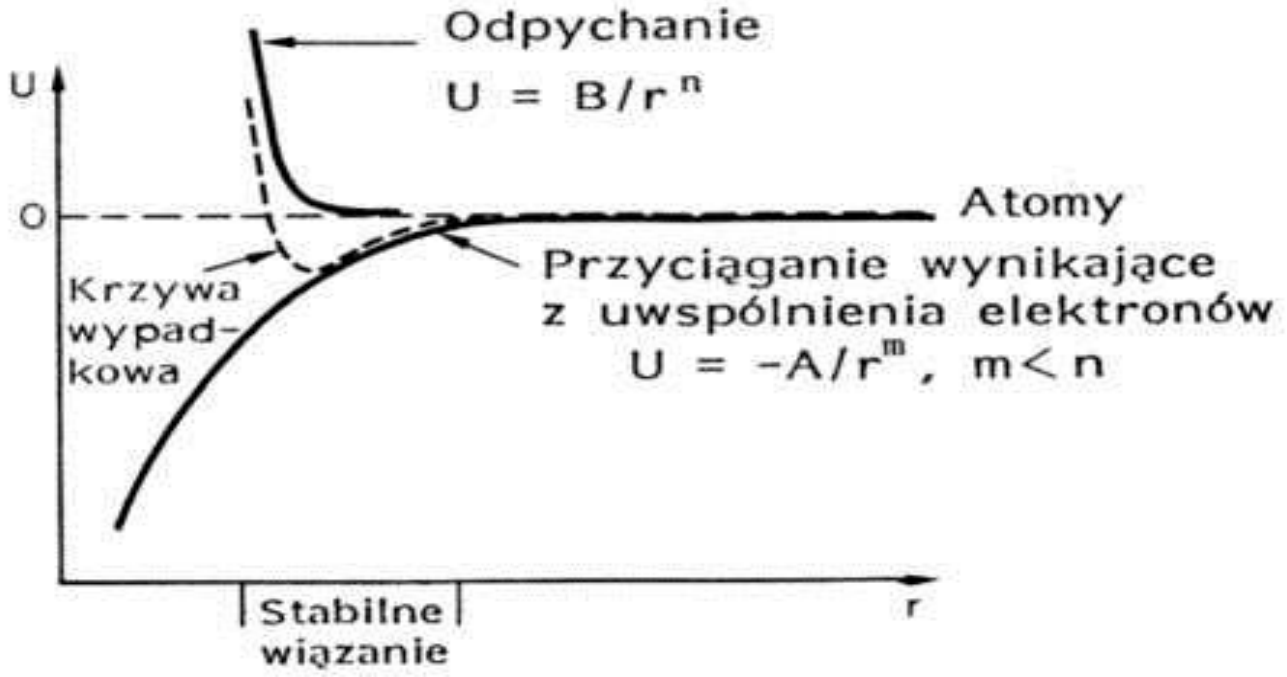






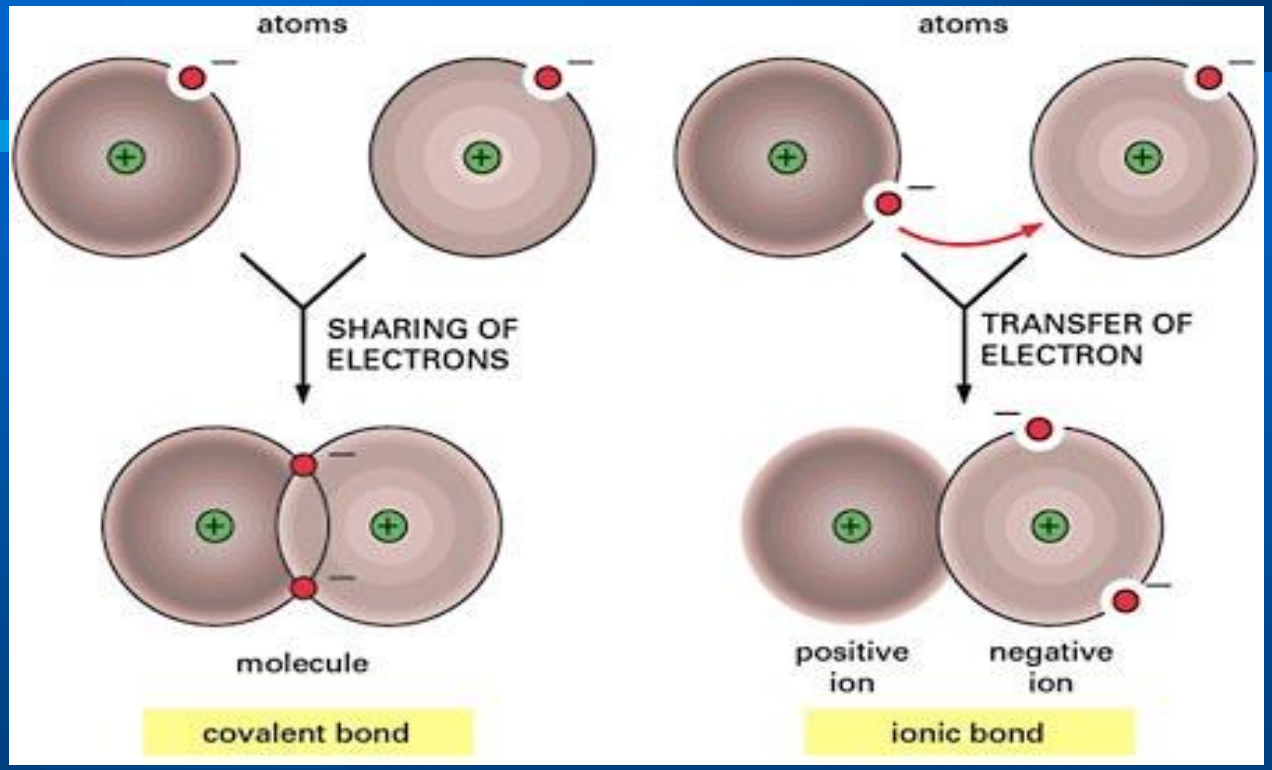
Wiązanie kowalencyjne

$$U = -\underbrace{\frac{A}{r^m}}_{\text{składnik przyciągający}} + \underbrace{\frac{B}{r^n}}_{\text{składnik odpychający}} \qquad (m < n)$$



MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA



Wiązanie kowalencyjne a wiązanie jonowe

Związki jonowe

- Krystaliczne ciała stałe (zbudowane z jonów)
- Wysokie temperatury topnienia i wrzenia
- Przewodzą prąd elektryczny w stanie stopionym
- Wiele związków jonowych rozpuszcza się w wodzie, ale nie rozpuszcza się w rozpuszczalnikach niepolarnych

Związki kowalencyjne

- Gazy, ciecze lub ciała stałe (zbudowane z cząsteczek)
- Szeroki zakres temperatury topnienia i wrzenia
- Słabe przewodniki prądu we wszystkich stanach skupienia
- Wiele związków kowalencyjnych rozpuszcza się w rozpuszczalnikach niepolarnych, ale nie rozpuszcza się w wodzie

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

PROJEKT FINANSOWANY
ZE ŚRODKÓW UNII EUROPEJSKIEJ I BUDŻETU PAŃSTWA

W GŁOGOWIE PWSZ

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

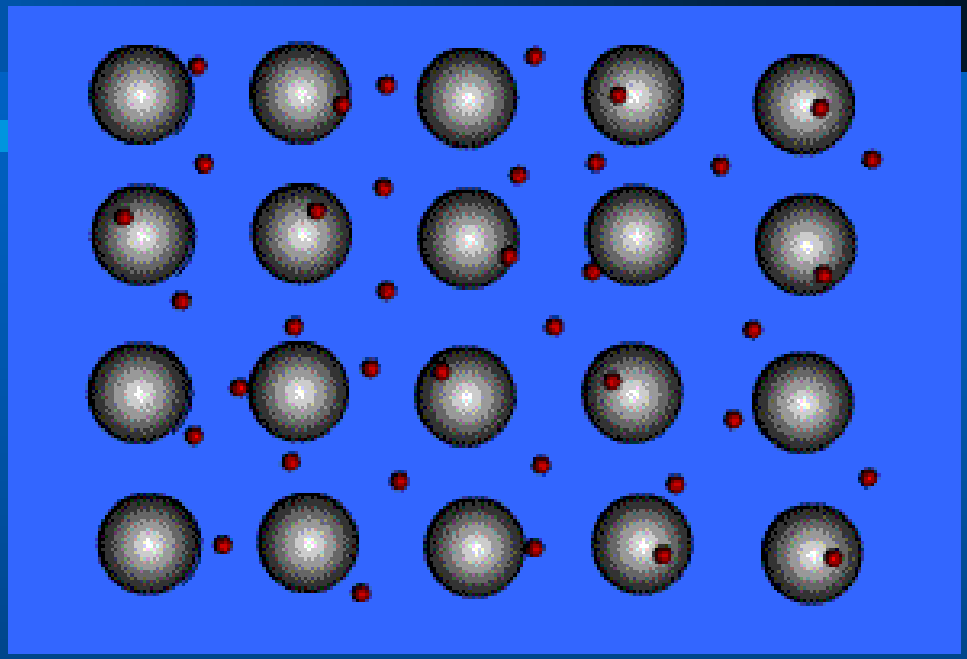
MATERIAŁOZNAWSTWO

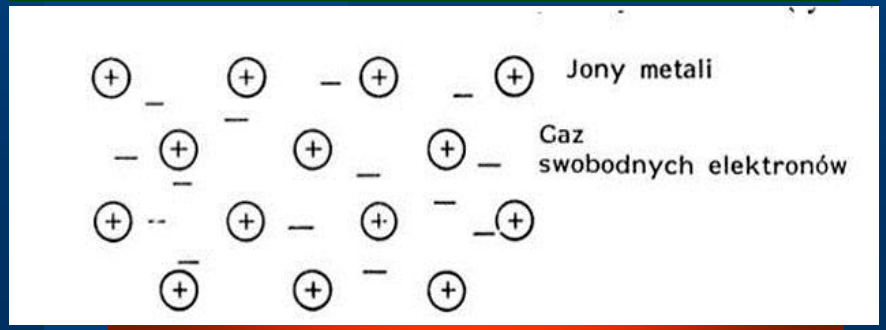
Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

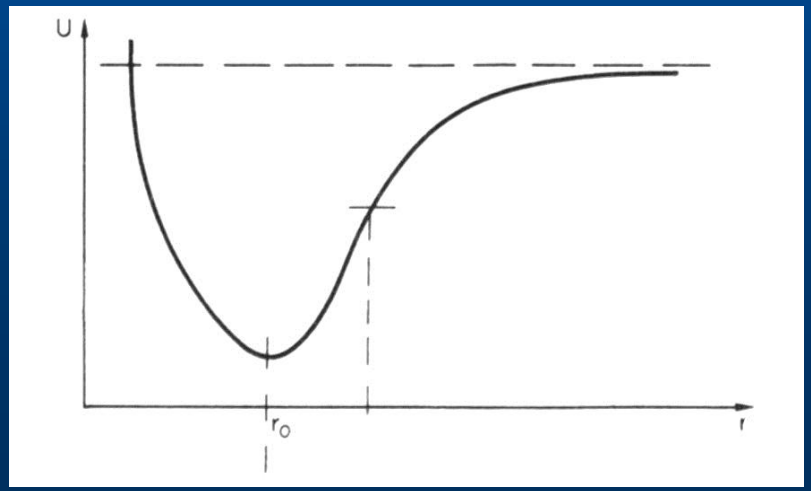
Wiązanie metaliczne

Mechanizm powstawania

Metale ulegają łatwo jonizacji, a oddane elektrony tworzą „chmurę z maksimum ładunku ujemnego w środku geometrycznym „chmury". Dodatnie jony metalu są przyciągane do punktu z maksymalnym ładunkiem ujemnym i tam utrzymywane są razem przez „chmurę" elektronów. Elektrony mogą się dość swobodnie poruszać, co tłumaczy dobre przewodzenie prądu przez metale. Energia wiązania jest podobna do energii wiązania jonowego







Wiązanie metaliczne

Definicja metalu:

Metalem jest każda substancja, w której występuje przewaga wiązania metalicznego.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Wiązanie metaliczne

Cechy wiązania metalicznego:

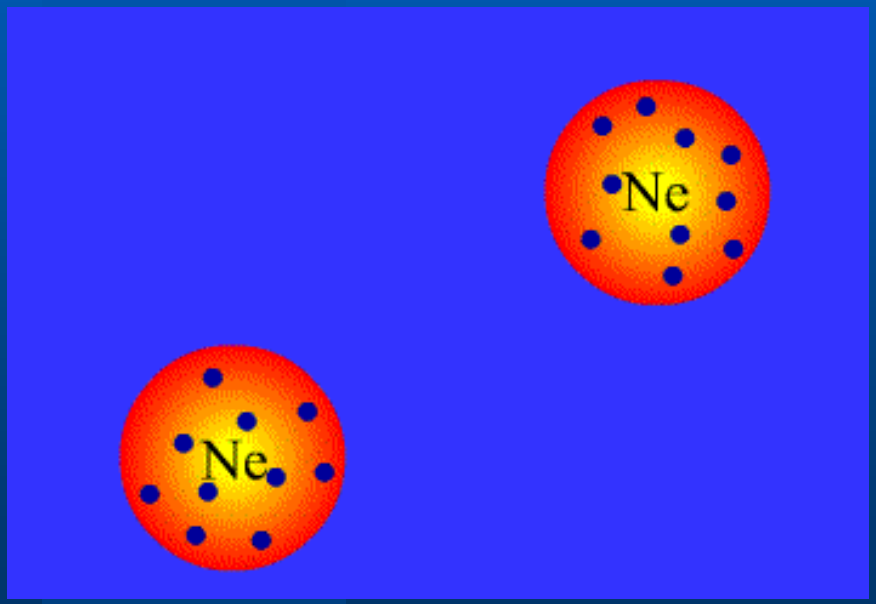
1. *Duża siła wiązania*
2. *Bezkierunkowość*
3. *Duża droga swobodna elektronów*
4. *Dążenie do najgęstszego upakowania atomów*

Cechy te powodują, że w kryształach metali powstają pasma zdelokalizowanych elektronów, które mogą swobodnie się przemieszczać pod wpływem przyłożonego napięcia elektrycznego, dzięki czemu metale są dobrymi przewodnikami elektrycznymi i są nieprzezroczyste. Skutkiem tej delokalizacji jest istnienie w metalach trójwymiarowej, gęsto upakowanej krystalicznej sieci silnych wiązań, co warunkuje dużą wytrzymałość mechaniczną metali, wysokie temperatury topnienia. Bezkierunkowość wiązania zapewnia kowalność, duży współczynnik rozszerzalności cieplnej i efekty termoelektryczne.

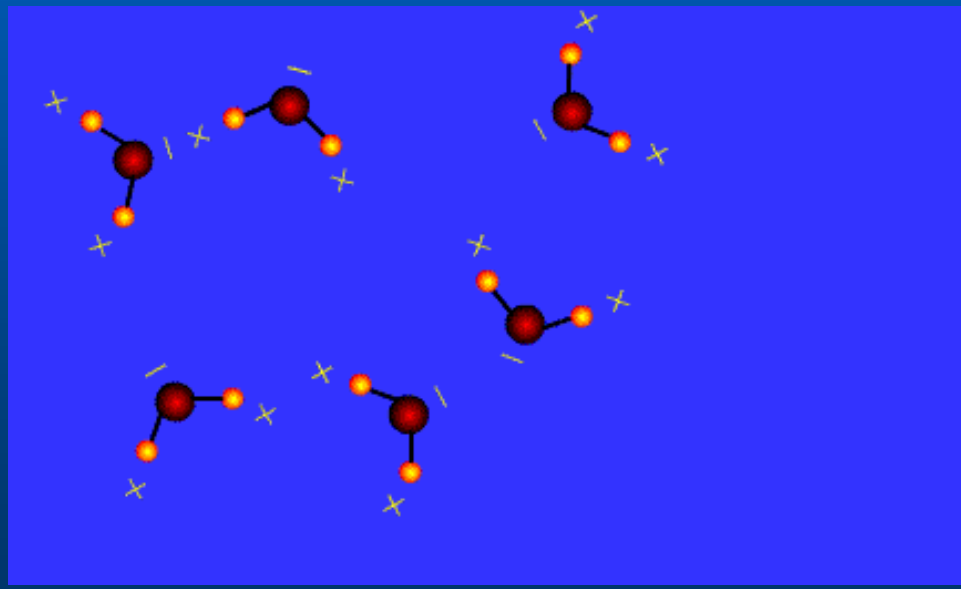
MATERIAŁOZNAWSTWO

WIĄZANIA WTÓRNE

Wiązanie siłami Van der Waalsa



Wiązanie wodorowe



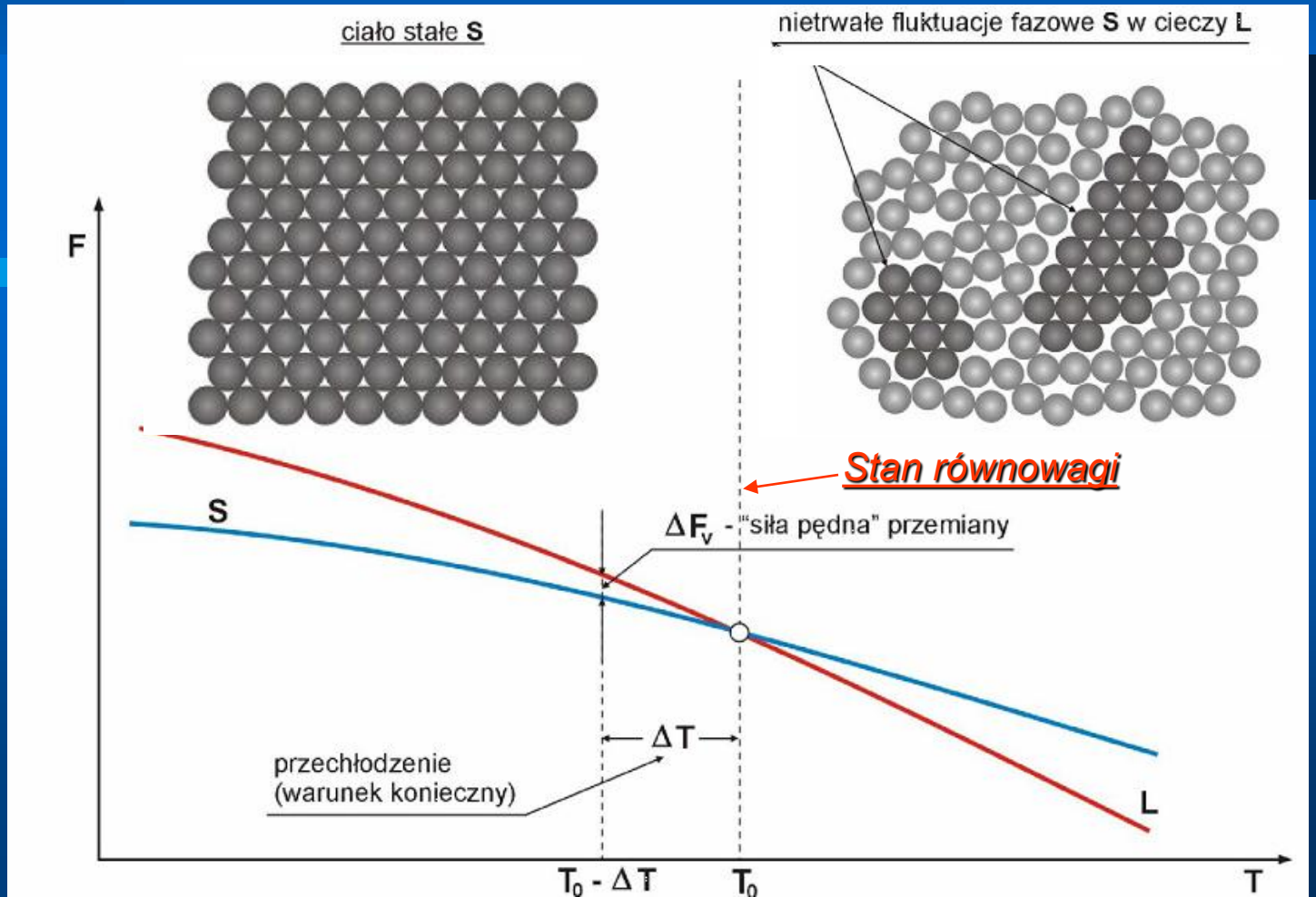
Wiązania wtórne są znacznie słabsze od wiązań pierwotnych i są charakterystyczne dla polimerów i substancji organicznych

Porównanie energii wiązań

Rodzaj wiązania	Substancja	Energia wiązania	
		kJ/mol	eV/atom, jon, cząsteczkę
Jonowe	NaCl	640	3,3
	MgO	1000	5,2
Kowalencyjne	Si	450	4,7
	C (diament)	713	7,4
Metaliczne	Hg	68	0,7
	Al	324	3,4
	Fe	406	4,2
	W	849	8,8
Van der Waalsa	Ar	7,7	0,08
	Cl_2	31	0,32
Wodorowe	NH_3	35	0,36
	H_20	51	0,52

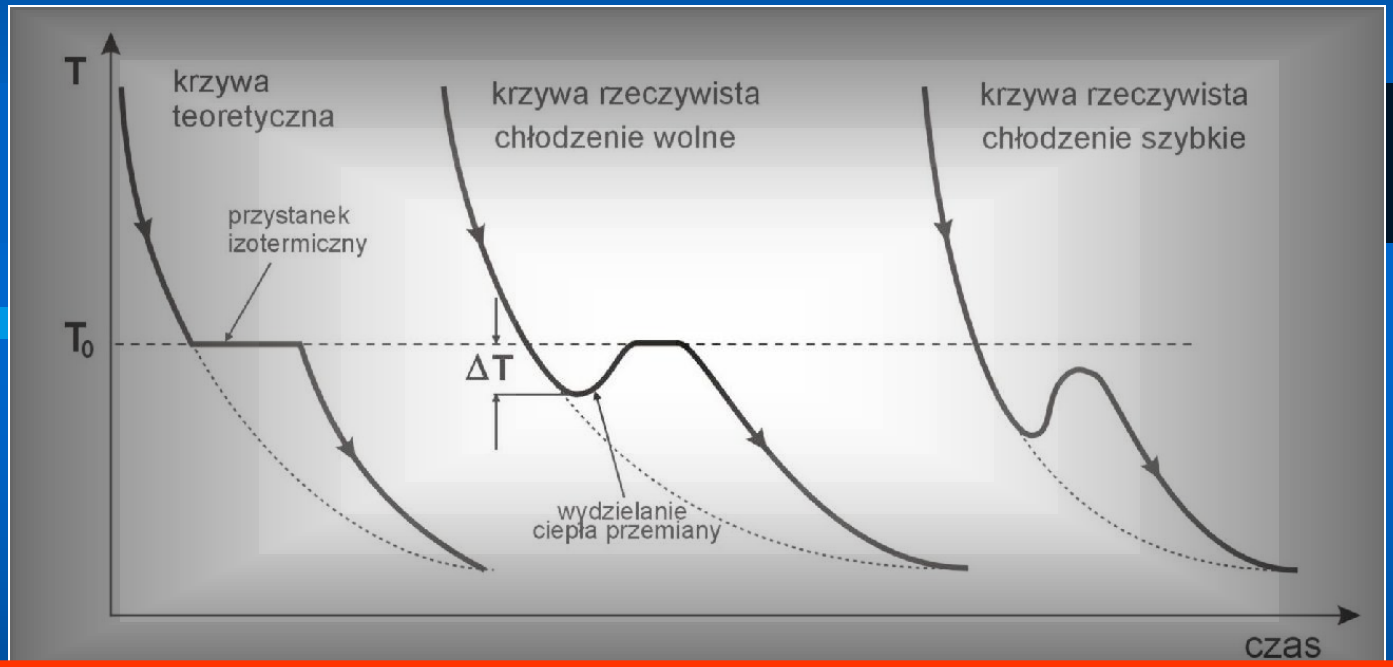
MATERIAŁOZNAWSTWO

Krzepnięcie (krystalizacja) – dyfuzyjna przemiana fazowa L <-> S



MATERIAŁOZNAWSTWO

Krzepnięcie czystego metalu - krzywe chłodzenia w zależności od ΔT



Przemiana fazowa dyfuzyjna (na przykład krzepnięcie) rozwija się w dwu etapach:

I etap – zarodkowanie (wynik przechłodzenia) heterogeniczne lub homogeniczne.

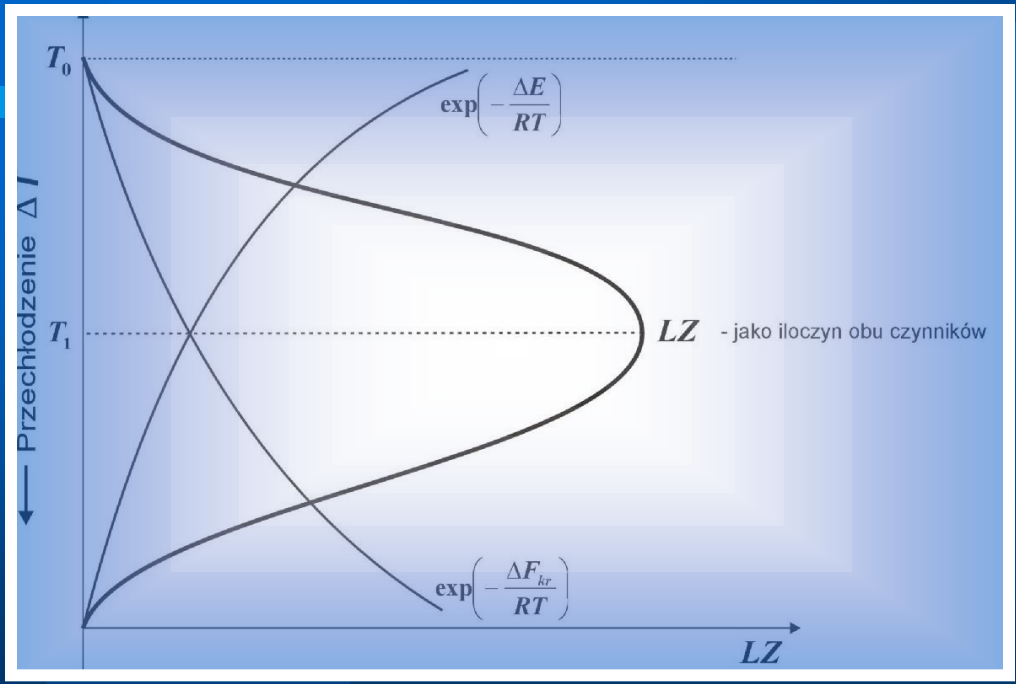
II etap – dyfuzyjny rozrost zarodków.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Wpływ przechłodzenia ΔT na szybkość zarodkowania (LZ) – I etap krystalizacji

ΔF_{kr} – energia aktywacji zarodkowania
ΔE – energia aktywacji ruchu atomów (dyfuzji w cieczy)

$$LZ = A \exp\left(-\frac{\Delta F_{kr}}{RT}\right) \exp\left(-\frac{\Delta E}{RT}\right)$$



Zarodkowanie homogeniczne – polega na tworzeniu zarodka z klasterów atomów krystalizującego materiału. Wymaga dużych stopni przechłodzenia.

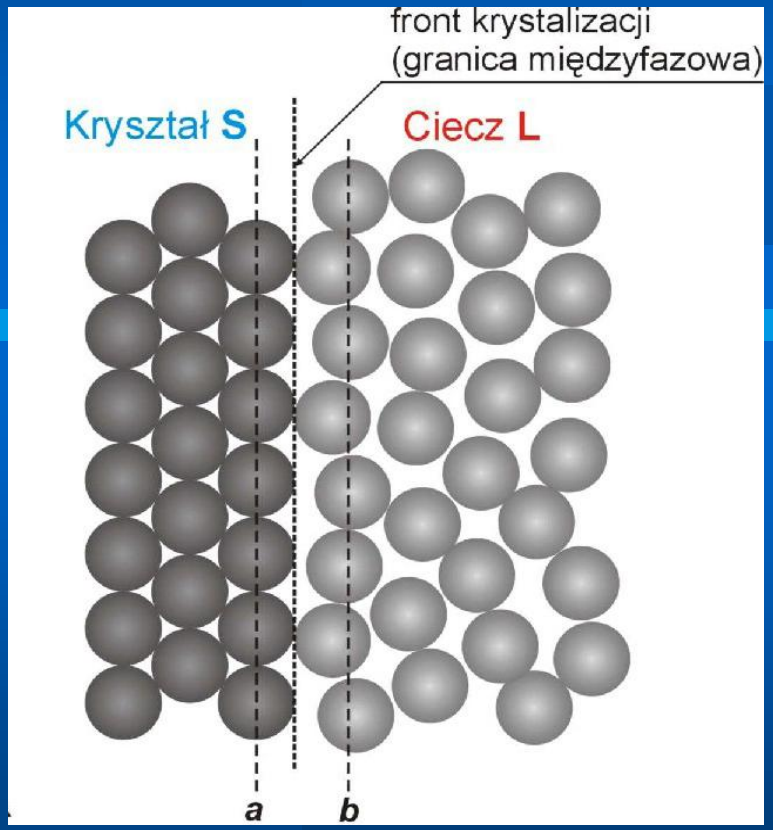
Zarodkowanie heterogeniczne – polega na zarodkowaniu na obcych drobinach faz stałych lub ścianach naczynia. Wystarcza niewielkie stopnie przechłodzenia.

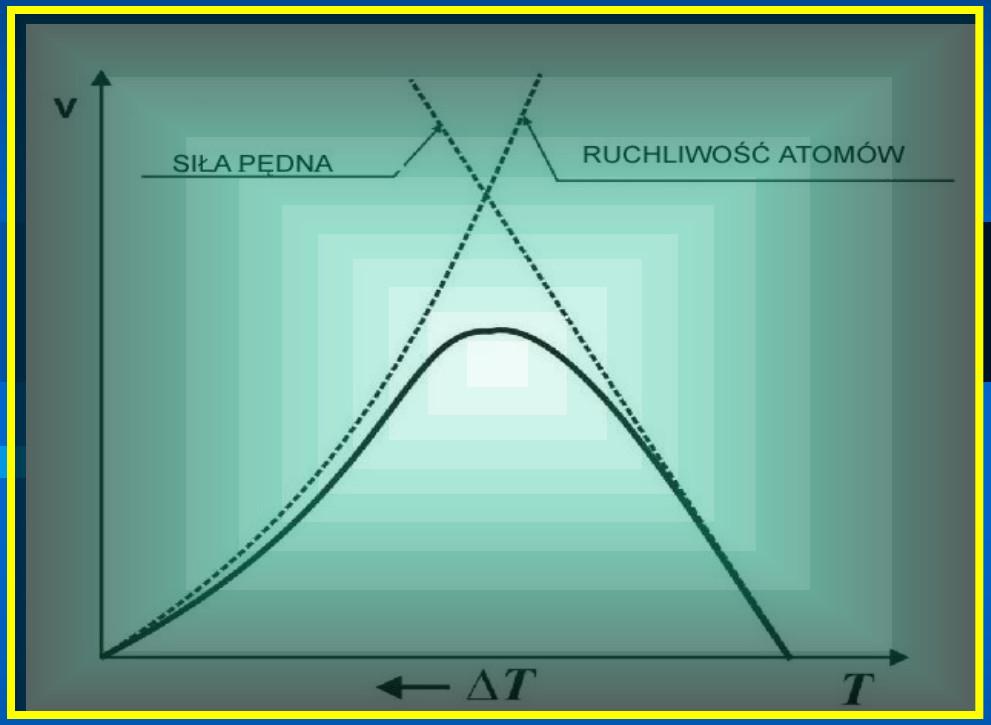
W praktyce przemysłowej metale zarodkują heterogenicznie!!!

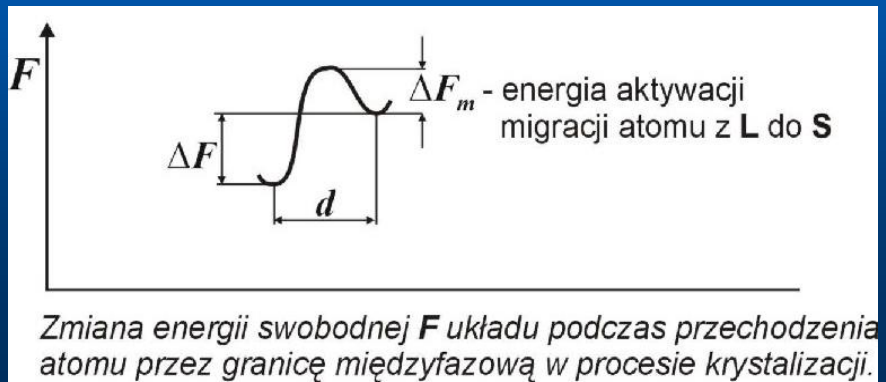
MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Wzrost kryształów







*Zmiana energii swobodnej **F** układu podczas przechodzenia atomu przez granicę międzyfazową w procesie krystalizacji.*

Przechłodzenie sprzyja zarodkowaniu i spowalnia wzrost kryształów

MATERIAŁOZNAWSTWO

Równowaga fazowa

Zmiana składu chemicznego może zmieniać stan termodynamiczny materiału i może wywołać konieczność pojawienie się nowych faz w układzie, zapewniających ponownie równowagę termodynamiczną stopu.

FAZA to jednorodna pod względem termodynamicznym (chemicznym i fizycznym) część układu oddzielona od pozostałych części granicą międzyfazową.

RÓWNOWAGA TERMODYNAMICZNA

oznacza stan, w którym makroskopowe parametry układu, takie jak ciśnienie, objętość i wszystkie funkcje stanu, są stałe w czasie. Na równowagę termodynamiczną składają się:

- **równowaga chemiczna** (brak makroskopowego przepływu cząstek i reakcji chemicznych),
- **mechaniczna** (nie występują niezrównoważone siły),
- **termiczna** (nie występuje przepływ energii).

MATERIAŁOZNAWSTWO

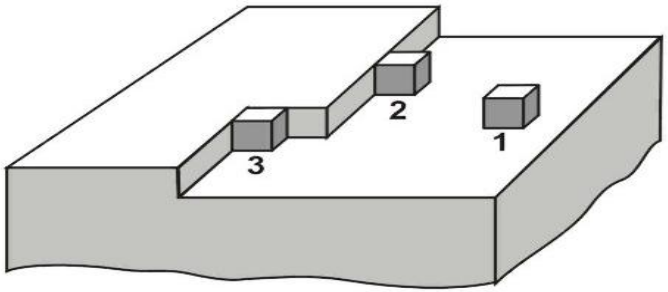
ZE WZGLĘDU NA BUDOWĘ ATOMOWĄ MATERIAŁY DZIELIMY NA:

- materiały krystaliczne
- materiały bezpostaciowe (amorficzne)

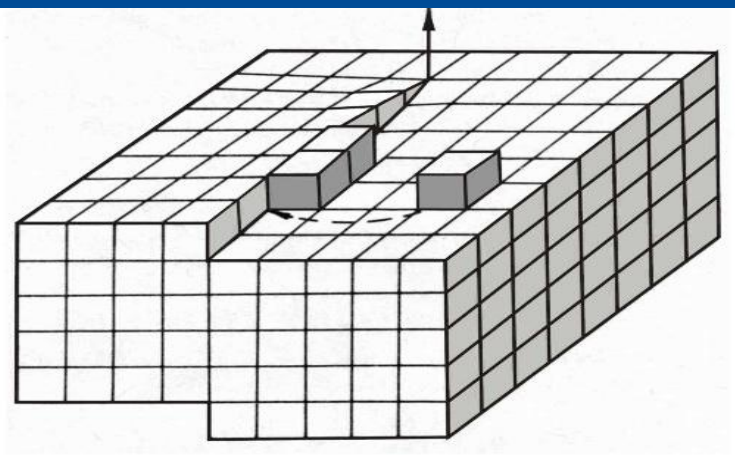
MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Wzrost kryształu z fazy ciekłej

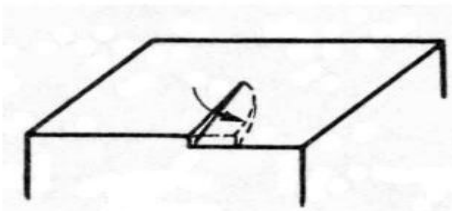


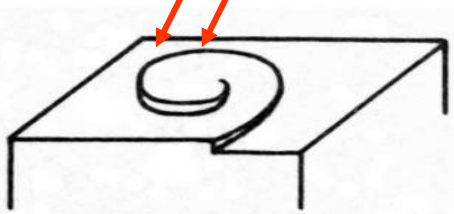
Wbudowanie atomu w sieć:
1 - trudne
2 - łatwiejsze
3 - najłatwiejsze

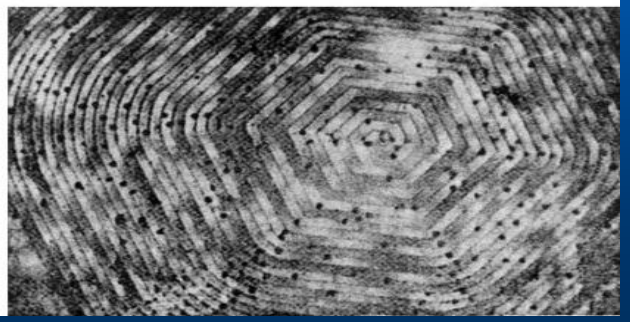


Wzrost ściany kryształu wokół dyslokacji śrubowej:

- *nie zanikający występ (schodek),*
- *potwierdzone doświadczalnie,*
- *powstaje spirala wzrostu (schodki o grubości kilku tysięcy atomów),*
- *wierzchołek wzrostu skierowany w kierunku łatwego powstawania dyslokacji w krysztale,*







Spirala wzrostu na powierzchni kryształu węglika krzemu (SEM)

MATERIAŁOZNAWSTWO

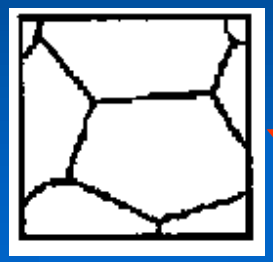
Kinetyka przemiany fazowej dyfuzyjnej – kinetyka krystalizacji

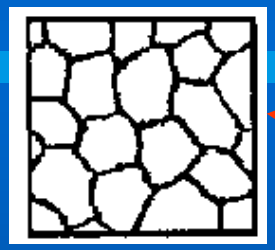


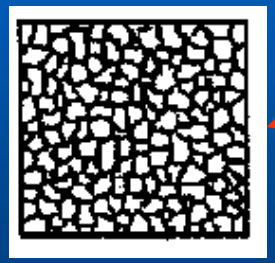
Krzywa „S” jest charakterystyczną cechą dyfuzyjnych przemian fazowych

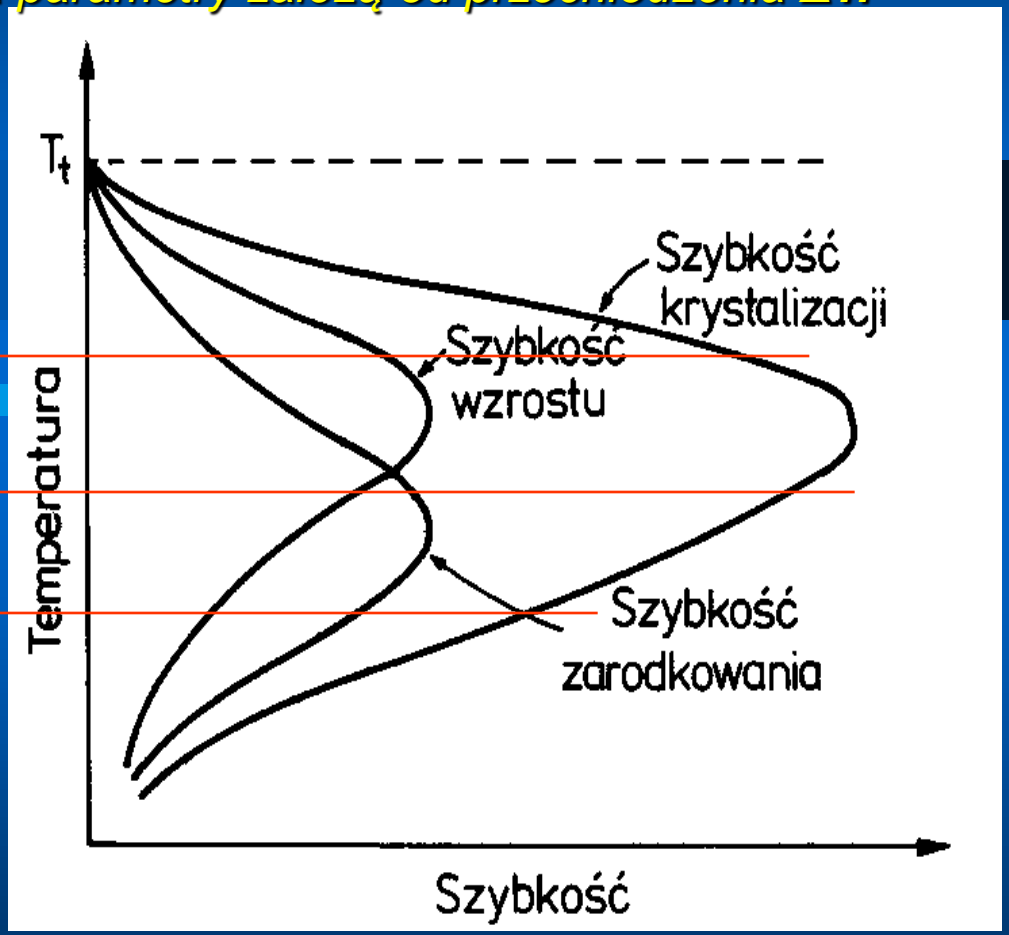
MATERIAŁOZNAWSTWO

*Szybkość krystalizacji zależy od szybkości zarodkowania (**LZ**) oraz liniowej szybkości wzrostu kryształu (**G**), przy czym oba parametry zależą od przechłodzenia **ΔT**.*





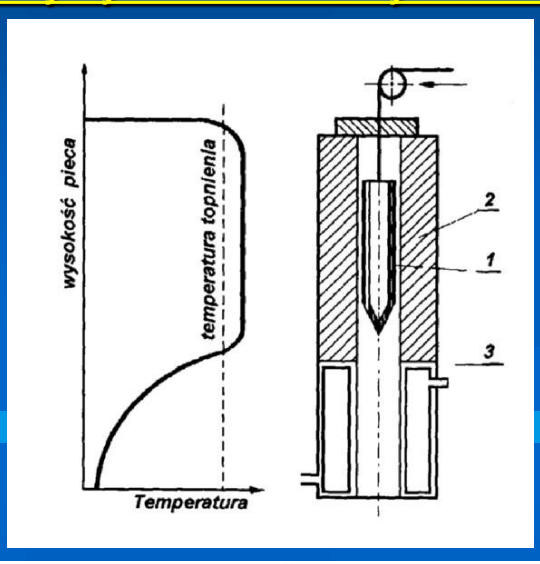




Stopień przechłodzenia wpływa na wielkość ziarna po krystalizacji, a w skrajnym przypadku dużego przechłodzenia prowadzi do tworzenia struktury amorficznej (szkła)

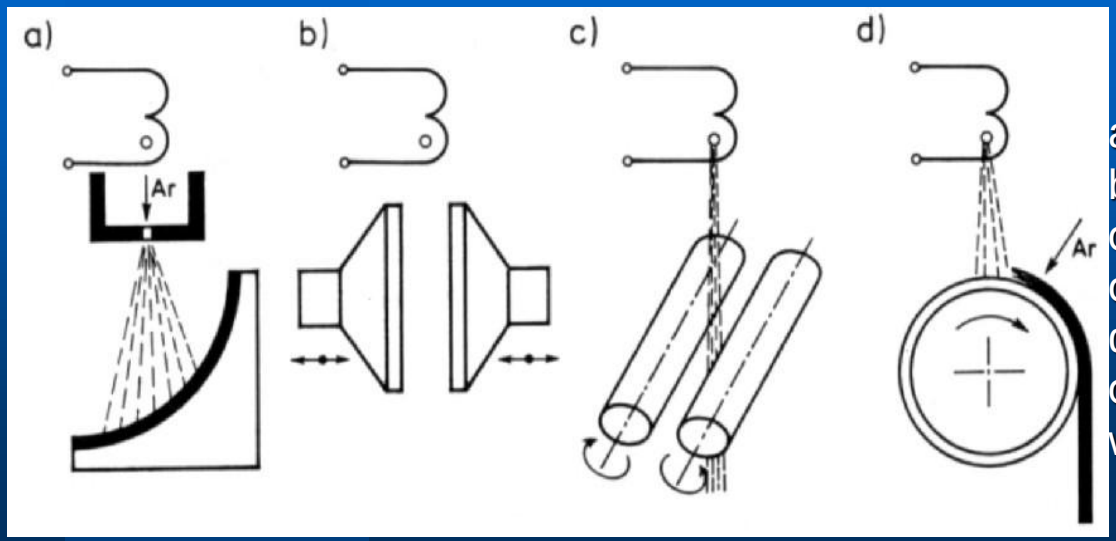
MATERIAŁOZNAWSTWO

Otrzymywanie monokryształów metodą Bridgmana-Stockbergera-Basińskiego:



- piec z odpowiednim gradientem temperatury (2),
- opuszczany tygiel z ciekłym metalem (1),
- stożkowe dno tygla – możliwość powstania tylko jednego zarodka (b. małe DT),
- dalsze opuszczanie tygla z prędkością mniejszą niż prędkość wzrostu kryształu,

1 – tygiel,
2 – piec (obok rozkład temperatury),
3 – ochładzalnik,



Otrzymywanie szkła metalicznego (stan amorficzny):

a) natryskiwanie cieczy na płytę,
b) b) rozbijanie kropli cieczy między dwiema płytami,
c) rozwalcowywanie strugi cieczy między dwoma walcami,
d) ciągłe odlewanie na powierzchni wirującego bębna,

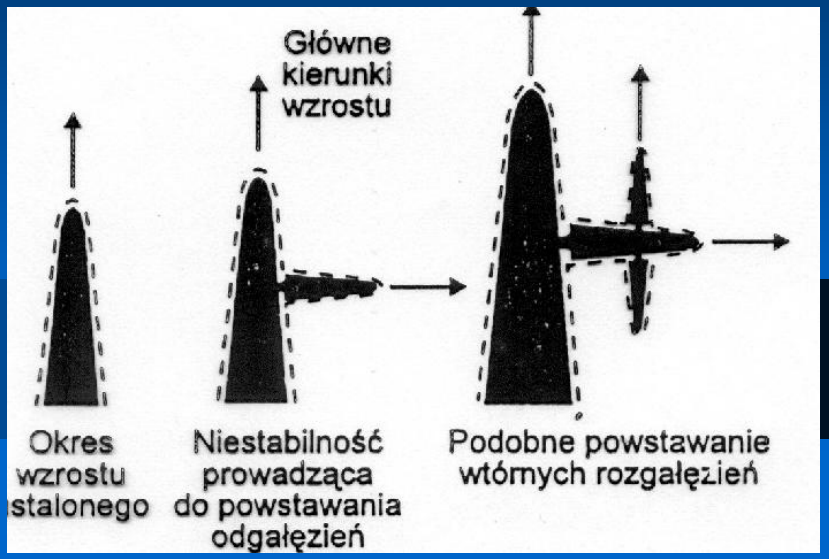
MATERIAŁOZNAWSTWO

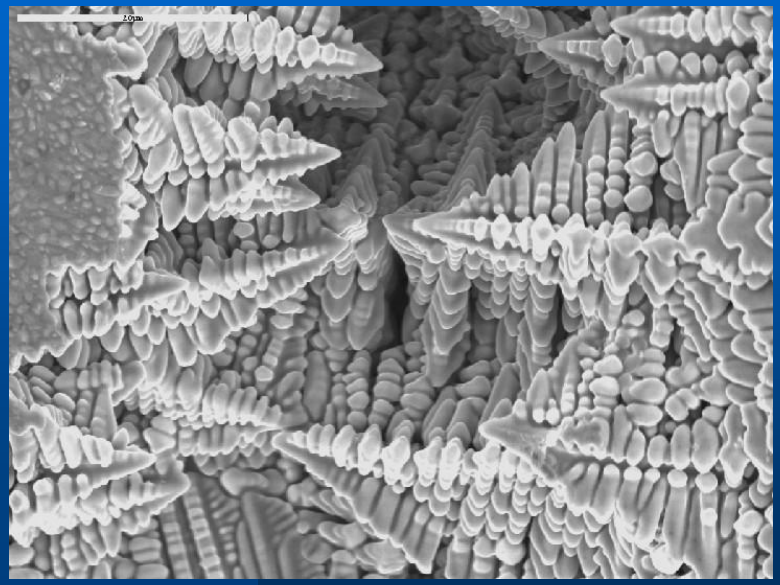
Wzrost dendrytyczny kryształów

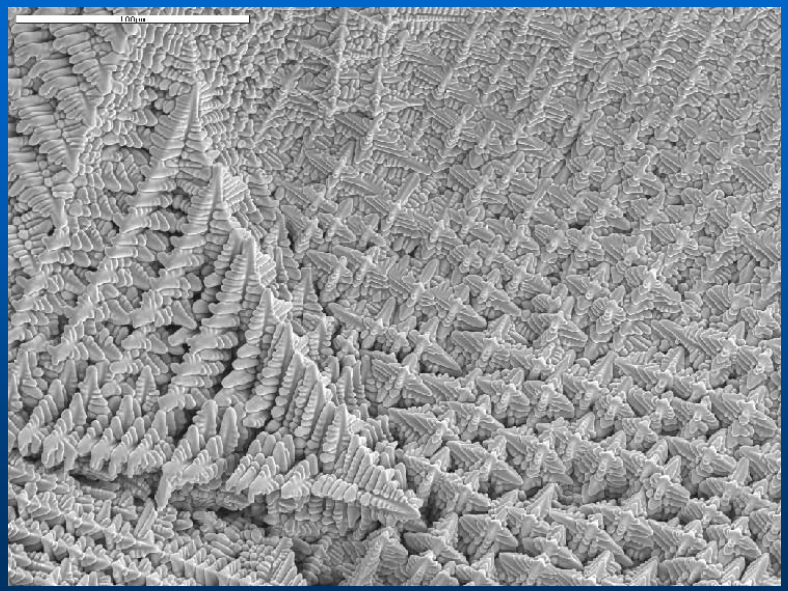
Wzrost gałęzi dendrytów zachodzi wzdłuż ściśle określonych kierunków krystalograficznych:

<**100**> dla struktur **A1** (RSC) oraz **A2** (RPC),
<**1010**> dla struktury **A3** (HZ),

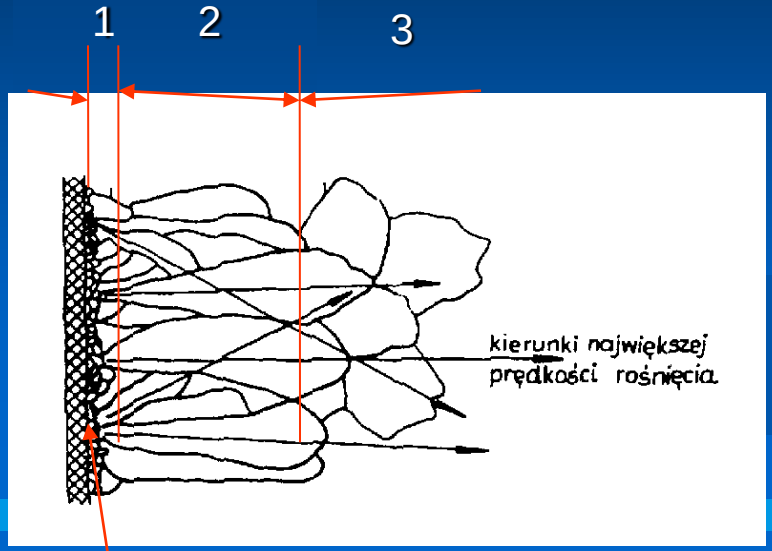
Jama skurczowa w napoinie, (SEM)







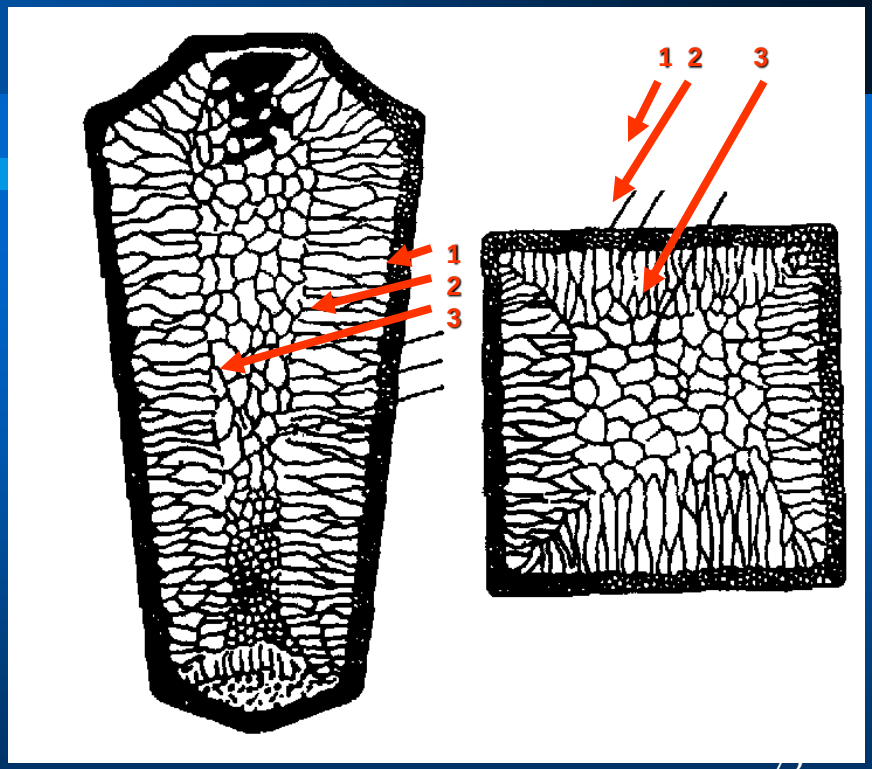
MATERIAŁOZNAWSTWO



Ściana wlewnicy

Schemat krzepnięcia metalu od ściany wlewnicy. Odlewanie statyczne.

1 – strefa kryształów zamrożonych (duże ΔT),
2 - strefa kryształów (ziaren) słupkowych (tekstura),
3 – strefa kryształów (ziaren) równoosiowych,

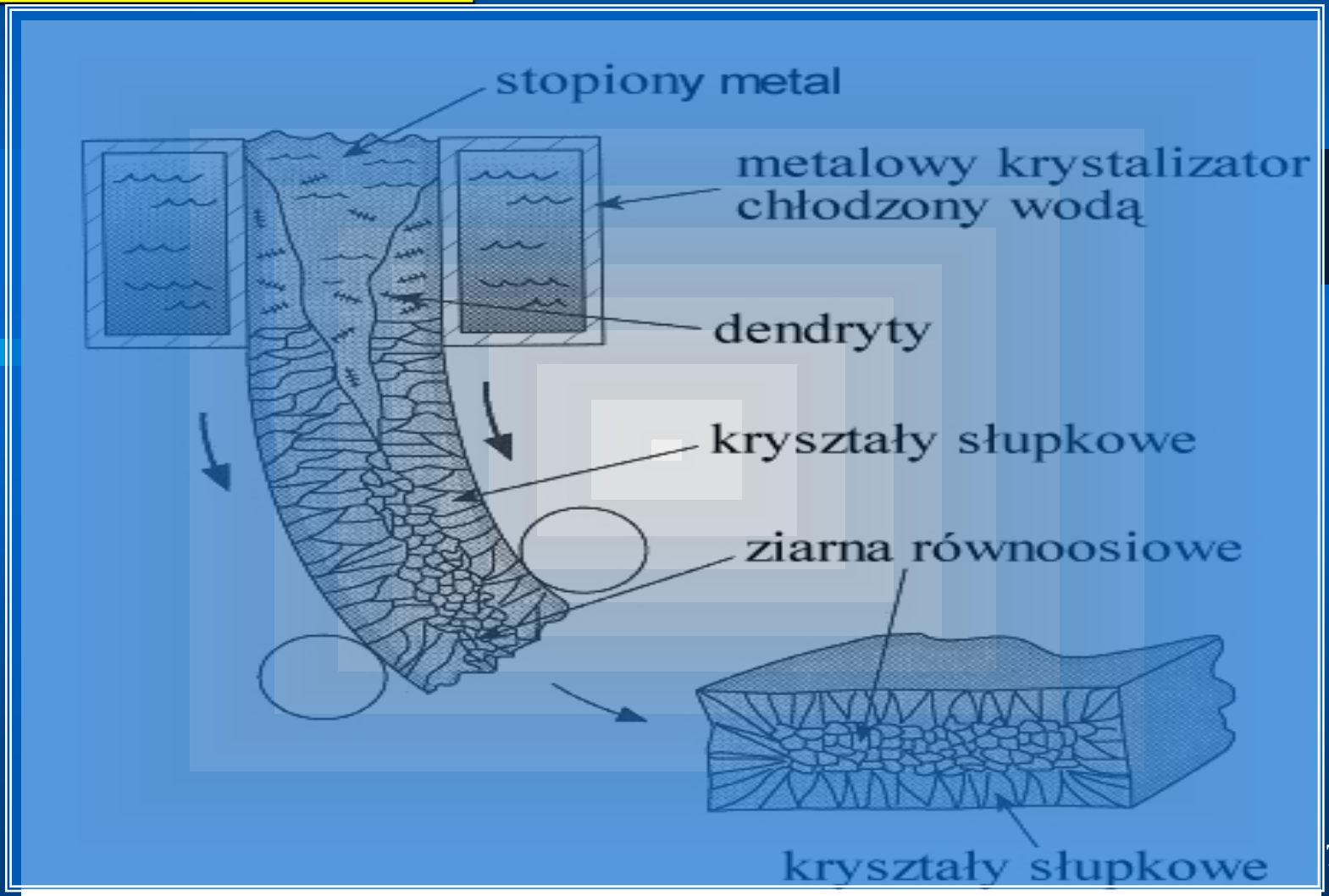




Makro struktura wlewka z miedzi

MATERIAŁOZNAWSTWO

Ciągłe odlewanie metali



MATERIAŁOZNAWSTWO

STOPY

Stop metaliczny jest tworzywem powstałym przez połączenie metalu z innymi pierwiastkami w stanie ciekłym lub na drodze dyfuzyjnej wymiany mas z zachowaniem przewagi wiązania metalicznego w tak powstałej substancji.

Metal stanowiący przeważający składnik stopu nazywa się **osnową stopu** natomiast pozostałe składniki to **dodatki stopowe** lub **domieszki**. Składniki niepożądane nazywa się **zanieczyszczeniami**.

Stężenie składnika A:

$$W_A = \frac{\text{masa składnika A}}{\text{suma mas wszystkich składników}} \times 100\%$$

Stężenie atomowe (molowe) składnika A:

$$X_A = \frac{\text{ilość atomów (moli) A}}{\text{suma atomów (moli) wszystkich składników}} \times 100\%$$

MATERIAŁOZNAWSTWO

Zdolność wnikania atomów domieszek w pozycje węzłowe lub międzywęzłowe osnowy bez zmiany typu sieci krystalicznej osnowy nazywa się

rozpuszczalnością domieszki w stanie stałym.

Rozpuszczenie domieszki w osnowie prowadzi do powstania w stanie stałym **roztworu stałego.**

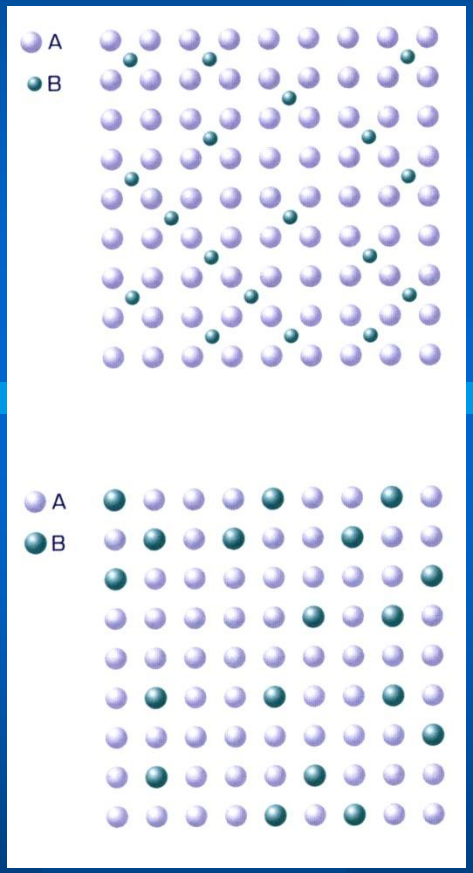
Roztwór stały, w którym domieszka rozpuszcza się bez ograniczeń nazywa się **roztworem ciągłym.**

Roztwór stały, w którym można rozpuścić tylko ograniczoną ilość domieszki to roztwór graniczny.

Roztwór stały powstający przez rozpuszczenie osnowy lub domieszki w fazie lub związku międzymetalicznym to **roztwór wtórny**

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA



Roztwór międzywęzłowy

taki roztwór jest zawsze roztworem granicznym i tworzą go pierwiastki o małej średnicy atomu (*węgiel, bor, azot , wodór*)

Roztwór różnowęzłowy (substytucyjny)

Rozpuszczalność w takich roztworach zależy od:

- ✓ różnicy typów sieci osnowy i dodatku,
- ✓ różnicy elektroujemności,
- ✓ różnicy promieni atomowych
- ✓ różnicy wartościowości

Warunki tworzenia roztworu stałego ciągłego:

- te same typy sieci
- te same wartościowości
- różnice promieni atomowych >8%

Przykładem są stopy Cu - Ni

Czym dalej odsuwa się układ od powyższych warunków tym mniejsza jest rozpuszczalność!!!

MATERIAŁOZNAWSTWO

Dodanie do osnowy składnika stopowego zmienia stan termodynamiczny osnowy i może wywołać konieczność pojawienie się nowych faz w układzie, zapewniających równowagę termodynamiczną stopu.

Osiągnięcie **granicznego stężenia** przez roztwór stały narusza równowagę termodynamiczną układu i powoduje zmianę składu fazowego stopu

Jeżeli w wyniku dodania składnika do stopu tworzy się nowa faza o strukturze krystalicznej odmiennej od osnowy i dodatku to faza taka może być ***związkiem*** lub **fazą międzymetaliczną**.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Większość stopów metali w stanie ciekłym tworzy roztwory ciągłe, a w stanie stałym roztwory graniczne i/lub mieszaniny fazy międzymetalicznych i roztworów granicznych.

Zmiana stanu skupienia stopów prowadzi do rozpadu roztworu ciekłego na mieszaninę wielofazową zgodnie z regułą faz Gibbsa.

Reguła faz lub **reguła faz Gibbsa** to zależność obowiązująca dla każdego układu w równowadze termodynamicznej łącząca liczbę faz w układzie, liczbę składników niezależnych oraz liczbę stopni swobody.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Reguła faz: $s = n - f + 2$

s - liczba stopni swobody, czyli liczba zmiennych (temperatura, ciśnienie, stężenia składników), które można zmieniać bez zmiany liczby faz w równowadze

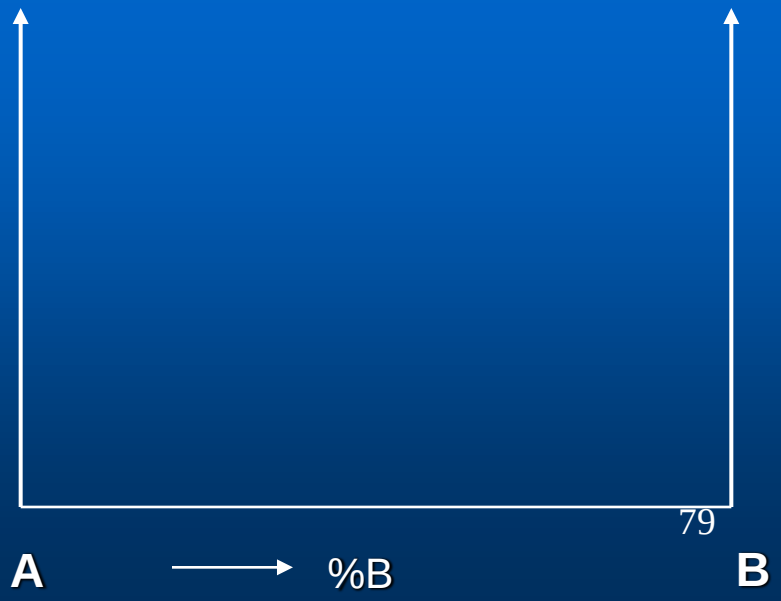
n - liczba niezależnych składników (pierwiastki, ich odmiany alotropowe, fazy międzymetaliczne, związki chemiczne), a więc takich, które nie dają się określić poprzez stężenia innych składników (niezależnych).

f- liczba faz, a więc postaci materii jednorodnej chemicznie i fizycznie (np. roztwór, faza gazowa, kryształy o określonym składzie)

Dla metali i stopów ciśnienia zbliżone do atmosferycznego praktycznie nie wpływają na zmianę liczby stopni swobody, a reguła faz może być zapisana w formie:

$$s = n - f + 1$$

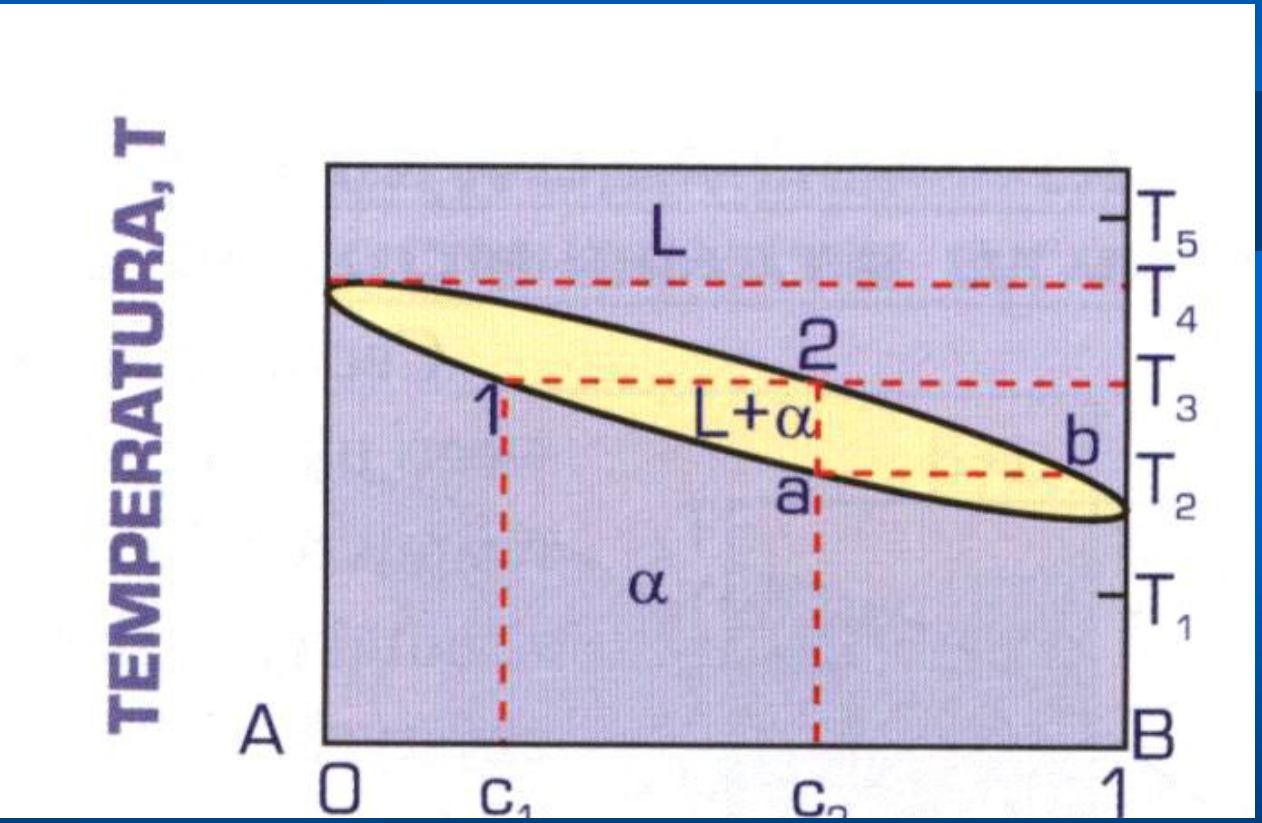
a zmiany w równowadze fazowej można przedstawić na diagramie stężenie składnika – temperatura.



MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Przykłady układów podwójnych



Reguła faz dla pola L

$s = n - f + 1 = 2-1+1=2$

Reguła faz dla pola L+α

$s = n - f + 1 = 2-2+1=1$

Reguła faz dla pola α

$s = n - f + 1 = 2-1+1=2$

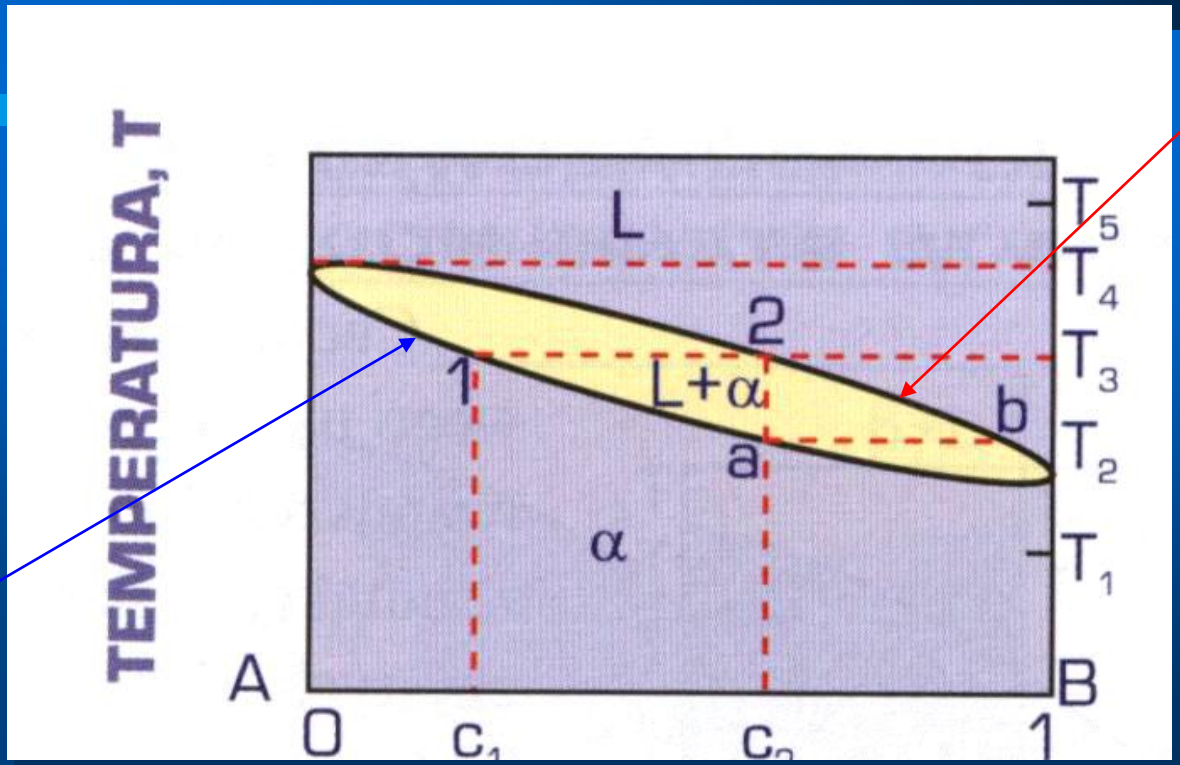
Układ z całkowitą rozpuszczalnością w stanie stałym.

Linie odgraniczające pola o różnym składzie fazowym zaliczają się do pola o większej ilości faz. Na liniach zawsze zachodzi zmiana ilości faz.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Linia odgraniczająca obszar zajęty przez fazę ciekłą od mieszaniny fazy ciekłej i stałej nazywa się *LIKWIDUS* (liquidus).

Linia odgraniczająca obszar zajęty przez fazy stałe od mieszaniny fazy ciekłej i stałych nazywa się ***SOLIDUS*** .



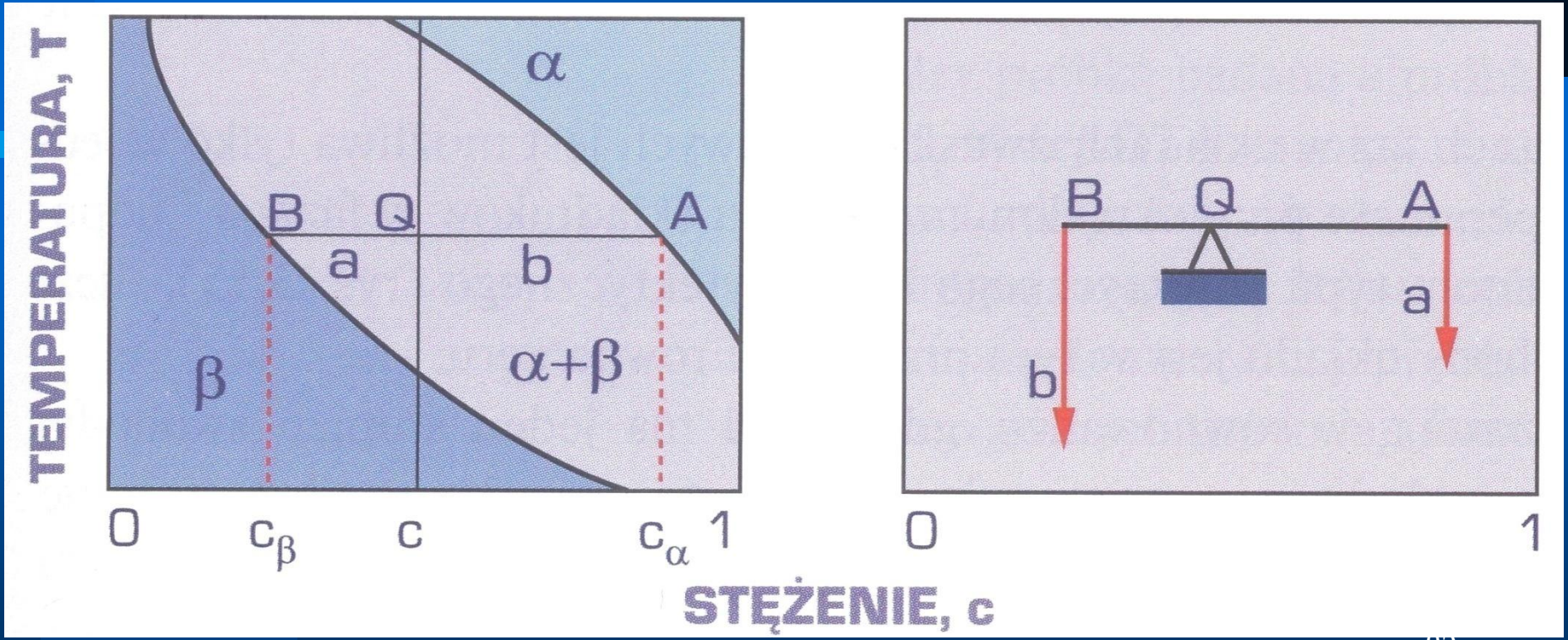
LIKWIDUS

SOLIDUS

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Skład fazowy w każdym polu układu określa reguła dźwigni. Dla stopu o składzie C dla temperatury Q w równowadze pozostają kryształy o składzie C_β i ciecz o składzie C_α. Ułamek objętościowy fazy kryształów określa się z proporcji **$U_s = b/(a+b)$** natomiast ułamek objętościowy cieczy z proporcji **$U_c = a/(a+b)$.**



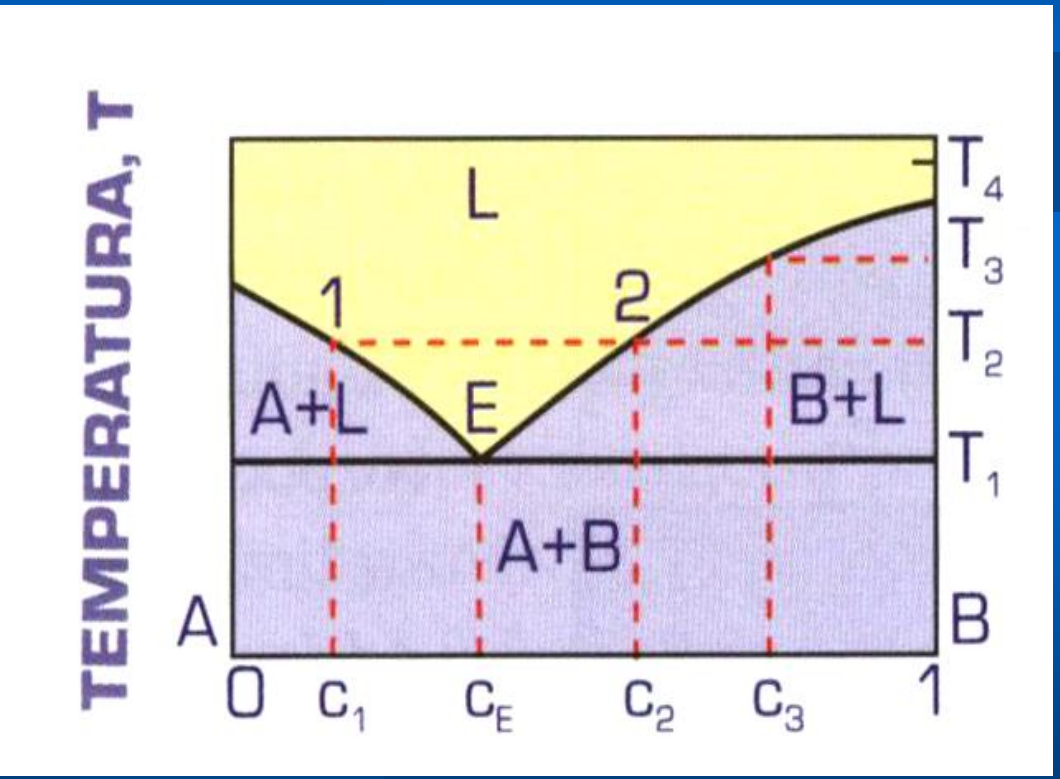
MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Układ z eutektyką i całkowitym brakiem rozpuszczalności w stanie stałym.

Eutektyka to mieszanina faz o ściśle określonym składzie chemicznym i fazowym powstająca z fazy ciekłej w ściśle określonej temperaturze przez rozsegregowanie składników.

L -> E(A+B)



Reguła faz dla pola L

s = n – f +1 = 2-1+1=2

Reguła faz dla pola L+A oraz L+B

s = n – f +1 = 2-2+1=1

Reguła faz dla punktu E

s = n – f +1 = 2-3+1=0

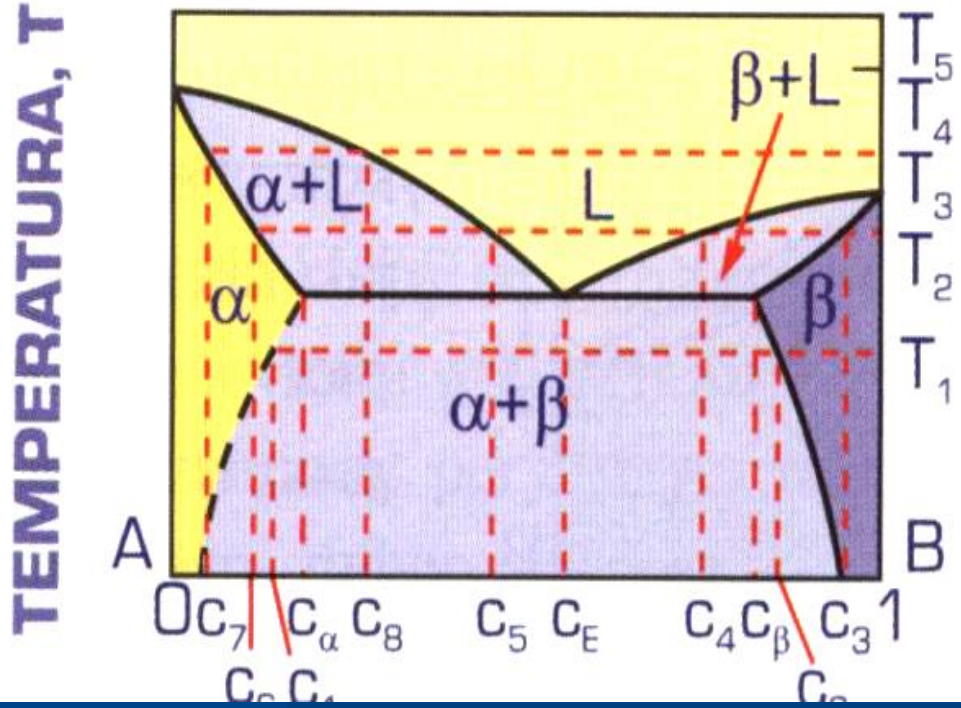
Reguła faz dla pola A+B

s = n – f +1 = 2-2+1=1

Linie izotermiczne zawsze posiadają 0 punktów swobody

MATERIAŁOZNAWSTWO

Układ z eutektyką i ograniczoną rozpuszczalnością w stanie stałym.



Do pewnych stężeń granicznych układ jest identyczny z dwoma układami o całkowitej rozpuszczalności.

W pewnych granicach stężeń układ jest identyczny z układem z eutektyką i brakiem rozpuszczalności.

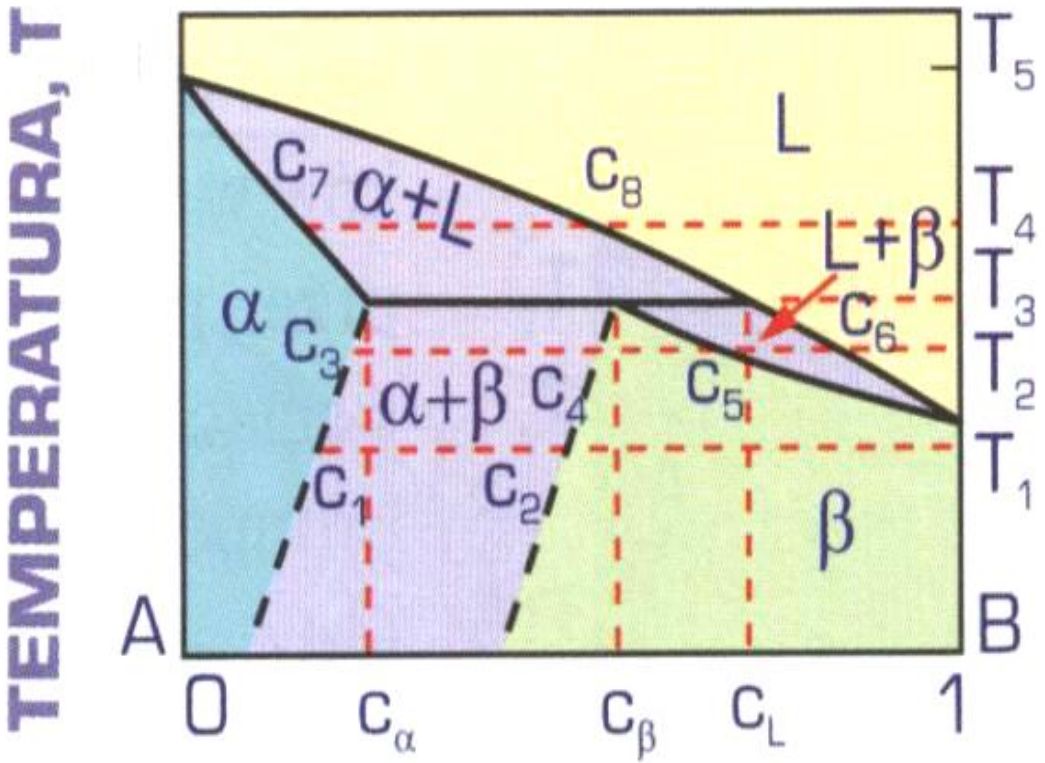
Wynikowy układ składa się z roztworów granicznych i eutektyki zbudowanej na roztworach

Granica rozpuszczalności w stanie stałym może zmieniać się z temperaturą i wtedy określamy takie zjawisko jako: *zmienną rozpuszczalność w stanie stałym*

Zmienna rozpuszczalność w stanie stałym jest niezbędnym warunkiem utwardzania wydzieleniowego

MATERIAŁOZNAWSTWO

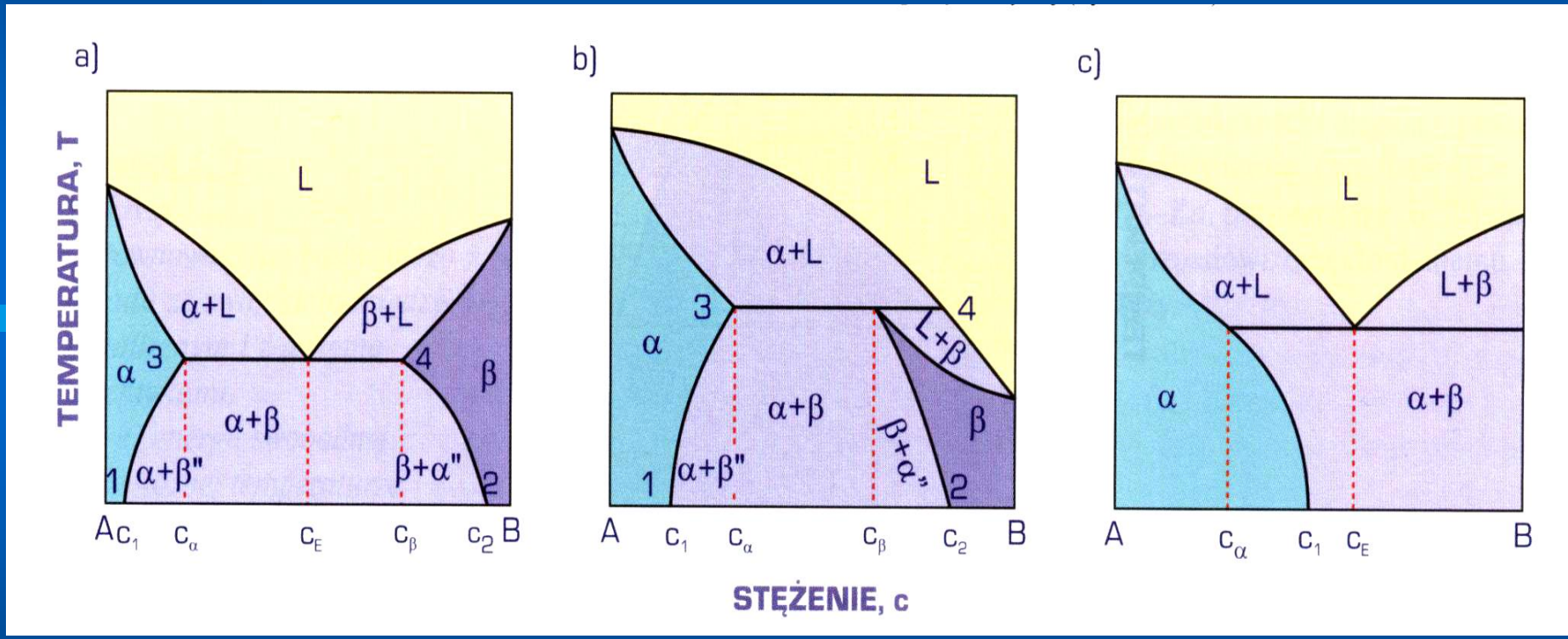
Układ z perytektyką i ograniczoną rozpuszczalnością w stanie stałym



Perytektyka to roztwór stały o ściśle określonym składzie powstający w wyniku reakcji cieczy o składzie C_L i kryształów o składzie C_α.

$$L_{CL} + C_\alpha \rightarrow C_\beta$$

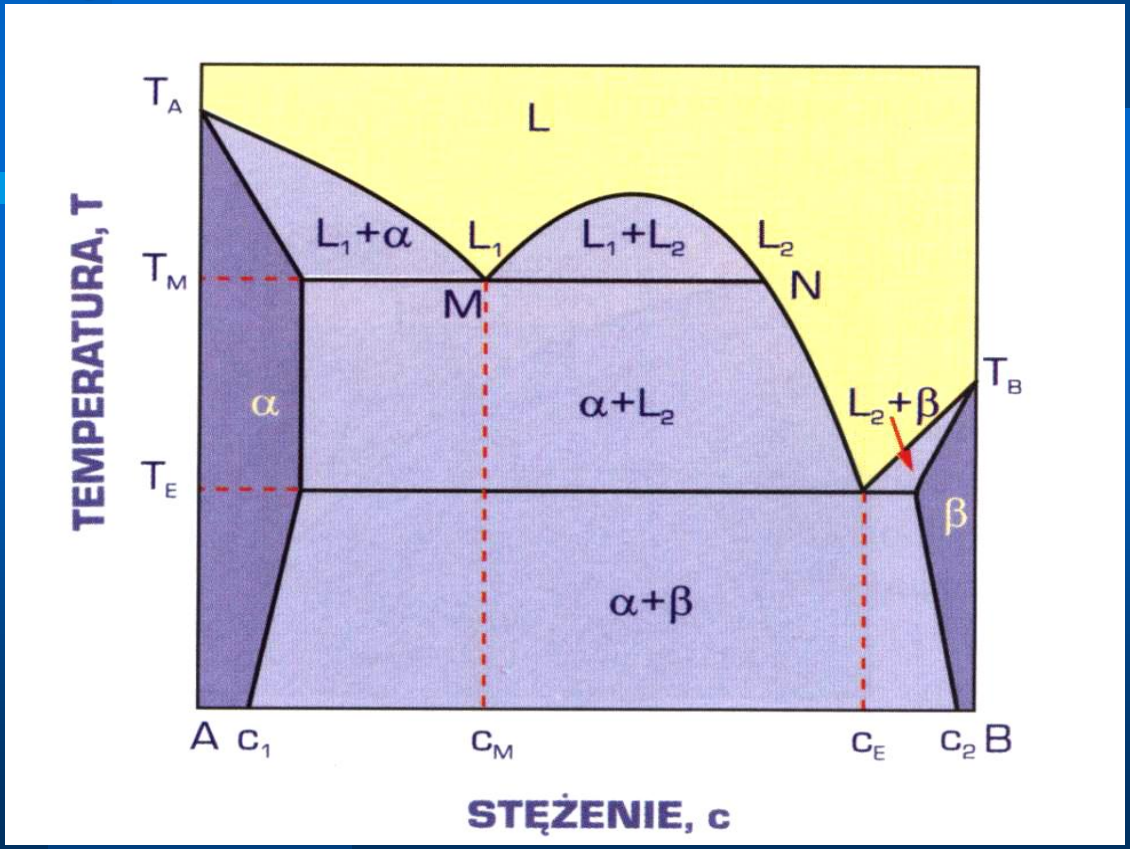
MATERIAŁOZNAWSTWO



Układy z eutektyką i perytektyką o ograniczonej, zmiennej i braku rozpuszczalności w stanie stałym.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Układ z monotektyką, eutektyką i ograniczoną rozpuszczalnością w stanie stałym.



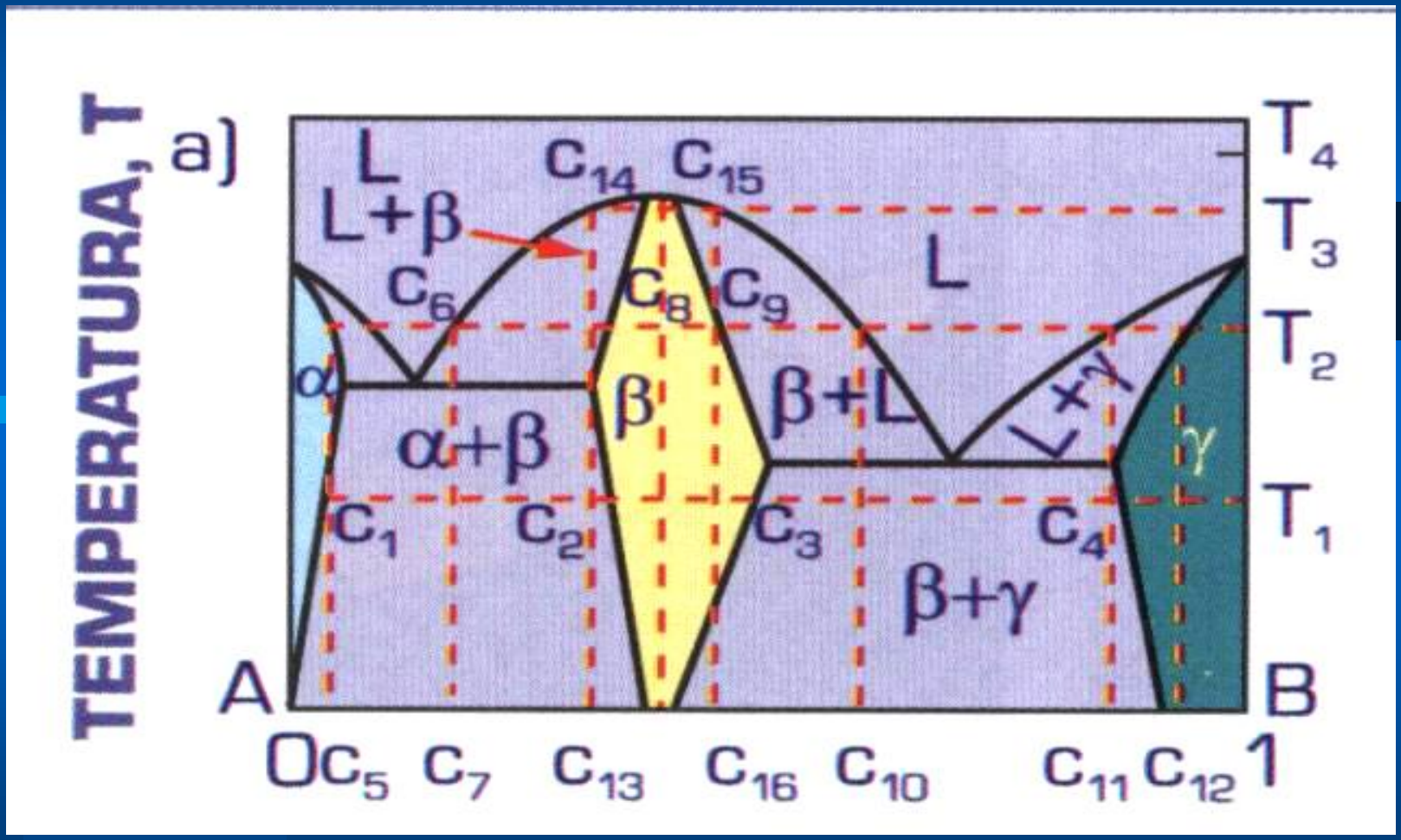
Monotektyka to zjawisko rozpadu w cieczy na dwa roztwory ciekłe o różnym składzie.

$$L \rightarrow L_1 + L_2$$

W temperaturze monotektycznej T_M ciecz L_1 rozpada się na ciecz L_2 i kryształy α podobnie jak w przemianie eutektycznej.

Obecność monotektyki wymaga pojawienia się w układzie dodatkowych przemian eutektycznych lub perytektycznej.

MATERIAŁOZNAWSTWO



Układ z fazą międzymetaliczną oraz eutektykami z ograniczoną rozpuszczalnością w stanie stałym.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Polimorfizm (alotropia) – zjawisko występowania różnych odmian krystalograficznych tej samej substancji. Występuje ono wtedy, gdy ta sama substancja może występować w dwóch lub nawet kilku formach krystalicznych czyli może krystalizować w różnych typach sieci Bravais'a.

Odmiany alotropowe nie są różnymi stanami skupienia materii, ale przejścia z jednej odmiany alotropowej do drugiej są przemianami fazowymi.

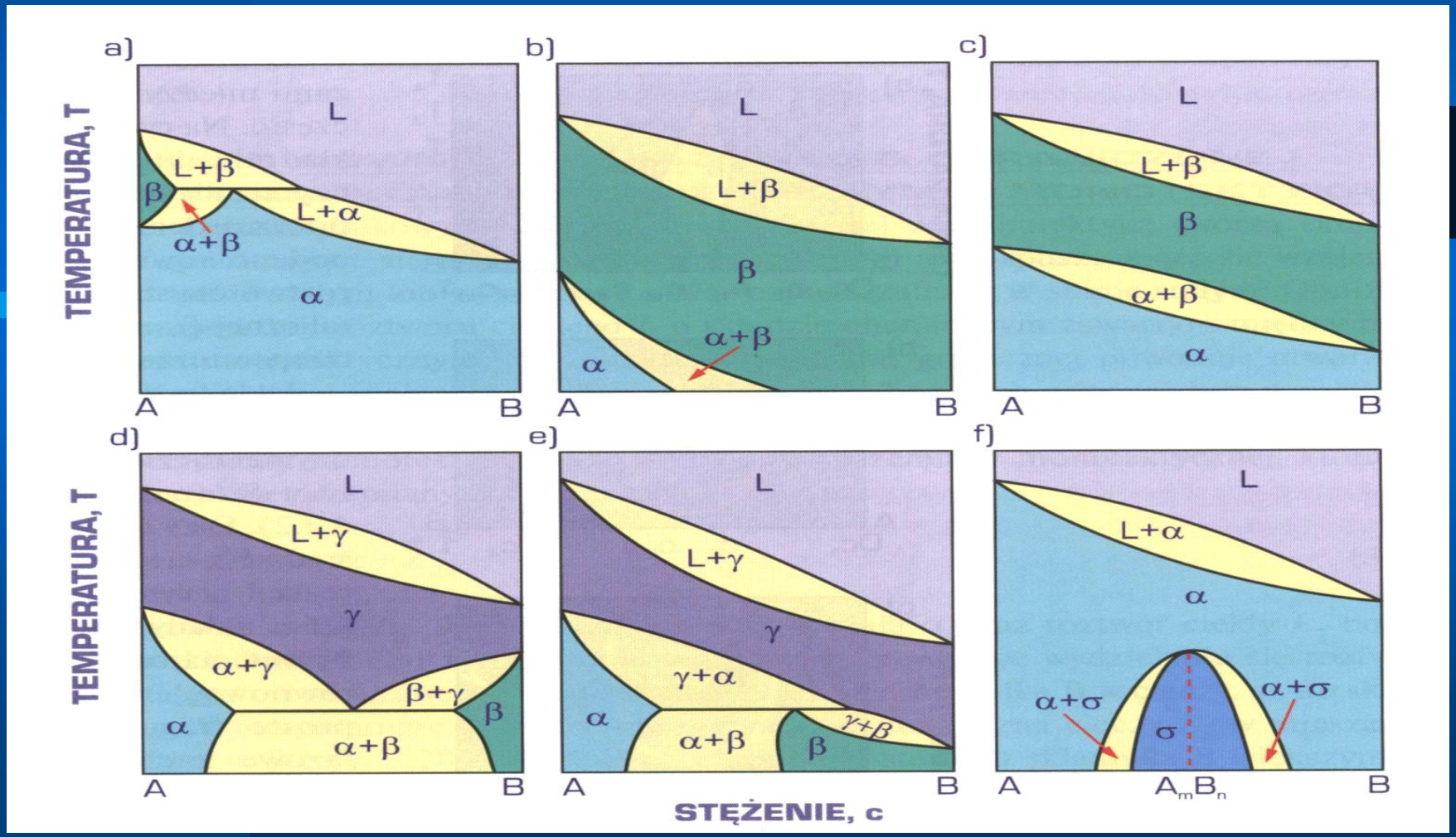
Zjawisko alotropii w metalach prowadzi do występowania przemian fazowych w stanie stałym o podobnym charakterze jak zmiana stanu skupienia. Przemiany takie noszą odpowiednio nazwy przemiany:

- **eutektoidalnej**
- **perytektoidalnej**
- **monotektoidalnej**

MATERIAŁOZNAWSTWO

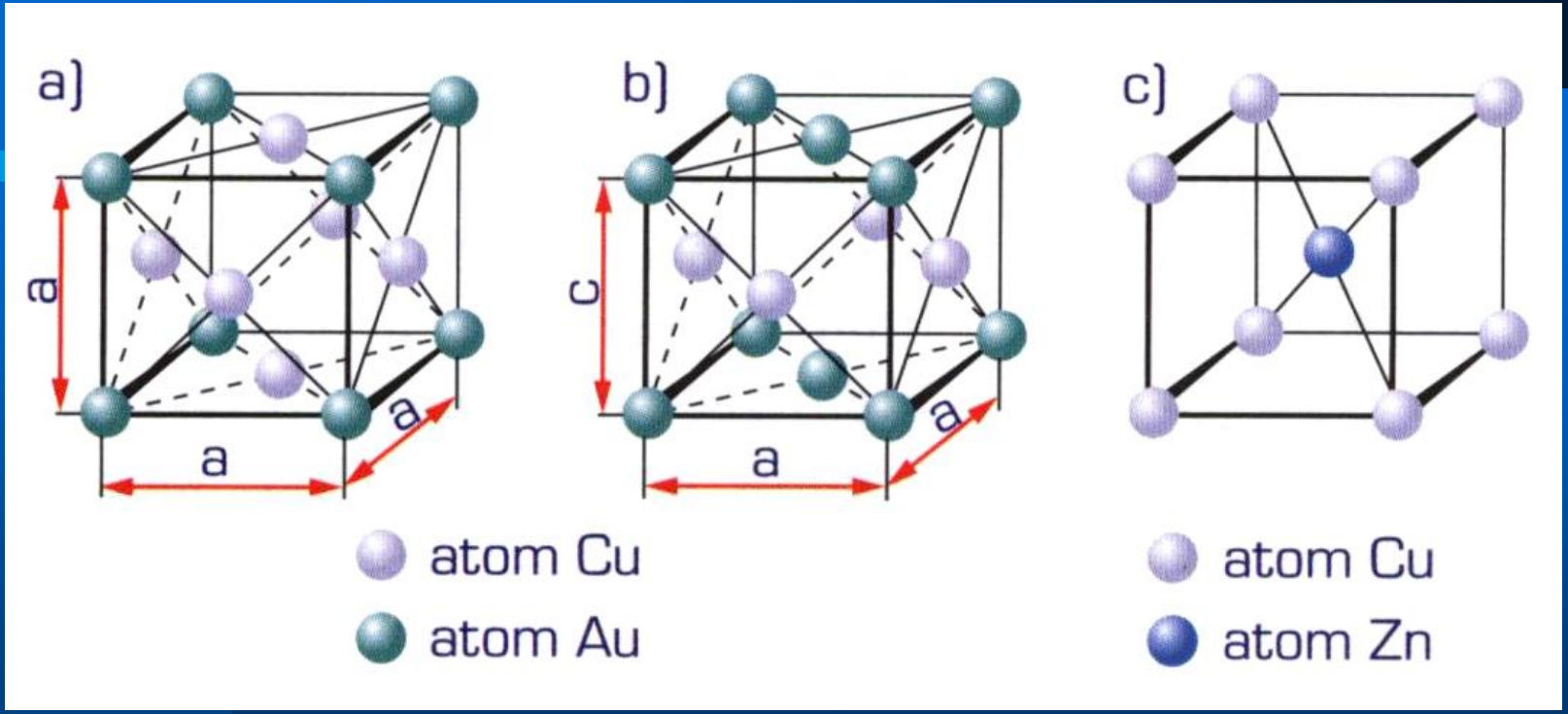
Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Przykłady układów podwójnych i przemian w stanie stałym



MATERIAŁOZNAWSTWO

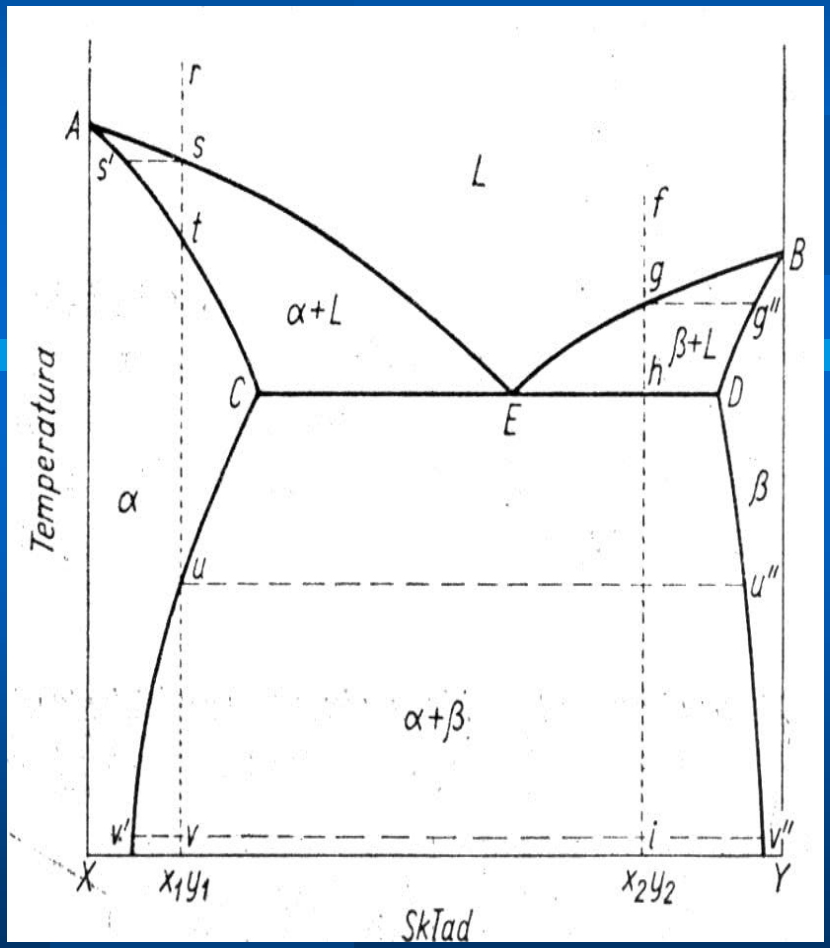
Zajmowanie w roztworach substytucyjnych ściśle określonych węzłów przez atomy rozpuszczone nosi nazwę **NADSTRUKTURY**, a przemiana prowadząca do takiego uporządkowania jest przemianą **porządek -nieporządek**

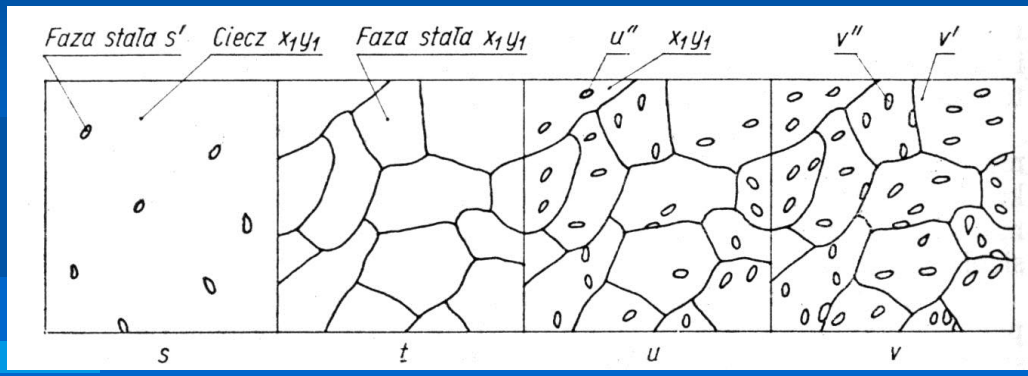


Przemiana *porządek–nieporządek* nie wymaga przemieszczania atomów w sieci na dystanse większe niż 1-2 parametry

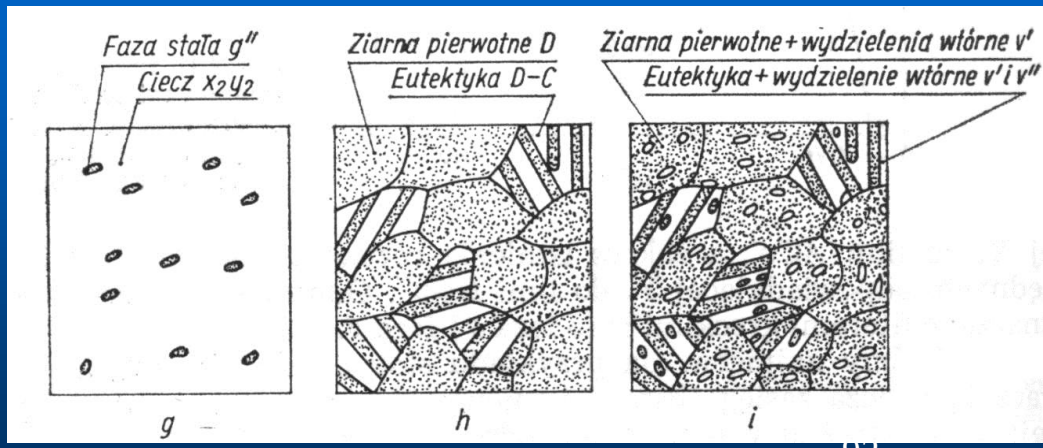
MATERIAŁOZNAWSTWO

Przykład struktury stopów przy różnych temperaturach podczas krystalizacji





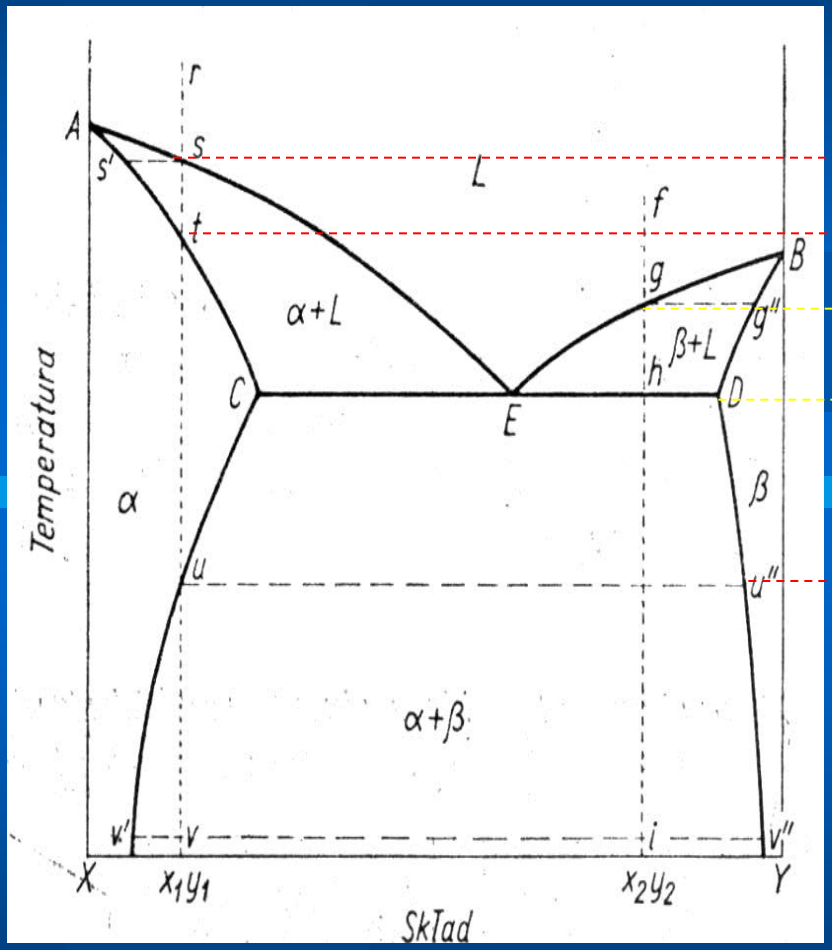
Rozwój struktury stopu x_1y_1

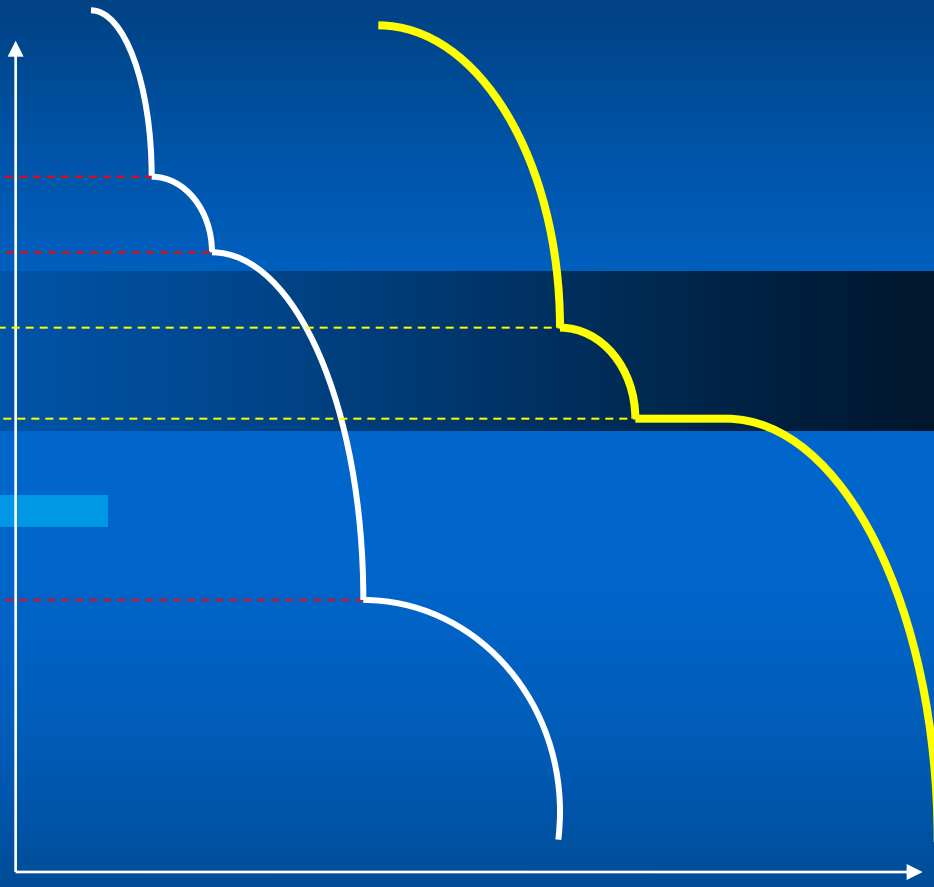


Rozwój struktury stopu x_2y_2

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA





Krzywe chłodzenia stopów

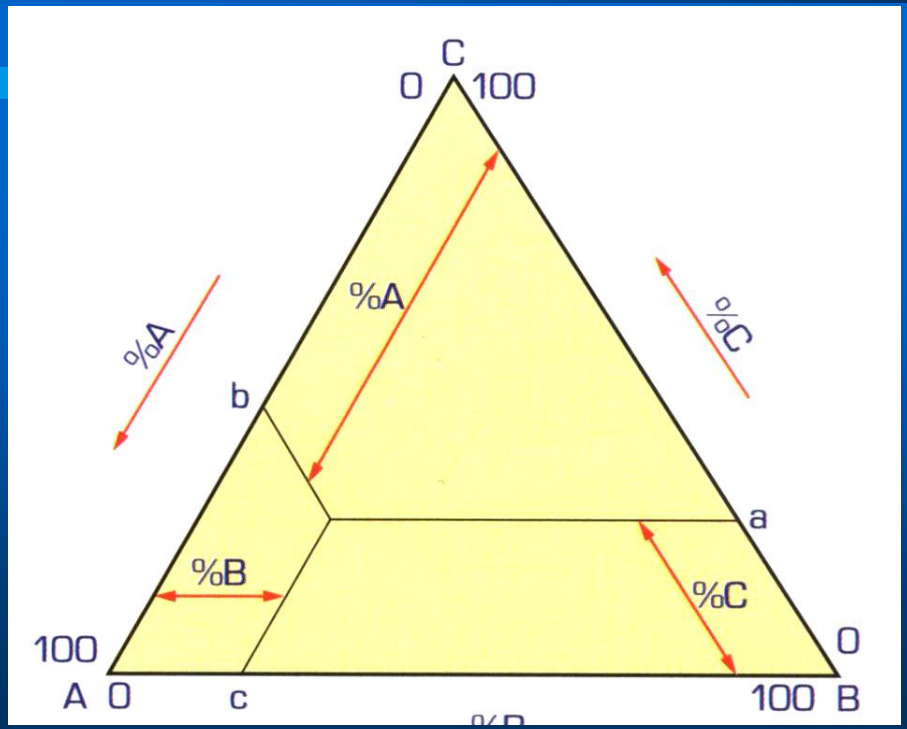
Przy zmianie ilości stopni swobody zawsze ma miejsce przegięcie na krzywej chłodzenia.

Przy zerowej liczbie stopni swobody na krzywej pojawia się przystanek.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Wprowadzenie trzeciego i kolejnych składników stopowych zmienia równowagę stopów.

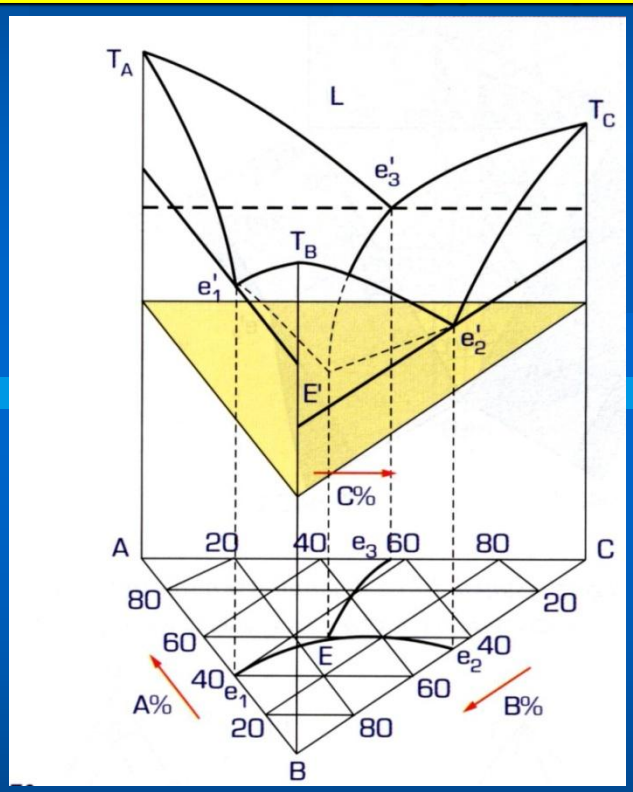
Dla trzech składników ABC można układ sprowadzić do połączenia trzech układów podwójnych AB, AC, i BC, a dla ustalonej temperatury układ można przedstawić na trójkącie fazowym w którym każdy punkt we wnętrzu odpowiada ściśle określonemu składowi stopu.

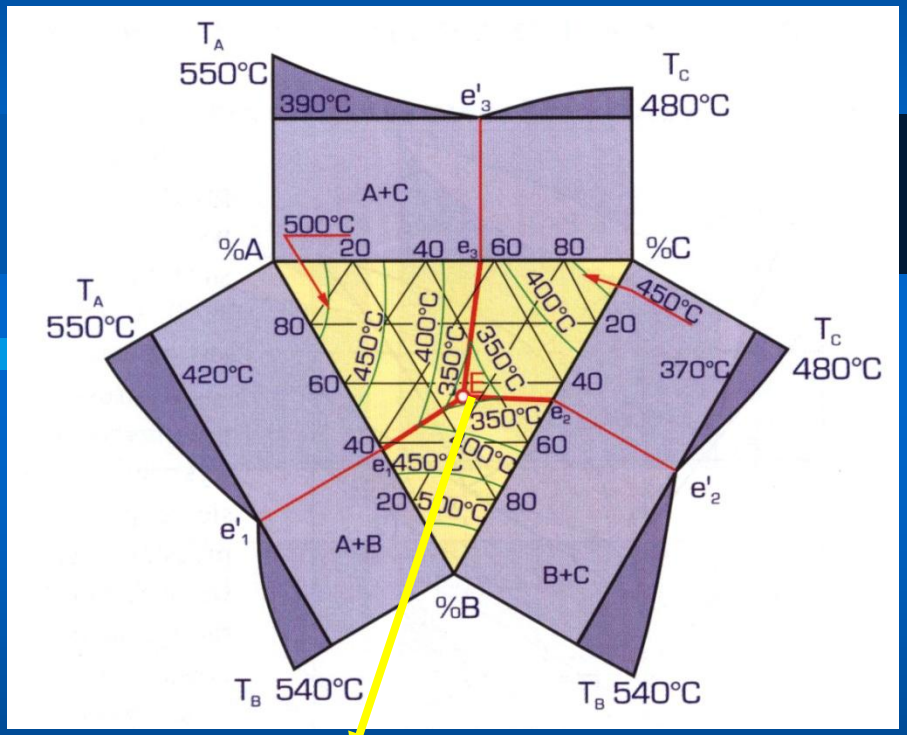


MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Wprowadzenie trzeciego i kolejnych składników stopowych zmienia równowagę stopów



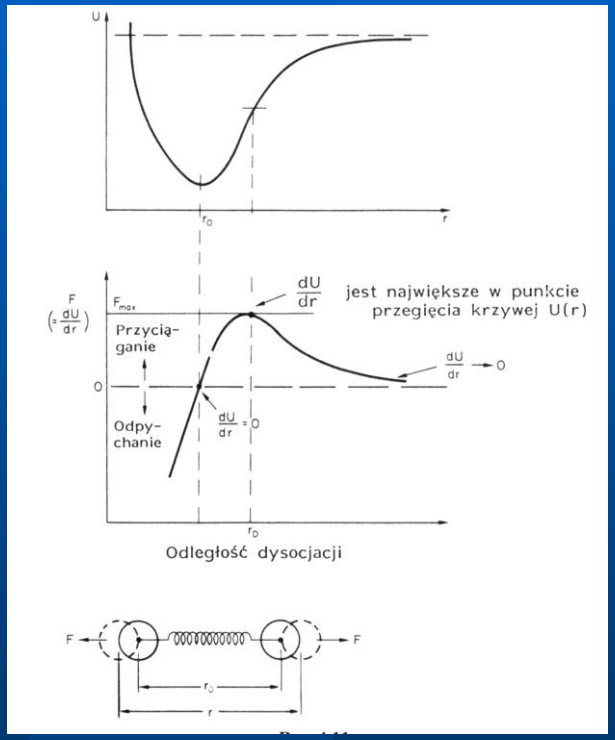


Eutektyka potrójna ma zawsze niższą temperaturę niż eutektyki podwójne.

Linie we wnętrzu trójkąta fazowego oznaczają eutektyki podwójne.
Każda sieczna przecinająca trójkąt fazowy wyznacza układ pseudopodwójny.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA



Energia oddziaływania $U(r) = U_{odp}(r) + U_{przyc}(r)$

Siła oddziaływania $F(r) = dU/dr$

Dla $r = r_0$ $U(r) = U_{min}(r)$ oraz $F(r) = 0$

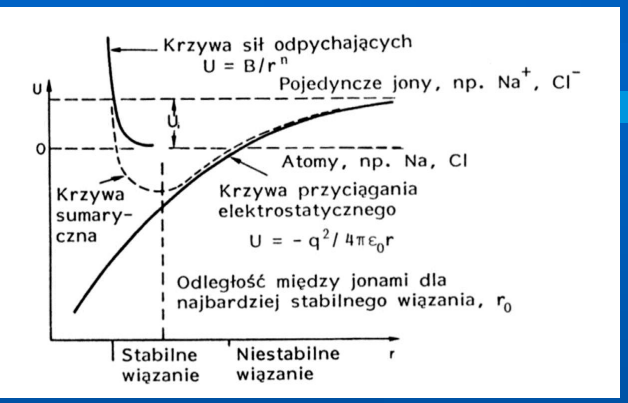
Dla każdego $r \neq r_0$ na atom działa siła przeciwdziałająca zmianie jego położenia !!!!!!!

Prawdziwe jest również twierdzenie odwrotne

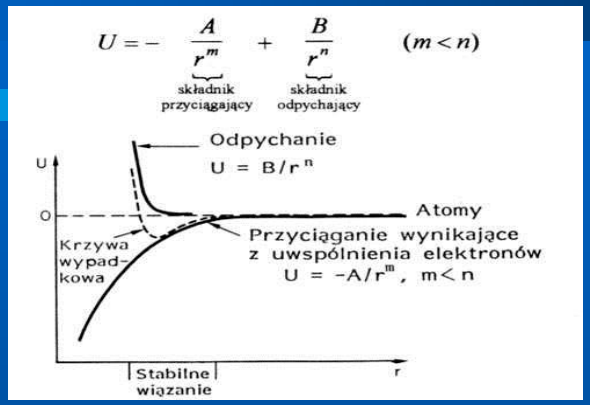
Każda siła przyłożona do kryształu powoduje pojawienie się dodatkowej siły działającej na atom i w konsekwencji zmianę położenia atomu o wielkość $\Delta r = r - r_0$ czyli odkształcenie całego kryształu.

MATERIAŁOZNAWSTWO

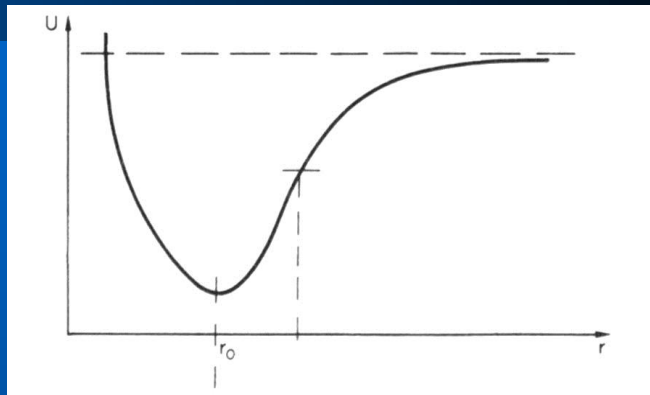
Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA



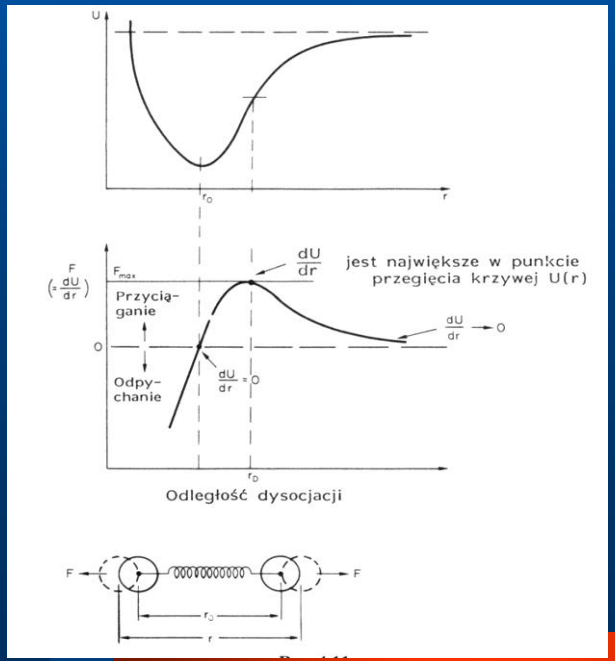
JONOWE



KOWALENTNE



METALICZNE



Energia oddziaływania $U(r) = U_{odp}(r) + U_{przyc}(r)$

Siła oddziaływania $F(r) = dU/dr$

Dla $r = r_0$ $\underline{U(r) = U_{min}(r)}$ oraz $\underline{F(r) = 0}$

Dla każdego
$r \neq r_0$
na atom działa siła przeciwdziałająca zmianie jego położenia !!!!!!!

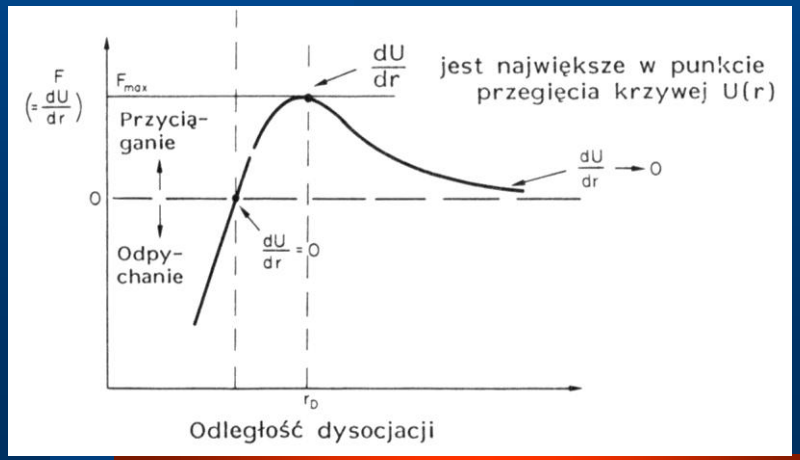
SPRĘŻYSTOŚĆ KRYSZTAŁÓW

Sprężystość to odwracalna zdolność zmiany wymiarów pod wpływem działania siły.

Prawo Hooka:

$$F = S \cdot \Delta L$$

gdzie: ΔL – zmiana wymiarów proporcjonalna do zmiany r, S = (1/E) – sztywność materiału, E moduł sprężystości, F – siła działająca na ciało

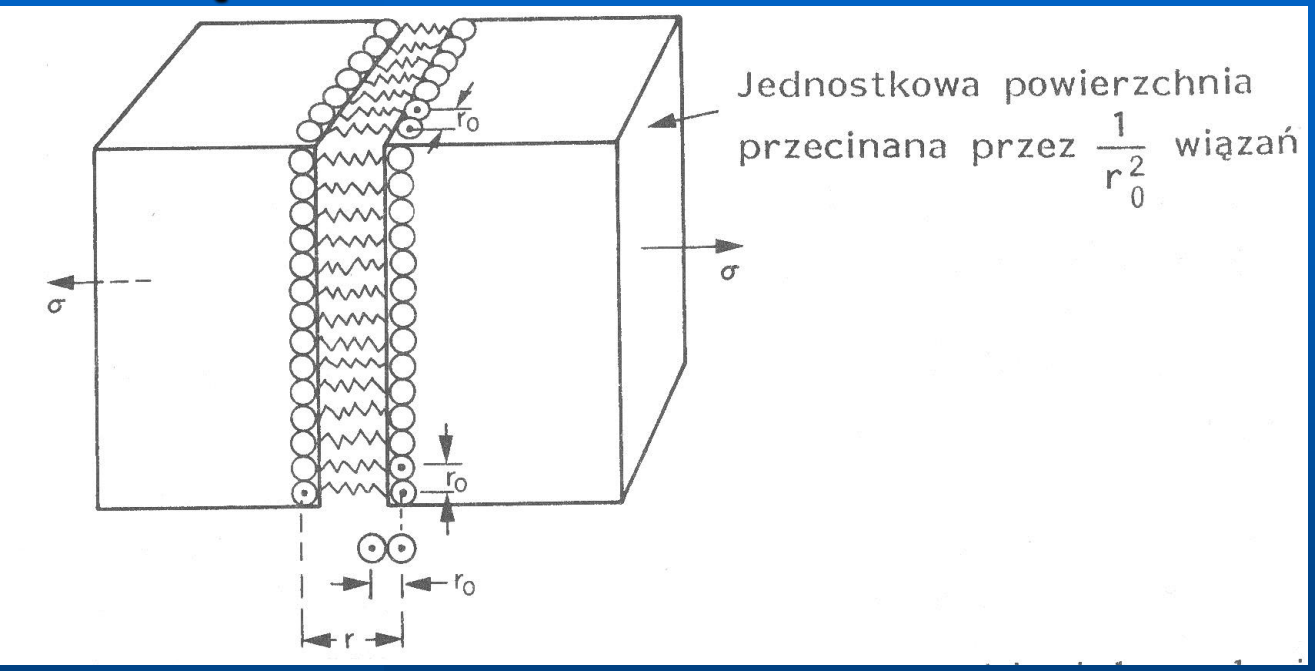


Z definicji: $S = dF/dr = d^2U/dr^2$

Dla $r \approx r_0$ S jest w przybliżeniu stałe zatem:

$$F = S(r - r_0)$$

MATERIAŁOZNAWSTWO
SPRĘŻYSTOŚĆ KRYSZTAŁÓW



Ilość wiązań na jednostkę powierzchni:

$N = 1/r_0^2$

Całkowita siła potrzebna do zmiany położenia N atomów z pozycji r_0 do pozycji r i będzie zatem:

$$F_c = N \cdot S \cdot (r - r_0) = (1/r_0^2) \cdot S \cdot (r - r_0)$$

Skoro siła F_c działa na jednostkę powierzchni, czyli naprężenie $\sigma = F_c$, to:

$$\sigma = (S/r_0) \cdot \varepsilon = E \cdot \varepsilon$$

gdzie: $\varepsilon = (r - r_0)/r_0$ jest odkształceniem względnym, a E modułem Younga

MATERIAŁOZNAWSTWO

TWORZENIE STRUKTURY CIAŁ STAŁYCH

Dla każdego $r \neq r_0$ na atom działa siła przeciwdziałająca zmianie jego położenia.

Zatem:

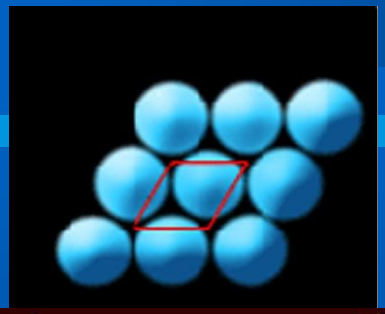
- Każde inne położenie jest niestabilne i **nie może** być utrzymane bez przyłożenia sił zewnętrznych.
- Każdy kolejny atom **musi** również zajmować tylko miejsca o siłach zrównoważonych.
- W otoczeniu atomu są **ściśle zdefiniowane** punkty w przestrzeni, gdzie siły oddziaływań są zrównoważone.
- Każde inne położenie jest **zabronione** energetycznie.

To są przyczyny porządkowania przestrzennego atomów !!!!!

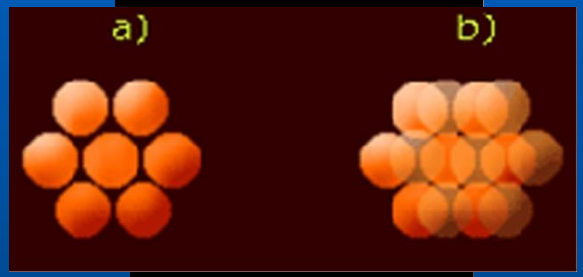
MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

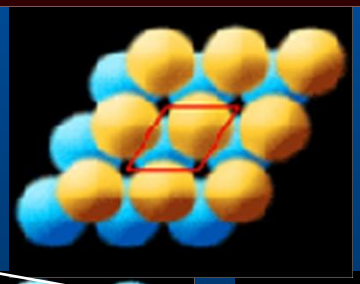
Gęste upakowanie na płaszczyźnie

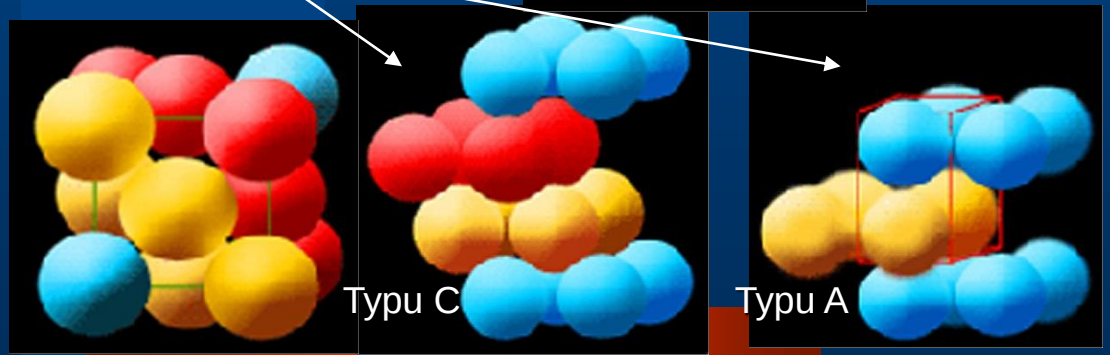


Budowanie drugiej warstwy

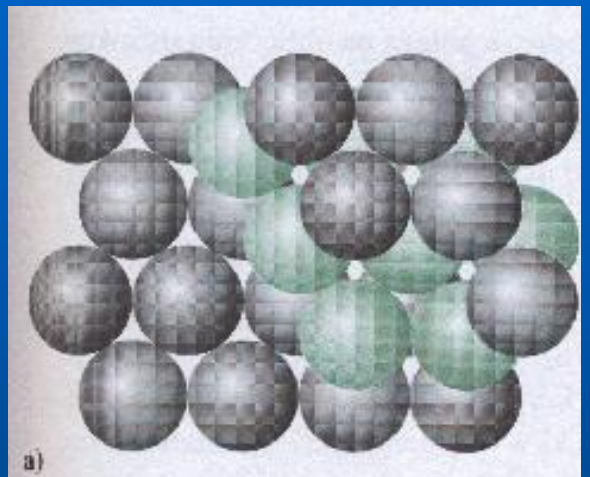


Budowanie trzeciej warstwy

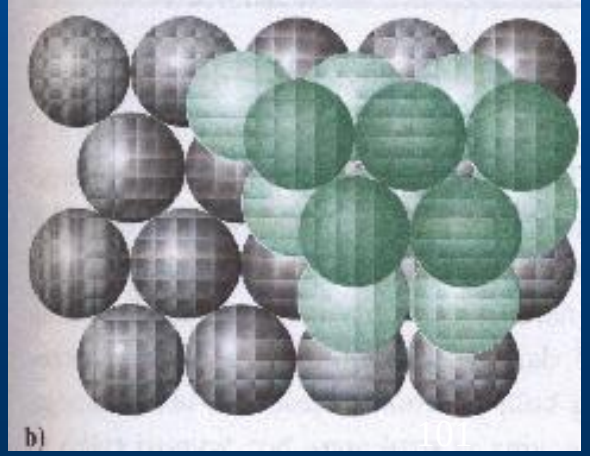




Sekwencja ABABAB



Sekwencja ABCABC

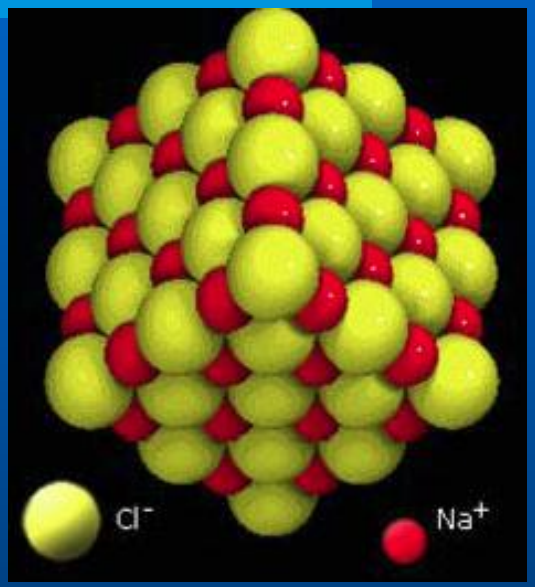


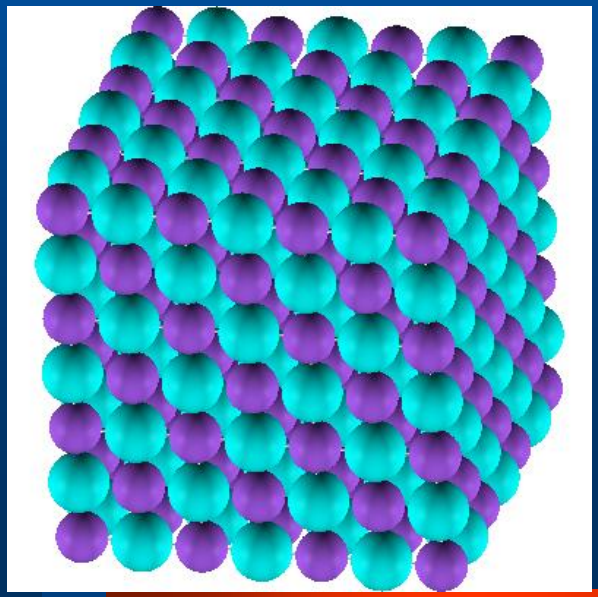
MATERIAŁOZNAWSTWO

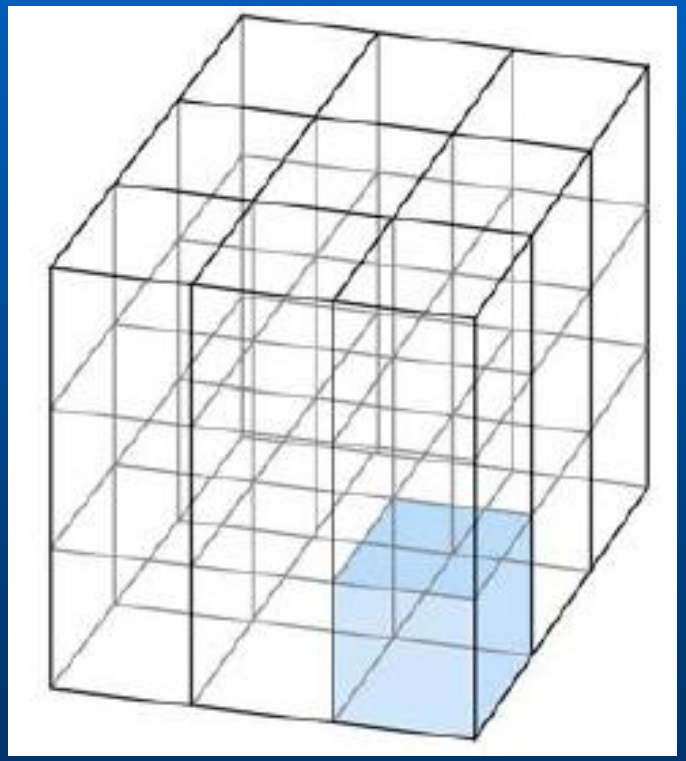
Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

TWORZENIE STRUKTURY CIAŁ STAŁYCH

Struktura Krystaliczna NaCl







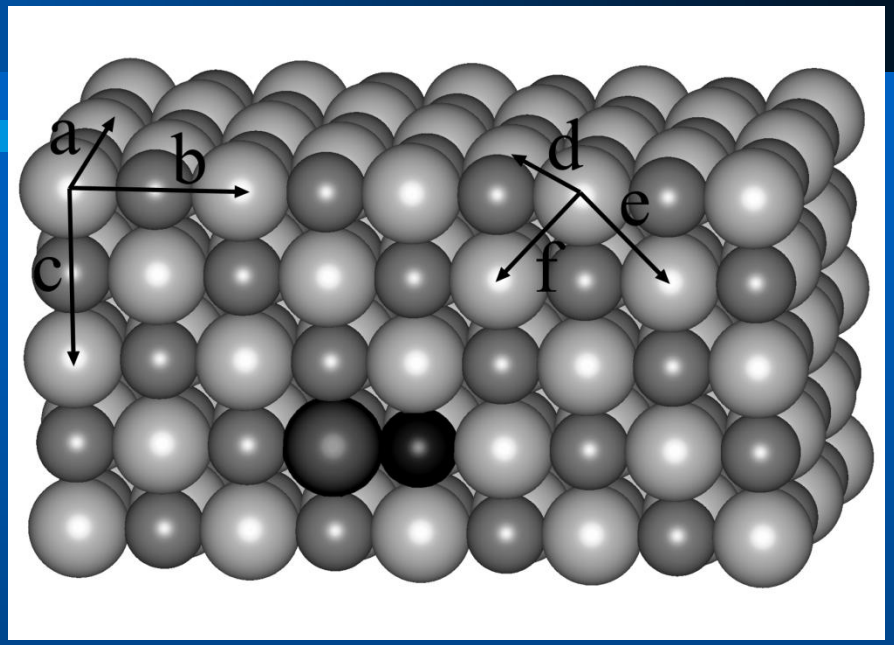
Sieć krystaliczna NaCl

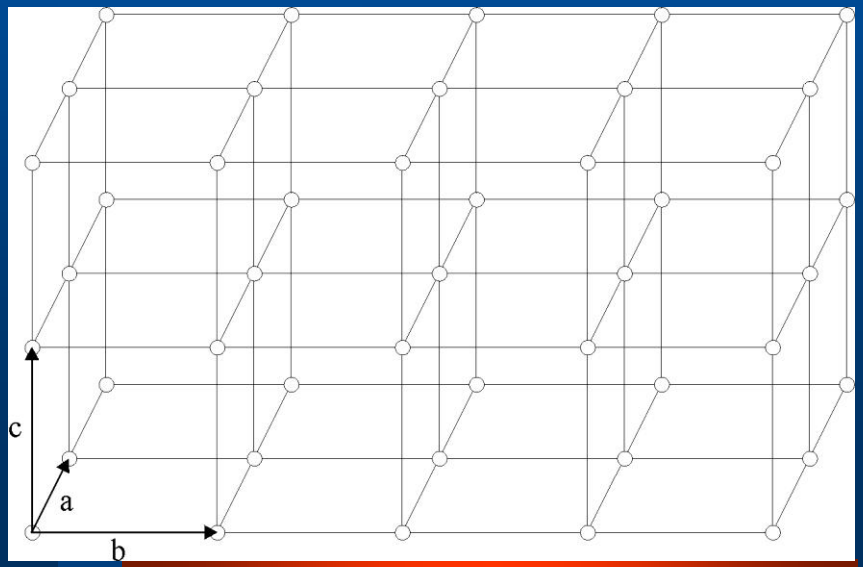
MATERIAŁOZNAWSTWO

STRUKTURY I SIEĆ KRYSTALICZNA

Struktura krystaliczna to uporządkowany przestrzennie zbiór oddziałujących ze sobą atomów substancji.

Struktura krystaliczna to obiekt fizyczny!!!





Sieć krystaliczna to przestrzennie uporządkowany zbiór punktów , który może odwzorowywać strukturę.

Sieć krystaliczna to obiekt matematyczny !!!

STRUKTURY I SIEĆ KRYSTALICZNA

Oddziaływania wprowadzają porządek w najbliższym sąsiedztwie atomu (cząstki). Skoro każdy z atomów ma takie samo najbliższe sąsiedztwo to wzór porządku wokół jednego atomu musi być identyczny w całym zbiorze atomów. Istnieje zatem minimalny zbiór sąsiadujących ze sobą atomów o uporządkowaniu translacyjnym identycznym jak zbiór wszystkich atomów kryształu.

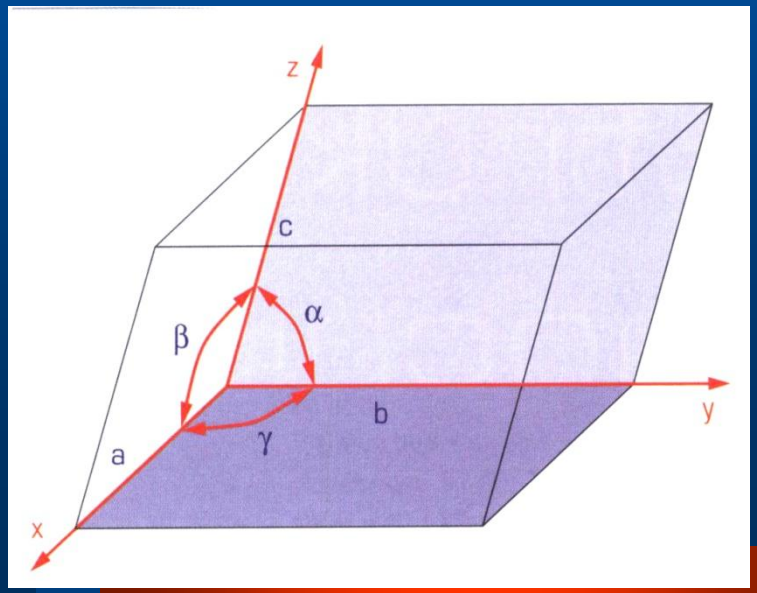
Taki minimalny zbiór nazywa się komórką elementarną.

Komórka elementarna jest zbiorem punktów (węzłów sieci) o ściśle określonych odległościach (periodach identyczności) i charakterystycznym zbiorze elementów symetrii.

MATERIAŁOZNAWSTWO

STRUKTURY I SIEĆ KRYSTALICZNA

Symetria powoduje, że istnieje skończona ilość (14) komórek elementarnych sieci przestrzennych (komórki Bravais'go) opartych na 7 układach krystalograficznych charakteryzujących układ osi komórek elementarnych. Układy określone są przez wielkości periodów identyczności i kąty pomiędzy osiami układu.



kąty:

α (kąt między osiami Y i Z),
β (kąt między osiami X i Z),
γ (kąt między osiami X i Y),

periody identyczności :

a (period identyczności wzdłuż osi X),
b (period identyczności wzdłuż osi Y),
c (period identyczności wzdłuż osi Z).

MATERIAŁOZNAWSTWO

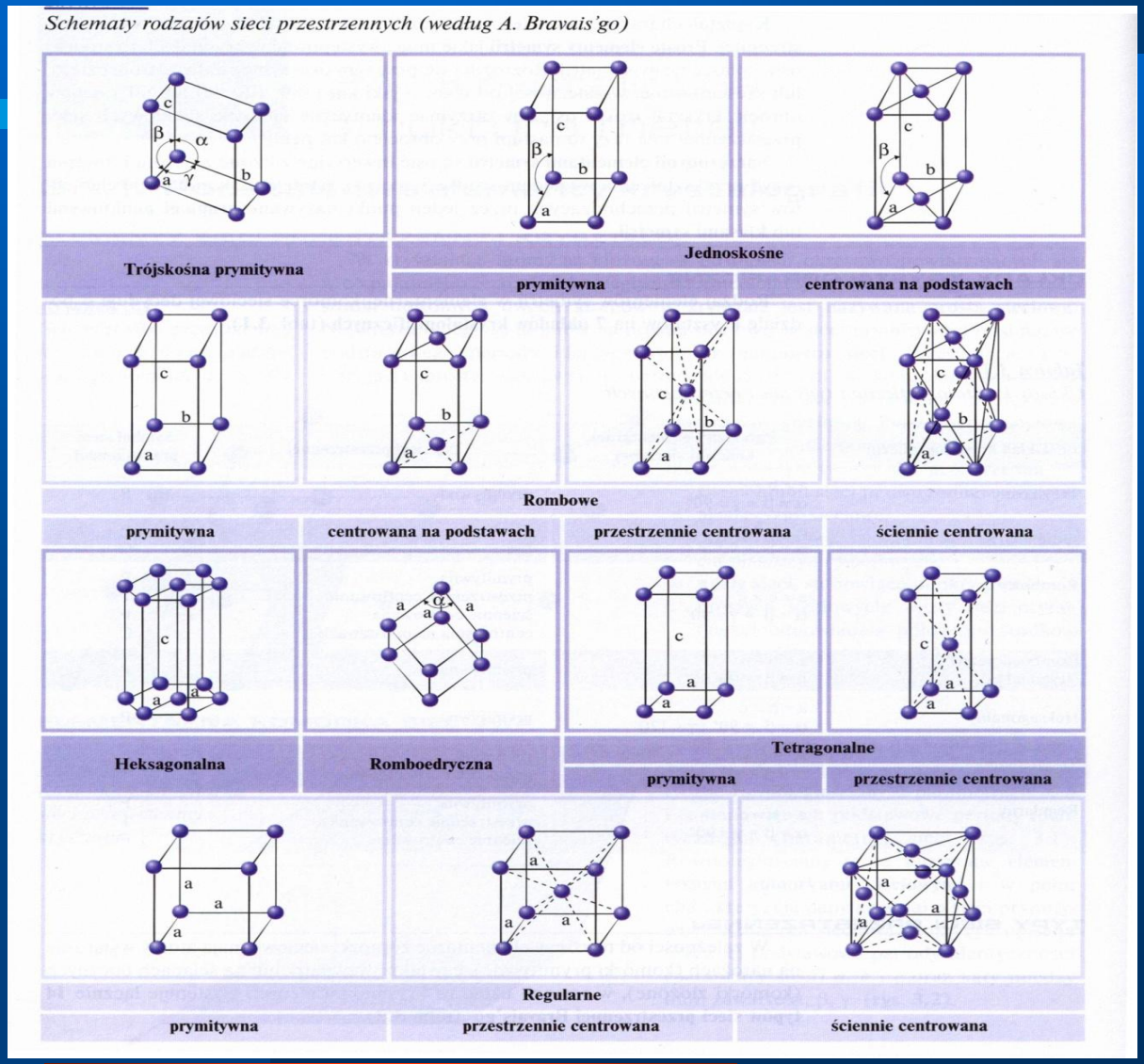
Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Układy krystalograficzne i typy sieci przestrzennych

Układ krystalograficzny	Parametry elementarnej komórki sieciowej	Typ sieci przestrzennej	Symbol sieci przestrzennej
Trójskośny	$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$	prymitywna	P
Jednoskośny	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = 90° \neq \gamma$	prymitywna centrowana na podstawach	P C
Rombowy	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90°$	prymitywna przestrzennie centrowana ściennie centrowana centrowana na podstawach	P I F C
Romboedryczny (trygonalny)	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90°$	prymitywna	P
Heksagonalny	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90°$ $\gamma = 120°$	prymitywna	P
Tetragonalny	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90°$	prymitywna przestrzennie centrowana	P I
Regularny	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90°$	prymitywna przestrzennie centrowana ściennie centrowana	P I F

MATERIAŁOZNAWSTWO

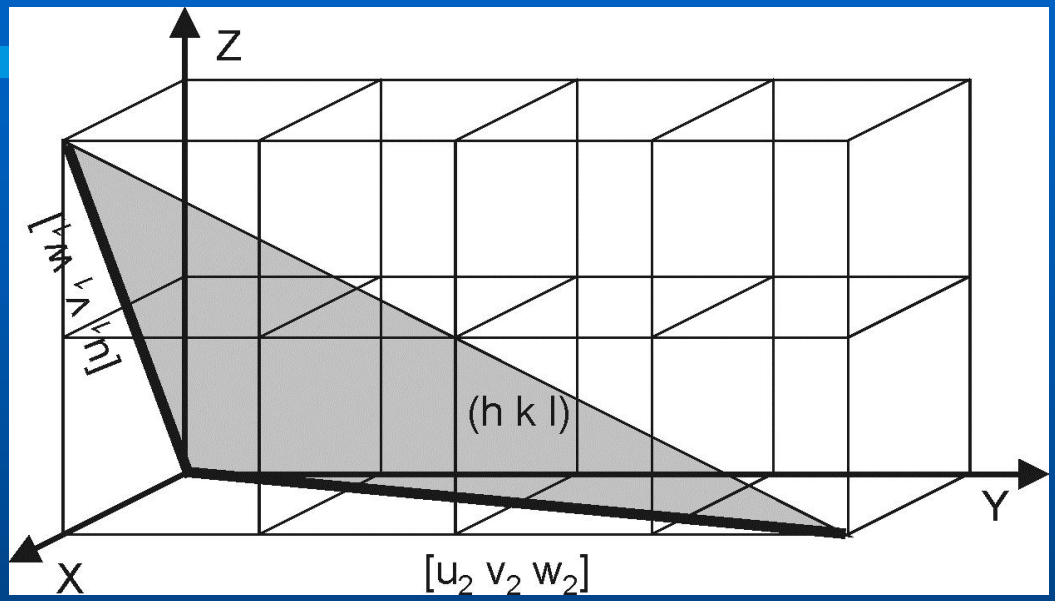
Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA



Układy krystalograficzne i typy sieci przestrzennych

MATERIAŁOZNAWSTWO

Wskaźniki płaszczyzny sieciowej



$$x\cos\mu + y\cos\nu + z\cos\xi = 0$$

$$a\cos\mu : b\cos\nu : c\cos\xi = h : k : l$$

dla $[u_1v_1w_1]$ *i* $[u_2v_2w_2]$ *otrzymujemy*

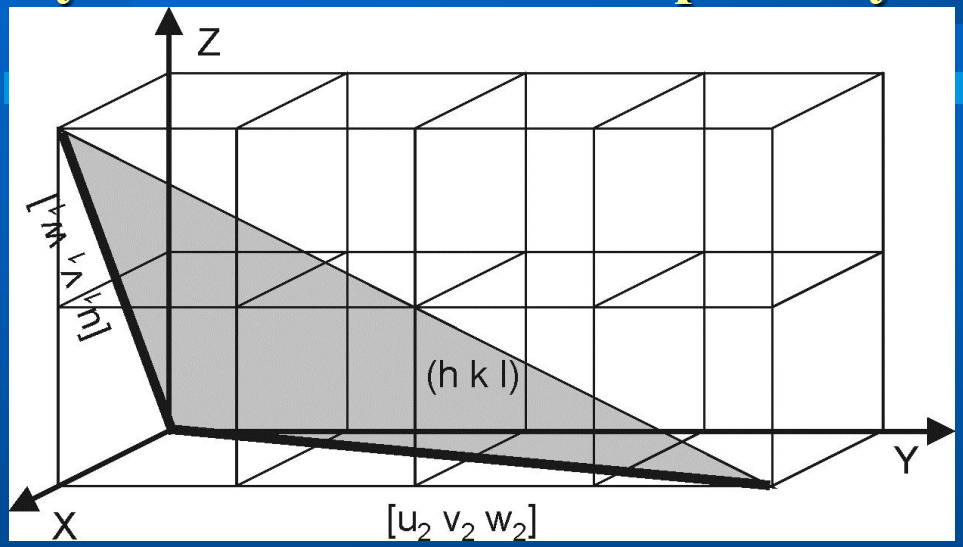
$$u_1a\cos\mu + v_2b\cos\nu + w_1c\cos\xi = 0$$

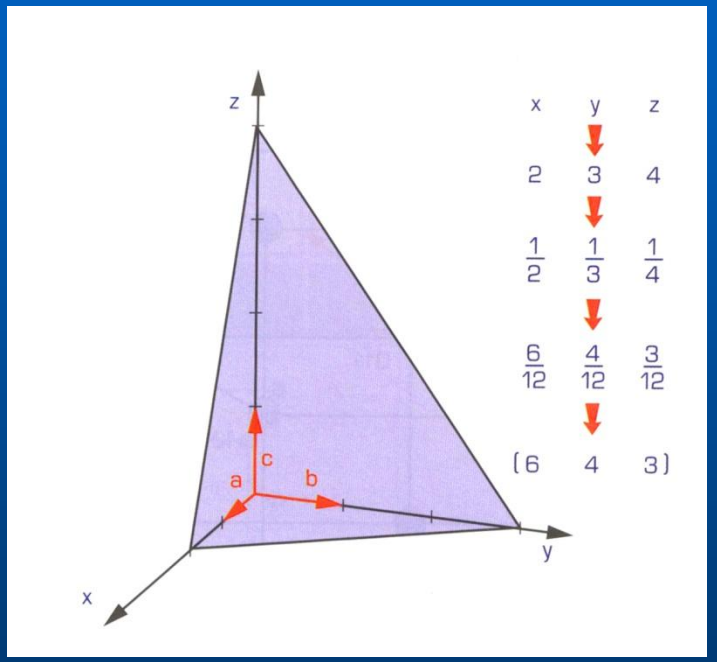
$$u_2a\cos\mu + v_2b\cos\nu + w_2c\cos\xi = 0$$

Liczby *h*, *k* i *l* wskazują, ile razy odcinki odcięte na osiach X, Y i Z przez pierwszą od węzła 0,0,0 płaszczyznę sieciową w komórce elementarnej są mniejsze od periodów identyczności.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Wyznaczanie wskaźnika płaszczyzny sieciowej



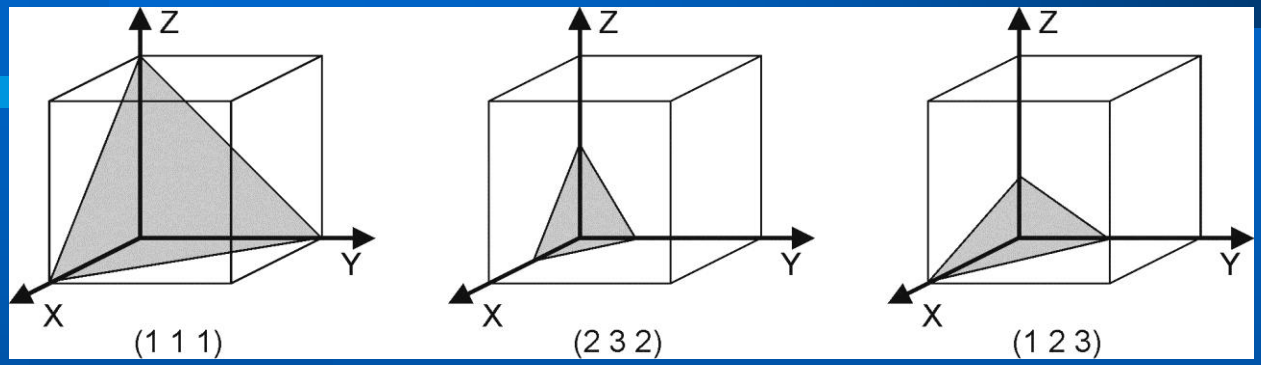


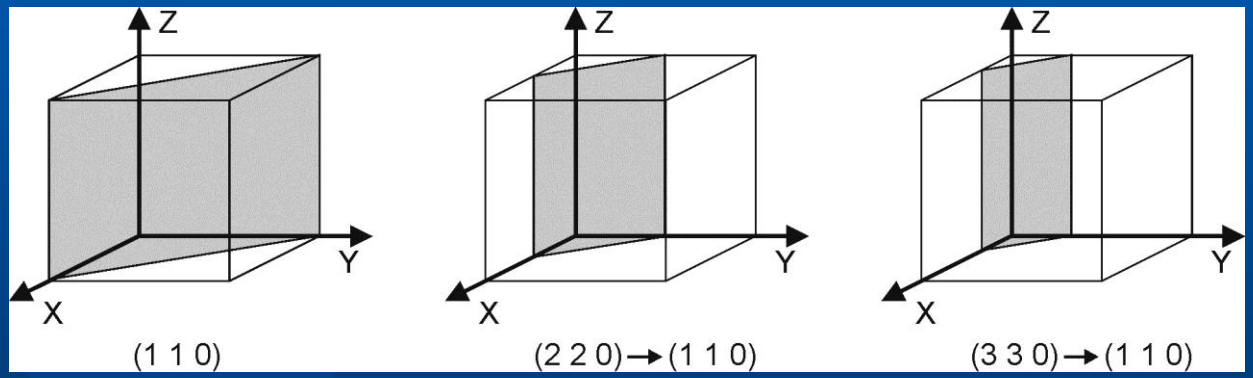
PROCEDURA WYZNACZANI WSKAŹNIKA

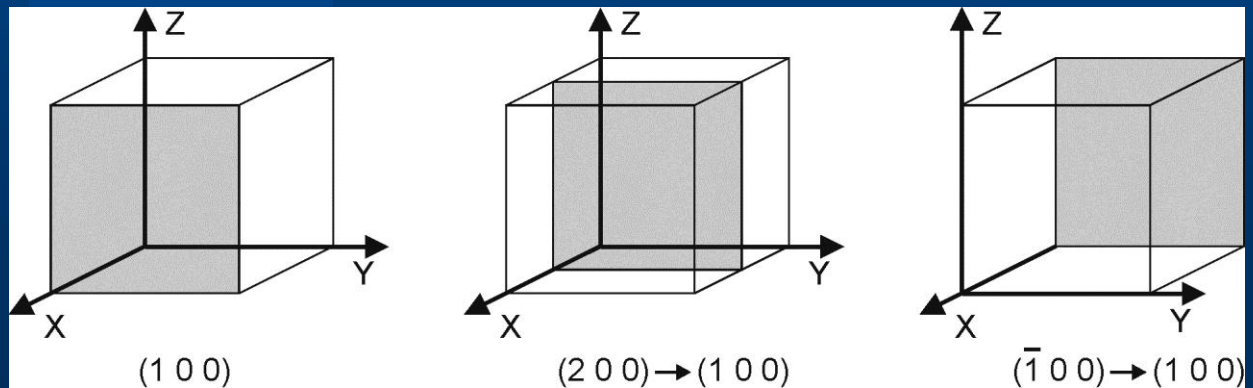
1. Wybranie początku układu
2. Wyznaczenie punktów przecięcia płaszczyzny z osiami układu.
3. Zapisać odwrotności współrzędnych punktu przecięcia.
4. Znaleźć najmniejszy wspólny mianownik.
5. Liczby w licznikach dają wskaźnik Mullera płaszczyzny

Wskaźniki Mullera płaszczyzny definiują wektor normalny (prostopadły) do płaszczyzny którą opisują. Wielkość modułu wektora, podobnie jak zwrot nie posiadają znaczenia dla jednoznacznego określenia płaszczyzny!!!!

MATERIAŁOZNAWSTWO







Przykłady wskaźnikowania płaszczyzn sieciowych

MATERIAŁOZNAWSTWO

Interpretacja geometryczna wskaźników Mullera

Każdy węzeł sieci może być początkiem układu.

Wszystkie kierunki i proste prostopadłe do płaszczyzn krystalograficznych przecinają się w początku układu.

Wskaźniki Mullera płaszczyzny –to współrzędne wektora normalnego do płaszczyzny.
Wskaźniki Mullera kierunku to współrzędne wektora równoległego do kierunku.

Kierunek prostopadły do płaszczyzny posiada te same wskaźniki co płaszczyzna.
Iloczyn wektorowy dwu wskaźników kierunku daje wskaźniki płaszczyzny.
Iloczyn skalarny wskaźnika płaszczyzny i kierunku leżącego na płaszczyźnie jest równy zero.
Kąty pomiędzy płaszczyznami i kierunkami można wyznaczyć z iloczynów wektorowych i skalarnych wskaźników.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Interpretacja geometryczna wskaźników Mullera

Wzory na obliczanie relacji pomiędzy kierunkami i płaszczyznami

$$\mathbf{a} \times \mathbf{b} = \begin{vmatrix} i & j & k \\ a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{vmatrix} = (a_1b_2-a_2b_1), (a_1b_3-a_3b_1), (a_2b_3 - a_3b_2) = |\mathbf{a}|\,|\mathbf{b}|\,\sin\alpha$$

$$\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = |\mathbf{a}|\,|\mathbf{b}|\cos\alpha = a_1b_1 + a_2b_2 + a_3b_3$$

$$|\mathbf{a}| = (\mathbf{a}_1^2 + \mathbf{a}_2^2 + \mathbf{a}_3^2)^{1/2}$$

Warunek równoległości kierunku [u v w] i płaszczyzny (h k l): **u h + v k + w l = 0**

Warunek prostopadłości płaszczyzny (h_1 k_1 l_1) i (h_2 k_2 l_2) : **$h_1h_2 + k_1k_2 + l_1l_2 = 0$**

Kąty pomiędzy płaszczyznami i kierunkami: $\cos\alpha = (u\,h + v\,k + w\,l)/[|uvw|][|hkl|]$

Geometryczna relacja pomiędzy osiami komórki elementarnej, a zewnętrznym układem odniesienia nazywa się **orientacją rystalograficzną**

MATERIAŁOZNAWSTWO

W trzech układach krystalograficznych krystalizuje 98% metali :

- regularnym ściennie centrowanym A1 (FCC) - (Cu, Al., Au, Ag, Pt, Ni, Pb)

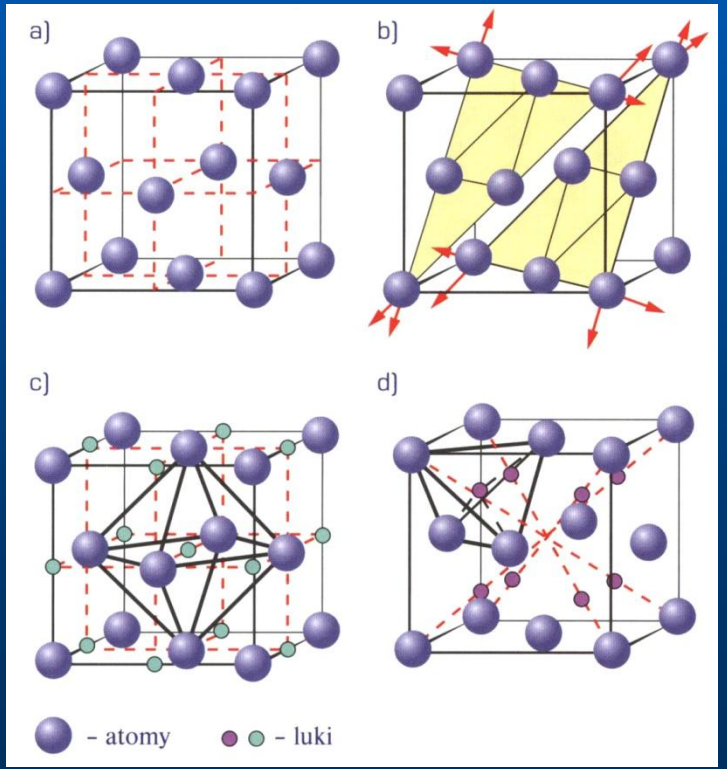
- regularnym przestrzennie centrowanym A2 (BCC) – (Fe, W, Nb, Mo, Os)

- heksagonalnym zwartym A3 (HCP) – (Zn, Mg, Cd, Ti, Co)

Charakterystyczne cechy struktur metali

A1

Liczba koordynacyjna	12
Ilość atomów w komórce	4
Stopień wypełnienia	82%
Parametr sieci	Zależy od materiału
Płaszczyzny o najgęstszym ułożeniu	4 {111}
Kierunki o najgęstszym ułożeniu	6 <110>



MATERIAŁOZNAWSTWO

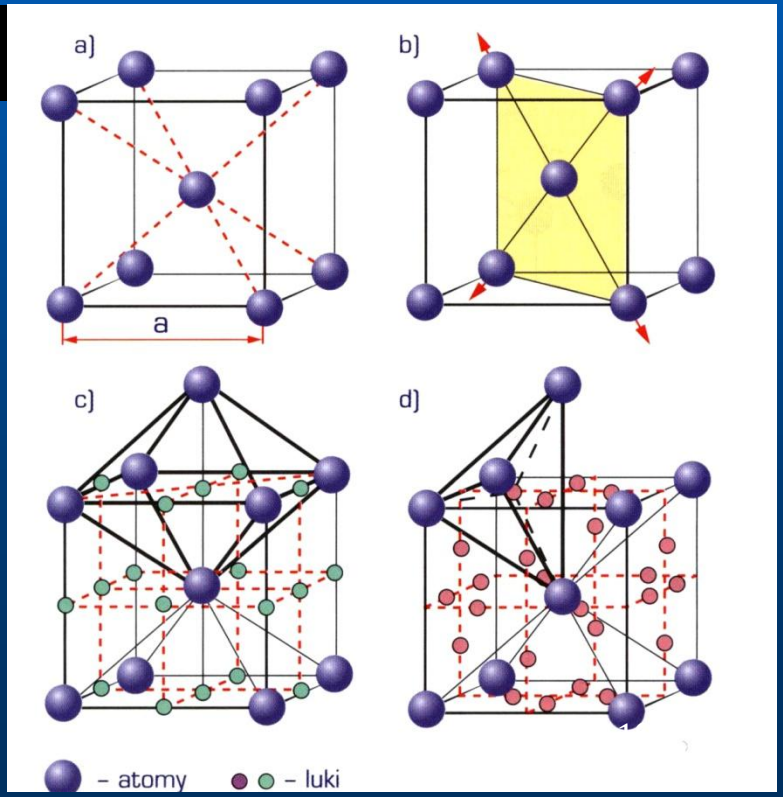
W trzech układach krystalograficznych krystalizuje 98% metali :

- **regularnym ściennie centrowanym A1 (FCC) - (Cu, Al., Au, Ag, Pt, Ni, Pb)**
- **regularnym przestrzennie centrowanym A2 (BCC) – (Fe, W, Nb, Mo, Os)**
- **heksagonalnym zwartym A3 (HCP) – (Zn, Mg, Cd, Ti, Co)**

Charakterystyczne cechy struktur metali

Liczba koordynacyjna	8
Ilość atomów w komórce	2
Stopień wypełnienia	73%
Parametr sieci	Zależy od materiału
Płaszczyzny o najgęstszym ułożeniu	Brak
Kierunki o najgęstszym ułożeniu	3 <111>

A2



MATERIAŁOZNAWSTWO

W trzech układach krystalograficznych krystalizuje 98% metali :

- regularnym ściennie centrowanym A1 (FCC) - (Cu, Al., Au, Ag, Pt, Ni, Pb)

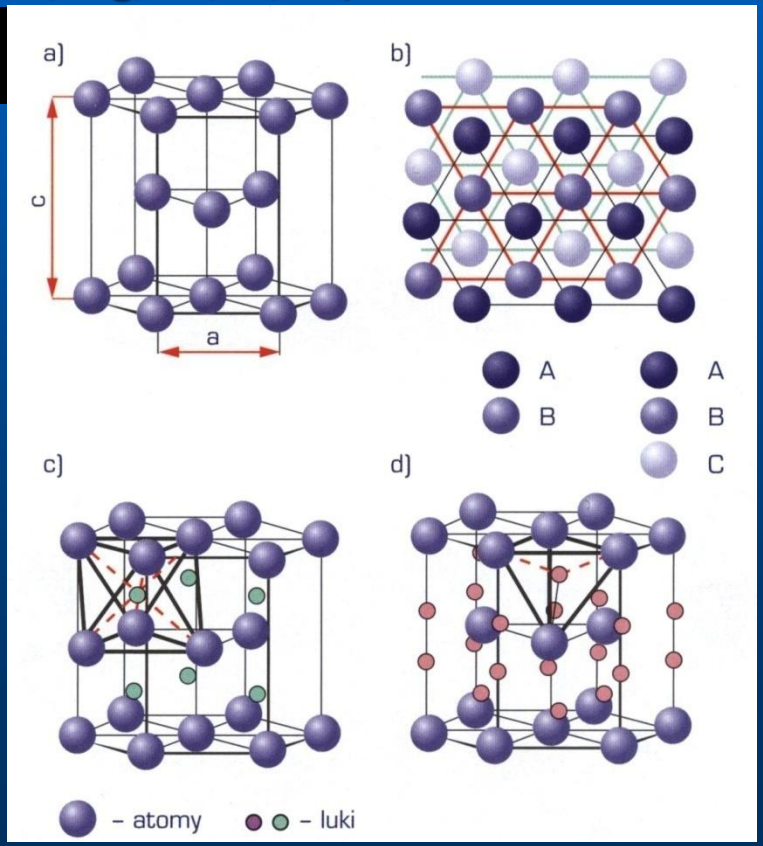
- regularnym przestrzennie centrowanym A2 (BCC) – (Fe, W, Nb, Mo, Os)

- heksagonalnym zwartym A3 (HCP) – (Zn, Mg, Cd, Ti, Co)

Charakterystyczne cechy struktur metali

A3

Liczba koordynacyjna	12
Ilość atomów w komórce	7 (2,33)
Stopień wypełnienia	73%
Parametr sieci	Zależy od materiału
Płaszczyzny o najgęstszym ułożeniu	1 {0001}
Kierunki o najgęstszym ułożeniu	3 <11. 0>



MATERIAŁOZNAWSTWO

Każde odstępstwo od położenia węzłowego przy obsadzaniu węzłów sieci przez atomy lub cząstki tworzące strukturę nazywa się defektem struktury.

Defekty mają istotny wpływ na własności kryształów.

- nie można ich uniknąć ponieważ wprowadzają one pewną entropię konfiguracyjną i przez to stabilizują termodynamicznie układ,
- wprowadza się je celowo poprzez tworzenie stopów, deformację, obróbkę cieplną, techniki wytwarzania aby otrzymać określone właściwości materiału.

Defekty dzieli się na:

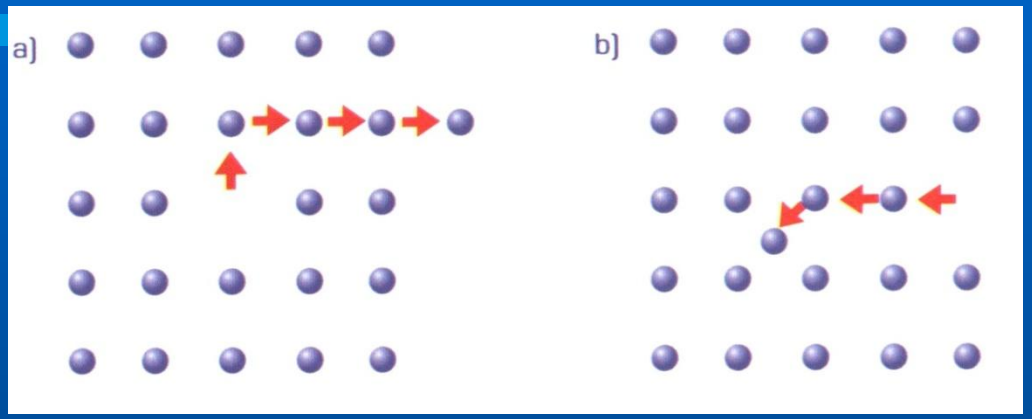
- **punktowe** - *wakancje, atomy międzywęzlowe, atomy obce atomy,*
- **liniowe** - *dyslokacje,*
- **powierzchniowe** - *granice ziaren, granice międzyfazowe, błędy ułożenia,*
- **objętościowe** – *pustki, mikroszczeliny, wydzielenia, wtrącenia.*

Właściwości i zachowanie się materiałów determinują rodzaj wiązań między atomami oraz możliwości powstawania, oddziaływania i ruchu defektów w ich strukturze.

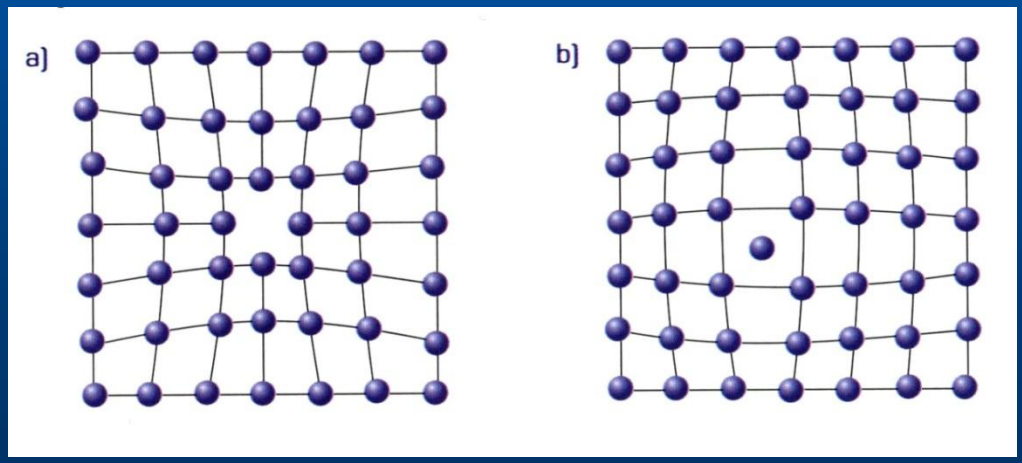
MATERIAŁOZNAWSTWO

WAKANCJA i ATOM MIĘDZYWĘZŁOWY

Tworzenie →



Skutki dla sieci →



Każdy defekt struktury wprowadza lokalną deformację sieci, podnosi energię układu i jego entropię konfiguracyjną.

Energia swobodna ciała stałego

$$F = U - TS$$

U - energia wewnętrzna układu, S - entropia układu, T – temperatura
Dla kryształu doskonałego S=0, a

$$F_0 = U$$

Dla kryształu z defektem $U_1 = U + \Delta U$ *(ΔU przyrost energii wewnętrznej na skutek istnienia defektu)* $S_1 = \Delta S > 0$ *, zatem w pewnym zakresie temperatur* $T > 0$

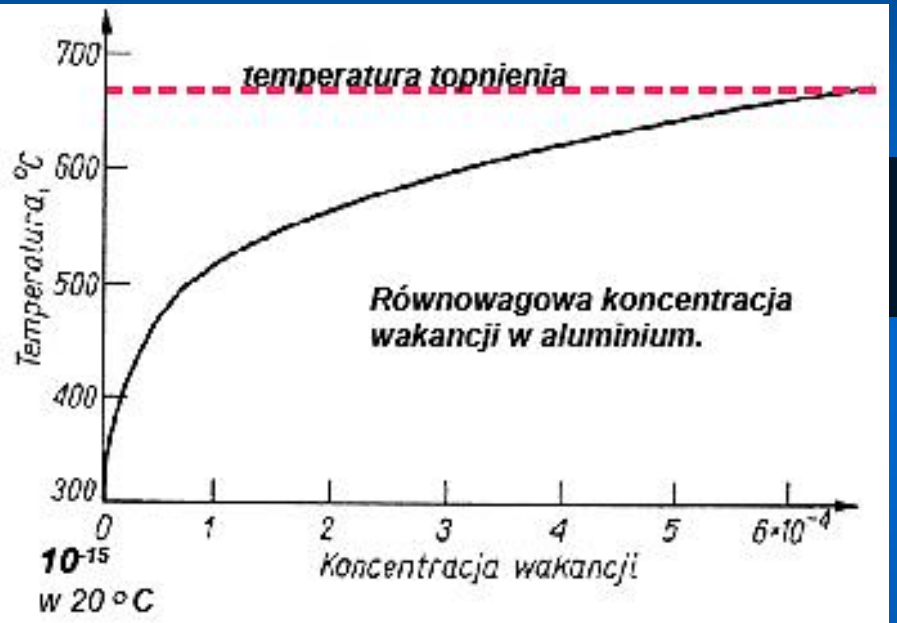
$$F_1 = (U + \Delta U) - T\Delta S \rightarrow F_0 - F_1 > 0$$

To jest termodynamiczna przyczyna istnienia defektów!!!

MATERIAŁOZNAWSTWO

Równowagowa koncentracja wakancji

$$\frac{n}{N} \approx A\exp(-\frac{q_w}{kT})$$



N – liczba atomów w krysztale,

n – liczba wakansów (liczba atomów mających energię q_w),

q_w – energia potrzebna do utworzenia wakansu,

k – stała Boltzmanna,

kT – średnia energia na jeden stopień swobody atomu,

A – stała proporcjonalności,

MATERIAŁOZNAWSTWO

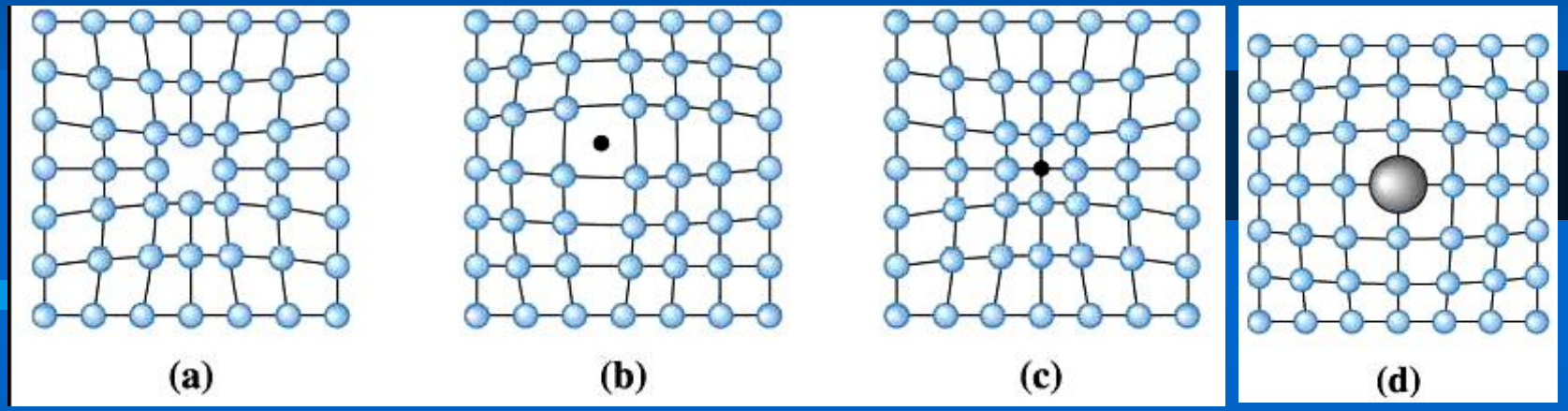
Dyfuzja w stanie stałym bardzo silnie zależy od temperatury.

Dla miedzi Cu

Temperatura [K]	Względne zmniejszenie szybkości dyfuzji
1300	1,0
1100	$0,44 = 4,40\times10^{-1}$
900	$0,140 = 1,40\times10^{-1}$
700	$0,02190 = 2,19\times10^{-2}$
500	$0,000796 = 7,96\times10^{-4}$
300	$0,000000347 = 3.47\times10^{-7}$
200	$0,000000000022 = 2,20\times10^{-11}$

W niskich temperaturach procesy zależne od dyfuzji zachodzą bardzo powoli.

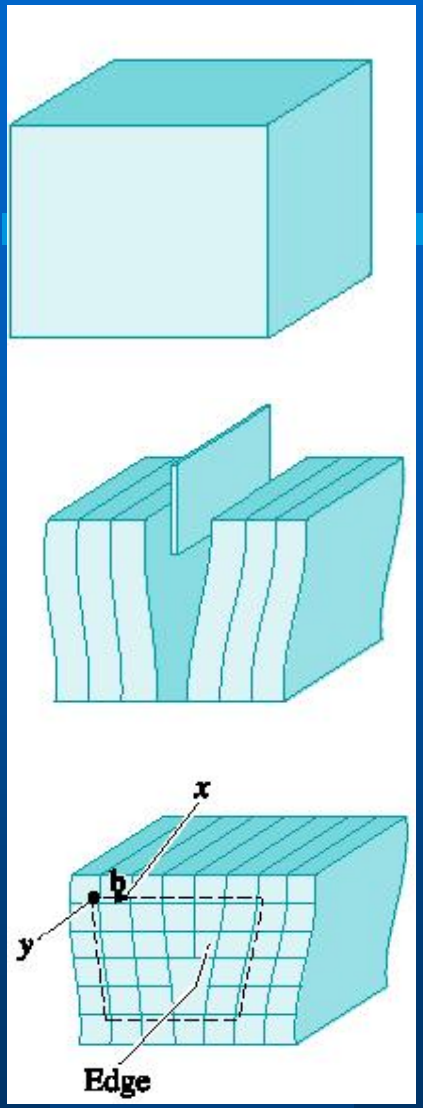
Inne defekty punktowe

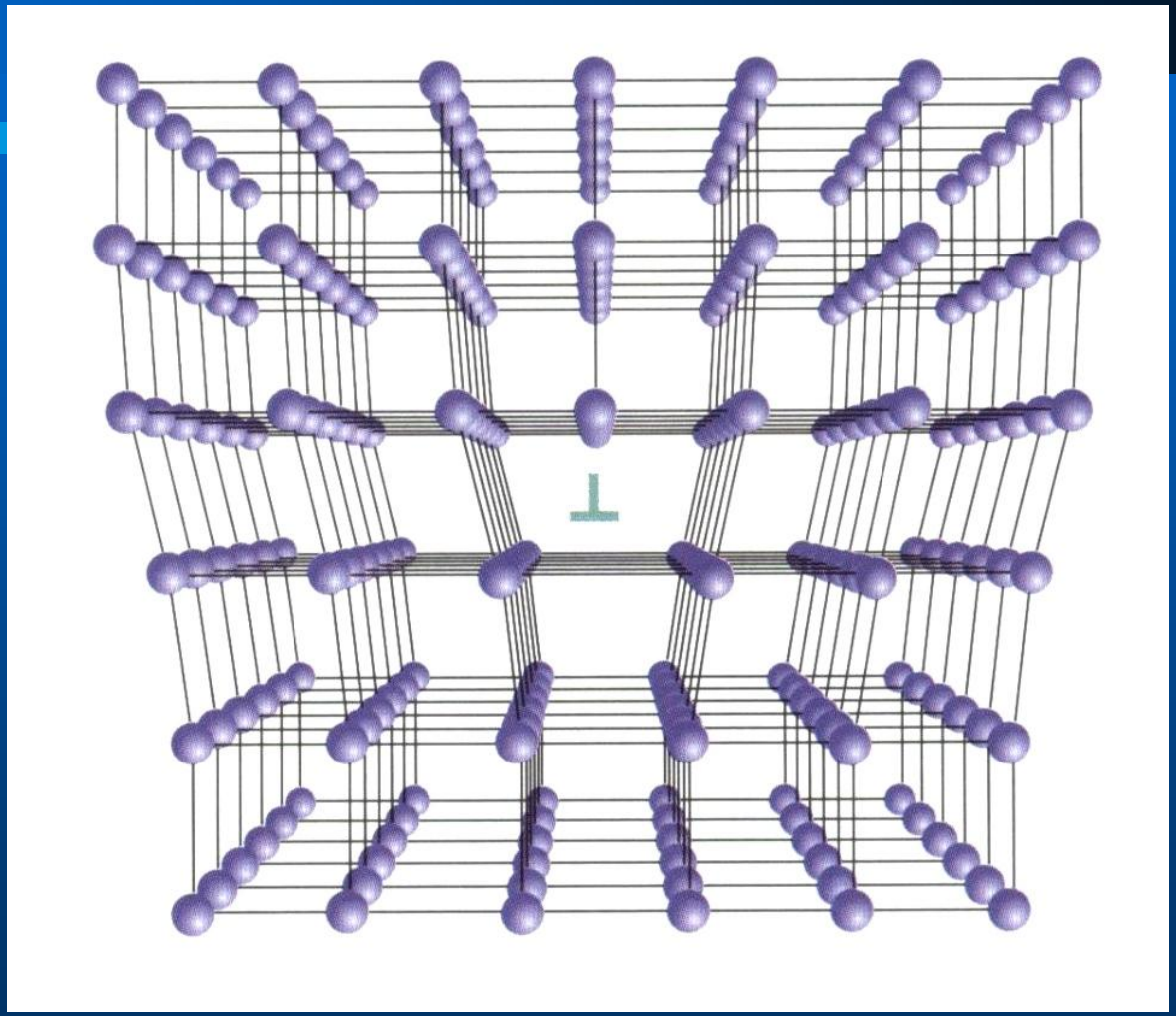


a. Wakancja,
b. Atom obcy w pozycji międzywęzłowej,
c. Atom obcy w pozycji węzłowej – atom różnowęzłowy (substytucyjny) z kontrakcją
d. Atom obcy w pozycji węzłowej – atom różnowęzłowy (substytucyjny) z ekspansją.

DEFEKTY STRUKTURY

DYSLOKACJE



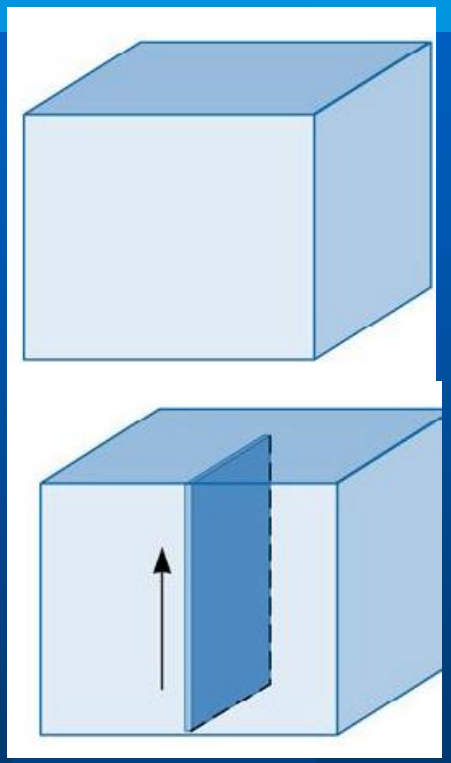


Geometria dyslokacji krawędziowej

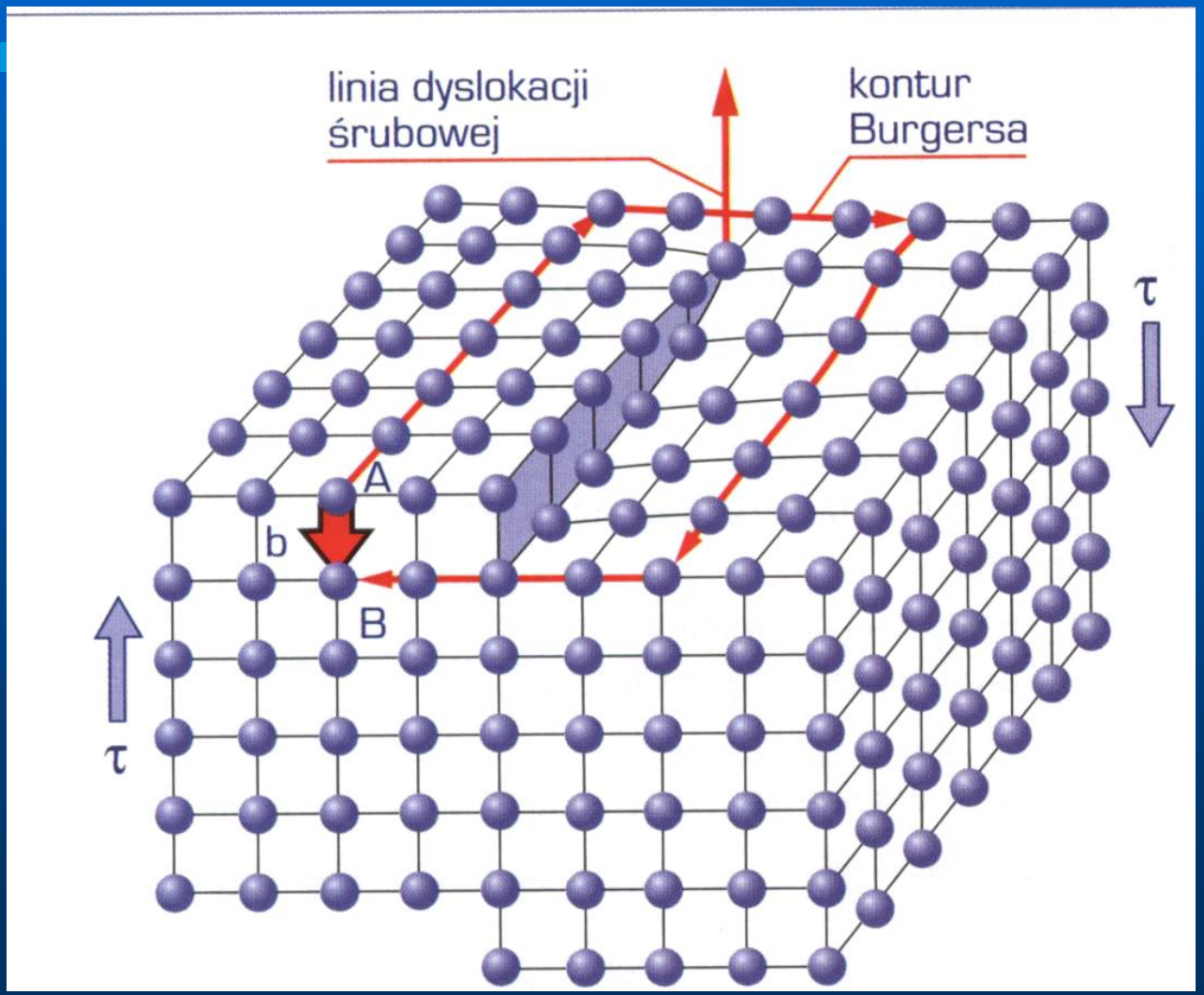
MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

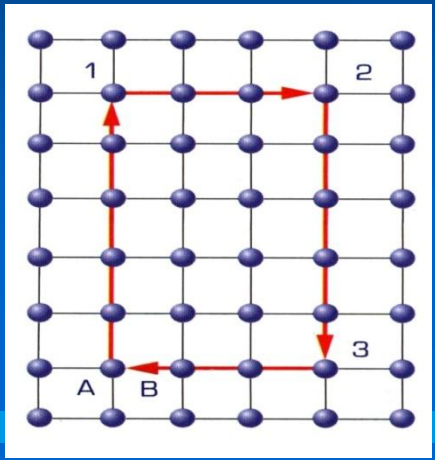
DYSLOKACJE



Geometria dyslokacji śrubowej



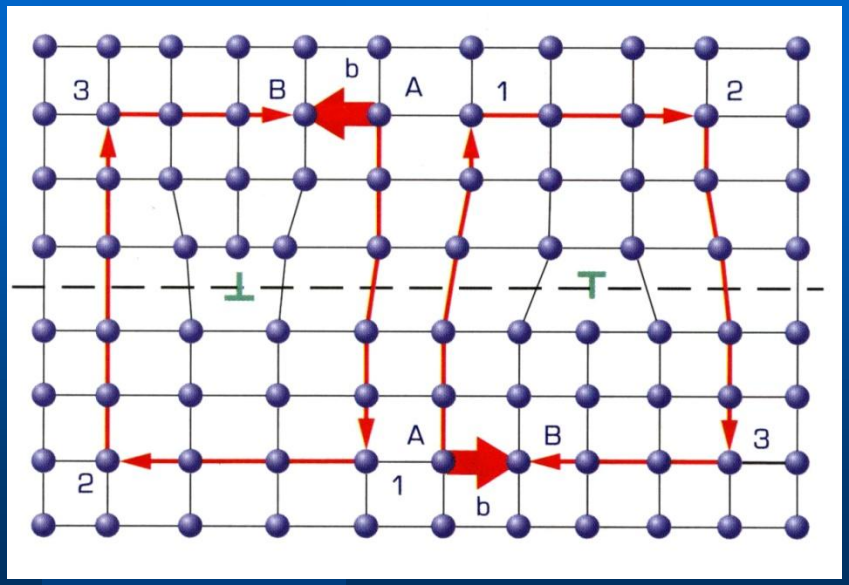
MATERIAŁOZNAWSTWO



Wektor Burgersa

W sieci doskonałej kontur zbudowany z wektorów sieciowych w równej liczbie w każdym kierunku ***zamyka się*** i nazywa się konturem Burgersa

W sieci zawierającej dyslokację kontur Burgersa ***nie zamyka się***



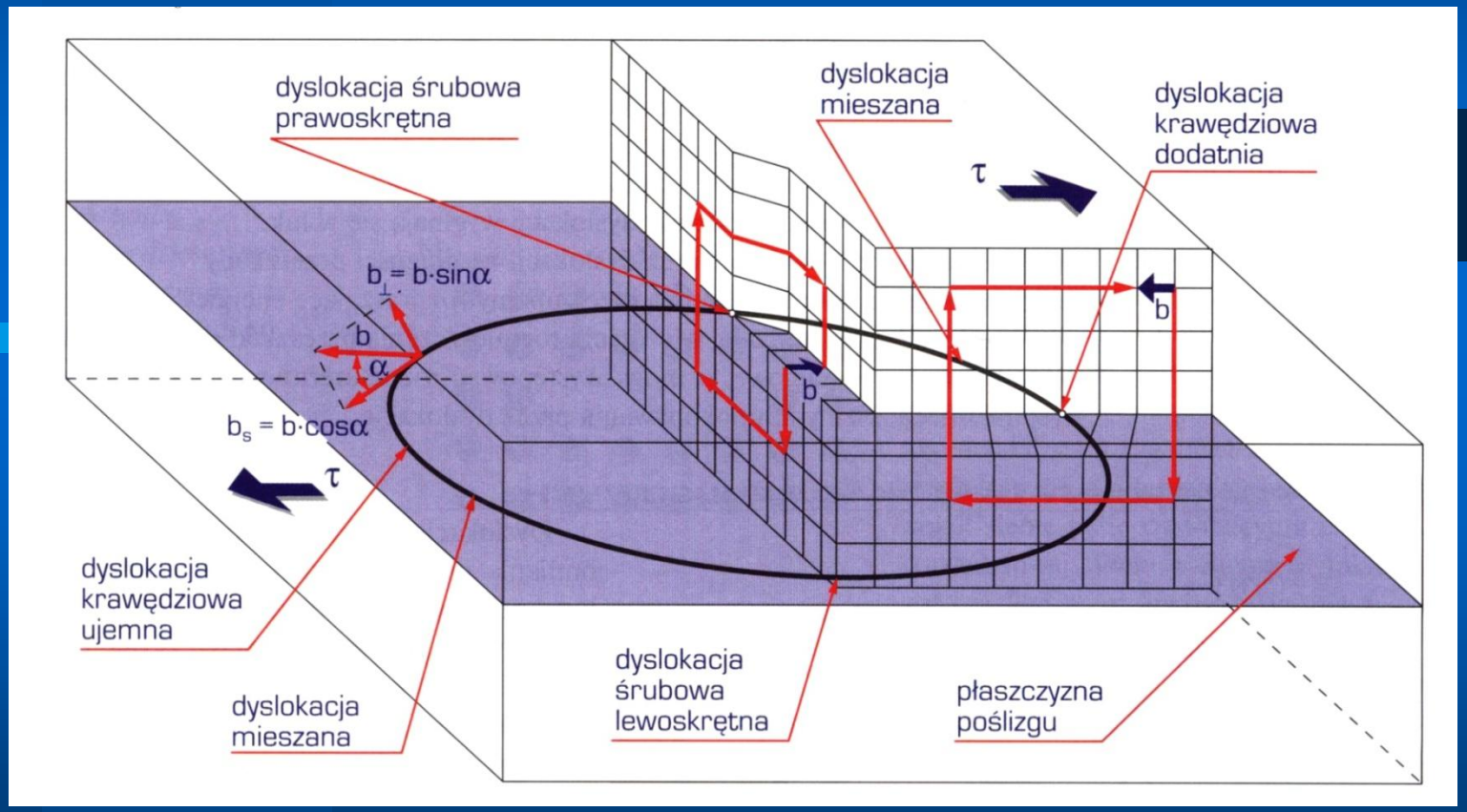
Wektor domykający kontur Burgersa nosi nazwę ***wektora Burgersa b*** i jest charakterystycznym parametrem dyslokacji.

Dyslokacje o przeciwnych wektorach Burgersa anihilują (znikają).

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Pętla dyslokacyjna



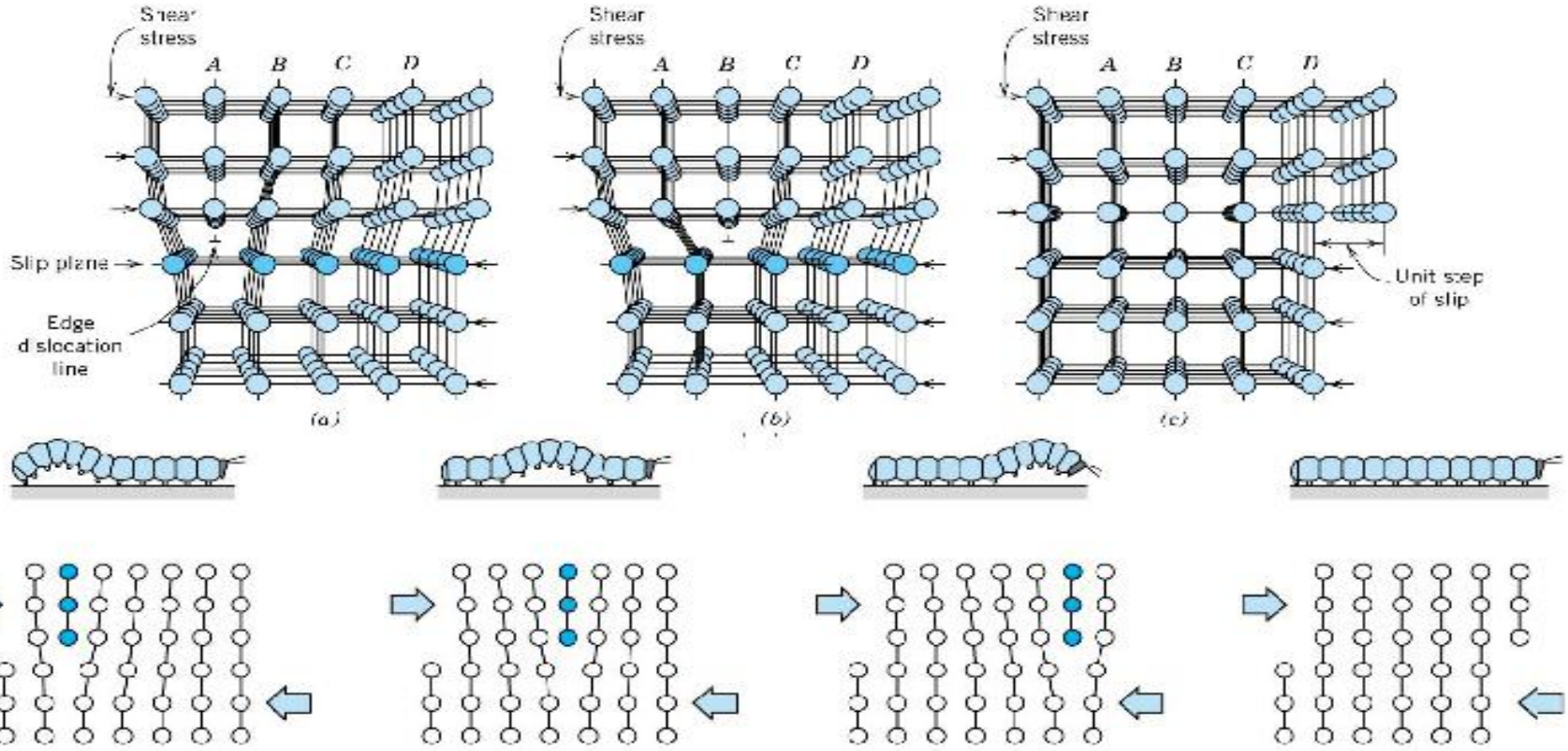
Dyslokacja nie może się kończyć w krysztale – musi wychodzić na powierzchnię lub tworzyć pętlę zamkniętą wewnątrz kryształu!!!

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

(+)

Poślizg (ruch) dyslokacji krawędziowej



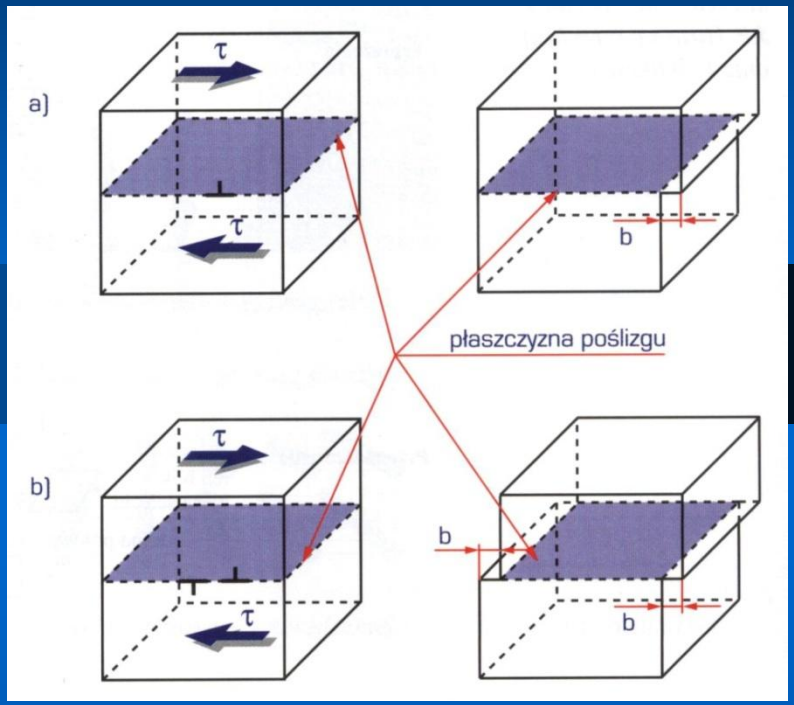
(dr K.Xia)

dyslokacja krawędziowa przemieszcza się po ściśle określonej płaszczyźnie poślizgu w kierunku działającego naprężenia stycznego, równolegle do wektora Burgersa,

MATERIAŁOZNAWSTWO

Ruch dyslokacji

Skoro dyslokacja posiada stacjonarne pole naprężeń, to naprężenia zewnętrzne wywierają na nią siłę powodującą ruch dyslokacji. Ruch dyslokacji polega na sukcesywnej zmianie lokalnego porządku atomów wokół linii. Przekazywanie zaburzenia porządku do kolejnej pozycji sieciowej wymaga pokonania oporów sieci. Opory te nazywają się siłami Pairlsa-Nabarro



$$\tau_0 = \frac{2\mu}{K} \exp\left(-\frac{2\pi d}{K b}\right),$$

gdzie:

$K = 1$ dla dyslokacji śrubowej,

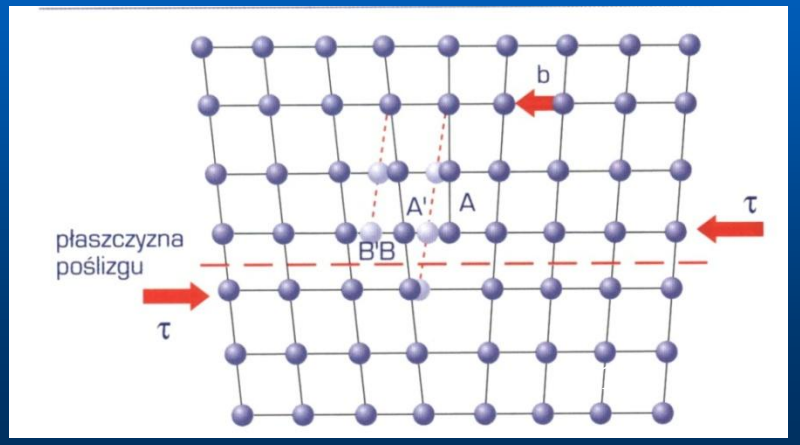
$K = 1 - \nu$ dla dyslokacji krawędziowej,

ν - współczynnik Poissona,

μ - moduł sprężystości postaciowej,

d - odległość między najbliższymi równoległymi płaszczyznami poślizgu,

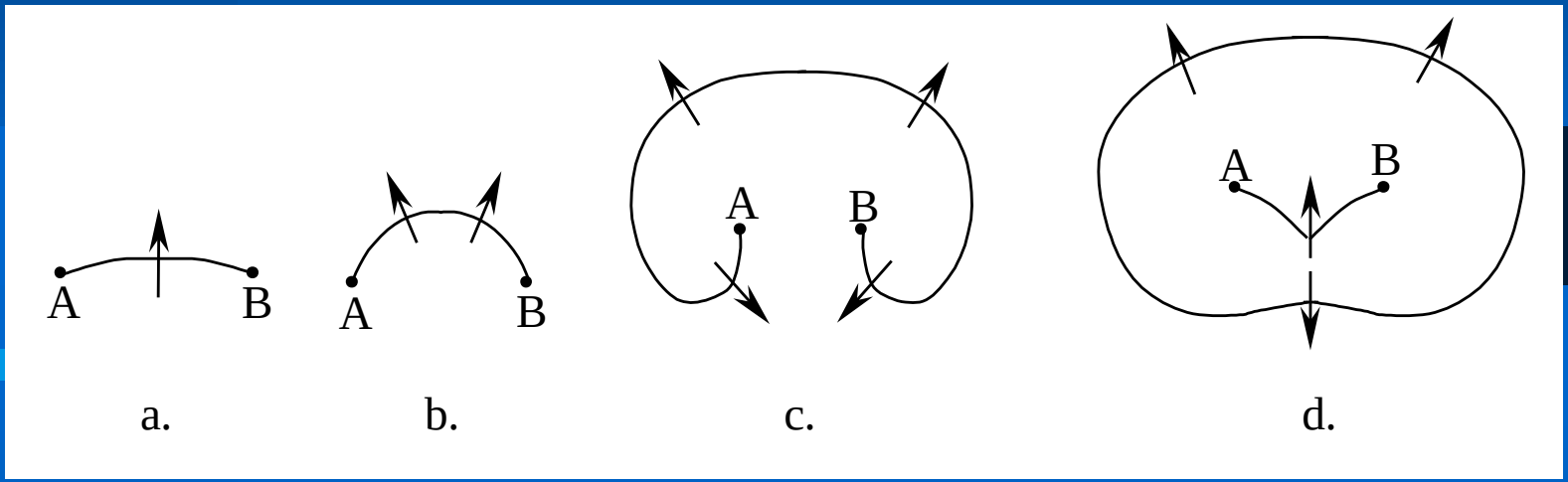
b - długość wektora Burgersa.



MATERIAŁOZNAWSTWO

Powstawanie dyslokacji

Źródło Franka-Reada



Punkty A i B stanowią węzły dyslokacyjne na których rozpięta jest dyslokacja, na którą działa naprężenie styczne. Dyslokacja wygina się sukcesywnie (poł. a., b, c) i po wykonaniu pełnej pętli wokół pp. A i B segmenty stykające się anihilują. Zamknięta pętla ekspanduje a segment AB rozpoczyna kolejne wyginanie i generację następnej pętli. Podobnie działa źródło Petcha-Kellera rozpięte na punktach zmiany płaszczyzny poślizgu dyslokacji.

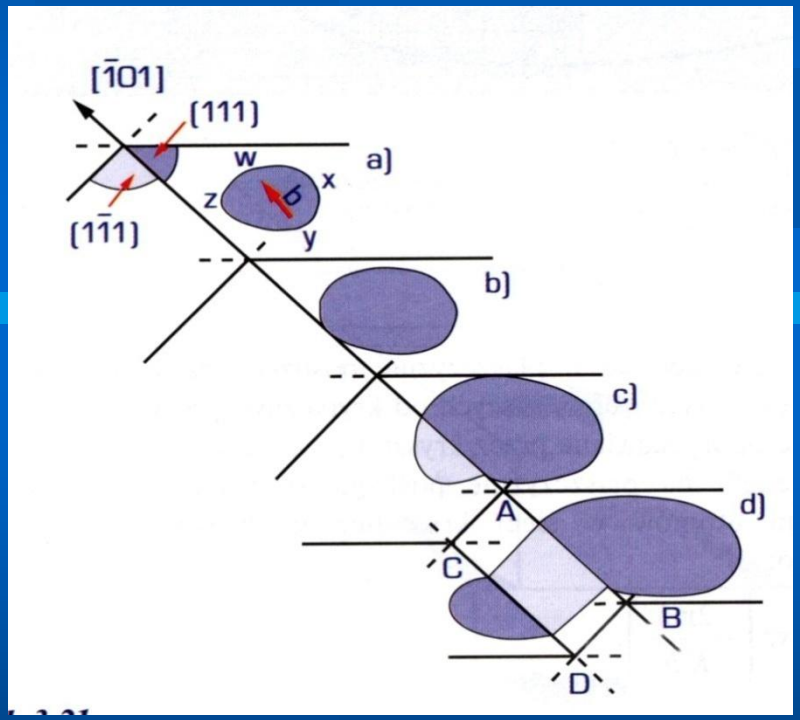
Źródłem dyslokacji mogą być ponadto uskoki na powierzchni lub na granicach ziaren.

Gęstość dyslokacji określa się długością linii dyslokacyjnych w jednostce objętości

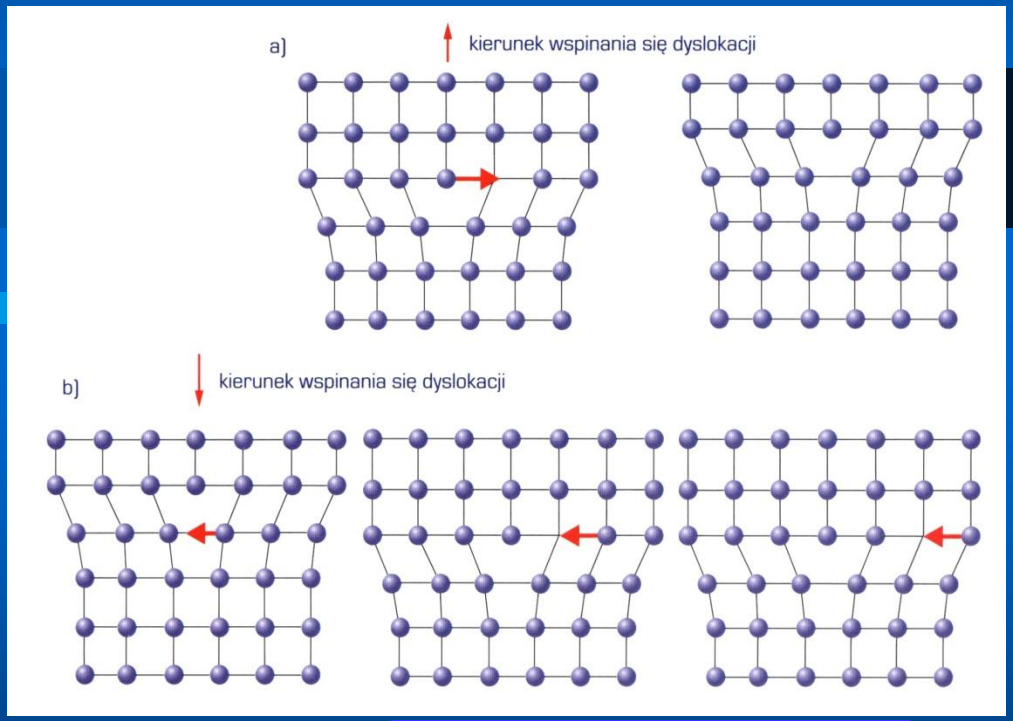
MATERIAŁOZNAWSTWO

Inne ruchy dyslokacji

Poślizg poprzeczny dyslokacji



Wspinanie się dyslokacji



Konsekwencją ruchu dyslokacji jest

ODKSZTAŁCENIE PLASTYCZNE

$$\gamma = \rho \times b \times X$$

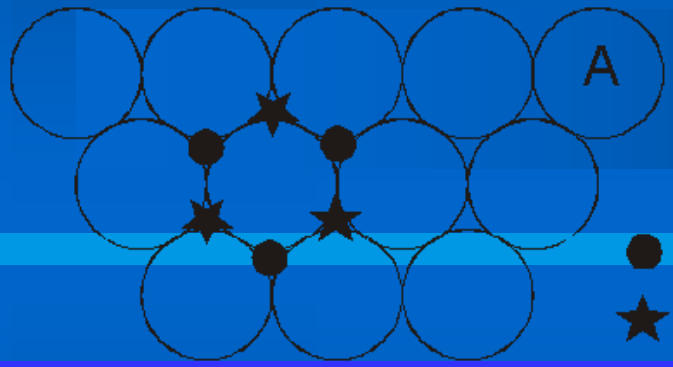
γ – odkształcenie, ρ – gęstość dyslokacji, b – wektor Burgersa, X – średnia droga dyslokacji

MATERIAŁOZNAWSTWO

Defekty powierzchniowe

Błędy ułożenia

Możliwe sposoby gęstego upakowania kul.



*Kule pierwszej warstwy znajdują się w **położeniach A**, środki kul drugiej warstwy umieszczamy w **położeniach B**. Trzecią warstwę kul możemy umieścić:*

***w położeniach C** - następnie powtarzając procedurę od początku, uzyskujemy ułożenie ABC ABC .....,*

***w położeniach B** - następnie powtarzając procedurę od początku, uzyskujemy ułożenie AB AB ....*

Te sposoby upakowania atomów, realizowane są w w dwóch strukturach krystalograficznych:

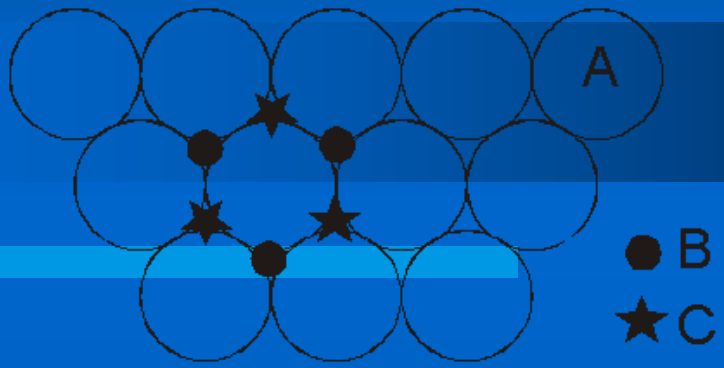
- w regularnej ściennie centrowanej (A1), gdzie występuje sekwencja warstw atomowych ABC ABC ABC .....,

- w heksagonalnej zwartej (A3), gdzie występuje sekwencja warstw atomowych AB AB AB ……

MATERIAŁOZNAWSTWO

Defekty powierzchniowe

Błędy ułożenia



Zaburzenie sekwencji
ABCABCABC na sekwencję **ABCABABABC** lub
ABABABAB na **ABABABCABAB**

nazywa się **błędem ułożenia**

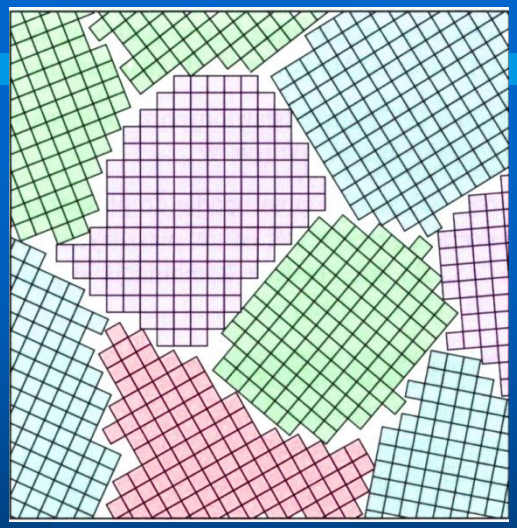
MATERIAŁOZNAWSTWO

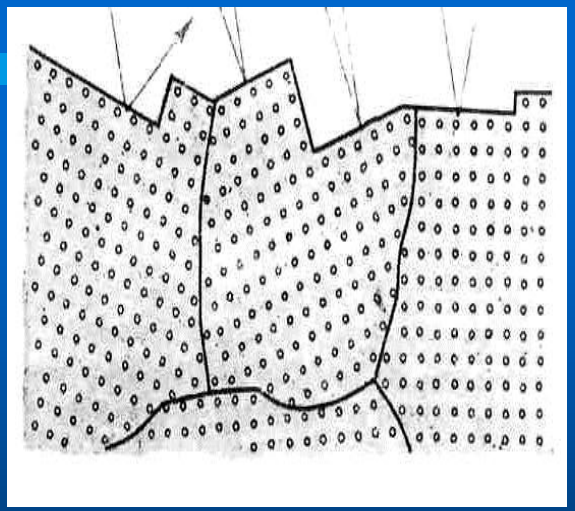
Granice ziaren

Defekty powierzchniowe

***Ziarnem** nazywamy wyróżnioną część objętość obiektu krystalicznego o takiej samej orientacji krystalograficznej w całej wyróżnionej części.*

Geometryczna relacja pomiędzy osiami komórki elementarnej, a zewnętrznym układem odniesienia nazywa się orientacją krystalograficzną.





Kryształ, który w całej objętości posiada taką samą orientację krystaliczną to jest to MONOKRYSZTAŁ, jeśli posiada dwa ziarna to jest to BIKRYSZTAŁ, jeśli posiada kilka ziaren – MULTIKRYSZTAŁ, jeśli posiada wiele ziaren - POLIKRYSZTAŁ

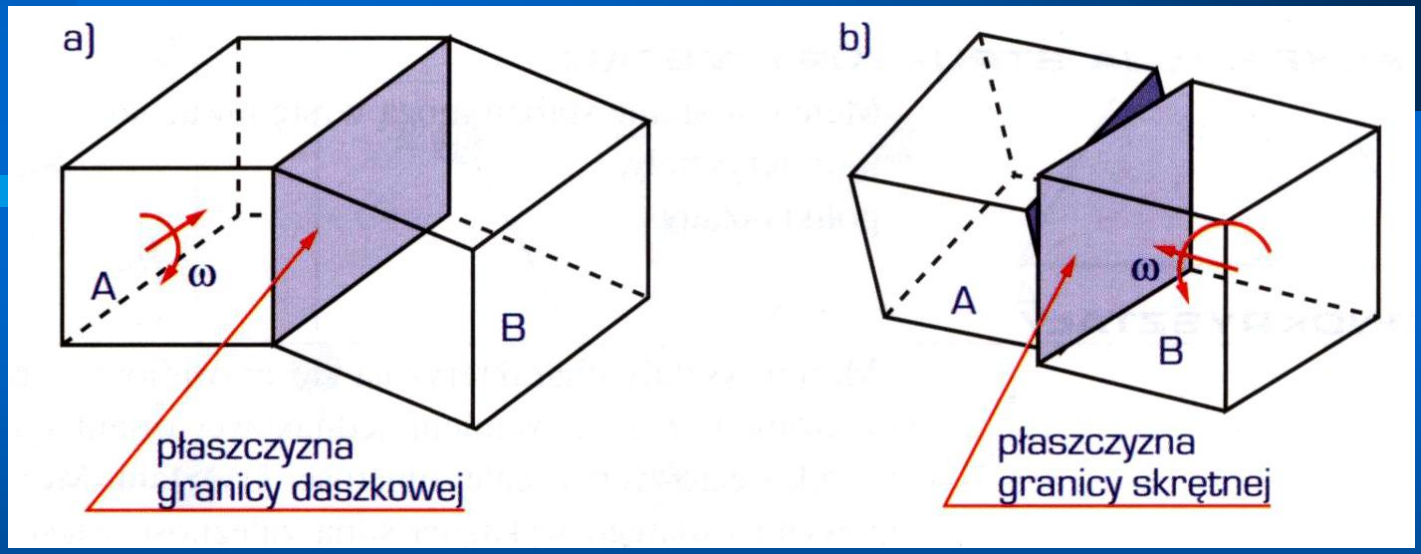
Powierzchnia oddzielająca od siebie sąsiednie ziarna nazywa się ***granicą ziarna***. Na granicy ziarna występuję gwałtowna zmiana orientacji krystalograficznej. Jeśli oprócz orientacji zmienia się również typ sieci to taka granica jest ***granicą międzyfazową***.

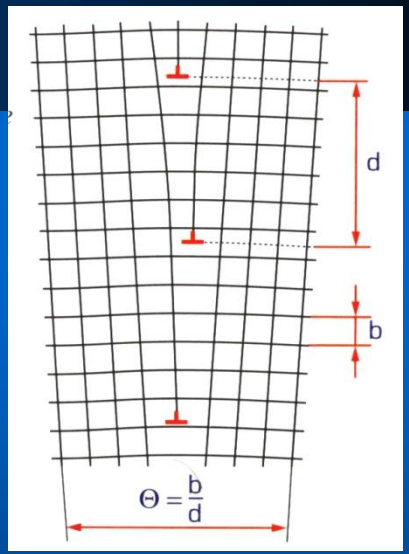
MATERIAŁOZNAWSTWO

Defekty powierzchniowe

Granice ziaren charakteryzują wielkość i typ dezorientacji.

Kąt ω o jaki należy obrócić ziarno wokół wybranej osi aby zniknęły różnice orientacji z ziarnem sąsiednim nazywa się dezorientacją.





Granice ziarna o dezorientacji mniejszej niż 15° nazywa się granicami wąskokątowymi lub podgranicami.

Granice ziaren i błędy ułożenia posiadają podwyższoną energię wewnętrzną!!!

Defekty objętościowe

Defekty o objętości znacząco większej od objętości komórki elementarnej nazywa się defektami objętościowymi.

PODZIAŁ DEFEKTÓW OBJĘTOŚCIOWYCH:

- Nieciągłości struktury – *pustki, mikroszczeliny*
- Obce fragmenty struktury – *wtrącenia, wydzielenia faz obcych*

Pustka *to defekt braku obsadzenia wielu sąsiednich węzłów sieci.*

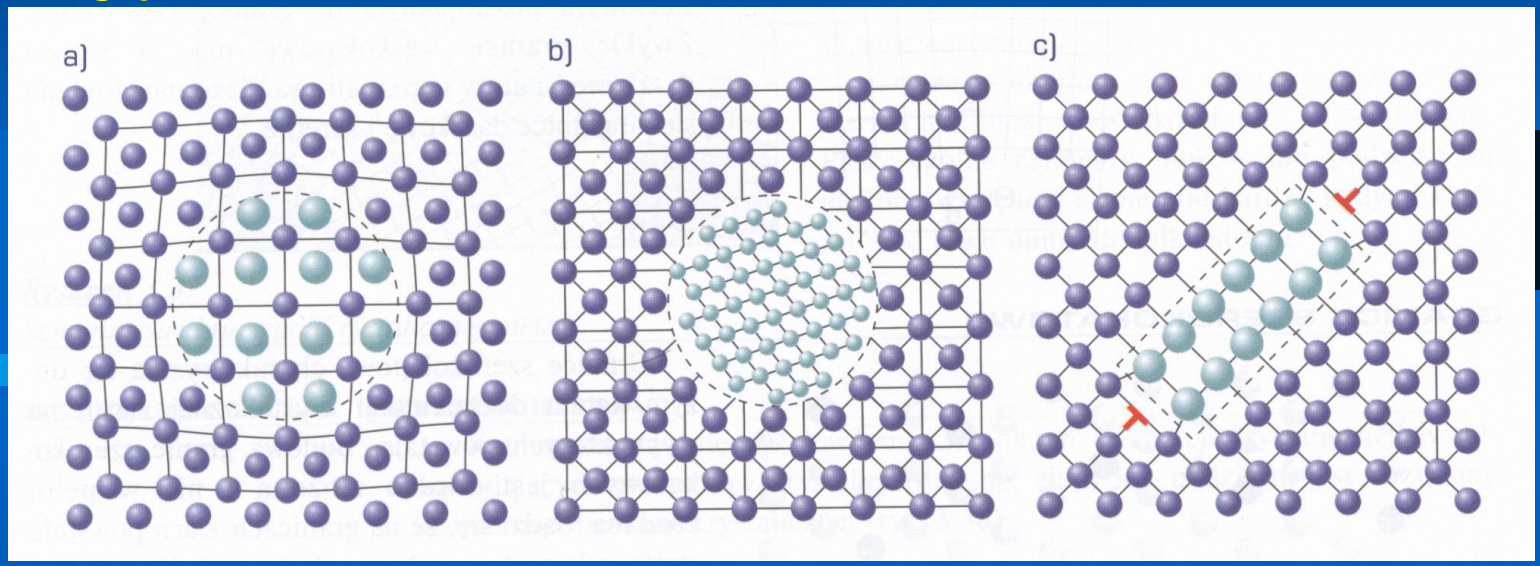
Mikroszczelina to defekt zerwania oddziaływań na fragmencie powierzchni stowarzyszony z obecnością naprężeń (odkształceń sprężystych) w jego najbliższym sąsiedztwie.

Wtrącenie *to niezwiązana ze strukturą krystaliczną objętość o charakterze amorficznym lub krystalicznym wprowadzona do kryształu w takiej postaci w jakiej występuje w krysztale.*

Wydzielenie *to odrębna objętość krystaliczna o innej strukturze powstająca przez dekompozycję jednorodnej struktury fazy skondensowanej mogąca wykazywać różny stopień koherencji ze strukturą z której została wydzielona.*

Defekty objętościowe

Przykłady wydzieleń



koherentne niekoherentne półkoherentne

Defekty objętościowe mogą oddziaływać z innymi defektami struktury przez:

- Tworzenie ujść dla innych defektów.
- Tworzenie barier dla ruchu defektów.
- Tworzenie źródeł naprężeń dalekiego zasięgu.
- Tworzenie źródeł emisji defektów.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Przemiana fazowa

to zjawisko zastępowania jednej fazy przez inne fazy.

Brak równowagi termodynamicznej wskazuje na konieczność zmian w układzie i wyznacza kierunek zmian, ale nie decyduje o sposobie przeprowadzenia zmiany faz w układzie.

Przemiana fazowa, która wykorzystuje zjawisko dyfuzji do przebudowy sieci przestrzennej atomów w nową fazę lub fazy nazywa się przemianą dyfuzyjną.

Przemiana fazowa, w której zmiana fazy nie zmienia otoczenia poszczególnych atomów, to znaczy nie wymaga przemieszczeń atomów na odległości większe lub równe niż parametr sieci, nazywa się **przemianą bezdyfuzyjną.**

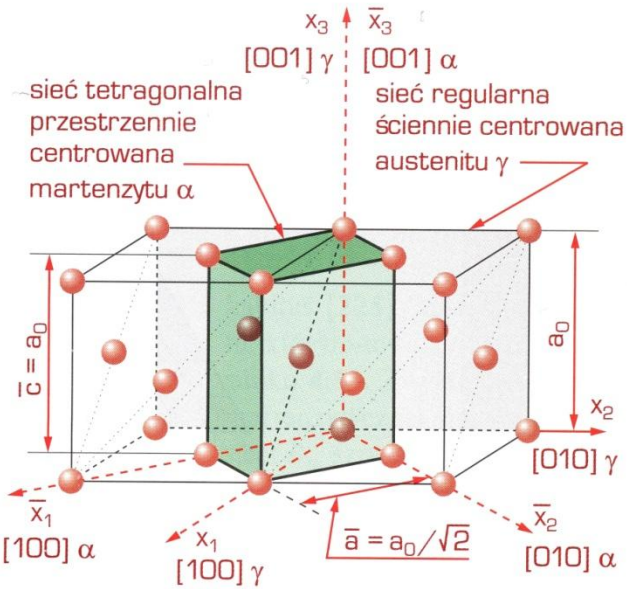
Przemiana w której zarodki nowej fazy powstają na drodze przemiany bezdyfuzyjnej, a rozrost zarodków ma charakter dyfuzyjny nazywa się **przemianą masywną**.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Przemiany fazowe

Przykłady przemian dyfuzyjnych to:

- krystalizacja z cieczy,
- rozpad roztworów przesyconych,
- przemiany równowagowe w stopach,
- przemiany porządek-nieporządek



Przykładem przemiany bezdyfuzyjnej jest

przemiana martenzytyczna

Przemiana sieci A1 w sieć A2 może nastąpić poprzez zmniejszenie parametru „c" sieci tetragonalnej do wielkości „$a_0/\sqrt{2}$". Zmniejszenie takie może nastąpić przez odkształcenie sieci tetragonalnej wzdłuż parametru „c". Odkształcenie takie nosi nazwę *odkształcenia Baina* i występuje samorzutnie podczas przemiany martenzytycznej.

OBRÓBKA CIEPLNA

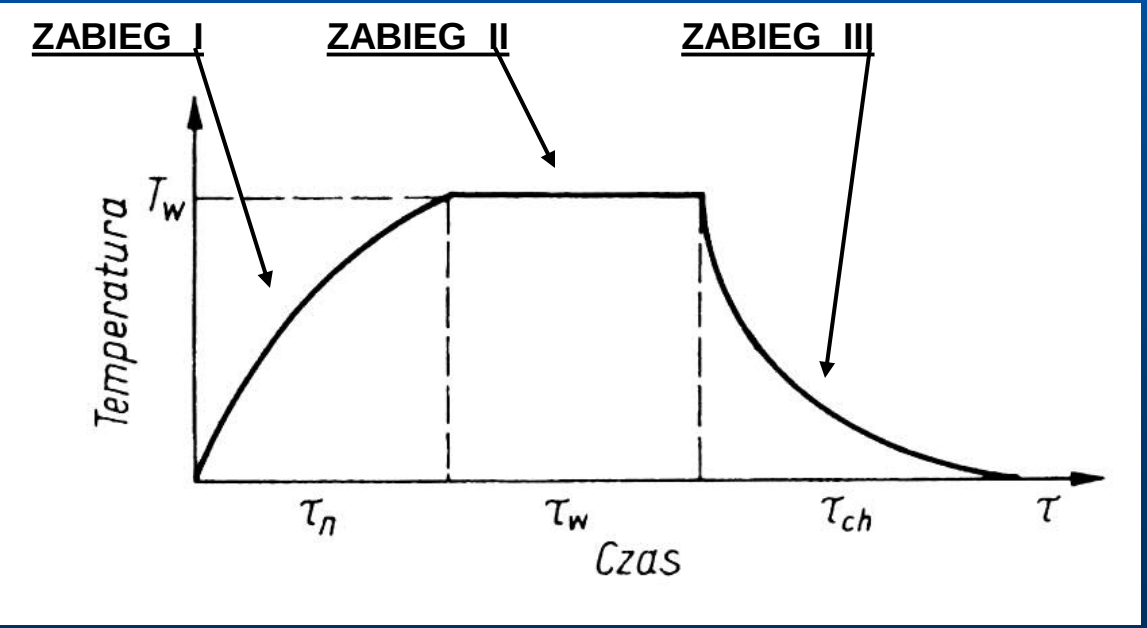
Obróbka cieplna jest to zespół zabiegów termicznych mających na celu wywołanie w materiale w stanie stałym zmiany właściwości na skutek zmian struktury.

Zabieg obróbki cieplnej - działanie polegające na określonych w czasie zmianach temperatury obrabianego materiału.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Przykładowy przebieg obróbki cieplnej:

- Nagrzewanie z założoną prędkością do określonej temperatury.
- Wygrzewanie przy określonej temperaturze przez określony czas.
- Chłodzenie z założoną prędkości.
- Wymrażanie do zadanej temperatury poniżej temperatury pokojowej.



Parametry zabiegów obróbki cieplnej:

- Temperatura początkowa zabiegu T_p
- Temperatura końcowa zabiegu T_k
- Czas zabiegu t_z
- Program prędkości zmian temperatury dT/dt

Jeżeli:

$T_p < T_k$ – nagrzewanie

$T_p > T_k$ – chłodzenie

$T_p = T_k$ – wygrzewanie

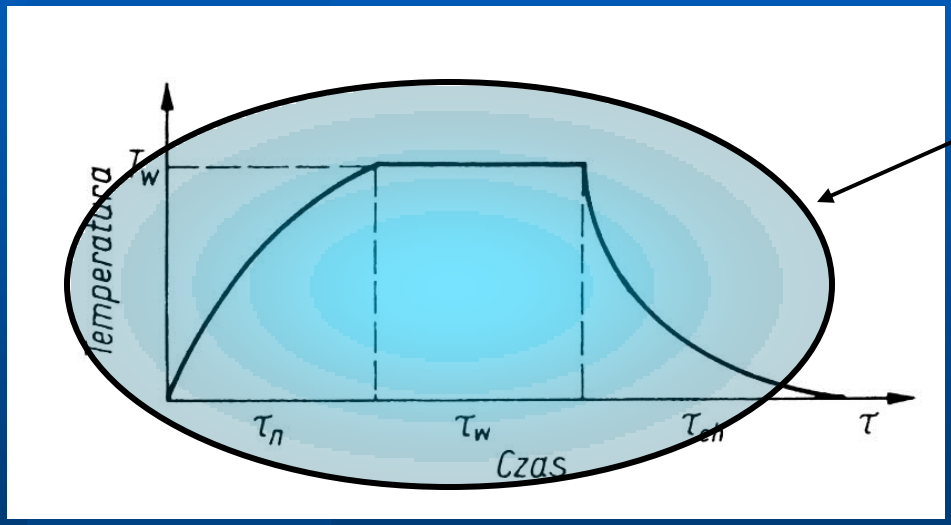
MATERIAŁOZNAWSTWO

Podstawą każdej obróbki cieplnej jest ***znajomość rodzaju i kinetyki przemian*** oraz ewolucji struktury.

Prędkości zmian temperatury dobiera się tak, aby świadomie blokować lub uruchamiać przemiany i zjawiska zmian składu fazowego lub zjawiska zmian struktury.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Operacja obróbki cieplnej – to rodzaj procesu technologicznego składającego się ze zbioru zabiegów obróbki cieplnej wywołujących oczekiwane zmiany własności materiału.



OPERACJA OBRÓBKI CIEPLNEJ

Przykłady operacji obróbki cieplnej:

- **Wyżarzanie**
- **Hartowanie**
- **Odpuszczanie**
- **Homogenizacja**
- **Przesycanie**
- **Starzenie itp.**

Obróbka cieplna może składać się z jednej lub wielu operacji i może być łączona z operacjami obróbki plastycznej, chemicznej, magnetycznej i powierzchniowej.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Obróbka uplastyczniająca:

- Wyżarzanie zmiękczające
- Homogenizacja
- Odprężanie
- Wyżarzanie stabilizujące

Obróbka uplastyczniająca ma na celu polepszenie własności technologicznych materiału.

Obróbka umacniająca:

- Ulepszanie cieplne
- Utwardzanie wydzieleniowe
- Obróbka cieplno-mechaniczna
- Obróbka cieplno-chemiczna

Obróbka umacniająca ma na celu zwiększenie własności wytrzymałościowych materiału.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Operacje obróbki cieplnej uplastyczniającej składają się z trzech zabiegów:

1. Nagrzewania do temperatury obróbki - zwykle wolne.
2. Wygrzewania w temperaturze obróbki - zwykle długotrwałe.
3. Chłodzenie po obróbce - zwykle szybkie.

Zjawiska wystepujące w procesach obróbki cieplnej uplastyczniającej:

- *Zdrowienie* – odprężanie, wyżarzanie zmiękczające częściowe
- *Rekrystalizacja* – wyżarzanie międzyoperacyjne, wyżarzanie zmiękczające
- *Koagulacja dyfuzyjna wydzieleń* – homogenizacja, wyżarzanie stabilizujące
- *Dyfuzyjny przepływ masy* – homogenizacja
- *Rozrost ziaren* – homogenizacja, zmiękczanie

Obróbka cieplna zmiękczająca usuwa z materiału skutki:

- **Umocnienia odkształceniowego**
- **Umocnienia wydzieleniowego**
- **Umocnienia Halla-Petcha**

Wyżarzanie międzyoperacyjne

Najczęściej stosowana obróbka dla metali nieżelaznych odkształcanych na zimno.

Prowadzi się ją w temperaturach ok. 0,6 ÷ 0,7 T_t; nagrzewanie w piecu kołpakowym lub komorowym – wygrzewanie przez czas wystarczający do wyrównania temperatury w całym wsadzie – chłodzenie na powietrzu.

Celem jest przywrócenie materiałowi zdolności do odkształceń na zimno.

Wyżarzanie zmiękczające

Wyżarzanie zmiękczające jest to końcowa obróbka cieplna po przeróbce plastycznej na zimno dająca w wyniku stan metalurgiczny „0”.

Prowadzona analogicznie jak wyżarzanie międzyoperacyjne w nieco niższych temperaturach i przez wydłużony czas. Wskaźnikiem poprawności tej obróbki są katalogowe właściwości dla stanu „0”.

Celem jest pełna rekrystalizacja materiału

Homogenizacja

Obróbka cieplna poprzedzająca przeróbkę plastyczną na zimno i gorąco umożliwiająca optymalne prowadzenie procesu przeróbki plastycznej.

Prowadzi się w temperaturach wysokich rzędu 0,90 ÷ 0,95 temperatury topnienia – nagrzewanie wolne w piecu – długotrwałe (zwykle kilkadziesiąt godzin) wygrzewanie i szybkie chłodzenie. Proces dyfuzji likwiduje segregację dendrytyczną i prowadzi do koagulacji wydzieleń i częściowej rekrystalizacji wtórnej, ograniczającej wpływ niekorzystnej struktury odlewniczej – chłodzenie szybkie (dla stopów podlegającym przesycaniu) lub wolne dla pozostałych.

Pierwotnym celem jest likwidacja mikro-niejednorodności dendrytycznej oraz zmiana morfologii wydzieleń na formy dajace mniejszą koncentrację naprężeń przy odkształcaniu

Odprężanie

Niskotemperaturowa obróbka obniżająca lub likwidująca naprężenia szczątkowe powstałe w czasie odlewania, spawania lub przeróbki plastycznej na zimno.

Prowadzi się w temperaturach niskich rzędu 0,30 ÷ 0,355 temperatury topnienia – nagrzewanie wolne w piecu – niezbyt długie wygrzewanie i wolne chłodzenie na powietrzu lub z piecem. Proces zdrowienia likwiduje naprężenie poprzez reorganizację struktury dyslokacyjnej powstającej w czasie odkształcenia. Podnosi wyraźnie własności plastyczne i nieznacznie obniża własności wytrzymałościowe. Służy do wytwarzania stanów metalurgicznych odprężonych H2X i H3X oraz ograniczenia możliwości wystąpienia korozji naprężeniowej.

Celem jest likwidacja naprężeń wewnętrznych bez likwidacji innych skutków umocnienia odkształceniowego.

Wyżarzanie stabilizujące

Niskotemperaturowa obróbka prowadząca do powstania stabilnych termodynamicznie wydzieleń o zminimalizowanym polu naprężeń niedopasowania.

Prowadzi się w temperaturach starzenia przesyconych materiałów przez czas wystarczająco długi aby utworzyć wydzielenia termodynamicznie trwałe. Wyżarzanie stabilizujące dla stali i materiałów, które w wyniku zachodzących przemian fazowych mogą zmieniać wymiary przeprowadza się w temperaturze do 150°C i ma na celu zapewnienie niezmienności wymiarowej oraz zmniejszenie naprężeńwłasnych. Najczęściej jest stosowane do narzędzi, odlewów żeliwnych, walców hutniczych itp. Jeżeli wyżarzanie przebiega w temperaturze otoczenia w długim czasie (do kilku lat) to nosi nazwę sezonowanie.

Celem jest uzyskanie trwałej struktury wydzieleń i składu fazowego.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Obróbki cieplne umacniające składają się z dwu operacji z których każda składa się z trzech zabiegów lub operacji obróbki cieplnej połączonej z operacjami obróbki chemicznej albo plastycznej:

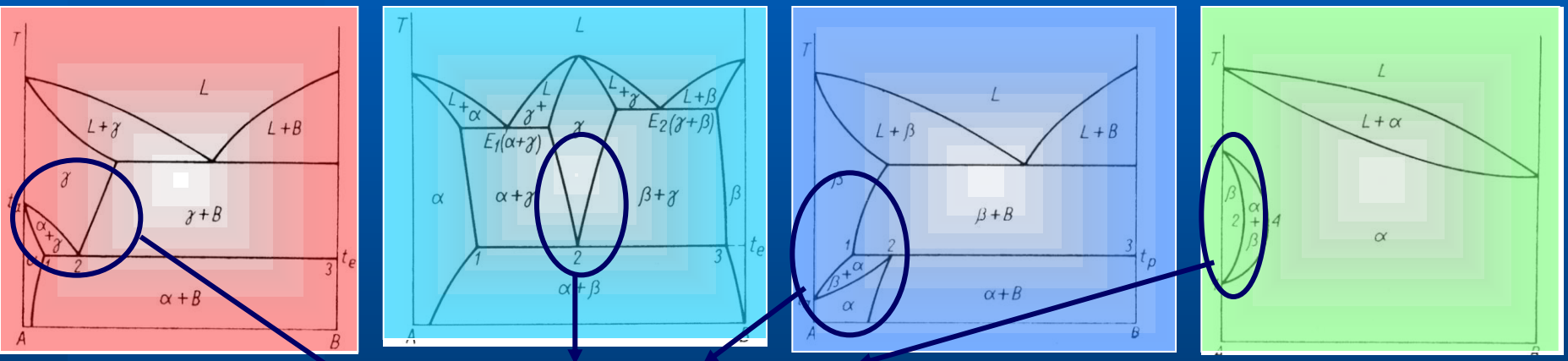
1. Operacja hartowania + operacja odpuszczania = ulepszanie cieplne.
2. Operacja przesycania + operacja starzenia = utwardzanie wydzieleniowe.
3. Operacja dyfuzyjnego wprowadzania metali lub niemetali + ulepszanie cieplne.
4. Operacja odkształcenia plastycznego na zimno lub gorąco + ulepszanie cieplne albo utwardzanie wydzieleniowe

Wykorzystywane zjawiska:

- *Opóźnienia początku przemian fazowych*
- *Możliwość wystąpienia przemian bezdyfuzyjnych*
- *Wzmożone zarodkowanie faz przy dużych stopniach przechłodzenia*
- *Duże przechłodzenia w stanie stałym*
- *Dyfuzyjna penetracja pierwiastków z otoczenia*
- *Oddziaływanie defektów sieciowych z przemianami fazowymi*

Ulepszanie cieplne

Ulepszanie cieplne jest to połączenie zabiegów hartowania i odpuszczania wysokiego. Warunkiem koniecznym dla hartowania jest występowanie przemiany alotropowej w stanie stałym!!!



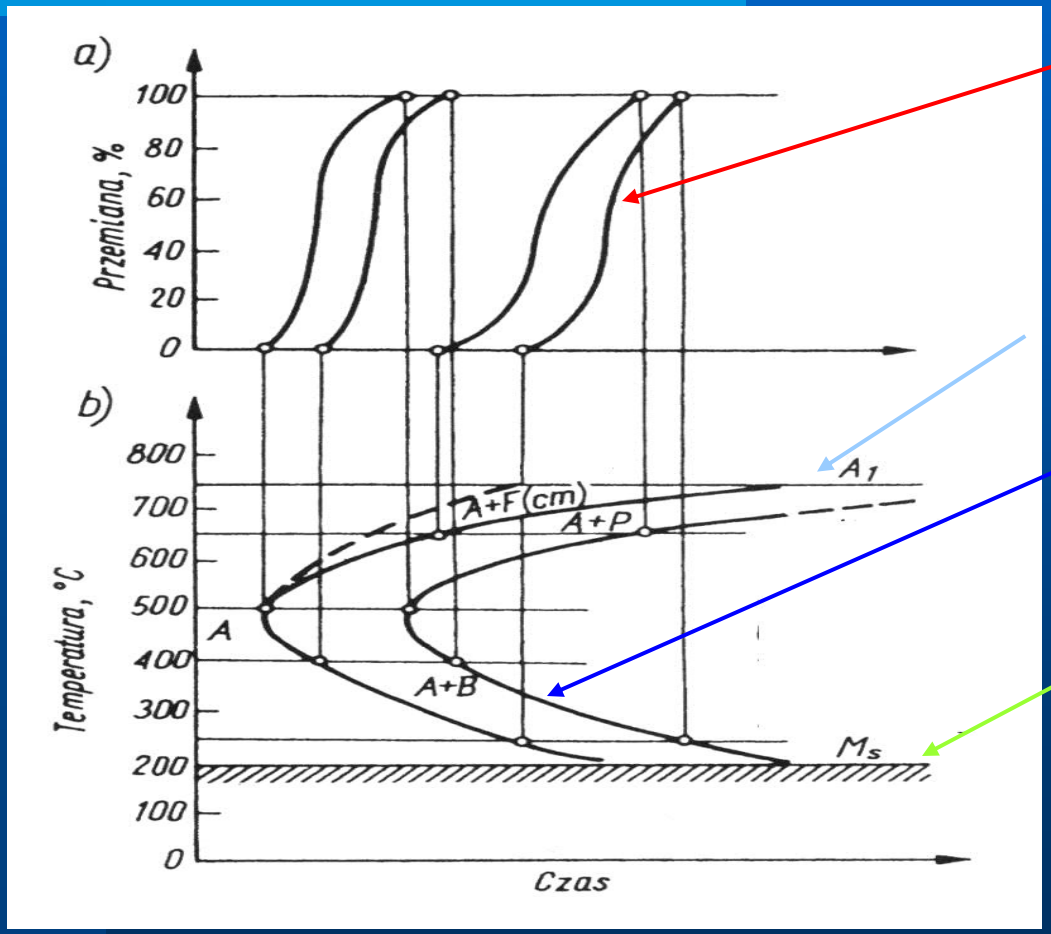
Obszary hartowania

Operacja hartowania składa się z trzech zabiegów:

- **Nagrzewania do temperatury istnienia wysokotemperaturowej odmiany alotropowej**
- **Wygrzewanie do momentu całkowitego zajścia przemiany**
- **Chłodzenie z prędkością większą od krytycznej prędkości chłodzenia dla przemiany bezdyfuzyjnej.**

MATERIAŁOZNAWSTWO

Każda przemiana dyfuzyjna posiada **czas inkubacji** po którym pojawiają się zarodki nowej fazy i **całkowity czas przemiany**, kiedy cała objętość materiału ulegnie przemianie.



Krzywe przemiany

Temperatura przemiany dyfuzyjnej

Krzywe CTPi

Początek przemiany bezdyfuzyjnej

Wykresy CTPi (Czas Temperatura Przemiana izotermiczna)
Zależność od czasu początku i końca przemiany

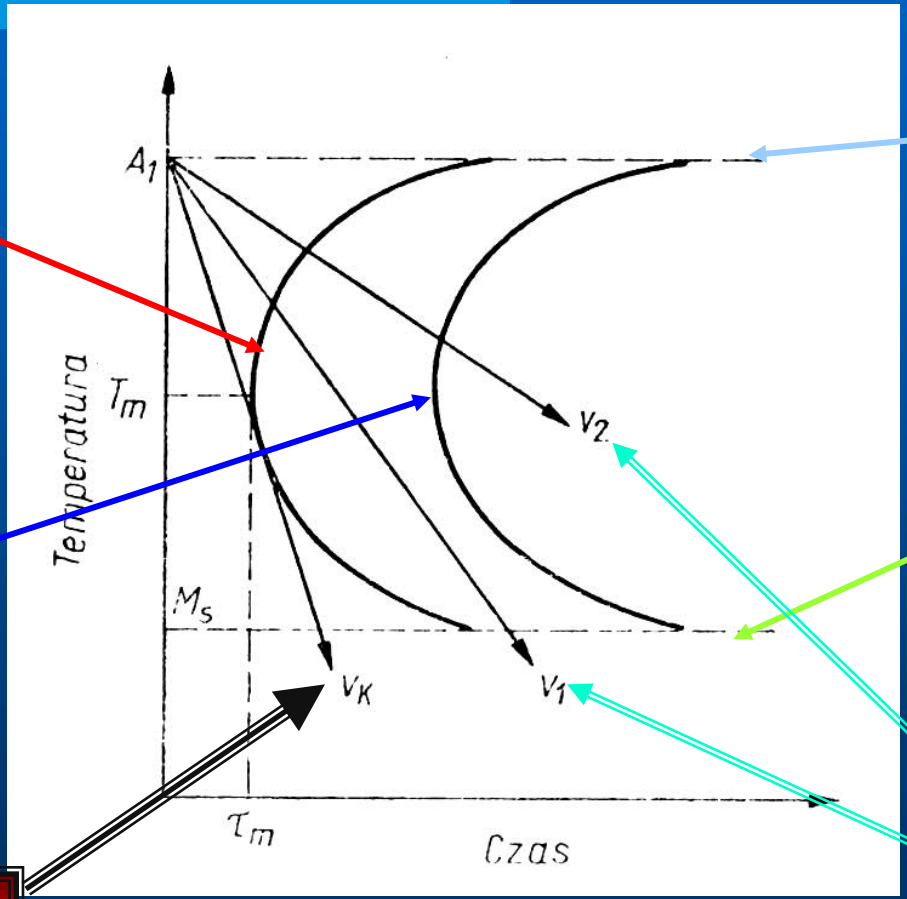
MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Krytyczna prędkość chłodzenia jest określana jako prędkość zmiany temperatury materiału, przy której nie zostanie zapoczątkowana przemiana dyfuzyjna.

Początek przemiany

Koniec przemiany



Temperatura przemiany dyfuzyjnej

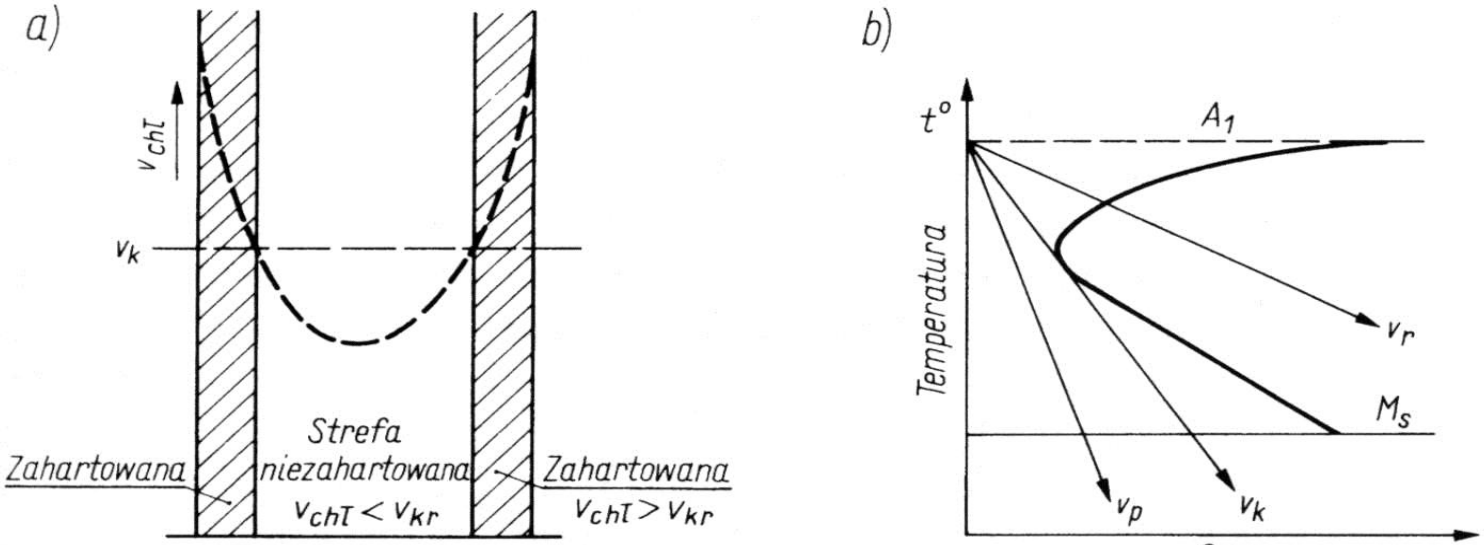
Początek przemiany bezdyfuzyjnej

Krytyczna prędkość chłodzenia

Podkrytyczne prędkości chłodzenia

MATERIAŁOZNAWSTWO

Krytyczna prędkość hartowania zależy od rodzaju materiału i jego składu. Zdolność materiału do hartowania nazywa się HARTOWNOŚCIĄ i jest określana doświadczalnie.

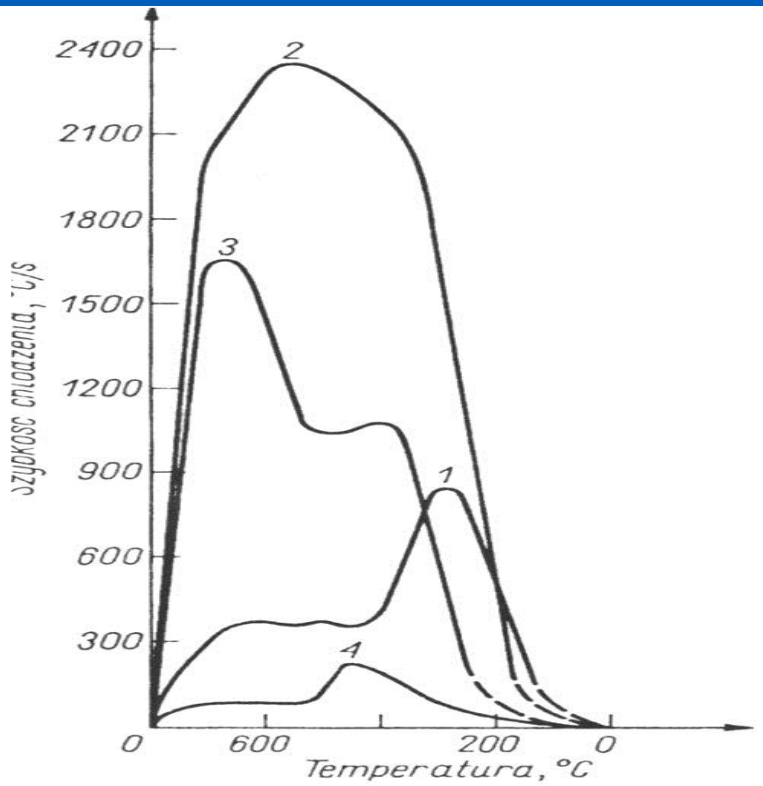


Relacja między szybkością chłodzenia i grubością zahartowanej warstwy

Grubość warstwy zahartowanej w standardowych warunkach prędkości chłodzenia jest miarą HARTOWNOŚCI materiału. Czym warstwa zahartowana jest grubsza tym hartowność materiału większa.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Prędkość chłodzenia zależy silnie od masy obiektu chłodzonego ale można ją regulować dobierając odpowiednie ciecze chłodzące.



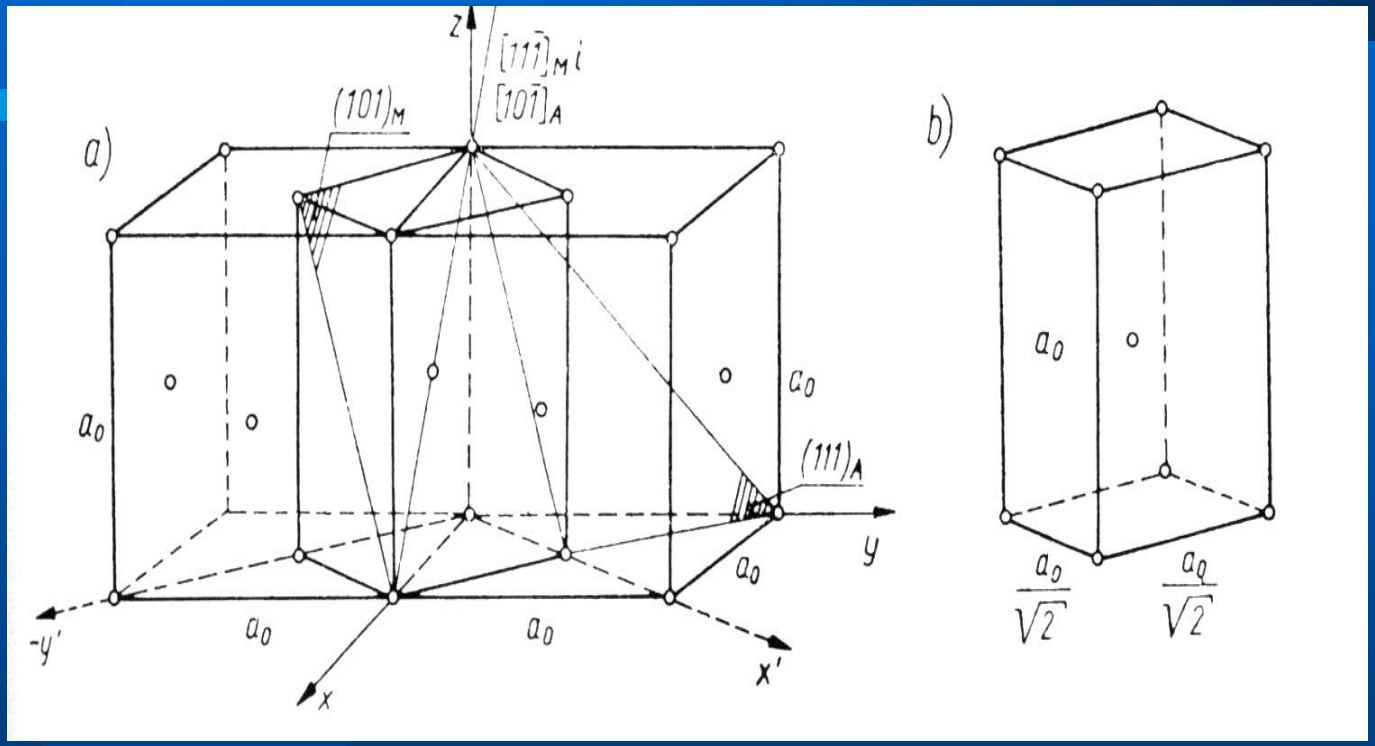
Zależność szybkości chłodzenia różnych ośrodków od temperatury: *1* – woda 20°C, *2* – woda + 10% NaCl, *3* – woda + 50% NaOH, *4* – olej (wg J.M. Łachtina) [66]

MATERIAŁOZNAWSTWO

- **Przekroczenie temperatury początku przemiany bezdyfuzyjnej M_s przez wysokotemperaturową odmianę alotropową materiału prowadzi do rozpoczęcia przemiany martenzytycznej to jest takiej przemiany, która zachodzi przy przemieszczeniach atomów na odległości mniejsze niż parametr sieci i zachodzi z prędkością fali sprężystej.**

Produkt przemiany nosi nazwę martenzytu i posiada niższą energię wewnętrzną niż materiał wyjściowy ale wyższą niż równowagowa faza powstająca w przemianie dyfuzyjnej.

MATERIAŁOZNAWSTWO

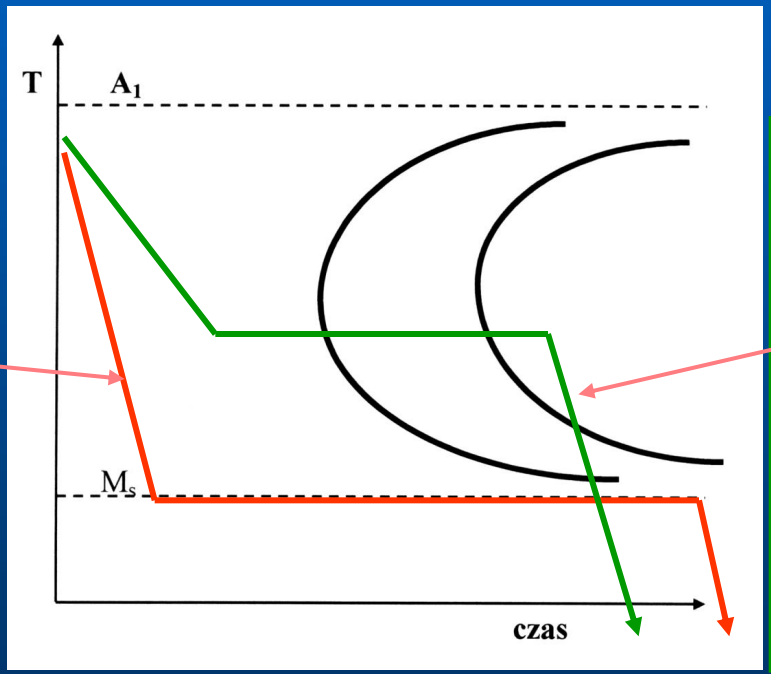


Wyjściowa struktura wysokotemperaturowej odmiany alotropowej ***A1*** przechodzi w tetragonalną przestrzennie centrowaną ***TPC*** strukturę martenzytu, podczas gdy równowagowa struktura odmiany niskotemperaturowej to struktura ***A2*** (regularna przestrzennie centrowana). Zmiany stopnia tetragonalności prowadzą do pojawienia się odkształcenia Bain'a przy takiej przemianie.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Zatrzymanie chłodzenia powyżej temperatury M_s i wytrzymanie w tej temperaturze prowadzi do zajścia przemiany pośredniej. Przemiana taka to *przemiana bainityczna,* która zarodkuje jak martenzyt ale wzrasta dyfuzyjnie.

Hartowanie z przeprowadzeniem przemiany bainitycznej nazywa się ***HARTOWANIEM BAINITYCZNYM*** i daje inną strukturę niż martenzyt i struktura po równowagowym rozpadzie.



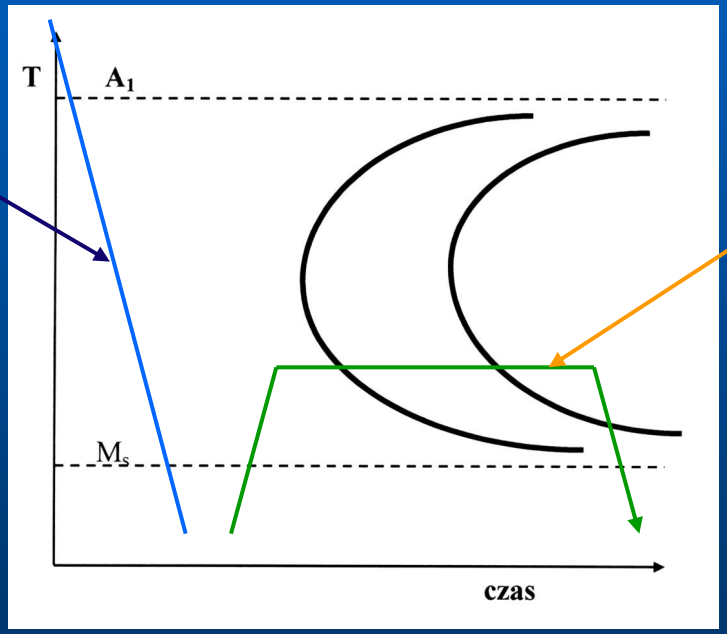
Przechłodzenie austenitu do temperatury znacznie powyżej M_s i wytrzymanie w tej temperaturze do zajścia przemiany dyfuzyjnej nazywa się ***PATENTOWANIEM*** i prowadzi do bardzo silnie rozdrobnionej struktury równowagowej

Struktury po hartowaniu bainitycznym i patentowaniu różnią się morfologią (kształtem) powstałych faz równowagowych. Bainit posiada wyższe własności mechaniczne ale znacznie mniejszą plastyczność niż struktura po patentowaniu. Materiał po patentowaniu nadaje się do przeróbki plastycznej

MATERIAŁOZNAWSTWO

Odpuszczanie jest operacją mającą na celu usunięcie naprężeń wewnętrznych, zmniejszenie kruchości i poprawienie plastyczności przy nieznacznym obniżeniu twardości i wytrzymałości materiału.

HARTOWANIE



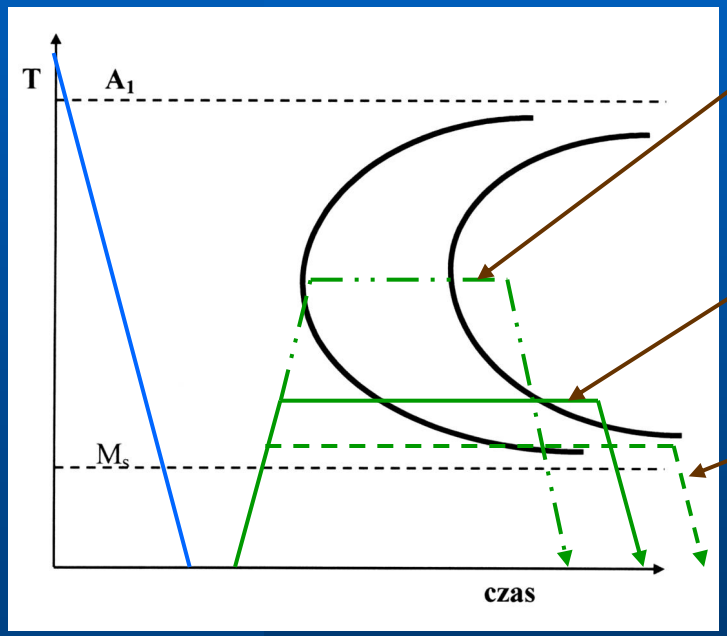
ODPUSZCZANIE

Operacja odpuszczania składa się z trzech zabiegów:

- Nagrzewania do temperatury powyżej temperatury M_s.
- Wygrzewanie do momentu zajścia przemiany dyfuzyjnej
- Chłodzenie na powietrzu.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Temperatura **odpuszczania** decyduje o końcowych własnościach materiału.



Wysokie odpuszczanie

Odpuszczanie (średnie) normalne

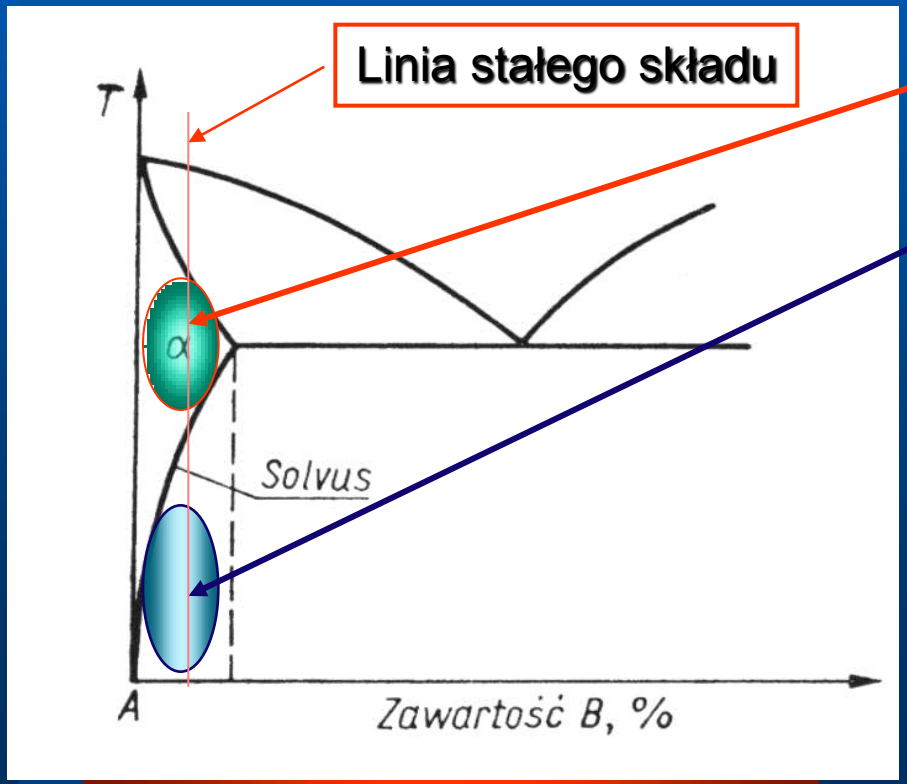
Odpuszczanie niskie

Struktura materiału odpuszczonego różni się od struktury materiału po równowagowym procesie rozpadu wysokotemperaturowej odmiany alotropowej ponieważ struktura taka powstawała na innej drodze poprzez kolejne zarodkowania form pośrednich nieobecnych przy dyfuzyjnym rozpadzie.

MATERIAŁOZNAWSTWO

PRZESYCANIE

Warunkiem koniecznym dla przesycania jest występowanie zmiennej rozpuszczalności dodatków stopowych w stanie stałym.



OBSZAR JEDNOFAZOWY

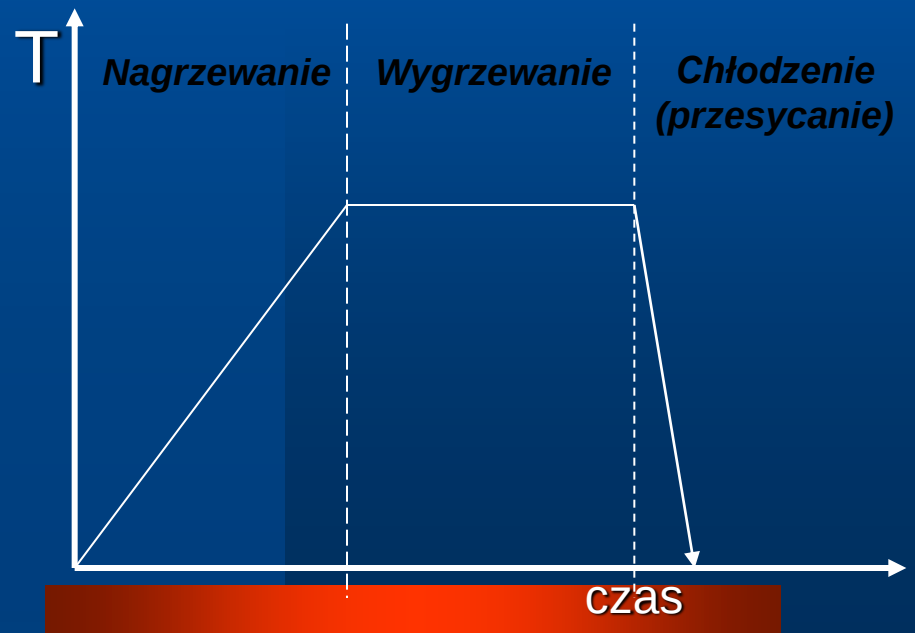
OBSZAR DWUFAZOWY

Przechłodzenie roztworu α prowadzi do przesycenia składnikiem B roztworu α. Występuje także silne przesycenie defektami punktowymi silnie stymulujące prędkość dyfuzji.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Operacja przesycania składa się z trzech zabiegów:

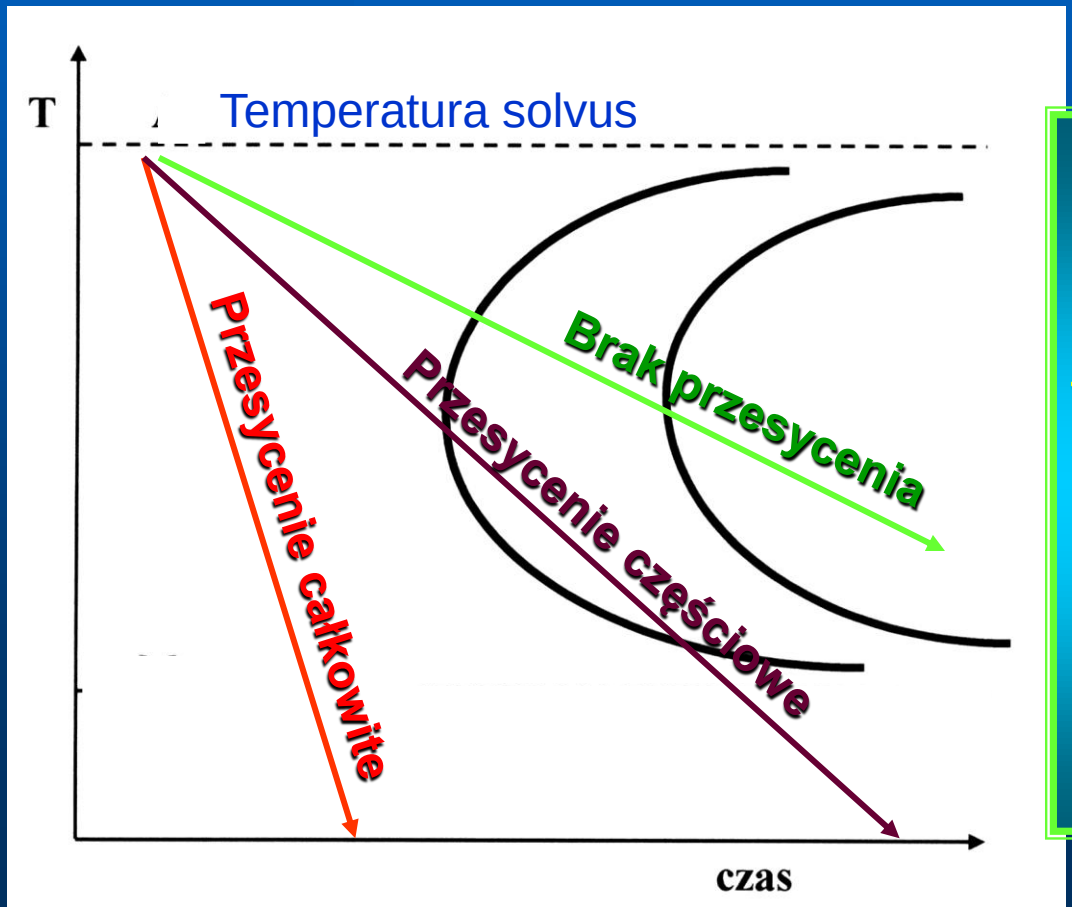
- Nagrzewania do temperatury powyżej linii granicznej rozpuszczalności w stanie stałym, ale poniżej linii przemiany eutektycznej.
- Wygrzewanie w temperaturze przesycania przez czas niezbędny dla rozpuszczenia się wszystkich składników w roztworze.
- Szybkiego chłodzenia do temperatury przy której procesy dyfuzyjne są dostatecznie wolne by powrót do stanu równowagi zachodził bardzo wolno.



Chłodzenie przy przesycaniu musi zachodzić z prędkością większą niż prędkość zarodkowanie fazy wydzielanej.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Podobnie jak przy hartowaniu krytyczną prędkość chłodzenia przy przesycaniu można ustalić na podstawie wykresów CTP.



Przy przesycaniu całkowitym nie występują w materiale żadne przemiany fazowe i nie powstają naprężenia (z wyjątkiem termicznych), a jedynym zjawiskiem umocnienia jest umocnienie roztworowe.

MATERIAŁOZNAWSTWO

W wyniku przesycania materiał uzyskuje:

- Niską twardość i wytrzymałość.
- Niską przewodność elektryczną i cieplną.
- Podwyższoną odporność na korozję.
- Wysoką zdolność do odkształceń plastycznych.
- Wysoką odporność na pękanie.

Materiały po przesycaniu posiadają właściwości takie jak po wyżarzaniu zmiękczającym.

Właściwości materiału po przesycaniu stanowią przeciwieństwo własności materiału po hartowaniu pomimo podobieństwa zabiegów obróbki cieplnej w obu operacjach!!!

MATERIAŁOZNAWSTWO

STARZENIE polega na podniesieniu temperatury do poziomu niższego niż temperatura solvus, wytrzymaniu w tej temperaturze przez czas niezbędny dla zajścia wydzielania i schłodzeniu do temperatury pokojowej.

Podział starzenia

Starzenie naturalne

Proces samorzutnego rozpadu roztworu przesyconego zachodzący w temperaturze otoczenia. Operacja składa się z jednego zabiegu – wytrzymywanie materiału przesyconego w temperaturze otoczenia przez czas potrzebny do zajścia wydzielania.

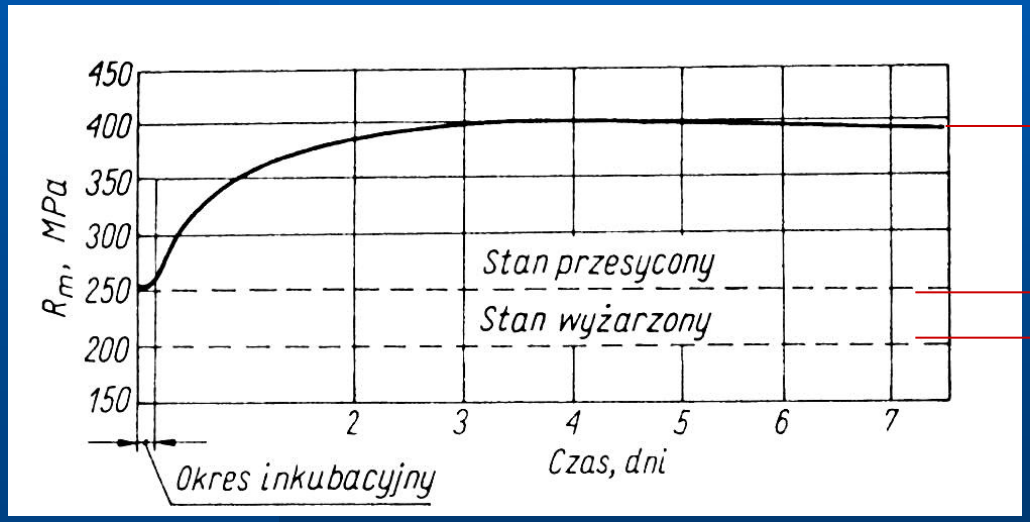
Starzenie sztuczne

Proces rozpadu roztworu przesyconego w podwyższonej temperaturze. Operacja składa się z trzech zabiegów – nagrzewania do temperatury ok. 0,4 ÷ 0,5 temperatury solvus, wytrzymywanie w temperaturze starzenia i chłodzenie na powietrzu do temperatury otoczenia.

Czas i temperatura starzenia decyduje o stopniu rozpadu roztworu przesyconego oraz dyspersji i morfologii wydzieleń.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Warunkiem koniecznym procesu starzenia jest przesycenie roztworu stałego !!! ***Podstawowym celem procesu starzenia jest uzyskanie dużej dyspersji wydzielanych faz, a przez to uzyskanie efektu umocnienia dyspersyjnego.***

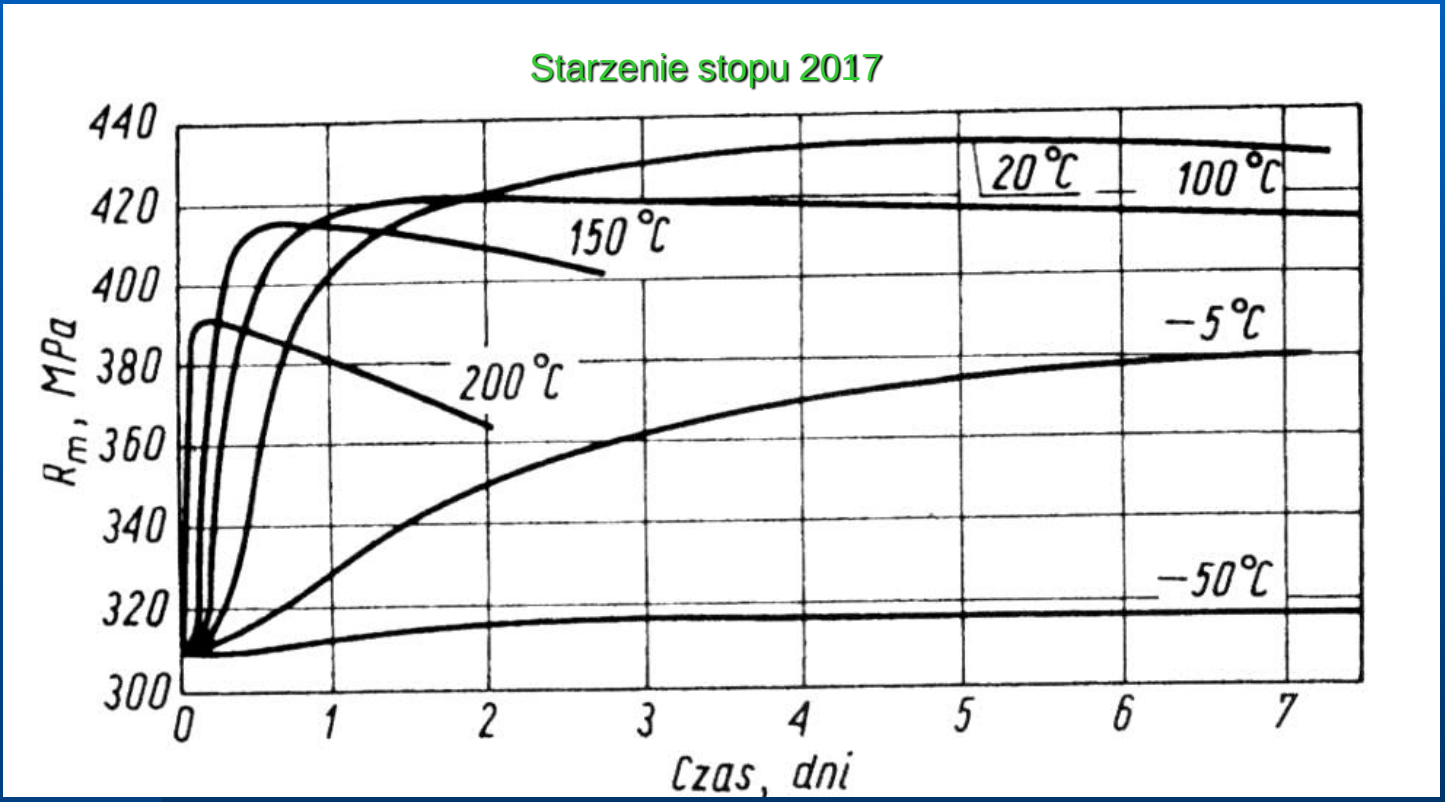


Efekt taki uzyskuje się przez:

- *Zahamowanie wzrostu wydzieleń w niskiej temperaturze przez powolną dyfuzję,*
- *Wzmożenie zarodkowania faz przez dużą siłę pędną procesu (przechłodzenie),*
- *Pojawienie się koherentnych faz pośrednich różnych od równowagowych.*

MATERIAŁOZNAWSTWO

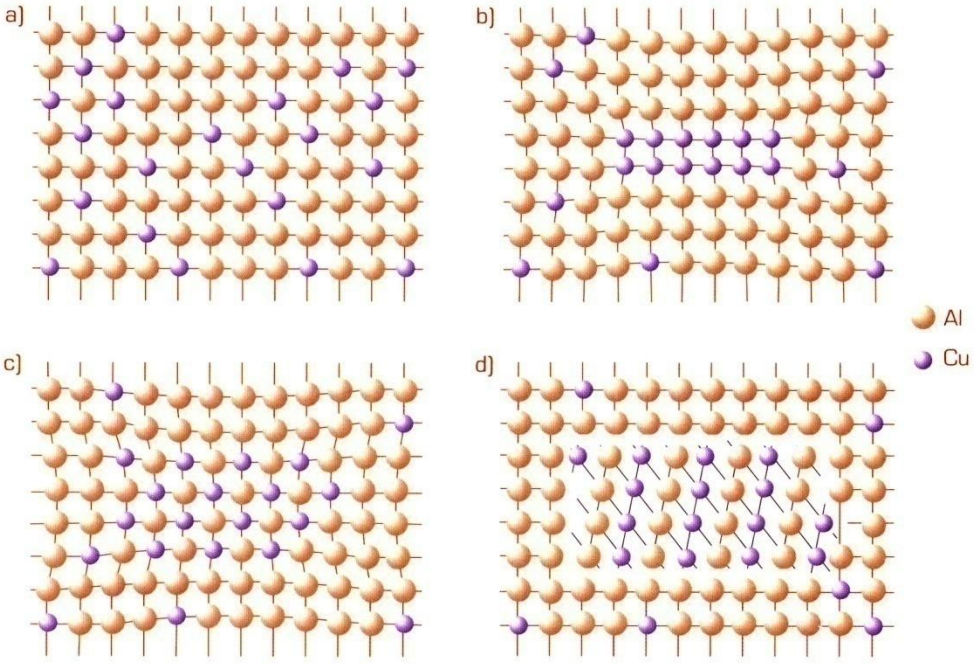
Na przebieg procesu starzenia i jego mechaniczne skutki silny wpływ ma temperatura starzenia.



Podniesienie temperatury starzenia przyspiesza proces wydzielania, ale jednocześnie obniża maksymalny stopień umocnienie materiału.

MATERIAŁOZNAWSTWO

W stopach aluminium – miedź starzenie w niskich temperaturach prowadzi do następujących wydzieleń:



Schemat różnych stadiów starzenia stopu Al-Cu: a) faza $\omega(\alpha_{Al})$, b) strefa GP, c) faza przejściowa Θ'', d) faza równowagowa $\Theta(CuAl_2)$ (według E. Guiniera i G.D. Prestona)

Strefy Guiniera-Prestona (GP) zmieniają skład w zależności od temperatury starzenia i nigdy nie pojawiają się w czasie równowagowego wydzielania z roztworu (wolne chłodzenie).

MATERIAŁOZNAWSTWO

Obróbkę polegającą na dyfuzyjnym wprowadzaniu pierwiastków niemetali lub metali w powierzchniowe warstwy materiału nazywa się

OBRÓBKĄ CHEMICZNĄ,

a jej połączenie z obróbką cieplną nazywa się

OBRÓBKĄ CIEPLNO-CHEMICZNĄ.

Obróbka chemiczna jest obróbką powierzchniową !!!

Obrabianie cieplne (ulepszanie cieplne lub utwardzanie dyspersyjne) utworzonych warstw dyfuzyjnych nazywa się **OBRÓBKĄ CIEPLNO-CHEMICZNĄ.**

Rodzaje OBRÓBKI CHEMICZNEJ:

- *Nawęglanie*
- *Azotowanie*
- *Cyjanowanie*
- *Borowanie*
- *Krzemowanie*
- *Siarkowanie*

Pokrywanie powierzchni warstwami innych substancji bez udziału dyfuzji (np. metalizowanie galwaniczne lub natryskowe) nie jest obróbką chemiczną!!! Należą do nich:

- Aluminiowanie
- Chromowanie
- Tytanowanie
- Wanadowanie
- Cynkowanie

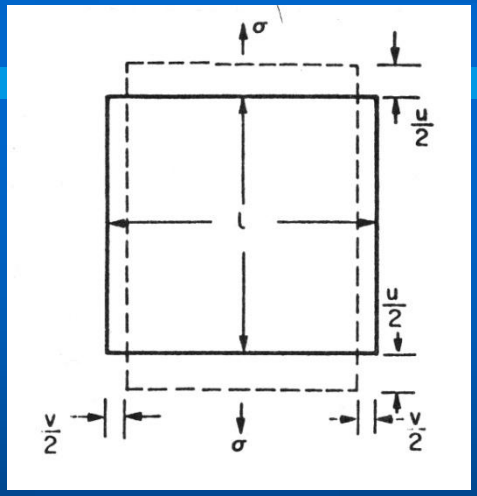
MATERIAŁOZNAWSTWO

Każda zmiana kształtów lub wymiarów ciała stałego nazywa się odkształceniem.

Wyróżnia się :

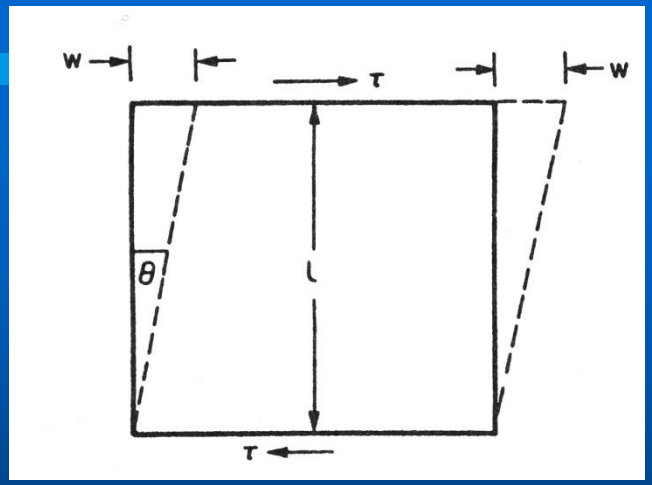
a) **Odkształcenia sprężyste** *to jest takie, które zanikają po ustaniu działania przyczyny je wywołujące.*

b) **Odkształcenia plastyczne** *to jest takie, które pozostają po ustaniu działania przyczyny je wywołujące.*



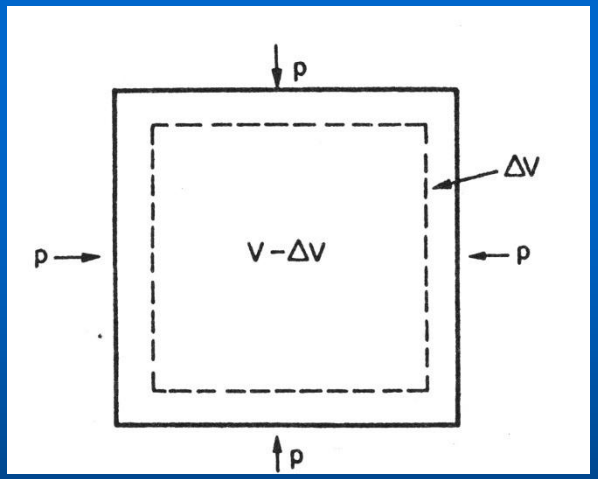
Odkształcenia normalne

Kierunek zmiany wymiarów jest równoległy do wymiaru początkowego



Odkształcenia postaciowe

Kierunek zmiany wymiarów jest prostopadły do wymiaru początkowego



Odkształcenia objętościowe

MATERIAŁOZNAWSTWO

Miary odkształcenia:

a) ***Odkształcenie bezwzględne*** *– to fizyczna zmiana wymiarów wyrażona w jednostkach długości , np.* $\Delta l = l - l_0$, $\Delta h = h - h_0$ *itp., gdzie* l , h *jest wymiarem bieżącym a* l_0 , h_0 *wymiarem początkowym.*

b) ***Odkształcenie inżynierskie (nominalne)*** *– to odkształcenie bezwzględne odniesione do wymiaru początkowego;* $e = (\Delta l / l_0) \times 100\%$.

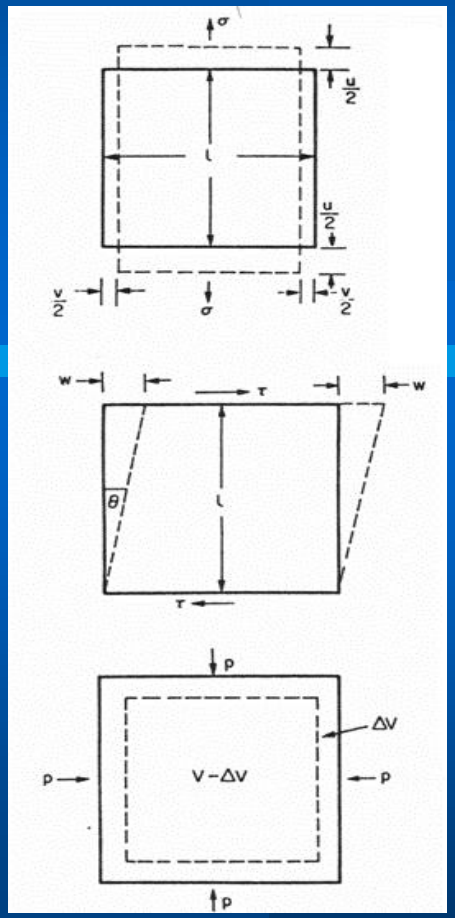
c) ***Odkształcenie względne*** *– to względna zmiana wymiarów w odniesieniu do bieżącego wymiaru;* $\varepsilon = \Delta l / l$.

d) ***Wydłużenie (poszerzenie, przewężenie)*** *– stosunek wymiaru bieżącego do wymiaru początkowego;* $\lambda = l/l_0$, $(\beta = b/b_0$, $\gamma = c/c_0)$

e) ***Odkształcenie rzeczywiste (logarytmiczne)*** *– definiowane matematycznie jako* $\varepsilon_r = \ln (l/l_0) = \ln \lambda$

Dla małych odkształceń (nie większych niż 10% odkształcenia inżynierskiego) różnice pomiędzy odkształceniem rzeczywistym , inżynierskim (podzielonym przez 100%) i względnym są małe i niekiedy można je zaniedbać.

MATERIAŁOZNAWSTWO



Odkształcenie względne normalne:

wzdłużne: $\varepsilon_w = u/l$

poprzeczne: $\varepsilon_p = v/l$

$\nu = \varepsilon_p/\varepsilon_w$ – współczynnik Poison'a

Odkształcenie względne postaciowe:

$$\gamma = w/l = \operatorname{tg} \Theta$$

Odkształcenie objętościowe:

Zmiana odkształcenia w czasie nazywa się prędkością odkształcenia:

$$\Delta = \Delta V/V$$

$$\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt} \quad [s^{-1}]$$

MATERIAŁOZNAWSTWO

Skutki działania siły zależą od:

- wielkości siły
- wymiarów obiektu na który działa.

Niezależną od wymiarów miarą intensywności działania siły jest ***NAPRĘŻENIE.***

Naprężenie definiuje się jako wektor, którego wielkość określa ***stosunek siły do przekroju rzeczywistego na którym siła działa***.
Naprężenie dziedziczy zwrot i kierunek wektora siły.

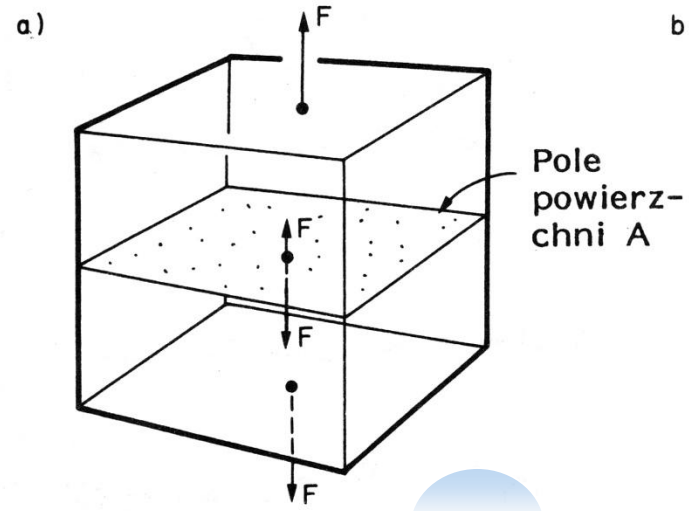
Ścisła definicja naprężenia w punkcie:

$$\sigma = \lim_{A \to 0} \frac{F}{A}$$

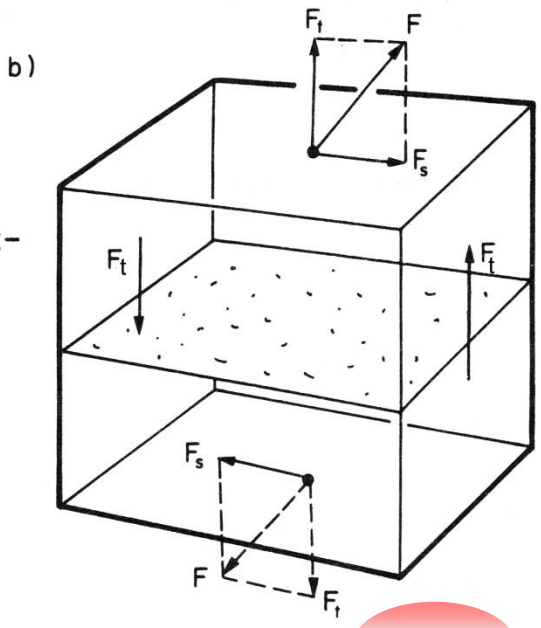
Takie naprężenie może się zmieniać od punktu do punktu, dlatego w praktyce operuje się naprężeniem średnim:

$$\sigma = F/A \text{ , [Pa]}$$

MATERIAŁOZNAWSTWO



Naprężenie normalne $\sigma = \frac{F}{A}$
(rozciągające)



Naprężenie styczne $\tau = \frac{F_s}{A}$
(ścinające)

Naprężenie normalne $\sigma = \frac{F_t}{A}$
(rozciągające)

Zrównoważenie naprężeń stycznych (w stanie równowagi)

Wektor naprężenia normalnego posiada kierunek prostopadły do płaszczyzny na której działa.

Naprężenie to gęstość siły!

Wektor naprężenia stycznego posiada kierunek równoległy do płaszczyzny na której działa.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Matematyczna formuła opisująca relację pomiędzy naprężeniem i odkształceniem wywołanym przez naprężenie nosi nazwę równania konstytutywnego i stanowi podstawę dla przewidywania zachowania się materiału w procesach przeróbki plastycznej metali.

$$\sigma = f(\varepsilon, \dot{\varepsilon}, T, \text{struktura})$$

Dla zakresu sprężystych odkształceń równaniem konstytutywnym jest równanie Hooka.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

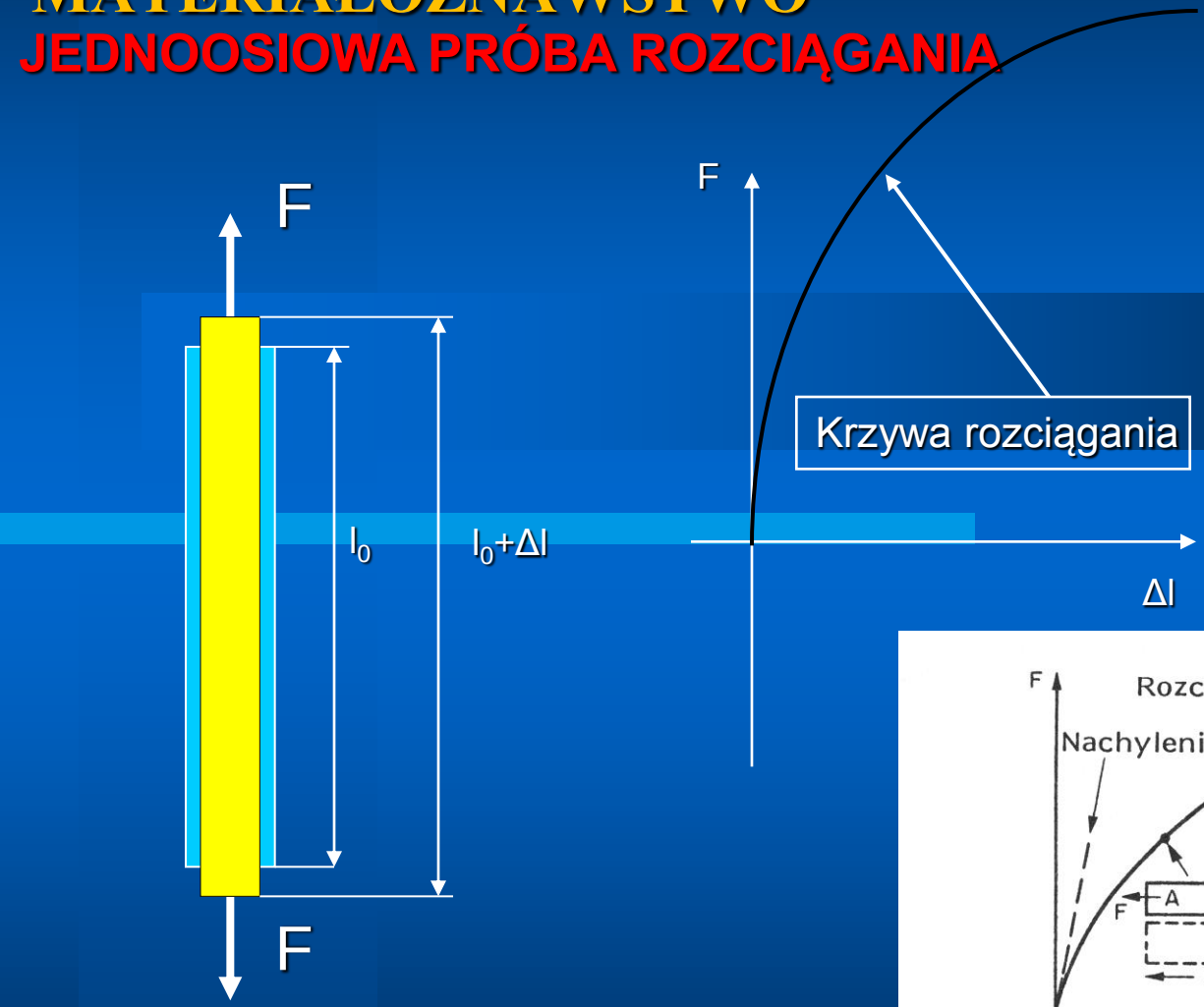
Równanie konstytutywne łączące naprężenie płynięcia plastycznego z odkształceniem plastycznym nazywane jest równaniem plastyczności i do chwili obecnej nie posiada powszechnie akceptowanej formy uniwersalnej.

Badania nad empiryczną postacią równania plastyczności jest głównym zadaniem działu metaloznawstwa jakim jest fizyka odkształceń plastycznych. Badania fizycznych podstaw odkształceń plastycznych opierają się na badaniach relacji naprężenie-odkształcenie w jednoosiowych prostych testach rozciągania i ściskania.

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

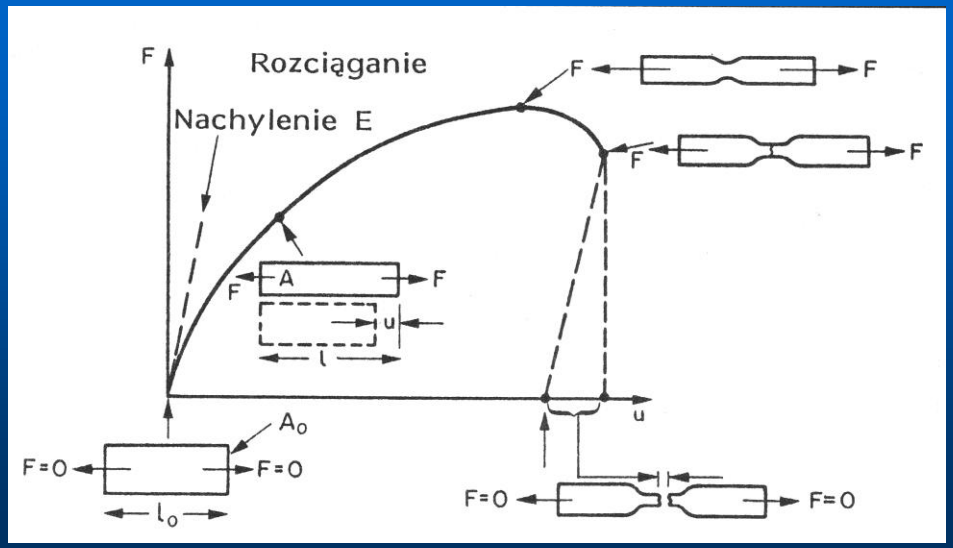
MATERIAŁOZNAWSTWO

JEDNOOSIOWA PRÓBA ROZCIĄGANIA



Próbę realizuje się w maszynie do badań wytrzymałościowych, która może wymuszać stałą prędkość ruchu zamocowań próbki lub stałą siłę obciążającą (pełzarka).

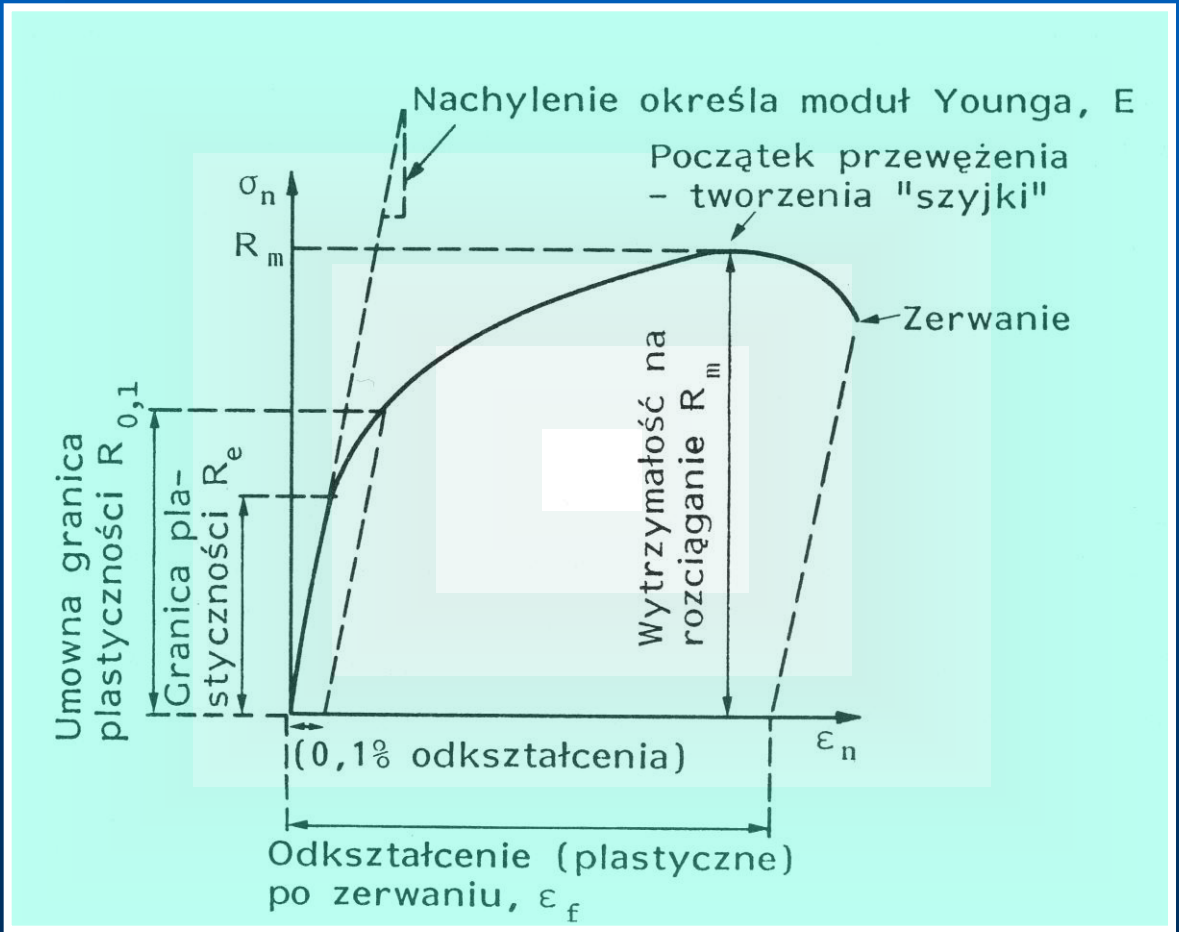
Kształt i wymiary próbek są znormalizowane. W obszarze chwytu próbki posiadają zwiększony przekrój („główki") w celu eliminacji wpływu trójosiowego stanu naprężenia.



MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

JEDNOOSIOWA PRÓBA ROZCIĄGANIA



Pojęcia wskaźników wytrzymałości w próbie rozciągania:

R_e – granica plastyczności (fizyczna)

$R_{0,1}$ – umowna granica plastyczności

R_m – wytrzymałość na rozciąganie (granica wytrzymałości)

$A = \varepsilon_f$ – wydłużenie w próbie rozciągania

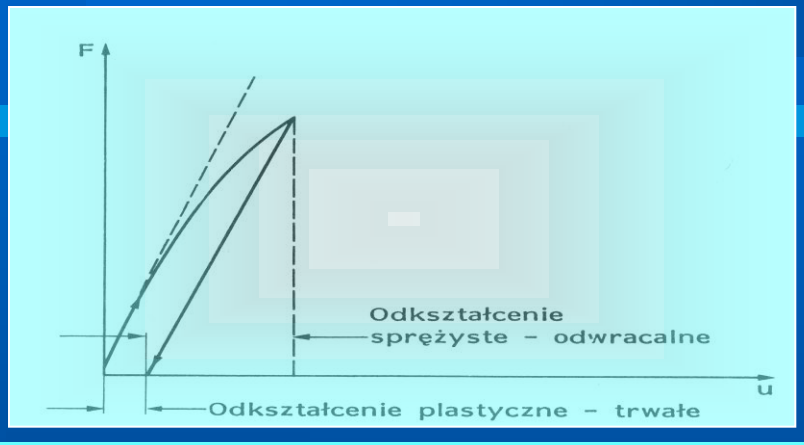
Umowna granica plastyczności jest najczęściej określana dla wydłużenia plastycznego 0,2%. Dla wydłużenia 0,05% definiuje się umowną granicę sprężystości.

Nachylenie krzywej rozciągania

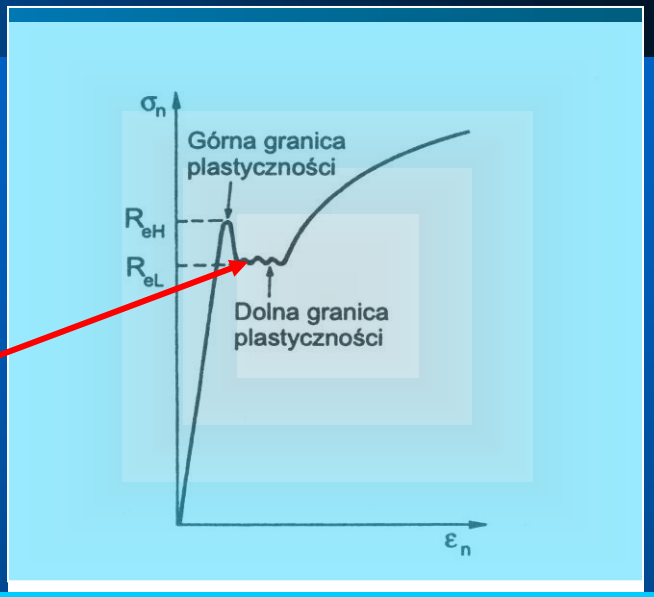
$$\Theta = d\sigma/d\varepsilon$$

nazywa się prędkością umocnienia

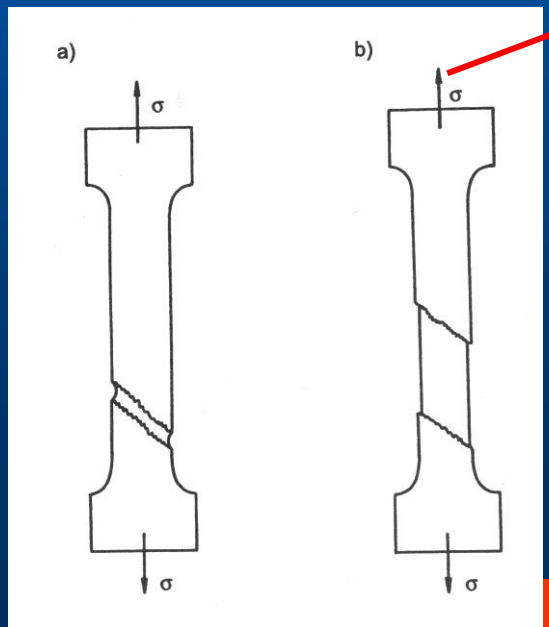
MATERIAŁOZNAWSTWO



Udział odkształceń w wydłużeniu całkowitym.



Wyraźna granica plastyczności

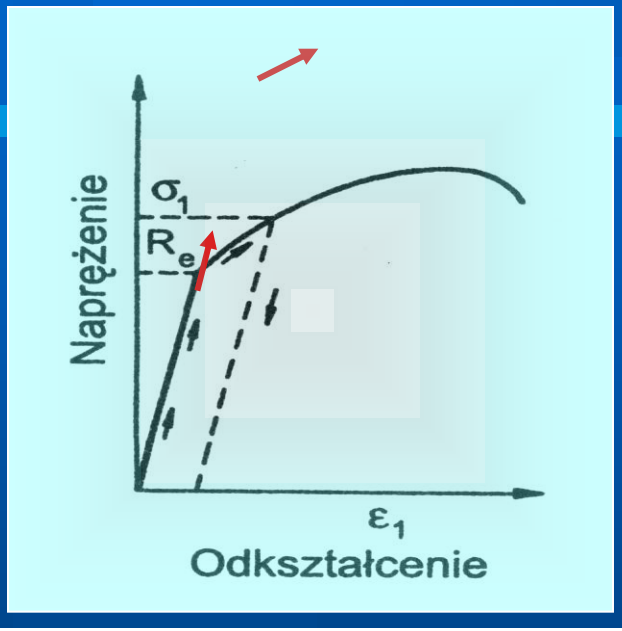


Lokalizacją odkształcenia nazywamy zjawisko pojawienia się zróżnicowania wielkości odkształcenia materiału pomimo takich samych warunków naprężenia w każdym punkcie odkształcanego materiału.

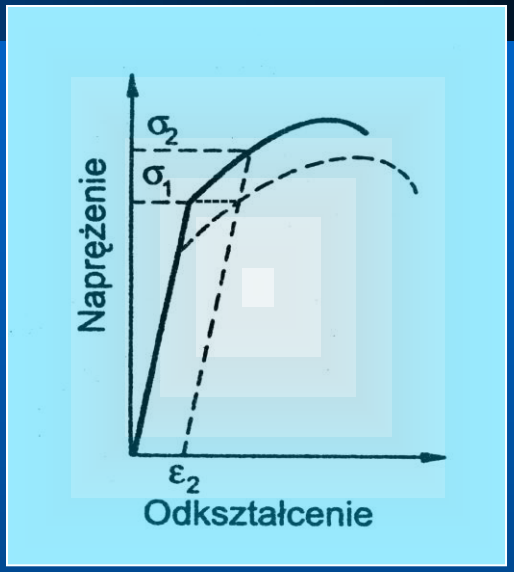
Rozwój lokalizacji odkształcenia typu pasma Ludersa

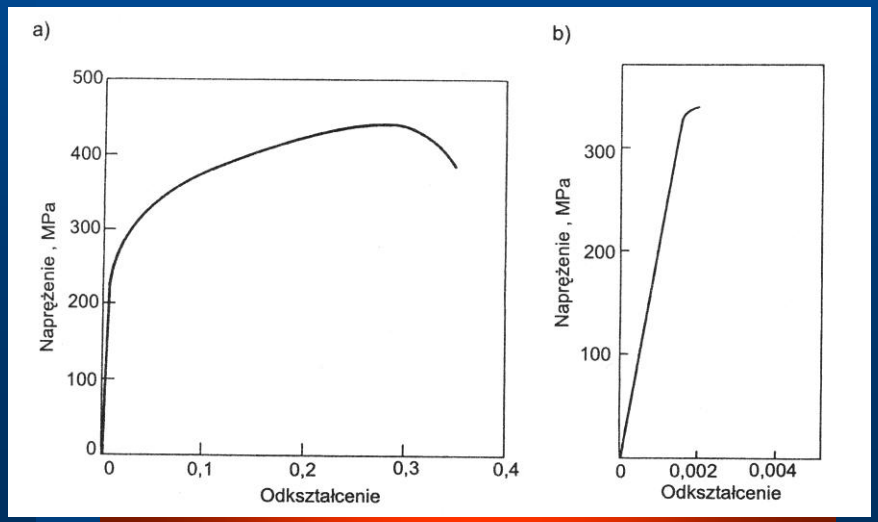
MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA



Efekt odciążenia próbki w czasie rozciągania i ponowne obciążenie.

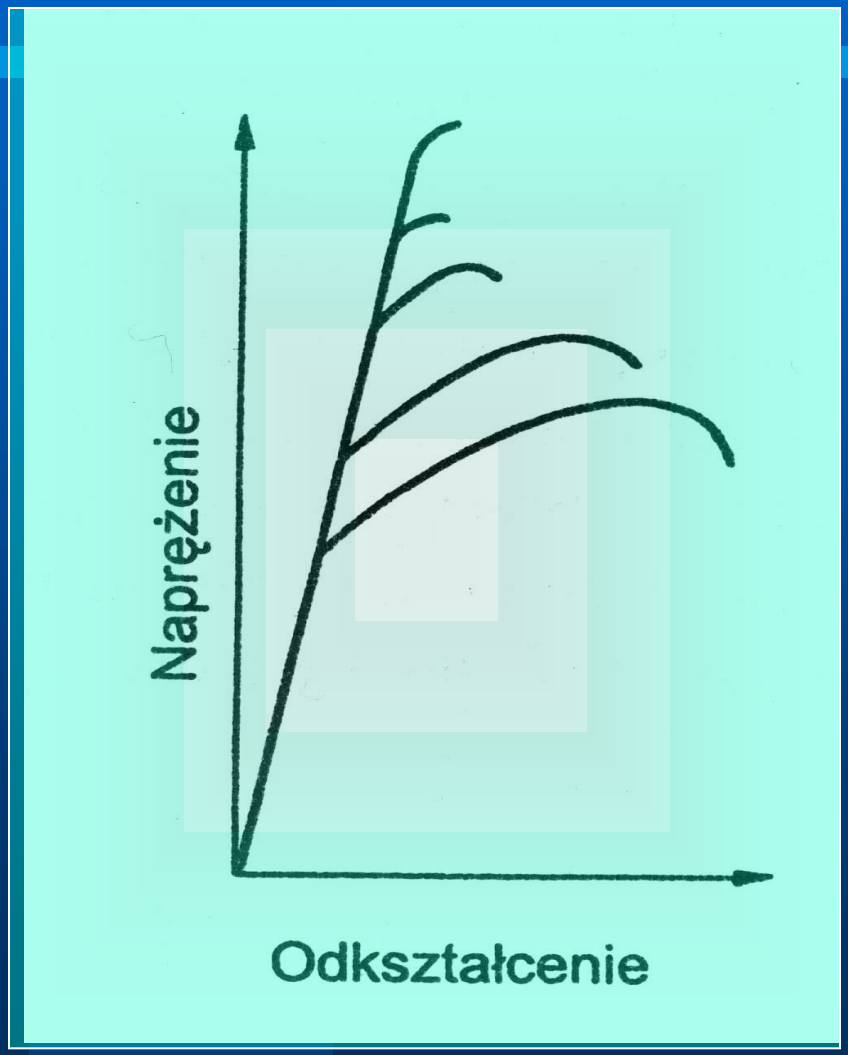




Ponowne rozciąganie próbki odkształconej poprzednio do wielkości ε_2

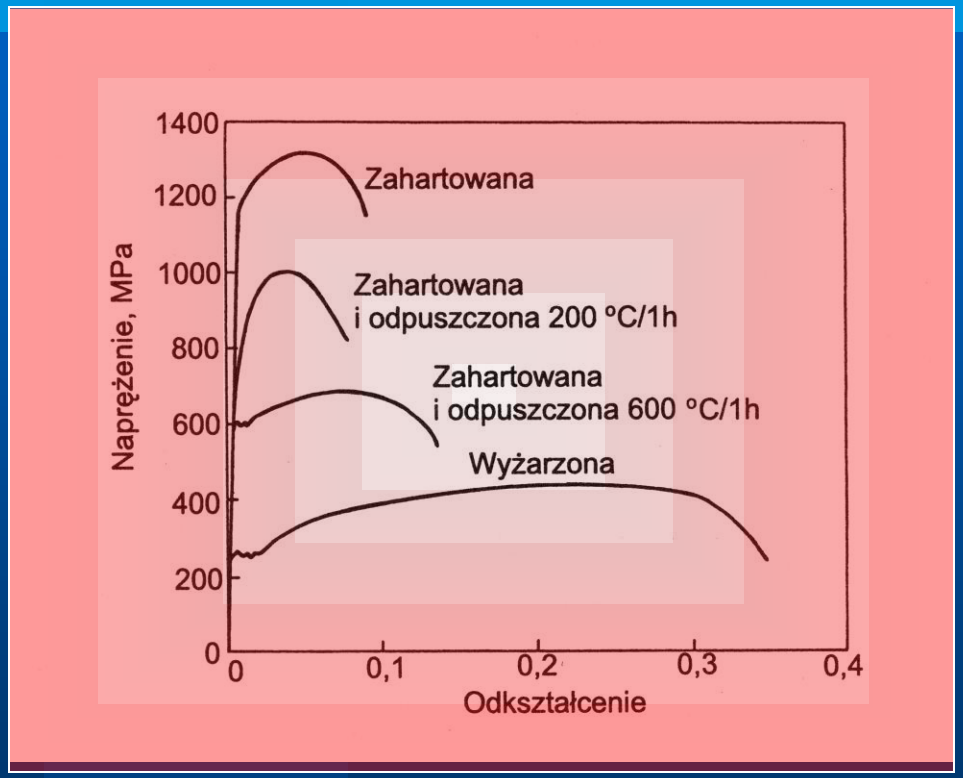
Przykłady krzywych rozciągania dla materiałów plastycznych (a) i materiałów kruchych (b).

MATERIAŁOZNAWSTWO

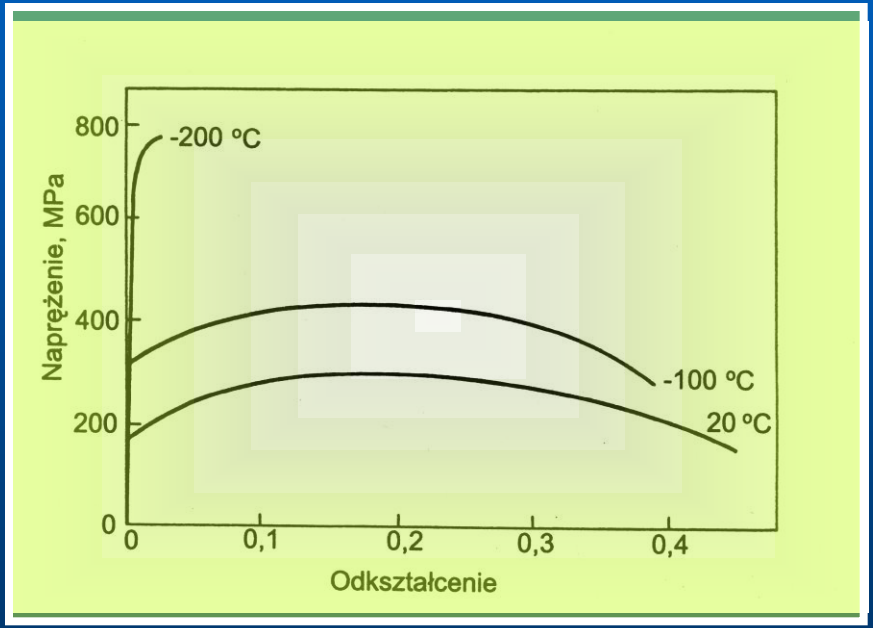


Wpływ stopnia odkształcenia przez walcowanie na kształt krzywych rozciągania i wartości parametrów wytrzymałościowych metali i stopów. Wzrost odkształcenia podnosi granicę plastyczności i zmniejsza wydłużenie w próbie rozciągania (obniża plastyczność).

MATERIAŁOZNAWSTWO



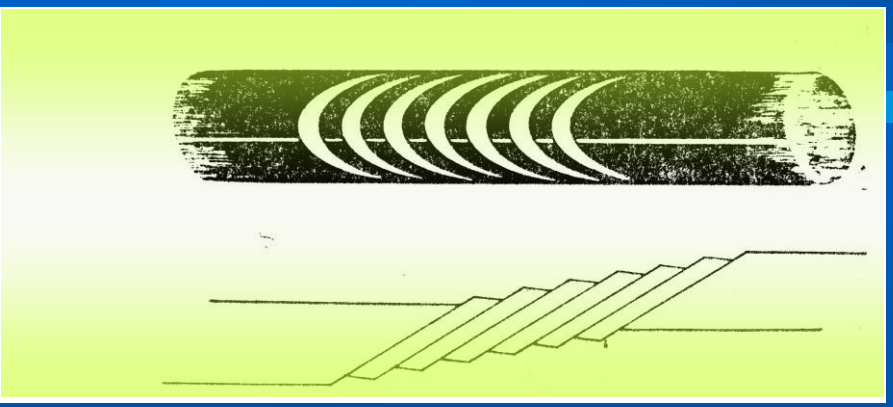
Wpływ obróbki cieplnej na kształt krzywej rozciągania



Wpływ temperatury badania na kształt krzywej rozciągania

MATERIAŁOZNAWSTWO

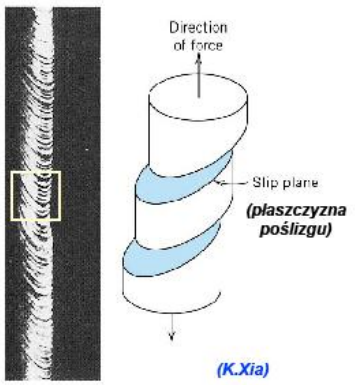
Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA



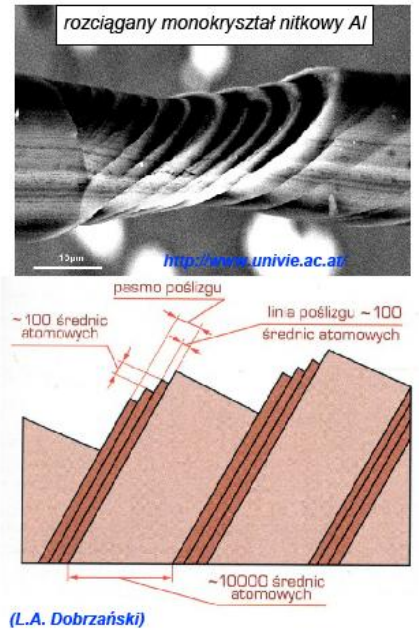
Forma deformacji monokryształu okrągłego

Monokryształy w czasie deformacji plastycznej wykazują obecność uprzywilejowanych płaszczyzn krystalograficznych po których zachodzi poślizg w ściśle określonym kierunku krystalograficznym. Zespół płaszczyzny krystalograficznej i kierunku krystalograficznego w którym odbywa się poślizg nazywa się *systemem łatwego poślizgu.*

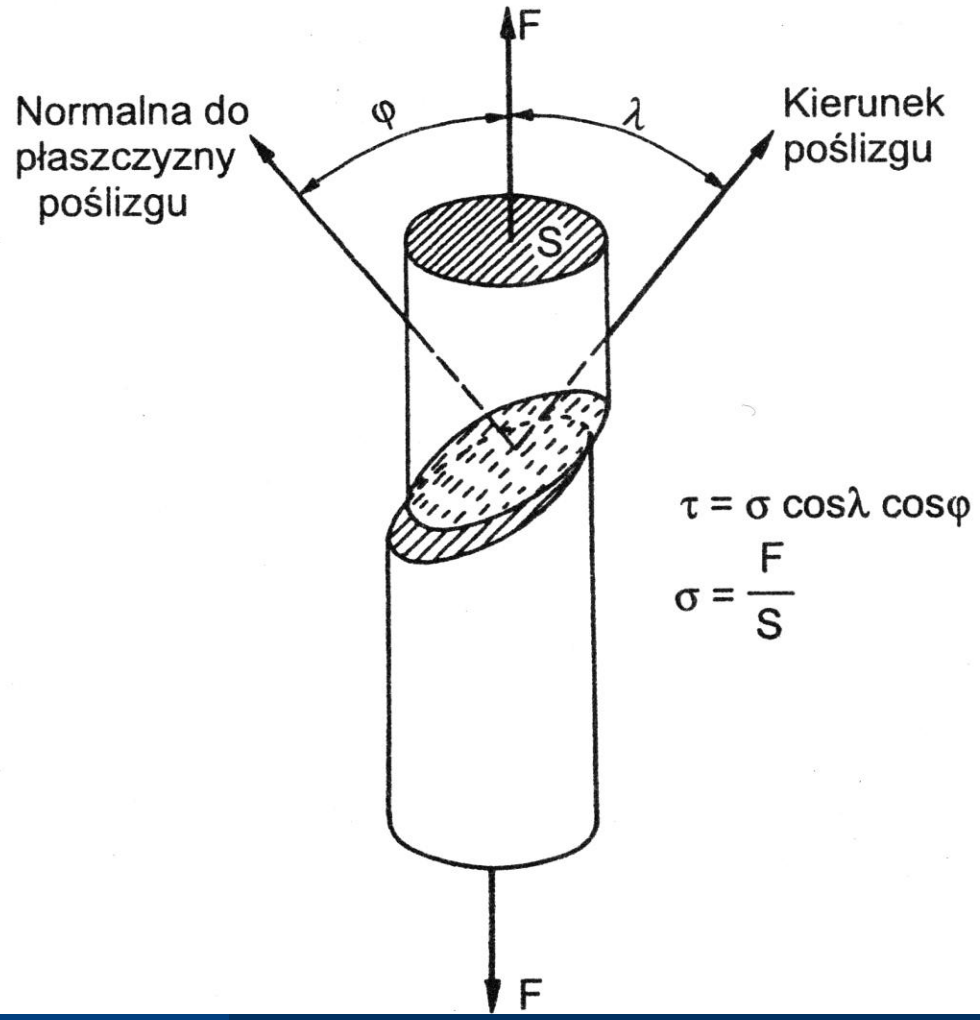
Odkształcenie plastyczne monokryształów



rozciągany monokryształ cynku



MATERIAŁOZNAWSTWO



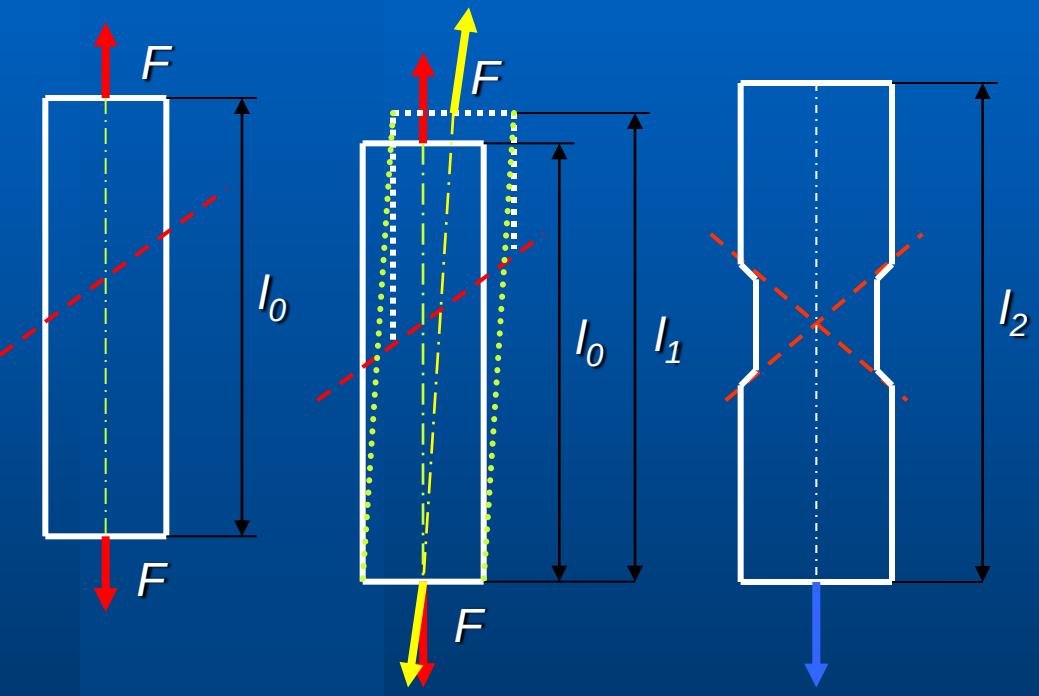
$$\tau = \sigma \cos\lambda \cos\varphi$$

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

Poślizg jest realizowany w płaszczyźnie poślizgu w którym leży kierunek poślizgu. Kierunki i płaszczyzny poślizgu stanowią systemy poślizgu

MATERIAŁOZNAWSTWO

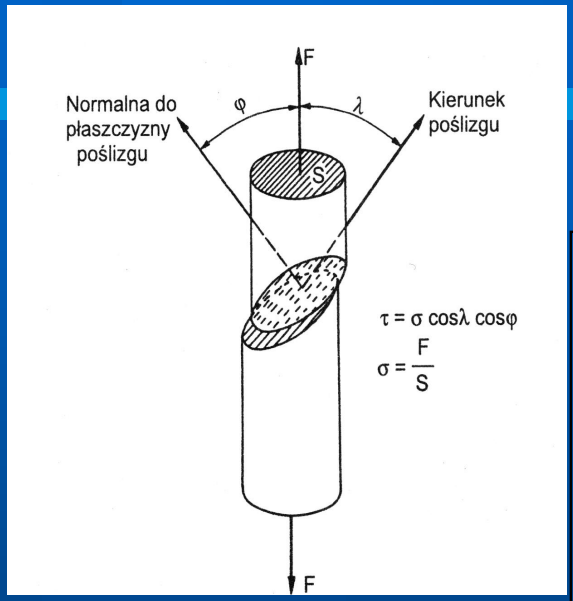
Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA



Odkształcenie przez poślizg prowadzi do zmiany położenia osi rozciągania względem układu krystalograficznego próbki. Jest to równoważne zmianie orientacji krystalograficznej próbki rozciąganej względem zewnętrznego układu.

Działania jednego systemu poślizgu zawsze prowadzi do zmiany orientacji osi rozciągania. Uruchomienie drugiego systemu przywraca poprzednią orientację. Zmiana orientacji zachodzi w taki sposób, aby kierunek poślizgu rotował w kierunku osi rozciągania.

MATERIAŁOZNAWSTWO



Naprężenie ścinające wywołujące poślizg w pojedynczym systemie poślizgu jest określane przez prawo Schmidta – Boasa.

$$\tau = \frac{F\cos\lambda}{\frac{S}{\cos\varphi}} = \frac{F}{S}\cos\varphi\cos\lambda = \sigma\cos\varphi\cos\lambda$$

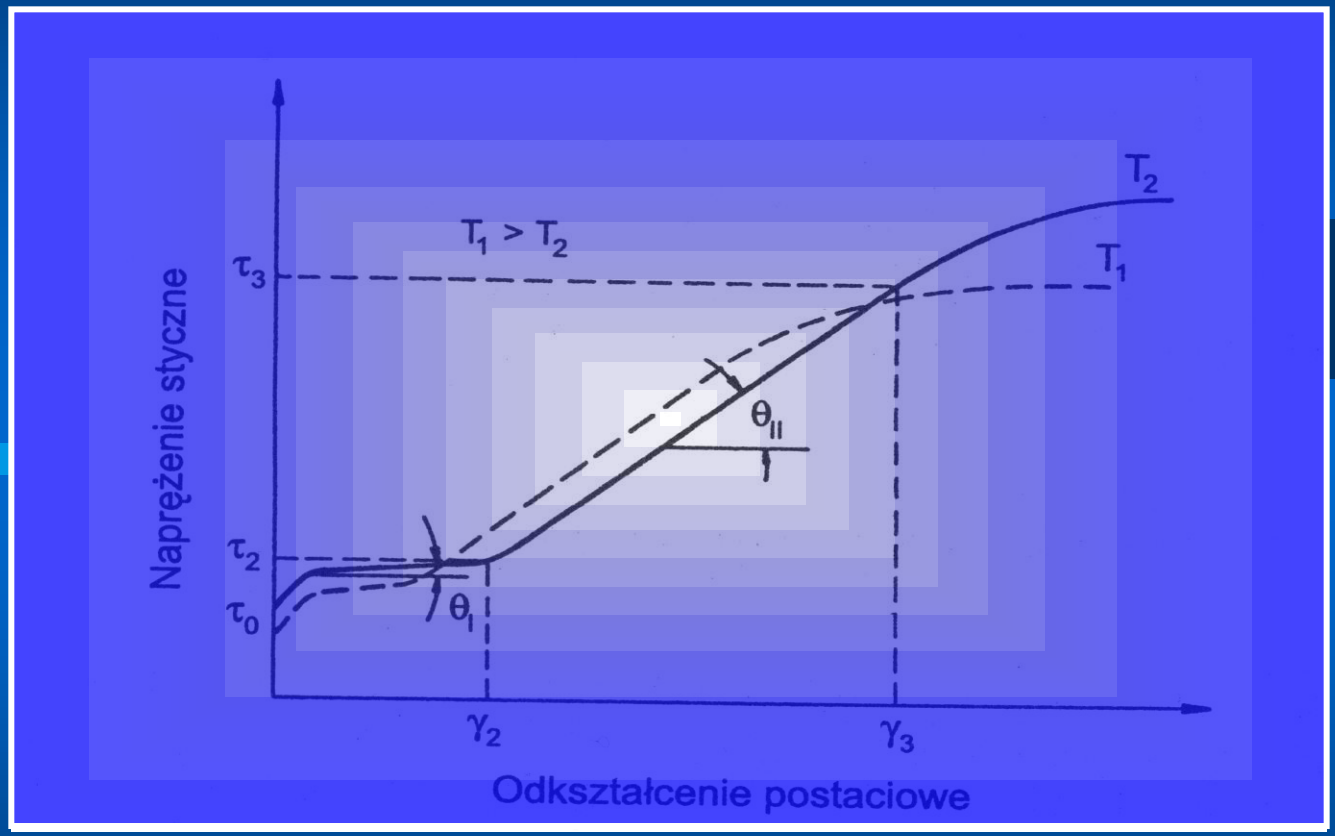
gdzie: σ – przyłożone naprężenie rozciągające ($\sigma = F/S$),
λ – kąt między kierunkiem poślizgu i osią rozciągania,
φ – kąt między normalną do płaszczyzny poślizgu i osią rozciągania.

Krytyczne naprężenie ścinające w systemie łatwego poślizgu jest najmniejszym naprężeniem wywołującym poślizg plastyczny w materiale.

Zmiany orientacji wywołane odkształceniem powodują zmiany iloczynu cosinusów w prawie Schmidta-Boasa (czynnik orientacji) i powodują wzrost tego czynnika w systemach wtórnych i akomodacyjnych.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA



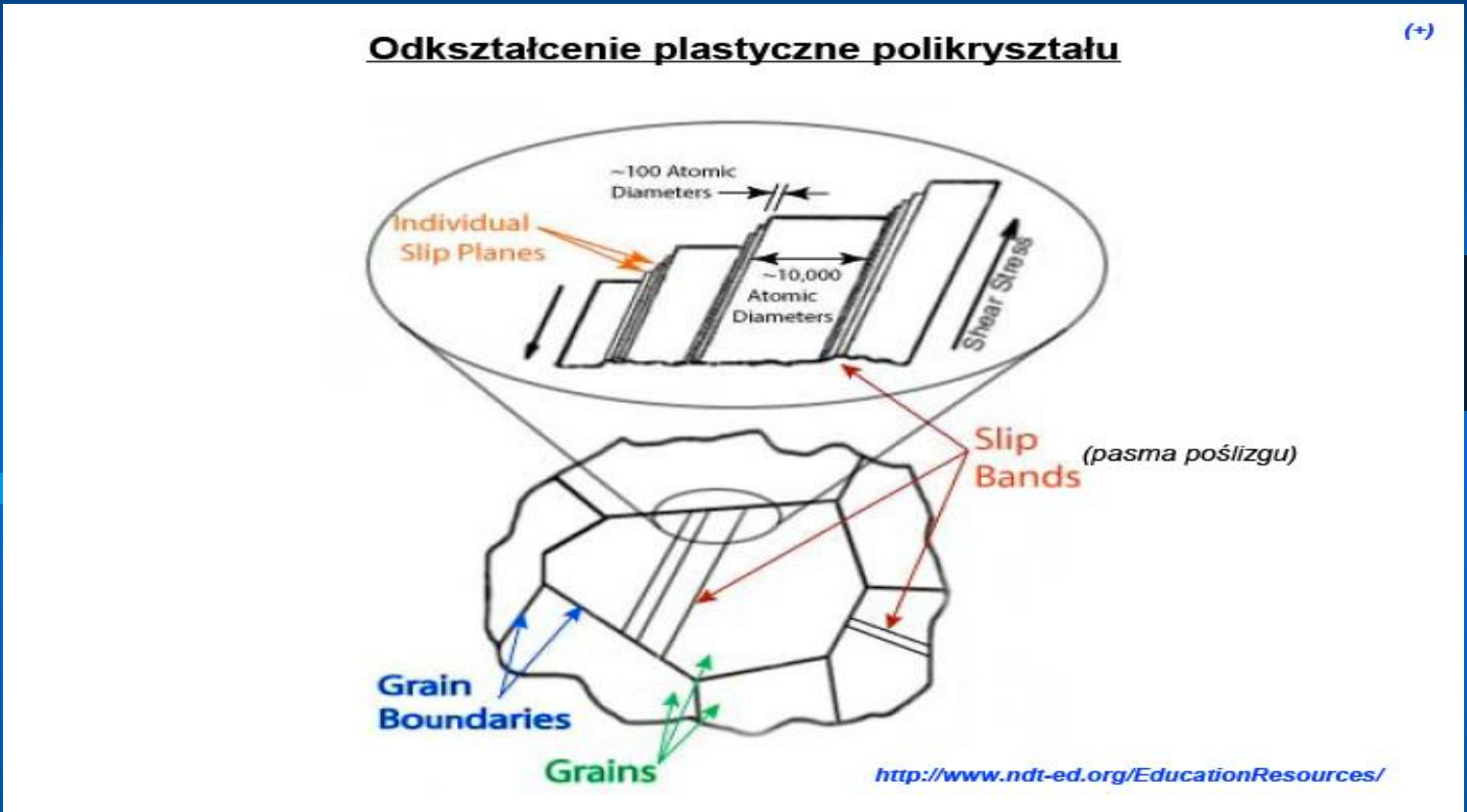
Krzywa rozciągania monokryształu

W stadium I i II dominuje system pierwotny. Przyrost naprężenia z deformacją zależy od aktywności systemów wtórnych akomodujących zmiany orientacji. W stadium III następuje zmiana systemu dominującego.

Kształt krzywej rozciągania monokryształu oraz wygląd monokryształu po deformacji wskazują na silną anizotropię takich materiałów. Odkształcenie realizowane jest poprzez poślizg po ściśle określonych płaszczyznach krystalograficznych, co prowadzi do zmian orientacji krystalograficznych kryształu podczas odkształcania a zmiany wymiarów poprzecznych są zależne od kierunku krystalograficznego.

MATERIAŁOZNAWSTWO

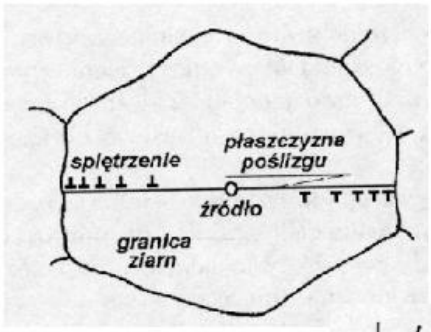
Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA



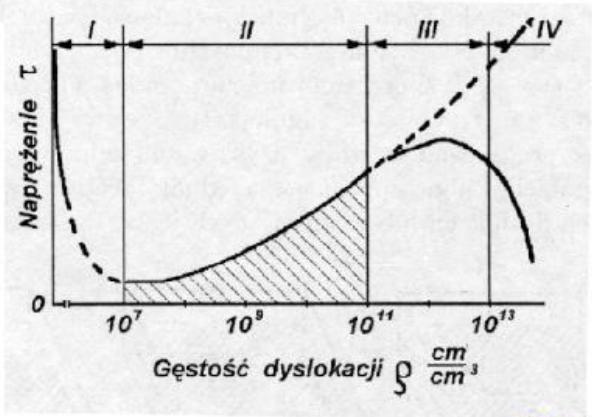
W przeciwieństwie do monokryształów w polikryształach występuje dodatkowe ograniczenie wewnętrzne jakim są granice ziaren. Zachowanie spójności materiału na granicach wymaga uruchomienia wielu systemów poślizgu w ich sąsiedztwie nie tylko systemów o najkorzystniejszym współczynniku Schmidta –Boasa. Polikryształy odkształcają się zawsze w wielu systemach poślizgu.

MATERIAŁOZNAWSTWO

(+)

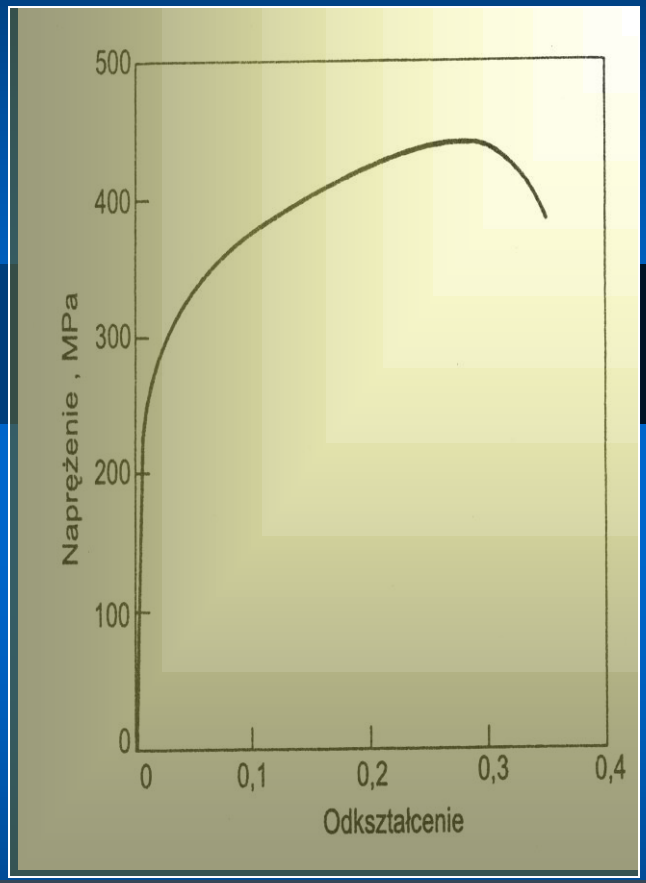


Źródło Franka-Reada wewnątrz ziarna oraz spiętrzenie pętli dyslokacji przed granicami.



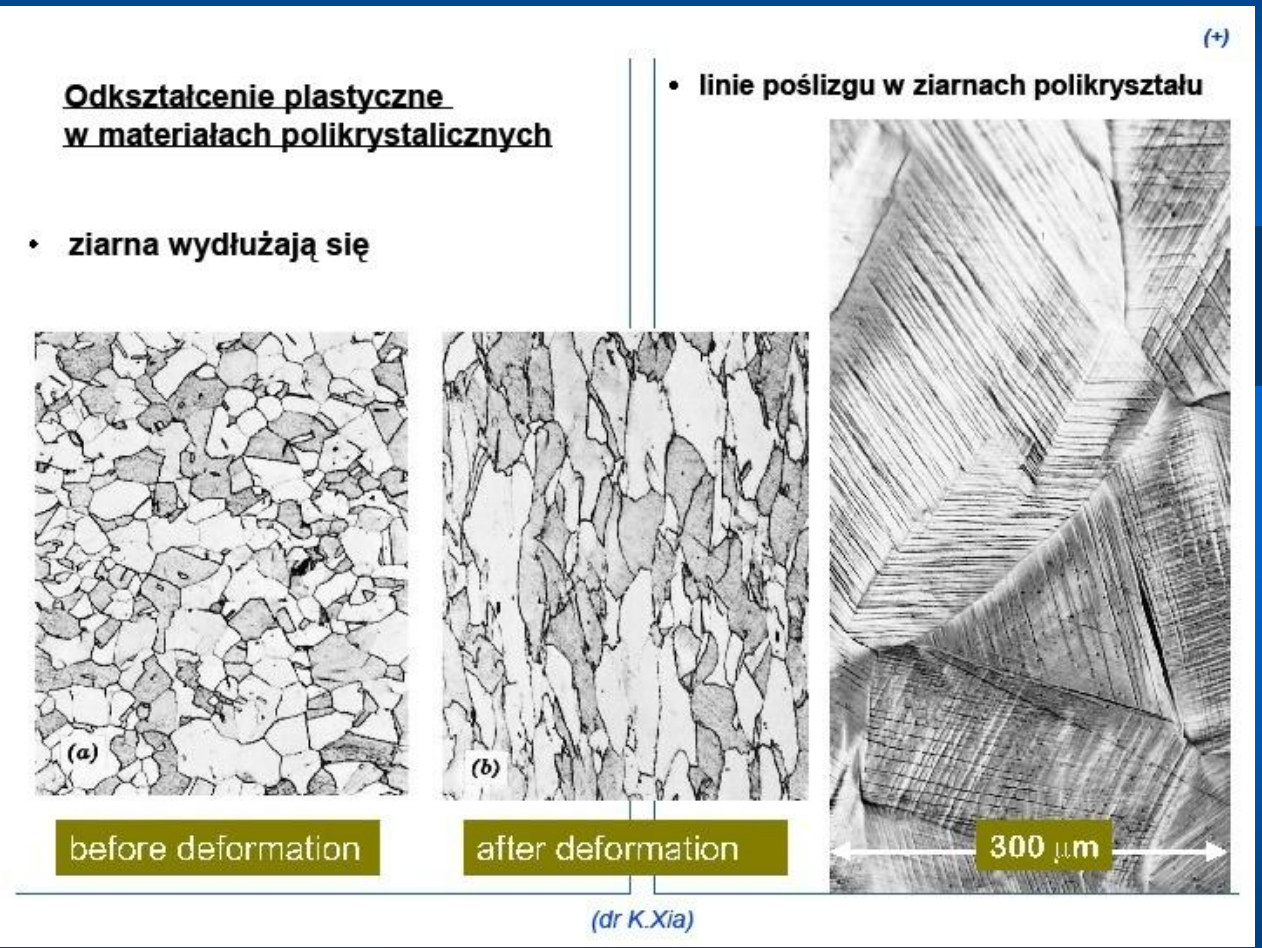
Umocnienie *jako skutek wzrostu gęstości dyslokacji.*

(R. Haimann)



Kształt krzywej rozciągania polikryształu ma w większości przypadków charakter paraboliczny tak jak III stadium odkształcania monokryształów. Naprężenie płynięcia (granica plastyczności) jest zwykle o rząd wielkości większa od granicy plastyczności monokryształów a prędkość umocnienia Θ maleje z postępem odkształcenia aż do momentu pojawienia się szyjki (lokalizacji uporczywej), która kończy proces rozciągania zerwaniem próbki.

MATERIAŁOZNAWSTWO

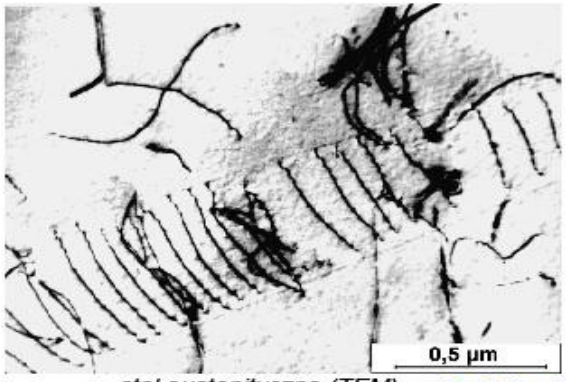


Odkształcenie prowadzi do zmian kształtu ziaren oraz do zmian własności materiału. Na swobodnych powierzchniach odkształcanego materiału pojawiają się linie płynięcia, które są śladami uskoków spowodowanych wyjściem kolektywnego poślizgu na powierzchnię materiału.

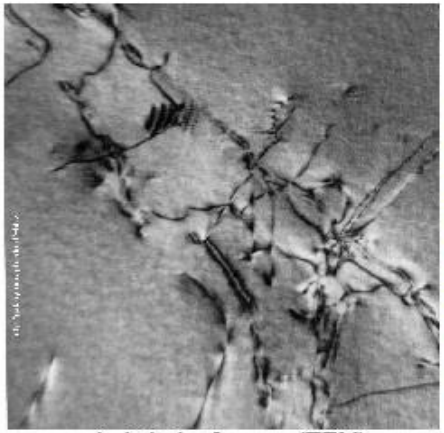
Odkształcenie plastyczne nie zmienia objętości materiału!!!

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

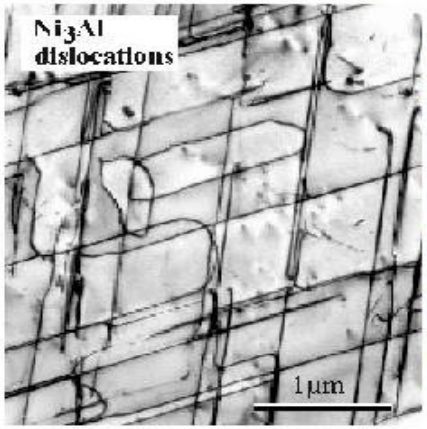


stal austenityczna (TEM) (A. Krajczyk)

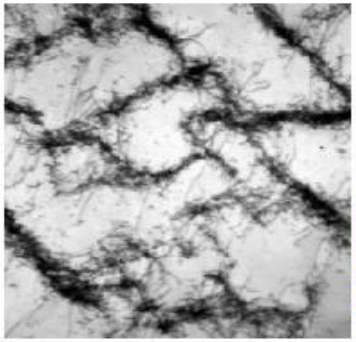


mosiądz jednofazowy (TEM)

http://galaxy.uci.agh.edu.pl/~blaz



www.univie.ac.at/ materialphysik/EM/



(A. Krajczyk)

stal po obciążeniu cyklicznym (TEM)

Odkształcenie wywołuje zmiany gęstości defektów punktowych i liniowych, które w dążeniu do zmniejszenia swojej energii układają się według pewnego porządku, tworząc strukturę dyslokacyjną charakterystyczną dla odkształcanego materiału.

Zjawisko obejmujące całość zmian właściwości fizycznych i mechanicznych oraz struktury materiału wywołanych odkształceniem plastycznym nazywamy ***ZGNIOTEM.***

Zmiany wymiarów i kształtów mające miejsce podczas deformacji nazwa się ***GNIOTEM***.

MATERIAŁOZNAWSTWO

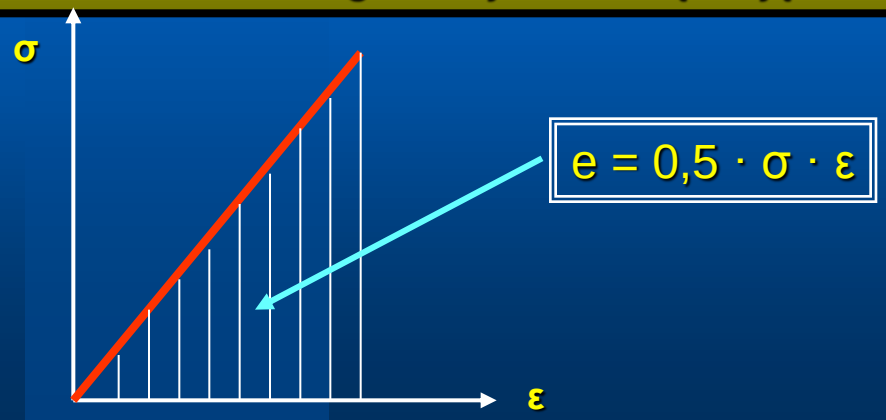
Odkształcenie sprężyste:

- **Homogeniczne** - realizowane przez proporcjonalne do naprężenia przemieszczenia atomów w każdym punkcie obciążonego ciała stałego.
- **Zlokalizowane** – realizowane przez lokalne, odwracalne przemieszczenia defektów liniowych (dyslokacji) spowodowane odwracalnym wyginaniem się zakotwiczonych dyslokacji (micro-yielding)

Odkształcenia sprężyste magazynują energię równą pracy zewnętrznej potrzebnej na przemieszczenie atomów w nowe położenia przeciwko siłom oddziaływań międzyatomowym.

$$e = 0{,}5 \cdot \sigma \cdot \varepsilon$$

e – energia na jednostkę objętości, σ – naprężenie, ε - odkształcenie



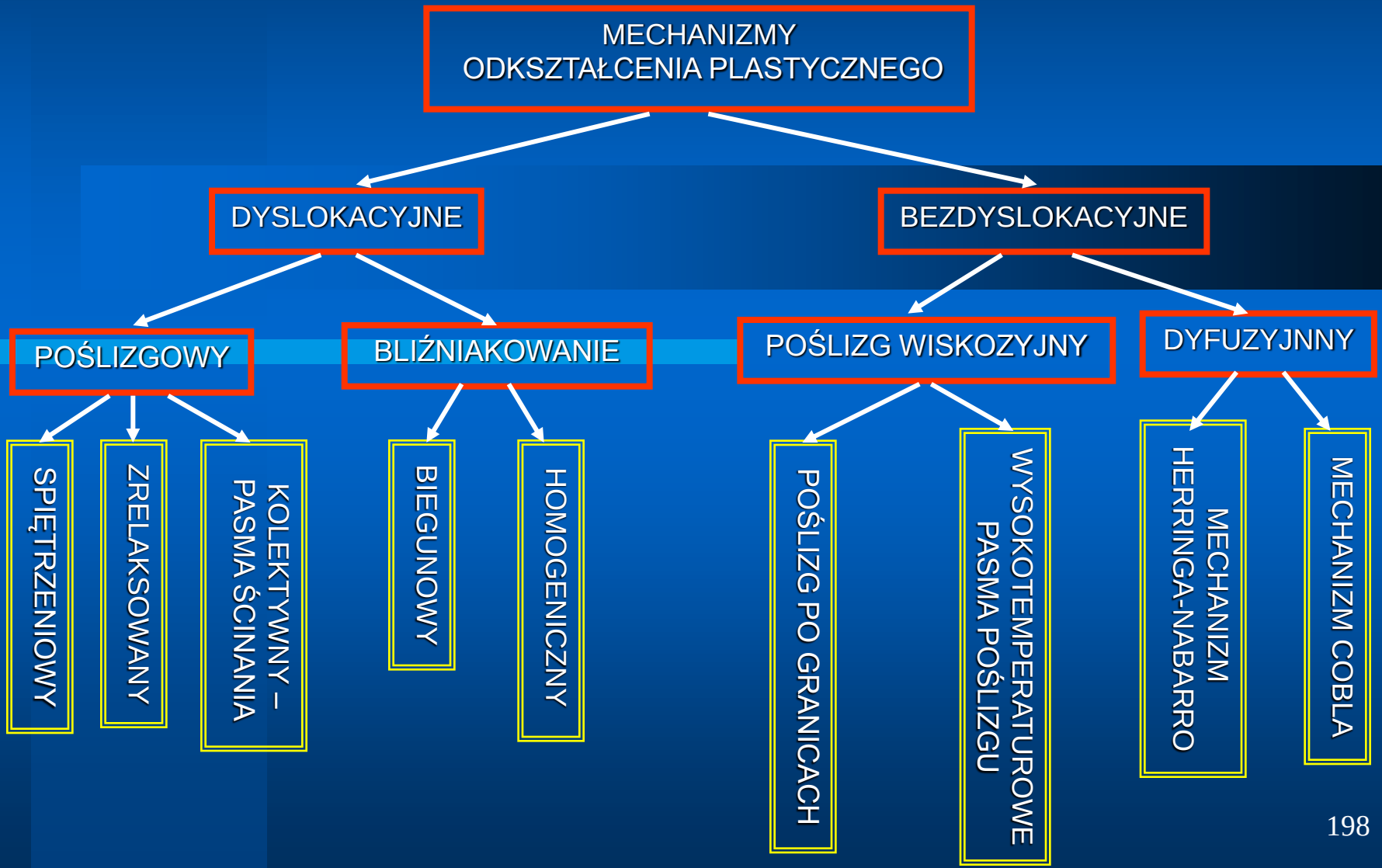
Energia odkształcenia sprężystego może wykonać pracę zewnętrzną w czasie zanikania odkształcenia.

Przykładem jest napęd sprężynowy.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Odkształcenie plastyczne - podział:



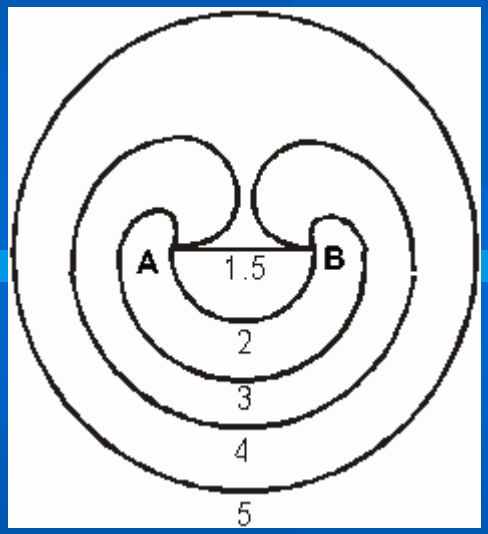
MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

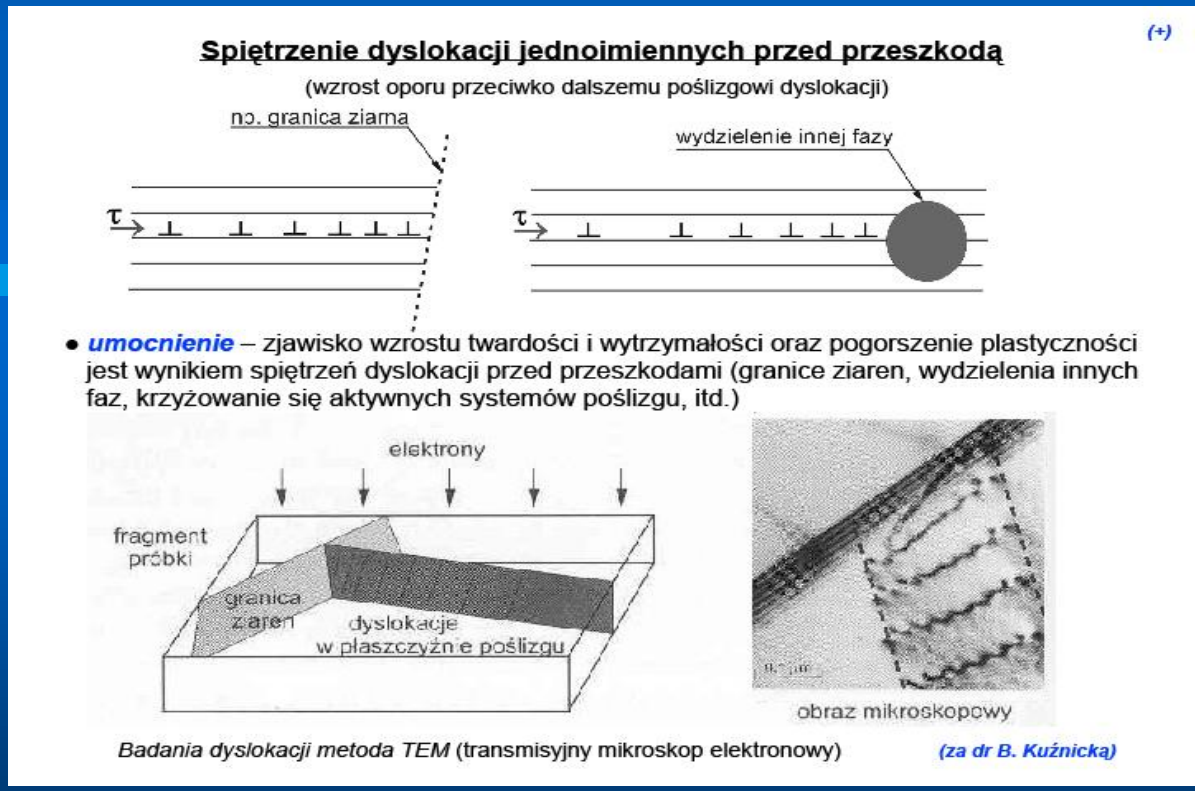
Odkształcenie plastyczne - podział:

MECHANIZM SPIĘTRZENIOWY:

Polega na emitowaniu dyslokacji ze źródeł Franka-Reada i przemieszczaniu takich dyslokacji po płaszczyźnie w której zostały wyemitowane, aż do zatrzymania się na przeszkodach wewnętrznych.



Mechanizm prowadzi do lokalnych spiętrzeń naprężeń wewnętrznych.



Mechanizm jest charakterystyczny dla materiałów z niską energią błędu ułożenia – brązy, mosiądze, stale austenityczne, stopy niklu.

MATERIAŁOZNAWSTWO

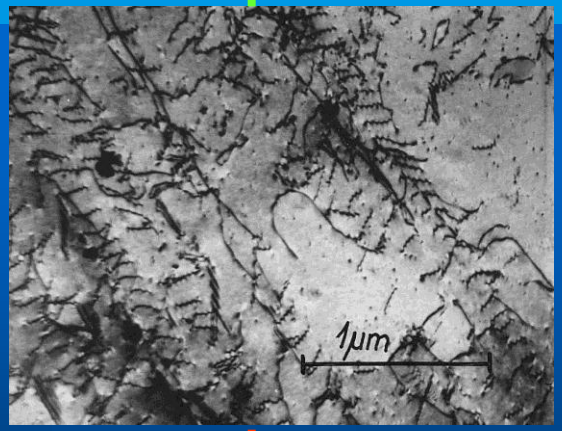
Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

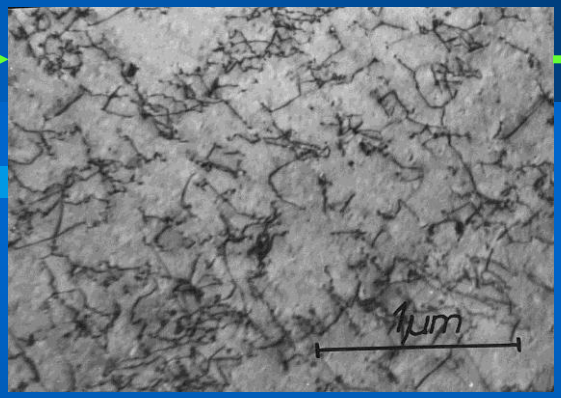
Odkształcenie plastyczne - podział:

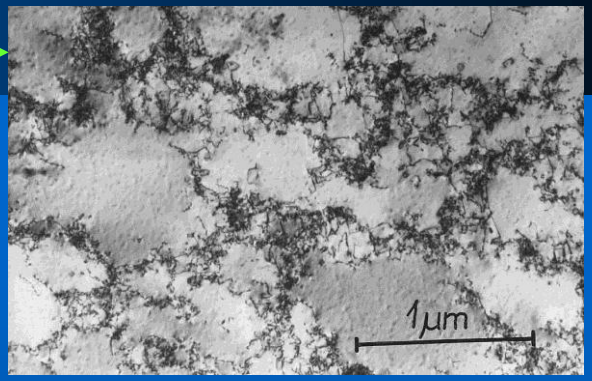
MECHANIZM ZRELAKSOWANY:

Polega na emitowaniu dyslokacji ze źródeł Franka-Reada i przemieszczaniu takich dyslokacji po płaszczyźnie w której zostały wyemitowane i rozpraszaniu powstających spiętrzeń przez poślizg poprzeczny i wspinanie zanim dojdzie do ich zatrzymania się na przeszkodach wewnętrznych.

Mechanizm zrelaksowany

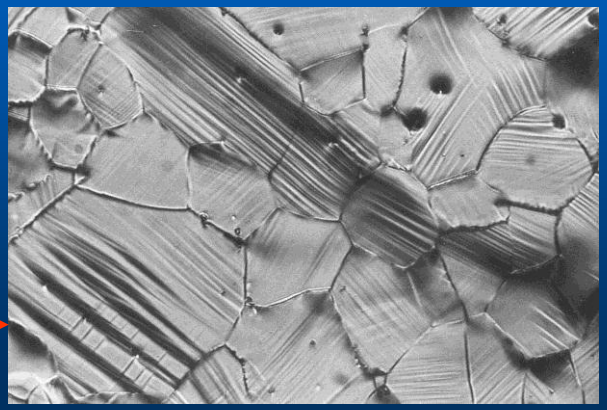






Mechanizm spiętrzeniowy





KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI
PROJEKT FINANSOWANY ZE ŚRODKÓW UNII EUROPEJSKIEJ I BUDŻETU PAŃSTWA
W GŁOGOWIE PWSZ
UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ SPOŁECZNY
KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

MATERIAŁOZNAWSTWO

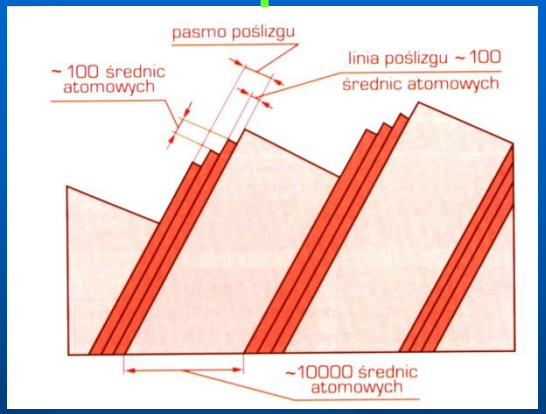
Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Odkształcenie plastyczne - podział:

MECHANIZM KOLEKTYWNEGO ŚCIĘCIA (PASM ŚCINANIA) :

Ma miejsce dla dużych odkształceń plastycznych i polega na jednoczesnym uruchomieniu poślizgu dyslokacyjnego lub kombinacji poślizgów na wielu blisko siebie położonych płaszczyznach, w których panuje najwyższe naprężenie ścinające. Realizacja takiego ścięcia wnosi bardzo duże lokalne deformacje postaciowe silnie zlokalizowane w pewnych fragmentach objętości materiału. Inne objętości pozostają słabo odkształcone. Szczegóły tego mechanizmu nadal pozostają nieznane.

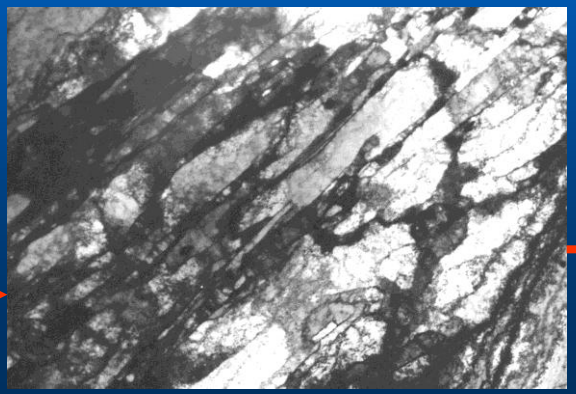
Mikroskop świetlny



Mikroskop elektronowy









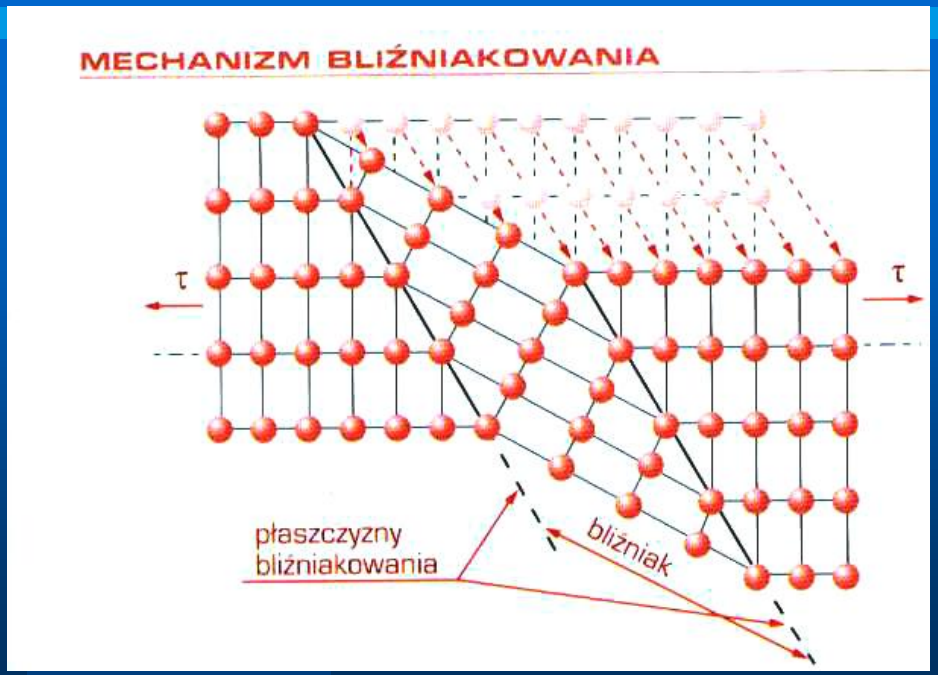
MATERIAŁOZNAWSTWO

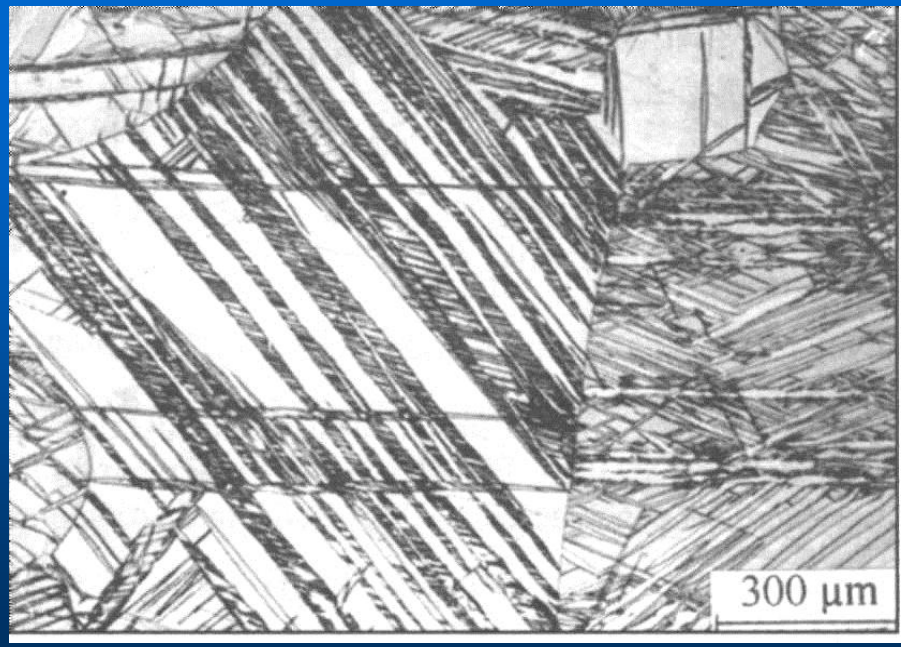
Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Odkształcenie plastyczne - podział:

MECHANIZM BLIŹNIAKOWANIA :

Bliźniakowanie to mechanizm odkształcenia prowadzący do lokalnej zmiany orientacji sieci krystalicznej w taki sposób, że powstaje lustrzane odbicie sieci wzdłuż wspólnej dla obu części kryształów płaszczyzny krystalograficznej (płaszczyzny habitus) poprzez przesunięcia wszystkich atomów w bliźniaku o stałą część parametru sieci w każdej sąsiedniej płaszczyźnie bliźniakowania.



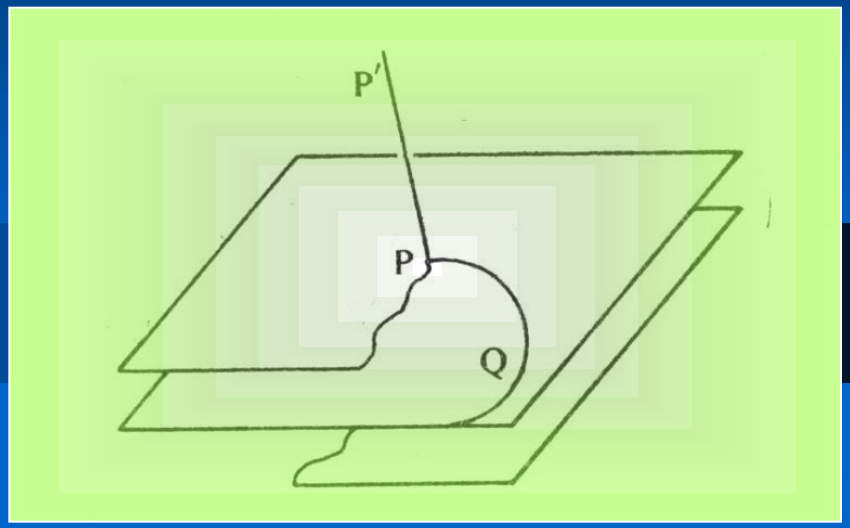


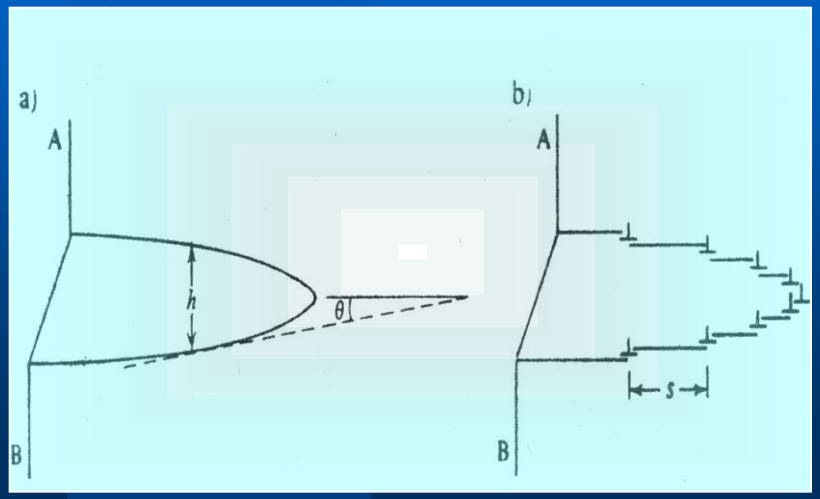
MATERIAŁOZNAWSTWO

Odkształcenie plastyczne - podział:

MECHANIZM BIEGUNOWY BLIŹNIAKOWANIA :

Bliźniakowanie takim mechanizmem jest realizowane poprzez ruch dyslokacji częściowej (wektor Burgersa mniejszy niż odległości pomiędzy węzłami sieci) w płaszczyźnie bliźniakowania w sieci zawierającej śrubową dyslokację o wektorze prostopadłym do płaszczyzny bliźniakowania. Prosta PP' jest równoległa do linii dyslokacji śrubowej prostopadłej do płaszczyzny w której przemieszcza się częściowa krawędziowa dyslokacja PQ o wektorze Burgersa leżącym w płaszczyźnie.





MECHANIZM HOMOGENICZNY BLIŹNIAKOWANIA:

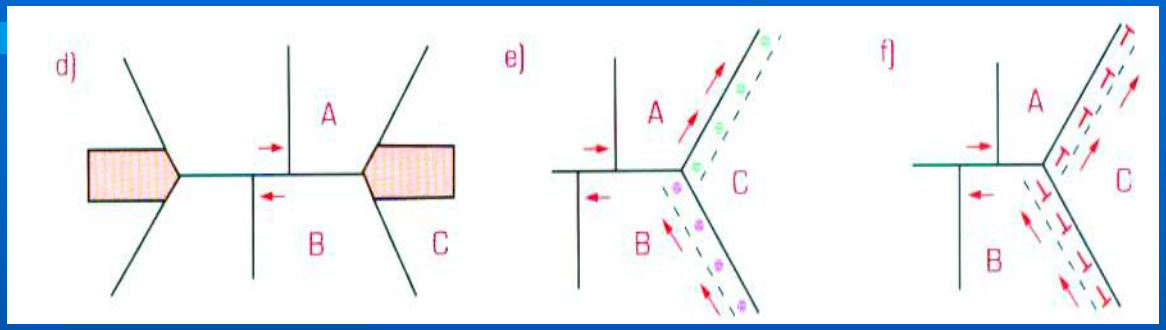
Bliźniakowanie odbywa się poprzez niestabilność sieci to znaczy równoczesny przeskok wszystkich atomów bliźniaka w najbliższe pozycje bliźniacze a na granicach z osnową powstają akomodacyjne dyslokacje częściowe. Lub poprzez kolektywny ruch dyslokacji częściowych wytwarzanych homogenicznie na każdej kolejnej płaszczyźnie bliźniakowania.

MATERIAŁOZNAWSTWO

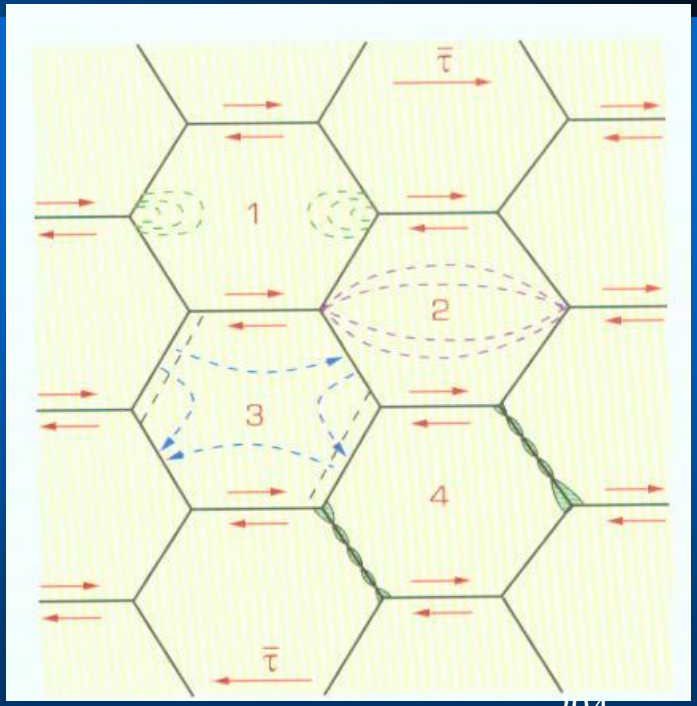
Odkształcenie plastyczne - podział:

POŚLIZG PO GRANICACH :

Poślizg po granicach ziaren polega na zmianie sąsiedztwa atomów znajdujących się w granicy ziarna w taki sposób, że całe ziarna zmieniają swoje położenie względem siebie. Mechanizm takiego ruchu wymaga albo ruchu dyslokacji granic ziaren, albo lokalnie działającego mechanizmu dekohezji i rekohezji lub intensywnego ruchu dyfuzyjnego dużej liczby atomów w sąsiedztwie granicy zapewniającego quazi-ciekłe zachowanie się takiej warstwy.



Poślizg po granicach zachodzi w wysokich temperaturach musi być akomodowany wewnątrz ziaren mechanizmami dyslokacyjnymi lub dyfuzyjnymi i ma ograniczona prędkość.

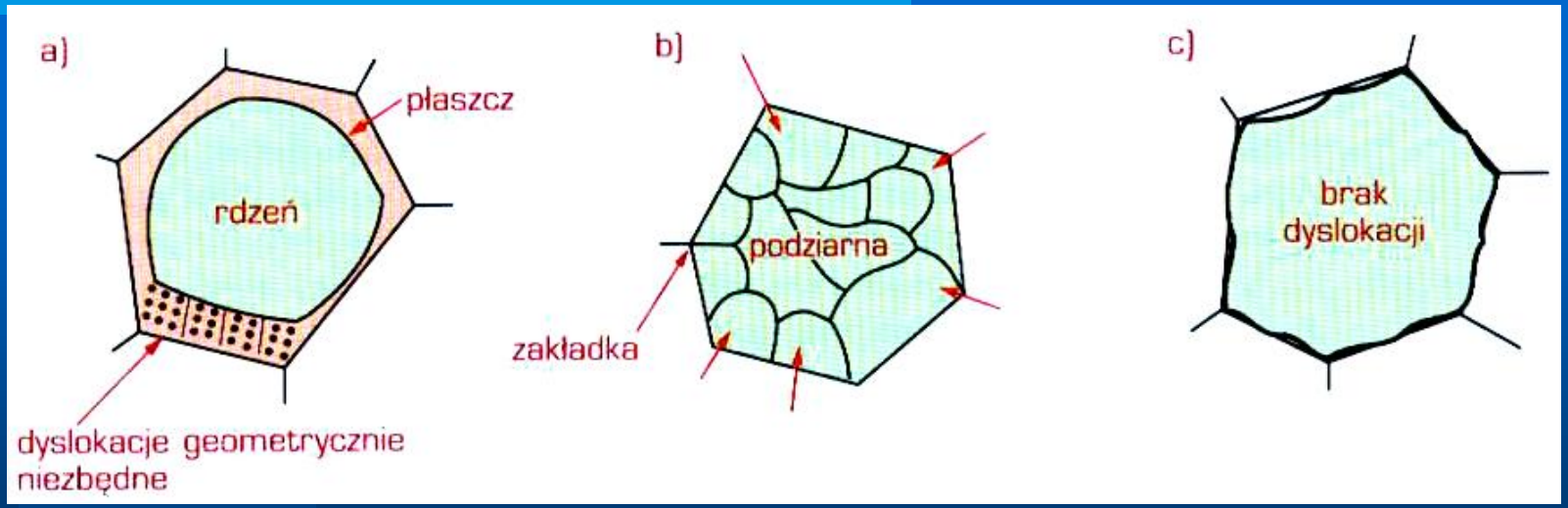


MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Odkształcenie plastyczne - podział:

***WYSOKOTEMPERATUROWE PASMA POŚLIZGU*:**
Tego rodzaju mechanizm działa przy wysokich temperaturach i dużych deformacjach. Polega na poślizgu względem siebie całych bloków materiału praktycznie nie odkształconego w jednym lub (zwykle) wielu systemach poślizgu determinowanych przez maksymalne naprężenia styczne. Najczęściej takie pasma tworzą się w trakcie odkształcenia w pobliżu granic ziaren. Ze względu na makroskopowy charakter ścięcia w pasmach, nie wymagają one akomodacji dla zachowania spójności materiału. Podobnie jak pasma ścinania w niskich temperaturach dokładny mechanizm realizacji odkształcenia jest nie poznany.

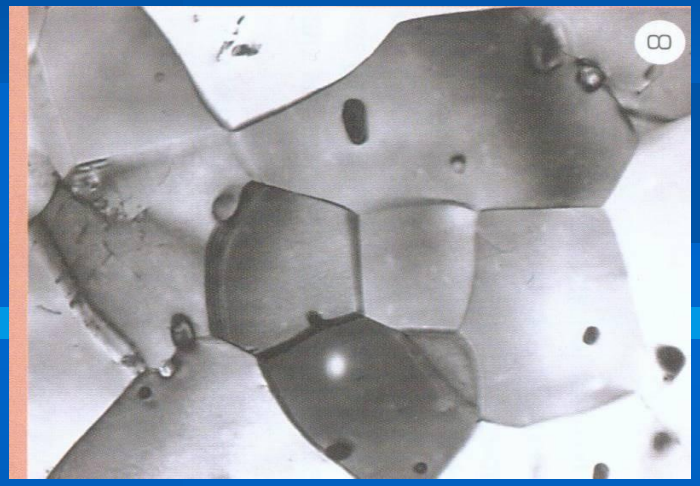


Poślizg w wysokotemperaturowych pasmach zachodzi w wysokich temperaturach w obszarach o znacznej grubości.

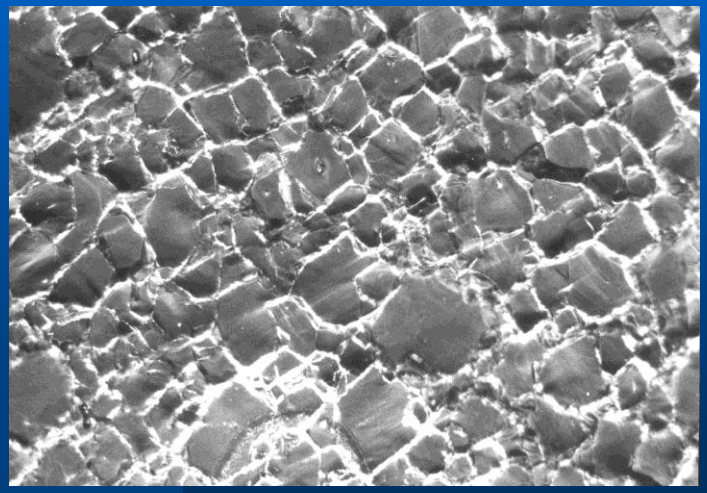
MATERIAŁOZNAWSTWO

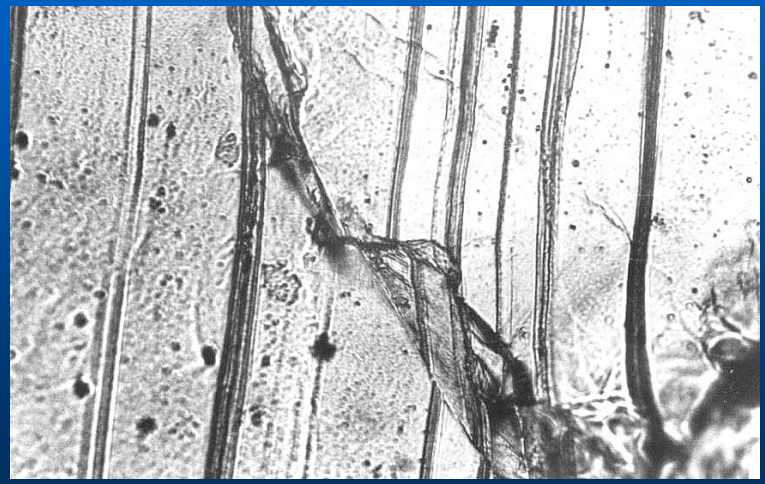
Odkształcenie plastyczne - podział:

WYSOKOTEMPERATUROWE PASMA POŚLIZGU – rozwój struktury pasm podczas deformacji stopu AlMg4,5 w temperaturze 320C.









KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI
PROJEKT FINANSOWANY ZE ŚRODKÓW UNII EUROPEJSKIEJ I BUDŻETU PAŃSTWA
W GŁOGOWIE PWSZ
UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ SPOŁECZNY
KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Odkształcenie plastyczne

*Generalne cechy **mechanizmów dyslokacyjnych***

1. Naprężenia krytyczne (progowe) poniżej, którego proces nie zachodzi,
2. Tylko składowe styczne (ścinające) stanu naprężenia realizują proces,
3. Radykalna zmiana struktury materiału,
4. Zmienianie stanu termodynamicznego materiału,
5. Słaba zależność od temperatury taka jak zależność stałych sprężystych,
6. Słaba zależność od prędkości odkształcenia
7. Wrażliwość na zmianę kierunku odkształcenia,
8. Duża wydajność przy wysokich naprężeniach,
9. Skłonność do lokalizacji powodowanej samowzbudną koncentracją naprężeń,
10. Wrażliwość na obecność w strukturze defektów o polu naprężeń sprężystych,

Mechanizmy dyslokacyjne dominują w niskich temperaturach i przy dużych prędkościach odkształcenia.

Dają możliwość świadomej ingerencji w strukturę i własności użytkowe materiału!!!

MATERIAŁOZNAWSTWO

Odkształcenie plastyczne

Generalne cechy ***mechanizmów bezdyslokacyjnych***

1. Brak naprężenia krytycznego (progowego) - proces zachodzi przy każdym naprężeniu,
2. Każdy stan naprężenia wywołujący gradient potencjałów realizuje proces,
3. Nieznaczna zmiana struktury materiału,
4. Niezmienność stanu termodynamicznego materiału,
5. Silna zależność od temperatury,
6. Silna zależność od prędkości odkształcenia,
7. Niezależność od kierunku odkształcenia,
8. Słaba zależność wydajności od naprężenia,
9. Skłonność do lokalizacji powodowanej niejednorodnością materiału,
10. Wrażliwość na obecność w strukturze defektów stymulujących dyfuzję atomów,

Mechanizmy bezdyslokacyjne dominują w wysokich temperaturach i przy bardzo małych i małych prędkościach odkształcenia.

Dają możliwość minimalizacji siły i energii kształtowania materiału!!!

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

1. **W realnych procesach odkształcenia metali więcej niż jeden mechanizm odkształcenia występuje równocześnie lub po sobie przenosząc zmienne ilości deformacji plastycznej.**

2. Każdy z mechanizmów może posiadać różną kinetykę realizacji odkształcenia w zależności od zaawansowania procesu, temperatury i prędkości uzupełniając się wzajemnie tak aby zaspokoić potrzeby wymuszenia zewnętrznego.

3. Poszczególne mechanizmy mogą oddziaływać na siebie hamując lub przyspieszając działanie innego, mogą być zatem i w synergii i w addytywności do siebie.

4. Obowiązuje zasada uruchomienia mechanizmu o najniższym naprężeniu krytycznym to znaczy, że zawsze mechanizm o najniższym naprężeniu uruchomi się przy zadanych warunkach jako pierwszy.

5. **Uruchomienie mechanizmu odkształcenia plastycznego jest równoznaczne z osiągnięciem krytycznego naprężenia niszczenia konstrukcji lub minimalnego naprężenia kształtowania plastycznego.**

ZMIANA WŁASNOŚCI MECHANICZNYCH ?
- tylko poprzez ingerencję w
mechanizmy deformacji plastycznej !!!

MATERIAŁOZNAWSTWO

Każde odkształcenie plastyczne wymaga wykonania pracy zewnętrznej równej:

$$e = \int \sigma(\varepsilon) d\varepsilon$$

e- praca odkształcenia na jednostkę objętości, σ(ε) – naprężenie płynięcia, ε – odkształcenie plastyczne

Odkształcenie plastyczne jest termodynamicznie przemianą nieodwracalną to znaczy, że w przeciwieństwie do odkształcenia sprężystego, nie można odzyskać pracy zewnętrznej włożonej w odkształcenie plastyczne.

Co się dzieje z pracą odkształcenia plastycznego?

1. Jest rozpraszana w materiale odkształcanym i oddawana do otoczenia w różnych postaciach.
2. Jest magazynowana w materiale w postaci pól sprężystej deformacji wokół defektów sieci wprowadzonych do materiału podczas deformacji.

INNY PODZIAŁ MECHANIZMÓW DEFORMACJI:

Mechanizmy akumulatywne

1. Poślizg dyslokacyjny
2. Bliźniakowanie
3. Poślizg w pasmach ścinania

Mechanizmy dyssypatywne

1. Poślizd po granicach
2. Wiskozyjne ścinanie
3. Mechanizm Herringa-Nabarro
4. Mechanizm Cobla

Każdy mechanizm kreujący defekty jest mechanizmem akumulatywnym.
Każdy mechanizm deformacji bez kreacji defektów jest mechanizmem dyssypatywnym.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Zjawisko zwiększania granicy plastyczności (naprężenia uplastyczniającego) w wyniku procesów zachodzących we wnętrzu materiału prowadzących do zmian budowy wewnętrznej metali i stopów nazywamy
UMOCNIENIEM.

Każda sieć krystaliczna metali posiada własne minimalne naprężenie krytyczne niezbędne do uruchomienia któregoś z mechanizmów deformacji plastycznej.

Dla mechanizmów dyslokacyjnych jest to naprężenie Paierlsa potrzebne do przesunięcia swobodnej dyslokacji w sieci doskonałej i/lub naprężenie emisji dyslokacji ze źródeł.
Wartość takich naprężeń jest determinowana przez typ sieci oraz oddziaływania międzyatomowe w sieci i stanowi wartość charakterystyczną dla danego pierwiastka.

Dla mechanizmów dyfuzyjnych jest to naprężenie minimalne wywołujące powstanie gradientu potencjałów chemicznych niezbędnych do uruchomienia niezerowego makroskopowo strumienia dyfuzji.
Takie naprężenie jest silnie zależne od temperatury i jego wartość silnie wpływa na prędkość procesu deformacji.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Sposoby umacniania metali i stopów:

1. Umocnienie przez dodatek stopowy do roztworu stałego – umocnienie roztworowe.

2. Umocnienie przez rozproszone cząstki innej fazy – umocnienie cząstkami faz obcych.

3. Umocnienie przez odkształcenie plastyczne – umocnienie odkształceniowe.

4. Umocnienie przez zmniejszenie wielkości ziarna – umocnienie Halla-Petcha.

Technologię umacniania materiałów nazywa się obróbką (przeróbką):

- obróbka chemiczna,
- obróbka cieplna,
- obróbka (przeróbka) plastyczna (mechaniczna),
- obróbka cieplno-plastyczna (cieplno-mechaniczna)
- obróbka cieplno-chemiczna

Poszczególne operacje obróbek nazywa się zabiegami obróbki.

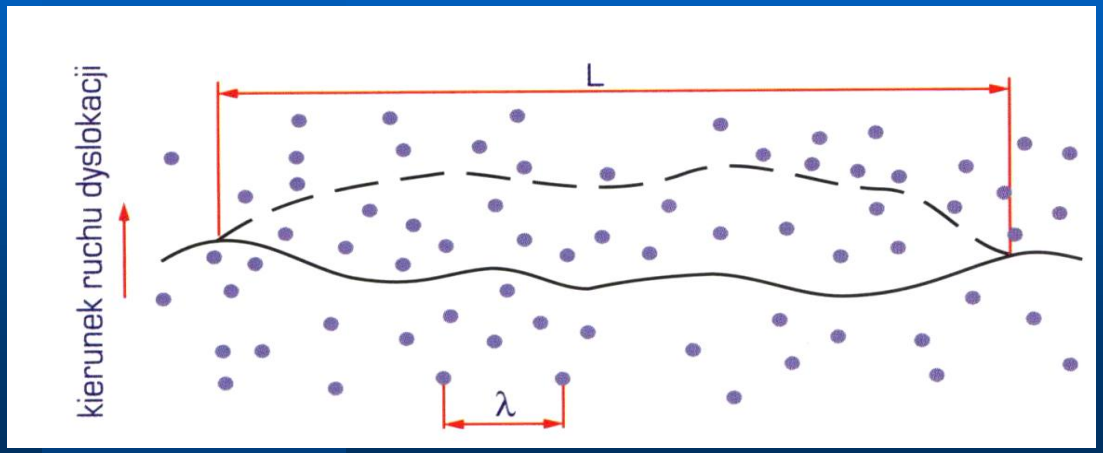
MATERIAŁOZNAWSTWO

Umocnienie roztworowe metali i stopów:

Polega na wprowadzeniu do sieci pierwiastka umacnianego innych atomów tworzących roztwór stały.

Atomy takie prowadzą do :

- Zmiany sił Paierlsa poprzez zmianę sił oddziaływań międzyatomowych.
- Tworzenie skupisk atomów (klasterów) mogących stanowić zakotwiczenia źródeł dyslokacji i zmniejszając długość swobodnego segmentu dyslokacji w źródłach dyslokacyjnych.
- Zmianę energii błędu ułożenia i uniemożliwianie zmiany płaszczyzny poślizgu przez dyslokacje.
- Blokowanie mechanizmów relaksacyjnych poprzez obniżenie ruchliwości dyslokacji.
- Zmianę współczynników samodyfuzji oraz zmianę właściwości granicy ziaren poprzez segregacje dodatków stopowych



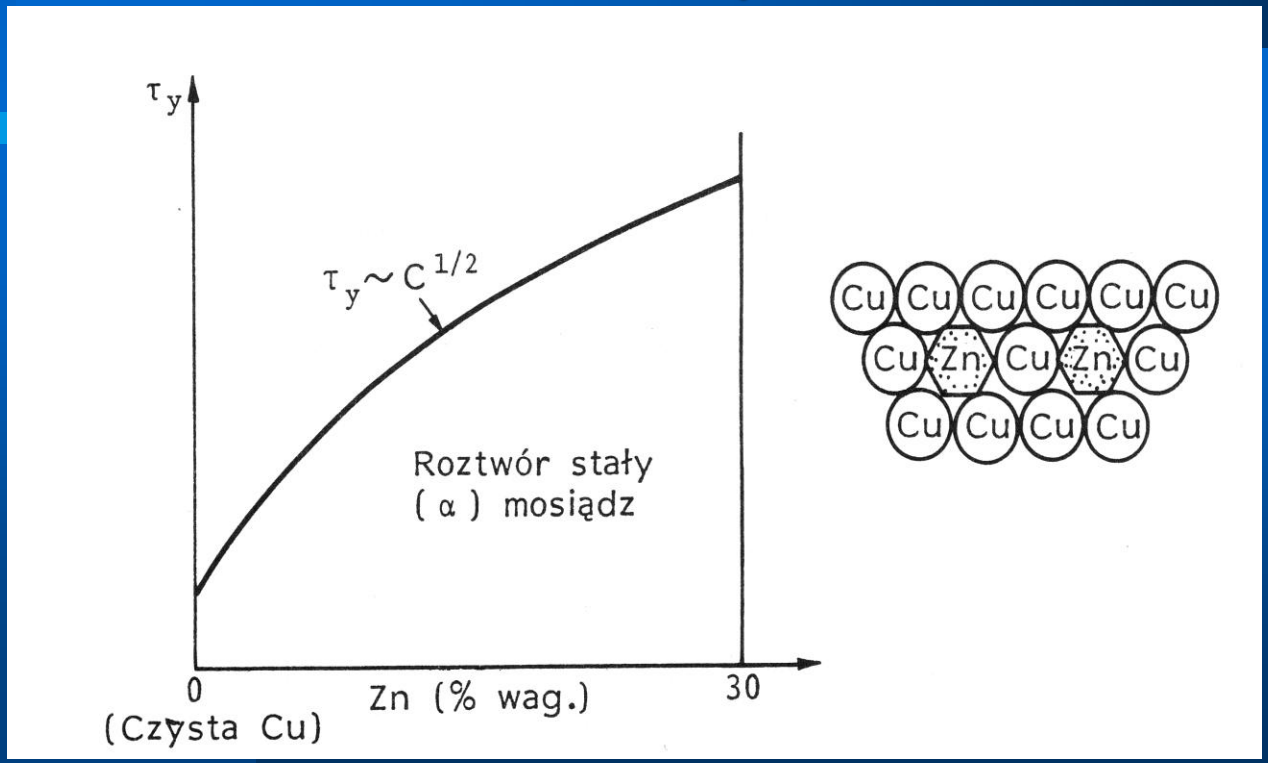
Ograniczenie swobody ruchu dyslokacji powoduje konieczność zwiększenia naprężenia potrzebnego do przemieszczania się dyslokacji przez system przeszkód jakimi są atomy obce i ich klastery, a zatem podnosi własności mechaniczne materiału.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Umocnienie roztworowe metali i stopów:

Umocnienie roztworowe bardzo silnie podnosi naprężenie uplastyczniające dla bardzo niewielkich stężeń pierwiastka stopowego. W zakresie do 0% do ok. 0,1% Zn w Cu naprężenie płynięcia wzrasta dziesięciokrotnie. Dla wyższych stężeń Naprężenie krytyczne dla uruchomienia odkształcenia plastycznego staje się proporcjonalne do pierwiastka ze stężenia.

$$\tau_y \sim C^{1/2}$$



MATERIAŁOZNAWSTWO

Umocnienie metali i stopów cząstkami faz obcych:

Polega na wprowadzeniu do stopu pierwiastka nierozpuszczalnego lub tworzącego fazy nierozpuszczalne w osnowie i maksymalnym rozproszeniu tych nierozpuszczalnych faz w osnowie. Rozproszone cząstki stanowią trwałe bariery dla ruchu dyslokacji i inicjacja odkształcenia plastycznego przez ruch dyslokacji wymaga bardzo wysokiego naprężenia

Dwa sposoby tworzenia obcych faz umacniających:

1. Fazy umacniające **powstające w osnowie w stanie ciekłym** i ich równomierne rozproszenie w stanie ciekłym w postaci drobnych cząstek, które w czasie krzepnięcia zachowują równomierność rozkładu i zajmują pozycje wewnątrz ziaren osnowy - **UMOCNIENIE DYSPERSYJNE.**

2. Fazy umacniające **powstające w osnowie w stanie stałym** podczas procesu wydzielania z roztworu przesyconego ich wielkość i rozproszenie zależy od warunków obróbki cieplnej – **UMOCNIENIE WYDZIELENIOWE**

MATERIAŁOZNAWSTWO

Umocnienie metali i stopów cząstkami faz obcych:

Wartość umocnienia zależy od odległości pomiędzy cząstkami, to jest od ich ilości, wymiarów i dyspersji.

Siła i skuteczność umocnienia cząstkami faz obcych zależy również od sposobu oddziaływania dyslokacji poślizgowych z cząstkami.

Cząstki koherentne z osnową mogą być ścinane, ale siła niezbędna do tego zależy od rodzaju cząstki, wielkości cząstki, różnicy modułów sprężystości i stopnia koherencji.

Dla cząstek nie koherentnych dyslokacje nie posiadają zdolności ich ścinania i mogą je jedynie omijać.

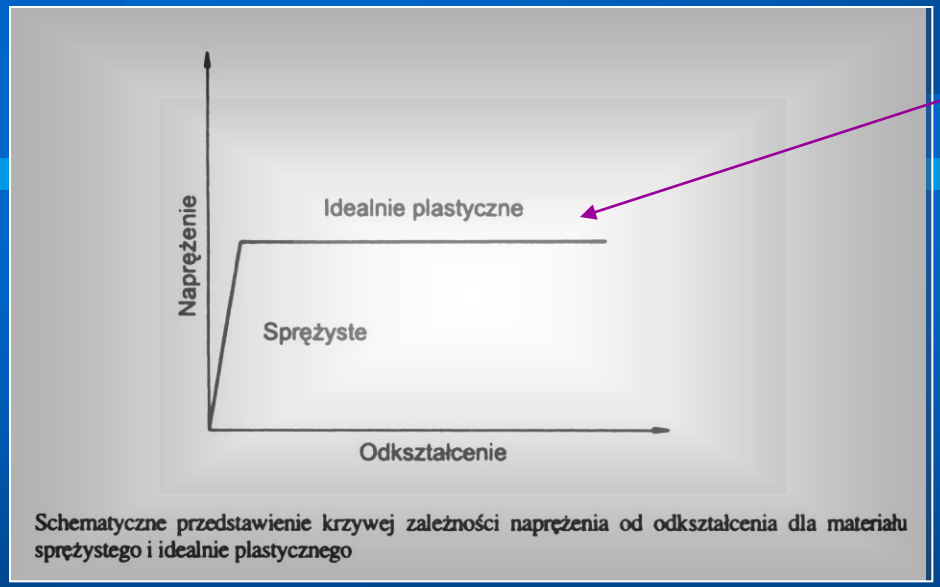
Koherencja (spójność) cząstek - stopień dopasowania sieci cząstek fazy obcej z osnową.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Umocnienie odkształceniowe metali i stopów:

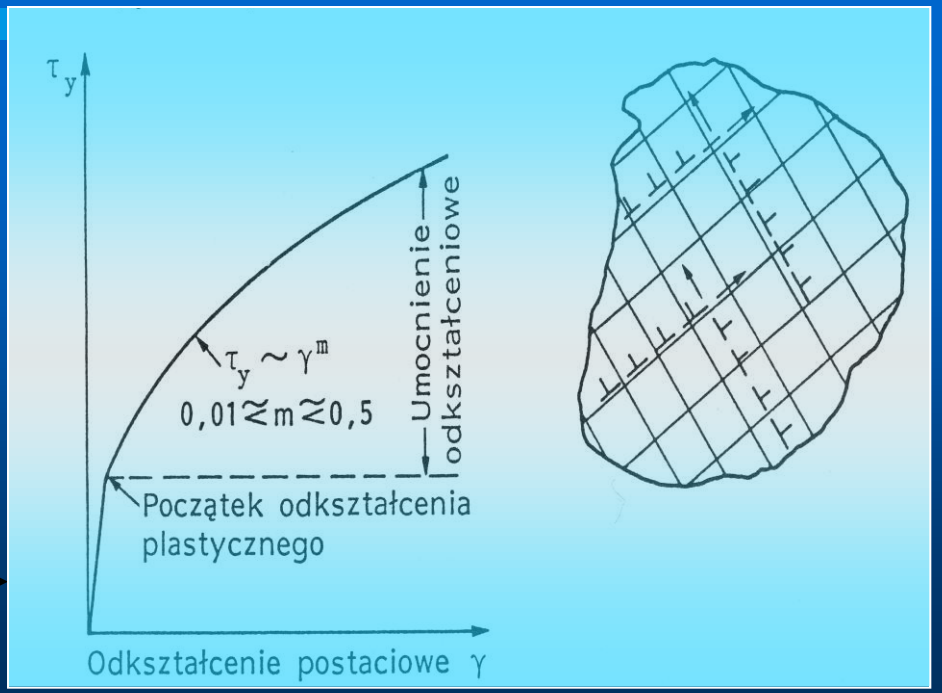
Mechanizm deformacji plastycznej , który sam nie generuje barier dla nośników odkształcenia realizuje odkształcenie
IDEALNIE SPRĘŻYSTO - PLASTYCZNE



Schematyczne przedstawienie krzywej zależności naprężenia od odkształcenia dla materiału sprężystego i idealnie plastycznego

Brak akumulacji energii wewnątrz materiału

Akumulacja defektów posiadających własne pola naprężeń powoduje umocnienie odkształceniowe



MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

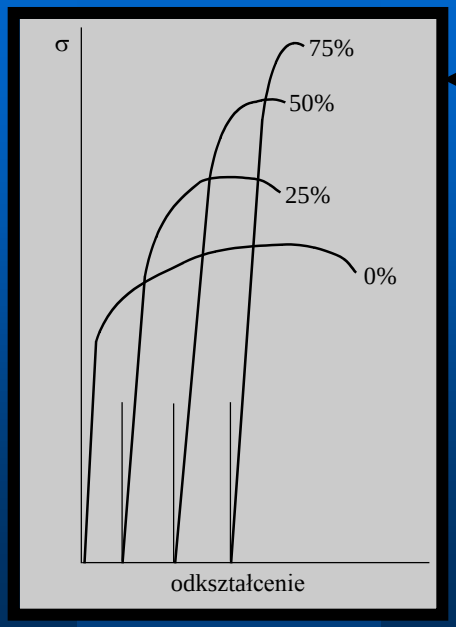
Umocnienie odkształceniowe metali i stopów:

Miarą siły umocnienia odkształceniowego jest prędkość umocnienia:

$$\Theta = d\sigma/d\varepsilon$$

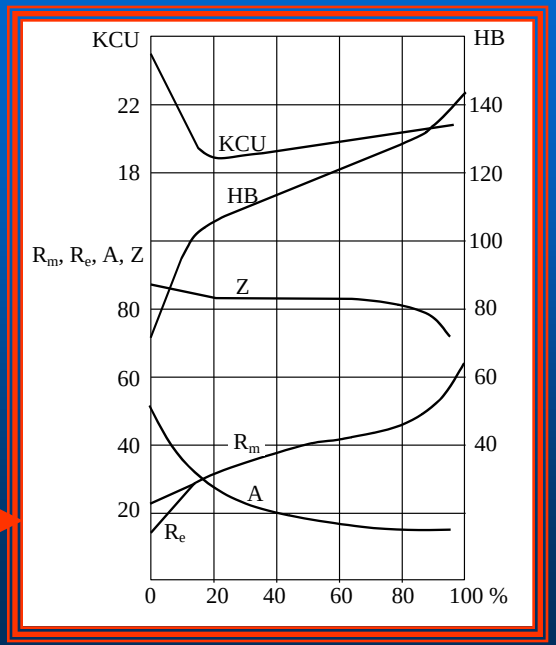
Prędkość umocnienia jest największa na początku deformacji i maleje do zera przy utracie stateczności deformacji (lokalizacja deformacji).

W rzeczywistości umocnienie odkształceniowe zanika dopiero przy bardzo dużych odkształceniach, kiedy ustala się równowaga pomiędzy dessypacją i akumulacją energii w materiale.



Krzywe rozciągania materiału
po różnych stopniach odkształcenia

Zmiana własności mechanicznych
mosiądzu na skutek odkształcenia
plastycznego na zimno



MATERIAŁOZNAWSTWO

Umocnienie odkształceniowe metali i stopów:

Dodatkowym skutkiem odkształcenia przez poślizg jest ***tekstura krystalograficzna i włóknistość struktury*** ziaren.

Tekstura to zaburzenie przypadkowości w *orientacjach krystalograficznych ziaren* wywołane procesami technologicznymi. Innymi słowy – pojawienie się uprzywilejowanej orientacji krystalograficznej w zbiorze ziaren materiału nazywa się teksturą o orientacji tych ziaren.

Włóknistość struktury ziaren to uprzywilejowane ustawienie się w przestrzeni materiału *kształtów ziaren i powierzchni granic ziaren* w stosunku do wyróżnionych zewnętrznych kierunków.

Włóknistość i tekstura to dwa różne pojęcia mające jednak wpływ na umocnienie odkształceniowe materiału i powodujące anizotropię* własności materiałów.

**Anizotropia właściwości to zróżnicowanie właściwości w zależności od kierunku badania*

Tylko dyslokacyjne mechanizmy deformacji prowadzą do umocnienia odkształceniowego

MATERIAŁOZNAWSTWO

Umocnienie Halla-Petcha metali i stopów:

Co wiadomo o granicach ziaren?

1. Sa defektami powierzchniowymi sieci - skokowa zmiana orientacji krystalograficznej.
2. Są mocnymi przeszkodami dla ruchu dyslokacji.
3. Oddziaływają na obszary przygraniczne zmieniając ich własności.
4. Są obszarem wymagającym akomodacji przy odkształceniu plastycznym.
5. Mogą być ujściem i źródłem defektów sieci (dyslokacje, wakancje, atomy międzywęzło
6. Mogą być miejscem segregacji domieszek.
7. Są obszarami o podwyższonej energii.
8. Silnie zmieniają swoje własności w temperaturach powyżej 0,4 ÷ 0,6 T_m.

Hall i Petch (1950) stwierdzili empirycznie, że wielkość ziaren wpływa na naprężenie płynięcia zgodnie z równaniem:

$$\sigma_{pl} = \sigma_0 + k_y d^{-1/2}$$

Gdzie : σ_0 i k_y stałe empiryczne równania Halla - Petcha

MATERIAŁOZNAWSTWO

Umocnienie Halla-Petcha metali i stopów:

Równanie Halla – Petcha pozostaje nadal jednym z niewyjaśnionych problemów metaloznawstwa. Najbardziej rozpowszechnione hipotezy to:

1. **Teoria spiętrzeniowa** – do kontynuacji odkształcenia przez granicę w małych ziarnach trzeba przyłożyć wyższe naprężenie zewnętrzne ponieważ w takim przypadku ilość dyslokacji w spiętrzeniach na granicach jest mniejsza, zatem koncentracja naprężenie działające na granicy (proporcjonalna do ilości dyslokacji w spiętrzeniu) **jest mniejsza.**
2. **Teoria swobodnej drogi dyslokacji** – **im mniejsze ziarno tym krótsza swobodna droga ruchu dyslokacji, stąd zgodnie z równaniem Orowana ($\varepsilon = b \cdot \rho \cdot x$) dla utrzymania tego samego odkształcenia trzeba wyemitować więcej dyslokacji a ich wzajemne oddziaływania podnoszą naprężenie płynięcia.**
3. **Teoria emisji dyslokacji ze źródeł** - im mniejsze jest ziarno to tym mniejsza jest długość swobodnego segmentu dyslokacji stanowiących potencjalne źródła dyslokacyjne, a czym mniejszy segment swobodny źródła, tym wyższe naprężenie emisji zgodnie z zależnością $\tau = \mu \cdot b/l$.
4. **Teoria emisji dyslokacji z granicy** – im mniejsze ziarno, tym krótsze segmenty granicy pomiędzy punktami potrójnymi i mniejsze uskoki na granicach. Dlatego wyemitowanie dostatecznej ilości dyslokacji z takich granic wymaga większego naprężenia.
5. I kilkanaście innych teorii…

MATERIAŁOZNAWSTWO

Dla warunków, w których naprężenie płynięcia kontrolowane jest przez mechanizmy bezdyslokacyjne (dyssypatywne) umocnienie metali i stopów jest możliwe tylko poprzez blokowanie tych mechanizmów lub eliminowanie obszarów ich aktywności.

Podniesienie żarowytrzymałości:

1. Wprowadzenie dodatków stopowych silnie wiążących wakancje i obniżających dyfuzyjność materiału.
2. Wprowadzenie dużej ilości koherentnych wydzieleń trwałych w wysokich temperaturach stanowiących pułapki dla defektów punktowych.

Podniesienie odporności na pełzanie wysokotemperaturowe:

1. Wprowadzenie dodatków nierozpuszczalnych silnie segregujących do granic ziaren.
2. Wprowadzenie trwałych wydzieleń nie koherentnych blokujących pełzanie dyslokacyjne kontrolowane przez samodyfuzję (wspinanie dyslokacji).
3. Eliminacja granic ziaren przez monokrystalizację materiału.
4. Wytworzenie struktury ziarnowej kierunkowej (krystalizacja kierunkowa) uniemożliwiającej poślizg po granicach w kierunku największych obciążeń.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Każde ciało odsunięte od stanu równowagi termodynamicznej dąży do powrotu do stanu minimum energetycznego. Mechanizmy fizyczne, które realizują procesy powrotu do równowagi termodynamicznej nazywamy ***procesami relaksacyjnymi***.

Przykłady procesów relaksacyjnych:

Przykład A. Obciążenie siłą mechaniczna w zakresie sprężystym powoduję wzrost energii o wartość energii sprężystej. Uruchomienie pełzania dyslokacyjnego obniża energię ciała obciążonego o wartość energii dyssypowanej podczas ruchu dyslokacji. Zamiana odkształcenia sprężystego na plastyczne powoduje obniżenie naprężenia sprężystego.

Przykład B. Wprowadzenie dużej ilości wakancji w czasie chłodzenia z wysokich temperatur uruchamia proces wzmożonej samodyfuzji po to by skondensować wakancje w układy o mniejszej energii, lub je anihilować w miejscach do tego możliwych (granice ziaren, powierzchnia).

Przykład C. Zmiana spiętrzenia dyslokacyjnego w układ rozproszonych dyslokacji poprzez lokalny poślizg poprzeczny i wspinanie segmentów dyslokacji obniża energię układu dyslokacyjnego ponieważ obniża pola naprężeń pochodzących od oddziaływań dyslokacji, choć nie zmienia ilości dyslokacji również posiadających energię własną.

Przykład D. Pękanie próbki odkształcanej w maszynie wytrzymałościowej jest procesem relaksacyjnym dla energii sprężystej zgromadzonej w materiale przy rozciąganiu.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Sposoby gromadzenia energii w materiale:

- *Drgania atomów w węzłach sieciowych.*
- *Energia kinetyczna elektronów swobodnych.*
- *Energia defektów struktury.*
- *Energia wewnętrznych pól sprężystych.*

Sposób A. i B. odpowiada za zmiany temperatury ciała, sposób C. i D. gromadzi energię nadmiarową (utajoną) odsuwającą ciało od stanu równowagi termodynamicznej bez zmiany temperatury.

Zmniejszenie lub całkowite wydzielenie energii nadmiarowej (utajonej) jest istotą procesów relaksacyjnych.

Tylko procesy akumulatywne prowadzą do pojawienia się w materiale energii utajonej.

Procesy takie to:

1. **Odkształcenie plastyczne mechanizmami dyslokacyjnymi.**
2. **Napromieniowanie promieniowaniem twardym.**
3. **Przechłodzenie – nierównowagowe przemiany fazowe.**

MATERIAŁOZNAWSTWO

Mechanizm relaksacji może mieć charakter:

Siłą napędową procesów relaksacyjnych jest wartość energii utajonej.

atermiczny (niezależny od temperatury) – *np. pękanie, atermiczne odkształcenie plastyczne itp.. - to procesy szybkie, niekontrolowane zewnętrznie, występujące najczęściej wraz z procesem zwiększania energii utajonej.*

termicznie aktywowany (wspomagany przez fluktuacje energii termicznej) – *np. dyfuzja defektów punktowych, aktywowany termincznie ruch dyslokacji, dyfuzyjne migracje granic ziaren itp.. – to procesy wolne o szybkości zależnej silnie od temperatury, zachodzące niezależnie od procesu zwiększania energii nadmiarowej , POZWALAJĄ NA KONTROLĘ URUCHOMIENIA I KINETYKI PRZEZ ODPOWIEDNIE ZABIEGI Z ZEWNĄTRZ.*

Relaksacyjne procesy aktywowane termicznie uruchamia się w zabiegach wyżarzania w podwyższonych i wysokich temperaturach.
W zależności od temperatury wyżarzania mogą się uruchamiać różne mechanizmy relaksacyjne!!!

MATERIAŁOZNAWSTWO

Sposoby gromadzenia energii utajonej przy odkształceniu dyslokacyjnym:

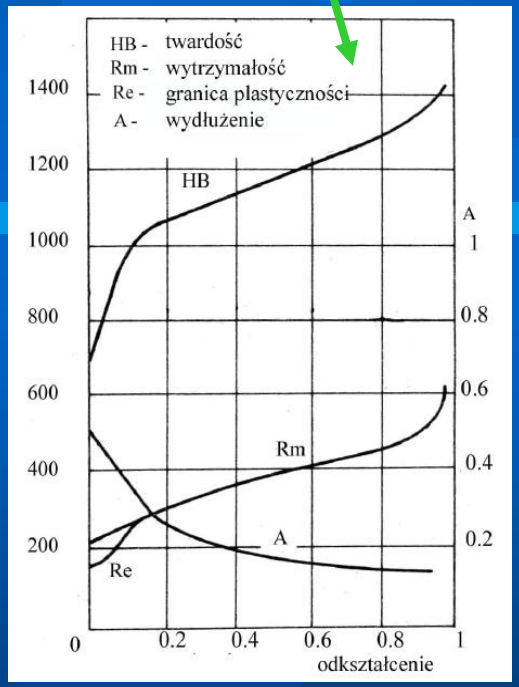
1. Wzrost ilości defektów punktowych o 5÷8 rzędów wielkości – w wyniku przecinania się dyslokacji, lokalnego wspinania się dyslokacji krawędziowych, skracania i dzielenia dipoli dyslokacyjnych, itp…
2. Wzrost gęstości dyslokacji z $(10^7 \div 10^8)$cm/cm^3 do około 10^{12}cm/cm^3 - w wyniku emisji dyslokacji ze źródeł wewnątrz ziaren i na ich granicach, przenoszących odkształcenie i gromadzenia się ich przy trwałych przeszkodach.
3. Zmiana kształtu i powierzchni granic ziaren od kilku do kilkuset procent – w wyniku deformacji poszczególnych ziaren przy zachowaniu stałej objętości wzrasta szybko powierzchnia granic ziaren oraz przy dużych odkształceniach następuje dodatkowo fragmantacja ziaren w wyniku ścięć przez pasma ścinania.
4. Wzrost ilości i stopnia rozwarcia mikro-szczelin – w wyniku przecinania się mikro-pasm ścinania, niedostatków akomodacji plastycznej na granicach ziaren i pękania nieodkształcalnych wtrąceń i innych barier dla ruchu dyslokacji.
5. Pojawienie się pól naprężeń dalekiego zasięgu (naprężenia wewnętrzne) – w wyniku wzajemnych oddziaływań dyslokacji, oddziaływań sprężystych dyslokacji z przeszkodami oraz tworzenia się podczas odkształcenia wysokoenergetycznych układów dyslokacyjnych.

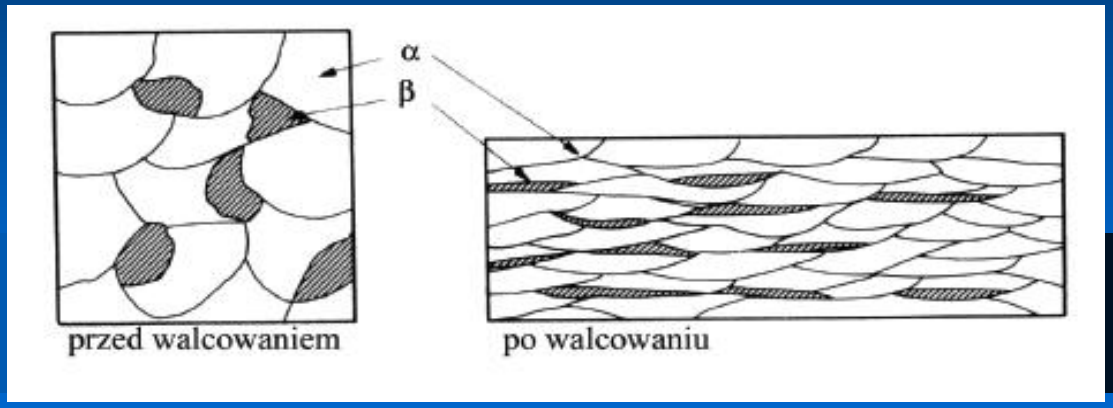
MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Zmiany podczas odkształcenia

Zmiany właściwości żelaza po walcowaniu



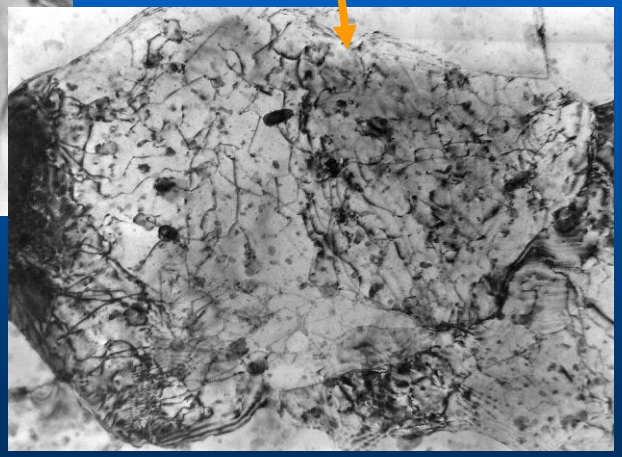


Ewolucja kształtu ziaren

Przed walcowaniem

Po walcowaniu



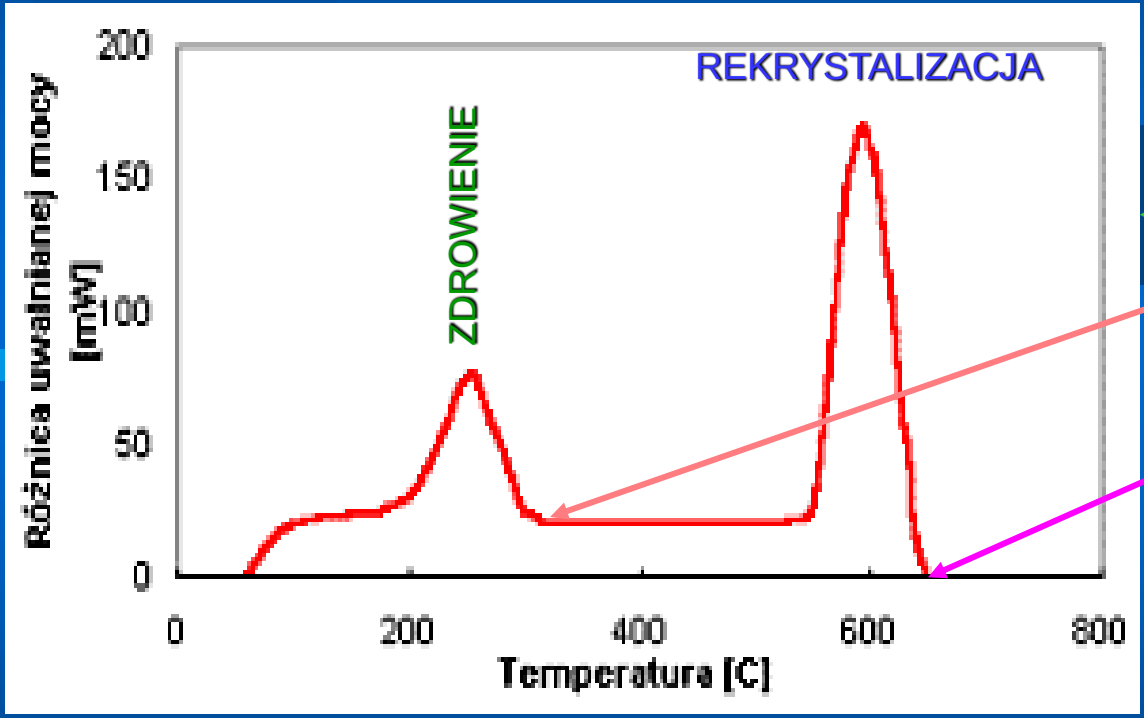


Odkształcenie mechanizmem akumulatywnym zmienia kształt, strukturę i własności

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Zmiany energii uwalnianej z materiału podczas nagrzewania ze stałą prędkością.



Kalorymetryczna krzywa dla niklu odkształconego na zimno i ogrzewanego ze stałą prędkością wzrostu temperatury.

Częściowe uwolnienie energii utajonej

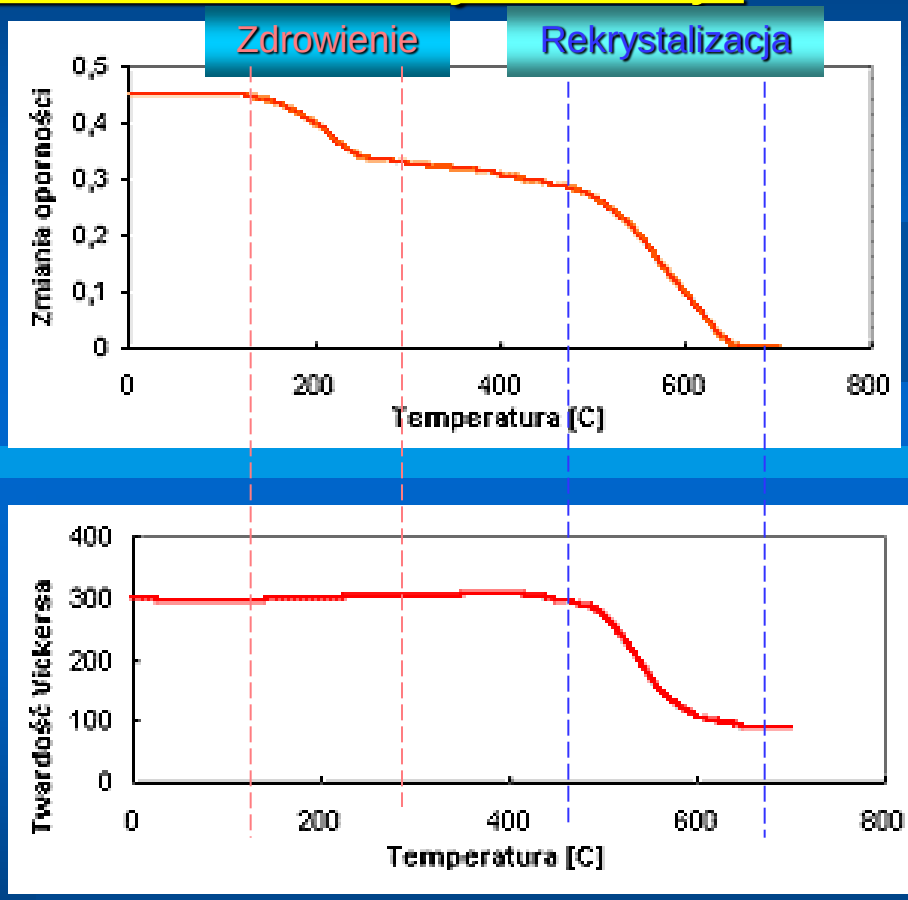
Całkowite uwolnienie energii utajonej

Dwa zakresy temperatur w których zachodzi intensywne wydzielanie energii utajonej określają dwa różne typy procesów relaksacyjnych uruchamianych przy wyżarzaniu materiałów odkształconych mechanizmami akumulatywnymi.

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

MATERIAŁOZNAWSTWO

Zdrowienie i rekrystalizacja



Zdrowienie i rekrystalizacja to dwa procesy zachodzące w różnych temperaturach i prowadzące do różnych skutków.

Zdrowienie istotnie zmienia własności zależne od ilości defektów punktowych oraz nieznacznie właściwości zależne od układu dyslokacji – nie zmienia twardości ale zmienia oporność.

Rekrystalizacja zmienia radykalnie wszystkie właściwości i pogłębia zmiany wywołane zdrowieniem.

Różnice pomiędzy zdrowieniem i rekrystalizacją biorą się z całkowicie różnych mechanizmów obu procesów. Zdrowienie polega na zmianach w ilości defektów punktowych i reorganizacji defektów liniowych, a rekrystalizacja opiera się na przemieszczeniach granic ziaren lub na zarodkowaniu nowych ziaren i ich rozroście.

MATERIAŁOZNAWSTWO

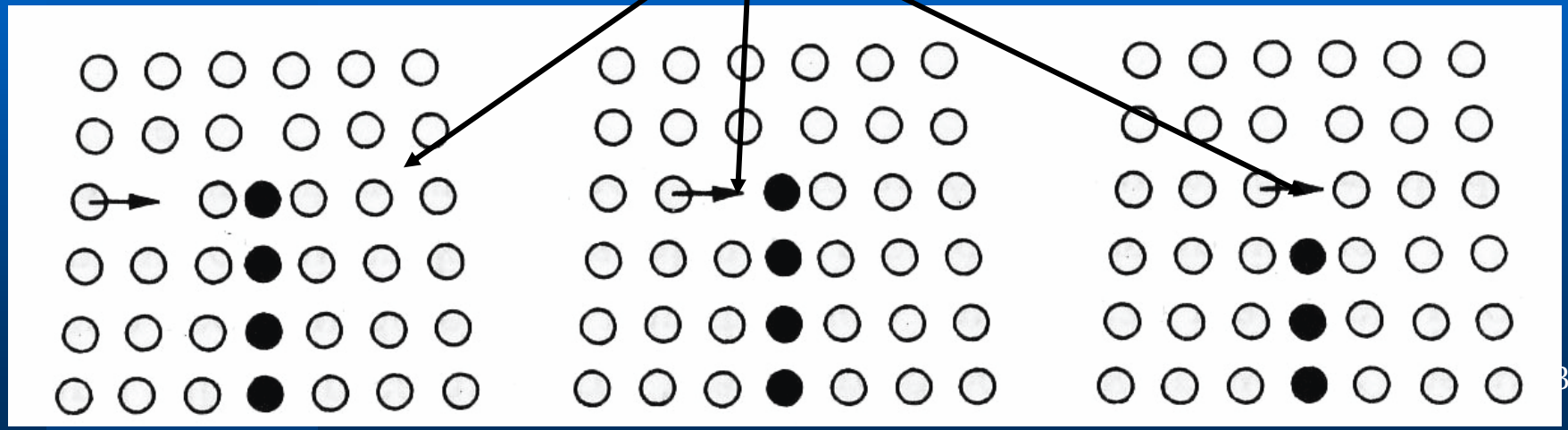
Zdrowienie

jest to zespół procesów prowadzący do obniżenie stężenia defektów punktowych i reorganizacji struktury dyslokacyjnej.

Indywidualne procesy zdrowienia:

1. Anihilacja wakancji i atomów międzywęzłowych na dyslokacjach i granicach.
2. Kondensacje wakancji i atomów międzywęzłowych w pętle dyslokacji Franka.
3. Częściowa anihilacja dyslokacji o przeciwnych wektorach Burgersa.
4. Poligonizacja dyslokacji w granice niskiego kąta.
5. Tworzenie dyslokacyjnej struktury komórkowej.

Kondensacja wakancji na dyslokacjach

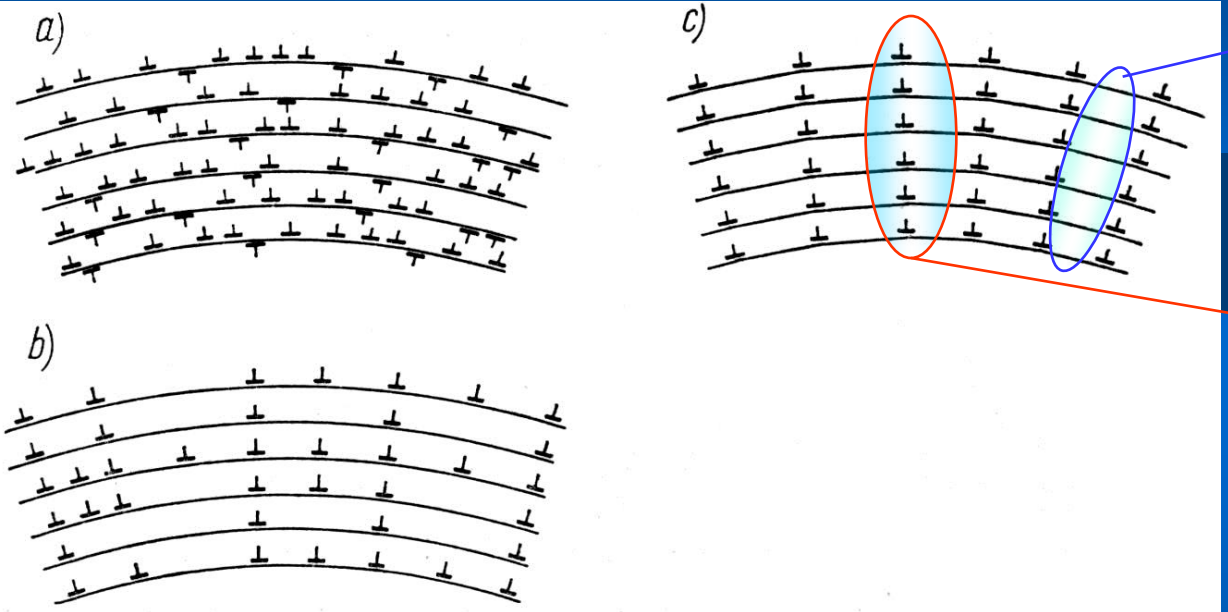


MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Poligonizacja

Zdrowienie

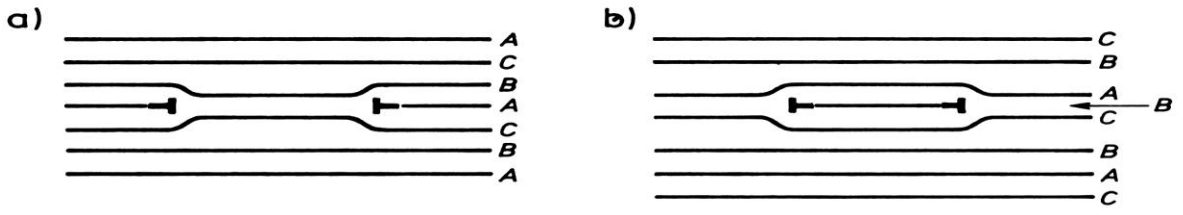


Przegrupowywanie dyslokacji podczas poligonizacji: a) dyslokacje rozłożone w sposób przypadkowy na płaszczyznach poślizgu w zgiętym krysztale, b) dyslokacje przegrupowały się na drodze poślizgów, dyslokacje przeciwnych znaków zostały zanihilowane, c) dyslokacje wspinają się tworząc ściany prostopadłe do płaszczyzn poślizgu

Podziarno

Podgranica

Kondensacja w pętle Franka

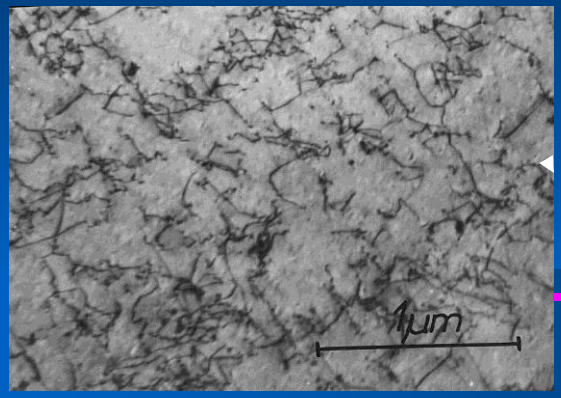


MATERIAŁOZNAWSTWO

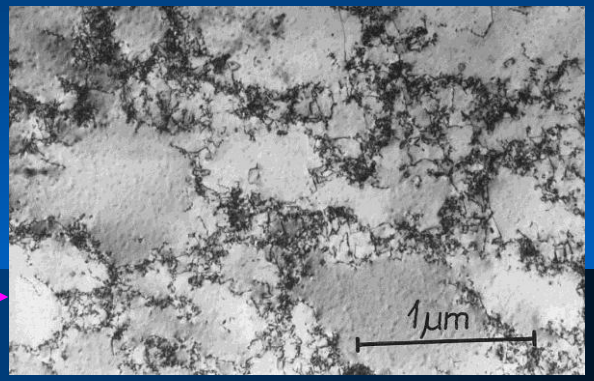
Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Strukturalne skutki zdrowienia

Mosiądz M85



Po odkształceniu 10%



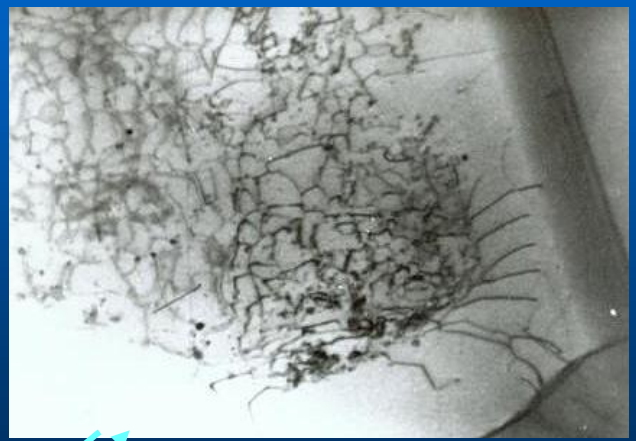
Po odprężaniu 200C/10min

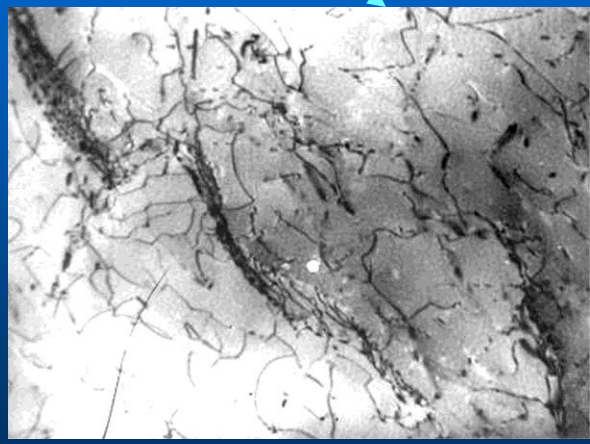
AlMg4,5

Wygrzewanie 150C/ 30 min



Odkształcenie 150C/10%



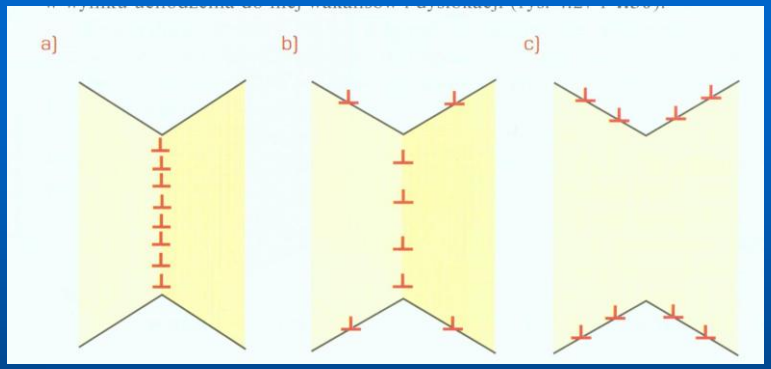


Wygrzewanie 150C/ 30min

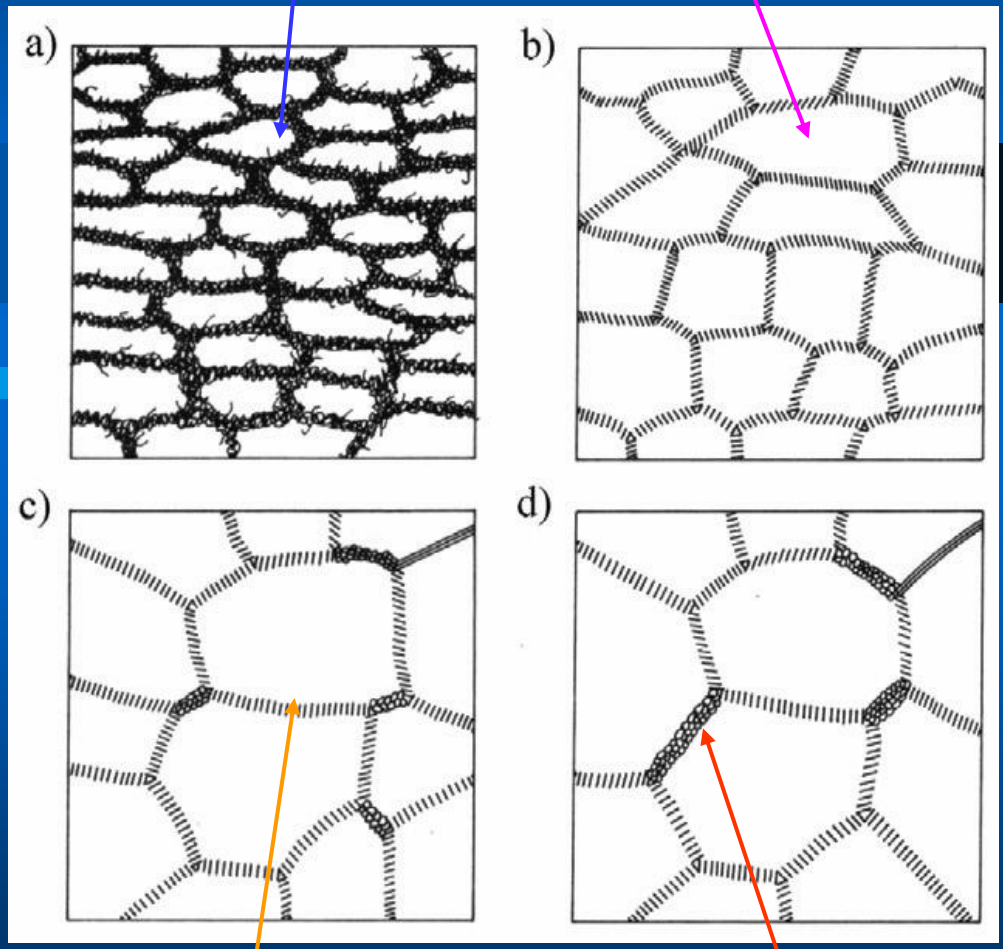
MATERIAŁOZNAWSTWO

Strukturalne skutki zdrowienia

Rozpad podgranic – koalescencja podziaren



Etapy zdrowienia struktury dyslokacyjnej



MATERIAŁOZNAWSTWO

Strukturalne skutki zdrowienia

Struktura stali austenitycznej po odkształceniu i zdrowieniu



Procesowi zdrowienia towarzyszy zanik naprężeń własnych. Ze względów użytkowych najczęściej potrzebne jest usunięcie naprężeń własnych lub znaczne ich zmniejszenie z jednoczesnym zachowaniem właściwości mechanicznych odpowiadających stanowi odkształconemu. Obróbka cieplna wywołująca takie skutki prowadzona jest w ramach procesów zdrowienia i nosi nazwę ***wyżarzania odprężającego (sezonowanie).***

MATERIAŁOZNAWSTWO

Rekrystalizacja

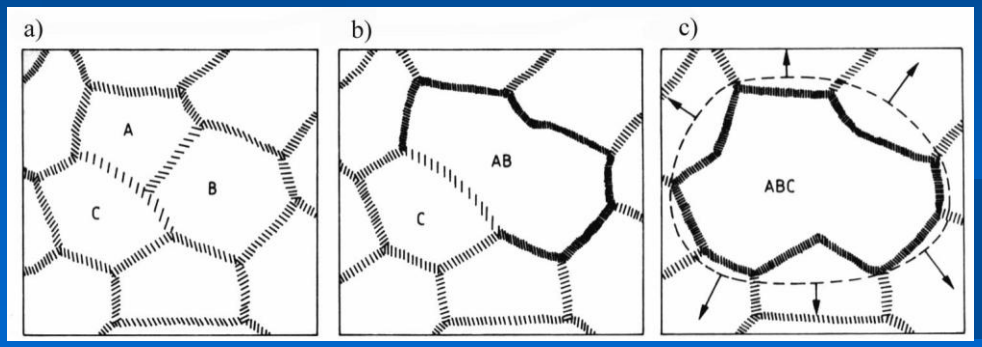
to proces całkowitej przebudowy sieci krystalicznej w obrębie ziaren w strukturę równowagową polegający na tworzeniu w zgniecionym materiale obszarów (zarodków) o strukturze równowagowej i ich rozrost poprzez migrację granic zarodków do momentu wyczerpania objętości o zdefektowanej strukturze zgniecionej.

Migracja granic ziaren polega na odrywaniu pojedynczych atomów od zdefektowanej sieci i przenoszenie ich na odległość porównywalną z parametrem sieci (grubość granicy) oraz wbudowywanie takich atomów w węzły sieci pozbawionej defektów po drugiej stronie migrującej granicy.

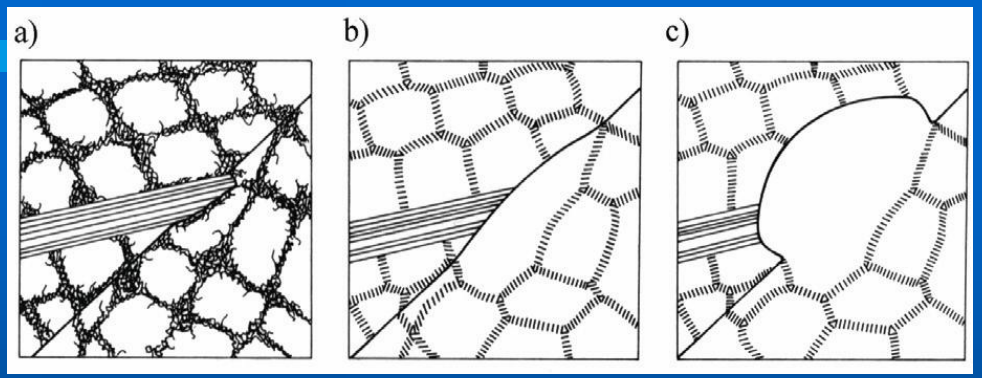
*Istotą procesu migracji jest **dyfuzyjny transport atomów** w obrębie granicy migrującej, zatem cały proces jest kontrolowany przez zjawisko samodyfuzji i jest aktywowanym termicznie procesem o energii aktywacji samodyfuzji.*

MATERIAŁOZNAWSTWO

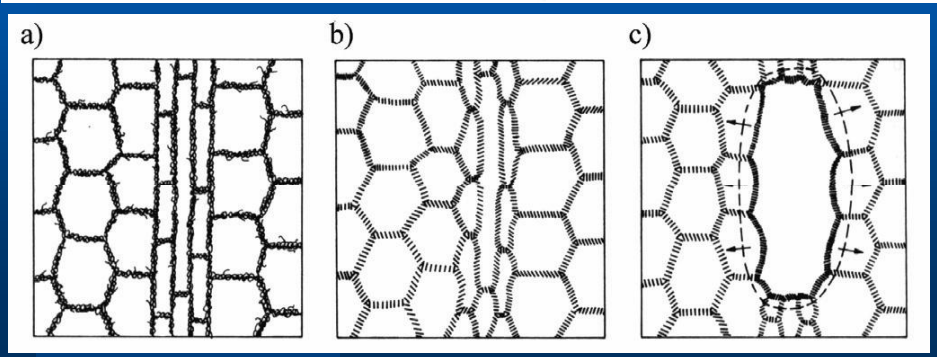
Rekrystalizacja – mechanizm zarodkowania



Zarodkowanie poprzez koalescencję podziaren wyzdrowionych. (zarodkowanie homogeniczne)



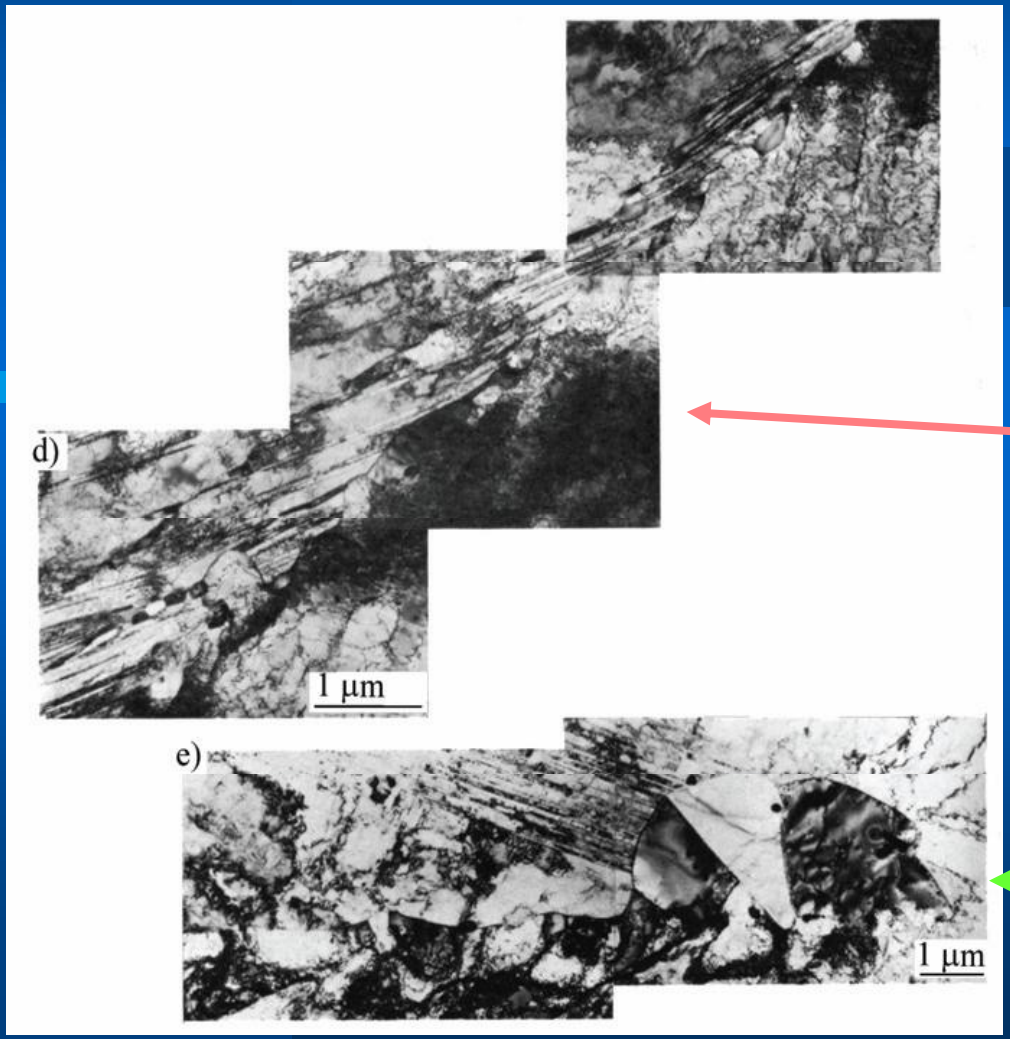
Zarodkowanie poprzez migrację pierwotnych granic. (zarodkowanie heterogeniczne)



Zarodkowanie poprzez migrację podgranic. (zarodkowanie homogeniczne)

MATERIAŁOZNAWSTWO

Rekrystalizacja – mechanizm zarodkowania



Przykład zarodkowania heterogenicznego w pasmach ścinania.

Zarodkowanie homogeniczne na podstrukturze dyslokacyjnej.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Rekrystalizacja – mechanizm zarodkowania

Zarodkowanie jest procesem stochastycznym, w którym prawdopodobieństwo zdarzenia oczekiwanego (wytworzenie zarodka) jest zależne od warunków zewnętrznych.

Prawdopodobieństwo utworzenia zarodka rekrystalizacji rośnie:

- **Ze zwiększeniem stopnia odkształcenia.**
- **Ze wzrostem temperatury.**
- **Z upływem czasu od zakończenia deformacji.**

Zarodkowanie zależy również od:

- Energii błędu ułożenia materiału
- Składu fazowego i chemicznego.
- Temperatury topnienia materiału

Dodatkowe pojęcia:

Temperatura homologiczna – temperatura odniesiona do temperatury topnienia

$$T_H = (T/T_m)$$

Czas inkubacji – czas jaki upływa od zakończenia odkształcenia do momentu pojawienia się pierwszego zarodka w rozpatrywanej temperaturze.

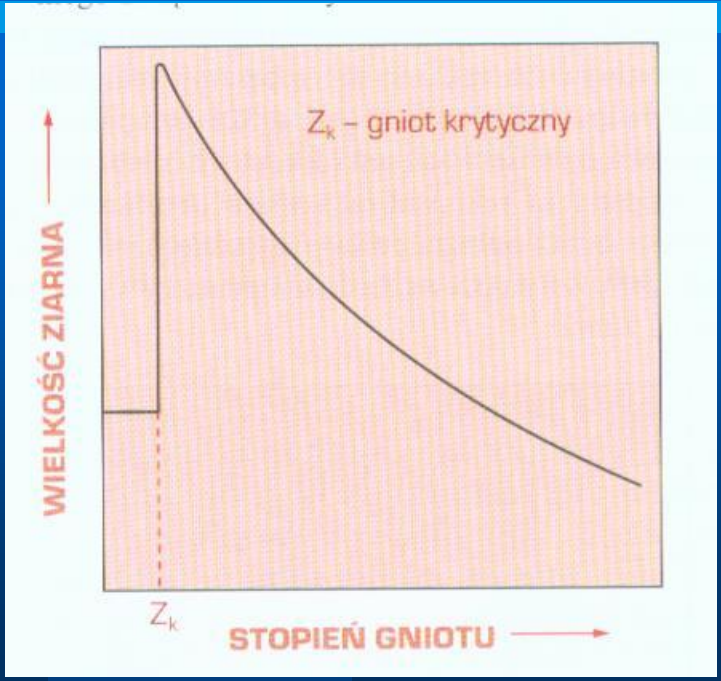
MATERIAŁOZNAWSTWO

Rekrystalizacja – mechanizm zarodkowania

Praktyczny zakres temperatur przy których zachodzi rekrystalizacja z rozsądną prędkością to:

$$T_{Hr} = 0{,}4 \div 0{,}6$$

← Jest to tzw. wzór Boczwara.



Rekrystalizacja może zachodzić dopiero po przekroczeniu pewnej krytycznej wartości odkształcenia.

Minimalna wartość odkształcenia niezbędna do zapoczątkowania rekrystalizacji nazywa się **ZGNIOTEM KRYTYCZNYM**.

Zjawisko zgniotu krytycznego można wykorzystać do hodowli monokryształów metali wyłącznie w stanie stałym.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Miarą zaawansowania procesu rekrystalizacji jest ułamek objętości zrekrystalizowanej

$$X = V_z/V_c$$

Prędkość rekrystalizacji zależy od powierzchni migrującej granicy oddzielającej objętość zrekrystalizowaną od objętości zgniecionej.

Prędkość rekrystalizacji

Początkowo jest mała ponieważ mała jest powierzchnia zarodków rekrystalizacji.

Następnie wzrasta do maksimum ze wzrostem powierzchni objętości zrekrystalizowanej.

W końcu maleje do zera poprzez zmniejszanie się powierzchni objętości zgniecionej.

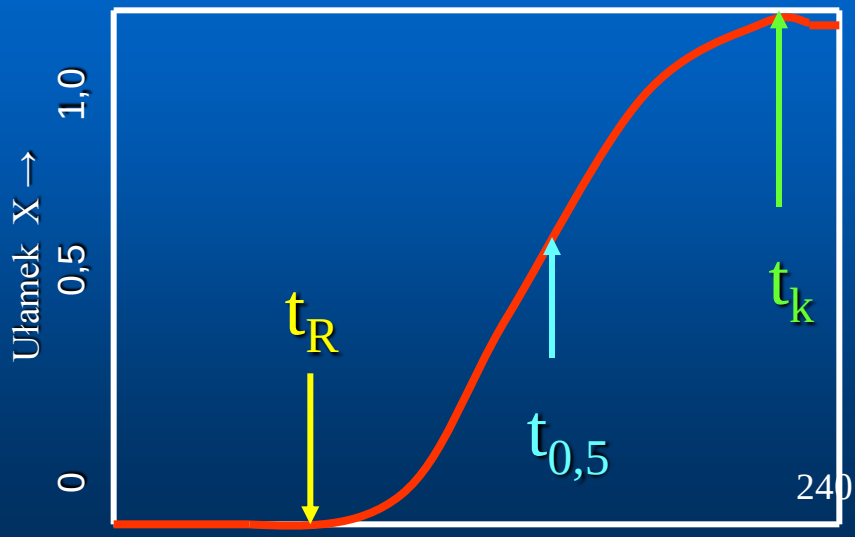
Równanie Avramiego

$$X = 1 - \exp(-Bt^k)$$

B, k – stałe

t_R – czas inkubacji rekrystalizacji
$t_{0,5}$ – czas połówkowy rekrystalizacji
t_k – czas całkowity rekrystalizacji

Wszystkie czasy zależą od temperatury!!!



MATERIAŁOZNAWSTWO

Temperatura rekrystalizacji jest pojęciem umownym!!!.

Skoro rekrystalizacja może zachodzić w bardzo szerokim zakresie temperatur przyjęto umowną definicję temperatury rekrystalizacji nazywaną powszechnie umowną temperatura rekrystalizacji.

Temperatura, w której cała objętość materiału zgniecionego ulegnie rekrystalizacji w ciągu jednej godziny nazywa się umowną temperatura rekrystalizacji.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Rekrystalizacja – kinetyka wzrostu ziaren

Zmianę wielkości ziarna po rekrystalizacji w funkcji czasu w stałej temperaturze opisuje zależność:

$$D = k\,t^{n}$$

k, t – stałe zależne od materiału i zgniotu

Wykładnik n w równaniu przyjmuje wartości z przedziału 0,1 ÷ 0,5 Rośnie z czystością materiału oraz z temperaturą wyżarzania i maleje z wielkością zgniotu.

Całkowity czas rekrystalizacji silnie zależy od temperatury. Proces rekrystalizacji może zachodzi nawet w niskich temperaturach, ale całkowity czas rekrystalizacji jest silną funkcją temperatury.

$$t_k = A \exp(-Q/kT)$$

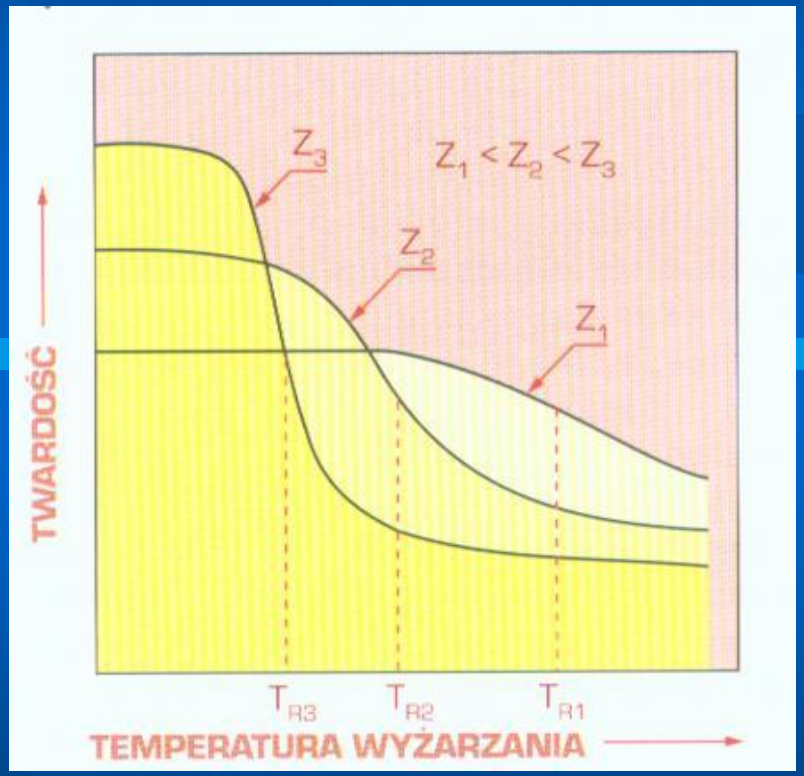
Rekrystalizacja usuwa całkowicie skutki zgniotu i zmienia właściwości materiału!!!

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

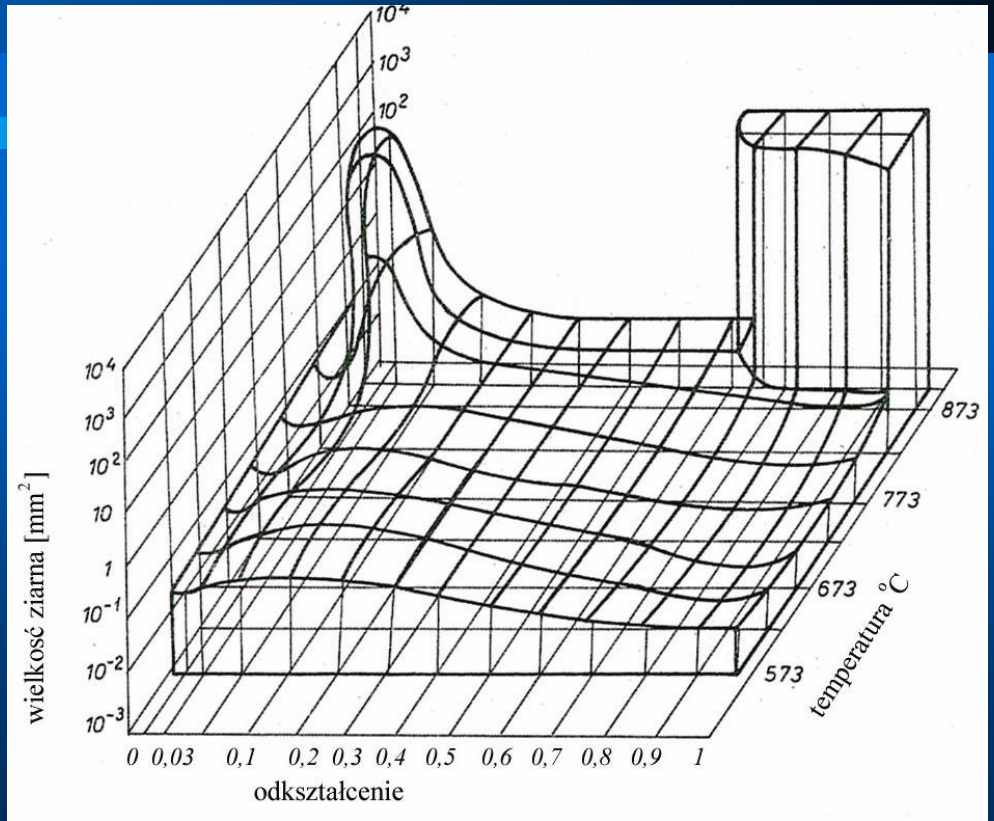
Rekrystalizacja – zmiany właściwości materiału

Rekrystalizacja w miarę postępu zmienia właściwości mechaniczne materiału



Wpływ na właściwości jest odzwierciedleniem wpływy na strukturę i wielkość ziaren materiału po rekrystalizacji (wielkość ziarna aluminium po rekrystalizacji).

Wielkość zgniotu przed rekrystalizacją wpływa istotnie na temperaturę początku rekrystalizacji, jej kinetykę i właściwości po zakończeniu rekrystalizacji.



MATERIAŁOZNAWSTWO

Złożenie procesów relaksacyjnych i procesów deformacyjnych definiuje rodzaj procesu odkształcenia:

Proces deformacji podczas, którego nie aktywują się procesy relaksacyjne albo są one silnie ograniczone nazywa się procesem ***NA ZIMNO.***

Proces deformacji podczas, którego procesy relaksacyjne są aktywne jednocześnie z procesami odkształcenia nazywa się procesem ***NA GORĄCO.***

Często można spotkać ***błędną*** *definicję odkształcenia na gorąco jako odkształcenie powyżej temperatury rekrystalizacji. Nieprawdziwość takiego pojęcia polega na tym, że temperatura rekrystalizacji jest pojęciem umownym i wcale nie gwarantuje jednoczesności zjawisk relaksacyjnych i deformacyjnych.*

MATERIAŁOZNAWSTWO

Procesy relaksacyjne zachodzące podczas deformacji plastycznej nazywają się procesami dynamicznymi. Natomiast procesy relaksacyjne zachodzące bez odkształcenia plastycznego nazywają się procesami statycznymi.

Zdrowienie dynamiczne to procesy zdrowienia zachodzące w trakcie deformacji pod naprężeniem wynikającym z procesu odkształcenia.

Rekrystalizacja dynamiczna to proces rekrystalizacji zachodzący pod naprężeniem wynikającym z procesu odkształcenia.

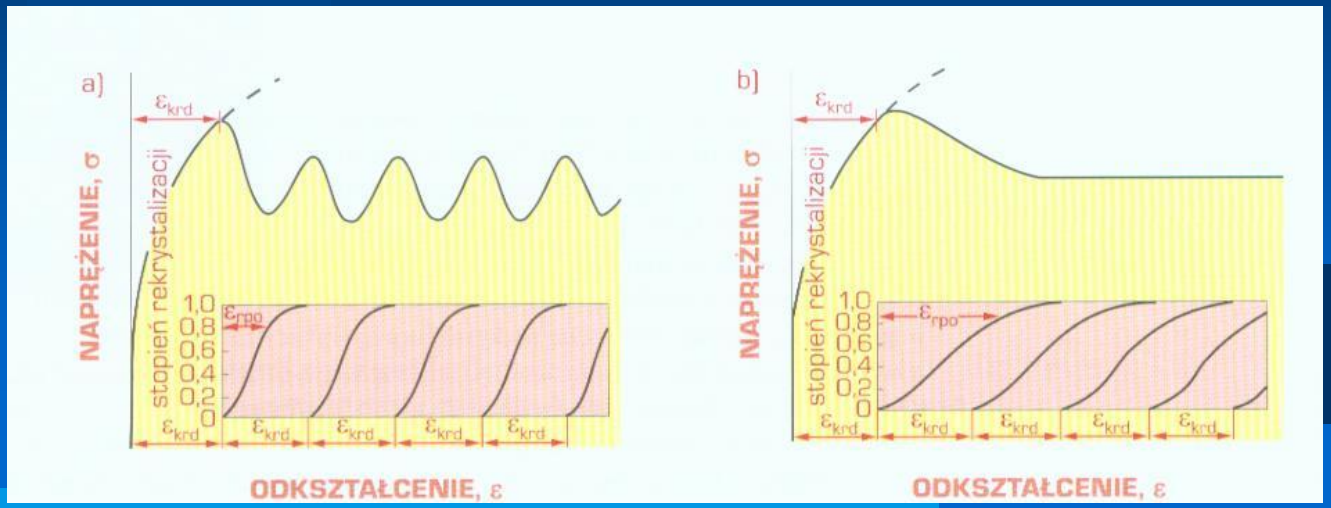
Kinetyka procesów zdrowienia i rekrystalizacji dynamicznej jest kilkakrotnie większa niż procesów statycznych i procesy te są w stanie wyeliminować umocnienie odkształceniowe w procesach odkształcenia na gorąco.

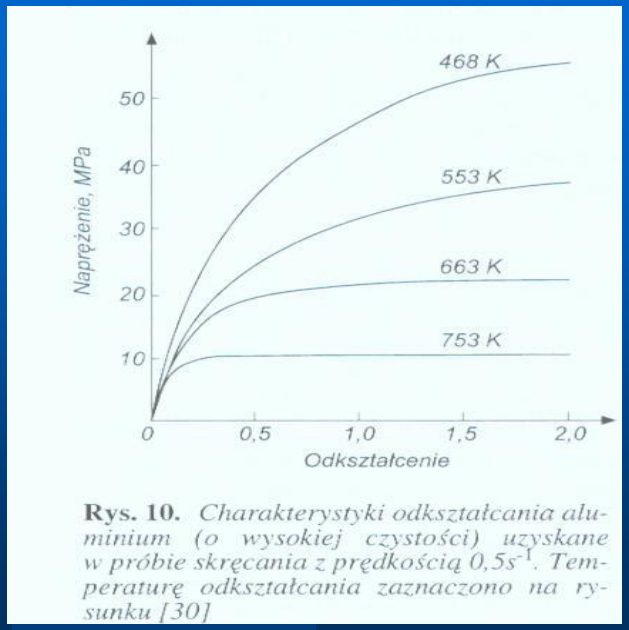
Złożenie deformacji plastycznej i rekrystalizacji dynamicznej prowadzi do takich charakterystyk materiału podczas odkształcenia, jak dla czysto dyssypatywnych mechanizmów deformacji.

Procesy relaksacyjne występujące pod naprężeniem mające miejsce tuż po deformacji nazywa się zdrowieniem lub rekrystalizacją ***meta-dynamiczną.*** Jeśli zdrowienie i/lub rekrystalizacja zachodzą w tej samej operacji technologicznej co odkształcenie, ale już bez naprężenia nazywają się wtedy zdrowieniem/rekrystalizacją ***post-dynamiczną***.

MATERIAŁOZNAWSTWO

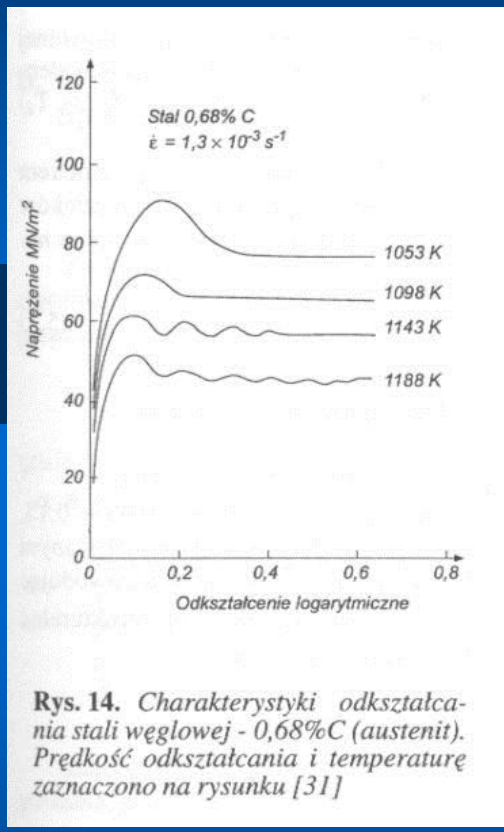
Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA





Rys. 10. *Charakterystyki odkształcania aluminium (o wysokiej czystości) uzyskane w próbie skręcania z prędkością 0,5s^{-1}. Temperaturę odkształcania zaznaczono na rysunku [30]*

Przykłady procesów odkształcenia na gorąco:



Rys. 14. *Charakterystyki odkształcania stali węglowej - 0,68%C (austenit). Prędkość odkształcania i temperaturę zaznaczono na rysunku [31]*

Odkształcenie na gorąco zapewnia obniżenie naprężeń i zachowanie plastyczności materiału podczas całego procesu kształtowania na takim samym poziomie ze względu na brak umocnienia odkształceniowego.

Fe

Temperatura topnienia => 1536ºC
Odmiany alotropowe:
Fe(α) => wysokotemperaturowa odmiana α , krystalizuje w układzie A2
Fe γ => krystalizuje w układzie A1
Fe α => niskotemperaturowa odmiana α, krystalizuje w układzie A2
Przemiany alotropowe:
Fe(α) → Fe γ => 1394ºC
Fe γ → Fe α => 912ºC
Punkt Curie => 770ºC
Otrzymywanie => redukcja tlenków FeO i Fe_2O_3 węglem
Podstawowe składniki stopowe => węgiel, mangan, nikiel, chrom, krzem
Podstawowe zanieczyszczenia => siarka, fosfor

MATERIAŁOZNAWSTWO

STOPY ŻELAZA Z WEGLEM

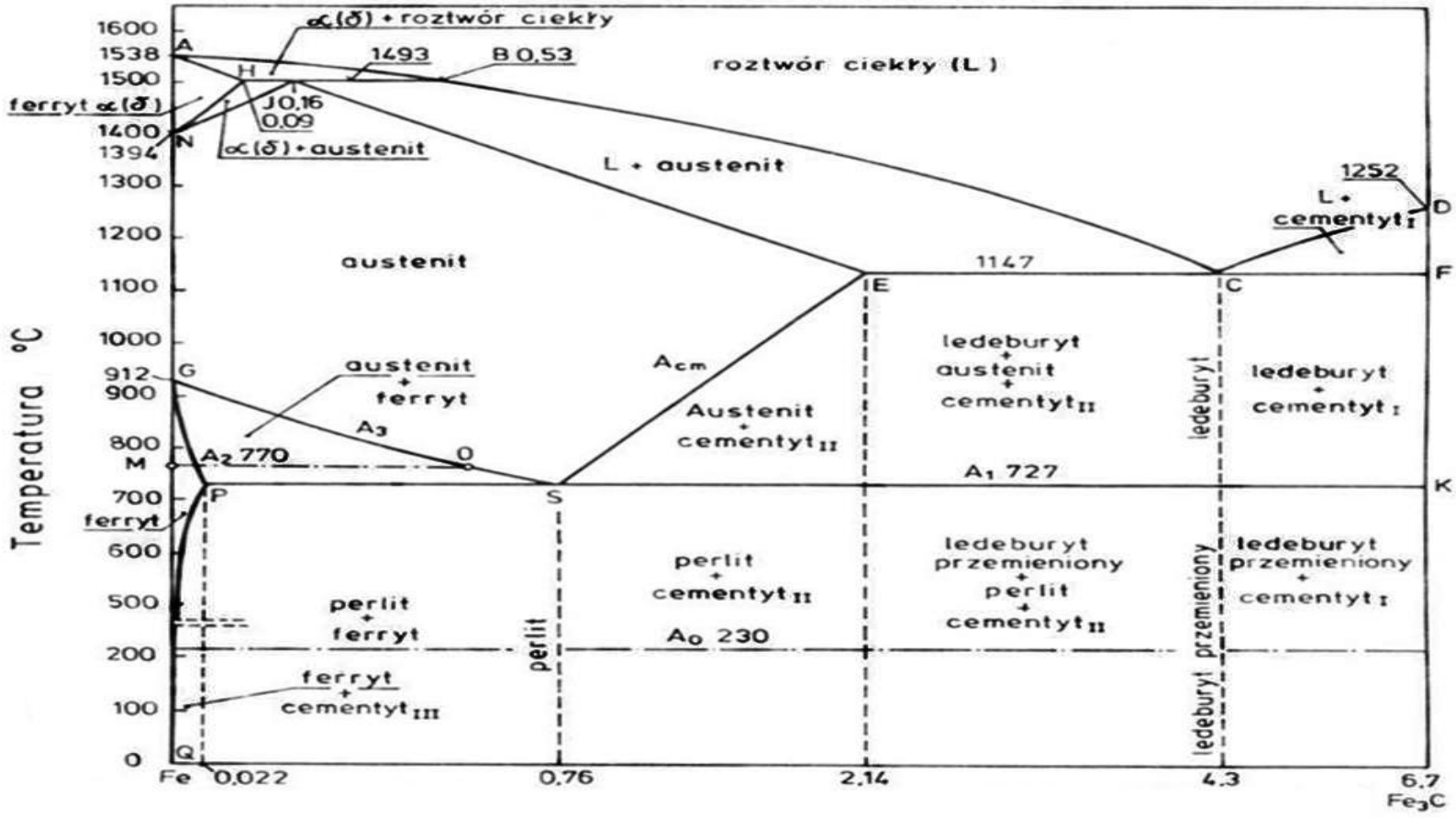
Stal - jest to przerobiony plastycznie stop żelaza z węglem i innymi pierwiastkami o zawartości poniżej 2,11 % węgla.

Staliwo - jest to odlewniczy stop żelaza z węglem i innymi pierwiastkami o zawartości poniżej 2,11% węgla.

Żeliwo - jest to odlewniczy stop żelaza z węglem i innymi pierwiastkami o zawartości powyżej 2,11% węgla.

Surówka - jest to stop żelaza z węglem zanieczyszczony innymi pierwiastkami powstający w procesie wielkopiecowym

MATERIAŁOZNAWSTWO

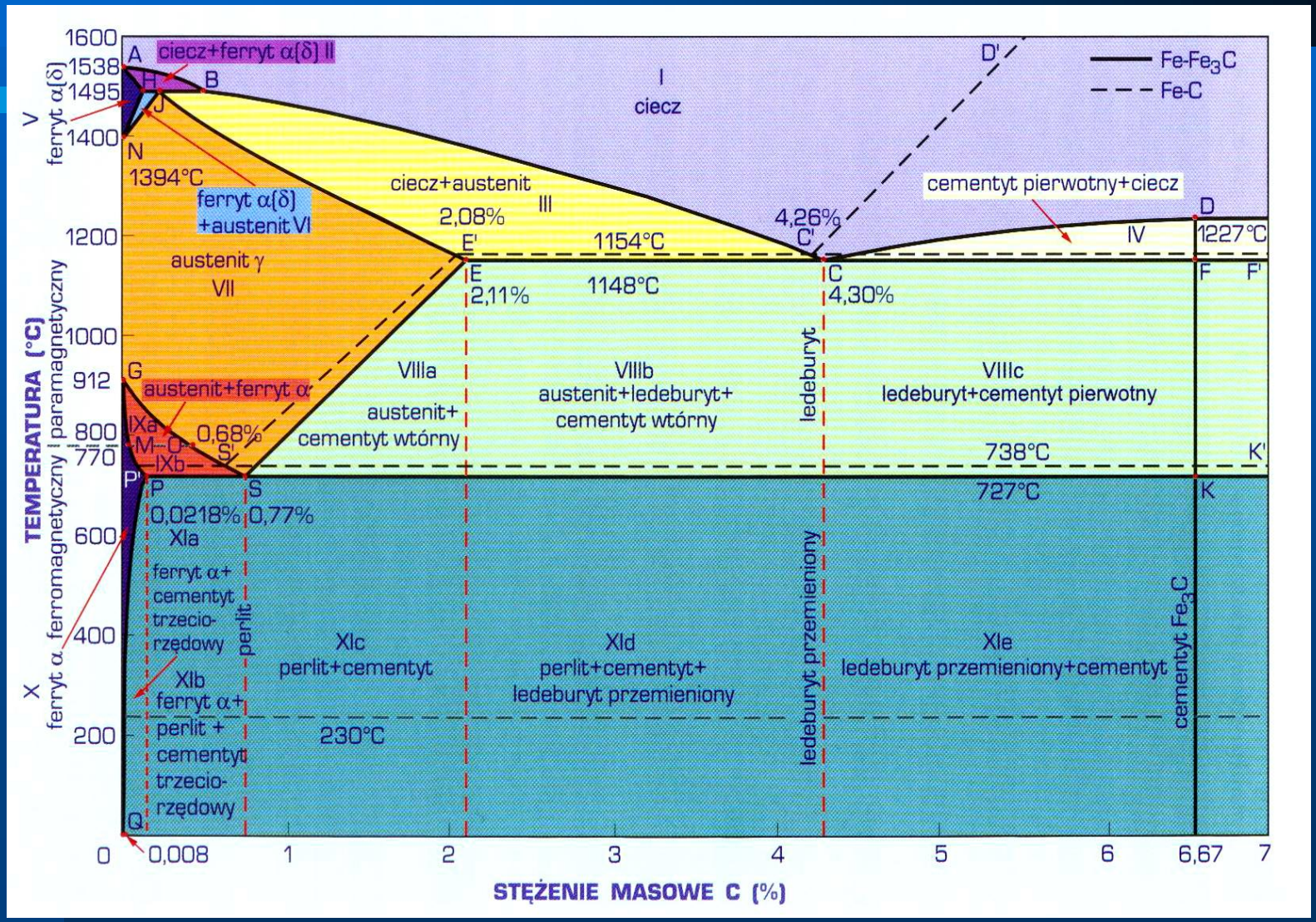


Układ równowagi $Fe-Fe_3C$

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Układ równowagi Fe-Fe$_3$C (Fe- C)



Punkty i linie charakterystyczne układu Fe-Fe_3C

S => punkt eutektoidalny
C => punkt eutektyczny
ECF => linia przemiany eutektycznej
A1 (PSK) => linia przemiany eutektoidalnej
A3 (GS) => linia zaniku ferrytu
PQ => linia rozpuszczalności węgla w ferrycie
A_{cm} (SE) => linia rozpuszczalności węgla w austenicie

Składniki strukturalne układu żelazo-węgiel

Austenit => roztwór graniczny węgla w żelazie γ
Ferryt => roztwór graniczny węgla w żelazie α
Cementyt => węglik żelaza Fe_3C (faza międzywęzłowa)
Perlit => mieszanina eutektoidalna ferrytu i cementytu (eutektoid)
Ledeburyt => mieszanina eutektyczna austenitu i cementytu

MATERIAŁOZNAWSTWO

Podział stali wg zastosowania:

- konstrukcyjne
- narzędziowe
- o specjalnych własnościach

Podział stali wg. głównego dodatku:

- węglowe
- stopowe

chromowe
Manganowe
krzemowe
ltd…

Podział wg stanu odtlenienia:

- uspokojone
- półuspokojone
- nieuspokojone

MATERIAŁOZNAWSTWO

Istnieje wiele kryteriów podziału stopów żelaza z węglem:

Podział według układu żelazo-węgiel
Podział wg zawartości węgla
Podział wg zawartości składników stopowych
Podział wg przeznaczenia
Podział wg cech użytkowych itp.

Podział według układu równowagi „żelazo-węgiel”

Stopy żelaza z węglem dzielą się na:

- stale (staliwa) o zawartości węgla poniżej 2,11% C
- żeliwa (surówki) o zawartości węgla powyżej 2,11% C

Podział stali (staliw) według zawartości węgla (układu równowagi „żelazo-węgiel”)

- **stale (staliwa) podeutektoidalne** (o zawartości do 0,77% C, struktura ferrytyczno-perlityczna)
- **stale (staliwa) eutektoidalne** (o zawartości 0,77% C, struktura perlityczna)
- **stale (staliwa) nadeutektoidalne** (o zawartości powyżej 0,77% C, struktura perlitu i cementytu wtórnego)

MATERIAŁOZNAWSTWO

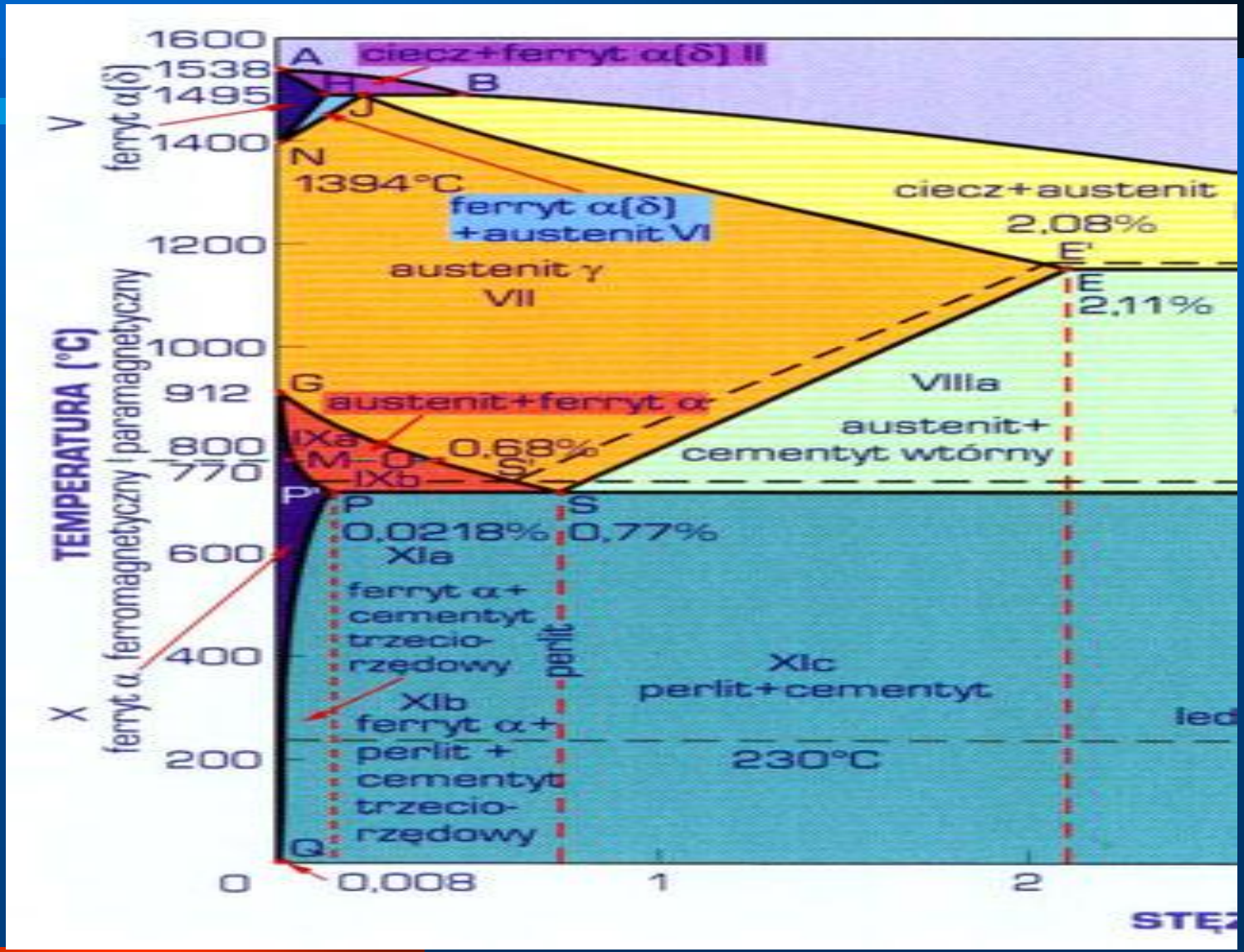
Podział żeliw (surówek) według zawartości węgla (układu równowagi „żelazo-węgiel”)

- żeliwa (surówki) podeutektyczne (o zawartości do 4,3% C, struktura perlitu, cementytu wtórnego, ledeburytu)
- żeliwa (surówki) eutektyczne (o zawartości 4,3% C, struktura ledeburytyczna)
- żeliwa (surówki) nadeutektyczne (o zawartości powyżej 4,3% C, struktura ledeburytu przemienionego i cementytu pierwotnego)

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Część układu równowagi Fe-Fe_3C obejmujący zakres występowania stali (staliwa)



MATERIAŁOZNAWSTWO

Podział stali ze względu na skład:

Węglowe (niestopowe)

- konstrukcyjne
- narzędziowe
- o szczególnych własnościach

Stopowe

- konstrukcyjne
- narzędziowe
- o szczególnych własnościach

MATERIAŁOZNAWSTWO

Podział stali węglowych konstrukcyjnych:

Zwykłej jakości
- Ogólnego przeznaczenia
- O szczególnym przeznaczeniu

Wyższej jakości
- Ogólnego przeznaczenia
- O szczególnym przeznaczeniu

Podział stali węglowych narzędziowych:

- płytko hartujące się
- głęboko hartujące się

Podział stali węglowych o szczególnych własnościach:

- Magnetycznie miękka
- Łatwo obrabialna mechanicznie

MATERIAŁOZNAWSTWO

Podział stali stopowych konstrukcyjnych:

- Do budownictwa i na konstrukcje stalowe
- Sprężynowe
- Do nawęglania
- Do ulepszania cieplnego
- Do azotowania
- Na łożyska toczne

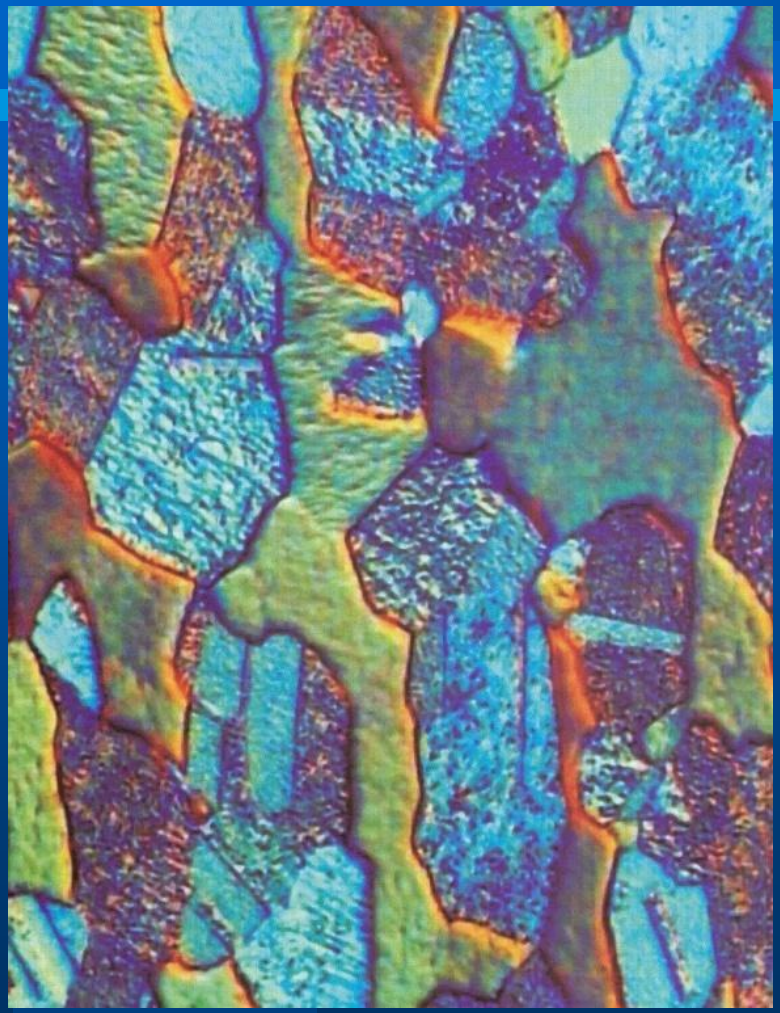
Podział stali stopowych narzędziowych:

- do pracy na zimno
- do pracy na gorąco
- szybkotnące

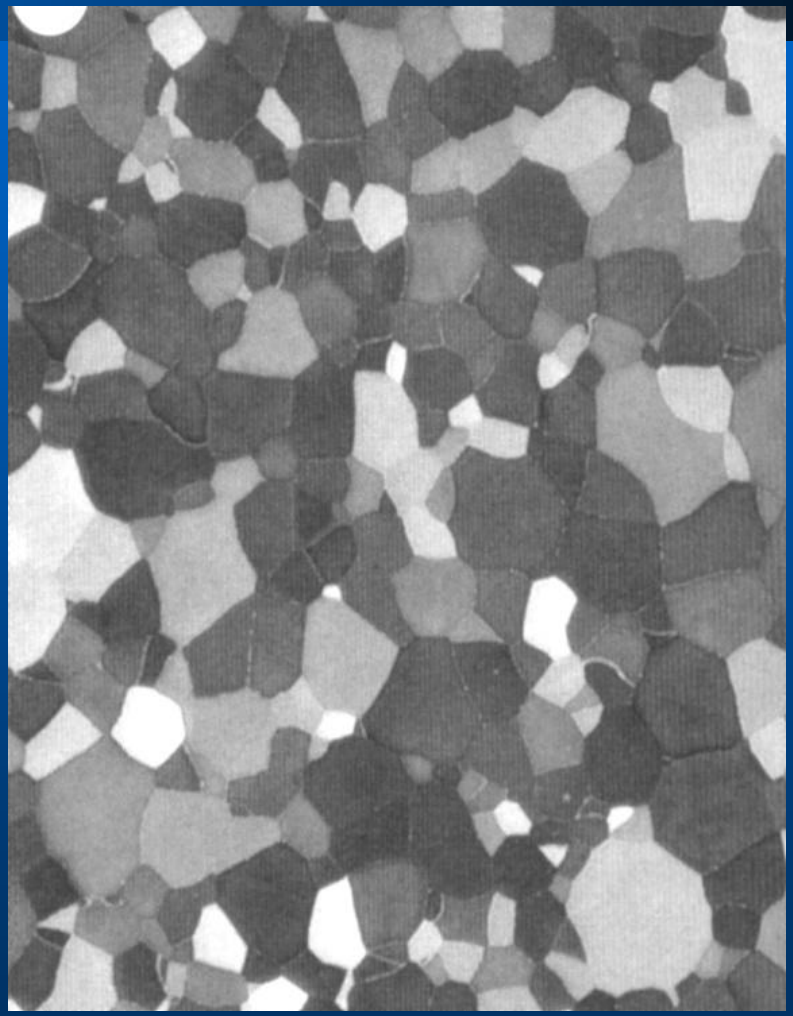
Podział stali stopowych o szczególnych własnościach:

- Do pracy w podwyższonych temperaturach
- Odporna na korozję
- Żaroodporna i zaworowa
- O szczególnych własnościach magnetycznych
- O szczególnych własnościach fizycznych

MATERIAŁOZNAWSTWO



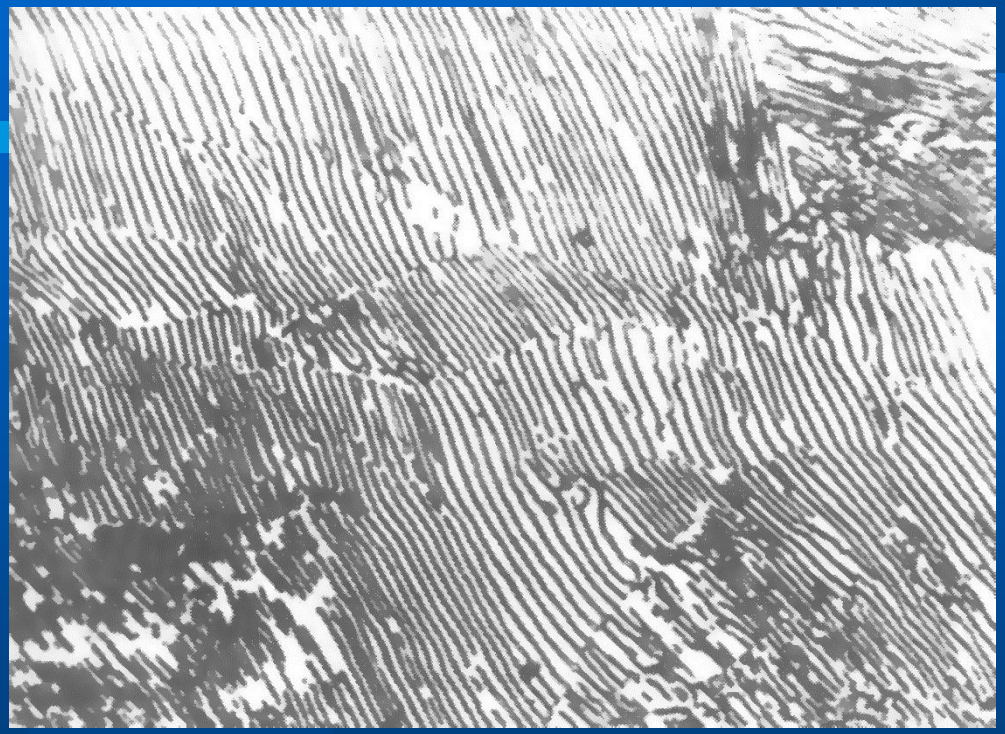
Austenit



Ferryt

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA



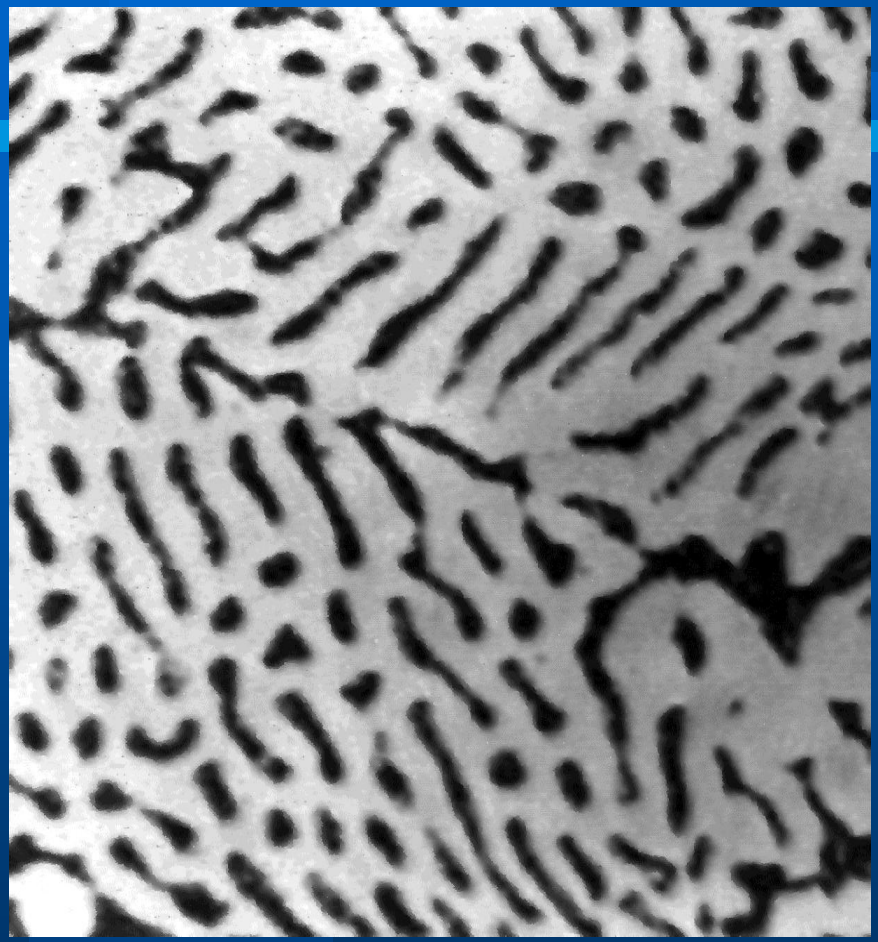


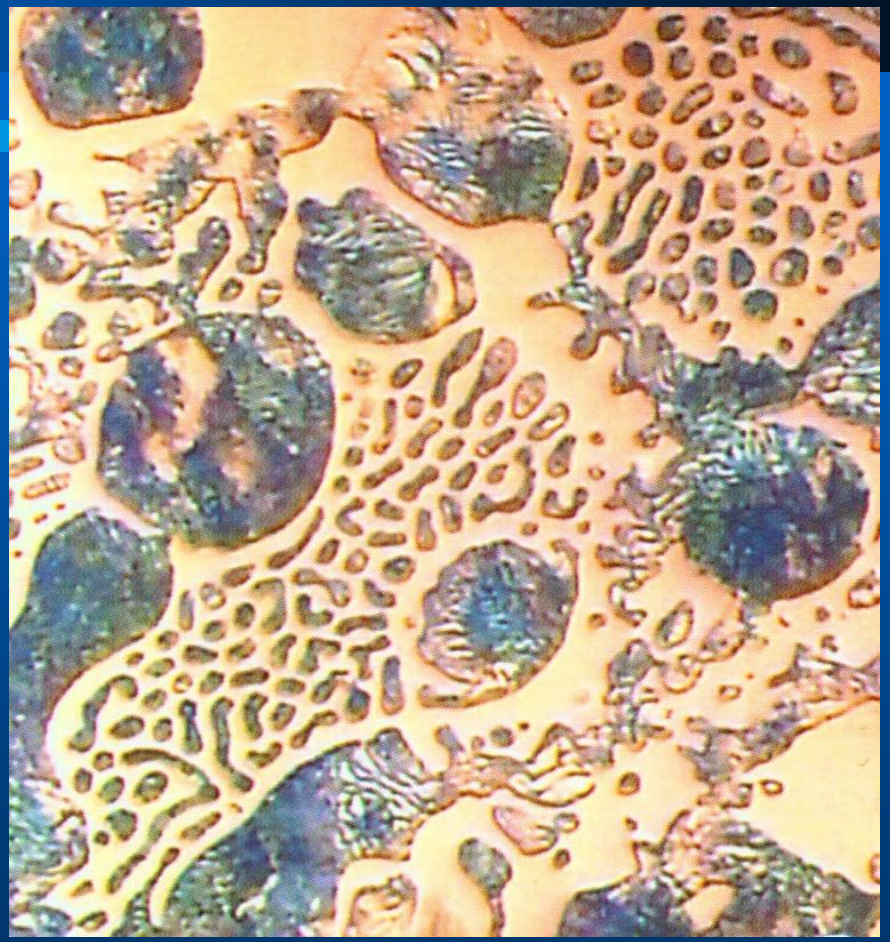
Perlit (ferryt + cementyt)

Ferryt + Grafit

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA





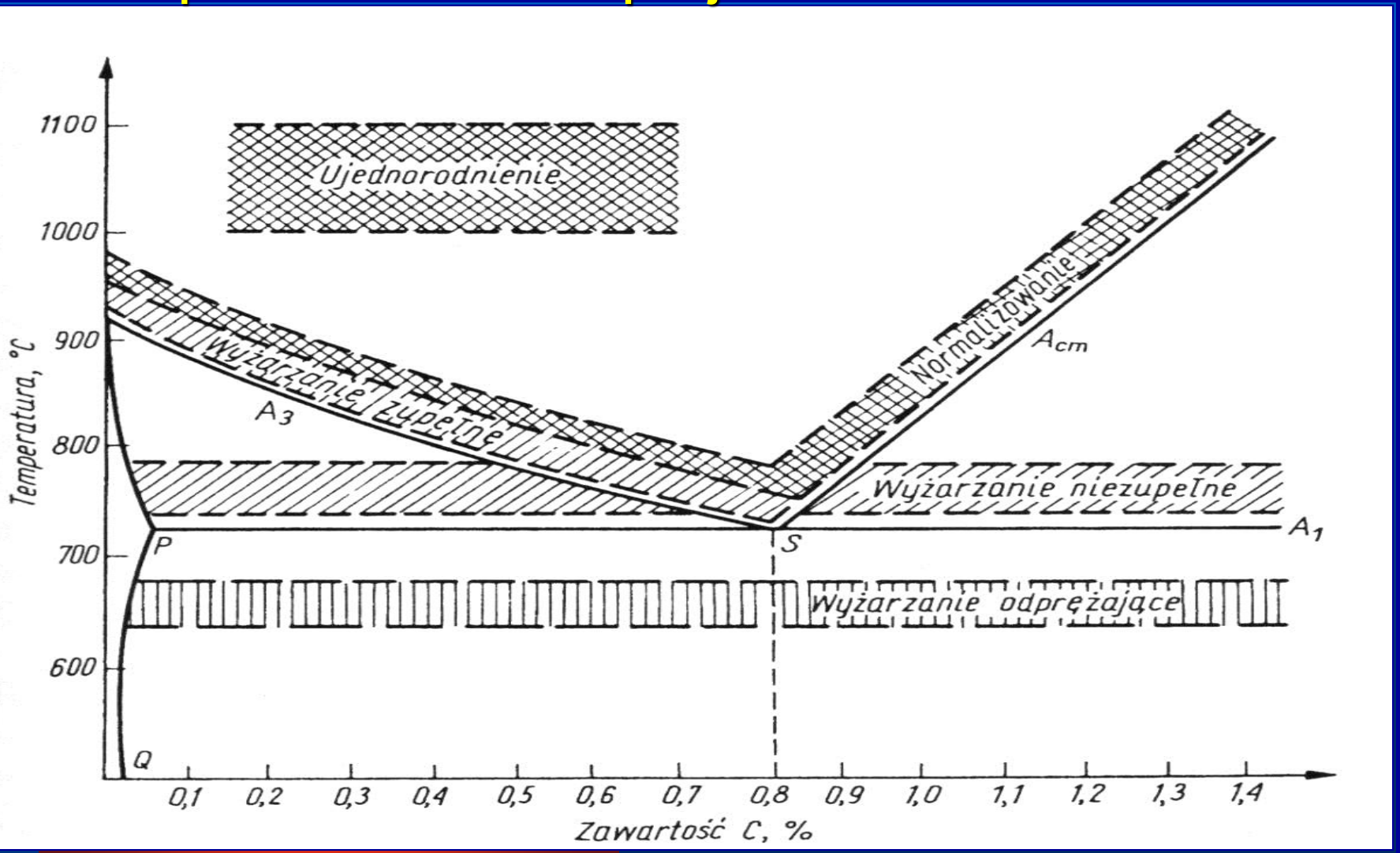
Ledeburyt (austenit + cementyt)

Ledeburyt przemieniony
(perlit + cementyt)

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

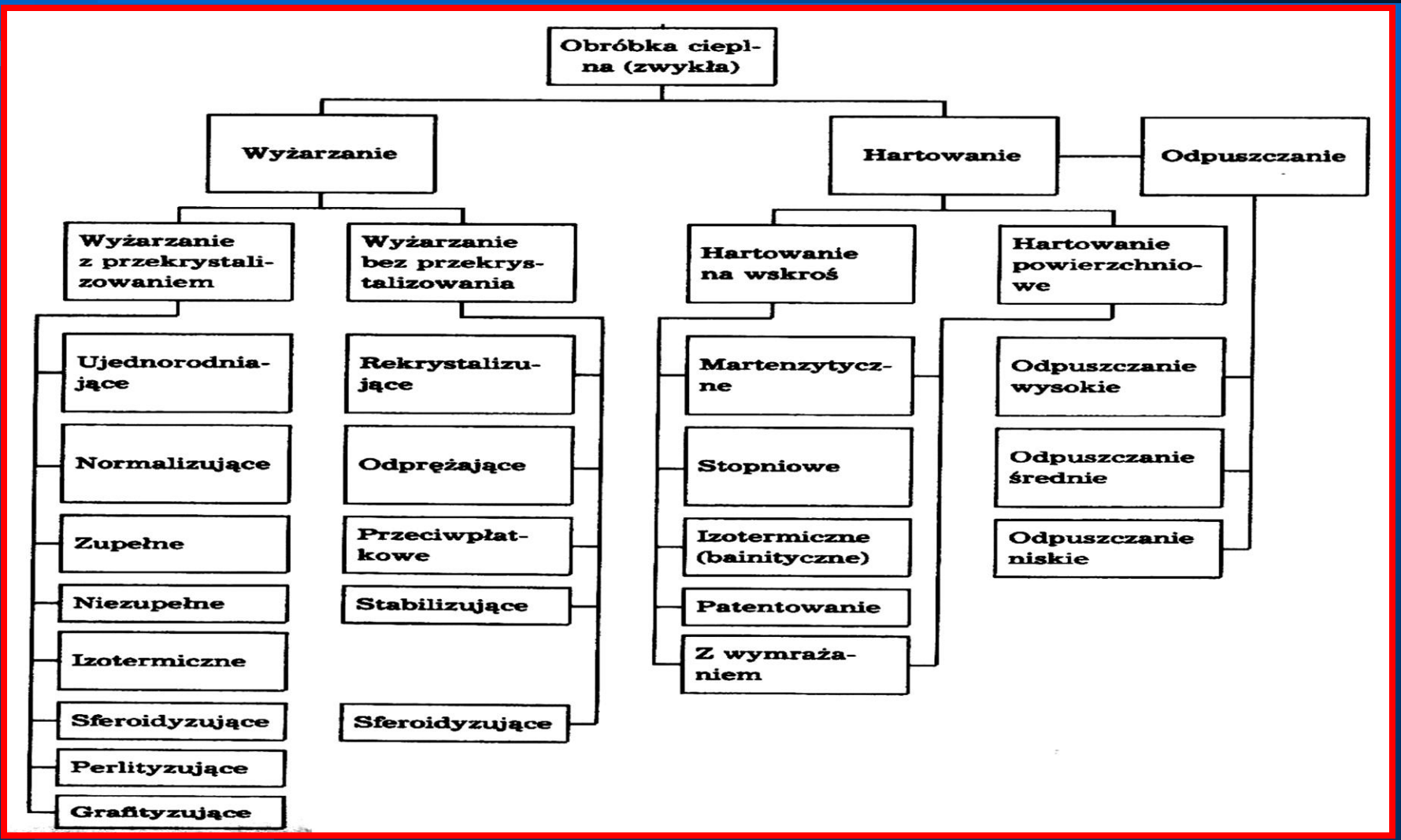
Pola temperatur do obróbki cieplnej stali



MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

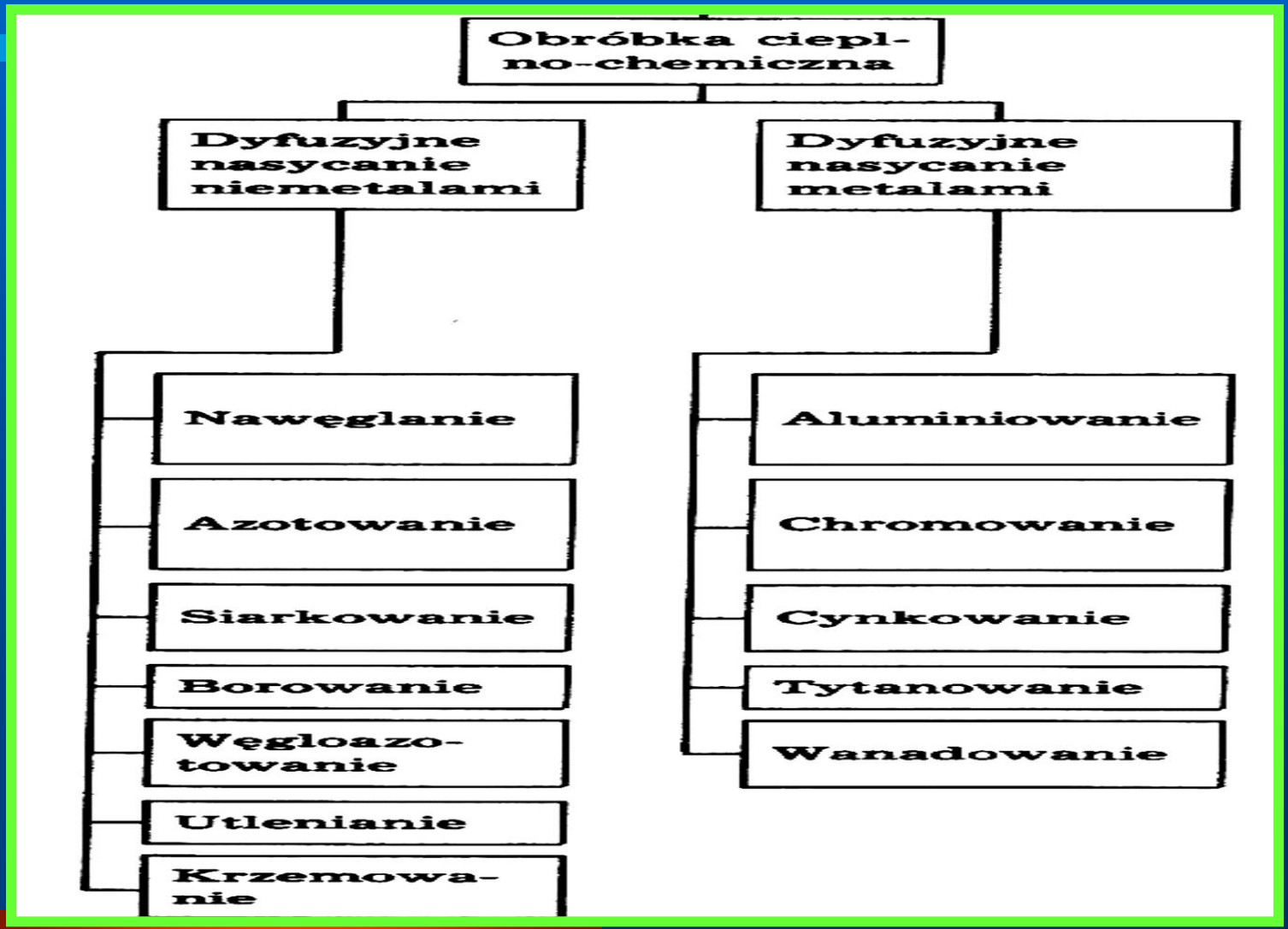
Rodzaje obróbki cieplnej stopów żelaza.



MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

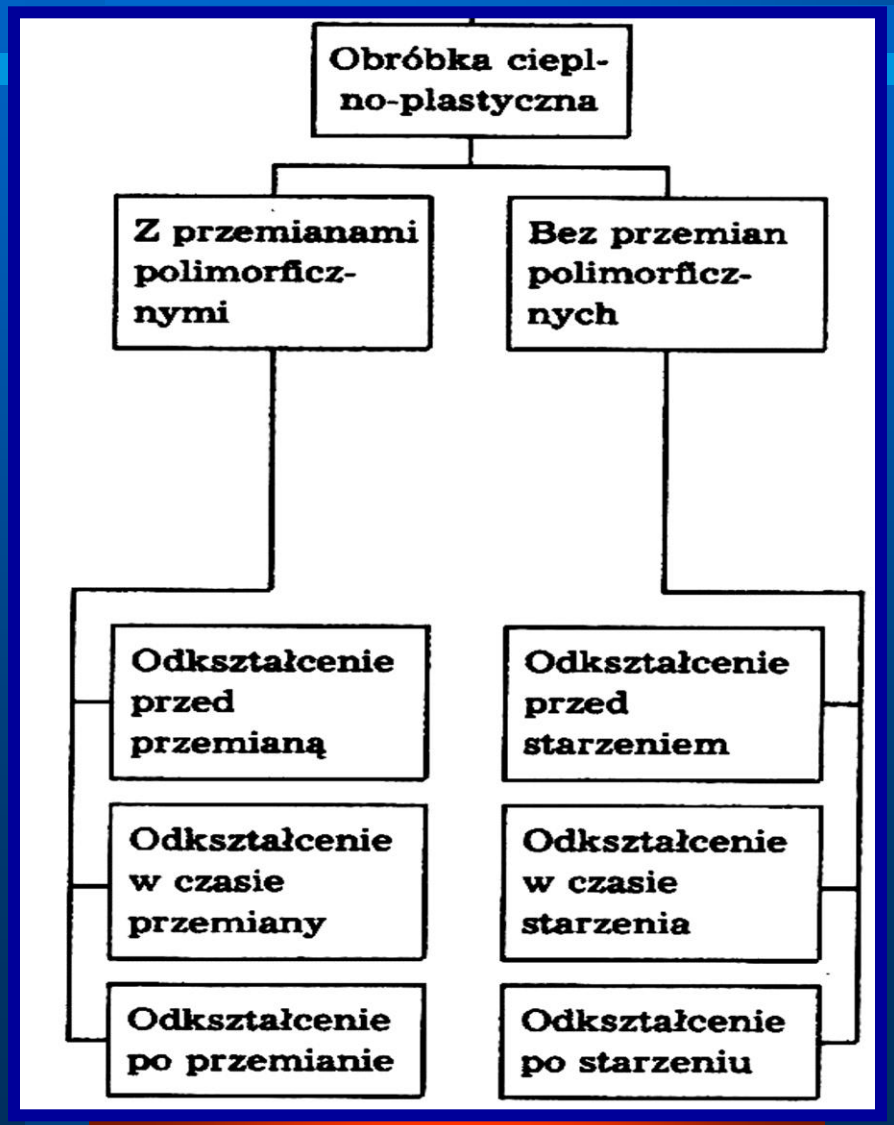
Rodzaje obróbki cieplno-chemicznej stopów żelaza.

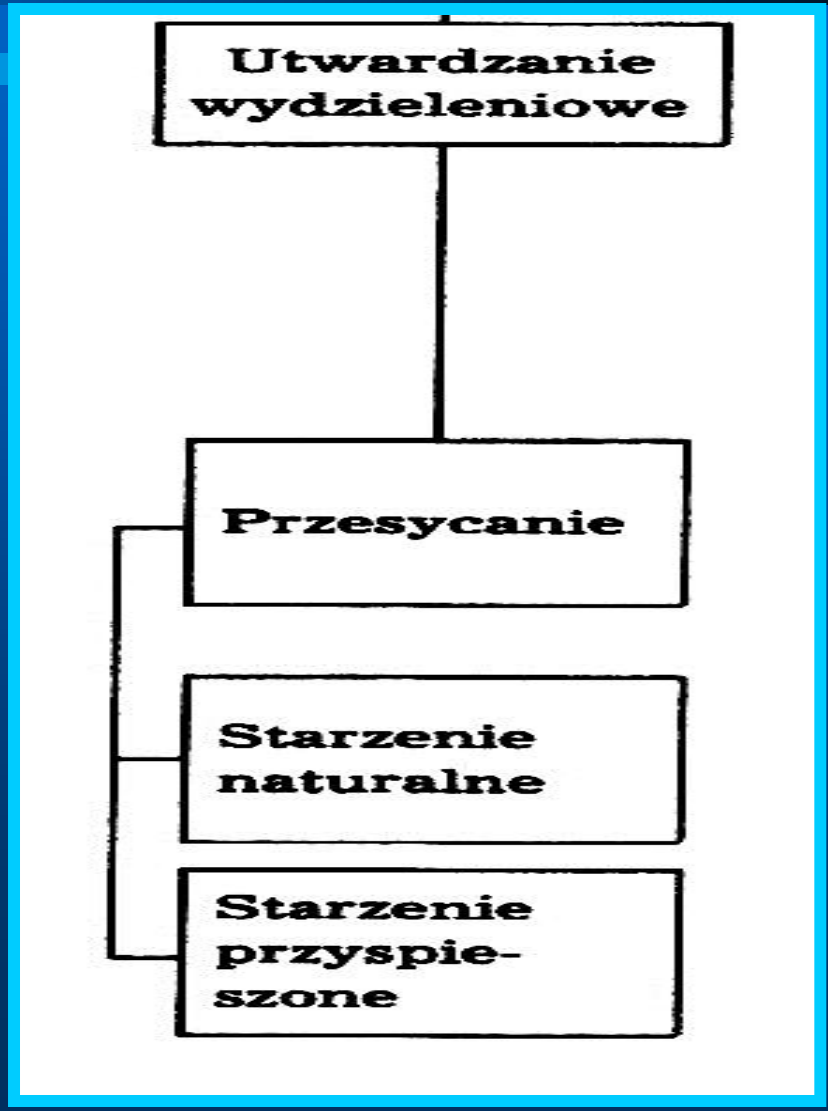


MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Rodzaje obróbki cieplno-plastycznej i cieplnej stopów żelaza.





MATERIAŁOZNAWSTWO

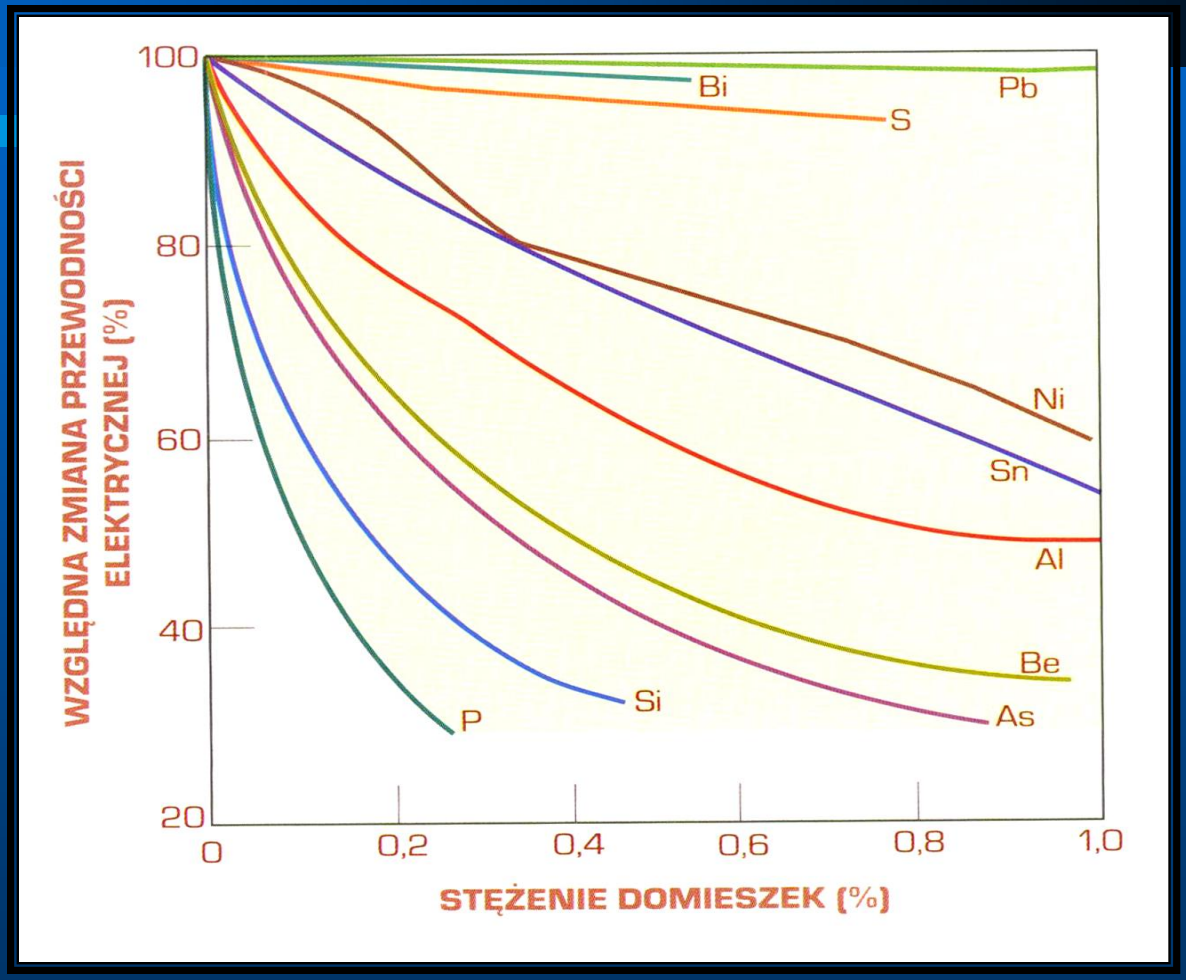
Miedź - Cu

Temperatura topnienia - **T_t=1083ºC**
Gęstość - γ=8,96 g/cm^3
Struktura krystalograficzna - **A1 (RCS)**
Brak odmian alotropowych
Parametr sieci - a=0,3617nm
Barwa - **czerwono-złocista**
Przewodność elektryczna - **s = 59,6 MS/m**
Przewodność cieplna - **λ = 401 W/mK**
Twardość - HV = 49
Moduł Younga - E = 137GPa
Bardzo dobra plastyczność

Główne zastosowanie to stopy z innymi pierwiastkami- brązy, oraz miedź w postaci czystej (do 1% domieszek) na elementy przewodzące prąd elektryczny i ciepło.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Wraz ze zwiększeniem zawartości dodatku pierwiastka domieszki obniża się plastyczność i wzrasta twardość miedzi.
Wyjątek stanowi srebro które nie obniża przewodności elektrycznej miedzi.



Wpływ domieszek tworzących roztwory stałe na zmianę przewodności elektrycznej miedzi.

STOPY MIEDZI

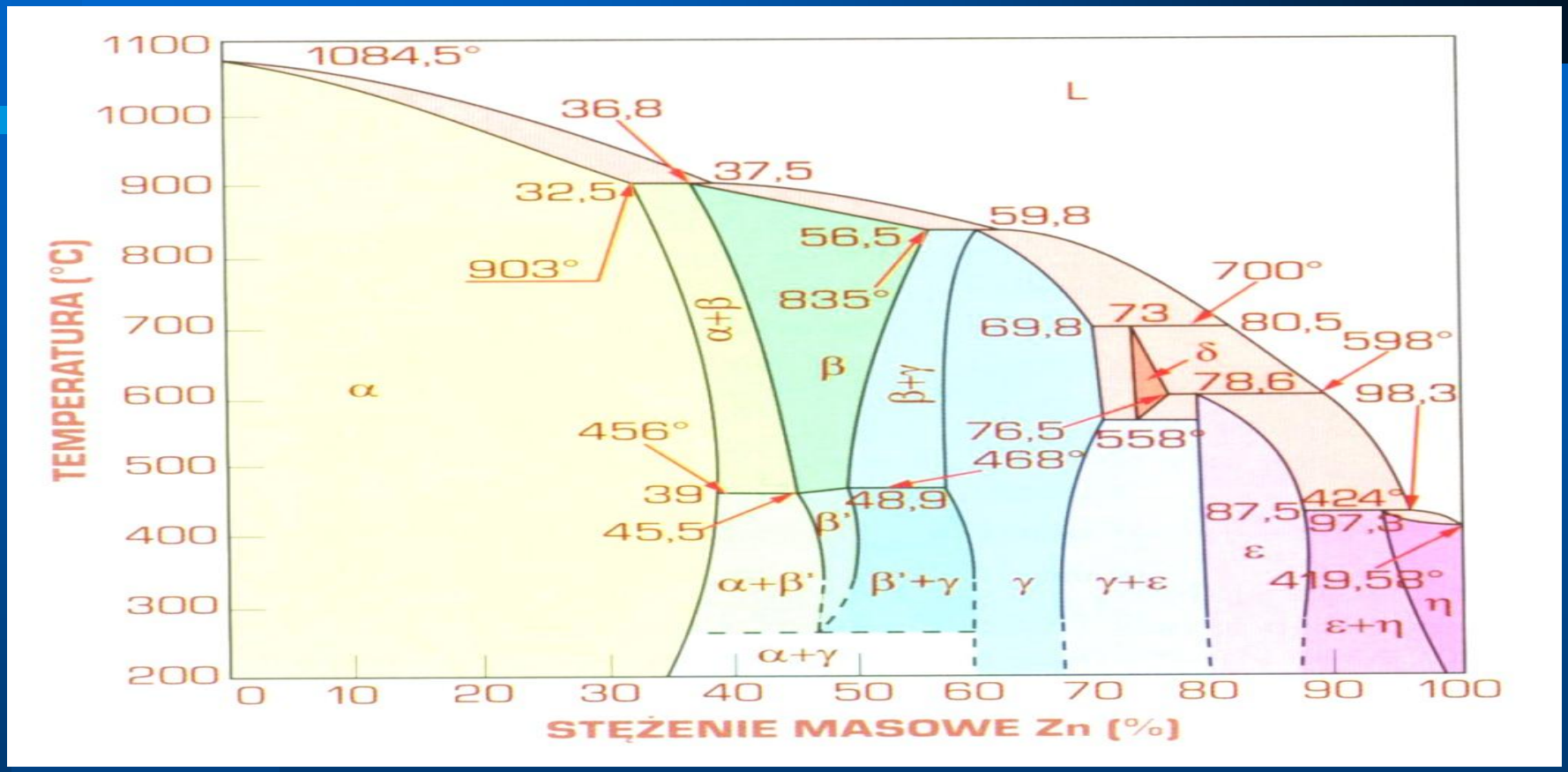
Stop miedzi z innym pierwiastkiem o zawartości powyżej 1% **– BRĄZ**

Stop miedzi z cynkiem o zawartości powyżej 1% **– Brąz cynkowy potocznie nazywany –MOSIĄDZ**

Techniczne znaczenie mają brązy:, cynowe, aluminiowe (brązale - amerykańskie złoto), krzemowe, berylowe i miedzio-nikle (nowe srebra), brazy cynkowe (mosiądze).

Stopy zawierające poniżej 1% dodatków to „miedź stopowa”.

MATERIAŁOZNAWSTWO



Układ równowagi Cu-Zn

Stopy Cu-Zn (mosiadze) w zakresie jednofazowym „α” są zazwyczaj stopami do przeróbki plastycznej. Stopy dwufazowe „α+β” są zazwyczaj stopami odlewniczymi (o zawartości cynku powyżej 42%, zwykle z innymi dodatkami (Al, Mn, Si).

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

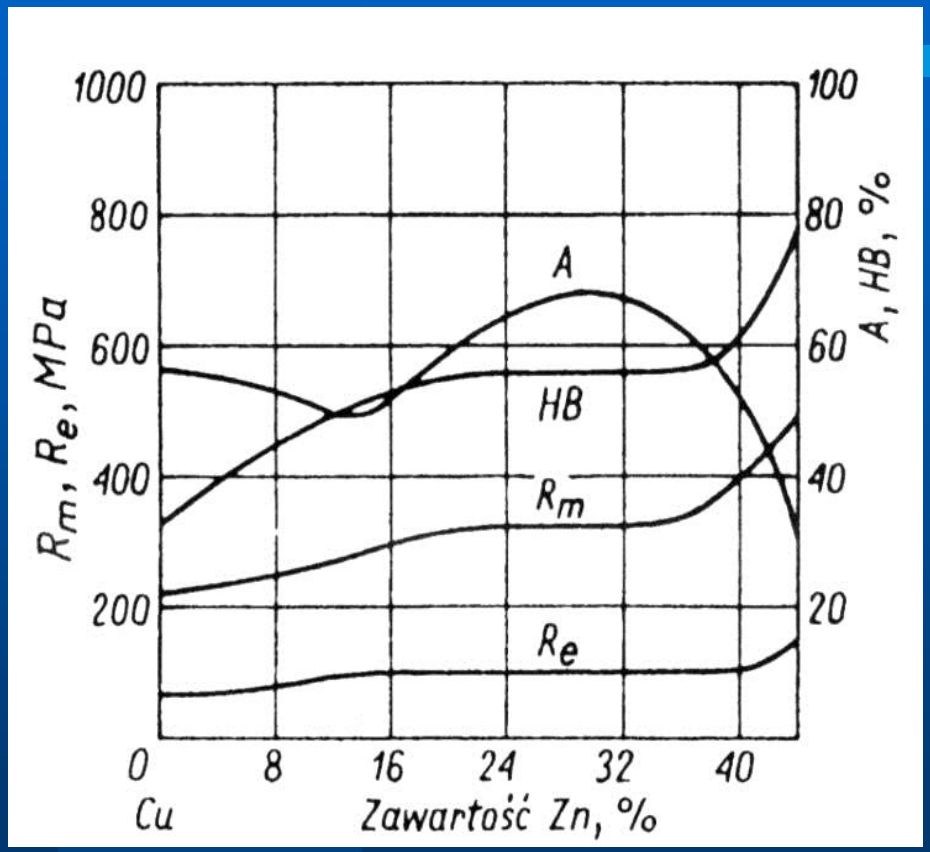
Mosiądze do obróbki plastycznej (wg PN-92/H-87025)

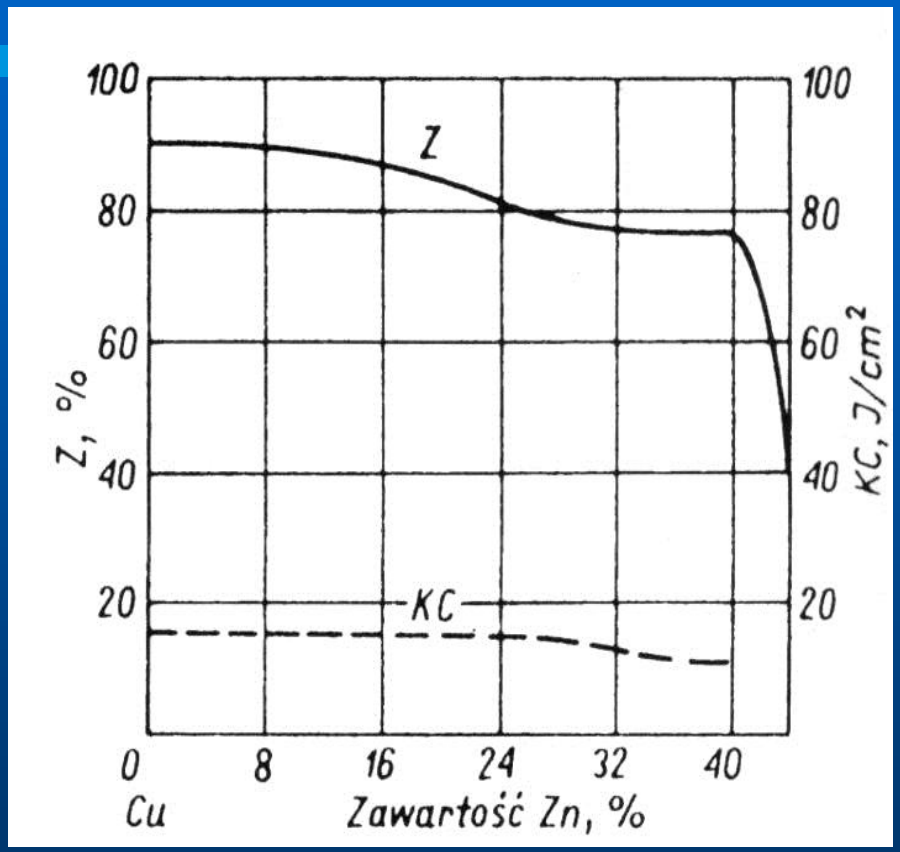
Znak, cecha	Średni skład chemiczny, %		Rodzaje wyrobów	Własności, zastosowanie
	Zn	inne		
CuZn15[1] M85	15		Blachy, pasy, taśmy, rury	Bardzo podatny do obr. plast.; umacniany przez zgniot; do głębokiego tłoczenia; odporny na korozję; b. dobrze lutowalny; wyroby artystyczne, membrany, wężownice, rurki manometryczne
CuZn30[1] M70	30		jw.	Łuskowy; do obr. plast. na zimno; odporny na korozję; bardzo dobrze lutowalny; chłodnice, wymienniki ciepła
CuZn37[1] M63	37		Blachy, pasy, rury, pręty, kształtowniki, druty	Własności jw.; na gorąco do głębokiego tłoczenia; elementy do obróbki plastycznej; rury i taśmy do chłodnic
CuZn40[1] M60	40		Taśmy, pręty	Podatny do obr. plast. na zimno; lutowalny; części kute, wytłaczane, śruby
CuZn39-Al1Fe1Mn1 MA58	39	Mn do 2 Fe do 1,5 Al do 1,5	Rury, pręty	Dobrze skrawalny; odporny na korozję; elementy aparatury, elementy ślizgowe, odkuwki na gorąco
CuZn40Pb2[1] MO58B	40	Pb do 2	Blachy, pasy, rury, pręty	Bardzo dobrze skrawalny (stop automatowy); odporny na korozję, ścieranie; łożyska, aparatura
CuZn20Al2 MA77	20	Al do 2	Rury	Bardzo odporny na korozję (szczeg. wody morskiej); rury skraplaczy, wymienników ciepła; przemysł okrętowy
CuZn31Si1 MK68	31	Si do 1	Pręty, rury	Dobre własności ślizgowe; elementy ślizgowe
CuZn38Sn1 MC62	38	Sn do 1	Blachy, pasy, rury, pręty, kształtowniki	Odporny na korozję wody morskiej; dna sitowe; przemysł okrętowy
CuZn40Mn MM58	40	Mn do 1,5	Blachy, pasy	Własności jak MC62; przemysł okrętowy, architektura; elementy aparatury

[1] Stopy mające odpowiedniki w normach PN-EN.
Inne normy na wyroby wykonywane z ww. gatunków podają szczegółowe wymagania.

Zastosowanie mosiądzów do przeróbki plastycznej

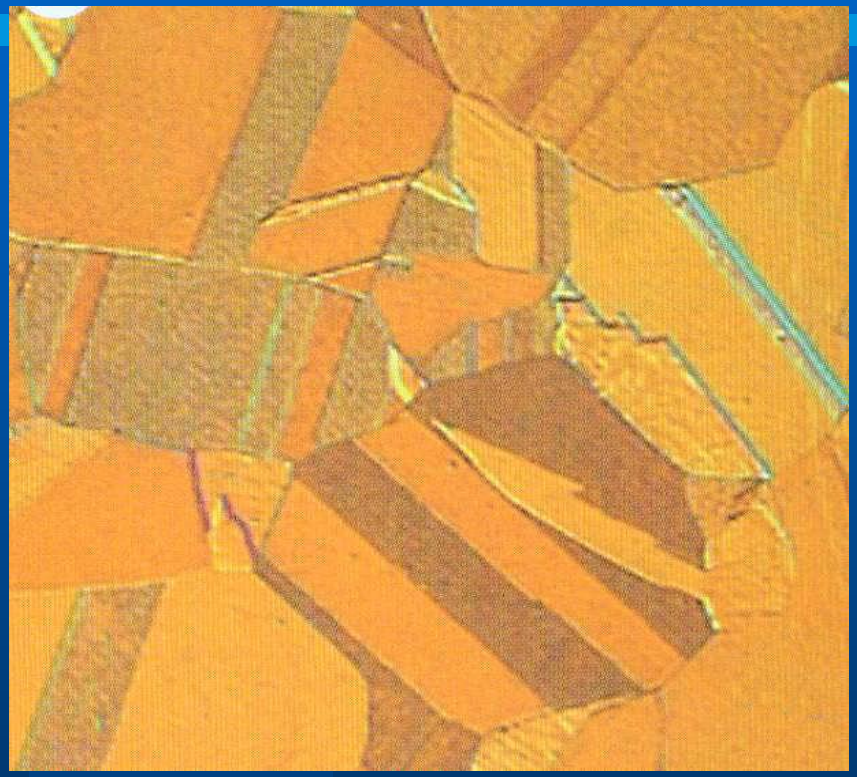
MATERIAŁOZNAWSTWO



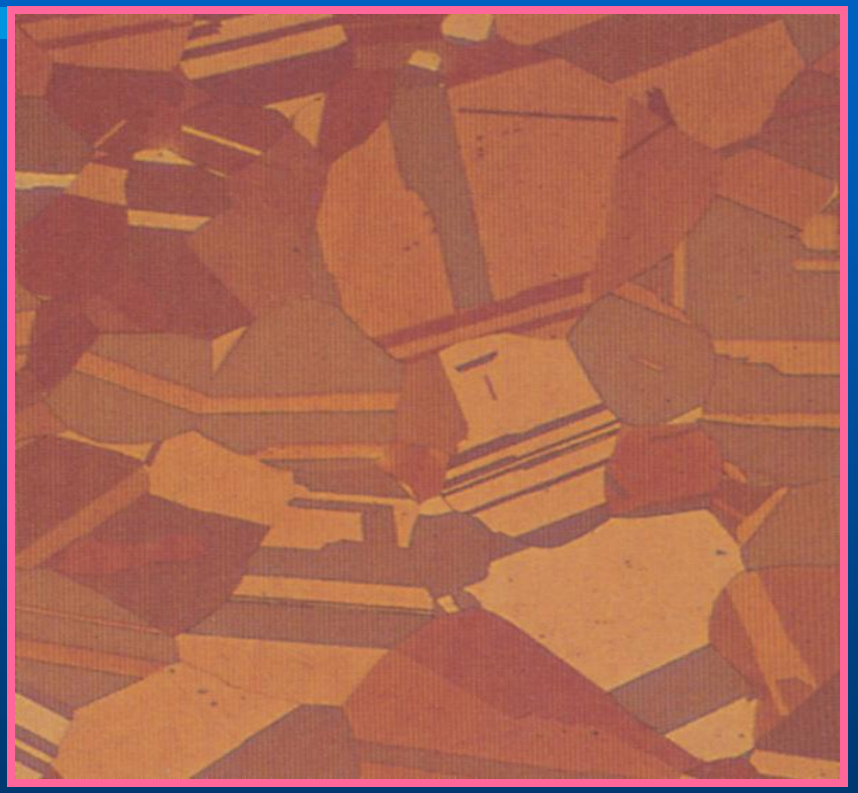


Wpływ zawartości cynku w stopie Cu-Zn (mosiądzu) na własności mechaniczne i plastyczne.

MATERIAŁOZNAWSTWO



Struktura mosiądzu jednofazowego.



Struktura miedzi

MATERIAŁOZNAWSTWO

Główne rodzaje brązów:

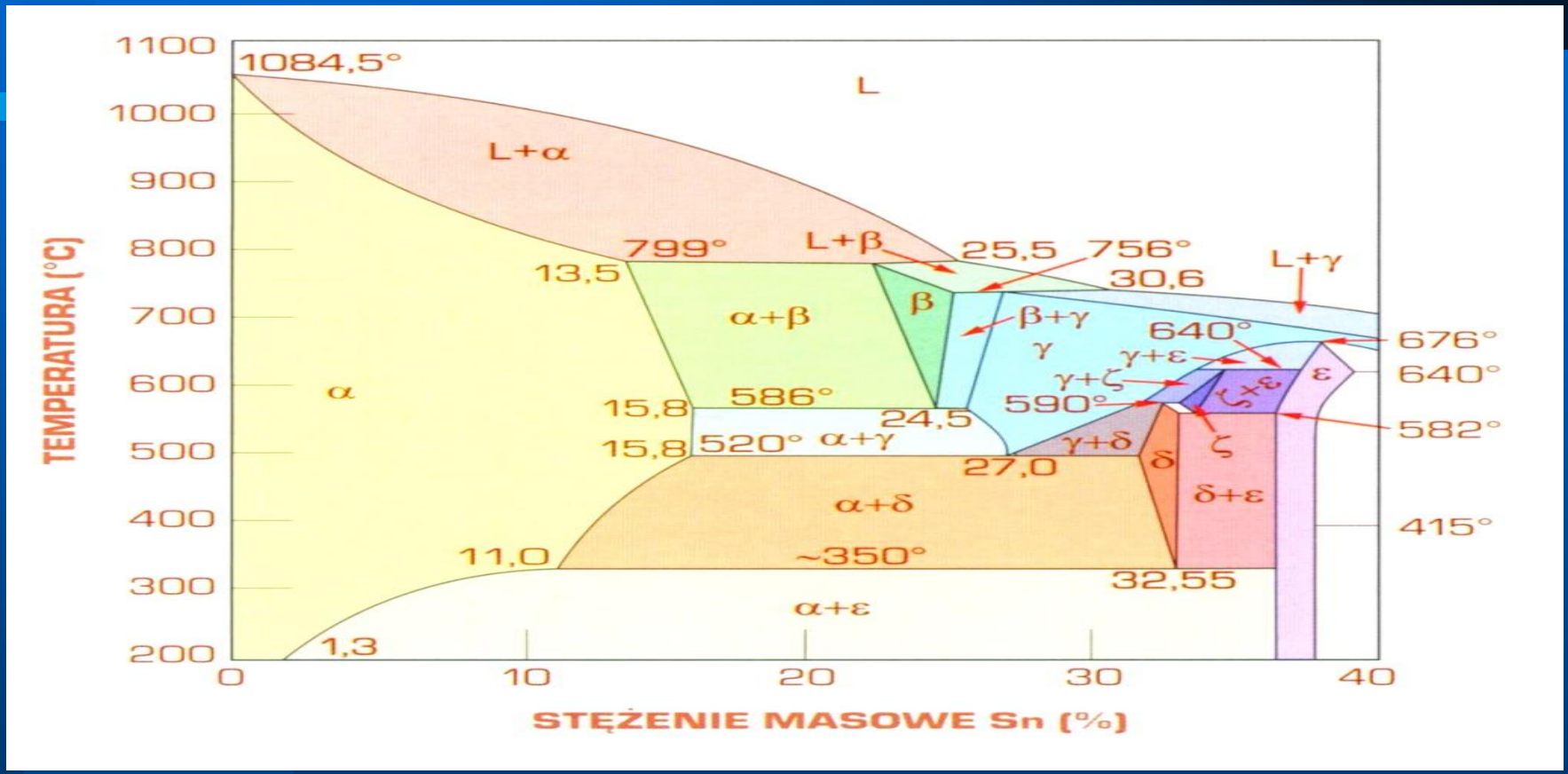
- Cynowe
- Aluminiowe
- Berylowe
- Ołowiowe
- Krzemowe
- Manganowe
- Niklowe (miedzionikle)

Większość brązów zawiera więcej niż jeden dodatek. Jednofazowe brązy nadają się do przeróbki plastycznej.

Brązy wielofazowe są stopami odlewniczymi.

Szczególnie dobrymi własnościami lejnymi odznaczają się brązy cynowe z których od najdawniejszych czasów wytwarzano ozdoby , dzwony, armaty, rzeźby itp.

MATERIAŁOZNAWSTWO



Układ równowagi Cu-Sn

Stopy Cu-Sn (brązy cynowe) charakteryzują się bardzo małym skurczem odlewniczym poniżej 1%. Stosowane na łożyska slizgowe i armaturę, osprzęt w przemysle okrętowym, w zaleznosci od dodatków stopowych możemy uzyskiwać rózne własności uzytkowe np. dobrą skrawalność, wysoką wytrzymałość mechaniczną , ciągliwość itp.

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Brązy do obróbki plastycznej (wg PN-92/H-87050, 51, 52 i 60)

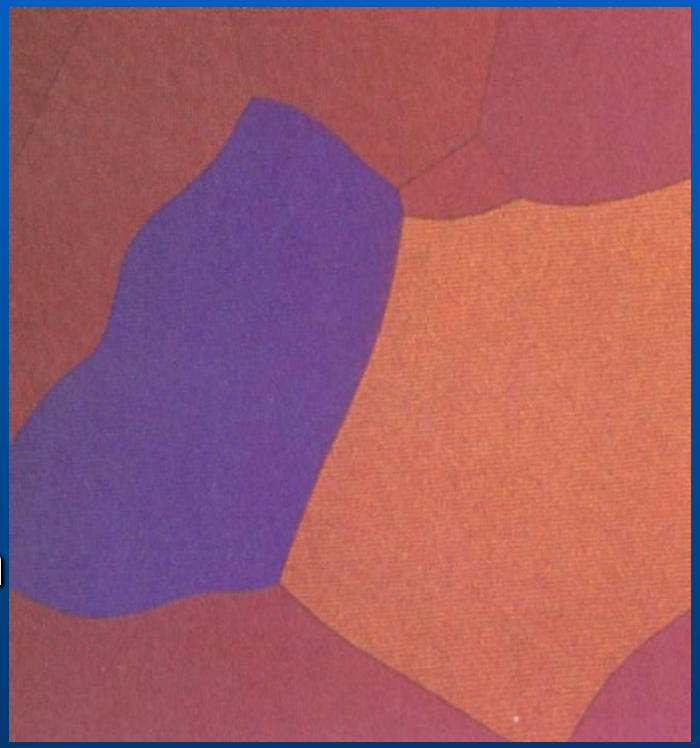
Znak (skład) cecha	Wyroby	Własności	Zastosowanie
CuSn4[1)] B4 Norma 050	Blachy, pasy, pręty, druty	Własności wytrzymałościowe i sprężyste oraz odporność na korozję i ścieranie rosną ze wzrostem zawartości Sn; dobra skrawalność, podatność do lutowania i spawania oraz obróbki plastycznej na zimno	Śruby, sprężyny, elementy przyrządów, połączenia wtykowe
CuSn8[1)] B8 Norma 050	Blachy, pasy, taśmy, rury		Sprężyny, membrany, sita papiernicze, rurki manometryczne, elementy przyrządów
CuSn4Pb4Zn3 B443 Norma 050	Blachy, pasy	Odporność na ścieranie i korozję, podatność do lutowania i obróbki plastycznej na zimno	Elementy ślizgowe
CuSi3Mn1[1)] BK31 Norma 060	Blachy, pasy, taśmy, pręty, druty	Bardzo dobra wytrzymałość i odporność na korozję; podatność do obróbki plastycznej na zimno; bardzo dobrze spawalny	Sprężyny, siatki, aparatura chemiczna, elementy do spawania
CuBe2Ni(Co)[1)] BB2 Norma 060	Taśmy, pasy, pręty	Bardzo dobre własności wytrzymałościowe i sprężyste; odporność na ścieranie i korozję; podatność do obróbki plastycznej na zimno; nie iskrzy	Przewody trakcji elektrycznej części maszyn w wytwórniach materiałów wybuchowych, szczotki do silników i prądnic
CuAl5As BA5 Norma 051	Taśmy, pasy	Duża odporność na korozję (gorące roztwory soli); dobra podatność do obróbki plastycznej na zimno	Elementy pracujące w wodzie morskiej i aparatura chemiczna
CuAl8Fe3 BA83 Norma 051	Rury, pręty	Wysoka wytrzymałość (także przy podwyższ. temp.); dobra odporność na korozję, erozję i kawitację, zmienne obciążenia, ścieranie; podatność do obróbki plastycznej na zimno	Dna sitowe wymienników ciepła, elementy aparatury chemicznej
CuAl10Fe3Mn2[1)] BA1032 Norma 051	Rury, pręty		Elementy aparatury kontrolno-pomiarowej i chemicznej; wały, śruby, elementy narażone na ścieranie
CuNi25 MN25 Norma 052	Blachy, pasy	Bardzo dobra odporność na korozję i ścieranie	Monety
CuNi10Fe1Mn MŻN101 Norma 052	Rury	Dobra odporność na korozję (szczególnie w wodzie morskiej), erozję, kawitację; dobra spawalność	Rury na wymienniki ciepła (przemysł okrętowy); urządzenia klimatyzacyjne, aparatura

[1)] Stopy mające odpowiedniki w normach PN-EN.

Zastosowanie brazów do przeróbki plastycznej

Aluminium (glin) - Al

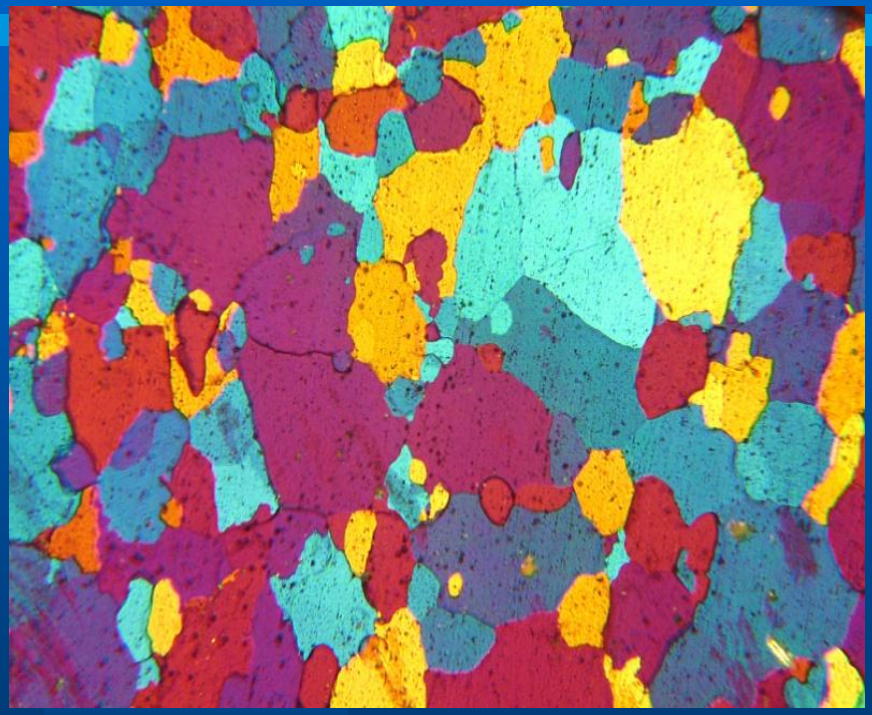
Temperatura topnienia - T_t=660,37 ºC
Gęstość - γ=2,70 g/cm^3
Struktura krystalograficzna - A1 (RSC)
Parametr sieci - a=0,4049 nm
Barwa - srebrzysto biała
Brak odmian alotropowych
Przewodność elektryczna - s=37,7 MS/m
Przewodność cieplna - λ=237 W/mK
Twardość - HV=16,7
Bardzo dobra plastyczność



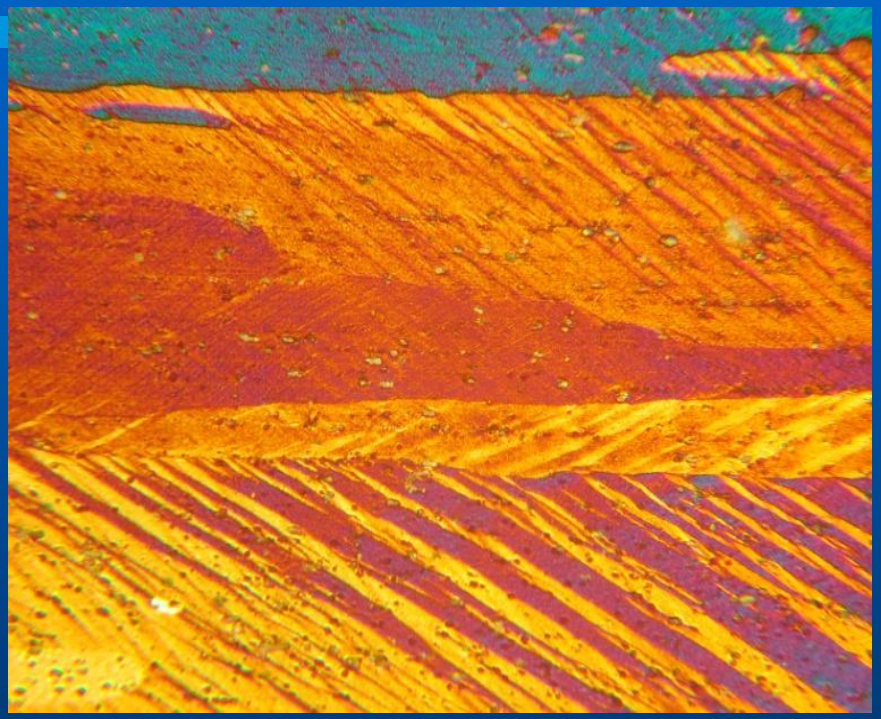
Struktura czystego aluminium (99,999%)

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA



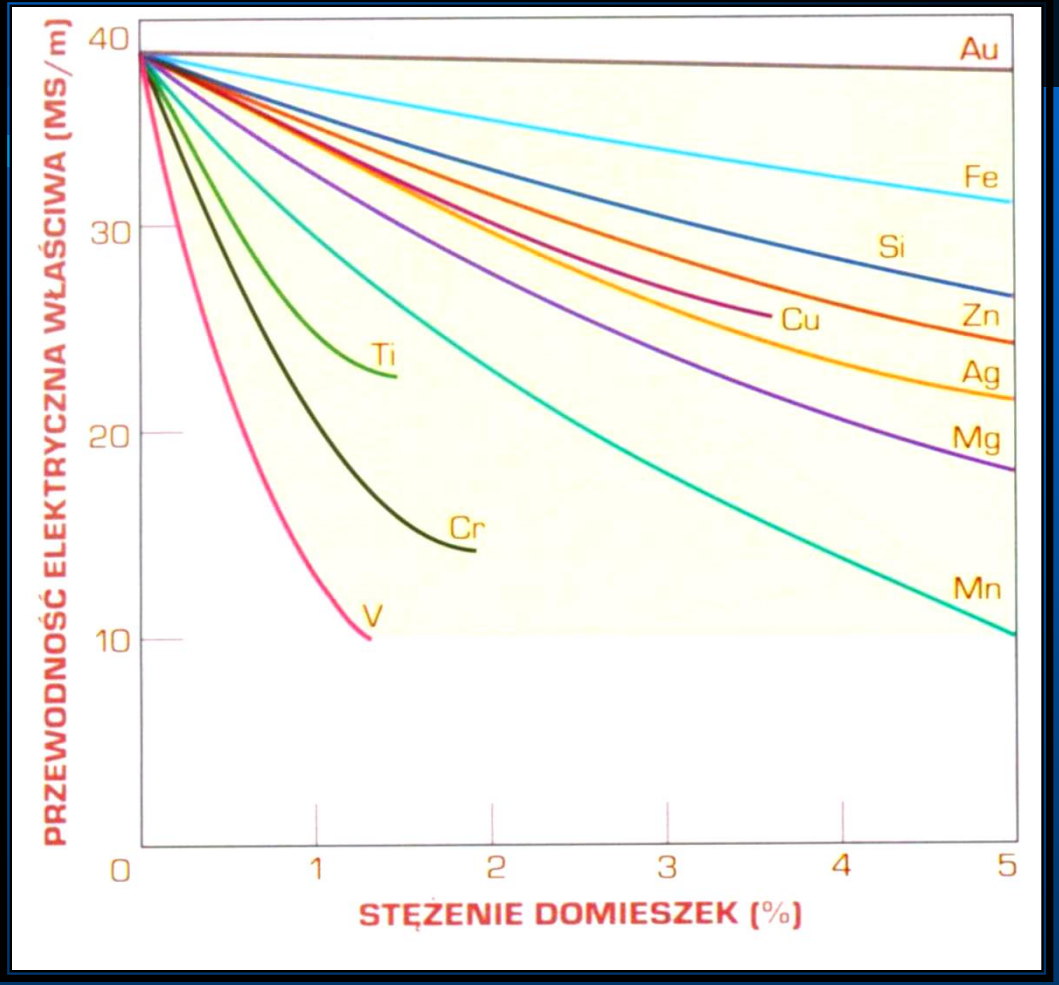
Aluminium po deformacji
na gorąco



Aluminium po deformacji
na zimno

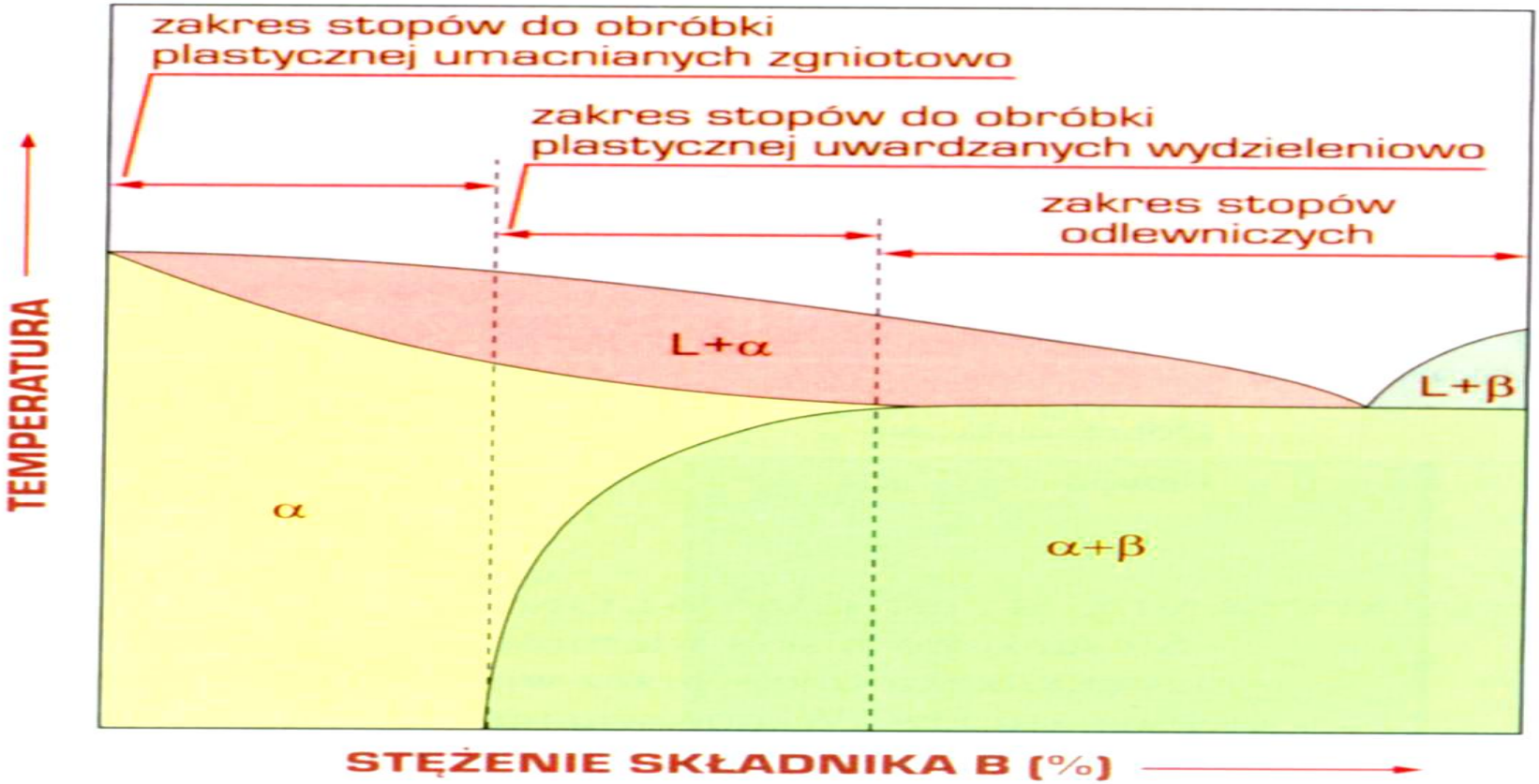
MATERIAŁOZNAWSTWO

Domieszki tworzące roztwory stałe, obniżają przewodność elektryczną aluminium, obniżają również plastyczność aluminium i powodują wzrost twardości. Wyjątkiem jest tu złoto, które nie obniża przewodności elektrycznej aluminium.



Wpływ domieszek tworzących roztwory stałe na zmianę przewodności elektrycznej aluminium.

MATERIAŁOZNAWSTWO



Poglądowe przedstawienie zakresów stosowania stopów aluminium

- do obróbki plastycznej (umacnianych zgniotowo)
- do obróbki plastycznej (utwardzanych wydzieleniowo)
- stopów odlewniczych

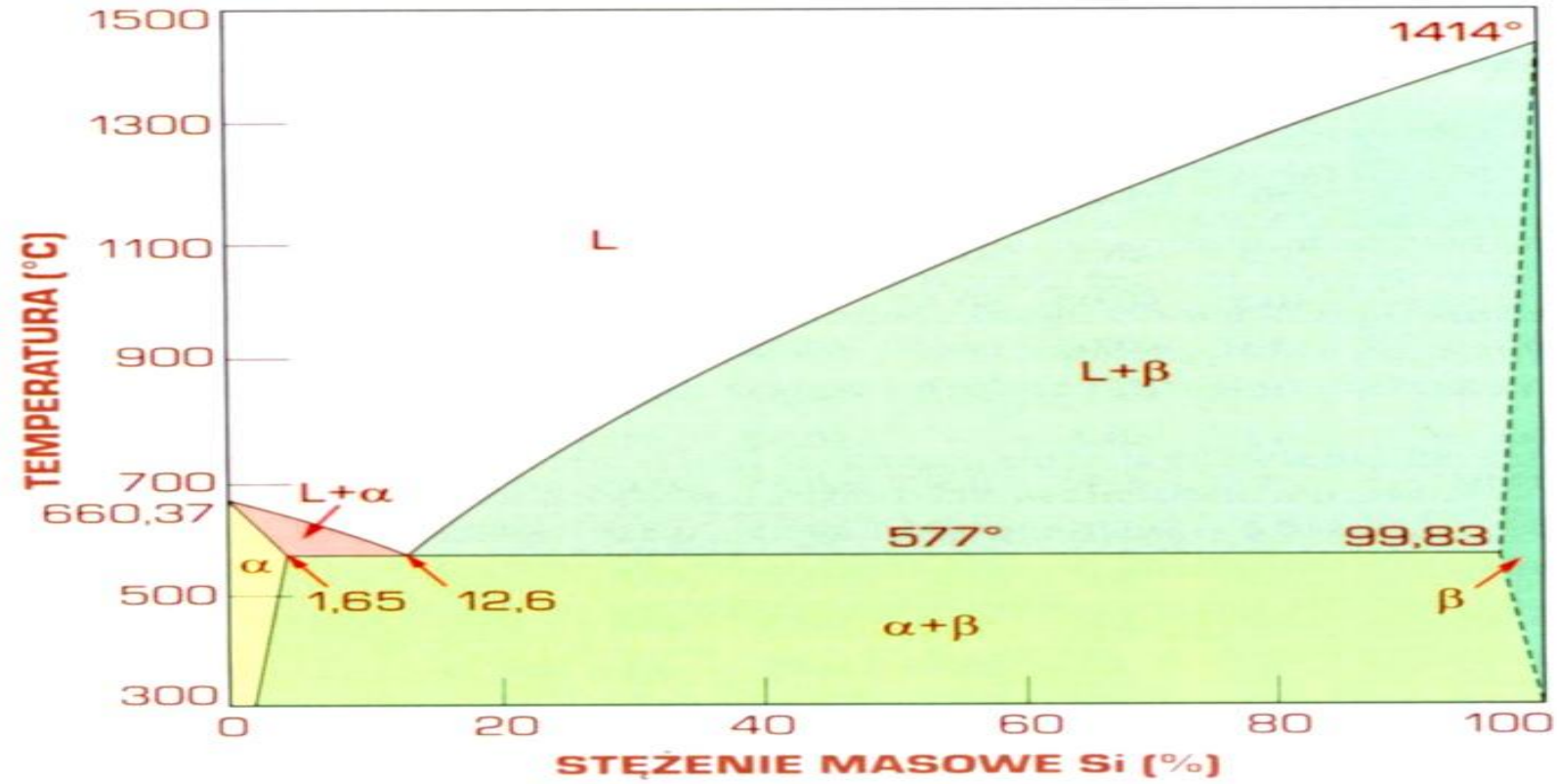
MATERIAŁOZNAWSTWO

Wielość różnorodnych stopów aluminium spowodowała konieczność wprowadzenia podziału na grupy (serie)

Serie plastycznych stopów aluminium:

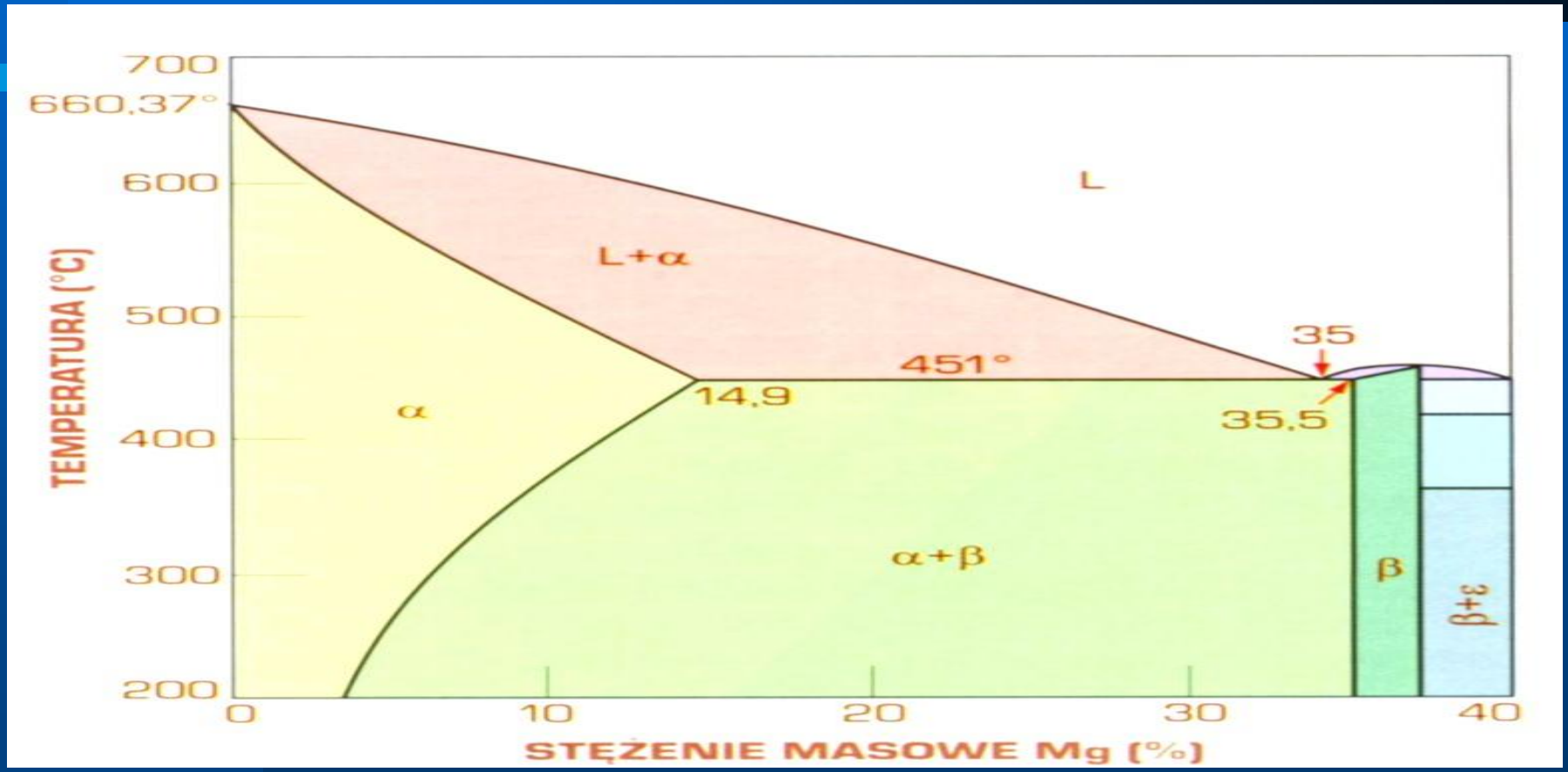
1XXX – aluminium techniczne
2XXX – stopy z miedzią
3XXX – stopy z manganem
4XXX – stopy z krzemem
5XXX – stopy z magnezem
6XXX – stopy z fazą Mg_2Si
7XXX – stopy z Zn i Mg
8XXX – stopy z litem i/lub żelazem
9XXX – stopy eksperymentalne

MATERIAŁOZNAWSTWO



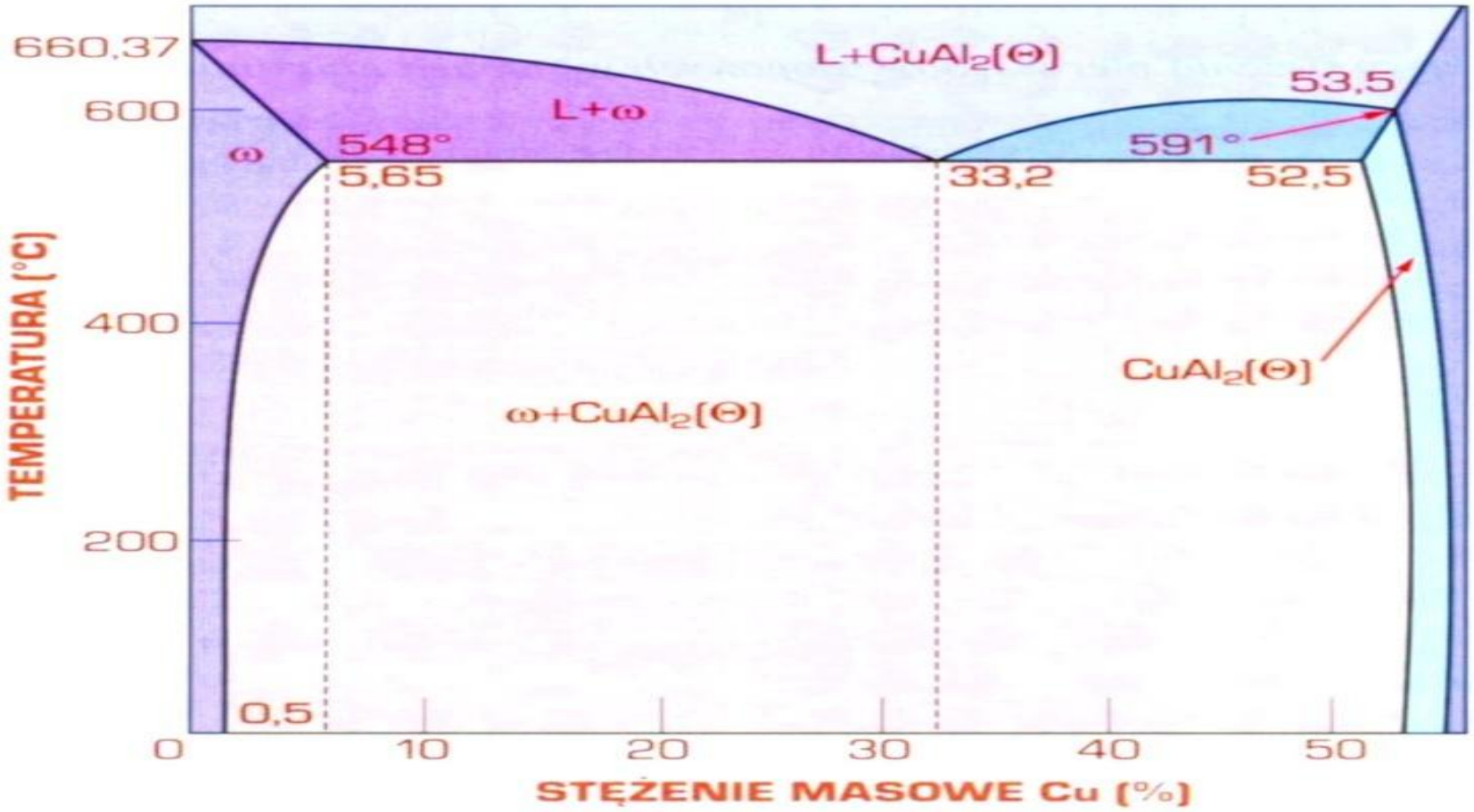
Układ równowagi Al-Si

MATERIAŁOZNAWSTWO



Układ równowagi Al-Mg (część układu)

MATERIAŁOZNAWSTWO



Układ równowagi Al-Cu (część układu)

MATERIAŁOZNAWSTWO

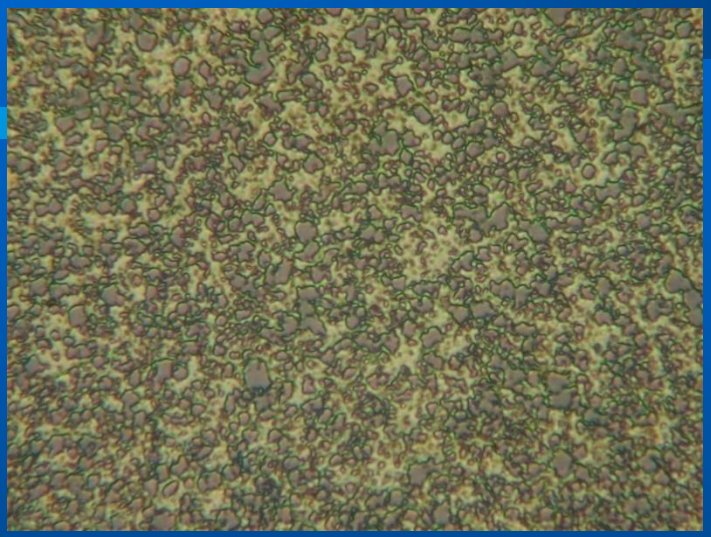
Cechy stopów aluminium:

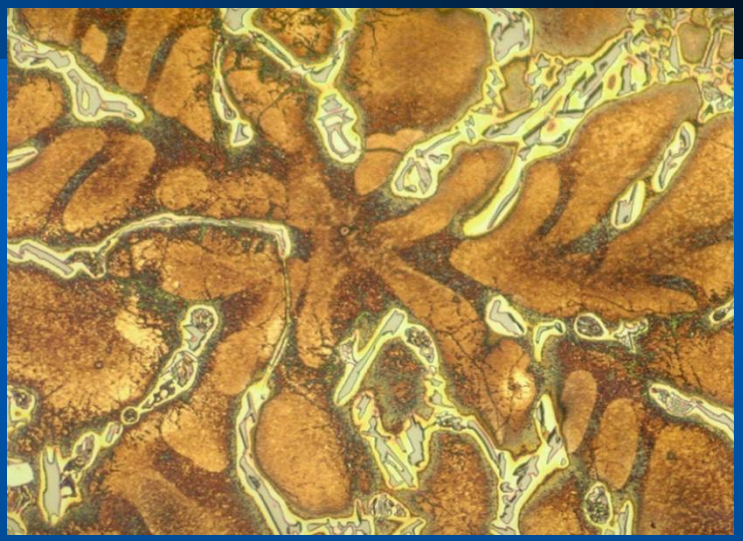
- **niski ciężar właściwy**
- **odporność na warunki atmosferyczne**
- dobra odkształcalność stopów przeróbczych
- **stosunkowo dobra lejność stopów odlewniczych**. Stopy odlewnicze posiadają więcej niż jeden dodatek stopowy. Większość takich stopów opiera się na układzie aluminium-krzem (Al-Si) z dodatkami Fe, Cu, Mn, Ni.
- możliwość umacniania poprzez przesycanie
- **możliwość wytwarzania stopów o różnorakim składzie**
- Stosunkowo duży zakres zmian własności mechanicznych i użytkowych poprzez zmianę składu chemicznego i struktury stopu

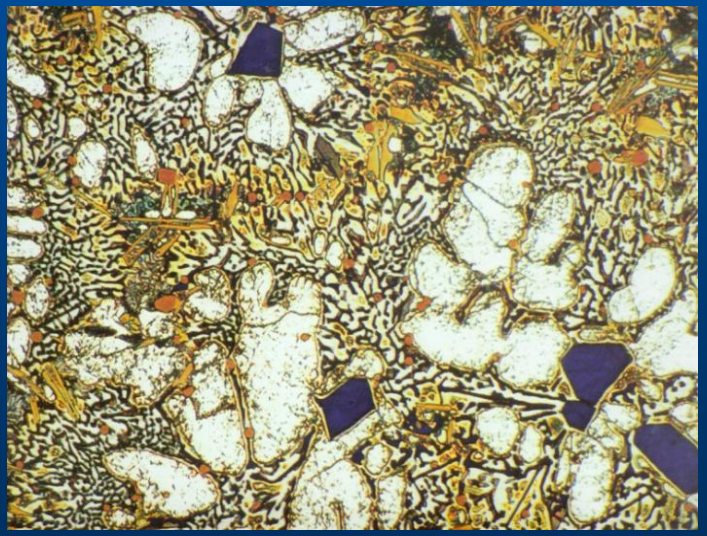
Wytrzymałość : $R_m \rightarrow 80 \div 850$ MPa
Twardość: HV $\rightarrow 17 \div 200$
Plastyczność: A $\rightarrow 2 \div 40$ %

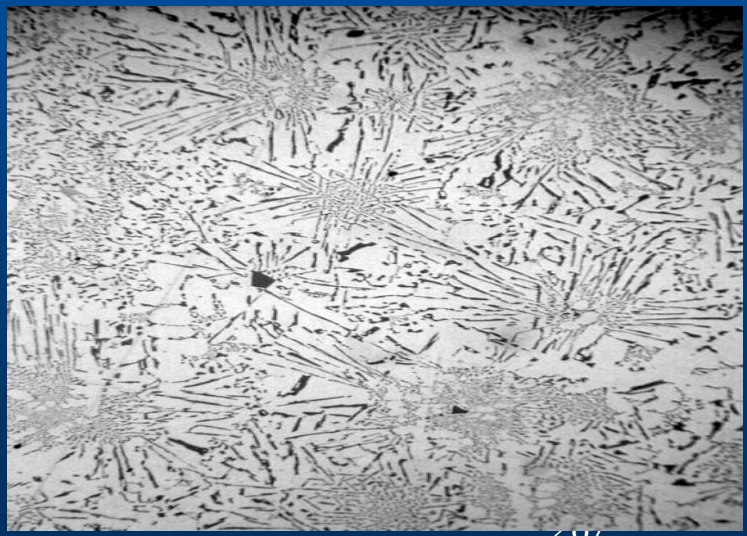
MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA





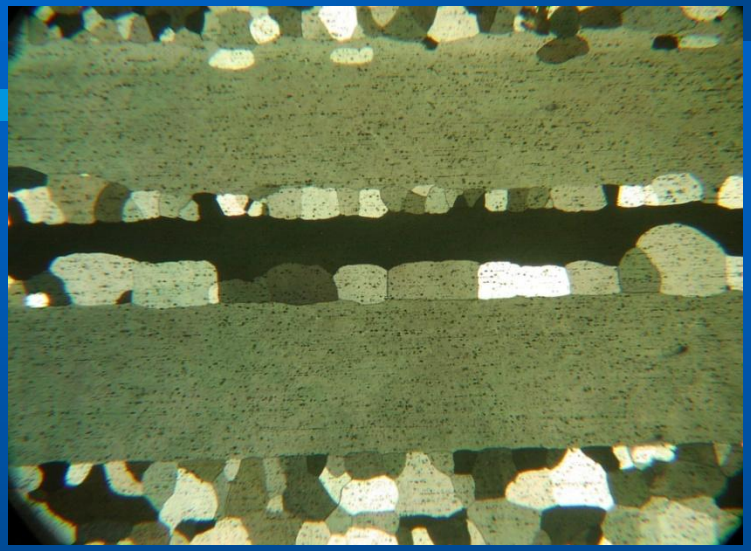


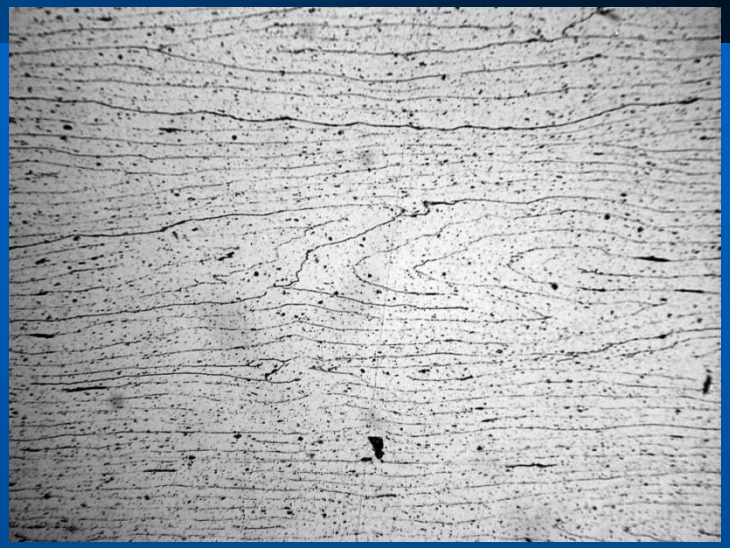


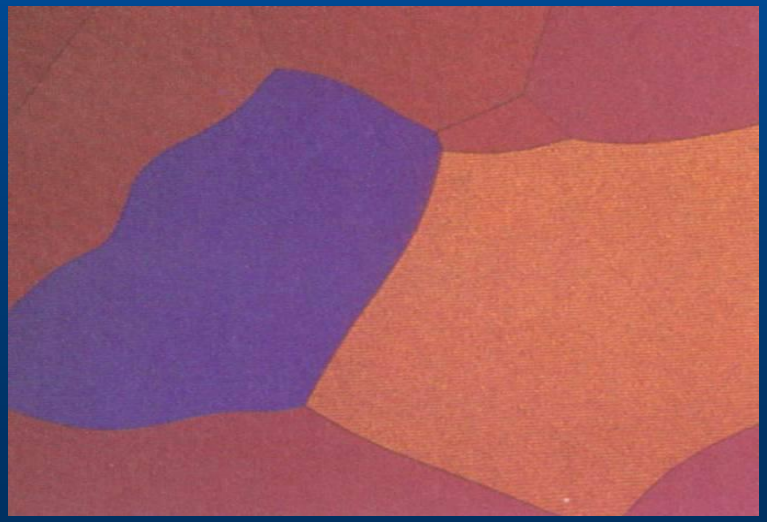
Różnorodność struktur stopów aluminium. 1

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA









Róznorodność struktur stopów aluminium. 2

MATERIAŁOZNAWSTWO

Wykorzystanie stopów aluminium w świecie:

DZIEDZINA	UDZIAŁ PROCENTOWY
• transoport	29 % ogólnej produkcji
• opakowania	23 %
• budownictwo i konstrukcje	19 %
• elektrotechnika i elektronika	8 %
• maszyny i urządzenie	8 %
• dobra użytkowe	6 %
• inne	7 %

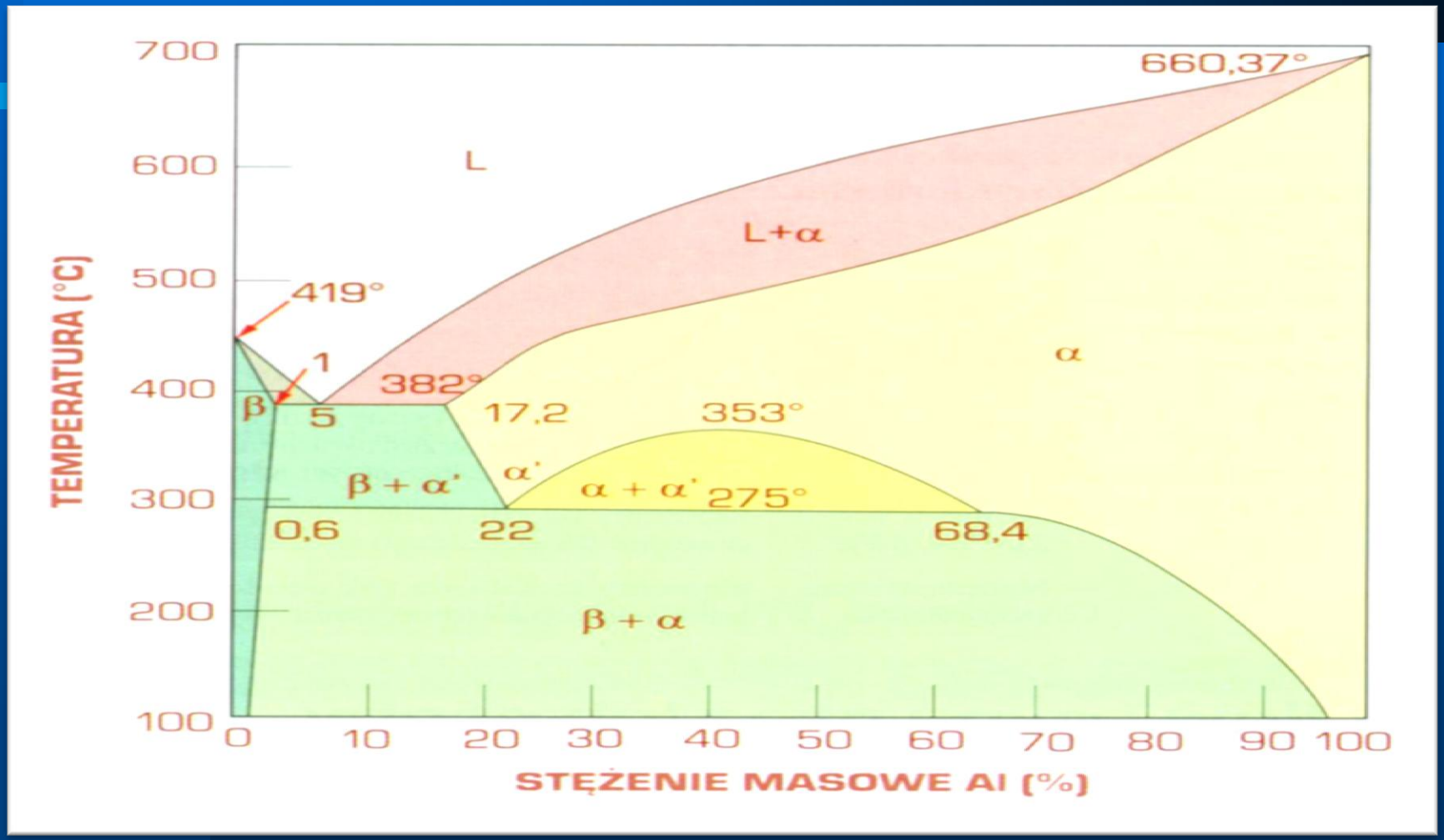
Własności aluminium mogą być zmieniane w szerokim zakresie przez modyfikacje składu i struktury:

Wytrzymałość => $R_m \rightarrow 80 \div 850$ MPa
Twardość => HV → 17 ÷ 200
Plastyczność => A → 2 ÷ 40 %

Cynk - Zn

Temperatura topnienia - **T_t=419ºC**
Gęstość - **γ=7,14 g/cm^3**
Barwa - srebrzysto szara
Struktura krystalograficzna -A3 (HZ)
Parametr sieci - a=0,369 nm c=o,675nm
Brak odmian alotropowych
Przewodność elektryczna - s=16,6MS/m
Przewodność cieplna - λ=116 W/mK
Twardość - HV=2,5
Umiarkowana plastyczność
Bardzo dobra odporność na korozję atmosferyczną

MATERIAŁOZNAWSTWO



Układ równowagi Zn-Al

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Znak stopu	Średnie stężenie pierwiastków, %				Własności mechaniczne [1]		
	Al	Cu	Mg	inne	R_m, MPa	$R_{p0,2}$, MPa	A_{50mm}, %
ZP16	0,03	1,2	0,01	Cr: 0,15, Ti: 0,2	220	-	-
ZP3	4	0,08	0,04	-	280	200	10
ZP5	4	1	0,04	-	330	250	5
ZP2	4	3	0,04	-	355	270	5
ZP6	5,7	1,4	0,003	-	-	-	-
ZP8	8,4	1	0,02	-	370	220	8
ZP12	11	0,8	0,02	-	400	300	5
ZP27	26,5	2,3	0,015	-	425	370	2,5

[1] Wartości średnie dla odlewów ciśnieniowych; stop ZP6 nie jest odlewany tą metodą.

Wpływ dodatków stopowych na własności mechaniczne stopów cynku.

MATERIAŁOZNAWSTWO

- **Cynk** jest bardzo ważnym składnikiem stopów miedzi (mosiądzów).
- stosowany do wykonywania powłok antykorozyjnych w przemyśle motoryzacyjnym, maszynowym
- stopy cynku są przeznaczone na odlewy precyzyjne.
- czysty produkuje się w postaci wyrobów walcowanych i ciągnionych.
- posiada bardzo dobrą odporność na korozję atmosferyczną stąd był stosowany na pokrycia dachowe budowli zabytkowych i domów mieszkalnych.
- stosowany w elektrotechnice

Zastosowanie **Cynku**- procentowy udział:

Powłoki galwaniczne - 54 %
Stopy cynku - 21 %
Składnik stopów cynku - 15 %
Inne zastosowania - 10 %

Nikiel- Ni

Temperatura topnienia - **T_t=1452ºC**
Gęstość - **γ=8,9 g/cm^3**
Barwa - szaro srebrzysta
Struktura krystalograficzna –A1 (RSC)
Parametr sieci - a=0,35238 nm
Twardość - HB= 90
Dobra plastyczność
$R_{0,,2}$ = 150MPa (w stanie wyżarzonym)
R_m = 440MPa (w stanie wyżarzonym)
Znacznie umacnia się poprzez zgniot
Duża odporność na korozję

MATERIAŁOZNAWSTWO

- **Stopy niklu;**
- **Monele – stopy odporne na korozję, obrabialne plastycznie na zimno i gorąco, spawalne. NiCu20-40FeMn , Rm=do700MPa**

Stosowane na łopatki turbin dzięki wysokim własnościom wytrzymałościowym i antykorozyjnym.

- **Nowe srebra (argentan, alpaka) 20-30% Ni, 45-60% Cu, 20-35% Zn.**

Stosowane do wyrobu galanterii, zastaw stołowych (sztućce itp.), przedmiotów ozdobnych.

- **Nichromy (żarowytrzymałe) Ni10-20%Cr, do10%Fe, 2-4% Mn.**

(elementy grzewcze, wieloskładniwe- nimoniki)

- **Alumel NiAl2Mn2Si1 – elementy termopar do1100*C**
- **Chromel NiCr10 - elementy termopar do1100*C**
- Pierwiastek stopowy stali
- Pierwiastek do galwanicznego nakładania powłok ochronnych

MATERIAŁOZNAWSTWO

- **Stopy niklu (stopy miedzi z niklem):**

•Miedzionikle – stopy miedzi z niklem (układ Cu-Ni to układ z nieograniczoną rozpuszczalnością w stanie ciekłym i stałym)

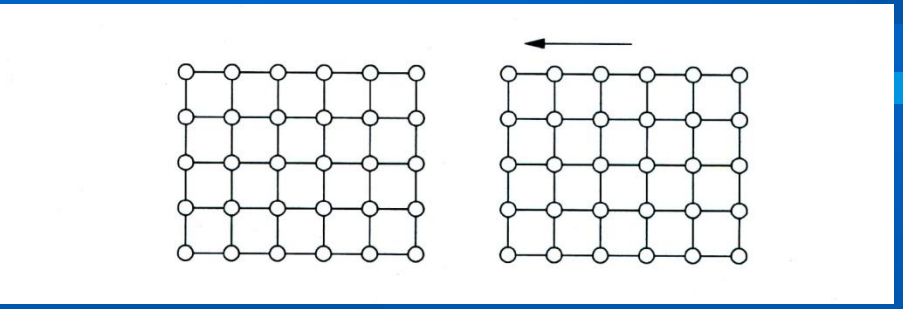
•Najważniejsze stopy miedzi z niklem to:

- CuNi19 **–Nikielina (dobre własności plastyczne, odporna na korozję)**
- Cu Ni40Mn1 **–Konstantan (elektrotechnika, termoelementy)**
- CuNi25 **– miedzionikiel stosowany na monety**
- CuNi30Mn1Fe –melchior (odporny na korozję)
- CuNi6Al2 – kunial (odporny na korozję)
- Miedzionikle z dodatkiem Si,Mn,Al można umacniać wydzieleniowo.
- CuNi10 – szczególnie odporny na korozję w wodzie morskiej
- **Miedzionile z niewielkimi dodatkami (do 2%) Si, Mn, Al.,Fe stosuje się do produkcji elenentów grzewczych , oraz w przemyśle okrętowym**

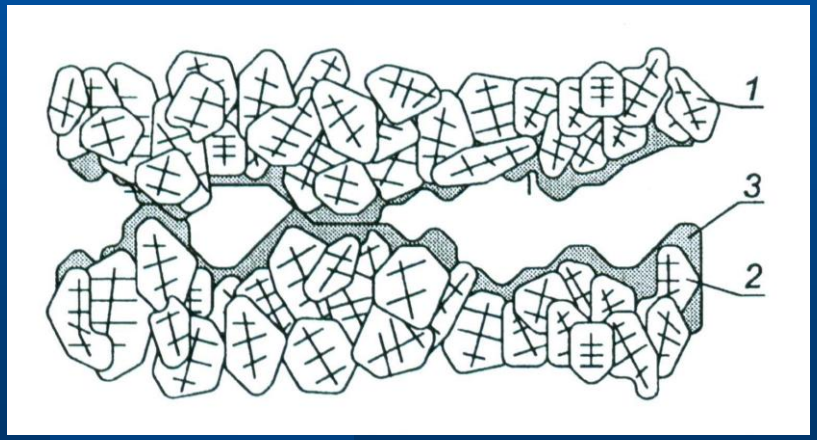
Podstawowe techniki łączenia (spajania) materiałów:

- SPAWANIE
- ZGRZEWANIE
- LUTOWANIE
- KLEJENIE

MATERIAŁOZNAWSTWO



Schematycznie przedstawiony teoretyczny warunek zespolenia dwóch kryształów o identycznych sieciach krystalicznych :
1 i 2 – łączone kryształy



Schematycznie przedstawiony styk nieobciążonych rzeczywistych powierzchni:
1 i 2 – kryształy (cząstki) łączonych metali, 3 - warstwa tlenków

SPAWANIE

GAZOWE

ELEKTRYCZNE

TERMITOWE

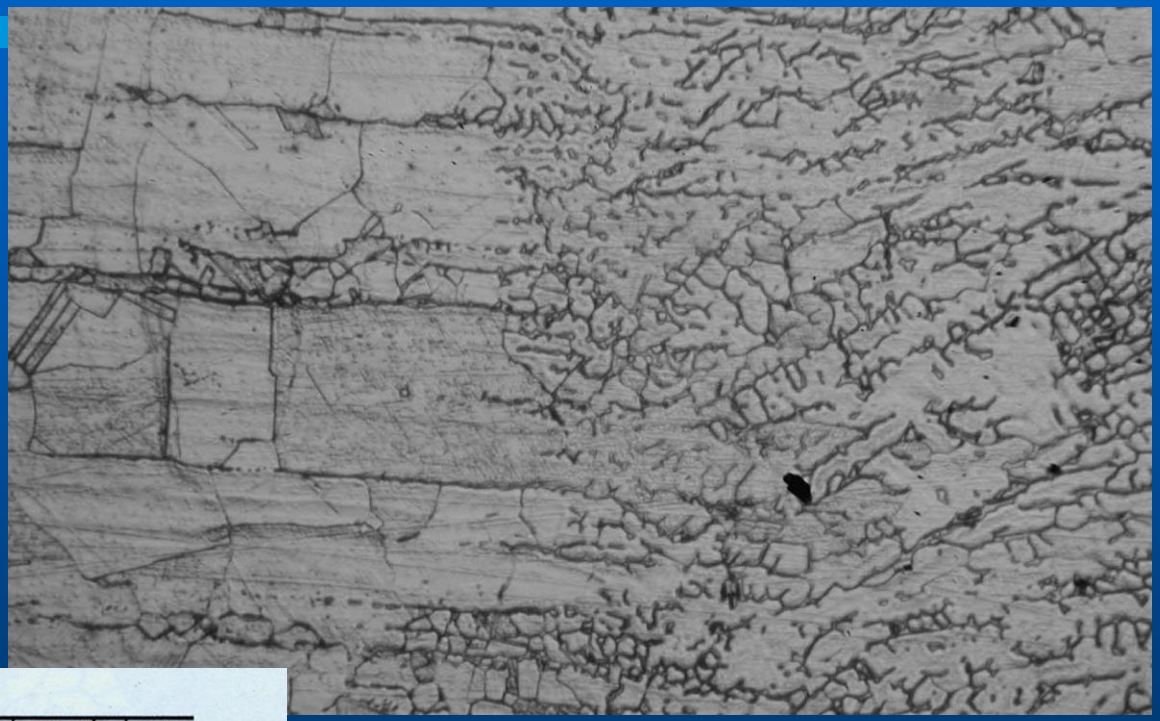
Spawanie gazowe – źródłem ciepła jest spalający się gaz (acetylen, wodór).

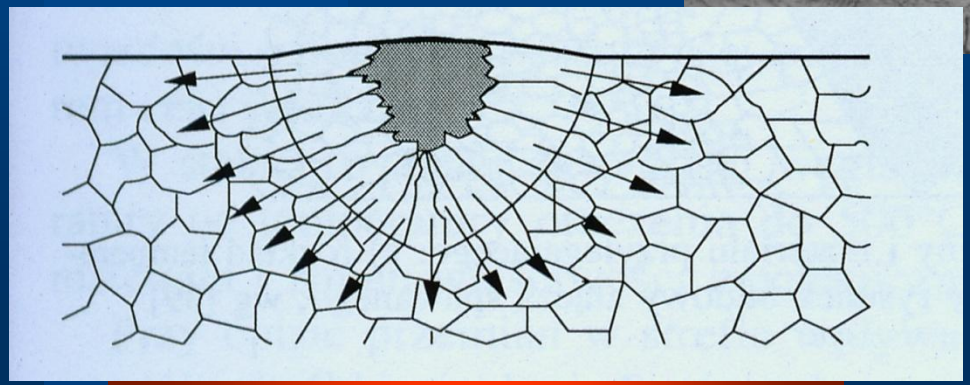
Spawanie elektryczne – źródłem ciepła jest energia elektryczna przetworzona na: łuk elektryczny , ciepło Joul'a, wiązkę plazmy, wiązkę elektronów, promień lasera.

Spawanie termitowe - źródłem ciepła jest ciepło reakcji egzotermicznej spalania aluminium z tlenkami żelaza.

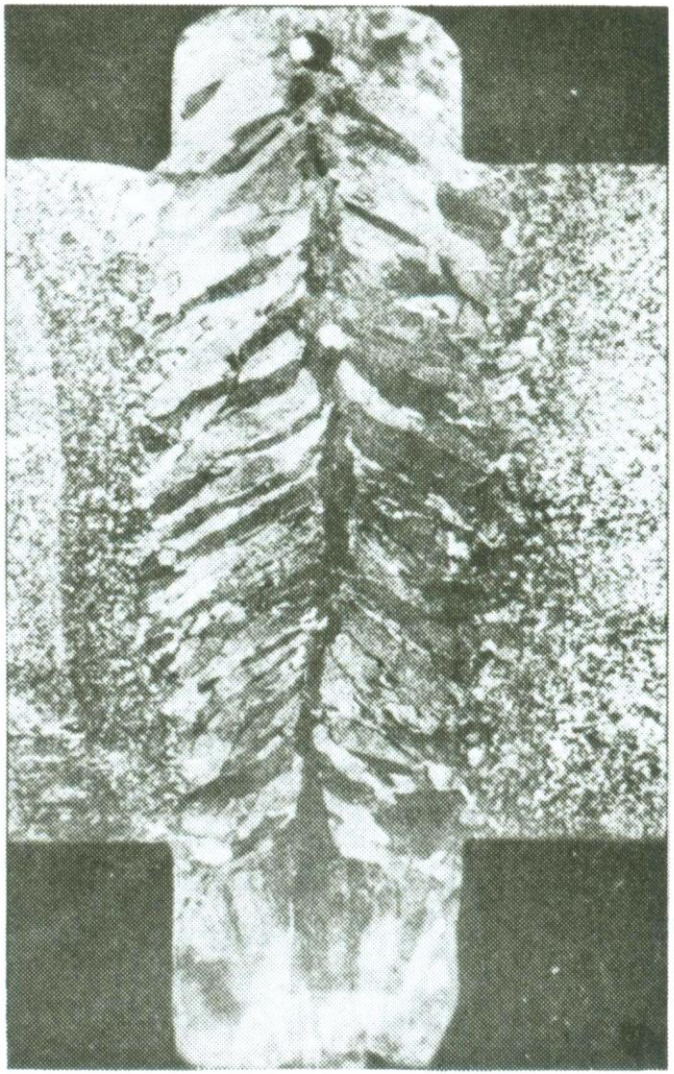
MATERIAŁOZNAWSTWO

Zmiana charakteru struktury w strefie linii wtopienia wskutek procesów krystalizacji kierunkowej





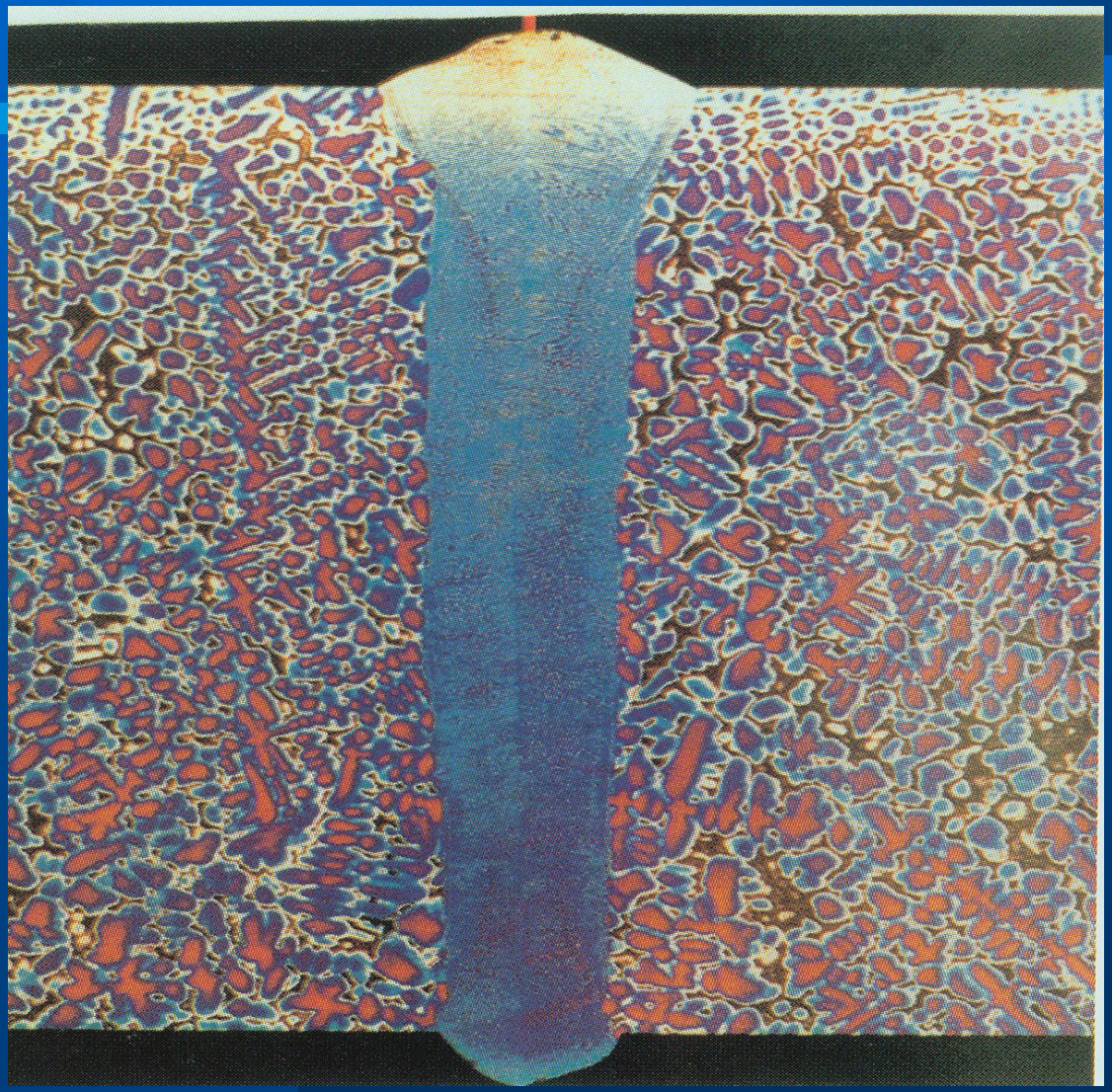
MATERIAŁOZNAWSTWO



Złącze spawane elektrożużlowo, widoczne elementy spoiny kształtowane w płycie dobiegowej i wybiegowej

MATERIAŁOZNAWSTWO

Kierunek Zamawiany: AUTOMATYKA I ROBOTYKA



Makrostruktura złącza doczołowego blach ze stopu tytanu o grubości 90mm, spawanego wiązka elektronów.

LUTOWANIE (definicja)

Lutowanie jest procesem spajania metali i ich stopów, tworzyw ceramicznych i kompozytów o osnowie metalicznej lub ceramicznej za pomocą spoiwa (lutu), którym są metale i ich stopy o temperaturze topnienia niższej od temperatury topnienia materiałów łączonych.

Ze względu na temperaturę lutowania rozróżniamy:

- **Lutowanie miękkie (poniżej 450*C)**
- **Lutowanie twarde (powyżej 450*C)**

MATERIAŁOZNAWSTWO

LUTOWANIE

- Płomieniowe
- Oporowe
- Piecowe
- Indukcyjne
- Ultradźwiękowe
- Dyfuzyjne
- Kąpielowe
- Tarciowe
- Próżniowe
- Elektronowe
- Laserowe
- Łukowe
- Egzotermiczne
- Promieniami podczerwonymi

Przykłady połączeń lutowniczych







ZGRZEWANIE (definicja)

Zgrzewanie polega na wytworzeniu trwałych wiązań atomowych bezpośrednio pomiędzy łączonymi częściami, bez dodawania spoiwa.

ZGRZEWANIE

ELEKTRYCZNE OPOROWE

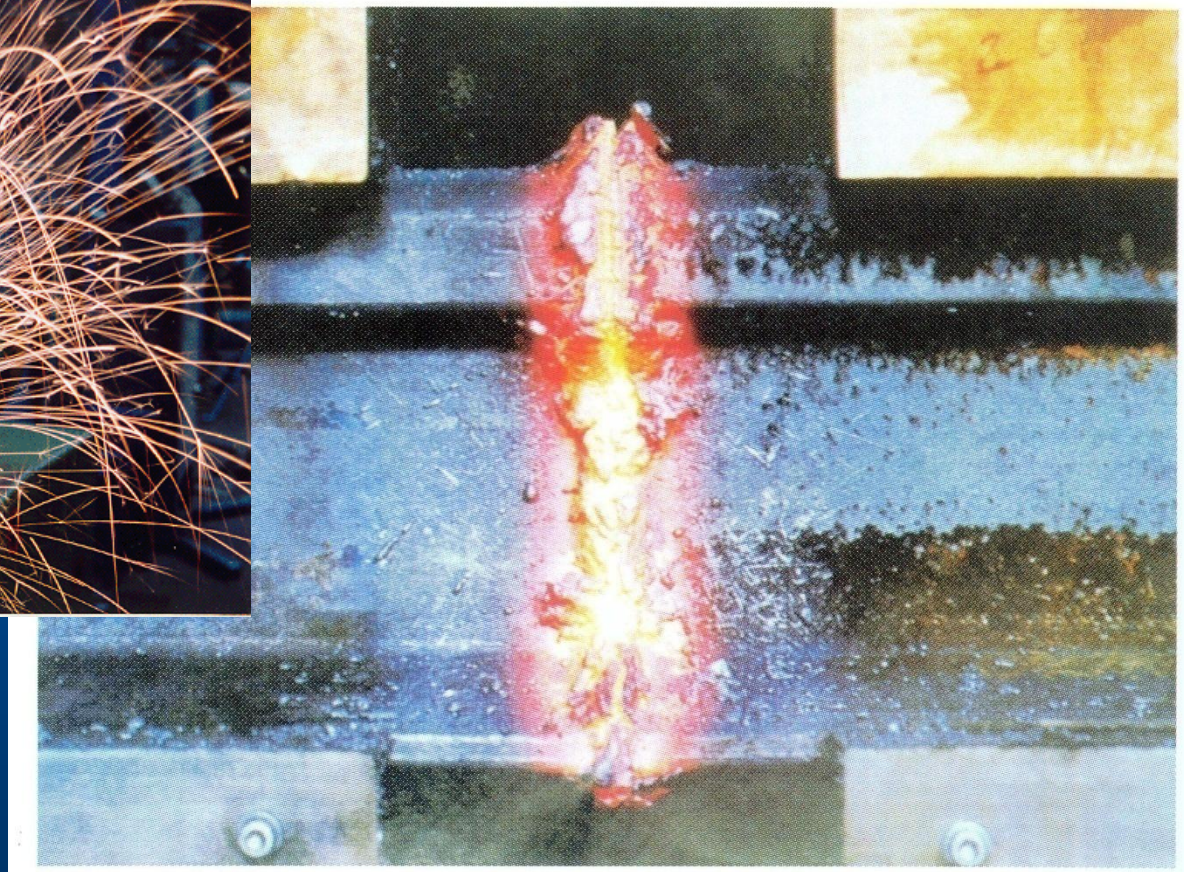
- Oporowe Zwarciowe
- Oporowe Iskrowe
- Oporowe Punktowe
- Oporowe Liniowe
- Oporowe Garbowe
- Zgrzewanie łukiem wirującym
- Zgrzewanie prądami wielkiej częstotliwości
- Zgrzewanie udarowe

W STANIE STAŁYM

- Tarciowe
- Ultradźwiękowe
- Dyfuzyjne
- Wybuchowe
- Zgniotowe

ZGRZEWANIE OPOROWE ISKROWE



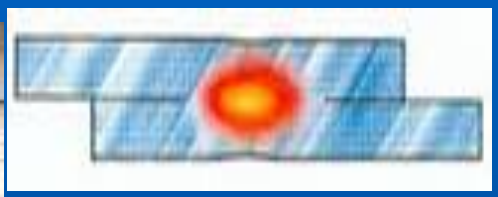


Zgrzewanie oporowe iskrowe szyn kolejowych:

a) początek procesu, b) faza spęczania

ZGRZEWANIE OPOROWE PUNKTOWE



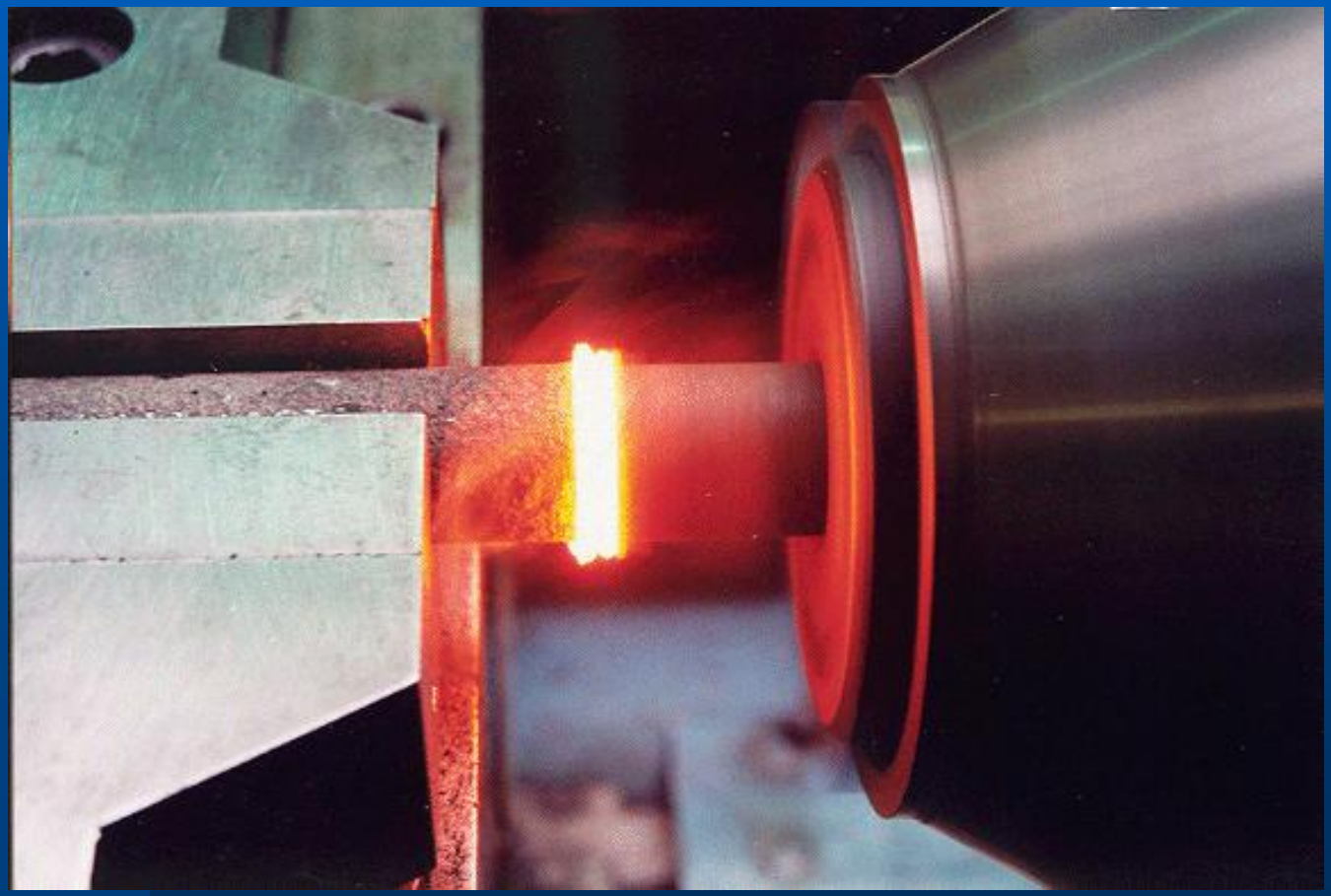


MATERIAŁOZNAWSTWO



Zgrzewanie rur instalacji gazowej.

ZGRZEWANIE TARCIOWE



MATERIAŁOZNAWSTWO



Montaż płyty grzejnej przed właściwym procesem zgrzewania.

KLEJENIE (definicja)

polega na tworzeniu trwałych wiązań pomiędzy łączonymi materiałami dzięki wprowadzeniu pomiędzy nie cienkiej warstwy substancji pośredniczącej (kleju). Substancja ta musi mieć zdolność do tworzenia trwałych wiązań z łączonymi materiałami, zachowując przy tym spójność i zdolność do przenoszenia obciążeń mechanicznych.

Procesy klejenia

Kleje:

Ze względu na ilość odosobnionych składników przed klejeniem :

- Jednoskładnikowe
- Dwu i wieloskładnikowe

Ze względu na typ utwardzania:

- Kleje rozpuszczalnikowe
- Kleje termoutwardzalne
- Kleje chemoutwardzalne
- Kleje światłoutwardzalne

Ze względu na temperaturę klejenia:

- Na zimno
- Na gorąco

Proces klejenia

Powiązanie kleju z materiałem ciała stałego zachodzi wskutek różnorodnych procesów adhezyjnych. W odniesieniu do materiałów porowatych pewną rolę odgrywa wnikanie w nie kleju. Powstają w ten sposób powiązania o charakterze mechanicznym (adhezja mechaniczna). Zasadnicze znaczenie ma jednak adhezja będącą wynikiem powiązań pomiędzy atomami i cząsteczkami kleju i materiału łączonego. Natura tych powiązań zależy od rodzaju materiałów klejonych i rodzaju klejów, niemniej przeważają oddziaływania dipolowe. Ważną cechą ułatwiającą powstawanie powiązań adhezyjnych jest zdolność do zwilżania, do rozpływania się kleju po powierzchni materiału części klejonej i zdolność do dyfuzji, głównie atomów lub cząsteczek kleju do struktury materiału rodzimego.

MATERIAŁOZNAWSTWO



Elementy kadłuba samolotu klejone klejami polimerowymi.