

MATERIAŁY INŻYNIERSKIE

(WIADOMOŚCI PODSTAWOWE)

Wykład dla I roku Wydziałów Mechanicznych Politechniki Warszawskiej

Wymiar 30 godzin (E)

Materiały pomocnicze do wykładu (preskrypt)

Politechnika Warszawska
Wydział Inżynierii Materiałowej
Warszawa 1997 r

1. Wstęp

KSZTAŁCENIE STUDENTÓW WYDZIAŁÓW MECHANICZNYCH W ZAKRESIE INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ.

Materiały są endemiczne dla wszystkich specjalności inżynierskich i bez nich inżynier nie może wykonywać swego zawodu. Zrozumienie dla tego faktu potwierdza analiza programów studiów inżynierskich w renomowanych uczelniach zagranicznych, w których przedmioty z zakresu inżynierii materiałowej lokowane są na 11 roku studiów w znacznym wymiarze godzinowym (zwykle 40 do 60 godzin, oraz laboratorium). Istotną sprawą dla programów tych przedmiotów jest wyważenie udziału wiedzy podstawowej i wiadomości inżynierskich, a także wybór metod nauczania. Jest faktem bezspornym, że inżynier mechanik realizując swoje koncepcje i projekty musi dokonywać wyboru wśród bardzo licznych materiałów konstrukcyjnych lub funkcjonalnych, a wszelkie błędy w dokonanym wyborze mogą skutkować uszkodzeniem lub zniszczeniem zaprojektowanego urządzenia (konstrukcji). Inżynier mechanik może odwoływać się do konsultacji lub pomocy specjalistów, ale musi potrafić sformułować problem materiałowy: określić warunki pracy w sposób zrozumiały dla specjalisty.

Coraz ważniejszymi we współczesnej technice i stanowiącymi o konkurencyjności wyboru (konstrukcji) są takie parametry materiału jak cena, masa jednostkowa (a właściwie stosunek wskaźników wytrzymałościowych do masy jednostkowej), możliwości zagospodarowania odpadów produkcyjnych oraz wyrobów po okresie ich eksploatacji. Bardzo istotnym parametrem jest tzw. ekologiczne obciążenie środowiska.

Podstawowym wymogiem przy nowoczesnym wyborze materiałów jest traktowanie równorzędnie różnych ich rodzajów (metale, polimery, ceramika, kompozyty) tak, aby funkcja celu mogła być zrealizowana przy najmniejszych kosztach materiałowych i eksploatacyjnych. Nie jest więc możliwe (poza trywialnie prostymi przypadkami) sięganie wyłącznie do banku danych o właściwościach materiałów - tak uzyskane informacje w większości przypadków mogą służyć tylko do wstępnego wytypowania jednego lub kilku materiałów.

Modyfikacja programów studiów musi stawiać jako cel dydaktyczny obudzenie zainteresowania przedmiotem inżynierii materiałowej przez wykazanie jego przydatności dla wykonania zawodu inżyniera. Można to uzyskać przez realizację następujących zadań dydaktycznych:

- 1) Przedstawienie obciążeń lub warunków pracy powodujących uszkodzenie lub zniszczenie wyrobu w przypadku nieprawidłowego wyboru materiału.
- 2) Scharakteryzowanie najważniejszych grup materiałów konstrukcyjnych z uwzględnieniem podstaw kształtowania ich właściwości.
- 3) Scharakteryzowanie ważnych dla obsługiwanego Wydziału rodzajów materiałów (np. obszaru materiałów funkcjonalnych).
- 4) Przedstawienie metodyki postępowania przy doborze materiału.

2. Zestawienie tematów wykładów
(1 rok studiów, 2 godziny tygodniowo)

- 1) Systematyka obciążeń mechanicznych i wynikających z nich naprężeń. Podstawowe wskaźniki wytrzymałościowe.
- 2) Charakterystyka mechanizmów niszczących powierzchnię wyrobów (ścieranie, korozja, zmęczenie).
- 3) Systematyka pęknięć: przy obciążeniach quasi statycznych, dynamicznych, zmęczeniowych, pełzaniu.
- 4) Charakterystyka grup tworzyw metalicznych, z uwzględnieniem m.in. poziomu wskaźników wytrzymałościowych, odporności na korozję, ceny.
- 5) jw. dla tworzyw polimerowych.
- 6) jw. dla tworzyw ceramicznych.
- 7) jw. dla kompozytów.
- 8) Typowe zastosowania grup materiałów (wg. poz. 4 do 7) lub wybranych materiałów.
- 9) Sposób (metodyka) postępowanie przy doborze materiałów.
- 10) Przykłady doboru materiałów na konkretne wyroby (konstrukcje).

Zestaw rysunków znajdujących się na następnych stronach ma spełnić dwa zadania:

- 1) Ma stanowić sugestię interpretacji zapisów programu - adresowaną do wykładowców przedmiotu „Materiały inżynierskie - Wiadomości podstawowe” jako przedmiotu bazowego dla wydziałów mechanicznych.
- 2) Ma stanowić elementy preskryptu dostępnego dla studentów, ułatwiającego śledzenie wykładu i zwalniającego ich od wykonywania części rysunków i zapisywania niektórych informacji liczbowych lub definicji.

Pierwsza liczba numeracji rysunku odnosi się do numeru wykładu, druga liczba - jest kolejnym numerem rysunku w ramach konkretnego wykładu.

Temat 1:

**SYSTEMATYKA OBCIĄŻEŃ MECHANICZNYCH I WYNIKAJĄCYCH Z NICH
NAPRĘŻEŃ. PODSTAWOWE WSKAŹNIKI WYTRZYMAŁOŚCIOWE.**

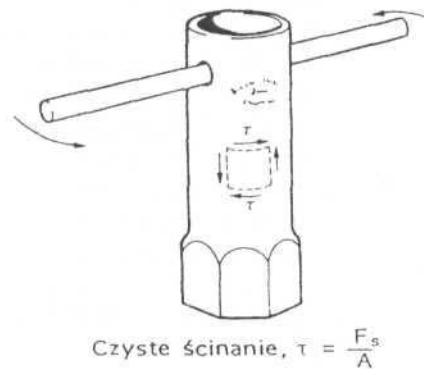
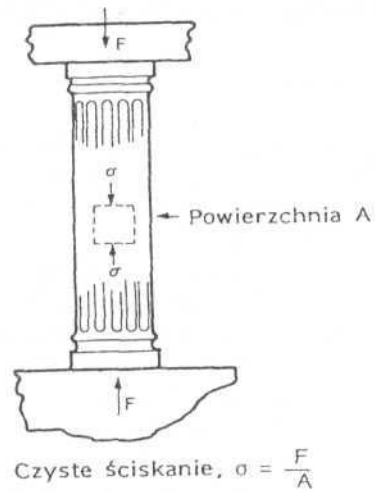
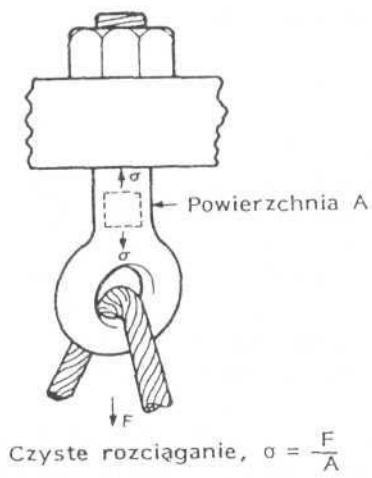
Wykład 3h

- 1) Definicja naprężeń (naprężenia styczne i normalne).
- 2) Systematyka obciążeń statycznych (rozciąganie jednoosiowe, ściskanie jednoosiowe, zginanie, skręcanie, ścinanie, rozciąganie dwuosiowe, ściskanie trójosiowe-ściskanie hydrostatyczne).
- 3) Klasyfikacja materiałów na podstawie ich wiązań (wiązania metaliczne, jonowe, kowalencyjne, siły międzycząsteczkowe).
- 4) Reakcja materiałów na obciążenie (na podstawie krzywych rozciągania):
 - 4.1 Odształcenie sprężyste (definicja odształceń: przy rozciąganiu, przy ścisaniu i odształceń objętościowych, prawo Hooke'a, mechanizm odształcenia).
 - 4.2 Odształcenie plastyczne tworzyw metalicznych (dyslokacje jako podstawowy rodzaj defektów struktury krystalicznej, dyslokacyjny mechanizm odształcenia plastycznego metali, rola defektów struktury krystalicznej w odształceniu materiałów metalicznych).
 - 4.3 Odształcenie elastomerów wynikające ze specyfiki materiałów polimerowych.
 - 4.4 Odształcenie lepkosprężyste.
- 5) Wskaźniki wytrzymałościowe materiału wynikające z charakteru obciążenia (definicje, metody wyznaczania):
 - 5.1 Wytrzymałość na obciążenia statyczne (moduł sprężystości: moduł Younga (E), moduł ściśliwości (K), moduł Kirchhoffa (G), wytrzymałość na rozciąganie R_m , wskaźniki plastyczności: wyraźna granica plastyczności R , umowna granica plastyczności $R_{0.2}$, wydłużenie A , przewężenie Z , odporność na kruche pękanie, twardość (ogólna)).
 - 5.2 Wytrzymałość na obciążenia dynamiczne (udarność).
 - 5.3 Wytrzymałość na pełzanie (wytrzymałość na pełzanie, krzywe zależności wytrzymałości na pełzanie od czasu próby, granica pełzania).
 - 5.4 Wytrzymałość zmęczeniowa (wytrzymałość zmęczeniowa Z_o stosunek wytrzymałości zmęczeniowej do wytrzymałości na rozciąganie).
- 6) Rola gęstości i ceny przy wyborze materiałów na podstawie wskaźników właściwości wytrzymałościowych.

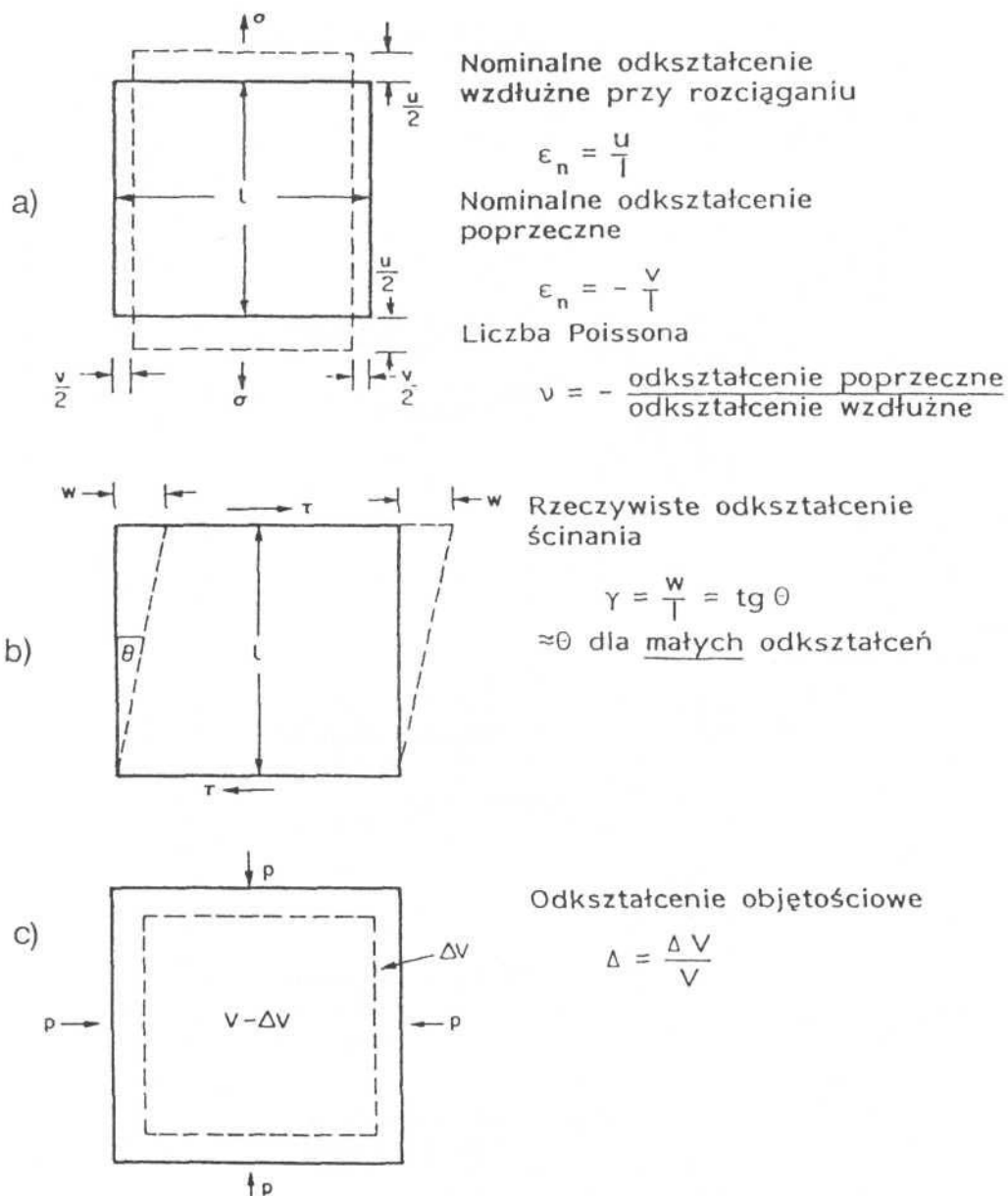
Zalecana literatura:

1. M.F. Ashby i D.R.H. Jones, Engineering Materials, Pergamon, Oxford, 1993, przetłumaczona na język polski, wydana przez Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, część pierwsza Warszawa 1995, część druga- Warszawa 1996.
2. M.F. Ashby, Materials Selection in Mechanical Design, Pergamon Oxford, 1992, wydane przez Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1997.
3. A.G. Guy, Wprowadzenie do nauki o materiałach, PWN, Warszawa, 1997.
4. L.A. Dobrzański, Metaloznawstwo i obróbka cieplna stopów metali, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1993.

SYSTEMATYKA OBCIĄŻEŃ MECHANICZNYCH
I WYNIKAJĄCYCH Z NICH NAPRĘŻEŃ.
PODSTAWOWE WSKAŹNIKI WYTRZYMAŁOŚCIOWE



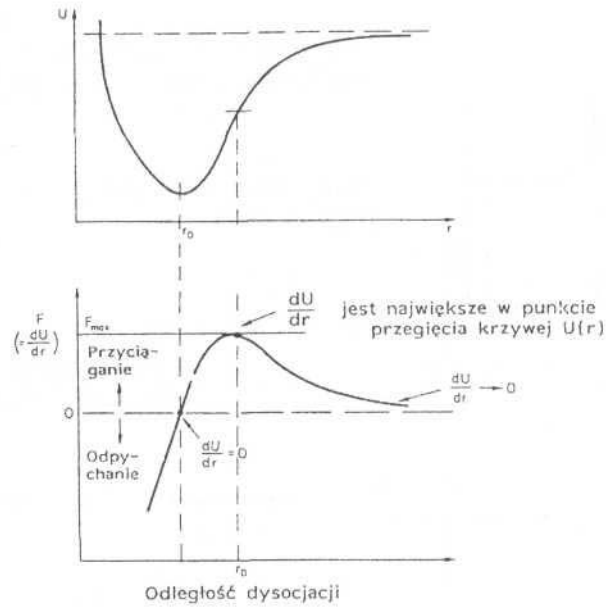
Rys. 1.1
Systematyka obciążeń statycznych.



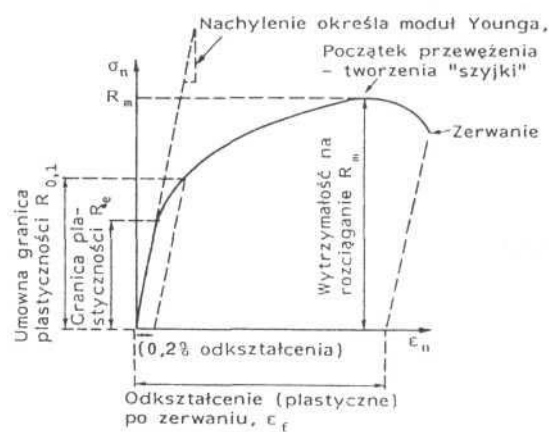
Rys. 1.2

Odształcenia:

- a) przy rozciąganiu
- b) przy ściskaniu
- c) odkształcenie objętościowe.



Rys. 1.3
 Energia i siły międzyatomowe.

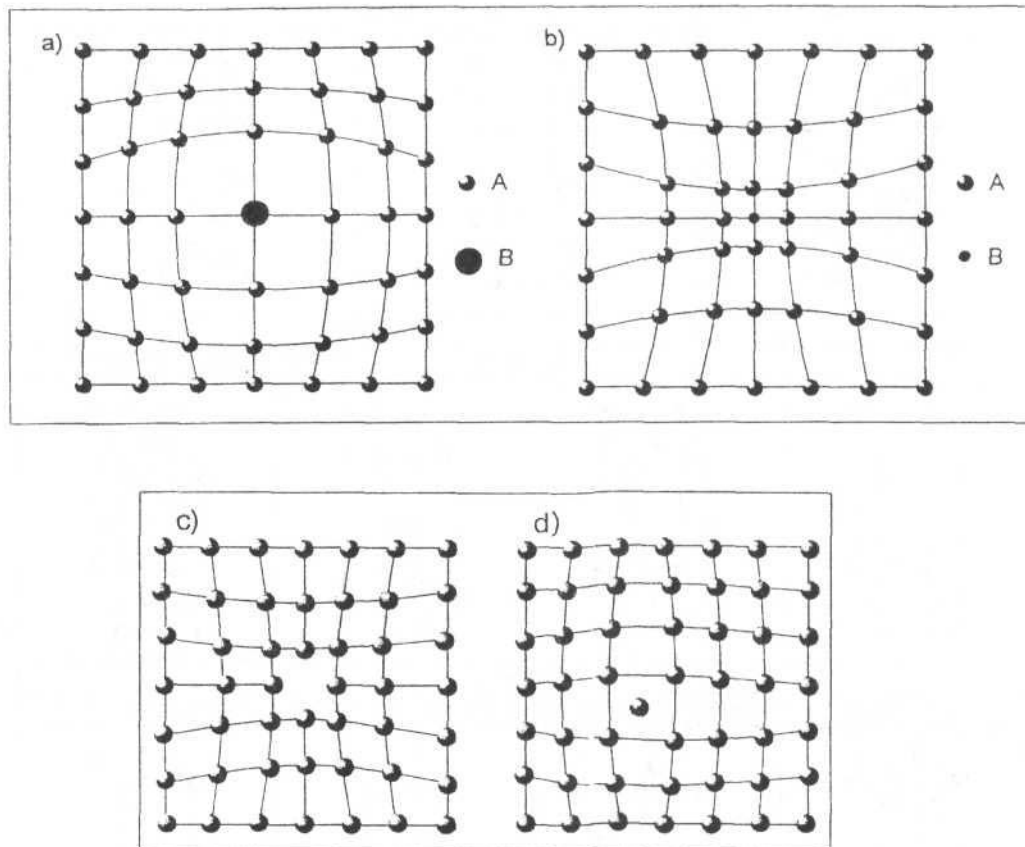


Rys. 1.4
 Wykres rozciągania metali.

Schematy rodzajów sieci przestrzennych (według A. Bravais'go)

Trójskośna prymitywna	Jednoskośne					
	prymitywna			centrowana na podstawach		
Rombowe						
prymitywna	centrowana na podstawach	przestrzennie centrowana	ściennie centrowana			
Heksagonalna	Romboedryczna	Tetragonalne				
		prymitywna		przestrzennie centrowana		
Regularne						
prymitywna	przestrzennie centrowana		ściennie centrowana			

Rys. 1.5
 Schematy rodzajów sieci przestrzennych.



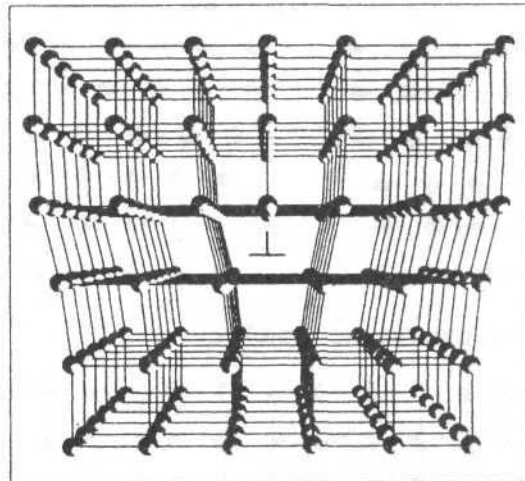
Rys. 1.6

Defekty punktowe:

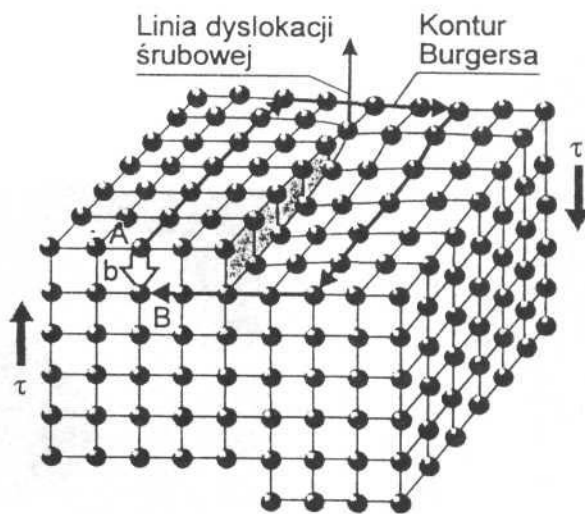
a), b) atomy obce

c) wakans

d) atom międzywęzłowy.

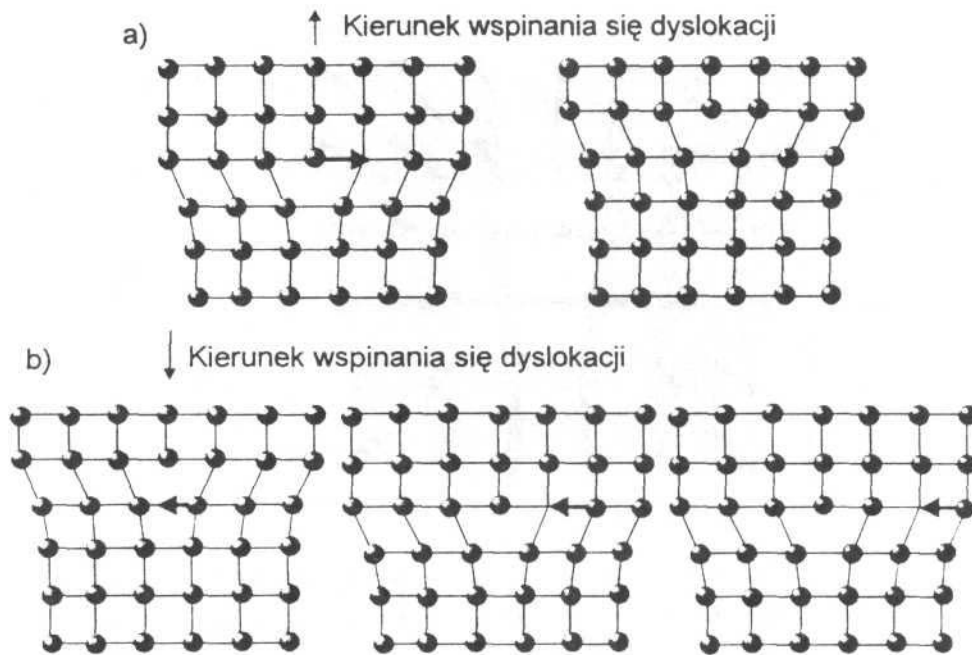


a)

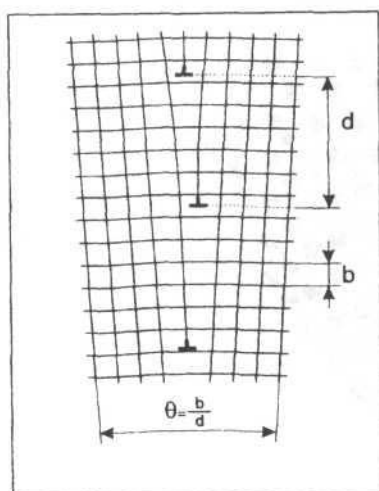


b)

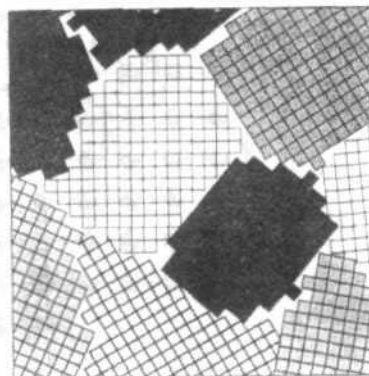
Rys. 1.7
Dyslokacja: a) krawędziowa b) śrubowa.



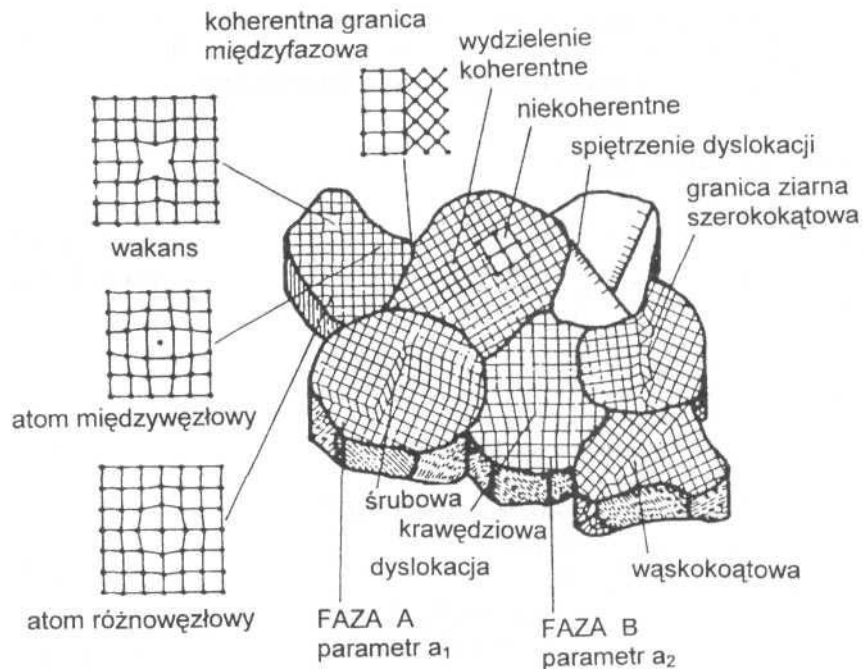
Rys. 1.8
 Schemat wspinania się dyslokacji krawędziowej:
 a) dodatniego w wyniku dyfuzji wakansów do dyslokacji
 b) ujemnego w wyniku dyfuzji atomów do dyslokacji.



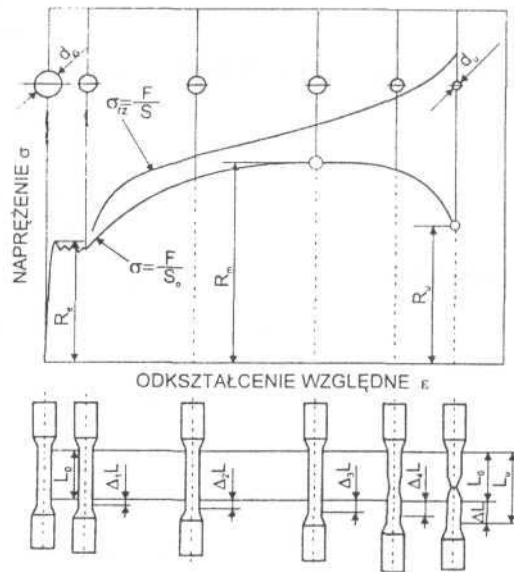
Rys. 1.9
 Schemat wąskokątowej granicy
 daszkowej
 o kącie dezorientacji Q .



Rys. 1.10
 Schemat struktury
 polikrystalicznej metali.

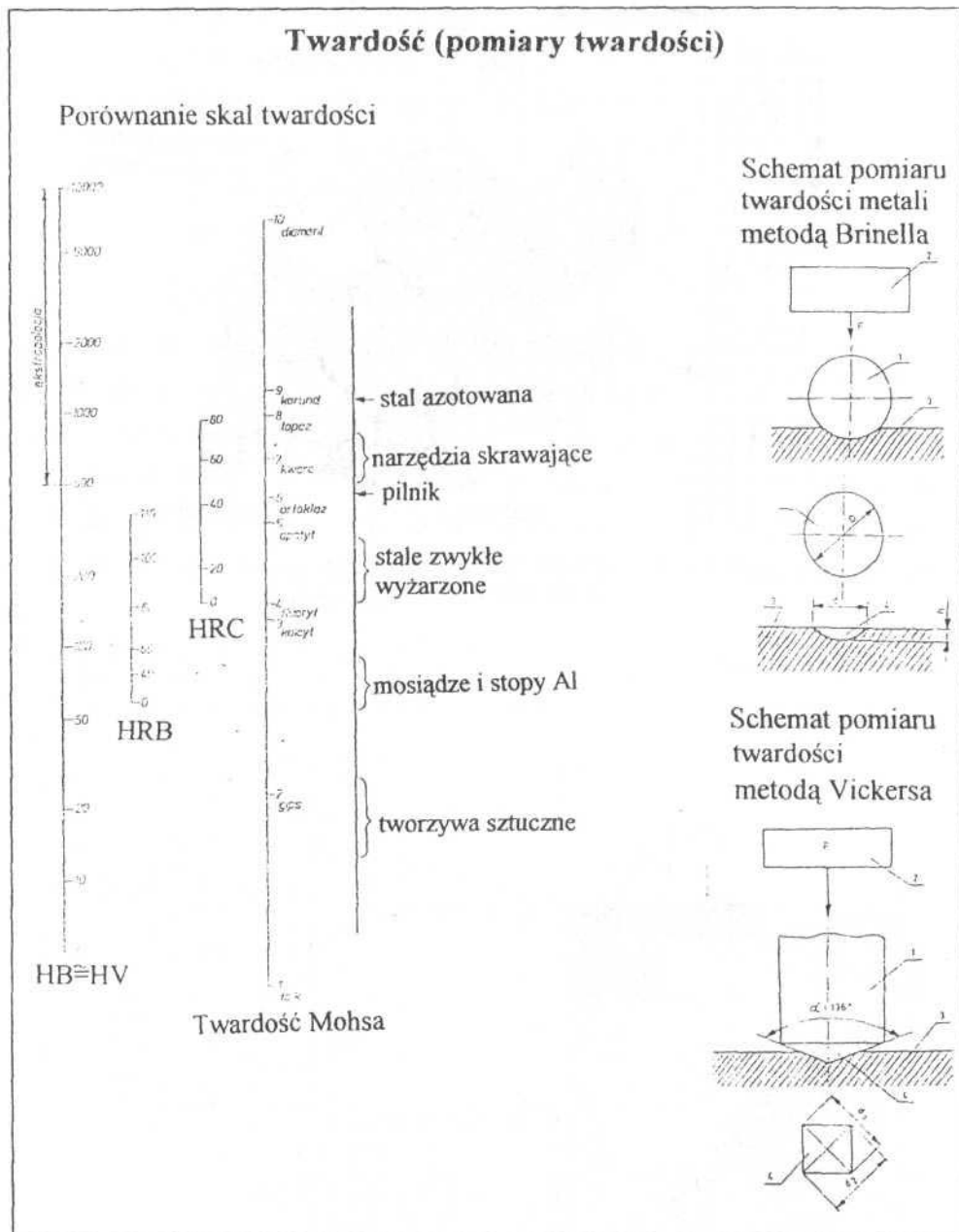


Rys. 1.11
Defekty struktury krystalicznej.

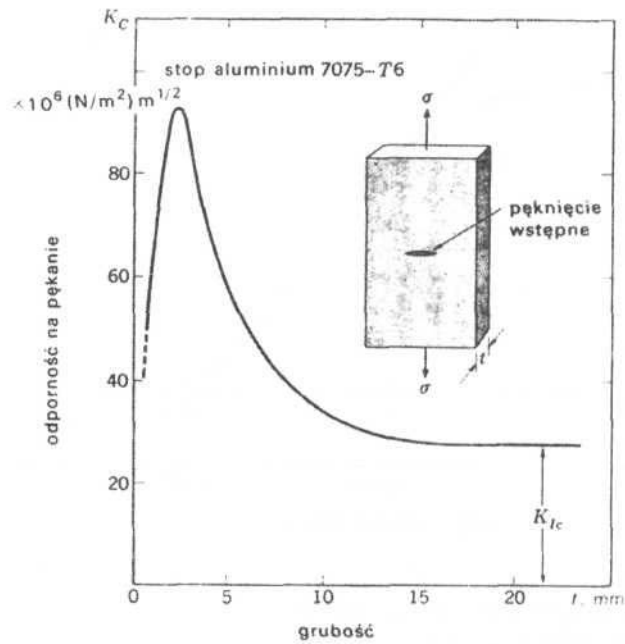


Rys. 1.12
Rzeczywisty wykres rozciągania stali niskowęglowej.

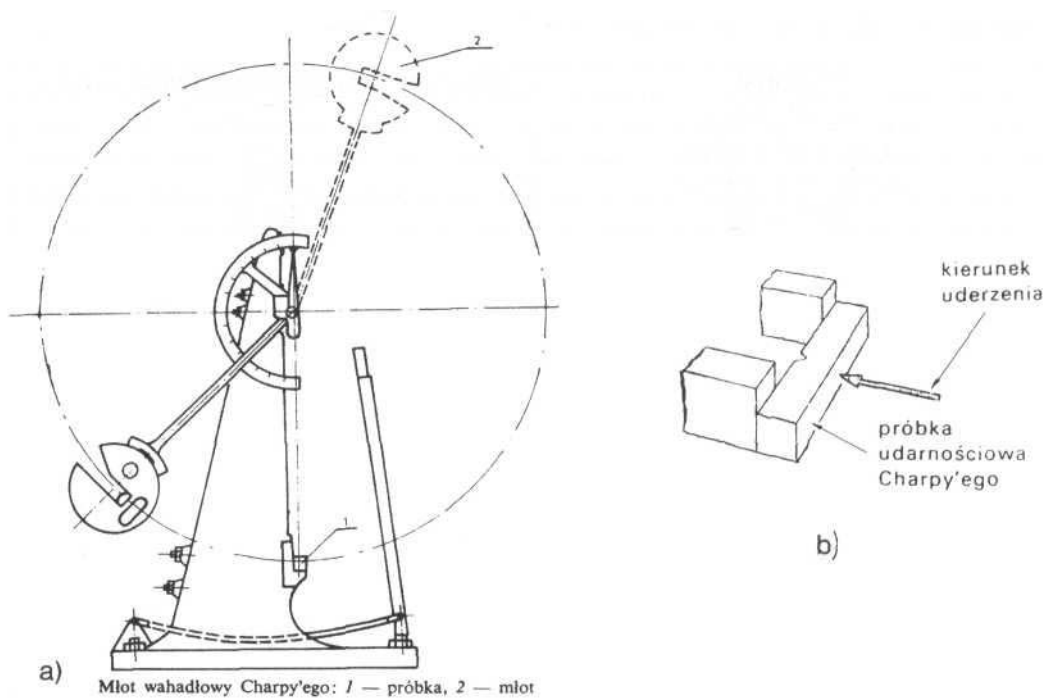
Systematyka obciążeń mechanicznych i wynikających z nich naprężeń.



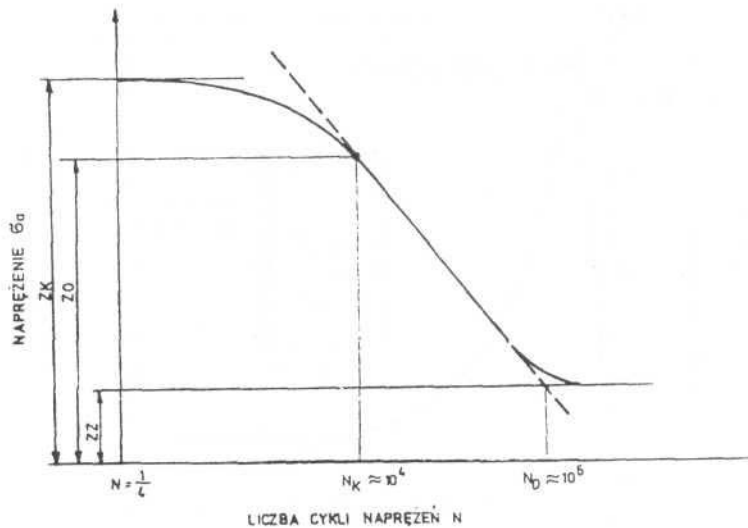
Rys. 1.13
 Twardość i jej pomiary.



Rys. 1.14
Odporność na kruche pękanie w zależności od grubości próbki dla stopu na osnowie aluminium.



Rys. 1.15 Próba udarności:
a) schemat młota wahadłowego
b) kształt i położenie próbki.



Rys. 1/16

Wykres zmęzeniowy Wolhera:

ZK - wytrzymałość zmęczeniowa przy małej liczbie cykli

ZO - ograniczona wytrzymałość zmęczeniowa

ZZ - nieograniczona wytrzymałość zmęczeniowa.

Tabela

Oszczędności wynikające ze zmniejszenia masy wyrobu

Przemysł	Oszczędności (umowna jednostka masy)
Samochodowy	1
Lotnictwo cywilne	100
Lotnictwo wojskowe	1000
Kosmiczny	10000

Temat 2:

**CHARAKTERYSTYKA MECHANIZMÓW NISZCZĄCYCH
POWIERZCHNIĘ WYROBÓW (ŚCIERANIE, KOROZJA, ZMĘCZENIE).**

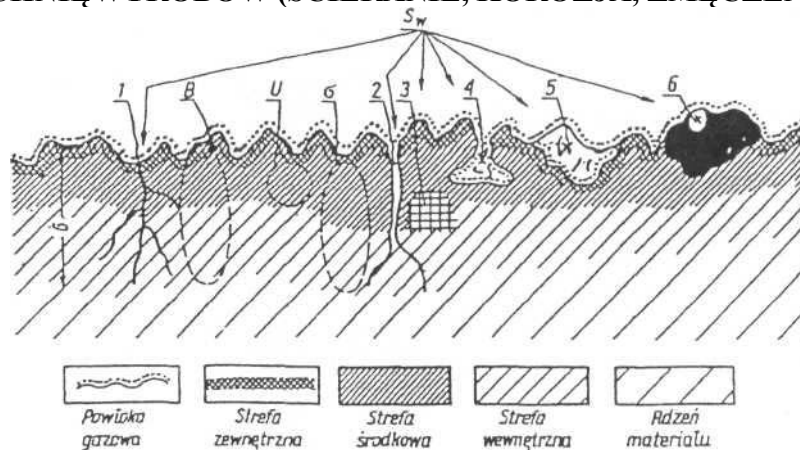
Wykład 3h

- 1) Przyczyny zużycia powierzchni wyrobów (tarcie, zmęczenie, korozja).
- 2) Ścieranie (charakterystyka powierzchni przedmiotu, analiza kontaktu fizycznego dwóch powierzchni, odporność na zużycie, smarowanie, mechanizmy przebiegu zużycia powierzchni materiału spowodowane tarcie (zużycie ściernie, zużycie adhezyjne).
- 3) Korozja (niszczenie materiałów pod wpływem reakcji z otaczającym środowiskiem; mechanizmy korozji: chemiczny i elektrochemiczny; główne typy zniszczeń korozyjnych: korozja równomierna, wżerowa, selektywna, między krystaliczna, naprężeniowa; procesy utleniania metali; metody ochrony przed korozją).
- 4) Zmęczenie (warunki zachodzenia procesu zmęczenia, podstawowe pojęcia opisujące zjawisko zmęczenia, próba zmęczenia, mechanizm zmęczenia, skutki procesu zmęczenia dlatrwałości materiałów).

Zalecana literatura:

1. M. F. Ashby i D.R.H. Jones, Engineering Materials, Pergamon, Oxford, 1993, wydana w języku polskim przez Wydawnictwo Naukowo-Techniczne 1996.
2. L.A. Dobrzański, Metaloznawstwo i obróbka cieplna stopów metali, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 1993.
3. M. Hebda, A. Wachal, Trybologia, Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa , 1980.
4. S. Kocańda, Zmęczeniowe pękanie metali, WNT, Warszawa, 1985.

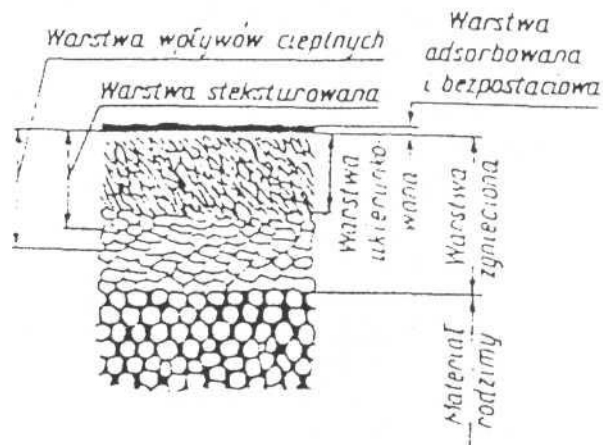
CHARAKTERYSTYKA MECHANIZMÓW NISZCZĄCYCH POWIERZCHNI WYROBÓW (ŚCIERANIE, KOROZJA, ZMĘCZENIE)



Rys. 2.1

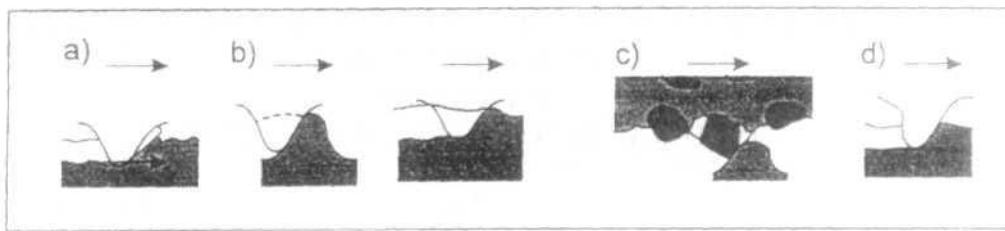
Model warstwy wierzchniej (WW) ciała stałego:

- | | |
|--|-------------------|
| G - grubość warstwy wierzchniej | 1- mikropełnięcia |
| B - struktura warstwy wierzchniej | 2- szczelina |
| U - utwardzanie (umocnienie) strefy
środkowej | 3- rzadzizna |
| Sw - skażenia warstwy wierzchniej | 4-pory |
| s - naprężenia własne warstwy wierzchniej | 5- wyrwa |
| | 6- wtrącenie |



Rys. 2.2

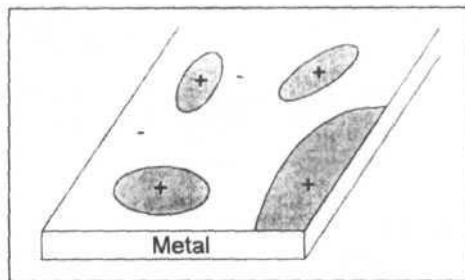
Uproszczony model warstwy wierzchniej po obróbce plastycznej



Rys. 2.3

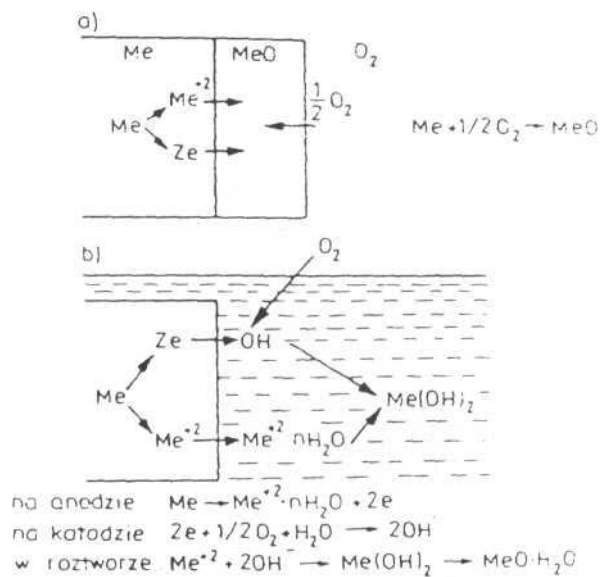
Model dynamiczny elementarnych procesów zużycia:

- a) brzdowanie
- b) ścinanie nierówności
- c) ścinanie nierówności ścierniwem przez występ nierówności
- d) odkształcenie plastyczne materiału.



Rys. 2.4

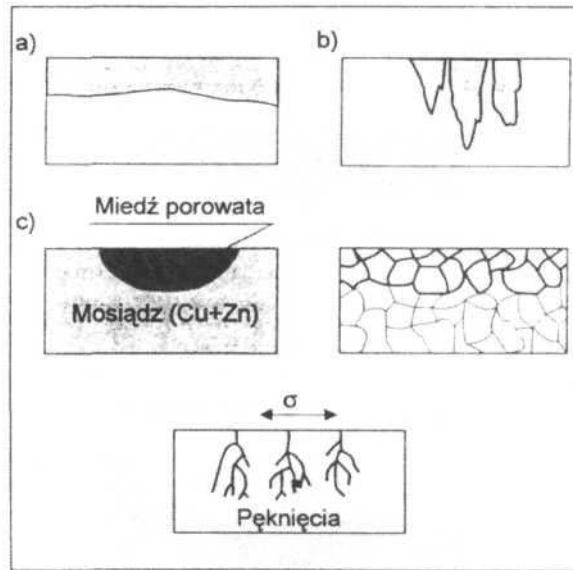
Powierzchnia metalu z zaznaczeniem ogniw lokalnych.



Rys. 2.5

Mechanizm reakcji metalu z tlenkiem według mechanizmu:

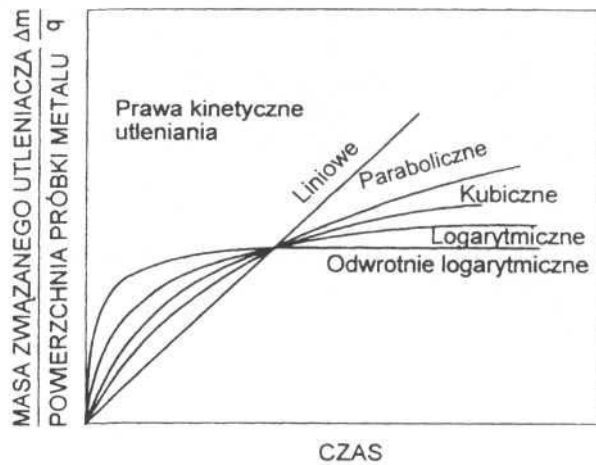
- a) chemicznego
- b) elektrochemicznego.



Rys. 2.6

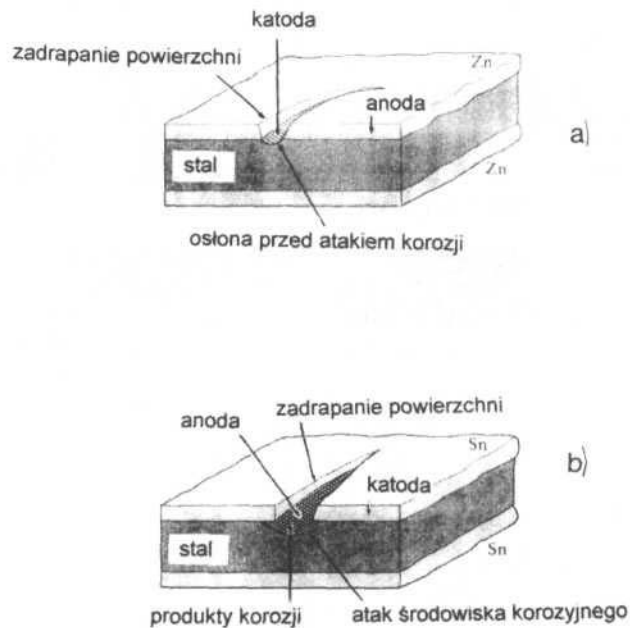
Atypowe uszkodzenia korozyjne:

- a)korozja równomierna
- b)korozja wżerowa
- c)korozja selektywna
- d)korozja międzykrystaliczna
- e)pękanie korozyjne.



Rys. 2.7

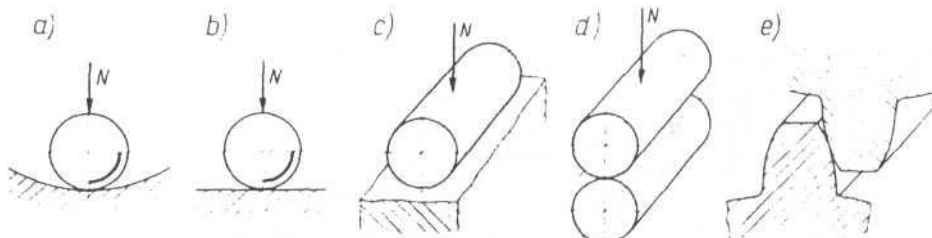
Schemat praw kinetycznych utleniania metali.



Rys. 2/8

Ochrona przed korozją:

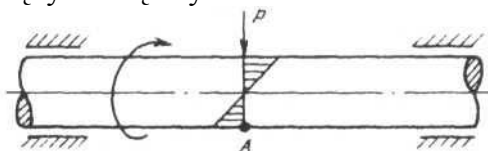
- a) anoda - warstwa Zn, katoda - stal chroniona przed atakiem korozji nawet przy zdarciu warstwy ZN
- b) nieuszkodzona warstwa Sn - ochrania powierzchnię stali przed korozją, przy uszkodzonej warstwie Sn stal staje się anodą i następuje przyśpieszenie procesu korozji.



Rys. 2/9

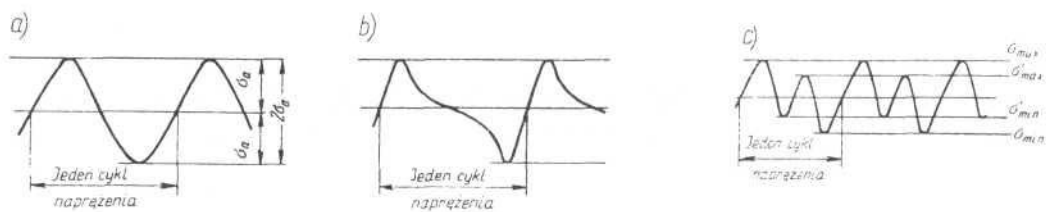
Mikroodkształcenia w obszarach trybologicznych podczas zużycia zmęczeniowego:

- a) kulka po zakrzywionej bieżni
- b) kulka po płaszczyźnie
- c) walec po płaszczyźnie
- d) walec po walcu
- e) zęby kół zębatych.



Rys. 2.10

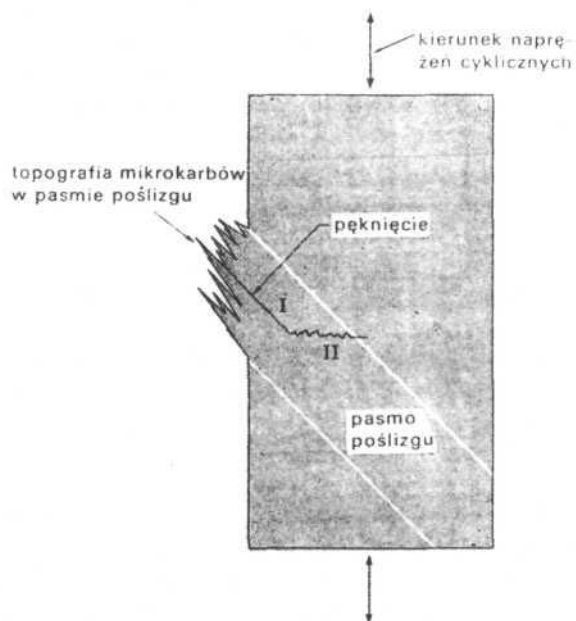
Przykład wału cyklicznie obciążonego.



Rys. 2.11

Schemat obciążenia cyklicznego:

- a) obciążenie według krzywej harmoniczej o jednym maksimum i jednym minimum
- b) według krzywej nieharmonicznej o jednym maksimum i jednym minimum
- c) według krzywej o dwóch minimumach.



Rys. 2.12

Schemat dwuetapowego wzrostu pęknięcia zmęczeniowego zarodkującego przy powierzchni.

Temat 3:

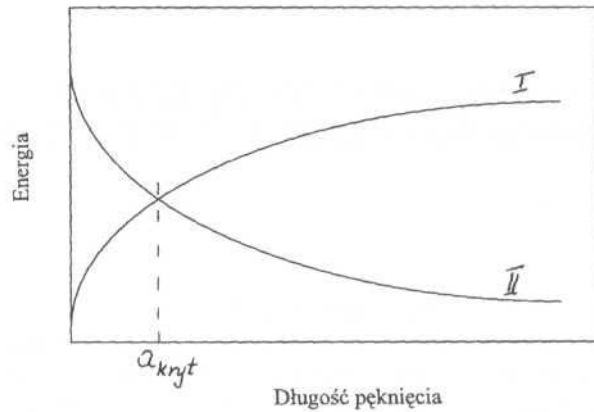
SYSTEMATYKA PĘKNIĘĆ: PRZY OBCIĄŻENIACH QUASISTATYCZNYCH, DYNAMICZNYCH, ZMĘCZENIOWYCH, PEŁZANIU.

Wykład 2.5h

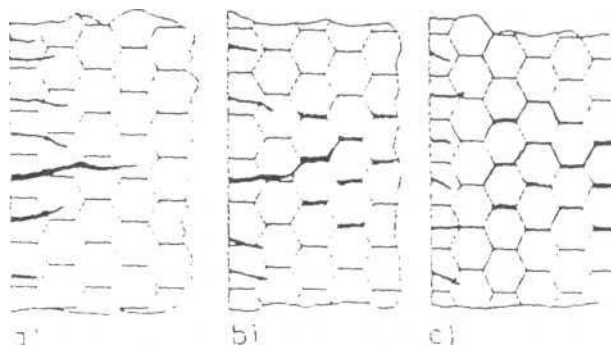
- 1)Znaczenie procesu pękania w eksploatacji materiałów.
 - 2)Obciążenie w trakcie pracy i rozkład naprężeń prowadzących do pękania.
 - 3)Klasyfikacja pęknięć (zdefiniowanie podstawowych terminów tj. pęknięcie: plastyczne,kruche, zmęczeniowe, przy pełzaniu, przełom: plastyczny, kruchy, międzykrystaliczny, transkrystaliczny, zmęczeniowy).
 - 4)Mechanizm pękania (kruche pęknięcie: ogólne podstawy obejmujące zarodkowanie mikropęknięć, rozprzestrzenianie się mikropęknięć, naprężenie pękania, skłonność materiałów do kruchego pęknięcia (K_{Ic}), pęknięcie plastyczne - rodzaje plastycznego zniszczenia).
 - 5)Wpływ czynników zewnętrznych na zjawisko pęknięcia materiałów (naprężenia cieplne, stanpowierzchni, ośrodek otaczający).
 - 6)Charakterystyka zjawiska pęknięcia w różnych materiałach (*) (metale, kompozyty, ceramika).
 - 7)Pełzanie (wpływ temperatury na wytrzymałość i plastyczność materiałów, charakterystyka pełzania, konsekwencja procesu pełzania dla eksploatacji materiału, pęknięcie przy pełzaniu, charakterystyka procesu pęknięcia dla różnych materiałów).
 - 8)Pęknięcie zmęczeniowe (powstawanie i rozprzestrzenianie się pęknięcia zmęczeniowego, czynniki wpływające na wytrzymałość zmęczeniową).
- (*) ze szczególnym omówieniem zjawiska pęknięcia w materiałach stanowiących główny przedmiot zainteresowania obsługiwanego wydziału (kierunku studiów).

Zalecana literatura:

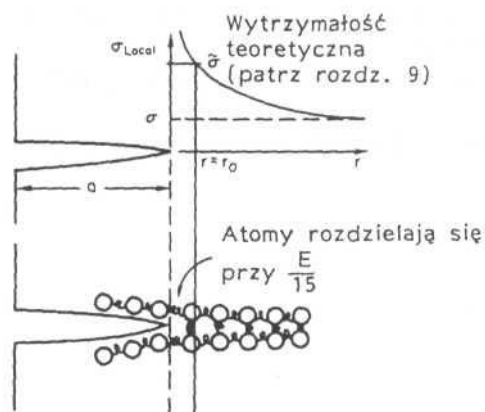
1. M.F. Ashby i D.R.H. Jones, Engineering Materials, Pergamon, Oxford, 1993, wydana w języku polskim przez Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1996.
2. A.G. Guy, Wprowadzenie do nauki o materiałach, PWN, Warszawa, 1977.
3. M.L. Benisztejn, W.W. Zajmowski, Struktura i własności mechaniczne metali, Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa 1973.
4. L.A. Dobrzański, Metaloznawstwo i obróbka cieplna stopów metali, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1993.
5. S. Erbel, K. Kuczyński, Z. Marciniak, Obróbka plastyczna, PWN, Warszawa, 1986.



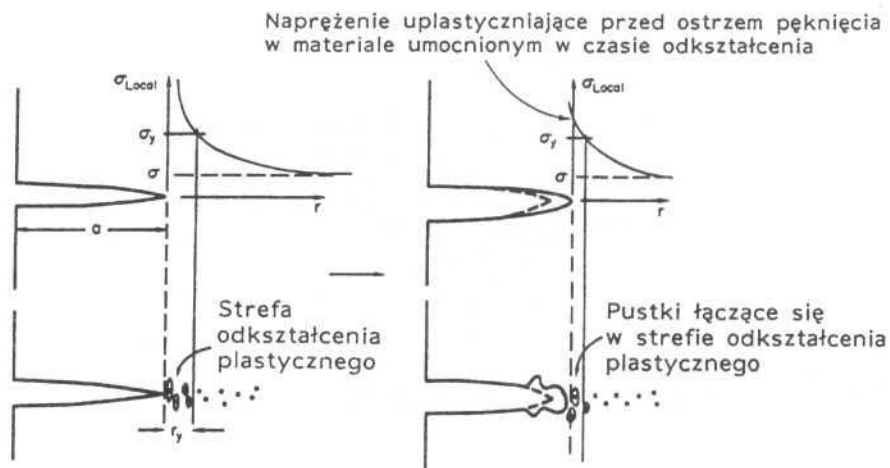
Rys. 3.1
 Zależność energii uwalnianej I i pochłanianej - II w wyniku wzrostu pęknięcia.



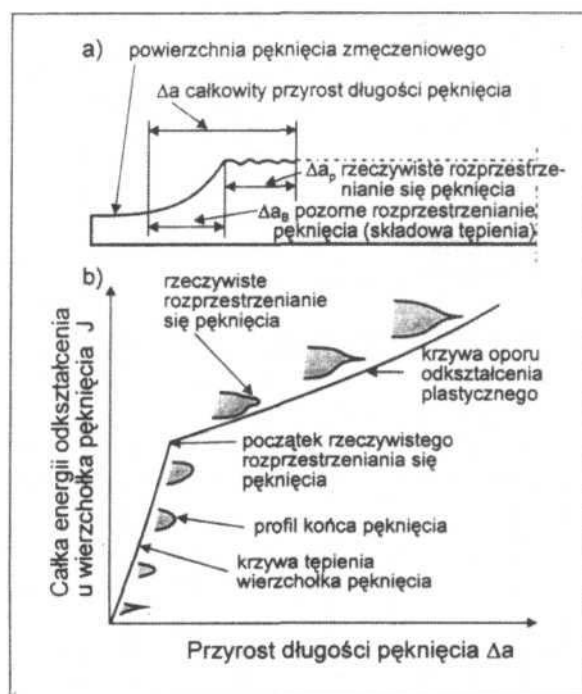
Rys. 3.2
 Schemat rozwoju pęknięć:
 a) w warunkach zmęczenia,
 b) w warunkach zmęczenia i pełzania,
 c) w warunkach pełzania.



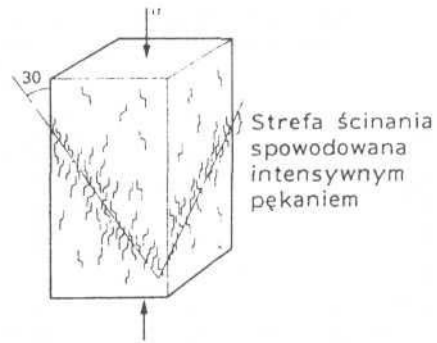
Rys. 3.3
 Rozwój pęknięcia łupliwego



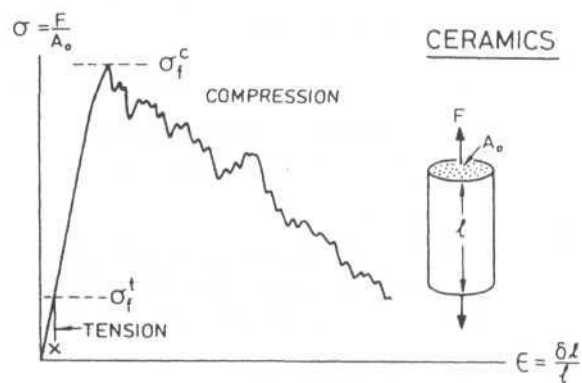
Rys. 3.4
Rozrost pęknięcia w wyniku plastycznego rozrywania



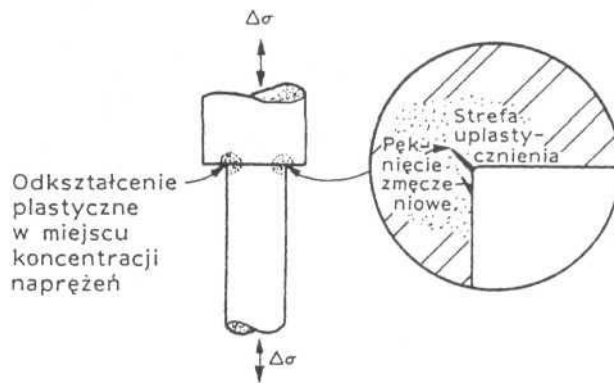
Rys. 3.5
Zmiany długości pęknięcia w wyniku pozornego i rzeczywistego rozprzestrzeniania się pęknięcia:
a) schemat,
b) zależność całki energii odkształcenia u wierzchołka pęknięcia od przyrostu długości pęknięcia.



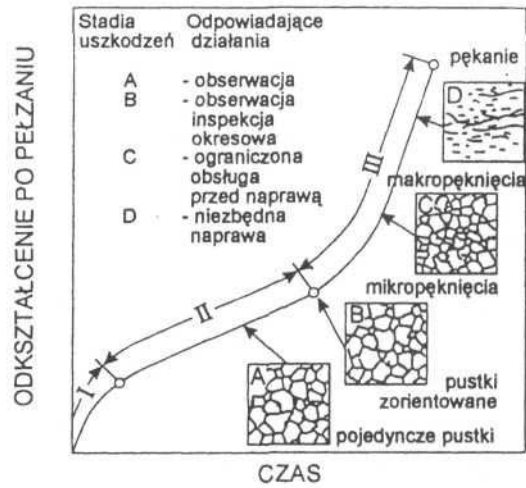
Rys. 3.6
Kruszenie bloku cementu lub betonu na skutek ściskania.



Rys. 3.7
Zależność naprężenie - odkształcenie dla rozciągania i ściskania ceramiki



Rys. 3.9
Miejsce powstawania pęknięć w warunkach zmęczenia wysokocyklowego.



Rys. 3.10
Krzywa pełzania z odpowiadającymi poszczególnym etapom pełzania strukturami.

Temat 4:

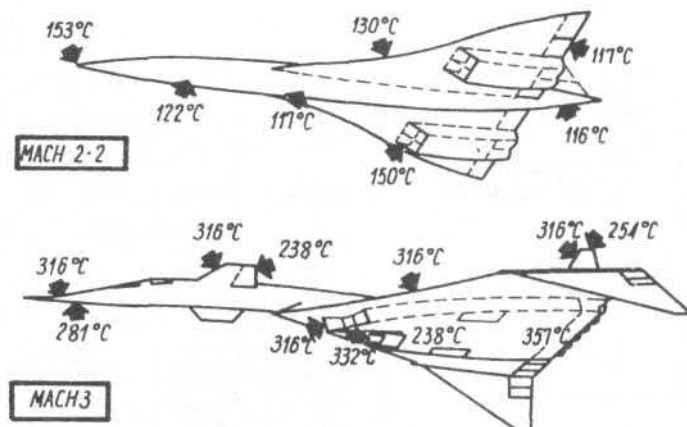
**CHARAKTERYSTYKA GRUP TWORZYW METALICZNYCH Z
UWZGLĘDNIENIEM M.IN. POZIOMU WSKAŹNIKÓW
WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH, ODPORNOŚCI NA KOROZJĘ, CENY.**

Wykład 6h

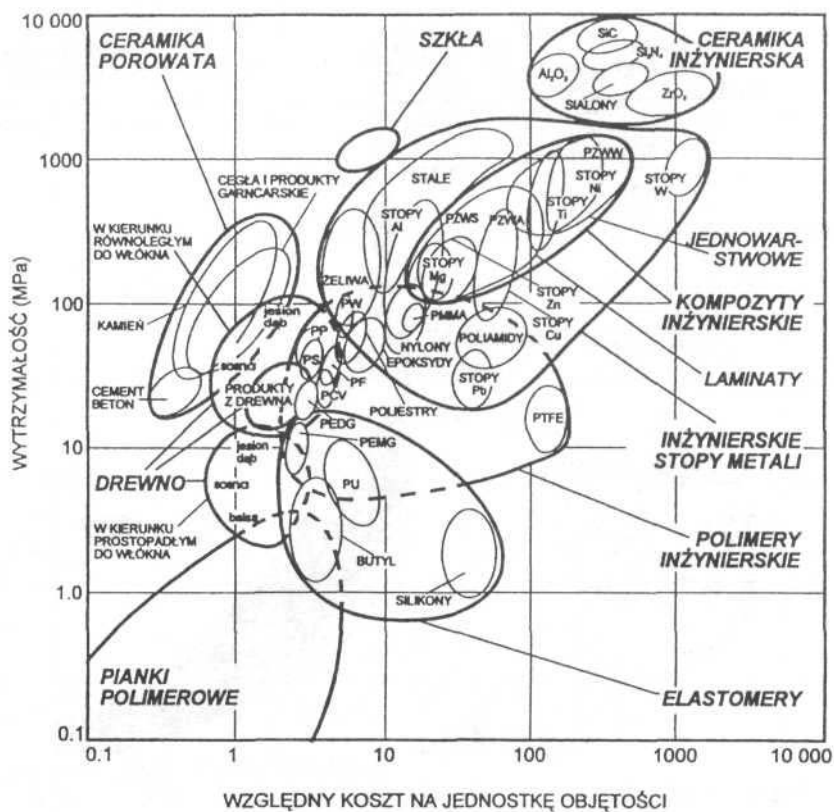
- 1) Klasyfikacja tworzyw metalicznych z przykładami typowych zastosowań, właściwości i ceny (w postaci tabeli prezentującej typowe właściwości, zastosowania i przykładowe ceny grup stopów Fe, Cu, Al, Ni, Ti przedstawionych poniżej):
 - 1.1 Stopy żelaza (stale niskowęglowe, stale średniowęglowe, stale niskostopowe, stale wysokostopowe, żeliwa).
 - 1.2 Stopy miedzi (miedź techniczna, mosiądze, brązy, miedzionikle).
 - 1.3 Stopy aluminium (aluminium techniczne, stopy do obróbki cieplnej i plastycznej, stopy odlewnicze z Si, stopy Al-Li).
 - 1.4 Stopy Ni (techniczny Ni, monel, superstopy na bazie niklu).
 - 1.5 Stopy Ti (stopy jednofazowe, stopy wielofazowe).
- 2) Wpływ struktury tworzyw metalicznych na ich właściwości: struktura krystaliczna, struktura roztworów stałych, faz międzymetalicznych i szkieł metalicznych, defekty struktury krystalicznej (punktowe, liniowe, powierzchniowe i objętościowe), pojęcie fazy, materiały wielofazowe, kształtowanie struktury tworzyw metalicznych, układy równowagi faz jako narzędzie pomocne w kształtowaniu mikrostruktury tworzyw metalicznych (układ Sn-Pb - przykład służący do omówienia idei układów równowagi, układy Cu-Ni i Cu-Zn - przykłady różnego stopnia skomplikowania układów równowagi), przechłodzenie, segregacja, podstawowe sposoby polepszania właściwości mechanicznych tworzyw metalicznych (umocnienie roztworowe, umocnienie odkształceniem, rozdrobnienie ziarn, umocnienie wydzieleniami i cząstkami) z uwzględnieniem stabilności wytworzonych struktur.
- 3) Stopy żelaza jako tworzywa metaliczne najczęściej stosowane w technice (układ żelazocementyt, rola zawartości węgla i wynikający stąd podział stali, hartowanie i odpuszczanie, wykresy CTP, hartowność, najczęstsze błędy popełniane przy obróbce cieplnej stali, stale szybko tnące, stale austenityczne, żeliwa).
- 4) Metody przetwarzania tworzyw metalicznych: odlewanie, przeróbka plastyczna na zimno, przeróbka plastyczna na gorąco, spiekanie, skrawanie, łączenie (zgrzewanie i spawanie, strefa wpływu ciepła).
- 5) Obróbki powierzchniowe.
- 6) Wpływ temperatury na własności tworzyw metalicznych: próg kruchości (stale węglowe, stale niskostopowe), stale austenityczne jako przykład materiałów kriogenicznych, wytrzymałość w podwyższonych temperaturach (temperatura homologiczna, wpływ struktury), pełzanie (wpływ struktury, stale węglowe i niskostopowe, stale austenityczne, superstopy, materiały na bazie faz międzymetalicznych), odporność korozyjna i erozyjna (pasywacja, obróbki powierzchniowe).

Zalecana literatura:

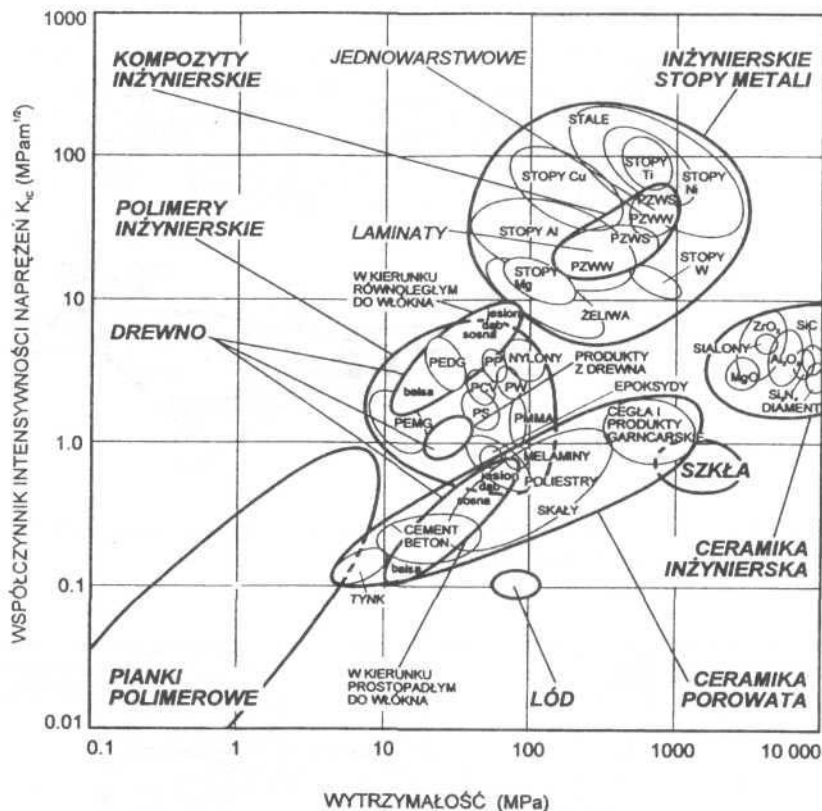
1. M.F. Ashby i D.R.H. Jone, Engineering Materials 2, Pergamon, Oxford, 1992, wydana w języku polskim przez Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1997.
2. M. Tokarski, Metaloznawstwo metali i stopów nieżelaznych w zarysie, Wyd. Śląsk 1985.
3. A. Ciszewski, T. Radomski, A. Szumer, Metalowe tworzywa konstrukcyjne, WPW, Warszawa, 1980.
5. K. Przybyłowicz, Metaloznawstwo, WNT, Warszawa, 1992.
6. A. Ciszewski, T. Radomski, A. Szumer, Metaloznawstwo, WPW, Warszawa, 1986.
7. S. Prowans, Metaloznawstwo, PWN, Warszawa, 1988.
8. S. Prowans, Struktura Stopów, PWN, Warszawa, 1998.
9. S. Rudnik, Metaloznawstwo, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, 1994.



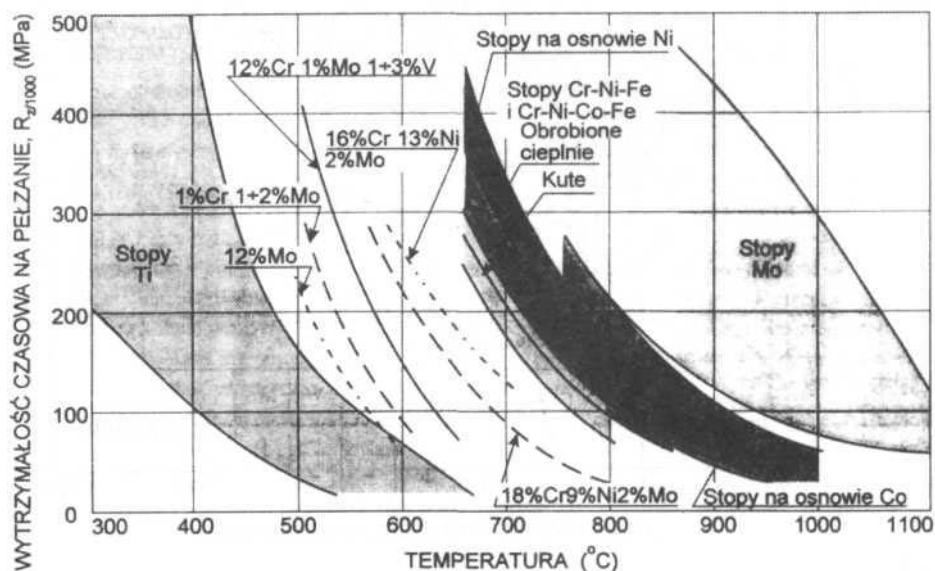
Rys. 4.1
 Rozkład temperatur na płacie samolotu łacie samolotu „Concorde” przy prędkościach 2,2 Ma i samolotu wojskowego przy 3,0 Ma



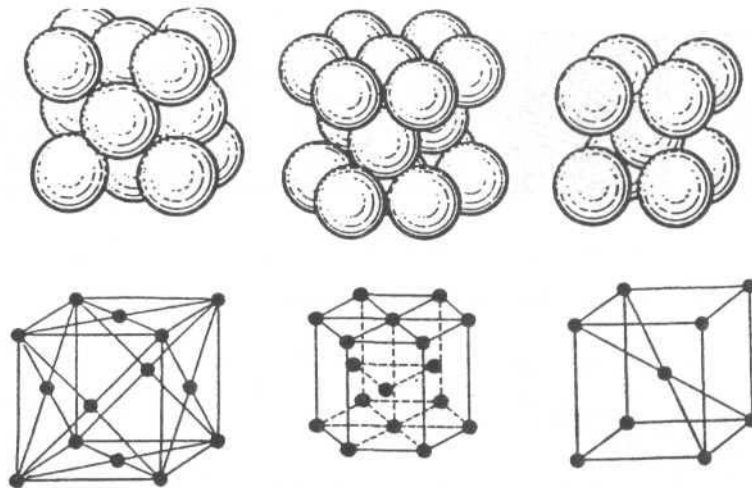
Rys. 4.2
 Wytrzymałość i względny koszt na jednostkę objętości różnych materiałów



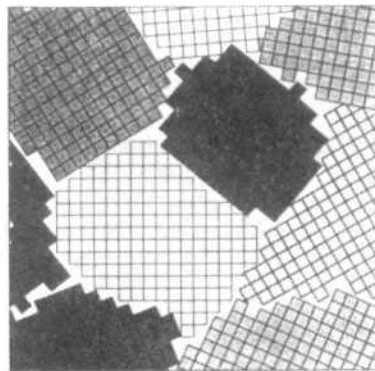
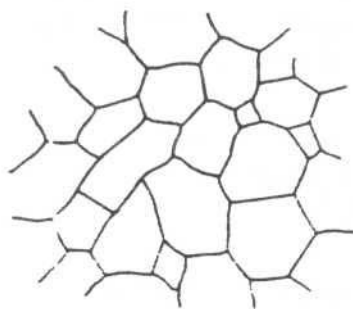
Rys. 4.3
Współczynnik intensywności naprężeń i wytrzymałość różnych materiałów



Rys. 4.4
Czasowa wytrzymałość na pełzanie R różnych metali i stopów żarowytrzymałych w zależności od temperatury badania (według ASM - Metals Handbook)

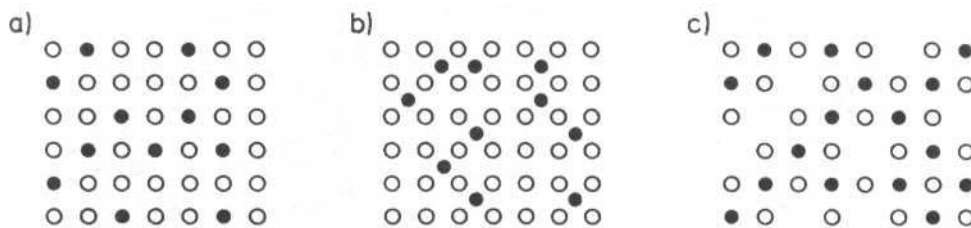


Rys. 4.5
 Komórki elementarne podstawowych sieci w jakich krystalizują metale

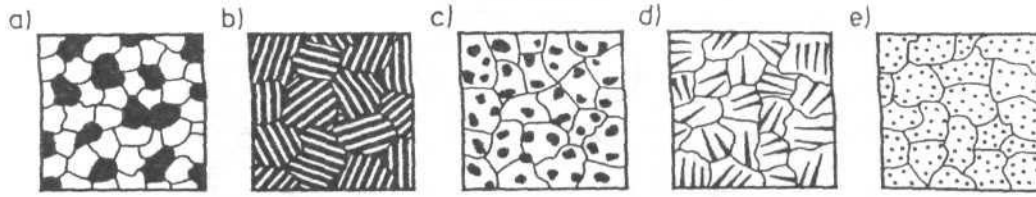


Rys. 4.6
 Układ ziarn w metalu

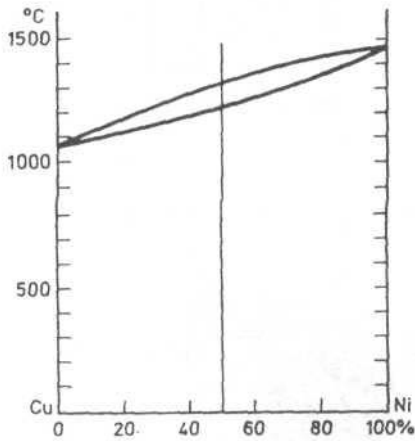
Rys. 4.7
 Schemat struktury polikrystalicznej metali



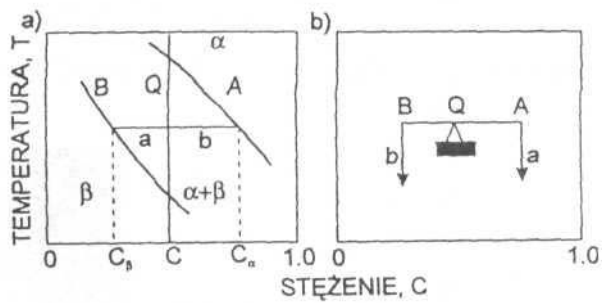
Rys. 4.8
 Sieć przestrzenna roztworu stałego (model płaski):
 a) różnowęzłowego,
 b) międzywęzłowego,
 c) pustowęzłowego



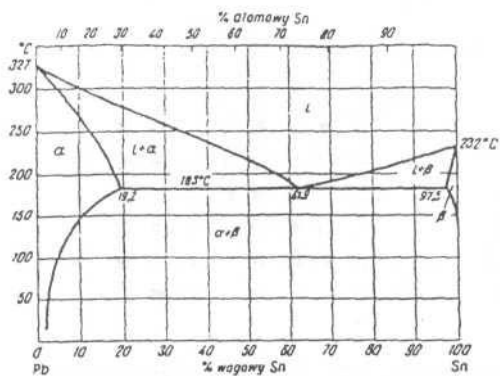
Rys. 4.9
Typy mikrostruktur: a) ziarnista, b) płytkowa, c) kulkowa, d) iglasta, e) dyspersyjna



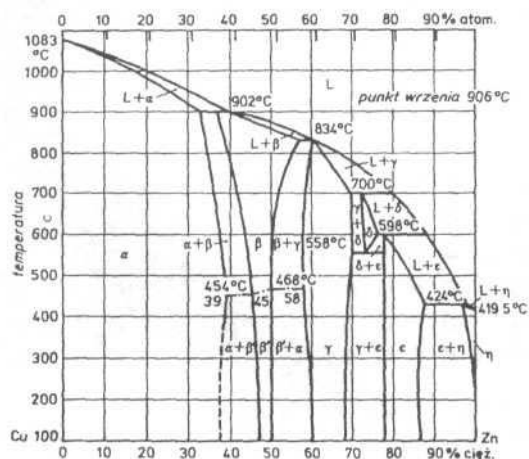
Rys. 4.10 Układ
Cu-Ni



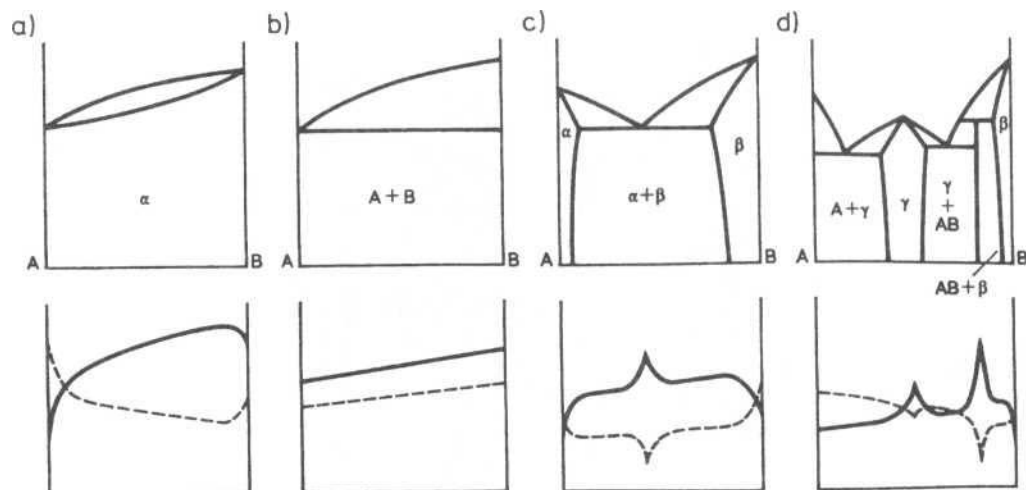
Rys. 4.11
Schematyczne przedstawienie reguły dźwigni a) wykres równowagi, b) reguła dźwigni



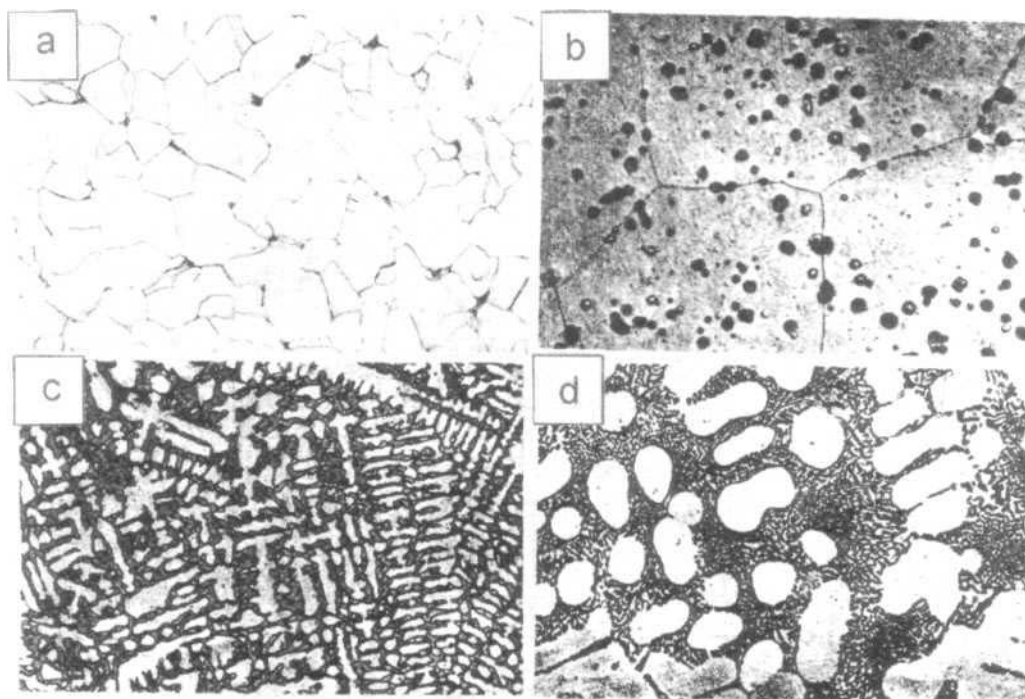
Rys. 4.12
Układ równowagi fazowej ołów-cyna



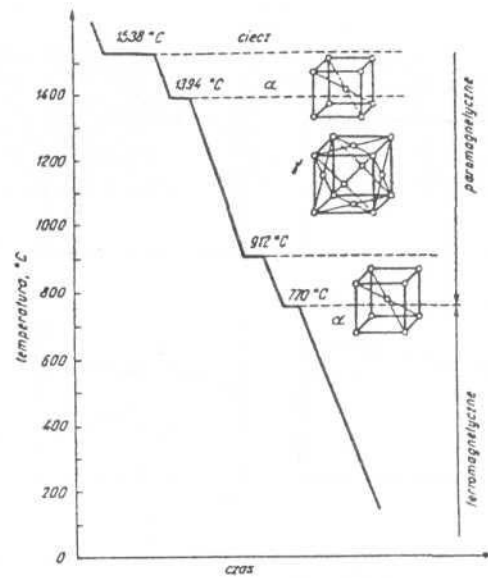
Rys. 4.13 Układ Cu-Zn



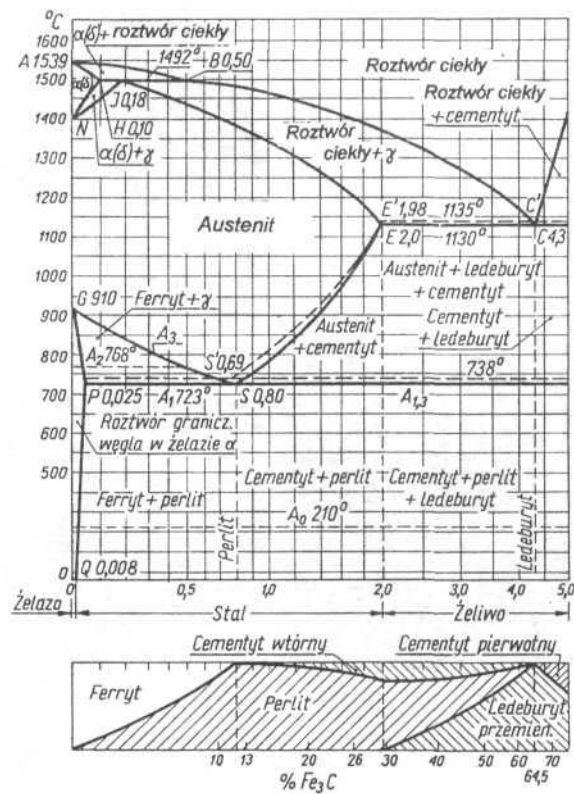
Rys. 4.14
 Zależność twardości HB (linie ciągłe) i przewodności elektrycznej G (linie przerywane) od typu układu równowagi (schemat): a) roztwór stały, b) mieszanina składników, c) mieszanina roztworów stałych z eutektyka, d) układ z fazami międzymetalicznymi



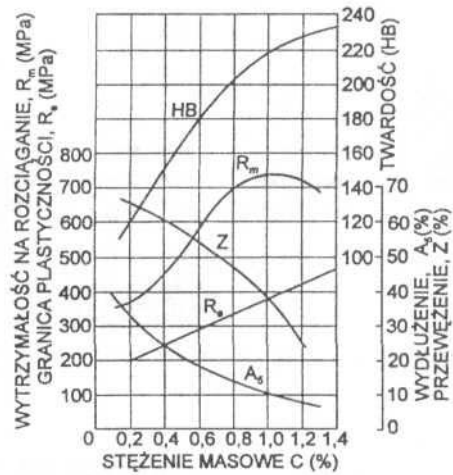
Rys. 4.15
 Typowe mikrostruktury stopów metali: a) struktura jednofazowa (terryt, pow. 100x), b) wydzielenia ołowiu z mosiądzu manganowo-ołowiowo-żelazowym MM47 (pow. 500x), c) struktura dendrytyczna mosiądzu MKO80 (pow. 100x), d) faza α na tle mieszaniny eutektycznej 2+Si (silumin, pow. 100x).



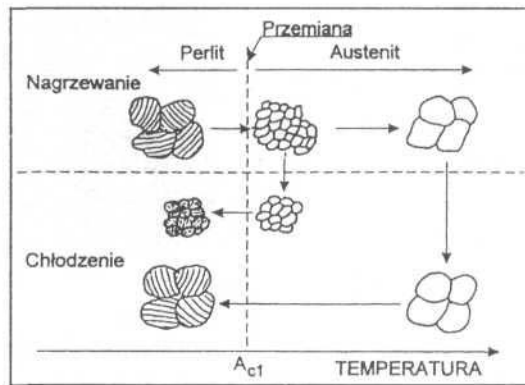
Rys. 4.16
Krzywe chłodzenia czystego żelaza



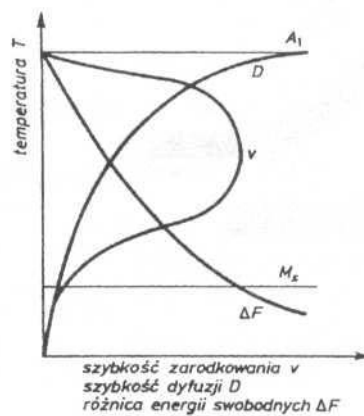
Rys. 4.17
Układ żelazo-węgiel [13]



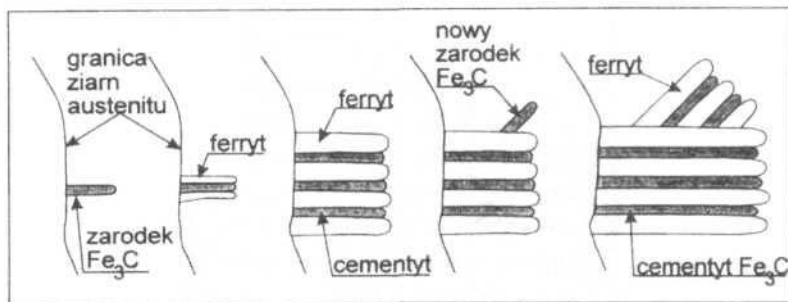
Rys. 4.18
Wpływ węgla na własności mechaniczne stali węglowych



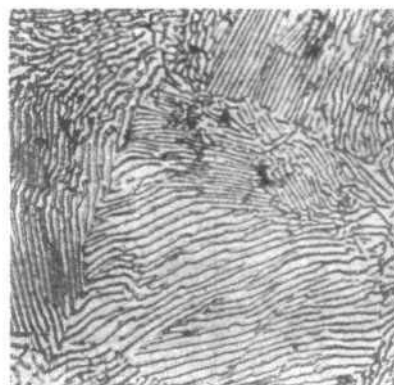
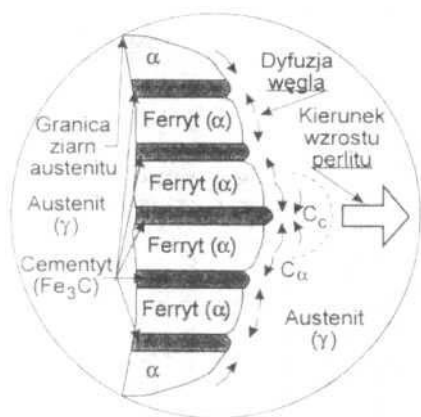
Rys. 4.19
Schemat zmian wielkości ziarna stali w wyniku nagrzewania do temperatury wyższej od A_{c1} i następnego chłodzenia



Rys. 4.20
Zależność szybkości zarodkowania (u), szybkości dyfuzji (D) i energii swobodnej (F) od przechłodzenia

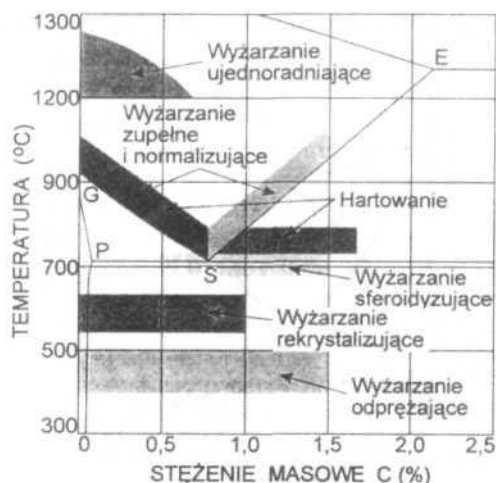


Rys. 4.21
Schemat przebiegu przemiany perlitycznej tworzenie się płytek cementytu i ferrytu z przechłodzonego austenitu,

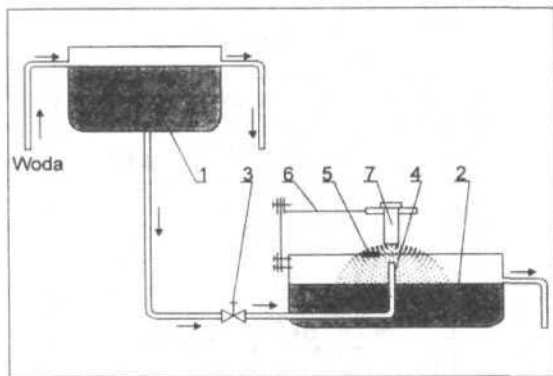


Rys. 4.22
Schemat wzrostu czołowego płytek perlitu (według R.F. Mehla i W.C. Hagela)

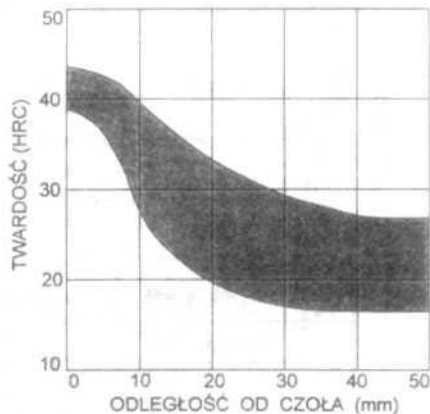
Rys. 4.23
Fotomikrografia perlitu płytkowego; '500



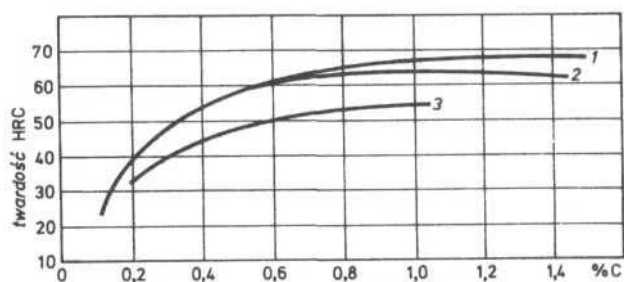
Rys. 4.24
Fragment wykresu Fe – Fe₃C z zaznaczonymi zakresami temperatury wyżarzania i hartowania stali węglowych



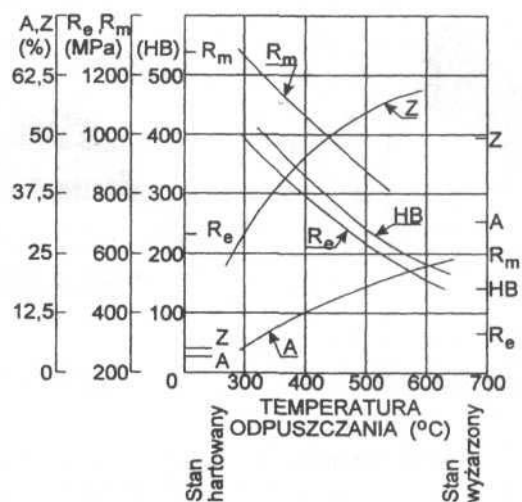
Rys. 4.25
Schemat stanowiska do prób hartowności metodą chłodzenia od czoła; 1 - zbiornik z wodą, 2 - wanna, 3 - zawór, 4 - dysza wodna, 5 - przesłona, 6 - uchwyt próbki, 7 - próbka



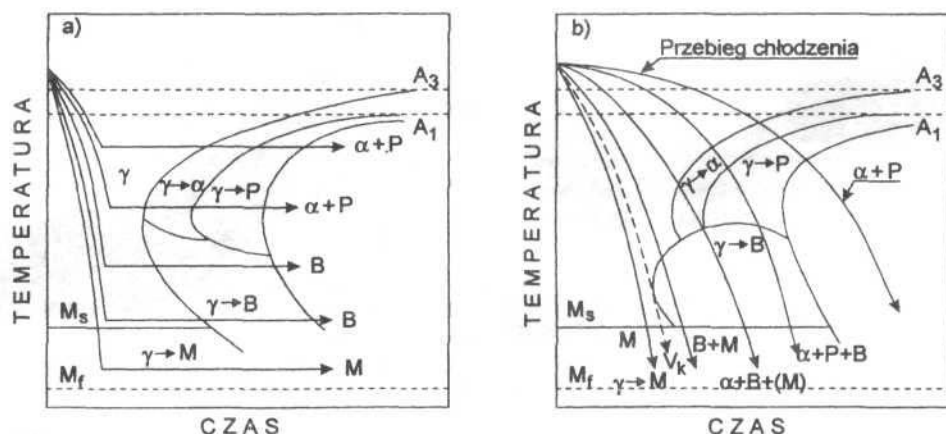
Rys. 4.26
Pasma hartowności stali 35SG



Rys. 4.27
Zależność twardości od zawartości węgla
1 - martenzytu, 2 - stali hartowanej od temperatury $A_{c1,3} + 30^{\circ}\text{C}$, 3 - struktury półmartenzytycznej

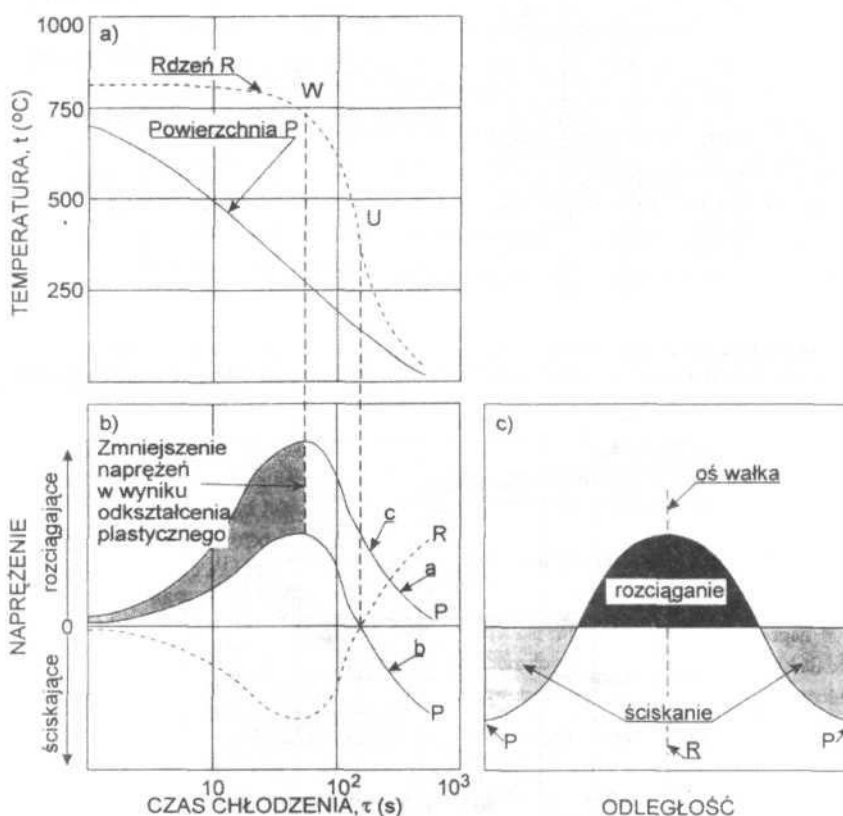


Rys. 4.28
Wpływ temperatury odpuszczania na własności mechaniczne zahartowanej stali zawierającej 0,4% C



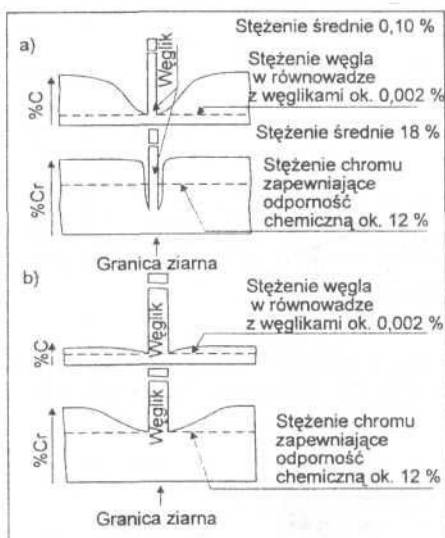
Rys. 4.29

Schematyczne wykresy przemian austenitu przechłodzonego stali węglowej podeutektoidalnej a) CTP przy chłodzeniu izotermicznym, b) CTP_c przy chłodzeniu ciągłym; g - austenit, a - ferryt, P - perit, B - bairiit, M - martenzyt

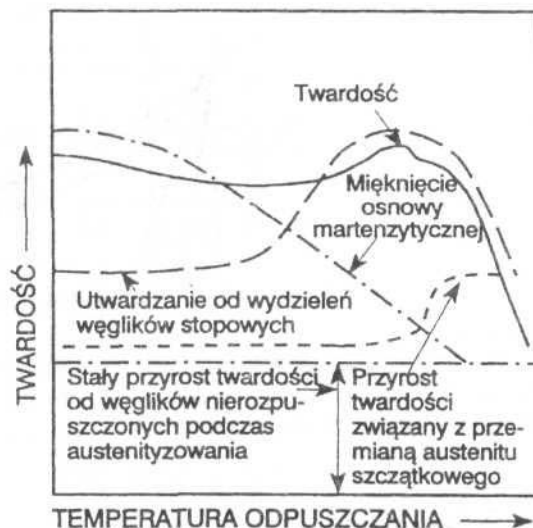


Rys. 4.30

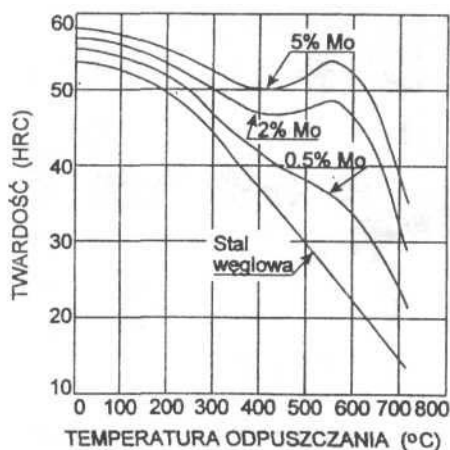
Schemat powstawania naprężeń ciepłych (bez strukturalnych) podczas chłodzenia w wodzie wałka stalowego o średnicy 100 mm (według A. Rosse) a) zmiany temperatury, b) zmiany naprężeń, c) rozkład naprężeń na przekroju poprzecznym wałka po ochłodzeniu, W - temperatura odpowiadająca maksymalnym naprężeniom rozciągającym na powierzchni



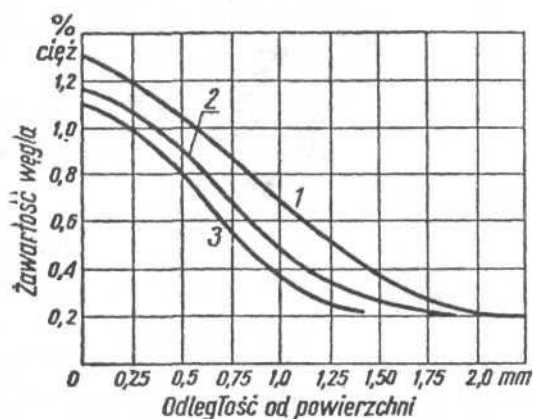
Rys. 4.31
Schemat wpływu wydzielenia węglków typu M C na zmiany stężenia węgla i chromu w pobliżu granicy ziarn w stalach wysokochromowych a) uwrażliwionych na korozję międzykryształiczną, b) odpornej na ten rodzaj korozji w wyniku przedłużenia czasu i podwyższenia temperatury wygrzewania (według E. C. Baina)



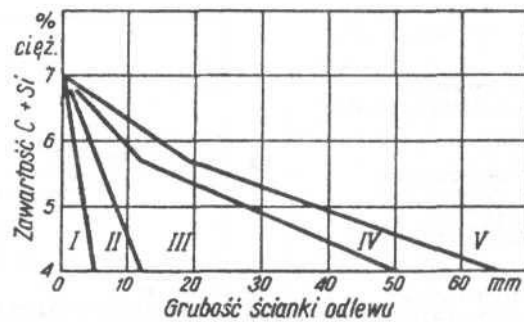
Rys. 4.32
Schemat wpływu przemian fazowych podczas odpuszczania na twardość stali szybkołączących (według G. Stevensa, A.E. Nehrenberga i T.H. Philipsa)



Rys. 4.33
Wpływ molibdenu oraz temperatury odpuszczania na twardość stali zawierającej 0,35% C

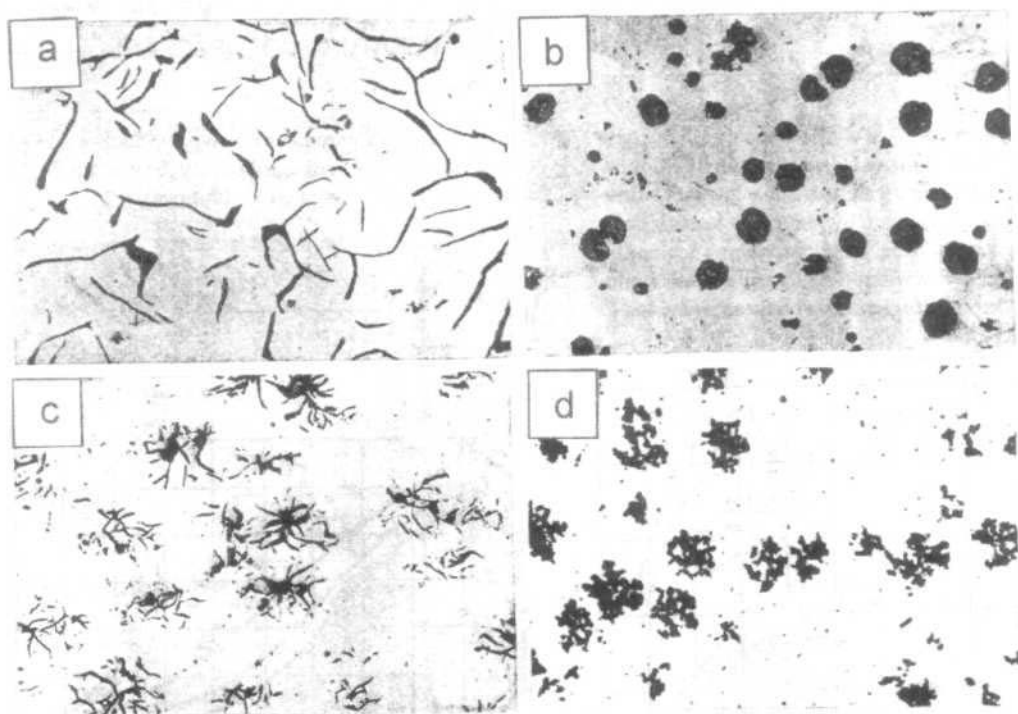


Rys. 4.34
Zawartość węgla w nawęglonej warstwie wierzchniej stali 20, w zależności od temperatury, nawęglania i odległości od powierzchni próbki; temperatura nawęglania: 1 - 925°C, 2 - 900°C, 3 - 870°C



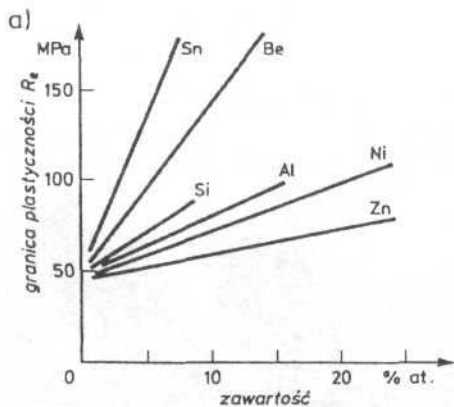
Rys. 4.35

Struktura żeliwa w zależności od łącznej zawartości węgla i krzemu oraz grubości ścianki odlewu wg *F. Greinera* i *T. Klingsensteina*: pole I - żeliwo białe, II - żeliwo pstre, III - żeliwo perlityczne, IV - żeliwo perlityczno-ferrytyczne, V - żeliwo ferrytyczne

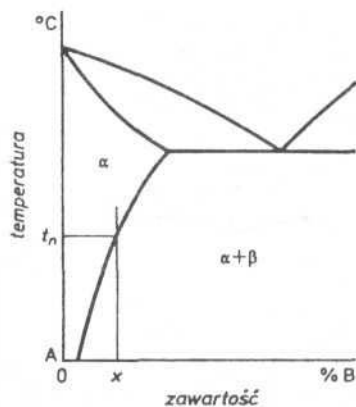


Rys. 4.36

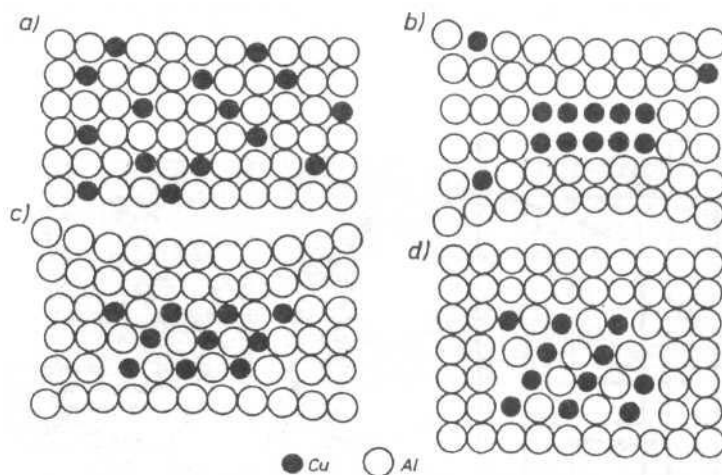
Wydzielenia grafitu w żeliwie: a) grafit płatkowy, b) grafit kulkowy, c) grafit gwiazdkowy, d) węgiel żarzenia. Pow. 100'



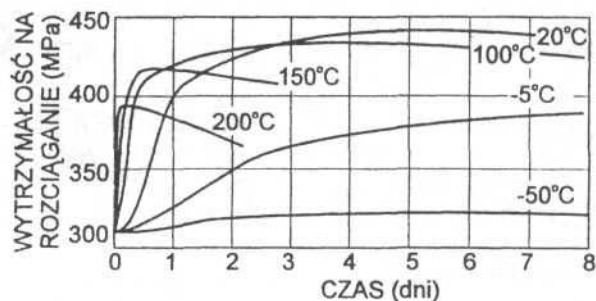
Rys. 4.37
Wpływ pierwiastków stopowych na wytrzymałość Cu



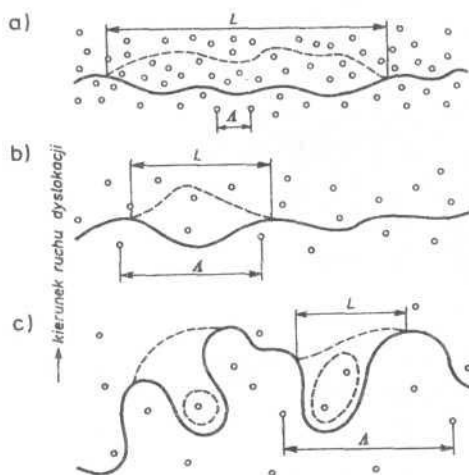
Rys. 4.38
Przesycającą temperaturę roztworu stałego



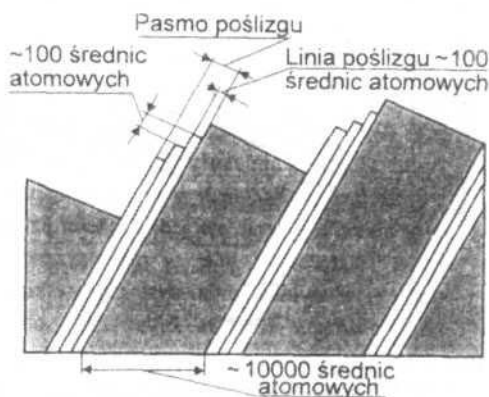
Rys. 4.39
Stadia starzenia stopu Al-Cu (schemat): a) przesycona faza k, b) strefa GPI, c) strefa q'', d) faza u



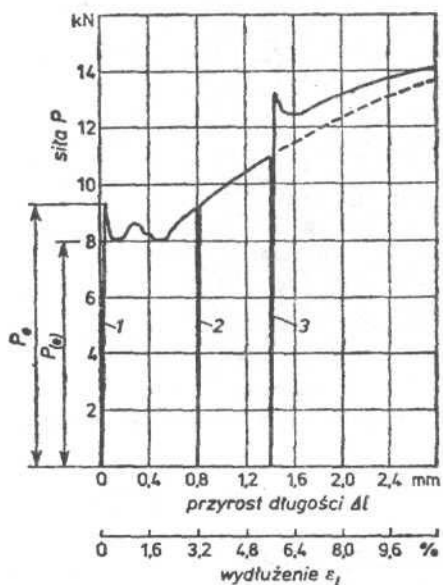
Rys. 4.40
Wpływ temperatury i czasu starzenia na twardość stopu Al z dodatkiem 4% Cu (według A.P. Gulajewa)



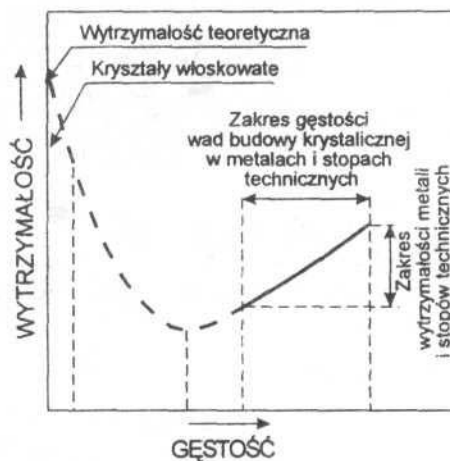
Rys. 4.41
Mechanizm poślizgu dyslokacji między wydzieleniami: a) $L \ll r$, b) $L \gg r$, c) $L \gg r$



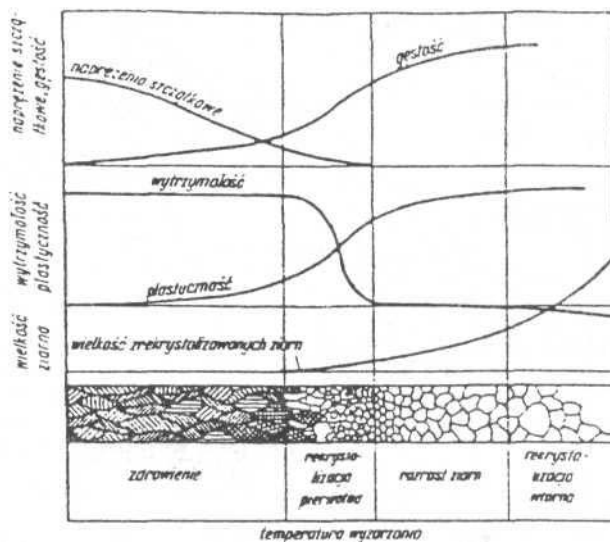
Rys. 4.42
Schemat linii i pasm poślizgu na powierzchni kryształu odkształconego plastycznie (według S. Kalpakijana)



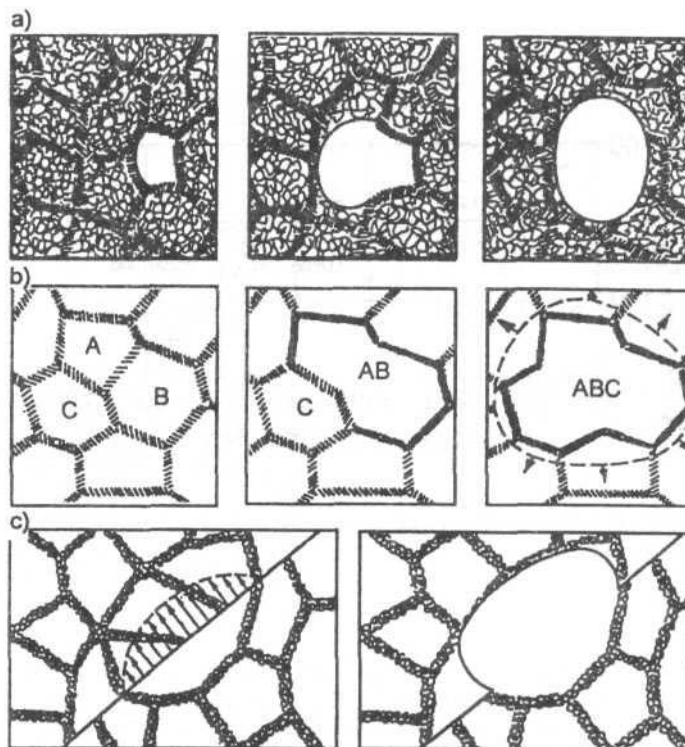
Rys. 4.43
Krzywa rozciągania miękkiej stali wykazującej przystanek plastyczności 1 - początkowy przebieg krzywej do chwili przerwania obciążenia, 2 - przebieg krzywej po krótkiej przerwie (około 1 minuty), 3 - przebieg krzywej po długiej przerwie (20 godzin)



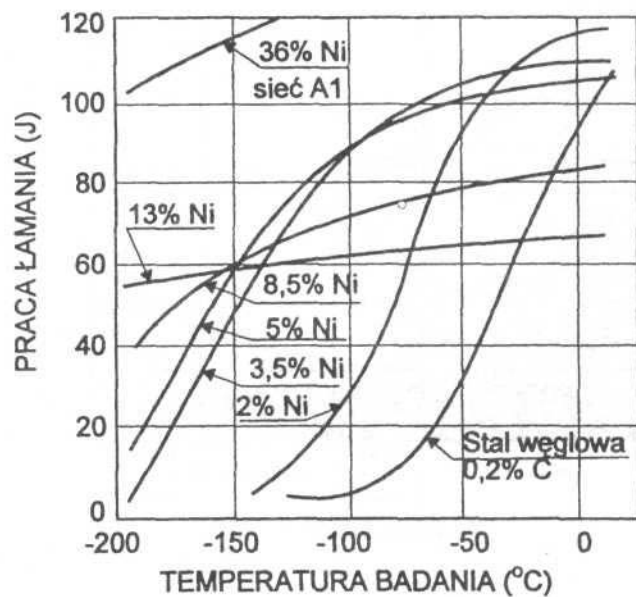
Rys. 4.44
Schemat zależności własności wytrzymałościowych metali od gęstości wad budowy krystalicznej



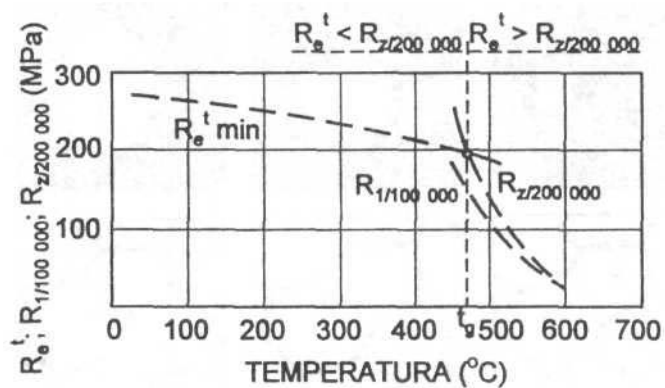
Rys. 4.45
Zmiana właściwości w procesie rekryształizacji



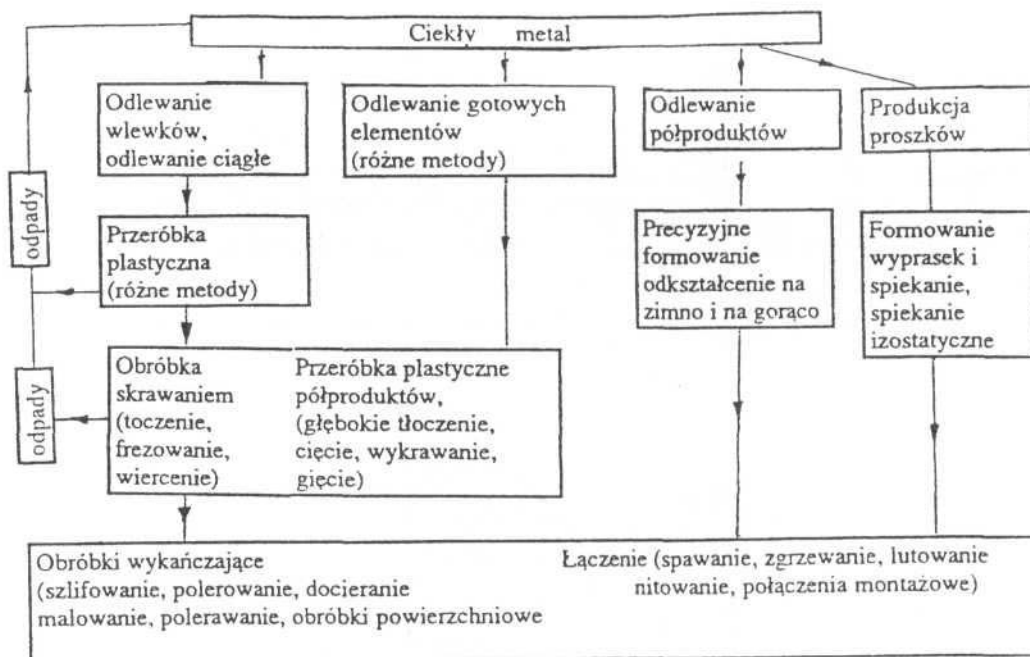
Rys. 4.46
Schematy mechanizmów zarodkowania podczas rekryształizacji a) przez migrację granic podziarn, b) w wyniku koalescencji podziarn A, B i C (AB i ABC - połączone podziarna), c) przez migrację odcinków szerokokątowych granic ziarn pierwotnych (według H.J. McQueena i W.J. Mc G. Tegarta)



Rys. 4.47 Próg kruchości



Rys. 4.48
Wpływ temperatury badania i stężenia niklu na udarność stali (według T.N. Armstronga i G.R. Brophy'ego)
T.N. Armstronga i G.R. Brophy'ego)

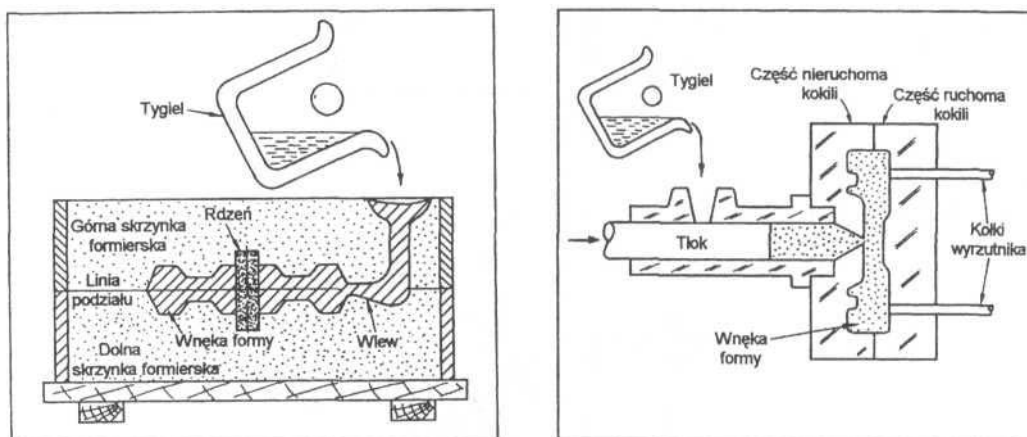


Rys. 4.49

Zależność granicy plastyczności R^t , czasowej wytrzymałości na pełzanie $R_{Z/t/t}$ czasowej granicy pełzania $R_{x/t/t}$ stali 10H2M od temperatury badania, t_g - temperatura graniczna

Rys 4.49

Schemat następstwa różnych procesów technologicznych do przerysowania

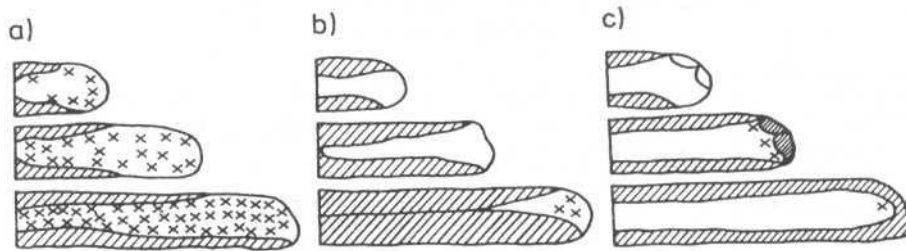


Rys. 4.50

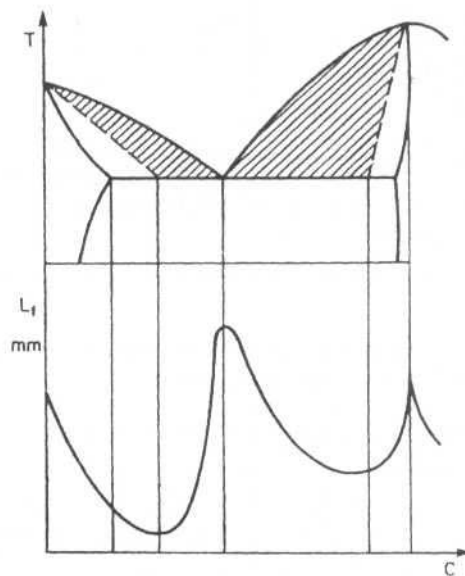
Odlewanie piaskowe. Ciekły stop wlewany jest do dzielonej formy piaskowej.

a) Odlewanie piaskowe. Ciekły stop wlewany jest do dzielonej formy piaskowej

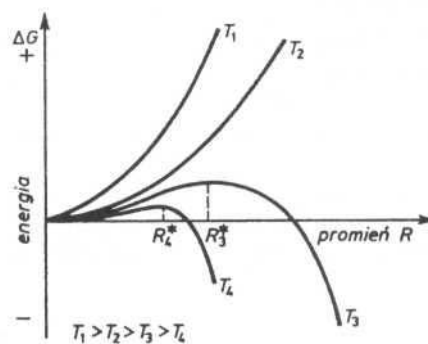
b) Ciśnieniowe odlewanie kokilowe. Ciecz jest przetłaczana do dzielonej formy metalicznej



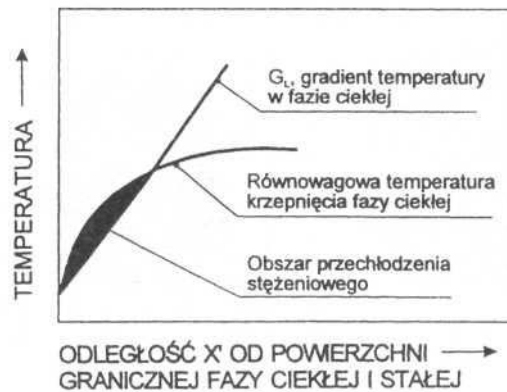
Rys. 4.51
Schemat B.B. Gulajewa [55] pływnięcia, krystalizacji i zatrzymania strugi metalu w kanałach



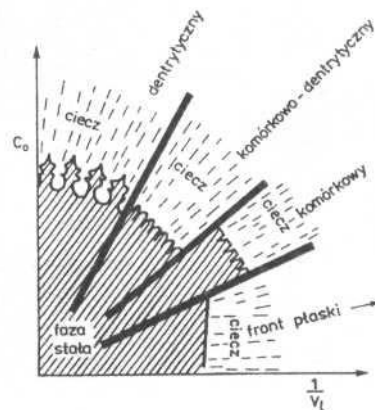
Rys. 4.52
Zależność lejukości L , od rodzaju wykresu równowagi [55]



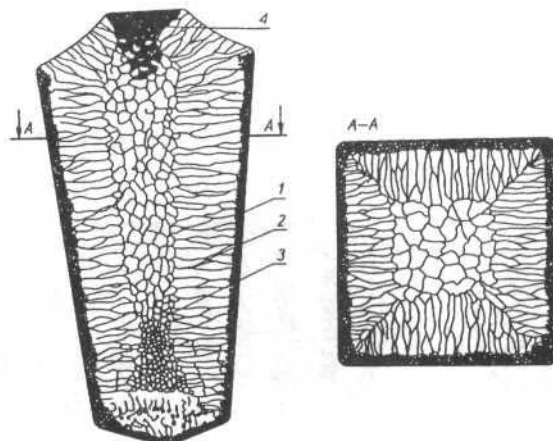
Rys. 4.53
Zależność energii swobodnej zarodka jednorodnego od promienia dla kilku temperatur



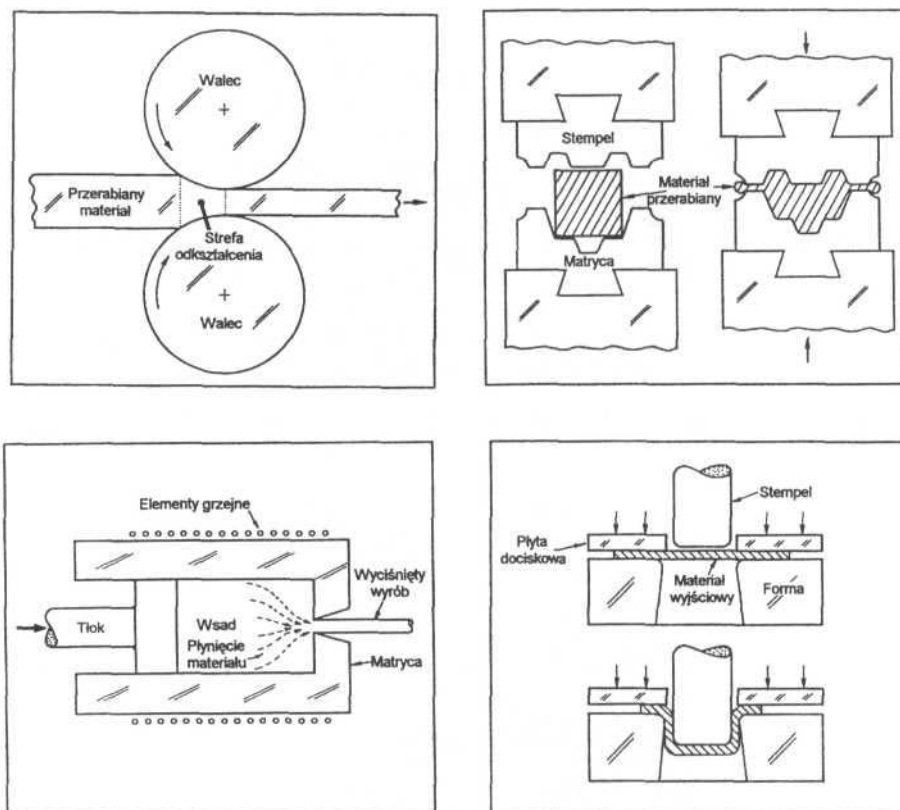
Rys. 4.54
Zależność temperatury fazy ciekłej i temperatury jej krzepnięcia od odległości od powierzchni międzyfazowej faz ciekłej i stałej



Rys. 4.55
Warunki przejścia od mechanizmu wzrostu komórkowego do dendrytycznego w zależności od stężenia początkowego domieszki C_0 i liniowej szybkości krystalizacji u_t



Rys. 4.56
Schemat struktury wlewka stalowego; 1 - strefa kryształów zamrożonych, 2 - strefa kryształów kolumnowych, 3 - strefa równoosiowych dendrytów, 4 -jama skurczowa



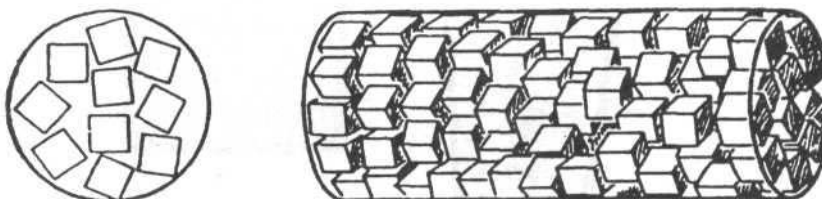
Rys. 4.57

Przeróbka plastyczna metali

a)Walcowanie. Przekrój kęsa lub pręta zmniejszany jest w wyniku ściskającego odkształcenia pomiędzywałcami. Proces może być prowadzony na gorąco ($T > 0,55T_m$), półgorąco ($0,35T_m < T < 0,55T_m$) lub na zimno ($T < 0,35T$).

b)Kucie. Kęs lub odkuwka wstępna uzyskuje ostateczny kształt w wyniku odkształcenia pomiędzy twardym stemplem i matrycą. Podobnie jak w przypadku walcowania, proces może być prowadzony na gorąco, półgorąco lub na zimno.

c)Wyciskanie. Tłok wymusza płynięcie materiału przez oczko matrycy, w wyniku czego

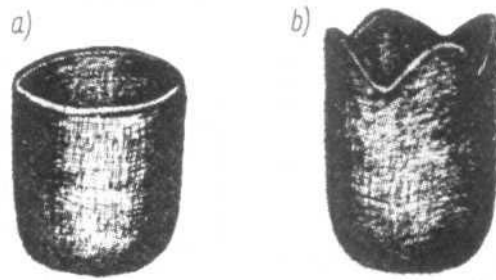


Rys. 4.58

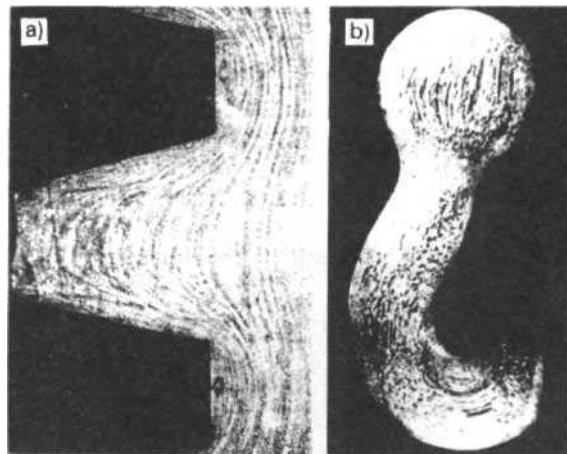
Schemat tekstury włóknistej w drucie

otrzymuje się wyrób w postaci ciągłego graniastosłupa. Wyciskanie na gorąco prowadzi się w temperaturach do $0,97T_m$; na zimno - w temperaturze otoczenia.

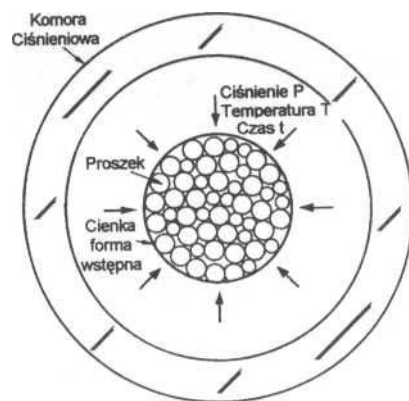
d)Tłoczenie. Półprodukt, unieruchomiony na brzegach, odkształcany jest stemplem do postaci końcowej.



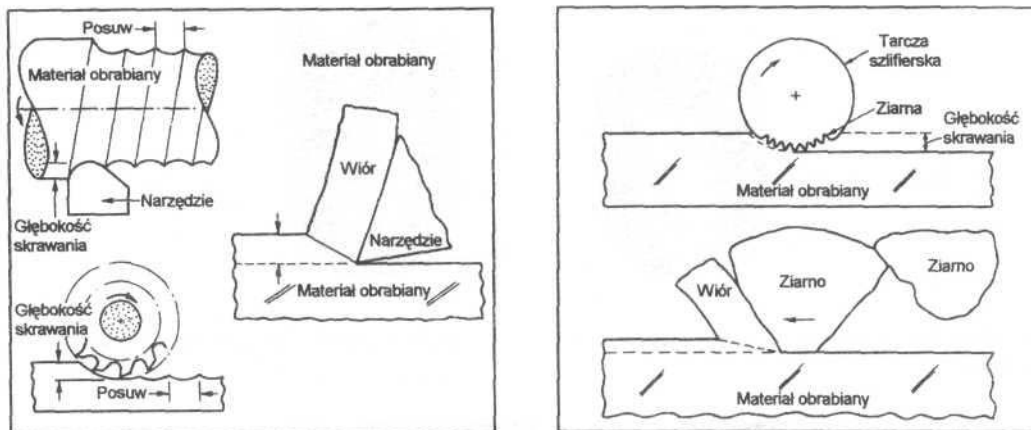
Rys. 4.59
Kształt wytłoczki z blachy: a) nie mającej anizotropii własności, b) z anizotropią wydłużenia spowodowaną teksturą



Rys. 4.60
Badania makroskopowe: a) przekrój podłużny gwintu walcowanego, b) przekrój podłużny kutego haka



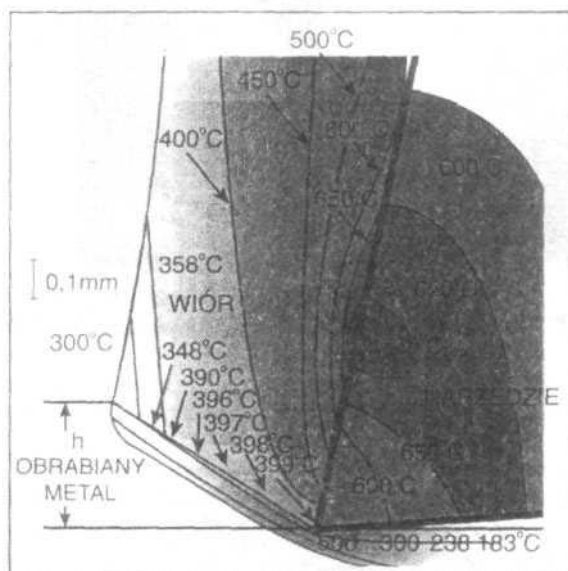
Rys. 4.61
Izostatyczne prasowanie na gorąco. Proszek w cienkościenniej formie wstępnej jest nagrzewany i prasowany przez ciśnienie gazu znajdującego się na zewnątrz



Rys. 4.62

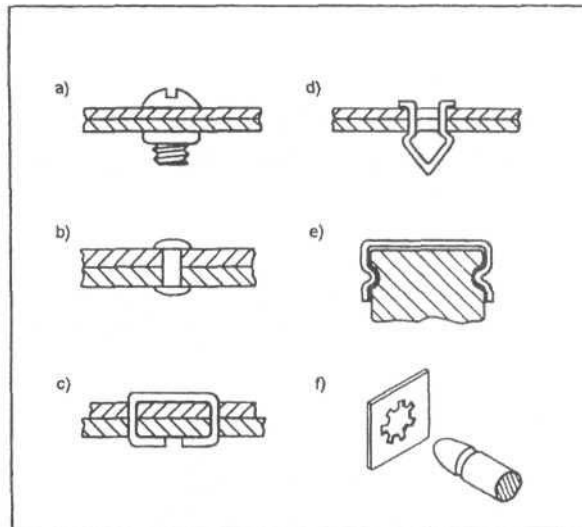
a) Obróbka skrawaniem. Toczenie (u góry) i frezowanie (poniżej). Utwardzone ostrze narzędzia odcina wiór z powierzchni obrabianego materiału

b) Szlifowanie. Rolę narzędzia skrawającego spełniają ostre ziarna ścierniwa - jest to rodzaj

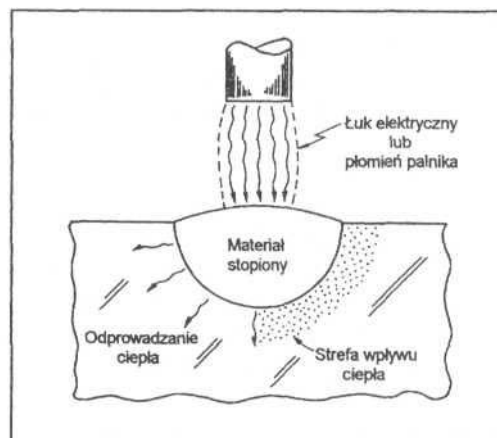


Rys. 4.63

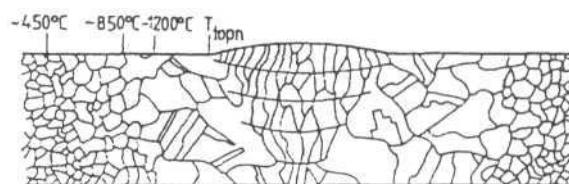
Rozkład temperatury w narzędziu skrawającym i w obrabianym metalu; kąt natarcia 10° , kąt ścinania 30°
 głębokość skrawania $h = 0,32$ mm



Rys. 4.64
Elementy łączące (a) połączenie wkrętami; (b) nitowanie; (c) połączenie zatrzaskiem kłamrowym; (d) połączenie zatrzaskiem wewnętrznym; (e) połączenie zatrzaskiem zewnętrznym; (f) zatrzaskowe połączenie pręta z blachą



Rys. 4.65
Spawanie. Palnik lub łuk elektryczny stapia zarówno materiał łączonych elementów jak i metaliczny materiał łączący. Otrzymujemy połączenie będące efektem jakby odlewania w małej skali.



Rys. 4.66
Schemat struktury wielowarstwowego złącza doczołowego ze stali anstenitycznej rystyczna transkrytalizacja metalu spoiny

Temat 5:

CHARAKTERYSTYKA TWORZYW POLIMEROWYCH Z UWZGLĘDNIENIEM M.IN. POZIOMU WSKAŹNIKÓW WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH, ODPORNOŚCI NA KOROZJĘ, CENY.

Wykład 2.5h

- 1) Istota budowy chemicznej i fizycznej polimerów; jej wpływ na właściwości makroskopowe. Różnice i podobieństwa między polimerami, metalami i innymi materiałami technicznymi.
- 2) Podział, nazwy, skróty nazw: przykłady z akcentem na polimery nowoczesne.
- 3) Stany mechaniczne, postacie strukturalne; ich przemiany w polach sił.
- 4) Właściwości mechaniczne w kontekście budowy, w tym zwłaszcza: zjawiska relaksacyjne, mechaniczni odkształcenia, pełzanie, relaksacja naprężeń, właściwości wytrzymałościowe w stanach sprężystym-kruchym, sprężystym z wymuszoną elastycznością tzn. lepkosprężystym, w stanie wysokoelastycznym i plastycznym.
- 5) Wrażliwość polimerów na zmiany temperatury; temperatury rzeczywiste charakterystyczne (T_g , T_p , T_m , T_r) i umownie charakterystyczne (T_{VIC} , T_{mart} , T_{HDT}) i ich użyteczność.
- 6) Krzywe termochemiczne, przemiany stanu i postaci w funkcji odkształcenia, polimery termoodporne zwłaszcza fluorowe, silikonowe, poliarylowe, sulfonowe, siarczkowe, polieteroketonowe, polieteroimidowe, polibeenzoimidowe, polibenzimidazolowe, polimidoimidowe, półprzewodnikowe, piezoelektryczne, itp.
- 7) Przykładowe zastosowania wybranych grup polimerów, zwłaszcza nowoczesnych i termoodpornych.

Zalecana literatura:

- 1.1. Gmin, J. Ryszkowska, B. Markiewicz, Materiały polimerowe, Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa, 1995 w druku.
2. J. Kapko, T. Czekaj, P. Huczowski, J. Polczak, Podstawy przetwórstwa tworzyw sztucznych, Politechnika Krakowska, wyd. 2, Kraków, 1994.
3. N.G. Mc. Grum i inni, Principles of Polymer Engineering, Oxford Science Publ, International Student Edition, Oxford University Press, Oxford, New York, Tokyo, 1994.
4. J.J. Pielichowski i inni, Technologia tworzyw sztucznych, WNT, wyd. III, Warszawa, 1992.
5. R. Sikora, Tworzywa wielocząsteczkowe, rodzaje, właściwości, struktura, Politechnika Lubelska, Lublin, 1991.
6. W. Surowiak, S. Chudzyński, Tworzywa sztuczne w budowie maszyn, WNT, wyd. II, Warszawa, 1971.
7. H. Sachtling - W. Żebrowski, Tworzywa sztuczne-poradnik, wyd. II, WNT, Warszawa, 1978.

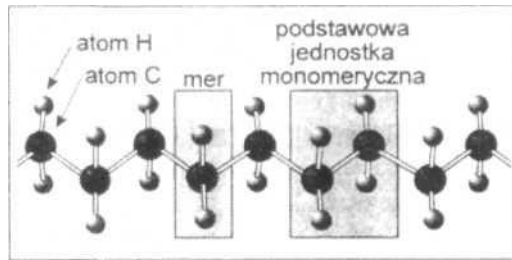
Tab. 5.1. Wybrane cechy i pojęcia opisujące materiały polimerowe.

Lp.	Wybrane cechy i pojęcia (synonimy)	Definicje, objaśnienia
1	2	3
1	Rodzaje atomów	Większość polimerów zawiera: C, H, O, N; niektóre zawierają ponadto: Si, B, F, Cl, Br, S i czasami inne
2	Makrocząsteczki (wielkie cząsteczki)	Cząsteczki zbudowane z bardzo dużej liczby jednostek podstawowych zwanych też merami.
3	Jednostki podstawowe makrocząsteczki (mery)	Powtarzające się n razy ($n=10^3-10^4$) w makrocząsteczce takie same układy atomów.
4	Konfiguracja makrocząsteczek	Sposób przestrzennego ułożenia względem siebie powiązanych ze sobą chemicznie merów w makrocząsteczce. Rozróżnia się przede wszystkim konfiguracje: liniową, rozgałęzioną, sieciowaną, i rzadziej inne.
5	Giętkość cząsteczek	Zdolność merów i segmentów makrocząsteczek do licznych zmian konformacji (położenie), występuje w makrocząsteczkach większości polimerów;
6	Polimery (materiały polimerowe, tworzywa lub związki wielkocząsteczkowe)	Zbiór makrocząsteczek o identycznej budowie merów jednakowo powiązanych wiązaniami chemicznymi.
7	Budowa fizyczna (struktura)	Amorficzna, krystaliczna
8	Temperatury charakterystyczne	T_{kruch} - temperatura kruchości, T_g - temperatura zeszklenia, T_p - temperatura plastyczności (płynięcia), T_m - temperatura topnienia fazy krystalicznej, T_r - temperatura rozkładu.
9	Stany mechaniczne (sposób reagowania na naprężenia)	Sprężysty , od temperatur najniższych do T_{kruch} lepkosprężysty (sprężysty z wymuszoną elastycznością), od T_{kruch} do T_g lub do T_m wysokoelastyczny , od T_g do T_p lub od T_g do T_r : plastyczny (lepkopłynny), powyżej T_p
10	Tworzywa sztuczne (polimery sprężyste i lepkosprężyste, plastomery, plastiki)	Materiały polimerowe, które w szerokim zakresie temperatur, a w tym w temperaturze pokojowej, zachowują się jak materiały wysokoelastyczne, to znaczy, że przy niewielkich naprężeniach łatwo ulegają dużym (kilkaset %) i szybkoodwracalnym odkształceniom, podobnie jak guma np.: elastomery poliuretanowe, silikonowe, izoprenowe, butadienowe.
11	Elastomery (polimery wysokoelastyczne, materiały gumowe i gumopodobne)	Materiały polimerowe, które w szerokim zakresie temperatur, a w tym w temperaturze pokojowej, zachowują się jak materiały wysokoelastyczne, to znaczy, że przy niewielkich naprężeniach łatwo ulegają dużym (kilkaset %) i szybkoodwracalnym odkształceniom, podobnie jak guma, np.: elastomery poliuretanowe, silikonowe, izoprenowe, butadienowe.
12	Polimery termoplastyczne (termoplasty)	Polimery o konfiguracji makrocząsteczek liniowej i rozgałęzionej, po zekroczeniu T_p możliwe jest przemieszczanie się całych makrocząsteczek. Polimer ten pod wpływem ciepła może przechodzić stanu stałego w stan plastyczny i odwrotnie. Może być przetwarzany np.: wytłaczaniem, wtryskiem, walcowaniem, np. PE, PP, PC, PCW
13	Polimery sieciowane (duroplasty)	Polimery o konfiguracji makrocząsteczek sieciowanej uniemożliwiającej przemieszczanie się całych makrocząsteczek. Polimery te nie wykazują T_p i nie są termoplastyczne, np.: melaminowo - lub fenolowo-formaldehydowe.
14	Gęstość, kg/dm ³	Gęstość: 0.8-1,5 (polimery fluorowe (PTFE - teflon) $\approx 2,0-2,3$)
15	Reakcje na środowisko	Pęcznienie, rozpuszczanie, starzenie, korozja naprężeniowa (srebrzenie)
16	Zakresy temperatur użyteczności technicznej	Specyficzne dla poszczególnych polimerów; przeciętnie długotrwałe użytkowanie $-80-150^\circ$, krótkotrwałe do 300°C .

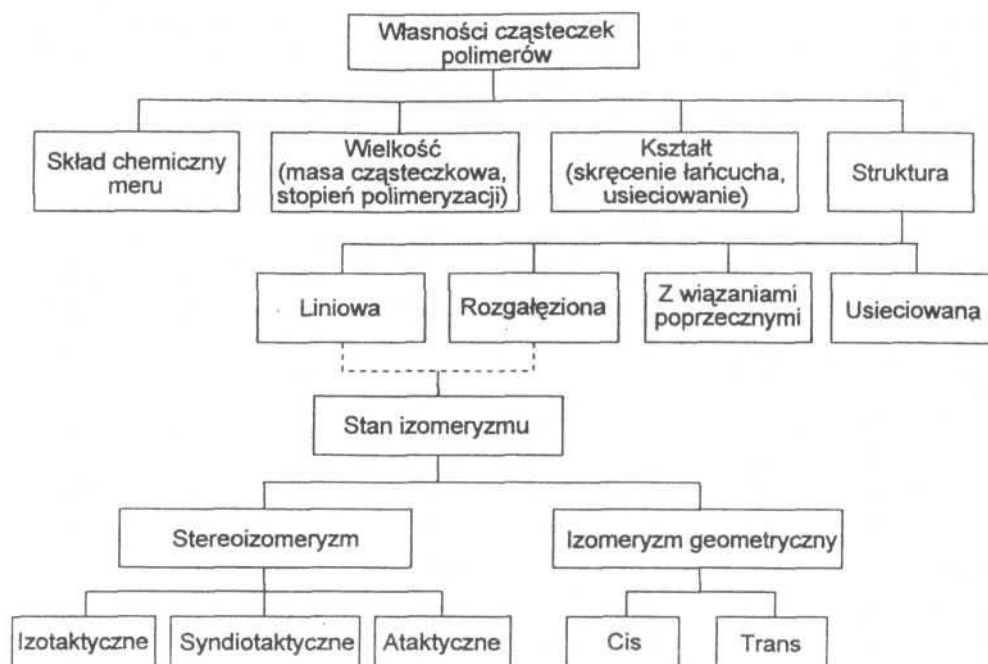
Tab. 5.2. Przykładowe cechy termoplastycznych tworzyw sztucznych. Podana kolejność nazwanych rodzajów tworzyw odpowiada malejącemu ich zastosowaniu w technice. Właściwości podano zgodnie z amerykańskimi normami ASTM.

Rodzaj polimeru	Cena względna	Moduł Younga, Gpa	Wytrzymałość na rozciąganie (R_m) Mpa	Wydłużenie przy zerwaniu (ϵ_r)%	Udarność z karbem (K)J/m ²	Temp. ugięcia (T_s)°C	Temp. rozszerzalności cieplnej $10^6 K^{-1}$	Gęstość kg/dm ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ASTM		D790	D638	D638	D256	D648	D696	D792
Pedg	1.0	0.8	28	300	>1300	<23	90	0.96
PP	1.0	1.5	33	50	150	<23	110	0.90
PCW	0.7	3.0	55	30	70	55	60	1.40
ABS	1.8	3.2	72	4	40	95	68	1.18
PMMA	1.8	3.2	72	4	40	95	68	1.18
PA-6,6	2.9	2.8	83	50	53	90	81	1.14
PC	3.5	2.3	65	100	700	140	70	1.20
POM	2.5	2.8	69	40	75	136	122	1.42
PBT	3.1	2.2	50	300	55	55	70	1.31
PBT+ 30% włókno szklane	3.1	7.5	120	3	65	215	25	1.62
	12.0	2.7	70	50	86	174	54	1.24
PES	12.0	2.6	82	40	84	203	55	1.37

Objaśnienia: PE dg - polietylen (dużej gęstości); PP - polipropylen; PCW - polichlorek winylu; ABS -terpolimer styrenu, butadienu i akrylonitrylu; PMMA - polimetakrylan metylu; PA - 6,6 - poliamid 6,6, PC -poliwęglan; POM - polioksymetylen; PBT - politereftalan butylenowy, PSF - polisiarcek fenylenu; PES -polieterosulfon.



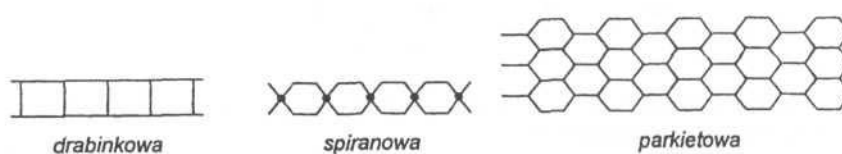
Rys. 5.1
Schemat prostoliniowego odcinka typowego łańcucha polietylenu (cały łańcuch może zawierać 50 000 podstawowych jednostek monomerycznych)



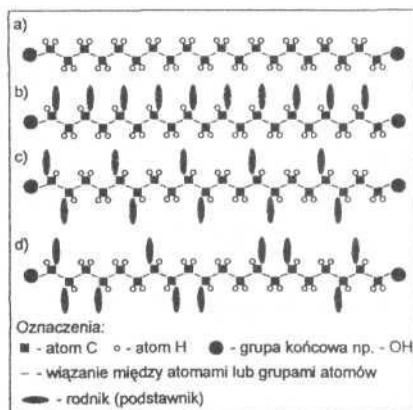
Rys. 5.2
Schematyczna klasyfikacja własności cząsteczek polimerów



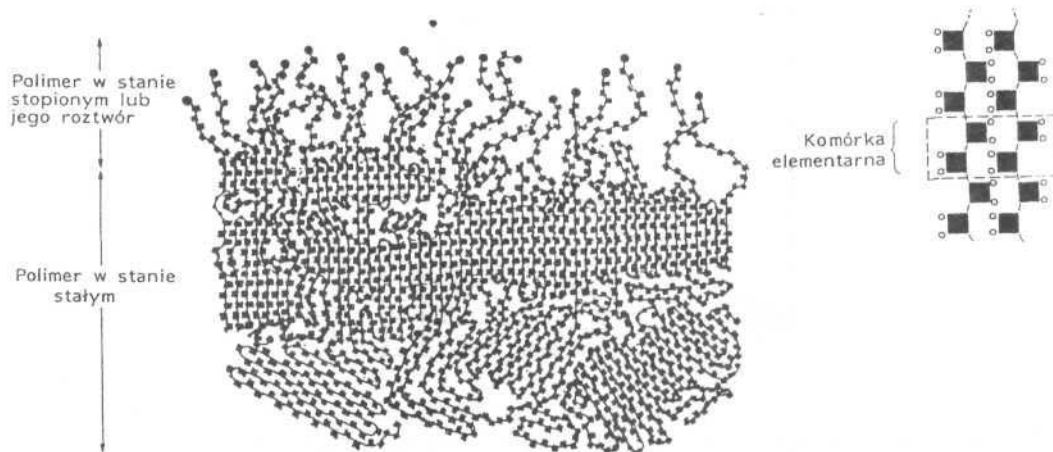
Rys. 2.1. Konfiguracja makrocząsteczek większości popularnych polimerów



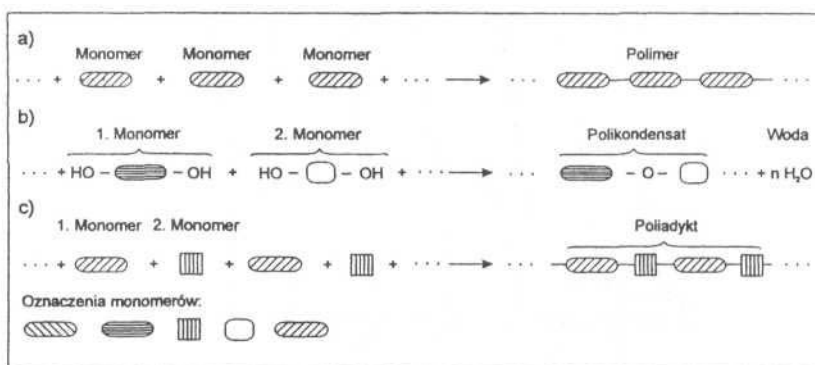
Rys. 5.3
Konfiguracja makrocząsteczek polimerów termoodpornych



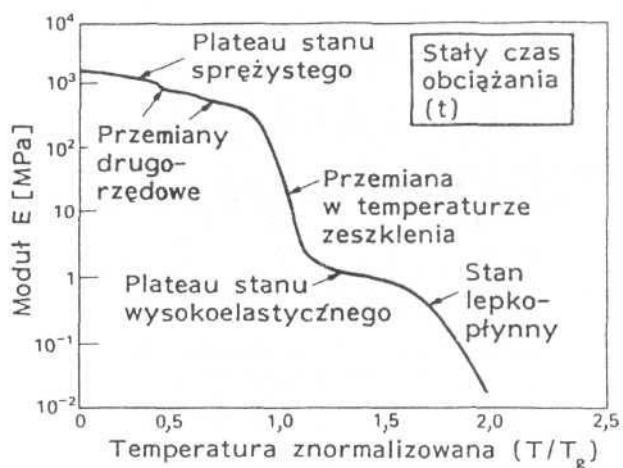
Rys. 5.4
Struktura makrocząsteczek polimerów: a) polietylen, b) polymer izotaktyczny, c) polymer syndiotaktyczny, d) polymer ataktyczny



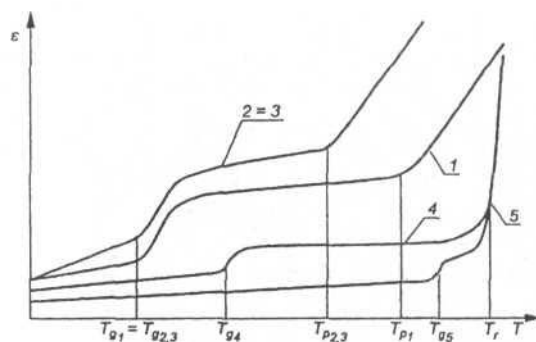
Rys. 5.5
Schemat polimeru o znacznym stopniu krystaliczności (np. polietylenu dużej gęstości). W górnej części rysunku polimer jest stopiony; w konsekwencji segmenty łańcuchów są tu nieuporządkowane



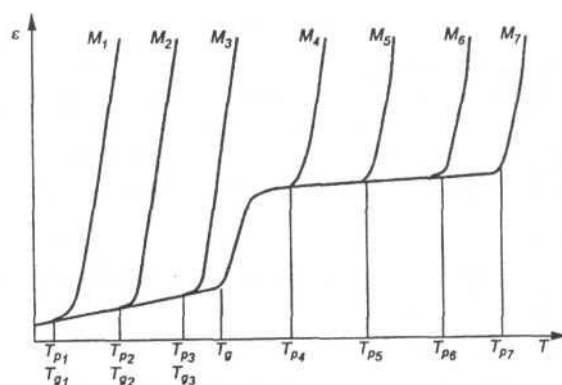
Rys. 5.6
Schematy polireakcji a) polimeryzacji, b) polikondensacji, c) poliaddycji



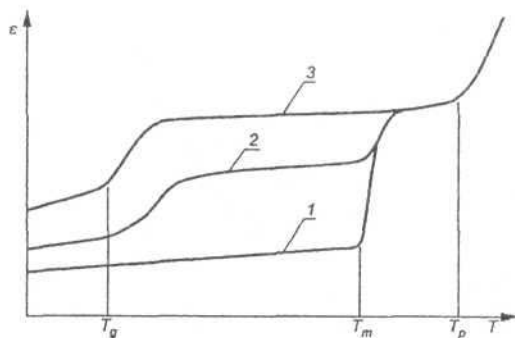
Rys. 5.7
Schemat zmian wartości modułu Younga E ze zmianą temperatury w polimerze liniowym przy stałym czasie obciążenia



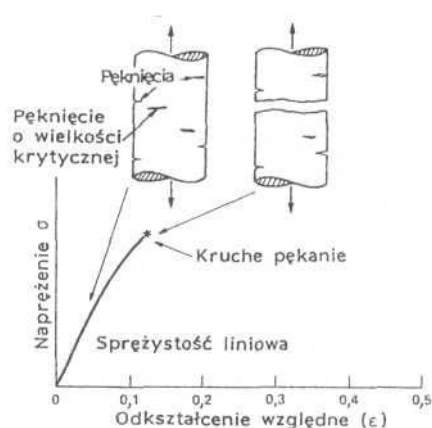
Rys. 5.8
Wpływ konfiguracji RCCz i M na T_g i T_g tego samego rodzaju polimeru (np. PE);
1 - polimer liniowy, 2 - polimer rozgałęzienny, 3 - polimer o znacznej zawartości frakcji niskich, 4 - polimer o średniej gęstości usieciowania, 5 - polimer bardzo gęsto usieciowany



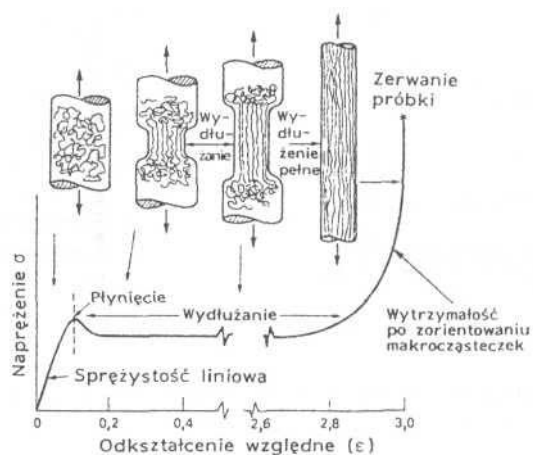
Rys. 5.9
Krzywe termomechaniczne dla materiałów amorficznych, różniących się tylko ciężarem cząsteczkowym. Krzywe od 1 do 7 dotyczą rosnącego w kolejności ciężaru cząsteczkowego



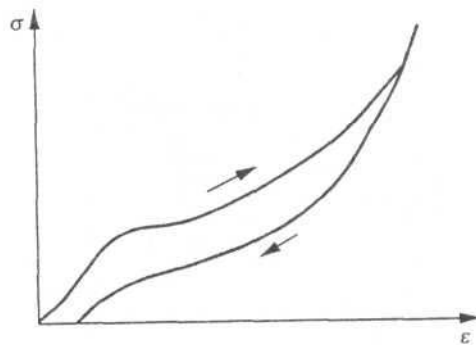
Rys. 5.10
Porównanie krzywych termomechanicznych dla polimeru o $T_m > T_p$; 1 - zawierającego 98% fazy krystalicznej, 2 - zawierającego 50% fazy krystalicznej, 3 - amorficznego



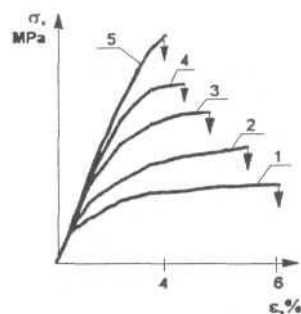
Rys. 5.11
Krucze pękanie - największe pęknięcie rozprzestrzeniania się, gdy spełnione jest kryterium nagiego pękania



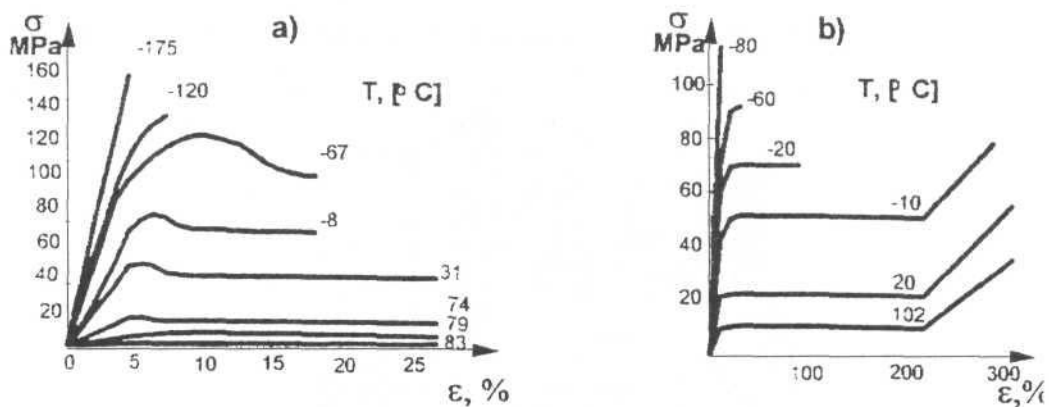
Rys. 5.12
Rozciąganie na zimno polimeru liniowego - makrocząsteczki są wydłużone i zorientowane; przy ok. 4-krotnym parametrze wydłużenia materiał staje się znacznie mocniejszy w kierunku wydłużenia niż był przed rozciąganiem



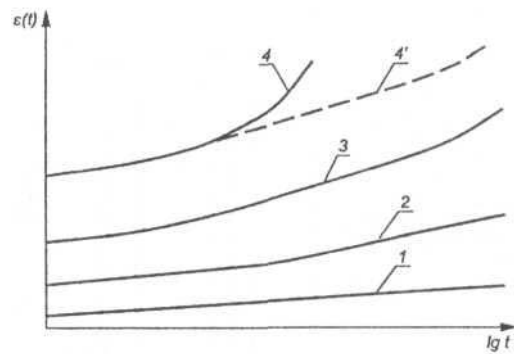
Rys. 5.13
 Typowa krzywa s - e dla stanu wysokoelastycznego przy obciążeniu i odciążeniu



Rys. 5.14
 Przykładowe krzywe s - e dla polimeru epoksydowego przy różnych prędkościach odkształcania:
 1-0,1 mm/min; 2 - 1 mm/min; 3 - 2 mm/min; 4- 5 mm/min; 5-20 mm/min.



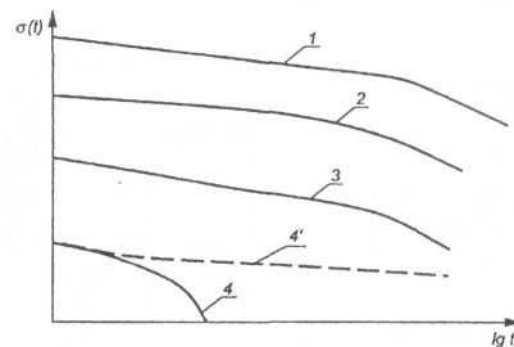
Rys. 5.15
 Wpływ temperatury na przebieg krzywych s - e a) dla winiduru (amorficznego twardego PCW); b) dla krystalicznego PA-6



Rys. 5.16

Schematyczne krzywe pełzania, przy różnych temperaturach polimerów amorficznych, liniowych lub rozgałęzionych:

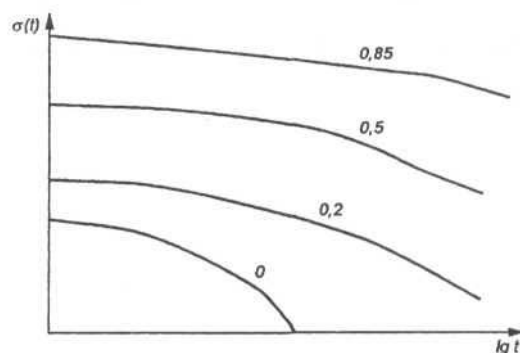
1 - $T < T_{kruch}$, 2 - $T_{kruch} < T < T_g$, 3 - $T \gg T_g$, 4 - $T_g < T < T_p$, 4' - polimery usieciowane.



Ryr. 5.17

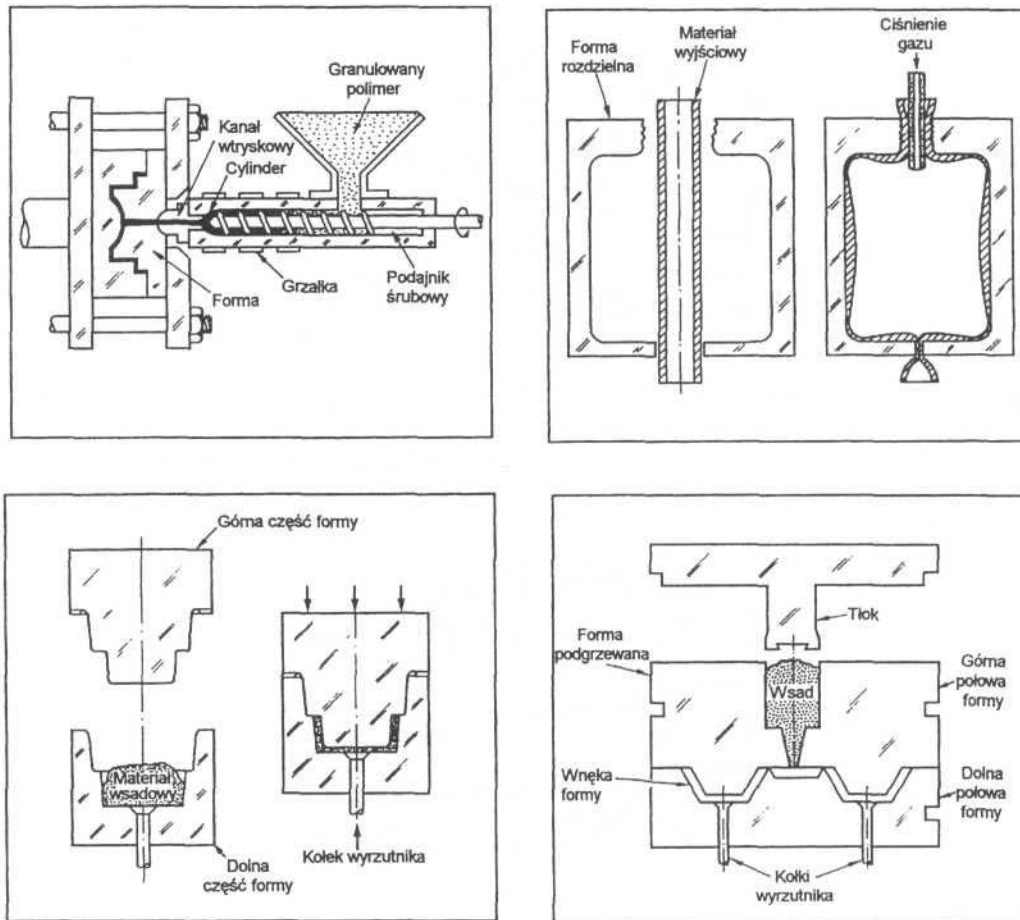
Schematyczne krzywe relaksacji naprężeń przy różnych temperaturach polimerów amorficznych, liniowych i rozgałęzionych:

- $T < T_{kruch}$, 2 - $T_{kruch} < T < T_g$, 3 - $T \gg T_g$, 4 - $T_g < T < T_p$, 4' - polimery usieciowane.



Rys. 5.18

Schematyczne krzywe relaksacji naprężeń polimerów krystalicznych przy $T_g < T < T_p$; liczby nad krzywymi informują o stopniu krystaliczności



Rys. 5.19

Metody stosowane do przetwarzania materiałów polimerowych

- Wtryskiwanie. Wsad polimerowy granulowany (lub w kawałkach) jest podgrzewany a następnie pobierany i wtlaczany do wnęk formy przez podajnik śrubowy.
- Formowanie cieczy o dużej lepkości. Rozgrzany wsad polimerowy lub szkło ściskany jest pomiędzy dwoma częściami matrycy.
- Wyciskanie do formy. Wsad polimerowy lub szkło znajdujące się w podgrzewanej formie jest wyciskany do wnęk formy przez tłok.

Temat 6:

**CHARAKTERYSTYKA GRUP TWORZYW CERAMICZNYCH, Z UWZGLĘDNIENIEM
M.IN. POZIOMU WSKAŹNIKÓW WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH, ODPORNOŚCI NA
KOROZJĘ, CENY.**

Wykład 2h

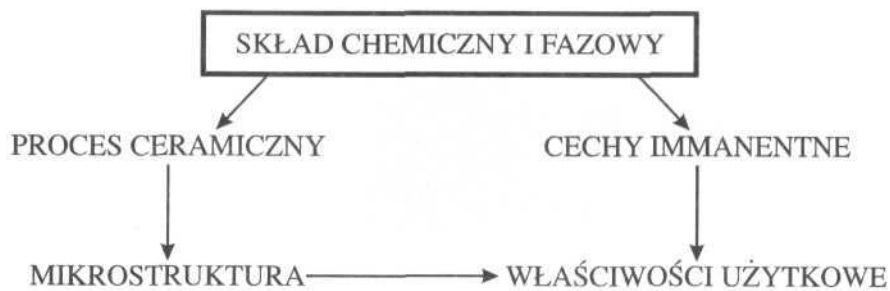
- 1) Wprowadzenie: definicja tworzyw ceramicznych, relacja pomiędzy naturą wiązania chemicznego (jonowego i jonowo-kowalencyjnego) a własnościami fizyko-chemicznymi tworzyw ceramicznych, relacja pomiędzy składem chemicznym (fazowym), mikrostrukturą i własnościami tworzyw ceramicznych.

- 2) Zjawiska wywołane przez ciepło i naprężenia mechaniczne: rozszerzalność cieplna, przewodnictwo cieplne (współczynnik rozszerzalności cieplnej, współczynnik przewodnictwa cieplnego), parametry pełzania dla typowych tworzyw ceramicznych.

- 3) Przykłady zastosowania ceramiki ze względu na jej właściwości użytkowe.

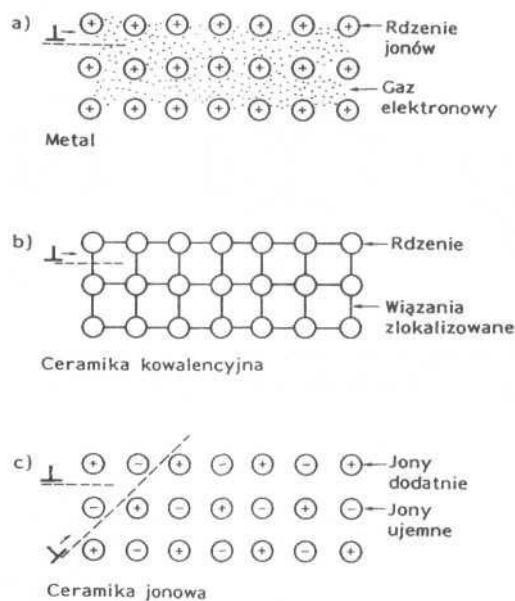
Zalecana literatura:

1. M.F. Ashby i D.R.H. Jones, Engineering Materials 2, Pergamon, Oxford, 1992, wydane w języku polskim przez Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1997.
2. R. Pampuch, Materiały ceramiczne - zarys nauki o materiałach nieorganiczno-niemetalicznych, PWN, Warszawa, 1988.
3. U.D. Kingery, Introduction to ceramics, J. Wiley and Sons, New York, 1975.
4. R.E. Loehman, Characterization of ceramics, Butterworth-Heinheim, Boston, 1993.
5. M.V. Swain, Materials Science and Technology, Structure and Properties of Ceramics, VCH Weinheim, 1994.



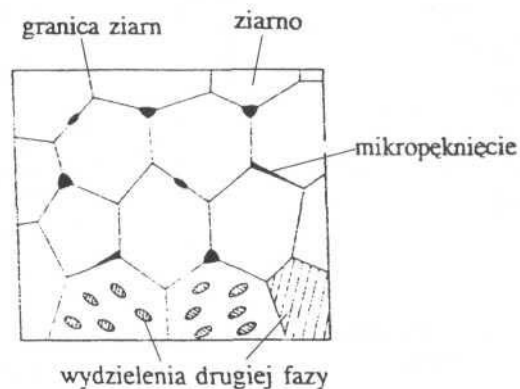
Rys. 6/1.

Zależność pomiędzy składem chemicznym i fazowym, mikrostrukturą a własnościami użytkowymi.

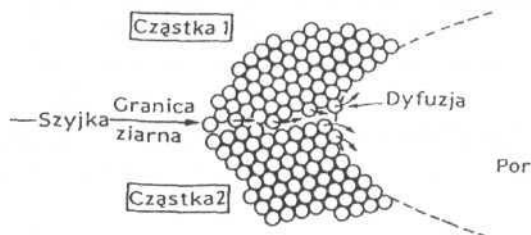


Rys. 6/2.

Przesunięcie dyslokacji: a) w czystych metalach, b) w ciałach stałych o wiązaniach kowalencyjnych
 c) w kryształach jonowych

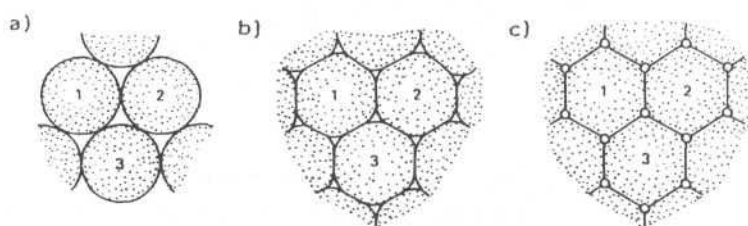


Rys. 6/3. Mikrostruktura typowego tworzywa ceramicznego.



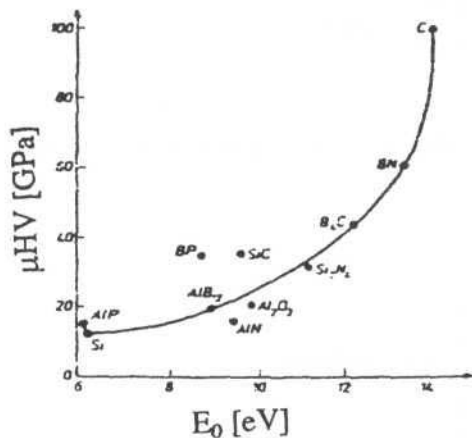
Rys. 6/4.

Mikroskopowy mechanizm spiekania. Atomy opuszczają granicę ziarn w szyjce pomiędzy dwiema cząstkami i dyfundują do pora, wypełniając go.



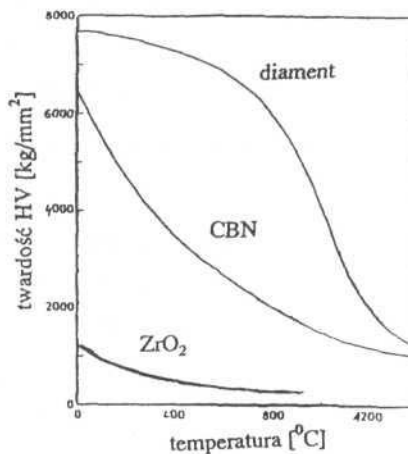
Rys. 6/5.

Cząstki proszku dociśnięte nawzajem (a) podczas spiekania, jak pokazano na rys. (b) zmniejszają pole powierzchni (i w tym energię) porów, struktura końcowa zawiera zazwyczaj małe, prawie kuliste pory (c).



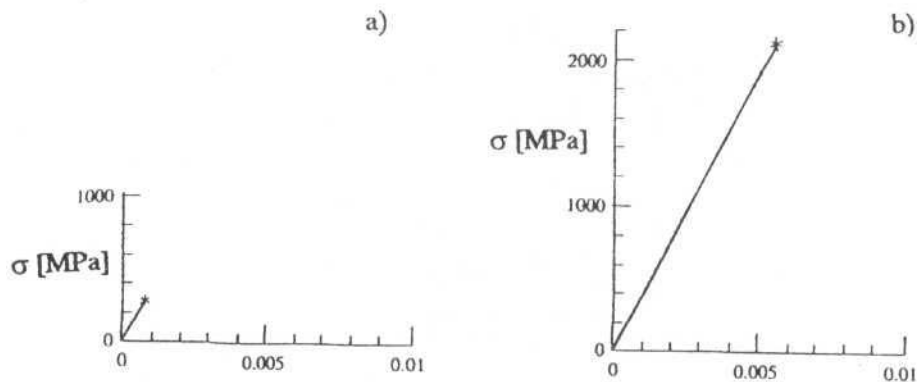
Rys. 6/6.

Zależność mikrotwardości różnych materiałów do energii wiązań między ich atomami.



Rys. 6/7.

Zależność twardości wybranych tworzyw ceramicznych od temperatury.

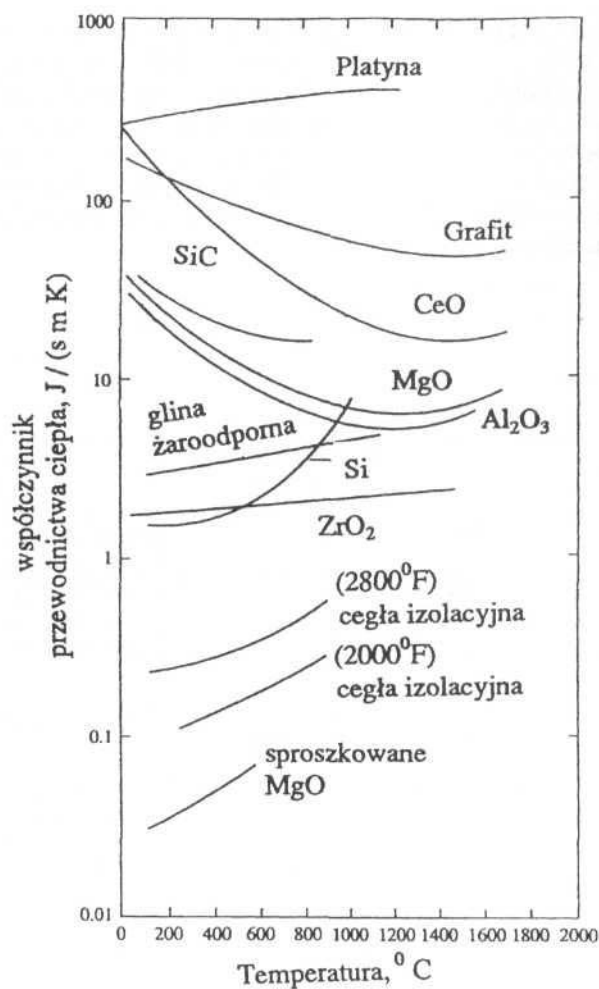


Rys. 6/8.

Krzywe naprężenie - odkształcenie dla materiałów ceramicznego (Al_2O_3):

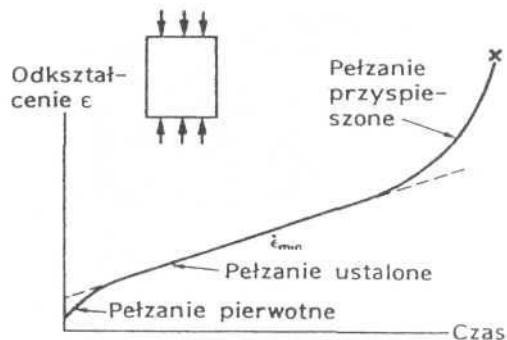
a) rozciąganie

b) ściskanie

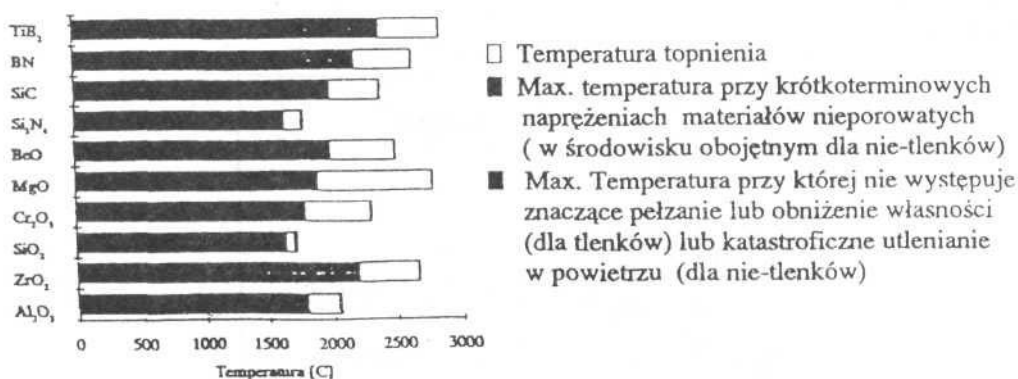


Rys. 6/9.

Zależność współczynnika przewodnictwa ciepła od temperatury dla wybranych ceramiek.



Rys. 6/10.
Krzywa pełzania dla ceramiki.



Rys. 6/11.
Temperatury stosowania tworzyw ceramicznych.

Właściwości komponentu I X-Y	Właściwości komponentu II Y-Z	Właściwości wynikowe kompozytu X-Y
Piezomagnetyczne	Magnetooporowe	Piezooporność, opór akustyczny
Piezomagnetyczne	Efekt Faradaya	Opór polaryzacji w wyniku mechanicznego odkształcenia

FUNKCJE MAGNETYCZNE 1. Głowice do zapisu magnetycznego, rdzenie pamięciowe, rdzenie pamięciowe, rdzenie antenowe 2. Magnesy trwałe 3. Urządzenia mikrofalowe np. radarowe	ferryty magnetycznie miękkie MFe ₂ O ₃ (M=Zn, Mn) ferryty magnetycznie twarde - MO ₆ Fe ₂ O ₃ (M=Ba, Sr, Pb) 3M ₂ O ₃ 5Fe ₂ O ₃ (M=Y, Sm)
FUNKCJE OPTYCZNE 1. Wysokociśnieniowe lampy sodowe, okienka do IR 2. Światłowodowy	Al ₂ O ₃ , MgO szkło Pb, Na-Ca-SiO ₃ , szkło SiC
FUNKCJE BIOLOGICZNE 1. Tolerowane przez żywy organizm implanty (staw biodrowy, zęby), płytki do łączenia kości,	kompozyty COC, włókna węglowe, Al ₂ O ₃ , szkło hydroksyapatytowe

MATERIAŁY INŻYNIERSKIE (WIADOMOŚCI PODSTAWOWE)
Wykład dla I roku Wydziałów mechanicznych Politechniki Warszawskiej

włókna do operacji okołostawowych, sztuczne zastawki serca.	
<p>FUNKCJE MECHANICZNE</p> <ol style="list-style-type: none"> Supertwarde narzędzia i wkładki do głębokiej obróbki skrawaniem z dużą szybkością oraz do obróbki ścierniej Odporne na ścieranie i na agresywne środowisko uszczelki mechaniczne, wykładziny, wodziki, łożyska, dysze. Elementy konstrukcyjne oraz wykładziny elementów samochodów, silników wysokoprężnych oraz lekkich turbin gazowych, denka tłoków, gładzie cylindrów, popychacze, turbosprężarki, komory wstępnego spalania, wymienniki ciepła. Dysze palników spawalniczych, tygle do wytapiania czystych metali. Włókna zbrojące kompozyty o osnowie metalicznej (Al, Ti), polimerowej i z dewitryfikatów szkieł $Li_2O-Al_2O_3-SiO_2$ do elementów konstrukcji kosmicznych, samochodowych i cienkościennych zbiorników. 	<p>C (diament), TiC, TiN+AlON+ Al_2O_3, BN</p> <p>SiC, Si_3N_4, $ZrO_2-(CaO, MgO, Y_2O_3)$ Al_2O_3, kompozyty Si-SiC $Si_{3-x}Al_xN_{4-x}$</p> <p>jak wyżej</p> <p>pirografit i grafit szklisty, Si_3N_4</p> <p>włókna: C, szklane, SiC, Al_2O_3 B₄C-SiC, wiskersy SiC</p>
<p>FUNKCJE JĄDROWE</p> <ol style="list-style-type: none"> Elementy paliwowe ze związków pierwiastków rozszczepialnych i paliworodnych Koszulki elementów paliwowych Materiały osłonowe 	<p>UO_2 ThO_2</p> <p>C (grafit), SiC, B₄C SiC, Al_2O_3, C(grafit), B₄C</p>
<p>FUNKCJE CIEPLNE</p> <ol style="list-style-type: none"> Warstwy działające jako bariery cieplne, osłony ablacyjne, elementy regeneracyjne wymienników ciepła, izolacje cieplne lekkich turbin gazowych Promienniki 	<p>ZrO_2, kompozyty C-C, włókna Al_2O_3</p> <p>ZrO_2, TiO_2</p>
<p>FUNKCJE ELEKTRYCZNE</p> <ol style="list-style-type: none"> Podłoża obwodów scalonych, obudowy, podłoża rezystorów itp. Kondensatory Przetworniki elektroakustyczne, filtry, generatory itp. Termistorowe czujniki temperatury, przełączniki, czujniki promieniowania IR Warystorowe absorbery prądów udarowych Oporowe grzejniki pieców elektrycznych Ogniwa słoneczne Magazynowanie i elektrochemiczne wytwarzanie energii elektrycznej Czujniki tlenu i ogniwa paliwowe Elementy przewodzące prąd elektryczny 	<p>izolacyjne MC-Al_2O_3, BeO, AlN</p> <p>ferroelektryczne MC-BaTiO₃ piezoelektryczne Mc-PbZr</p> <p>półprzewodnikowe Mc-BaTiO₃ ZnO-Bi₂O₃. tlenki z grup przejściowych jak w 4</p> <p>SiC CdS β i β'' – Al_2O_3, ZrO_2, CaO</p> <p>ZrO_2 -CaO, LiAlO₂ R Ba-CuO (R=Y, La)</p>

Rys. 6/12.

Funkcje spełniane przez materiały ceramiczne.

Temat 7:

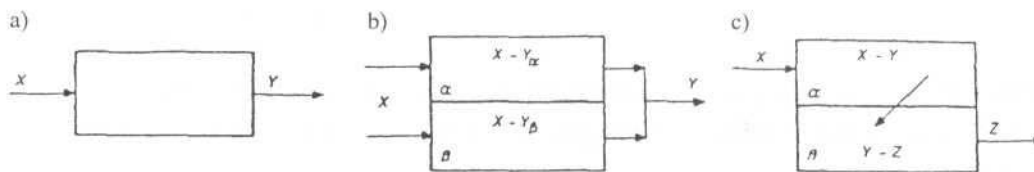
CHARAKTERYSTYKA KOMPOZYTÓW Z UWZGLĘDNIENIEM M.IN. POZIOMU WSKAŹNIKÓW WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH, CENY.

Wykład 3h

- 1) Wiadomości wstępne: definicje kompozytów, właściwości sumaryczne i wynikowe, kompozyty konstrukcyjne i funkcjonalne, podział kompozytów ze względu na: a) postać zbrojenia, b) rodzaj osnowy, włókna do zbrojenia kompozytów, włókna cięte, tkaniny i maty, inne niż włókna rodzaje zbrojenia (whiskery, cząstki), podstawy uzyskiwania dużej sztywności i wytrzymałości kompozytów konstrukcyjnych, rola osnowy i zbrojenia, proste przykłady obliczeń przy jednokierunkowym zbrojeniu włóknem ciągłym, włóknem ciętym (lub cząstkami), krytyczna długość włókna, laminaty.
- 2) Kompozyty o osnowie polimerowej (rodzaje żywicy i zbrojenia, podstawowe metody wytwarzania i zapewnienia przydatności użytkowej np. warstwy licowe).
- 3) Kompozyty o osnowie metalicznej i problemy związane z wytwarzaniem tych kompozytów: zwilżalność zbrojenia przez osnowę, problem degradacji zbrojenia w temperaturach łączenia lub eksploatacji, zbrojenie włóknami (cel, rodzaje włókna), zbrojenie cząstkami (kompozyty odlewnicze, kompozyty otrzymywane metodami metalurgii proszków lub mechanical alloying), natryskiwanie materiałów kompozytowych.
- 4) Kompozyty o osnowie ceramicznej: podstawowy cel ich wytwarzania (zwiększenie odporności na pękanie), ograniczenia w wyborze zbrojenia z uwagi na temperaturę łączenia, podstawowe metody wytwarzania, wybrane przykłady: Al_2O_3 umocnione ZrO_2 lub whiskerami SiC, szkło LAS umocnione SiC, kompozyty węgiel - węgiel (C-C).
- 5) Kompozyty funkcjonalne (tablica van Suchtelena, płytki polowe -jako przykład).
- 6) Znaczenia kompozytów dla współczesnej techniki.
- 7) Najważniejsze obszary stosowania kompozytów - wyliczenie: konstrukcje lotnicze (samoloty, śmigłowce, szybowce i in.), samochody, jednostki pływające (od łodzi sportowych do okrętów wojennych), instalacje chemiczne (w tym zbiorniki, rury, pompy), osprzęt elektryczny i elektroniczny, sprzęt domowy i sportowy, medycyna (implanty).
- 8) Problemy związane ze stosowaniem kompozytów.
- 9) Przykłady doboru materiałów wg M.F. Ashby'ego (na podstawie „map”) - o ile czas pozwoli.

Zalecana literatura:

1. M.F. Ashby i D.R.H. Jones, Engineering Materials 1, Pergamon, Oxford, 1993, wydane w języku polskim przez Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1996.
2. M.F. Ashby i D.R.H. Jones, Engineering Materials 2, Pergamon, Oxford 1992, wydane w języku polskim przez Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1997.
3. M.F. Ashby, Material Selections in Mechanical Design, Pergamon, Oxford, 1992, wydane w języku polskim przez Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1997.
4. J. Kapuściński, J. Puciłowski, S. Wojciechowski, Kompozyty, Of. Wyd. PW, 1993.
5. F.L. Matthews i R.D. Rawlings, Composite Materials: Engineering and Science, Chapman and Hall, Londyn 1994.



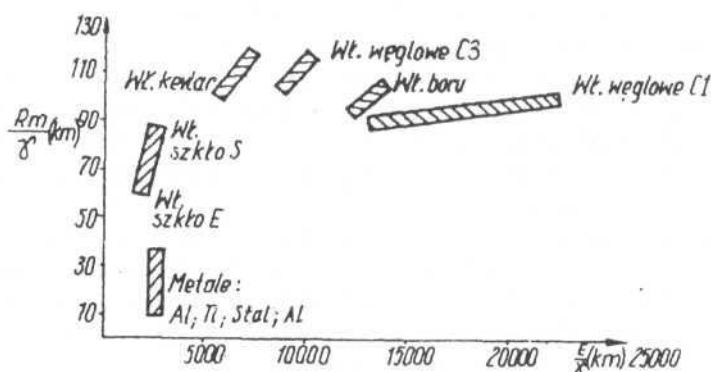
Rys.7.1.

- a) Efekt X - Y w materiale jednorodnym, b) Efekt X - Y w kompozycie o właściwościach sumarycznych,
c) Efekt X - Z w kompozycie o właściwościach wynikowych.

Właściwości komponentu I X-Y	Właściwości komponentu II Y-Z	Właściwości wynikowe kompozytu X-Y
Piezomagnetyczne	Magnetooporowe	Piezooporność, opór akustyczny
Piezomagnetyczne	Efekt Faradaya	Opór polaryzacji w wyniku mechanicznego odkształcenia
Piezoelektryczne	Elektroluminiscencja	Piezoluminiscencja

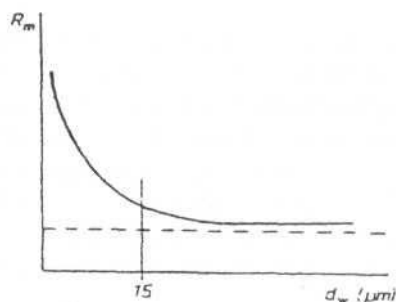
Rys.7.2.

Prognozowane właściwości wynikowe kompozytów.



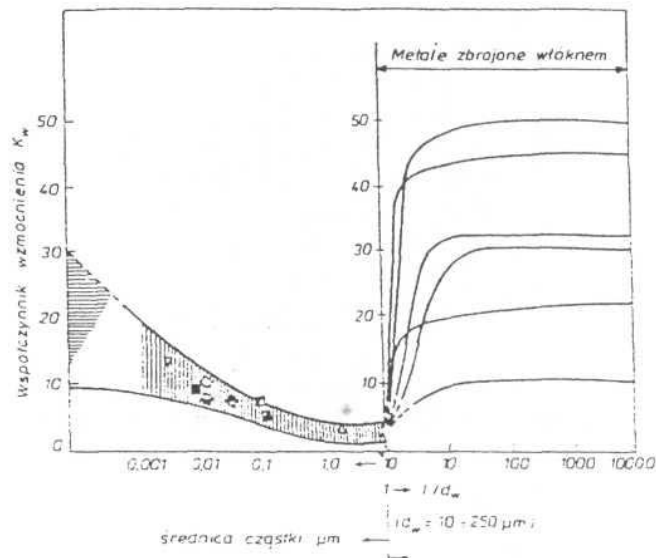
Rys.7.3.

Wytrzymałość właściwa i sztywność właściwa kompozytów polimerowych zbrojonych różnymi rodzajami włókna (wypełnienie 60% obj.).



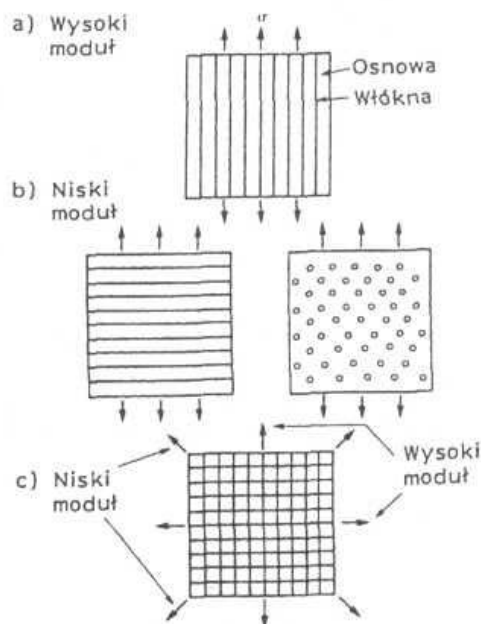
Rys.7.4.

Schemat wpływu średnicy włókna d na wytrzymałość na rozciąganie R .



Rys.7.5.

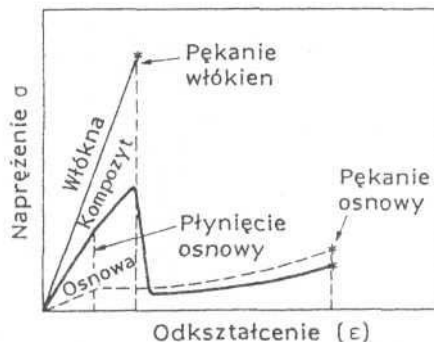
Wpływ średnicy cząstek komponentu umacniającego oraz względnej długości włókna na współczynnik wzmocnienia.



Rys.7.6.

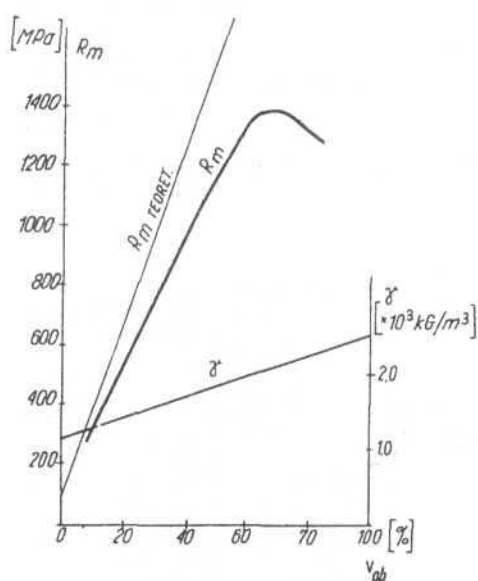
Rozciąganie kompozytu włóknistego:

- wzdłuż kierunku ułożenia włókien - włókna i osnowa kompozytu z włóknami ciągłymi ulegają jednakowym odkształceniom,
- w poprzek kierunku ułożenia włókien - włókna i osnowa przenoszą w przybliżeniu jednakowe naprężenia;
- laminat 0-90° ma kierunek o małym module i kierunek o dużym module, laminat 0-45-90-135° jest prawie izotropowy.



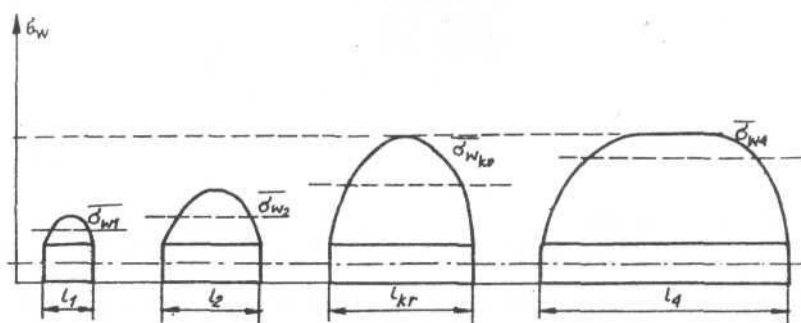
Rys.7.7.

Krzywa naprężenie-odkształcenie dla kompozytu o włóknach ciągłych (linia gruba), w porównaniu do krzywych dla włókien i osnowy (linie cienkie). Maksimum na krzywej oznacza pękanie włókien.



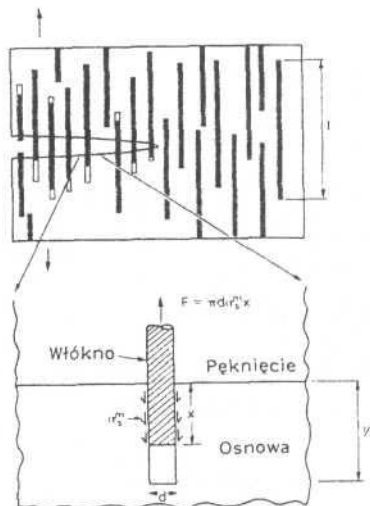
Rys. 7.8

Wpływ zawartości włókien w kompozycie polimerowym na jego wytrzymałość i lekkość.



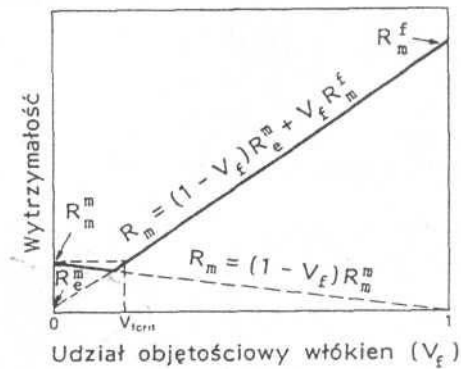
Rys.7.9.

Wpływ długości włókna na wartość działającego w nim średniego naprężenia normalnego.



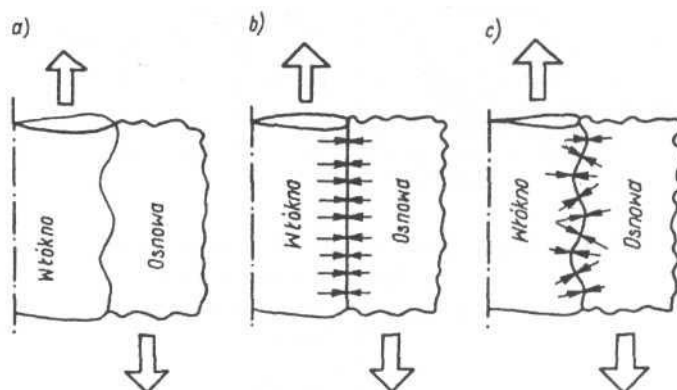
Rys.7.10.

Wzmocnienie wskutek wysuwania się włókien nad powierzchnią przełomu, czemu towarzyszy pochłanianie energii po rozpoczęciu pęknięcia.



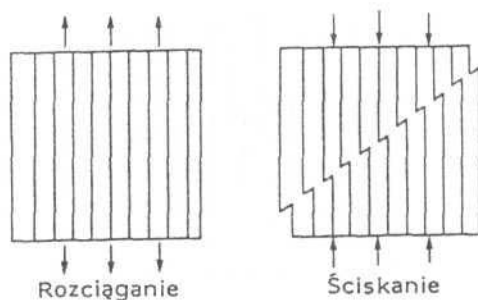
Rys.7.11.

Zmiana wartości szczytowej naprężenia wraz ze zmianą udziału objętościowego włókien. Aby zaszło umocnienie jest konieczny pewien minimalny udział objętościowy włókien ($V_{f,cr}$).



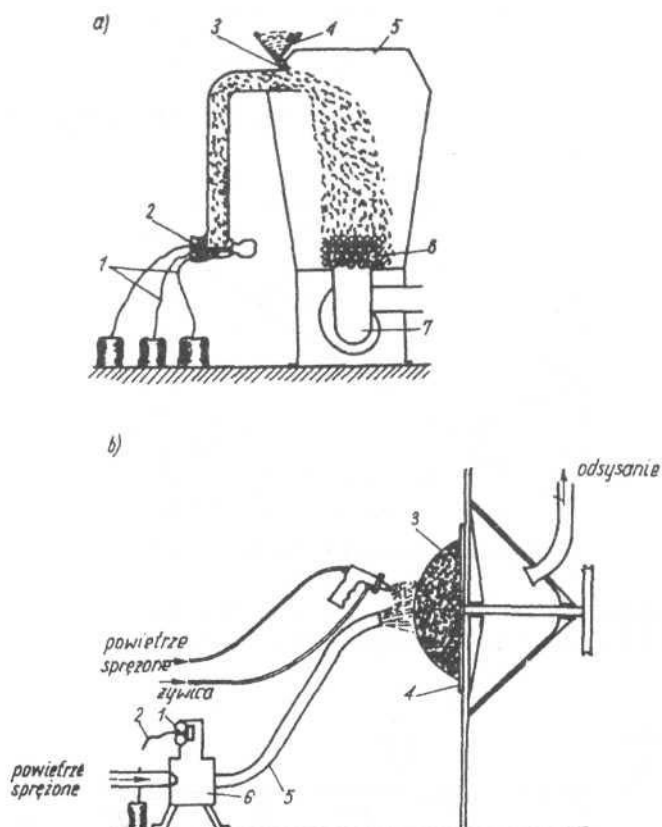
Rys.7.12.

Schemat oddziaływań sił przyczepności pomiędzy włóknem i osnową.



Rys.7.13.

Zniszczenie kompozytów podczas ściskania wskutek wyoboczenia się (złamania się) przy obciążeniu mniejszym niż obciążenie powodujące zniszczenie podczas rozciągania.



Rys.7.14.

Zmechanizowane sposoby wytwarzania wyrobów z kompozytów zbrojnych włóknem ciętym:

- | | |
|-------------------------|----------------------------|
| a) 1- roving z nawojów; | b) 1 - sieczkarka rovingu; |
| 2- sieczkarka rovingu; | 2 - roving z nawoju; |
| 3- dozownik żywicy; | 3 - foremnik; |
| 4- żywica; | 4 - stół obrotowy; |
| 5- komora; | 5 - przewód giętki; |
| 6- foremnik; | 6 - komora mieszania. |
| 7- wentylator ssący; | |

Kryteria oceny							
Powtarzalność stopnia nasycenia	Czystość osnowy	Niezawodność działania	WydaJność procesu	Powtarzalność stopnia nasycenia	Czystość osnowy	Niezawodność działania	WydaJność procesu
+	+	+++	+	+++	+	++	++
+	+	++	++	+++	++	+++	+++
++	+	++	++	+++	+++	+	+
				+++	+++	+++	+++

Oceny:
+ słaba
++ zadowalająca
+++ wysoka

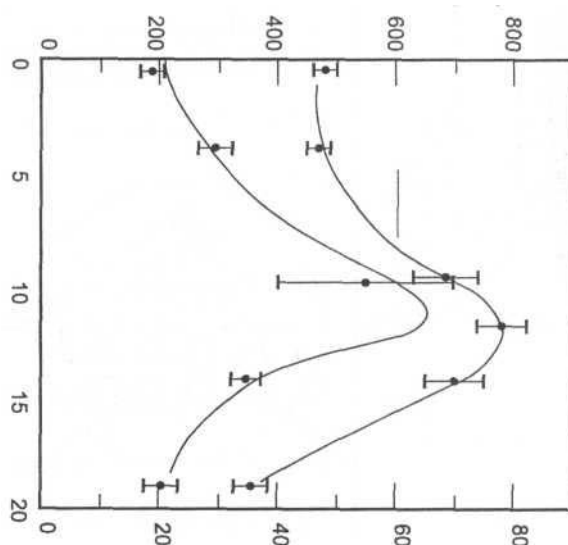
Rys.7.15.
Porównanie sposobów sycenia rovingu.

Osnowa	Rodzaj włókna	Osiągane wartości		Najwyższa temp.pracy
		R_m [MPa]		
aluminium i jego stopy	boru	1480	220 000	350
	SiC(CVD)	1720	210 000	350
	Al ₂ O ₃	580	260 000	350
	węglowe	450	130 000	350
magnez i jego stopy	boru	1300	190 000	300
	węglowe	560	110 000	300
	Al ₂ O ₃	510	200 000	300
tytan i jego stopy	Borsic	760	200 000	650
	SiC(CVD)	860	190 000	650
stopy żelaza lub niklu	SiC	1650	310 000	800
	W	1790	300 000	1150

Rys.7.16.

Typowe kompozyty o osnowie metalicznej (orientacyjne właściwości).

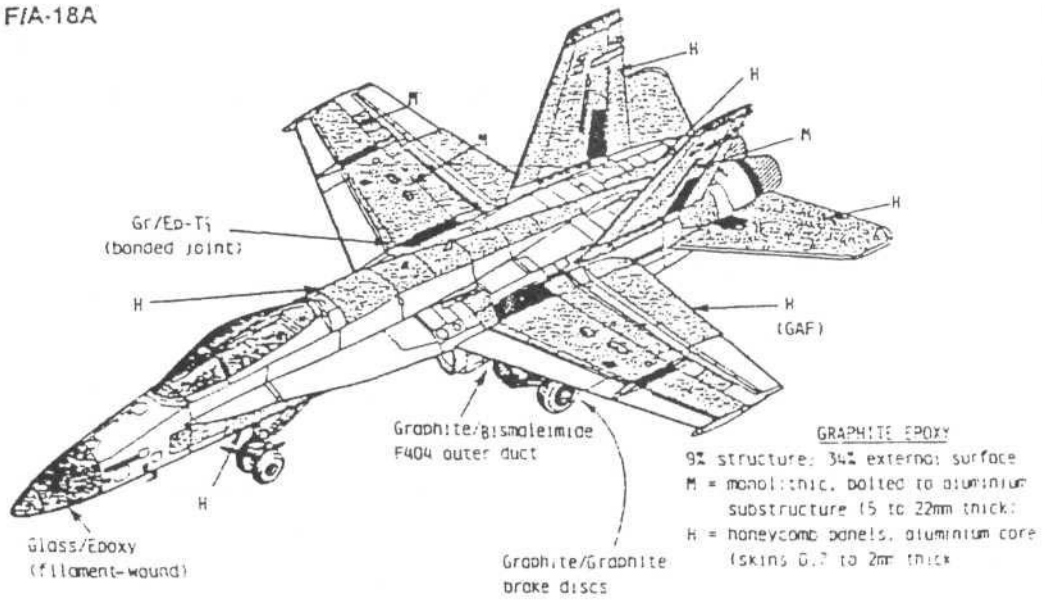
Uwagi: - wypełnienie włóknami niejednakowe dla poszczególnych kompozytów (od 35 do 60%); - własności wytrzymałościowe w kierunku włókien przy ich jednokierunkowym ułożeniu (w temp. otoczenia).



Rys.7.17.

Wytrzymałość i wiązkość Al₂O₃ wzmocnionego ZrO₂.

F/A-18A



Rys.7.18.

Materiały kompozytowe zastosowane w konstrukcji samolotu wojkowego F18.

Temat 8:

TYPOWE ZASTOSOWANIA GRUP MATERIAŁÓW.

Wykład 2h

TYPOWE ZASTOSOWANIA TWORZYW METALICZNYCH.

1) Własności predysponujące do zastosowania tworzyw metalicznych (sztywność, ciągliwość, odporność na pękanie, wysoka temperatura ropnienia, odporność na szoki cieplne).

2) Własności ograniczające zastosowanie (niska twardość i wytrzymałość metali (konieczność stosowania dodatków stopowych), mała odporność korozyjna (konieczność zabezpieczenia powierzchni lub stosowania dodatków stopowych), mała odporność zmęczeniowa (konieczność doboru struktury i obróbki powierzchni).

Przykłady wg wyboru wykładowcy zgodnie z profilem wydziału (kierunku studiów).

Zalecana literatura: jak w temacie 4.

TYPOWE ZASTOSOWANIA POLIMERÓW.

1) Zastosowania na konstrukcje silnie obciążone i konstrukcje mniej odpowiedzialne powszechnego użytku. Eliminacja materiałów o dużej gęstości i korodujących w warunkach użytkowania; przykłady zastosowań w kosmonautyce, lotnictwie, przemyśle samochodowym, komputerowym, elektrycznym i elektronicznym, maszyn spożywczych, na części maszyn o wyjątkowej odporności na ścieranie, na wyroby elastyczne w warunkach kriogenicznych.

2) Zastosowania funkcjonalne: włókno syntetyczne, kleje, kity, szpachlówki, powłoki elektroizolacyjne, antykorozyjne i inne powłoki lakiernicze.

Zalecana literatura: jak w temacie 5.

TYPOWE ZASTOSOWANIA KOMPOZYTÓW.

1) Zastosowanie kompozytów konstrukcyjnych - w konstrukcjach lotniczych, samochodach, na zbiorniki płynów.

2) Zastosowanie kompozytów funkcjonalnych - sensory, elementy automatyki (na podstawie zestawu przezroczy).

Zalecana literatura: jak w temacie 7.

Temat 9:

SPOSÓB (METODYKA) POSTĘPOWANIA PRZY DOBORZE MATERIAŁÓW.

Wykład 4h

- 1) Zasadnicze przesłanki decyzji wyboru materiału (a) relacja: konstrukcja-materiał – techniki łączenia elementów konstrukcji, b) relacja: konstrukcja- materiał- techniki przetwarzania materiału, c) relacja: konstrukcja-materiał-cena i dostępność materiału-skala wyrobu i skala produkcji, d) relacja: konstrukcja- materiał- środowisko).

- 2) Kryteria doboru materiałów (a) wybór motywowany własnościami mechanicznymi materiału masywnego: naprężenia styczne, sprężystość, plastyczność, udurowienie, kruchość, odporność na zmęczenie, praca w niskich i wysokich temperaturach, b) wybór motywowany stanem powierzchni: korozja atmosferyczna, korozja w wodzie i w wodzie morskiej, korozja w podwyższonych temperaturach, korozja w warunkach przemysłu chemicznego, zużycie przez tarcie, metody inżynierii powierzchni umożliwiające zwiększenie odporności detali części maszyn na zużycie powierzchniowe w kontakcie z otoczeniem.

1. F. Crane, J. Charles, Selection und use of engineering materials, Butterworth Ltd. 1984.
2. M. Ashby, Materials Selection in Mechanical Design, Pergamon Press 1992.
3. S. Mrowec, T. Werber, Nowoczesne materiały żaroodporne, WNT, Warszawa 1982.

Zalecana literatura dla studentów:

1. Skarbiński, J. Skarbiński, Technologiczność konstrukcji maszyn, WNT, Warszawa 1982.
2. Dobrzański, E. Hajduczek, J. Marciniak, R. Nowosielski, Metaloznawstwo i obróbka cieplna materiałów narzędziowych, WNT, Warszawa, 1990.
3. Z. Jaśkiewicz, Poradnik inżyniera samochodowego, WkiŁ, Warszawa 1990.
4. Dobrosz, A. Matysiak, Tworzywa sztuczne-właściwości i zastosowanie, WSiP, Warszawa 1990.
5. Burakowski, E. Roliński, T. Wierzchoń, Inżynieria powierzchni metali, WPN, Warszawa, 1992.