

Temat 4:

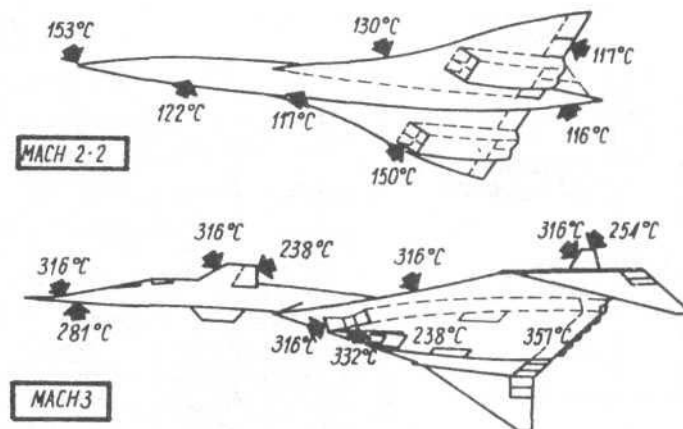
**CHARAKTERYSTYKA GRUP TWORZYW METALICZNYCH Z
UWZGLĘDNIENIEM M.IN. POZIOMU WSKAŹNIKÓW
WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH, ODPORNOŚCI NA KOROZJĘ, CENY.**

Wykład 6h

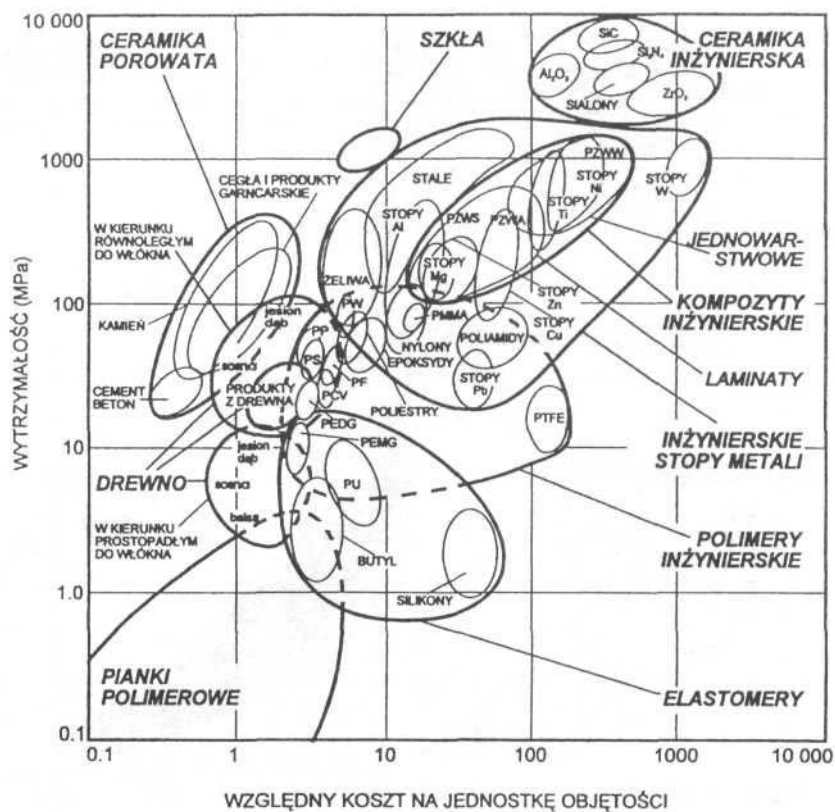
- 1) Klasyfikacja tworzyw metalicznych z przykładami typowych zastosowań, właściwości i ceny (w postaci tabeli prezentującej typowe właściwości, zastosowania i przykładowe ceny grup stopów Fe, Cu, Al, Ni, Ti przedstawionych poniżej):
 - 1.1 Stopy żelaza (stale niskowęglowe, stale średniowęglowe, stale 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:

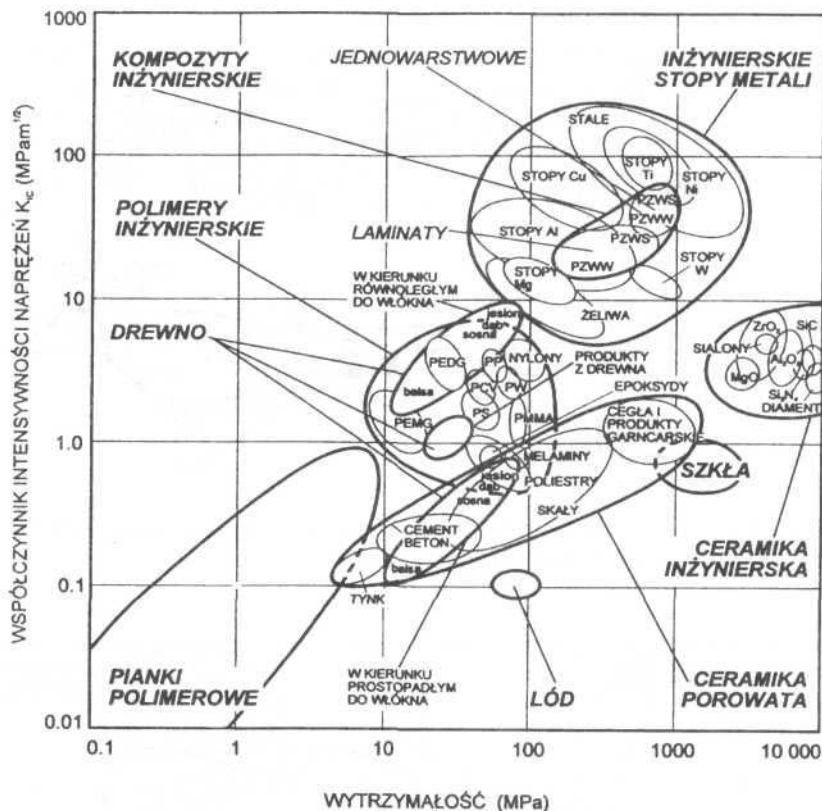
1. M.F. Ashby i D.R.H. Jone, Engineering Materials 2, Pergamon, Oxford, 1992, wydana w języku polskim przez Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1997.
2. M. Tokarski, Metaloznawstwo metali i stopów nieżelaznych w zarysie, Wyd. Śląsk 1985.
3. A. Ciszewski, T. Radomski, A. Szumer, Metalowe tworzywa 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.



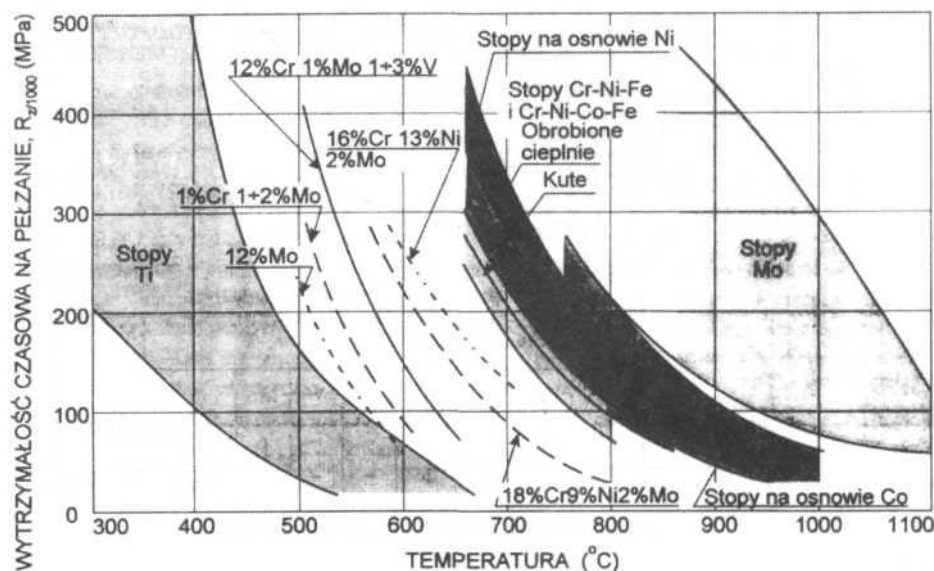
Rys. 4.1
Rozkład temperatur na płacie samolotu łacie samolotu „Concorde” przy prędkościach 2,2 Ma i samolotu wojskowego przy 3,0 Ma



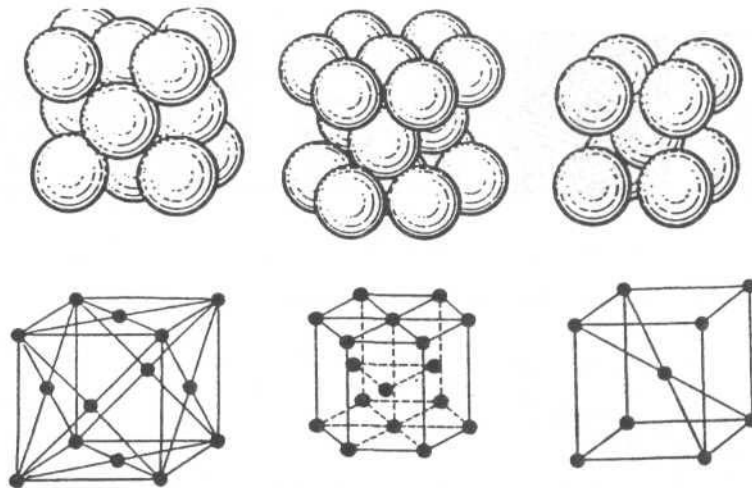
Rys. 4.2
Wytrzymałość i względny koszt na jednostkę objętości różnych materiałów



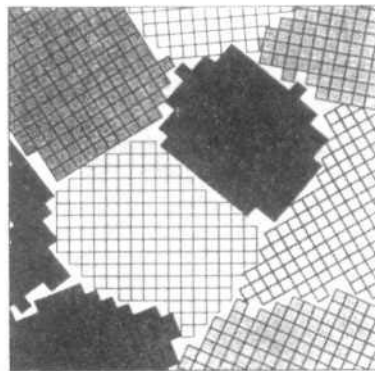
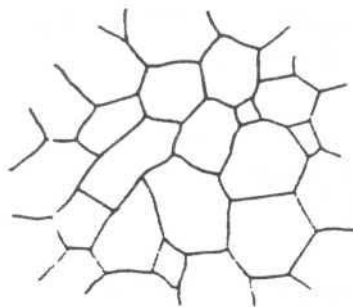
Rys. 4.3
Współczynnik intensywności naprężeń i wytrzymałość różnych materiałów



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

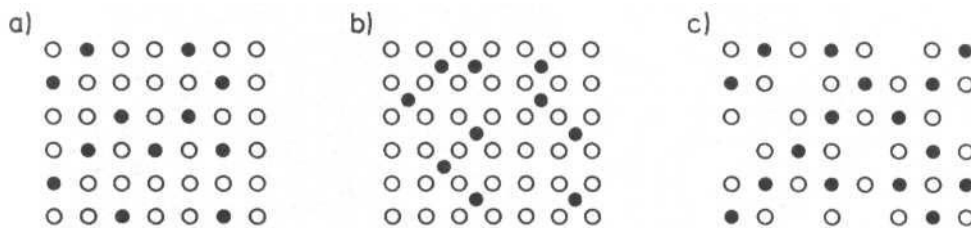


Rys. 4.5
 Komórki elementarne podstawowych sieci w jakich krystalizują metale

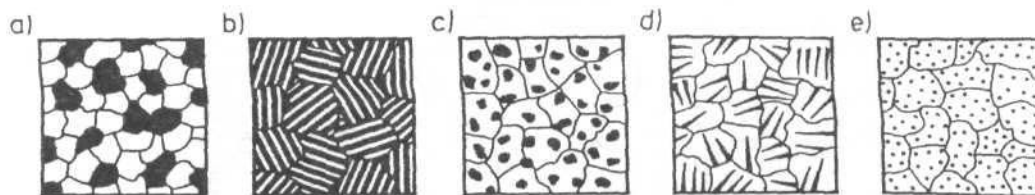


Rys. 4.6
 Układ ziarn w metalu

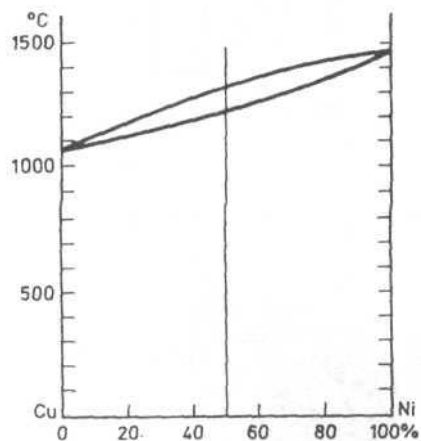
Rys. 4.7
 Schemat struktury polikrystalicznej metali



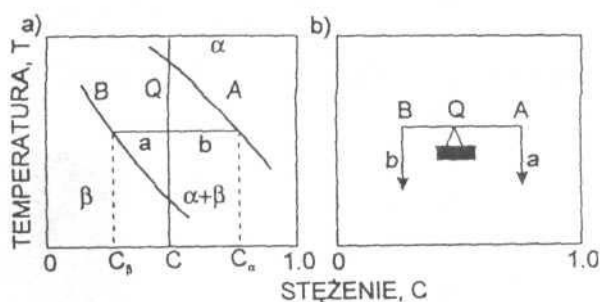
Rys. 4.8
 Sieć przestrzenna roztworu stałego (model płaski):
 a) różnowęzłowego,
 b) międzywęzłowego,
 c) pustowęzłowego



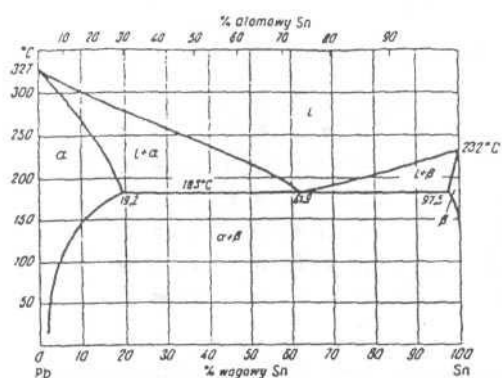
Rys. 4.9
Typy mikrostruktur: a) ziarnista, b) płytkowa, c) kulkowa, d) iglasta, e) dyspersyjna



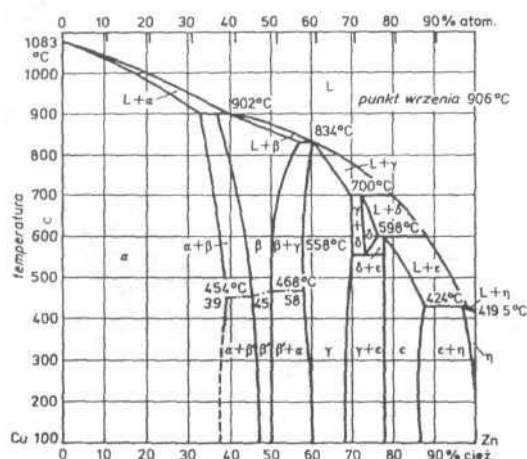
Rys. 4.10 Układ Cu-Ni



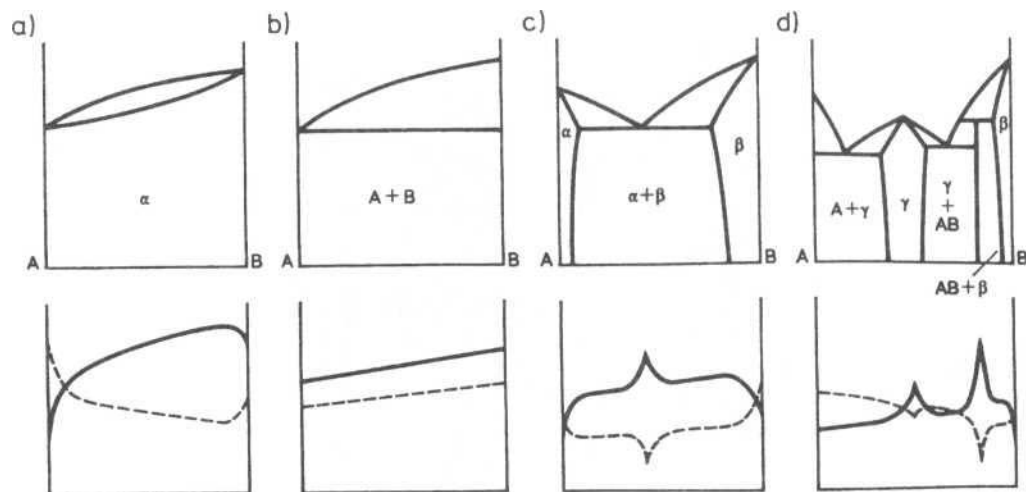
Rys. 4.11
Schematyczne przedstawienie reguły dźwigni a) wykres równowagi, b) reguła dźwigni



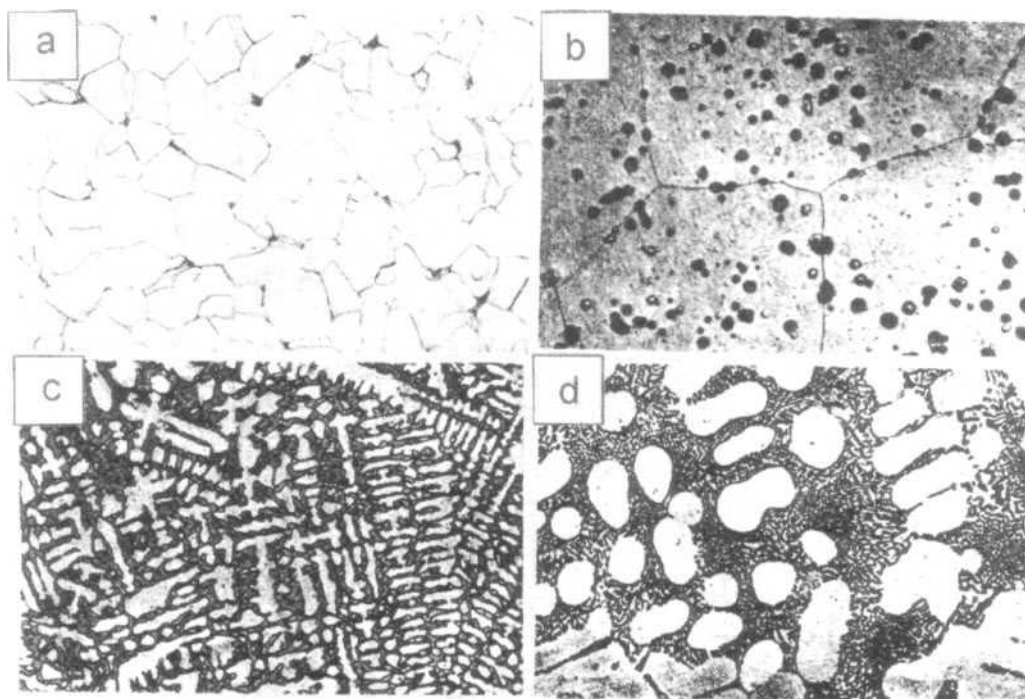
Rys. 4.12
Układ równowagi fazowej ołów-cyna



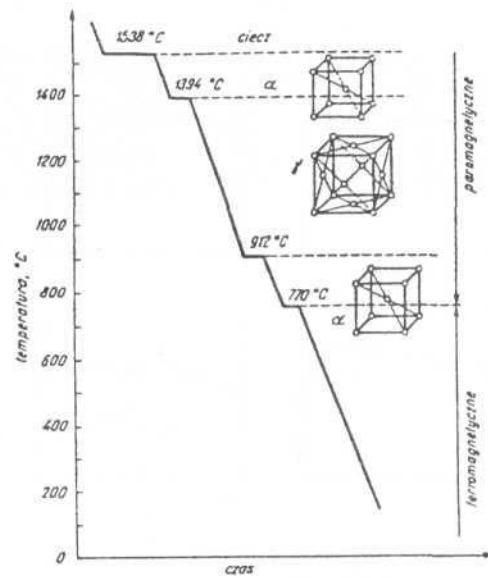
Rys. 4.13 Układ Cu-Zn



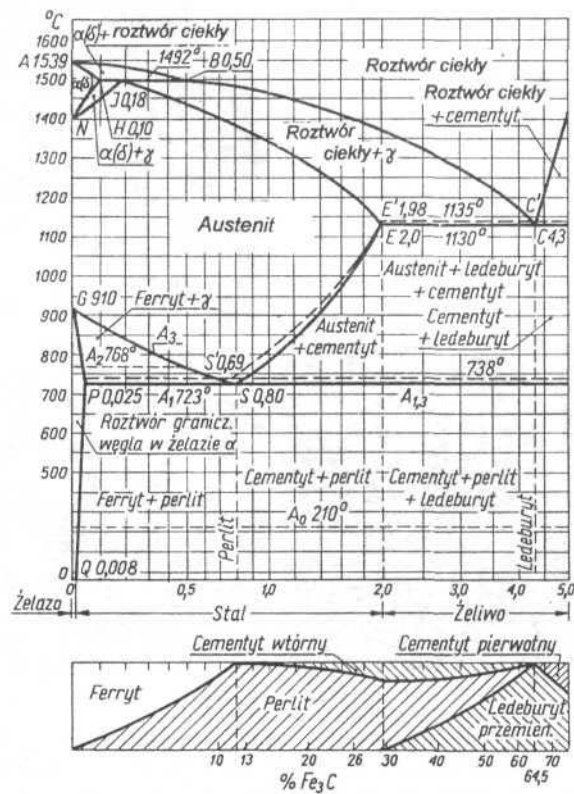
Rys. 4.14
 Zależność twardości HB (linie ciągłe) i przewodności elektrycznej G (linie przerywane) od typu układu równowagi (schemat): a) roztwór stały, b) mieszanina składników, c) mieszanina roztworów stałych z eutektyka, d) układ z fazami międzymetalicznymi



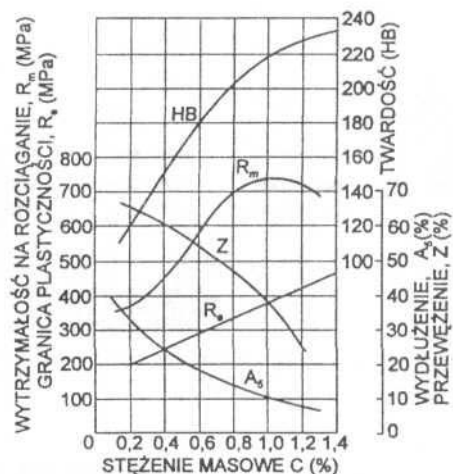
Rys. 4.15
 Typowe mikrostruktury stopów metali: a) struktura jednofazowa (terryt, pow. 100x), b) wydzielenia ołowiu z mosiądzu manganowo-ołowiowo-żelazowym MM47 (pow. 500x), c) struktura dendrytyczna mosiądzu MKO80 (pow. 100x), d) faza a na tle mieszaniny eutektycznej 2+Si (silumin, pow. 100x).



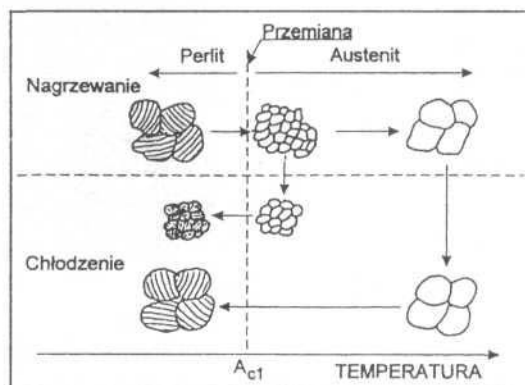
Rys. 4.16
Krzywe chłodzenia czystego żelaza



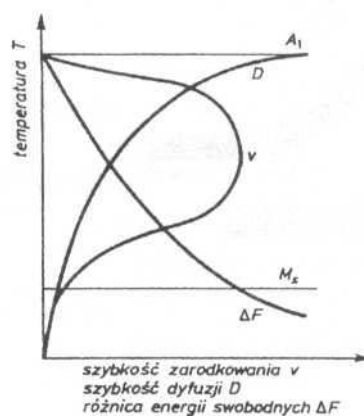
Rys. 4.17
Układ żelazo-węgiel [13]



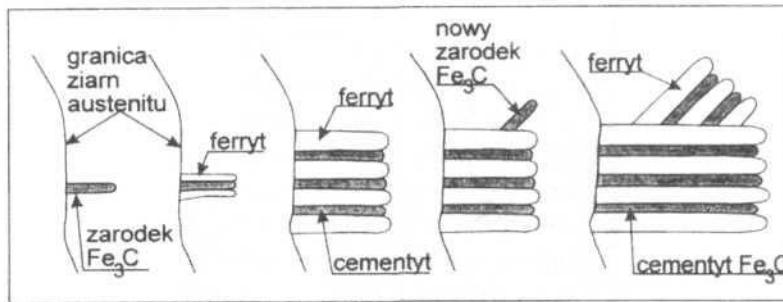
Rys. 4.18
Wpływ węgla na własności mechaniczne stali węglowych



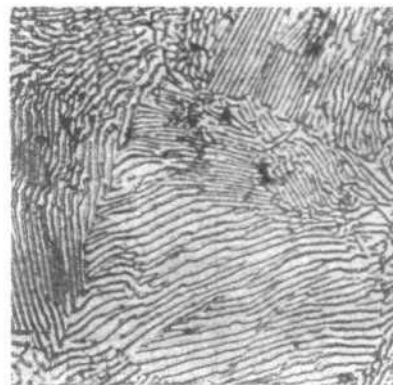
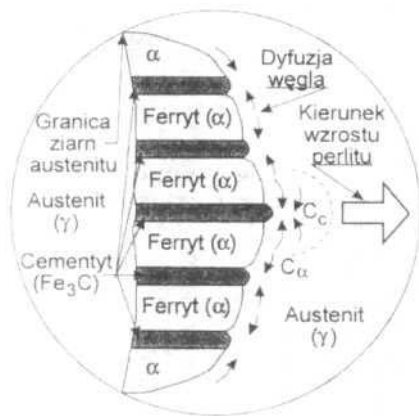
Rys. 4.19
Schemat zmian wielkości ziarna stali w wyniku nagrzewania do temperatury wyższej od A_{c1} i następnego chłodzenia



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

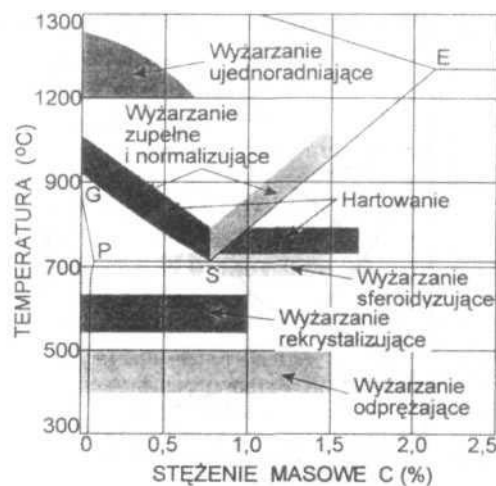


Rys. 4.21
Schemat przebiegu przemiany perlitycznej tworzenie się płytek cementytu i ferrytu z przechłodzonego austenitu,

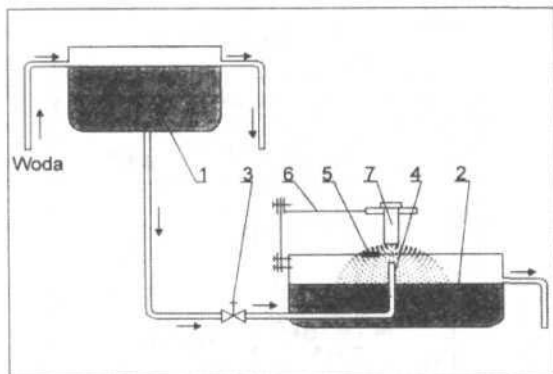


Rys. 4.22
Schemat wzrostu czołowego płytek perlitu (według R.F. Mehla i W.C. Hagela)

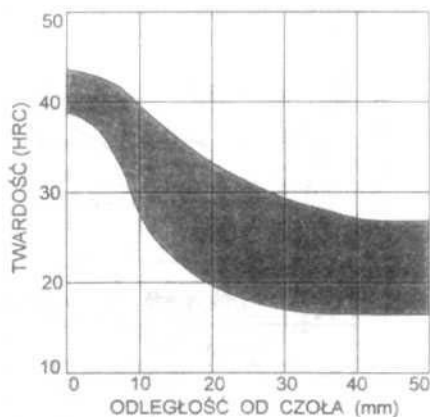
Rys. 4.23
Fotomikrografia perlitu płytkowego; '500



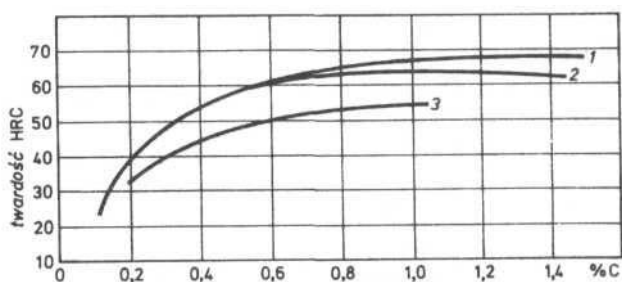
Rys. 4.24
Fragment wykresu Fe – Fe₃C z zaznaczonymi zakresami temperatury wyżarzania i hartowania stali węglowych



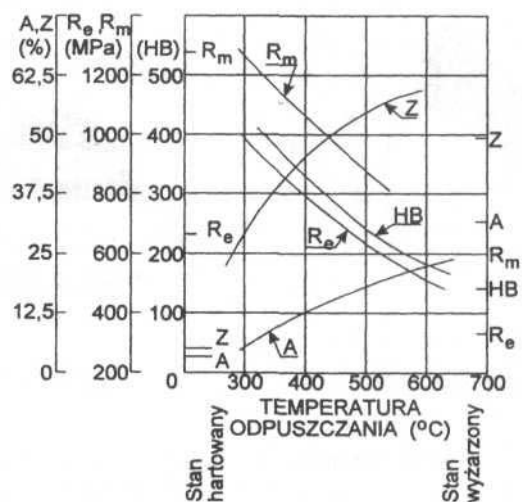
Rys. 4.25
Schemat stanowiska do prób hartowności metodą chłodzenia od czoła; 1 - zbiornik z wodą, 2 - wanna, 3 - zawór, 4 - dysza wodna, 5 - przesłona, 6 - uchwyt próbki, 7 - próbka



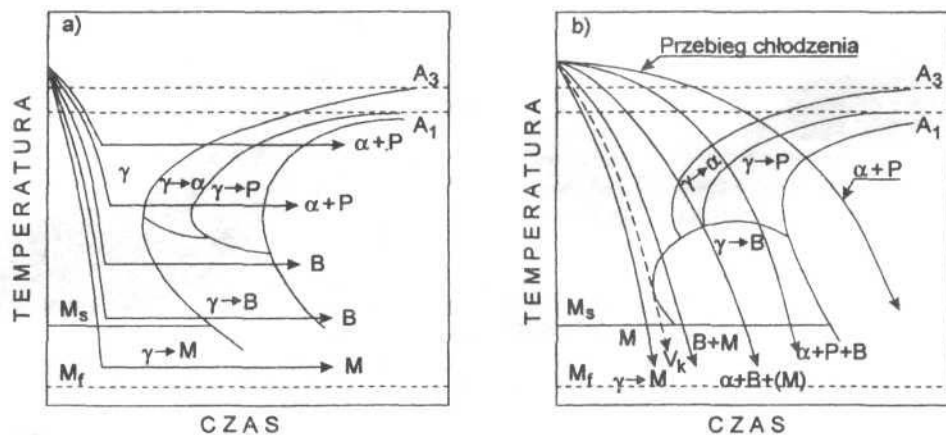
Rys. 4.26
Pasma hartowności stali 35SG



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

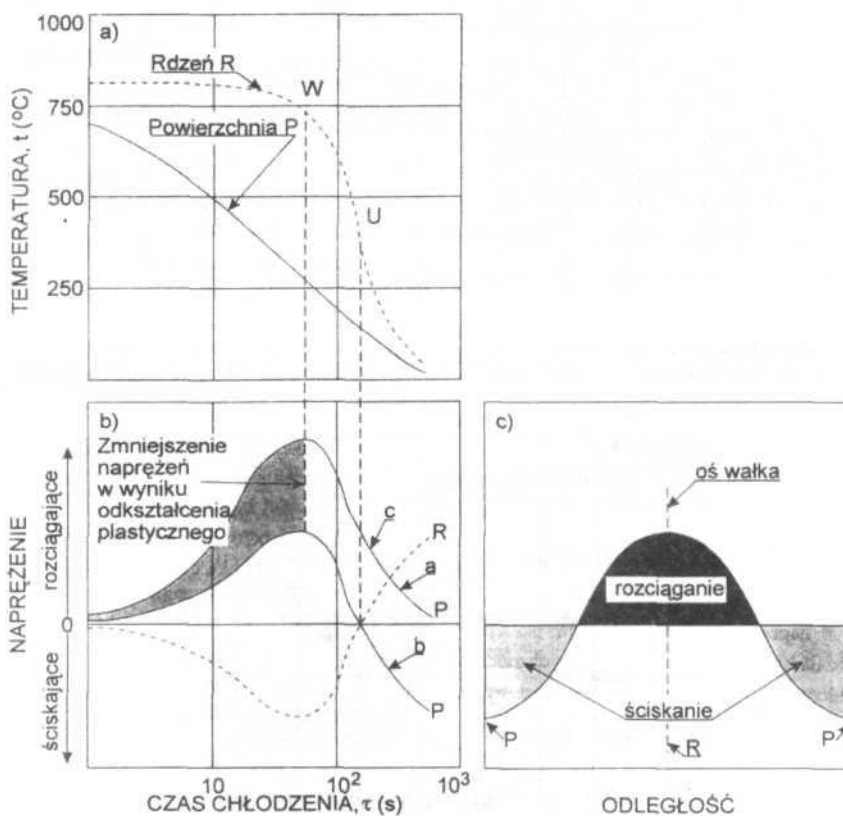


Rys. 4.28
Wpływ temperatury odpuszczania na własności mechaniczne zahartowanej stali zawierającej 0,4% C



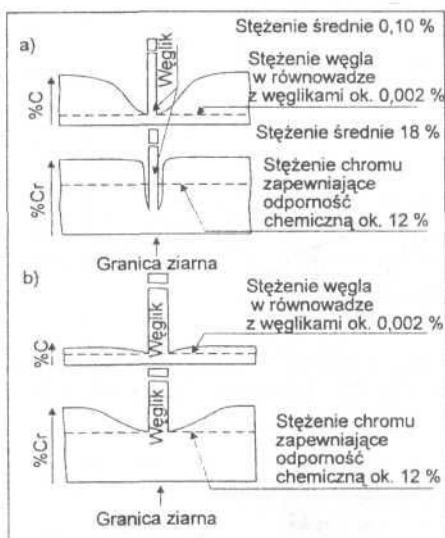
Rys. 4.29

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

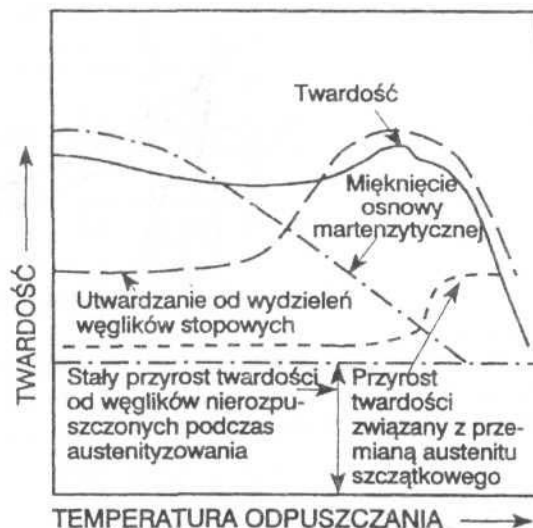


Rys. 4.30

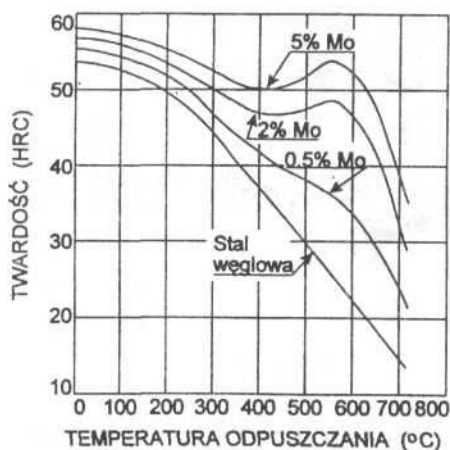
Schemat powstawania naprężeń ciepłych (bez strukturalnych) podczas chłodzenia w wodzie wałka stalowego o średnicy 100 mm (według A. Rosse) a) zmiany temperatury, b) zmiany naprężeń, c) rozkład naprężeń na przekroju poprzecznym wałka po ochłodzeniu, W - temperatura odpowiadająca maksymalnym naprężeniom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



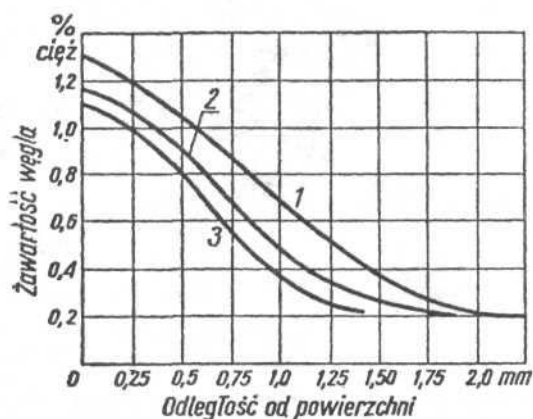
Rys. 4.31
Schemat wpływu wydzielenia węglików typu M C na zmiany stężenia węgla i chromu w pobliżu granicy ziarn w stalach wysokochromowych a) uwrażliwionych na korozję międzykryształiczną, b) odpornych na ten rodzaj korozji w wyniku przedłużenia czasu i podwyższenia temperatury wygrzewania (według E.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



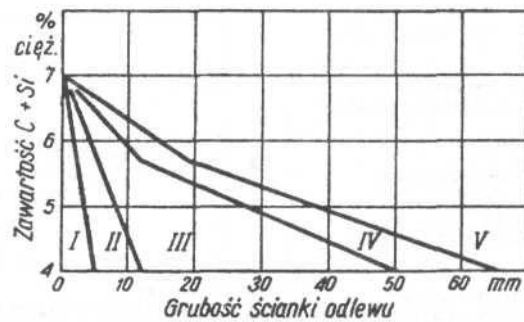
Rys. 4.32
Schemat wpływu przemian fazowych podczas odpuszczania na twardość stali szybkołączących (według G. Stevensa, A.E. Nehrenberga i T.H. Philipsa)



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

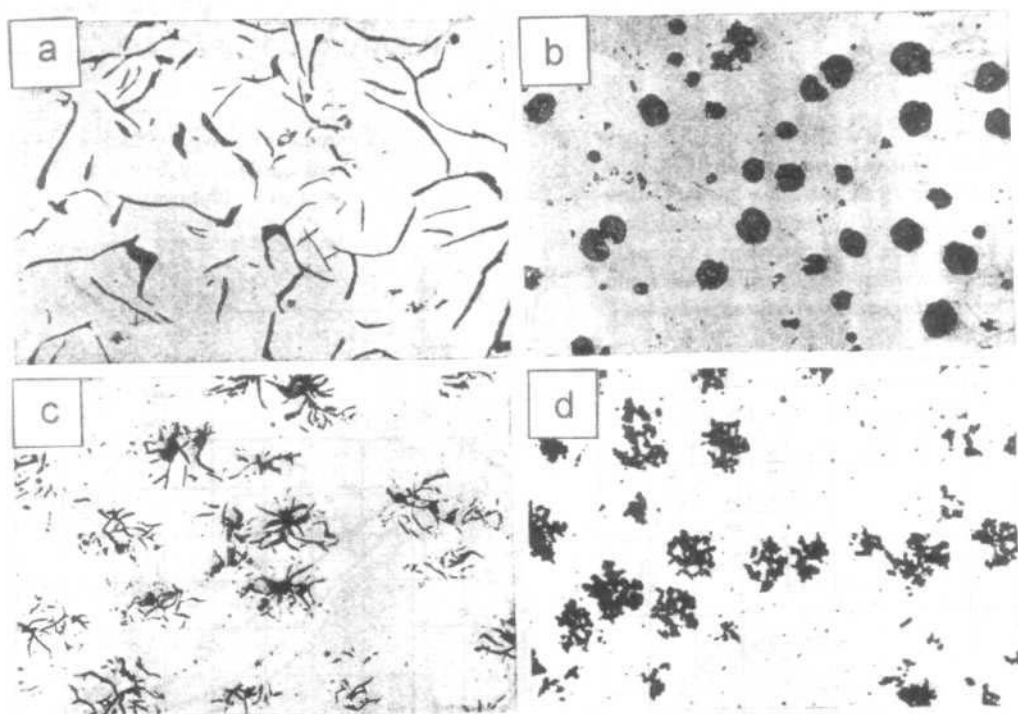


Rys. 4.34
Zawartość węgla w nawęglonej warstwie wierzchniej stali 20, w zależności od temperatury, nawęglania i odległości od powierzchni próbki; temperatura nawęglania: 1 - 925°C, 2 - 900°C, 3 - 870°C



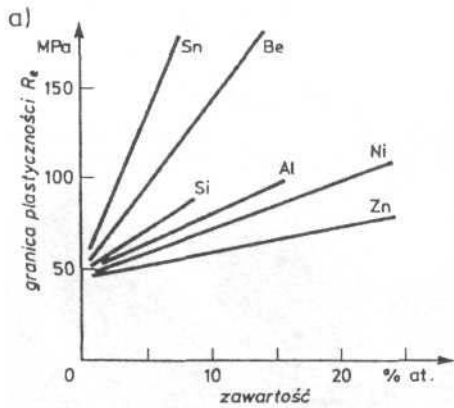
Rys. 4.35

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

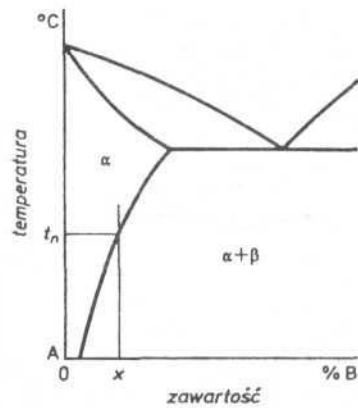


Rys. 4.36

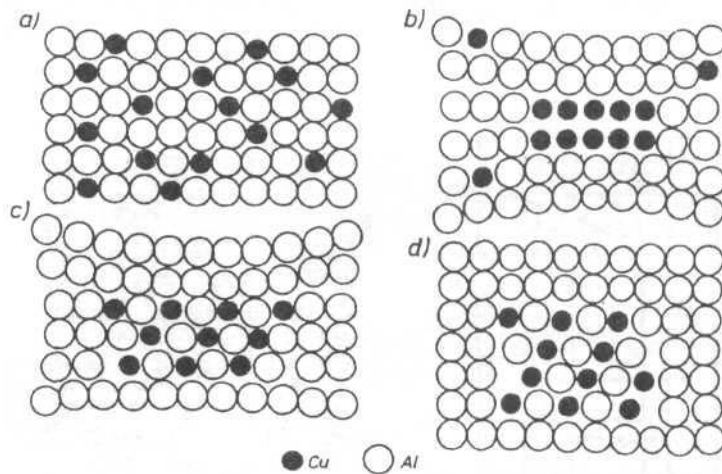
Wydzielenia grafitu w żeliwie: a) grafit płatkowy, b) grafit kulkowy, c) grafit gwiazdkowy, d) węgiel żarzenia. Pow. 100'



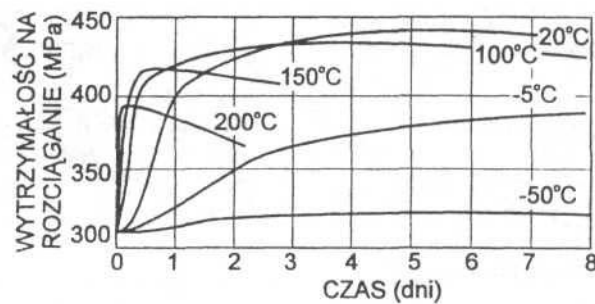
Rys. 4.37
Wpływ pierwiastków stopowych na wytrzymałość Cu



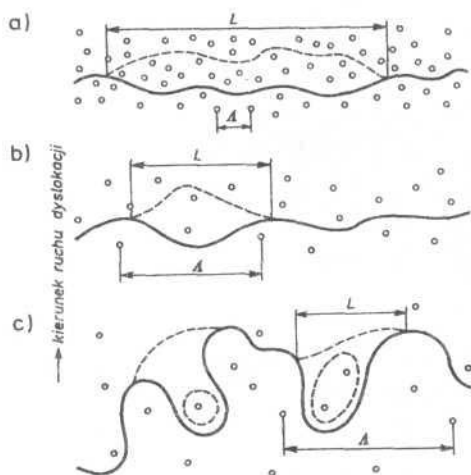
Rys. 4.38
Przesycanie roztworu stałego



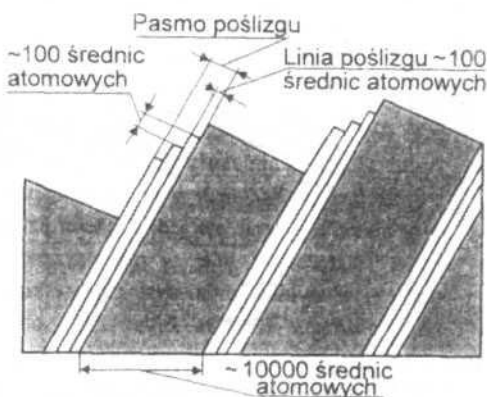
Rys. 4.39
Stadia starzenia stopu Al-Cu (schemat): a) przesycona faza k, b) strefa GPI, c) strefa q'', d) faza u



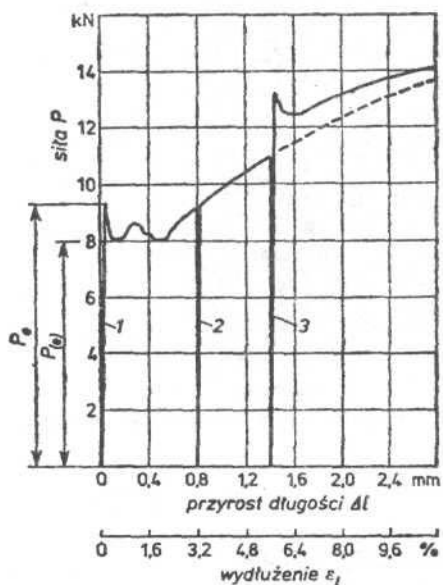
Rys. 4.40
Wpływ temperatury i czasu starzenia na twardość stopu Al z dodatkiem 4% Cu (według A.P. Gulajewa)



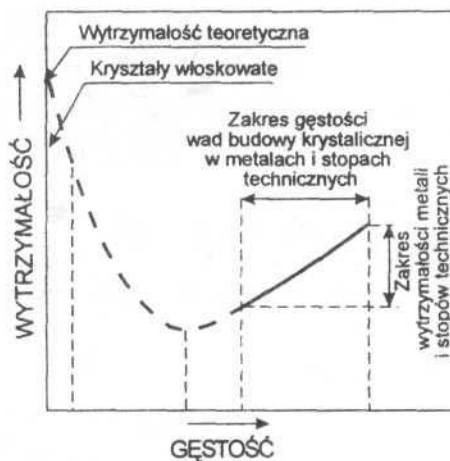
Rys. 4.41
Mechanizm poślizgu dyslokacji między wydzieleniami: a) $L \ll r$, b) $L \gg r$, c) $L \gg r$



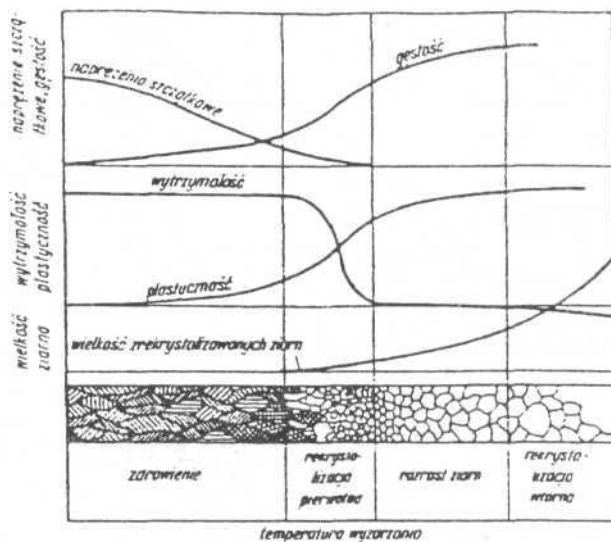
Rys. 4.42
Schemat linii i pasm poślizgu na powierzchni kryształu odkształconego plastycznie (według S. Kalpakijana)



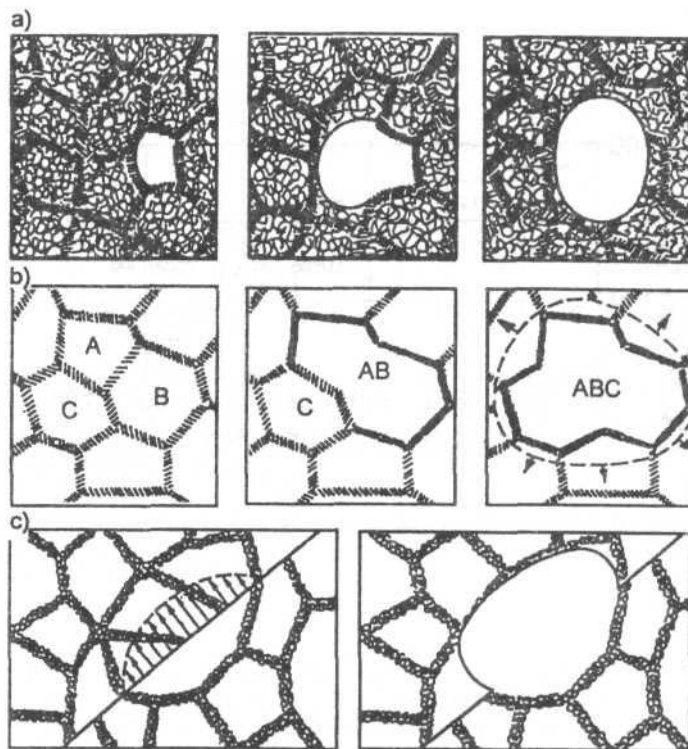
Rys. 4.43
Krzywa rozciągania miękkiej stali wykazującej przystanek plastyczności 1 - początkowy przebieg krzywej do chwili przzerwania obciążenia, 2 - przebieg krzywej po krótkiej przerwie (około 1 minuty), 3 - przebieg krzywej po długiej przerwie (20 godzin)



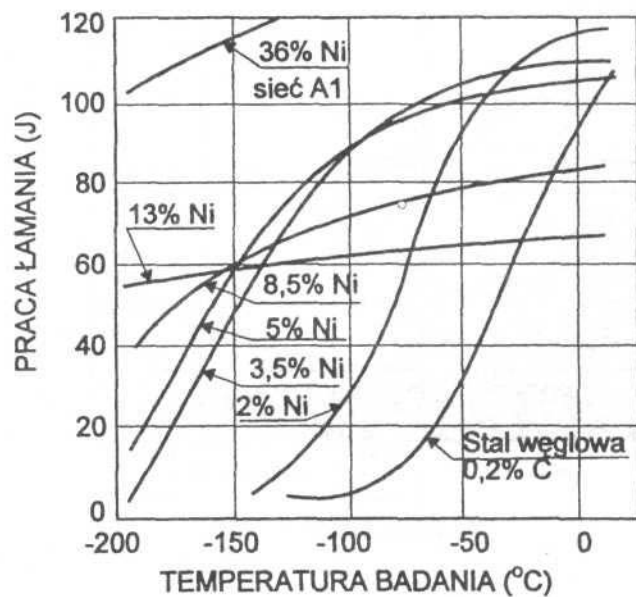
Rys. 4.44
Schemat zależności własności wytrzymałościowych metali od gęstości wad budowy krystalicznej



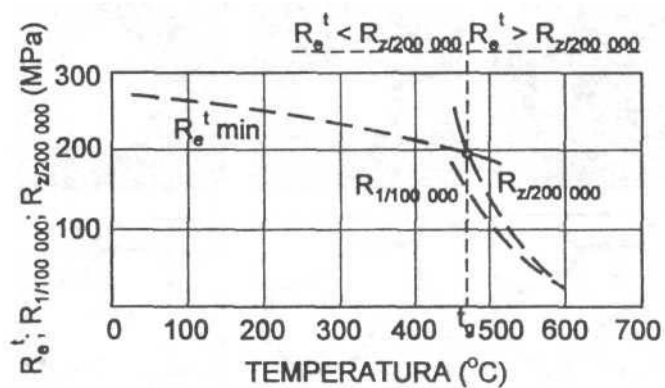
Rys. 4.45
Zmiana właściwości w procesie rekryształizacji



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)

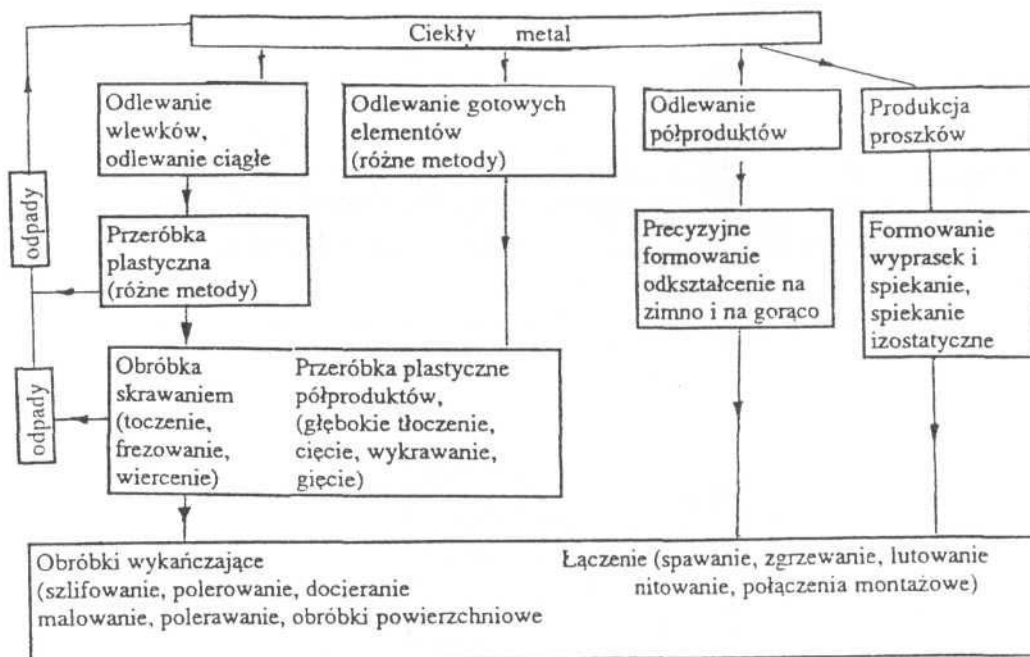


Rys. 4.47 Próg kruchości



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)

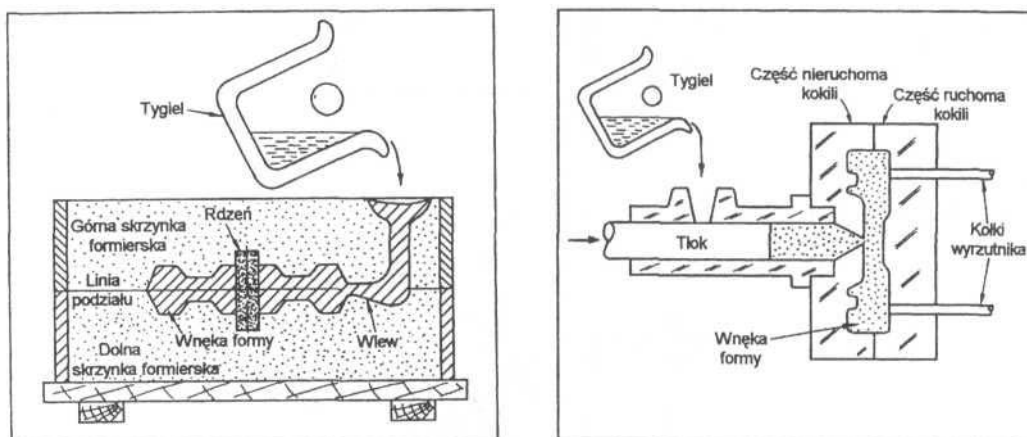


Rys. 4.49

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

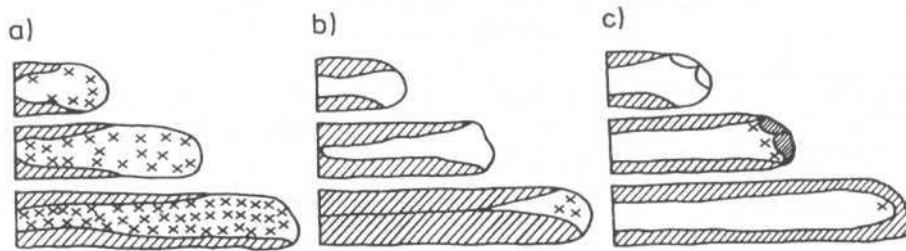


Rys. 4.50

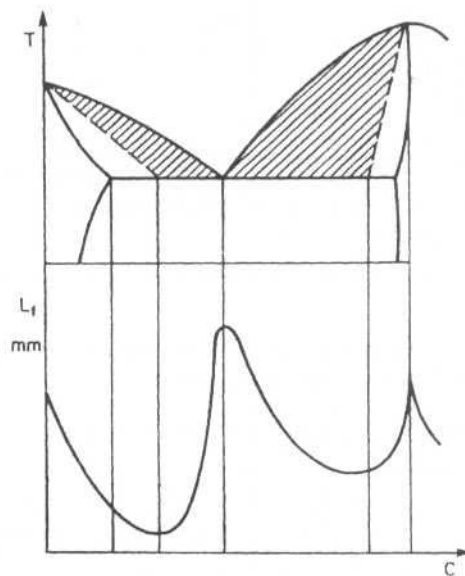
Odlewanie piaskowe. Ciekły stop wlewany jest do dzielonej formy piaskowej.

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

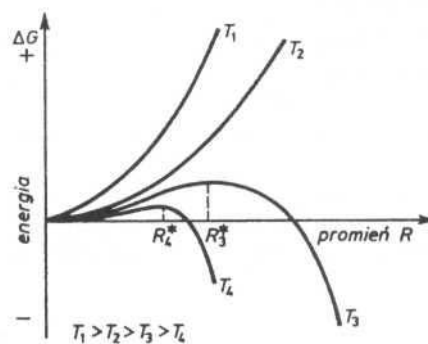
b) Ciśnieniowe odlewanie kokilowe. Ciecz jest przetłaczana do dzielonej formy metalicznej



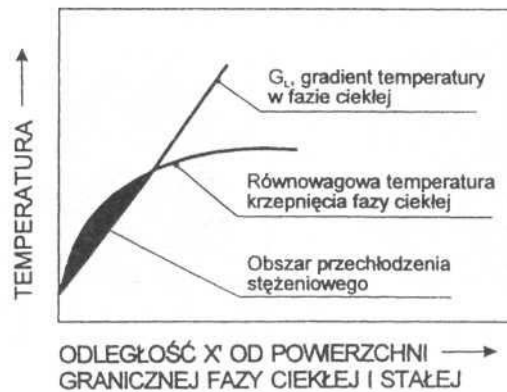
Rys. 4.51
Schemat B.B. Gulajewa [55] płynięcia, krystalizacji i zatrzymania strugi metalu w kanałach



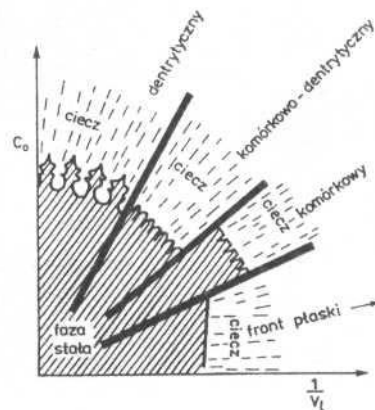
Rys. 4.52
Zależność lejukości L , od rodzaju wykresu równowagi [55]



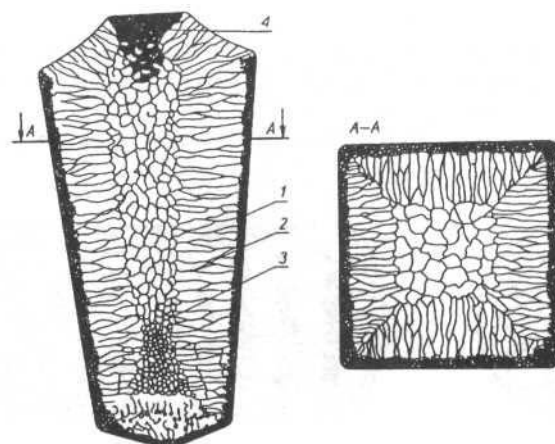
Rys. 4.53
Zależność energii swobodnej zarodka jednorodnego od promienia dla kilku temperatur



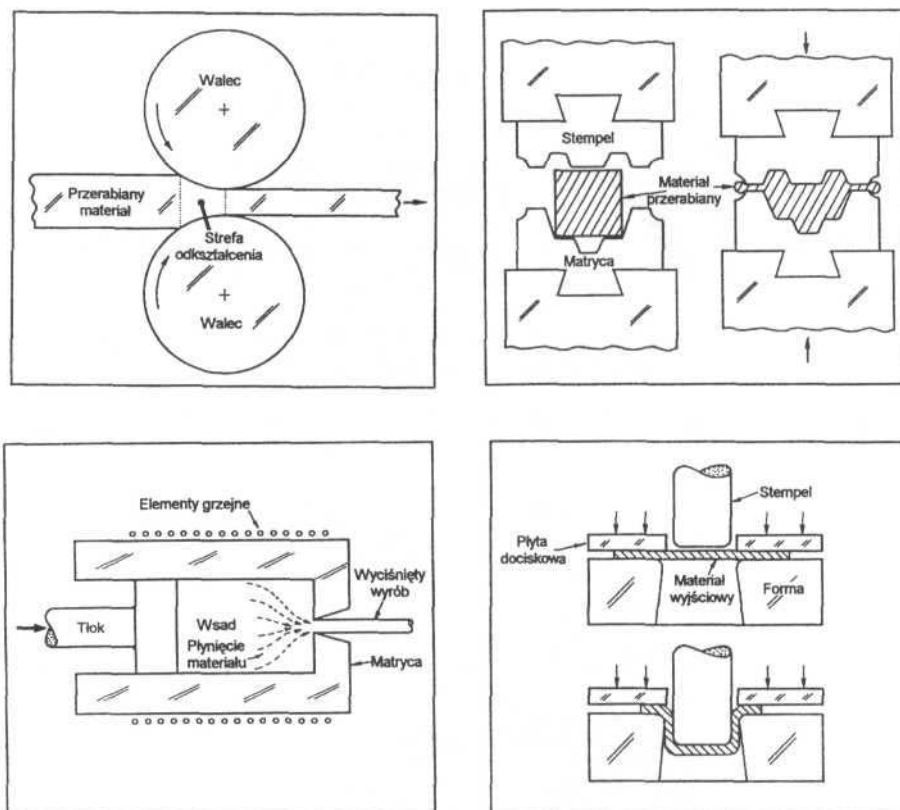
Rys. 4.54
Zależność temperatury fazy ciekłej i temperatury jej krzepnięcia od odległości od powierzchni międzyfazowej faz ciekłej i stałej



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



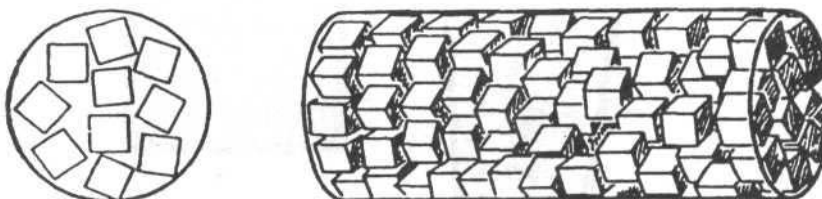
Rys. 4.57

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

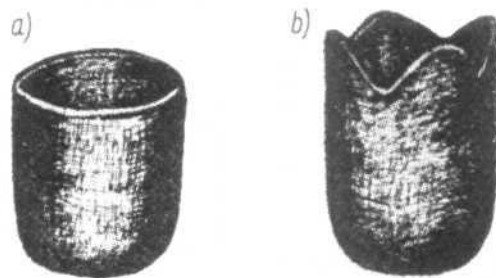


Rys. 4.58

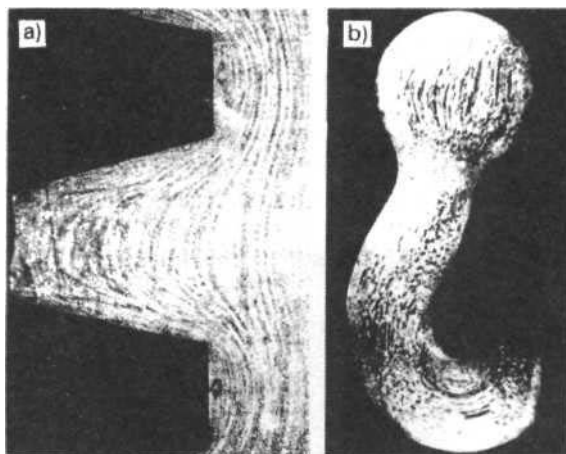
Schemat tekstury włóknistej w drucie

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

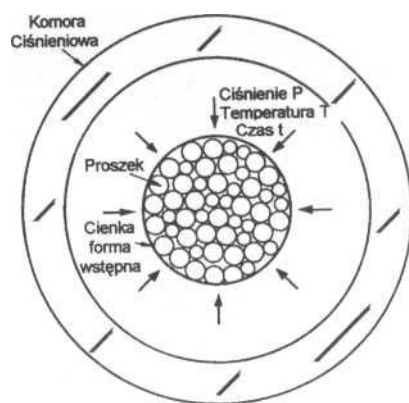
d)Tłoczenie. Półprodukt, unieruchomiony na brzegach, odkształcany jest stemplem do postaci końcowej.



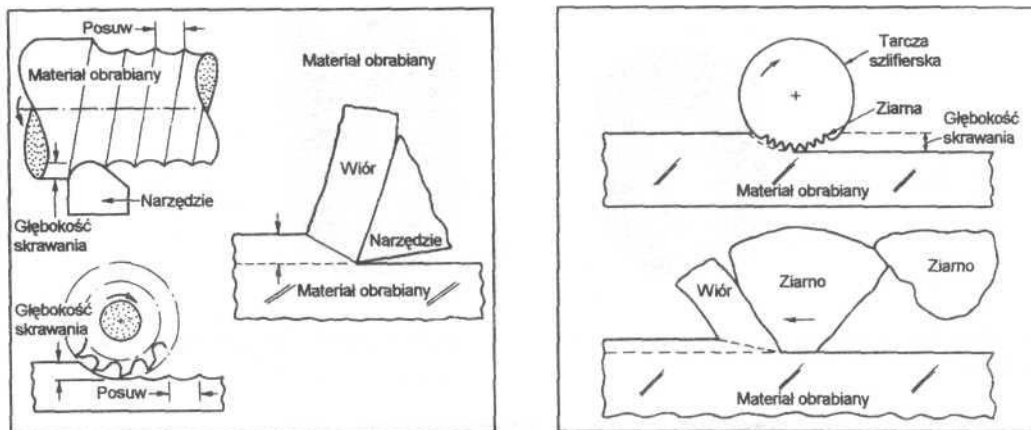
Rys. 4.59
Kształt wytłoczki z blachy: a) nie mającej anizotropii własności, b) z anizotropią wydłużenia spowodowaną teksturą



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



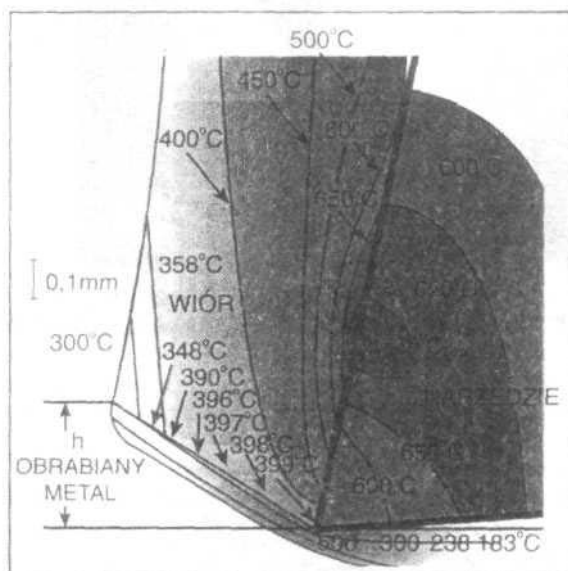
Rys. 4.61
Izostatyczne prasowanie na gorąco. Proszek w cienkościenniej formie wstępnej jest nagrzewany i prasowany przez ciśnienie gazu znajdującego się na zewnątrz



Rys. 4.62

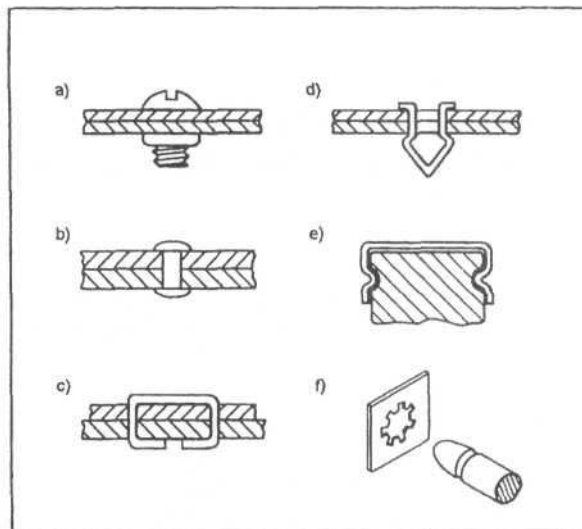
a) Obróbka skrawaniem. Toczenie (u góry) i frezowanie (poniżej). Utwardzone ostrze narzędzia odcina wiór z powierzchni obrabianego materiału

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

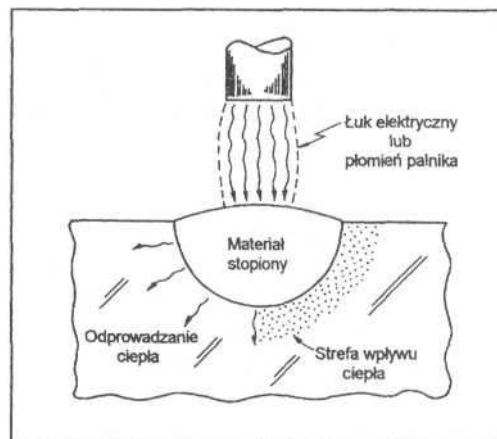


Rys. 4.63

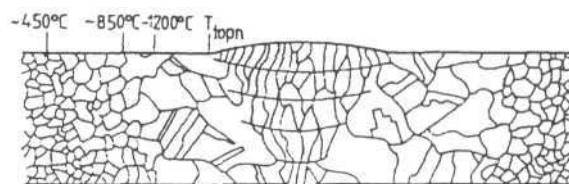
Rozkład temperatury w narzędziu skrawającym i w obrabianym metalu; kąt natarcia 10° , kąt ścinania 30°
głębokość skrawania $h = 0,32$ mm



Rys. 4.64
 Elementy łączące (a) łączenie wkrętami; (b) nitowanie; (c) łączenie zatrzaskiem kłamrowym; (d) łączenie zatrzaskiem wewnętrznym; (e) łączenie 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