

Wykład

Wstęp do inżynierii materiałowej

Bogusław Major



Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN w Krakowie

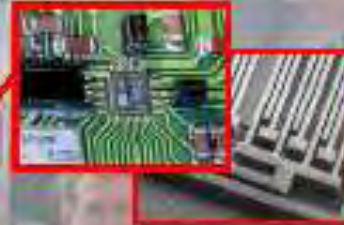
Pace Maker
Li-Batteries
New Materials for Energy



GPS Navigation
Functional Materials



Air Bag
Acceleration Sensors
MEMS



Cosmetics
TiO₂ Nanoparticle



Mobile Phone
SAW Structures



Artificial Hips
Biocompatible
Materials



Glasses and Coatings
Optical Materials
UV Filter



Digital Camera
CCD Chip



Artificial Lens
Biocompatible
Polymers



Bike Frame
Carbon Fibres
Composite Materials



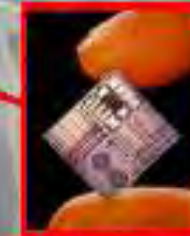
GMR Read Head
Magnetic
Multilayers



LED Display
Photonic Materials



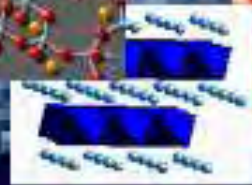
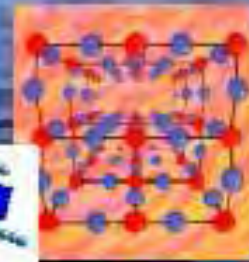
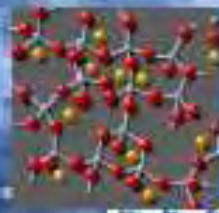
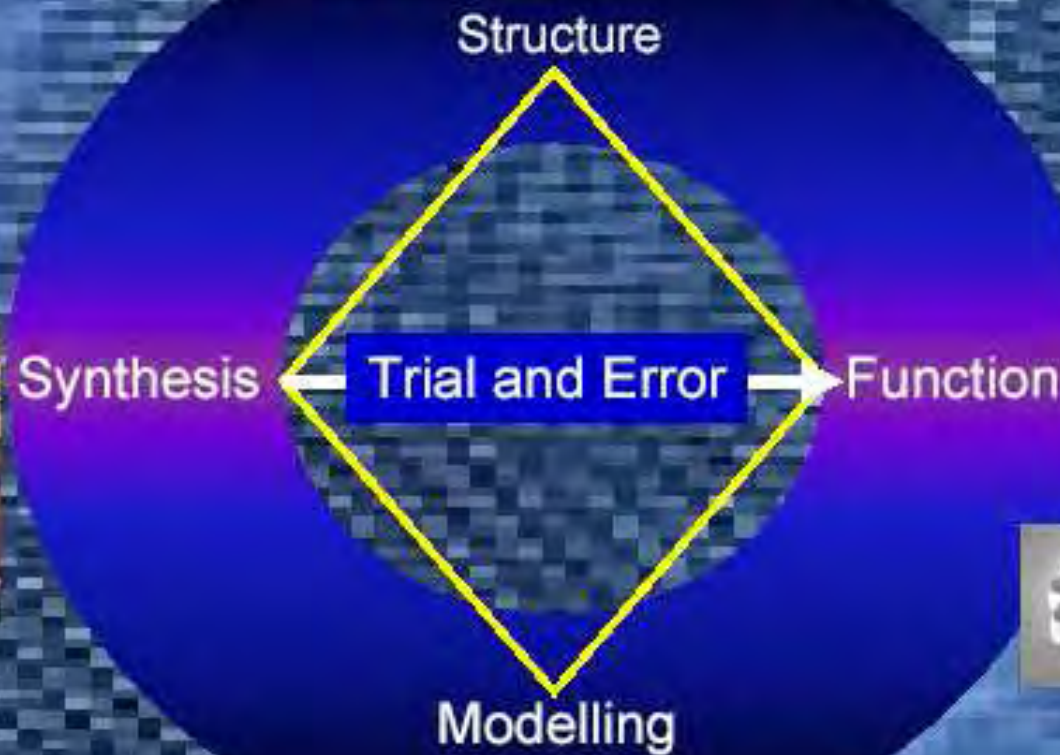
Intelligent Credit Card
Integrated Circuits



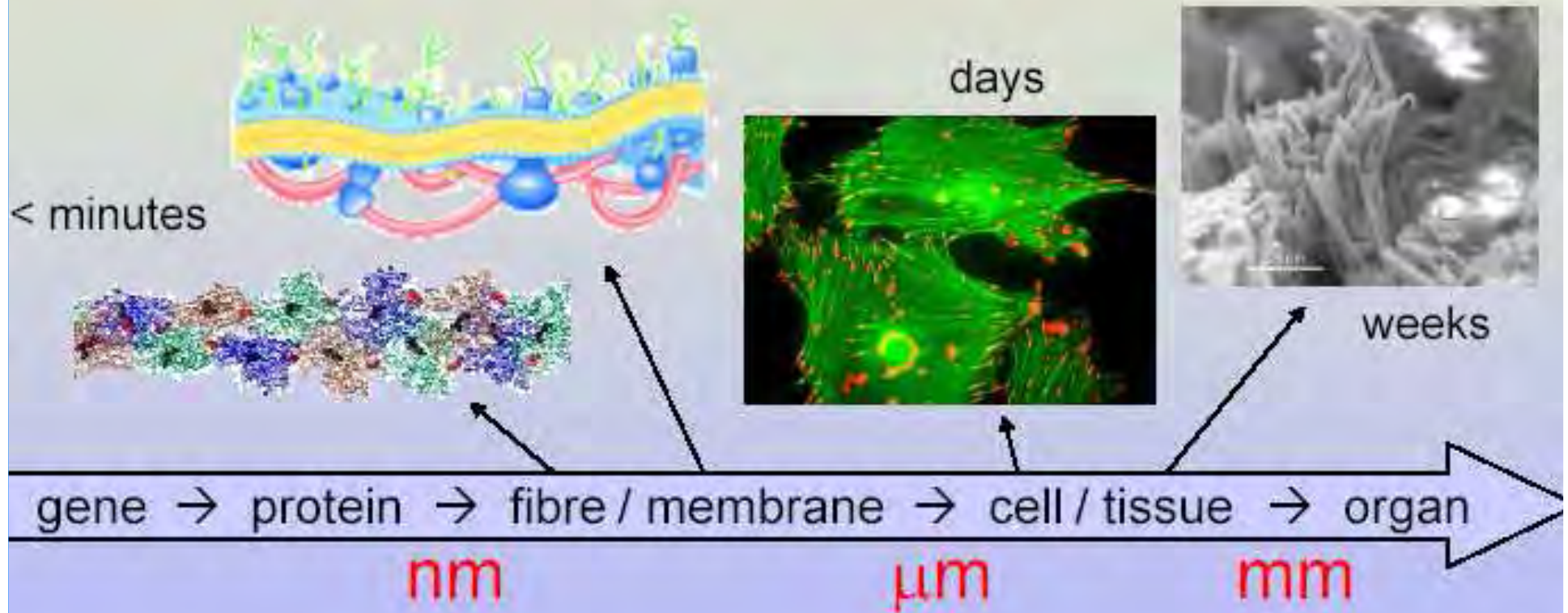
Exact Time via satellite
Semiconducting devices
Micro-Batteries

Taylorred Materials at Work

Advanced Materials Design



Hierarchies in Structure and Dynamics



Understand – Control – Heal / Replace

Biological system

Engineered material

Program wykładów

1. Materiały inżynierskie

metale i ich stopy, materiały ceramiczne, polimery, kompozyty

2. Struktura krystaliczna

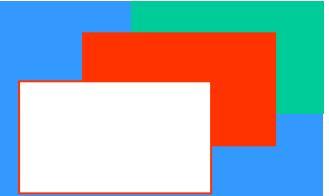
wiązania między atomami, krystalografia

3. Właściwości mechaniczne

naprężenie, odkształcenie, próba rozciągania, twardość, udarność, zmęczenie, pełzanie, formy makroskopowego opisu krzywej umocnienia

4. Defekty struktury krystalicznej

roztwory stałe, defekty punktowe, liniowe, powierzchniowe



5. Wykresy fazowe

6. Zmiany strukturalne

krystalizacja z fazy ciekłej, przechłodzenie stężeniowe,

- **umocnienie odkształceniowe, rekrytalizacja, tekstura,**
- **anizotropia plastyczna,**
-

hartowanie, przesycanie, starzenie,

mechanizmy umocnienia tworzyw metalicznych

metody otrzymywania monokryształów



7. Metale i ich stopy

stopy żelaza: stale, żeliwa,

metale lekkie i ich stopy: aluminium, tytan, beryl, magnez

**metale ciężkie i ich stopy: miedź, cynk, ołów, cyna, nikiel,
kobalt, cyrkon i hafn, kadm, ind i bizmut,**

metale trudnotopliwe: niob, tantal, molibden, wolfram, ren,

metale szlachetne: złoto, srebro, platyna, pallad,

metale alkaliczne i ziem rzadkich, metale rzadkie



8. Materiały ceramiczne i szkła

9. Polimery

10. Kompozyty

11. Intermetale

12. Materiały amorficzne i nanokrystaliczne

13. Materiały porowate

14. Materiały inteligentne

15. Biomateriały

**podstawy anatomii, implanty kostne, materiały
do kontaktu z krwią, materiały biomimetyczne**

**16. Procesy kształtowania
metale, ceramika, polimery, kompozyty**

17. Inżynieria powierzchni

18. Nanomateriały i nanotechnologie

19. Podstawy projektowania materiałowego

Materiał uzupełniający wykłady

Spojrzenie na oblicze materiałów

- Budowa
- Zastosowania
- Piękno struktury

Budowa:

- wiązanie pomiędzy atomami
- kryształy doskonałe
- defekty w kryształach
- przemiany strukturalne w materiałach technicznych
- wykresy fazowe
- dyfuzja
- krystalizacja z fazy ciekłej
- wydzielanie
- przemiana martenzytyczna
- umocnienie
- odkształcenie i rekrytalizacja
- wady materiałowe

Zastosowania

- **Stale na szyny**
- **Stale na narzędzia**
- **Stale na ciężkie elementy konstrukcyjne**
- **Aluminium i jego stopy**
- **Brązy na dzwony**
- **Stopy z pamięcią kształtu**
- **Nadstopy na bazie niklu**
- **Ceramika na narzędzia skrawające**
- **Ceramika dla elektroniki**
- **Implanty kostne**
- **Cienkie warstwy**
- **Tworzywa sztuczne**

Piękno struktury

- **Skala spojrzenia**
- **Od sztaby do atomu**
- **Czas narodzin**
- **Wspólny wzrost**
- **Rzadko samotnie**
- **Płaszczyzny rozdzielania się materiału**

1. Materiały inżynierskie

metale i ich stopy, materiały ceramiczne, polimery,
kompozyty

Metale – wiązania metaliczne , wśród 103 pierwiastków, 80 to metale

Stopy metaliczne: stopy żelaza, stopy metali nieżelaznych

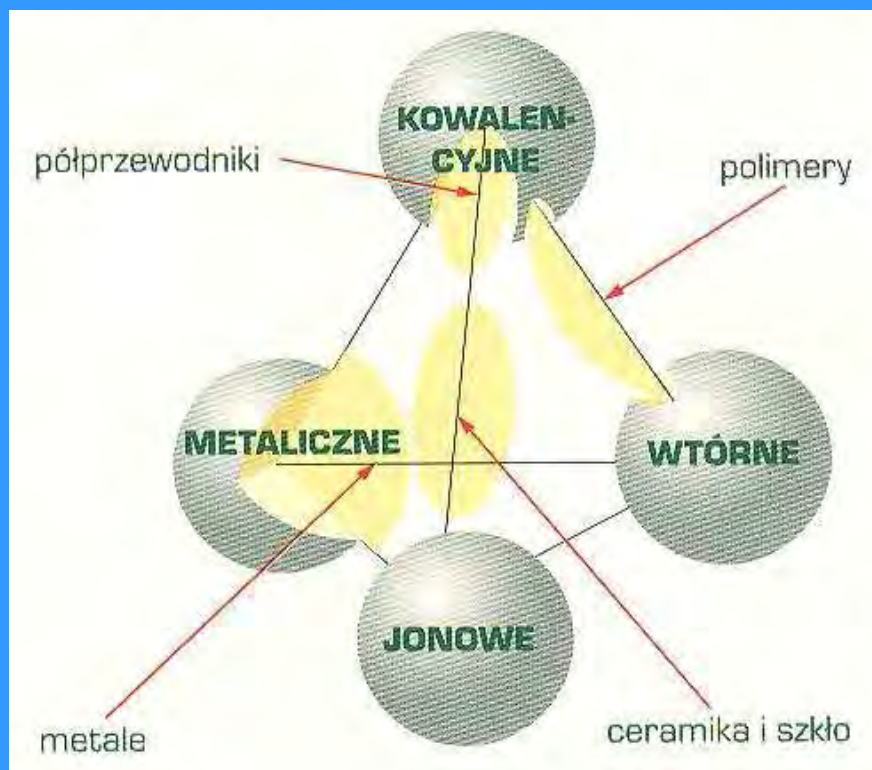
Właściwości: duża sztywność, ciągliwość, odporność na pękanie,
przewodność elektryczna i cieplna, połysk metaliczny, mała odporność
chemiczna (korozja)

Układ okresowy pierwiastków chemicznych; metale zaznaczone na zielono (Dobrz. Nowy 2.7)

IA																	0		
1	IIA															2			
H	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
3	11	12	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII			IB	IIB	13	14	15	16	17	18	
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar												
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54		
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
55	56	57*	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86		
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
87	88	89*	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118		
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo		
lantanowce		* 58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71				
		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu				
aktynowce		* 90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103				
		Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr				

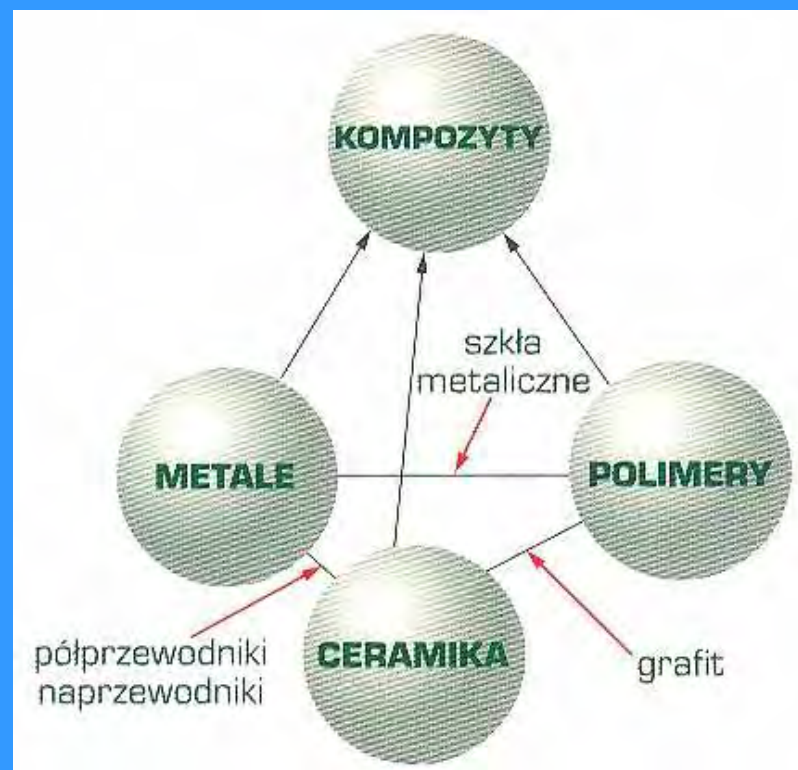
Rodzaje wiązań między atomami w podstawowych materiałach inżynierskich

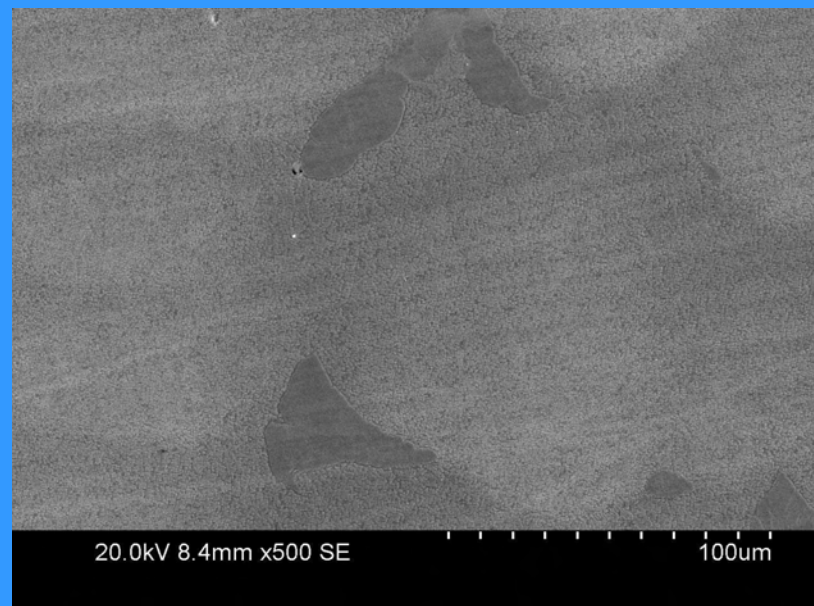
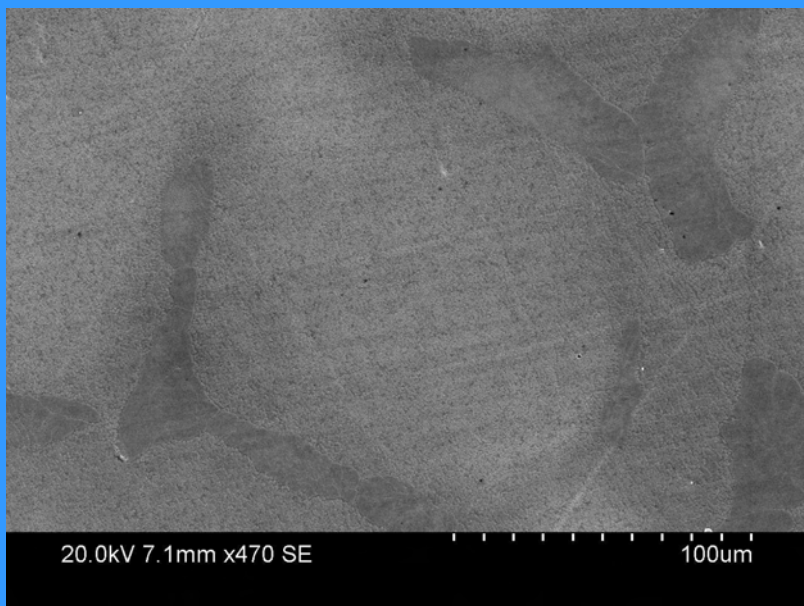
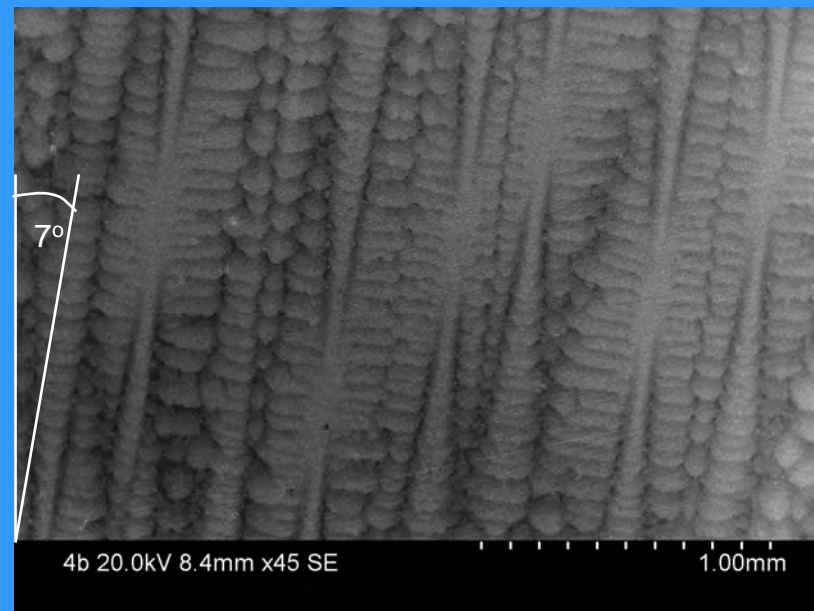
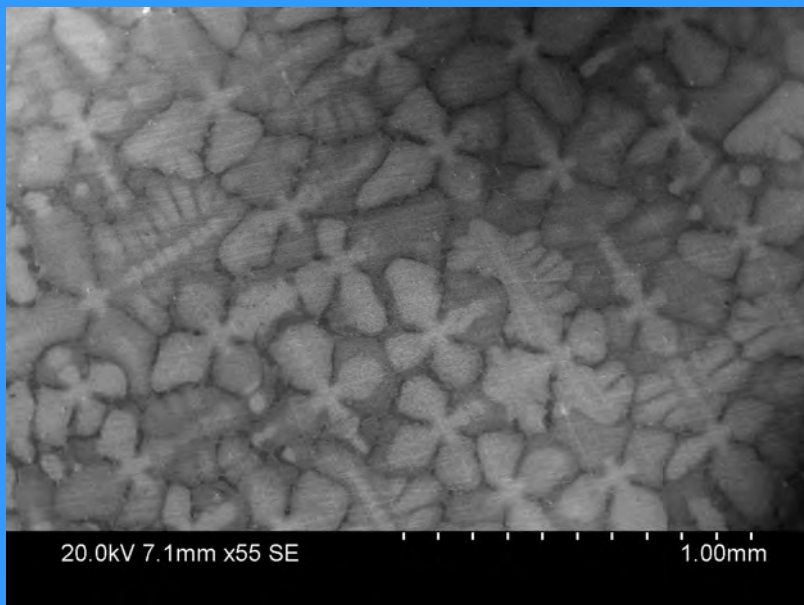
(Dobrz. Nowy 2.5)



Podstawowe grupy materiałów inżynierskich

(Dobrz. Nowy 2.6)





Próbka modelowa SEM

Materiały ceramiczne- wiązania jonowe i kowalencyjne
 wytwarzane zwykle w wysokotemperaturowych procesach

Głównie tlenki lub związki z C,N,P i S

Właściwości: mała przewodność cieplna i elektryczna, mała
 ciągliwość, odporne na korozję, żaroodporność

Ceramika inżynierska, ceramika porowata, szkła, ceramika szklana

Układ okresowy: główne pierwiastki tworzące materiały ceramiczne
 zaznaczono na czerwono (Dobrz. Nowy 2.10)

IA																	0	
1	IIA											III A	IV A	VA	VIA	VII A	2	
H	Be											5	6	7	8	9	He	
3	4											B	C	N	O	F	10	
Li	Be																Ne	
11	12							VIII				13	14	15	16	17	18	
Na	Mg	IIIB	IVB	VB	VIB	VII B					IB	IIB	Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
55	56	57*	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
87	88	89*	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116		118	
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	Uut	Uuq	Uup	Uuh		Uuo	
lantanowce		*58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71			
		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu			
aktynowce		*90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103			
		Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr			

Polimery – materiały organiczne tworzone przez C, H i inne pierwiastki niemetaliczne, zbudowane z cząsteczek o długich łańcuchach utworzonych z merów (ponad 500 merów w cząsteczce)

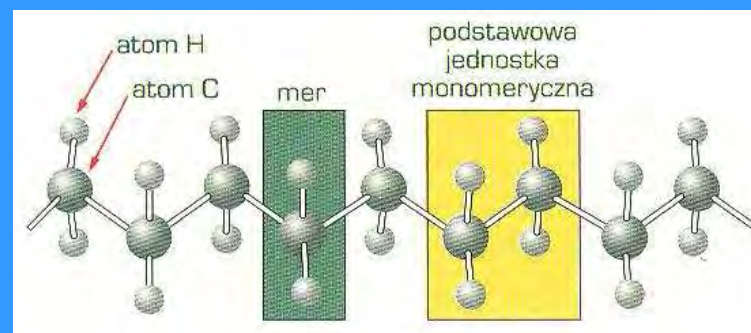
Właściwości- dobra odporność na korozję, mała przewodność cieplna i elektryczna, mała gęstość, niektóre termoplastyczne

Układ okresowy; pierwiastki tworzące polimery zaznaczono na fioletowo (Dobrz. Nowy 2.8)

IA																	0
1																	2
H	IIA											III A	IV A	V A	VIA	VII A	He
3	4											5	6	7	8	9	10
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
11	12											13	14	15	16	17	18
Na	Mg	IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	VIII			IB	IIB	Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56	57*	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
87	88	89*	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116		118
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	Uut	Uuq	Uup	Uuh		Uuo
lantanowce	* 58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71			
	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu			
aktynowce	* 90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103			
	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr			

Schemat łańcucha polietylenu

(Dobrz. Nowy 2.9)



2. Struktura krystaliczna



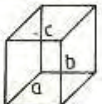

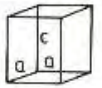
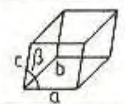
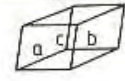
wiązania między atomami, krystalografia

Wiązania między atomami:

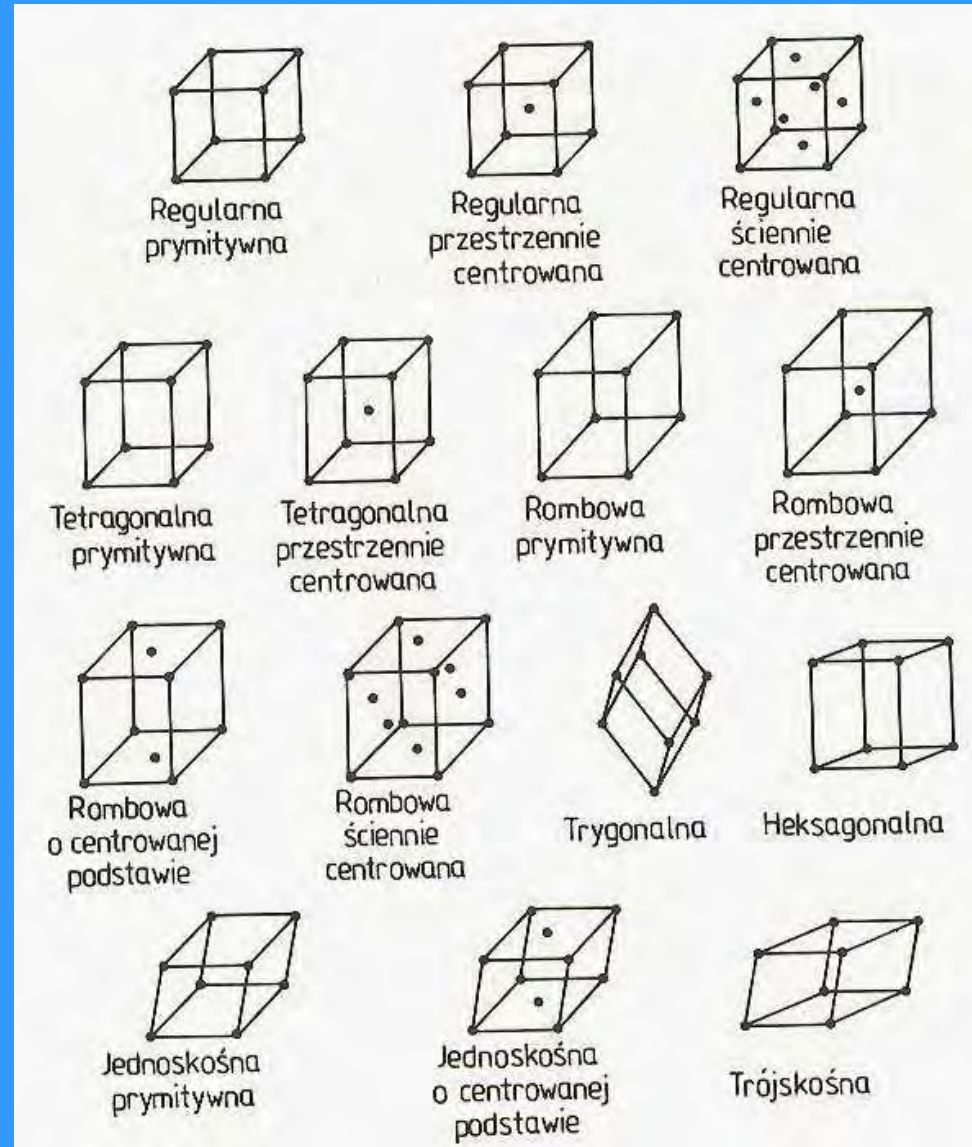
jonowe, kowalencyjne, metaliczne, wtórne (van der Waalsa)

- 7 układów krystalograficznych
- 14 typów sieci (Bravais'go)

Siedem układów
krystalograficznych
(Blich.3.3)

Układ	Parametry sieciowe	Komórka elementarna
Regularny	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Tetragonalny	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Rombowy	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Trygonalny (romboedryczny)	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	
Heksagonalny	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	
Jednoskośny	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	
Trójskośny	$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	

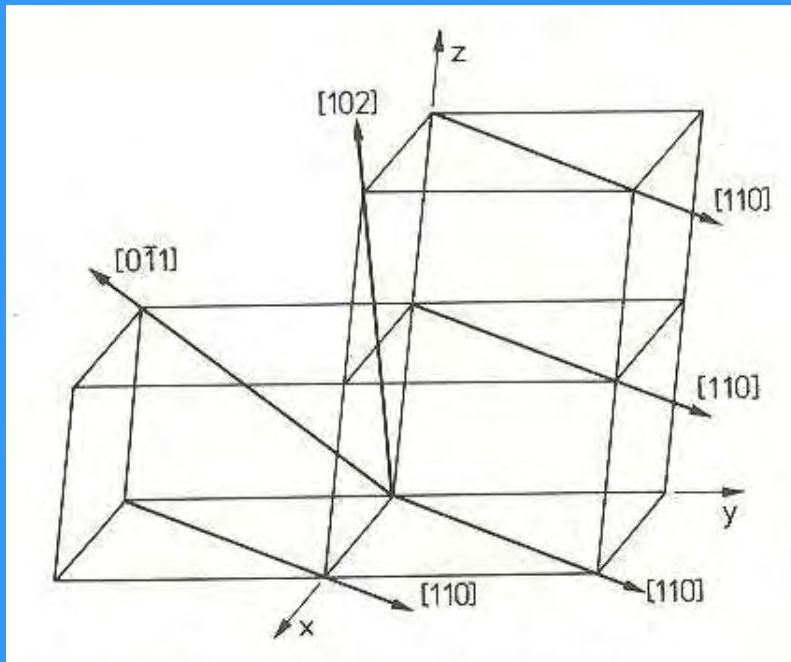
Komórki elementarne 14 sieci Bravais'go (Blich.3.3)



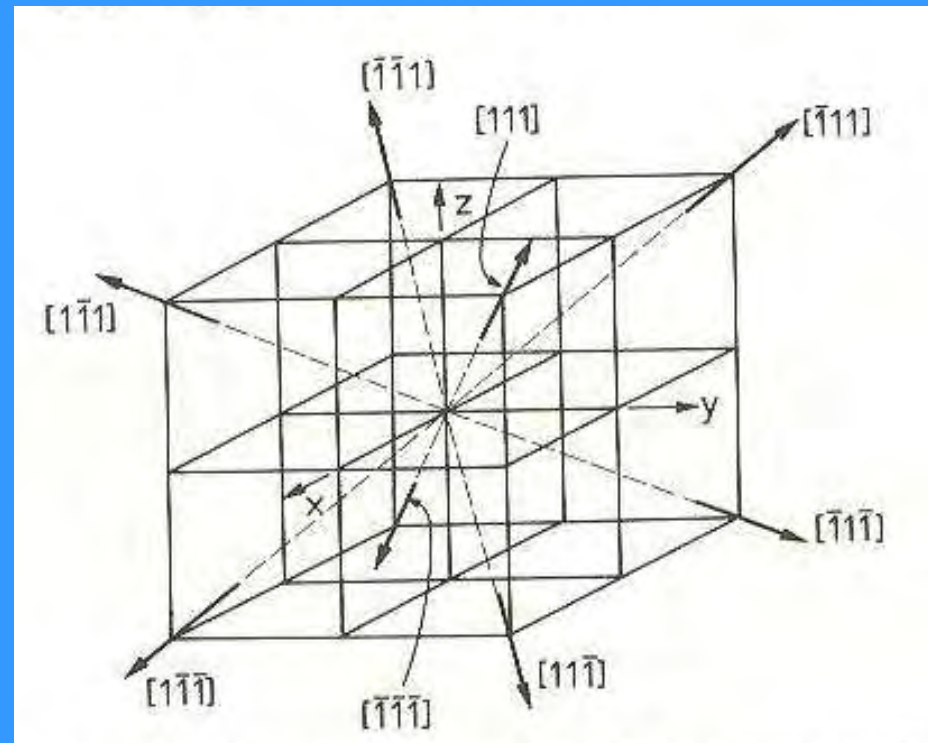
Kierunki sieciowe

Oznaczenie: kierunek $[uvw]$; rodzina $\langle uvw \rangle$

Wskaźnikowanie kierunków sieciowych (Blich.3.7)



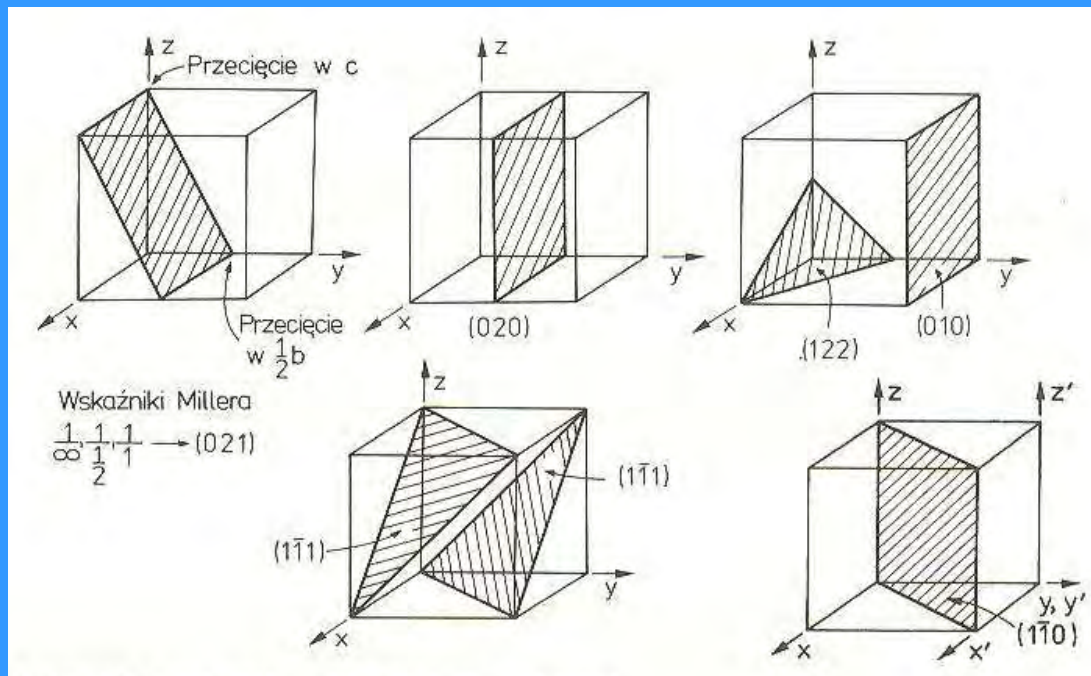
Wszystkie kierunki należące do rodziny kierunków $\langle 111 \rangle$ układu regularnego (Blich.3.8)



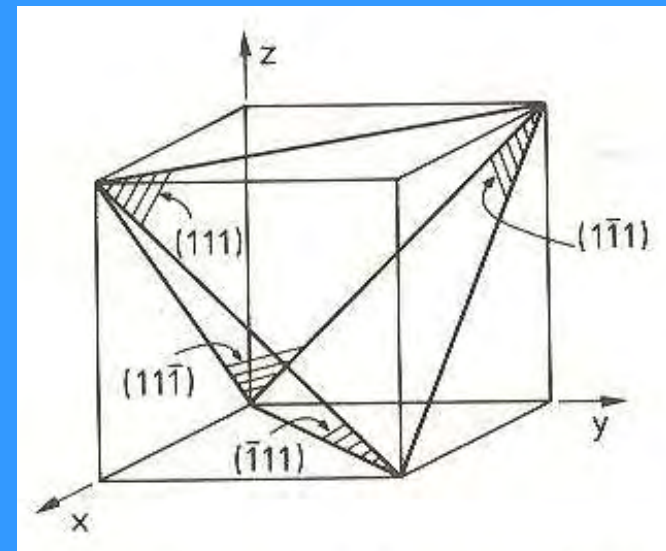
Płaszczyzny sieciowe

Oznaczenie: rodzina $\{hkl\}$; płaszczyna (hkl)

Przykłady wskaźnikowania płaszczyn sieciowych (Blich.3.9)

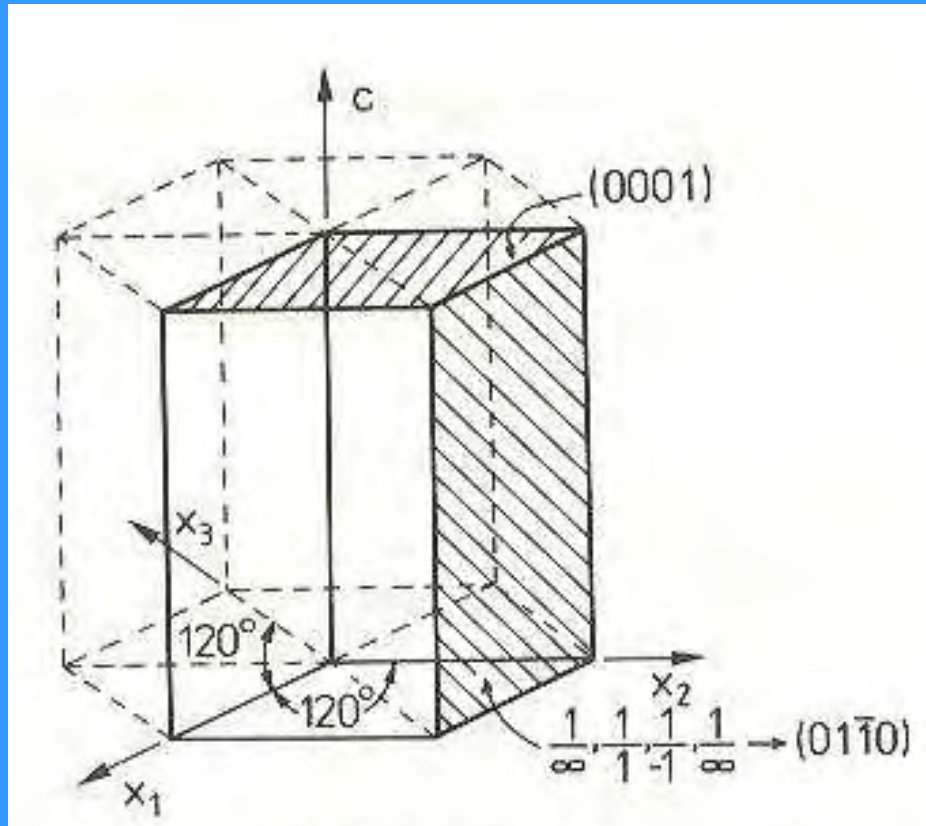


Płaszczyzny należące do rodziny $\{111\}$ układu regularnego (Blich.3.10)

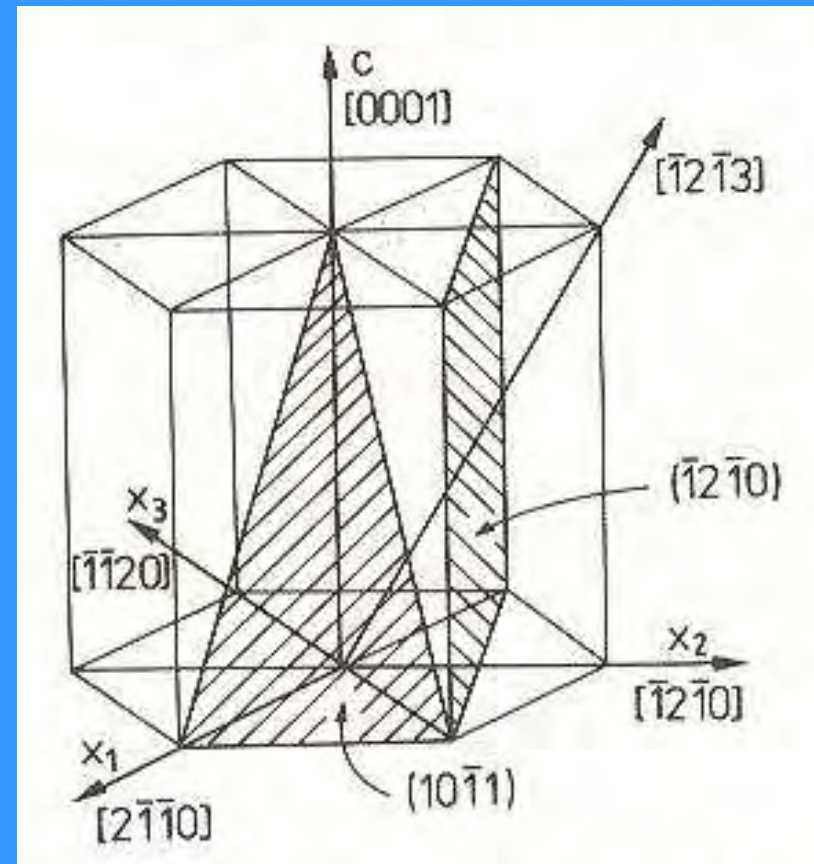


Wskaźniki Millera-Bravais'go dla układu heksagonalnego

(Blich.3.11)



Przykład
czterowskaźnikowych
oznaczeń: $(hk.l)$ $h+k=-i$
(Blich.3.12)



Oznaczanie struktur krystalicznych

Symbolika Pearsona (dwie litery i liczba np.. cF4; hP2)

Pierwsza litera mała- układ krystalograficzny

Druga litera duża-

typ sieci Bravais'go

Cubic

regularny

Prymitywna

hexagonal

heksagonalny

Iprzestrz.centrowana

itrigonal

rombowy

Fściennie centrowana

tetragonal

tetragonalny

Ccentrowana na
podstawie

Orthorombic

rombowy

Rromboedryczna

monoclinic

jednoskośny

anortic (triclinic) trójskośny

Liczba- liczba atomów w komórce elementarnej

Inne stosowane oznaczenia

wg. „Strukturbericht” (litera i liczba)

A – pierwiastki

B – związki AB

C – związki AB₂

Liczba- typ struktury w grupie np.:

A1 – struktura typu miedzi

A3 – struktura typu magnezu

B1 – struktura typu chlorku sodu

Wg. Polskiego Towarzystwa Krystalograficznego

RSC –regularna ściennie centrowana ang. fcc lub FCC

RPC –regularna przestrzennie ang. bcc lub BCC

HZ -heksagonalna zwarta ang. hcp

Struktura krystaliczna metali

Większość metali ma jedną z trzech struktur krystalicznych:

- 1. Regularną ściennie centrowaną (RSC, cF4, A1, fcc)**
np. Cu, Al, Ni, Fe- γ , Ag, Au, Pb
wypełnienie przestrzeni 74%
- 2. Regularną przestrzennie centrowaną (RPC, cI2, A2, bcc)**
np. Mo, W, V, Nb, Fe- α , Cr- α ; wypełnienie przestrzeni 68%
- 3. Heksagonalną zwartą (HZ, hP2, A3, hcp)**
np. Zn, Mg, Cd, Ti- α , Zr- α
wypełnienie przestrzeni 74%

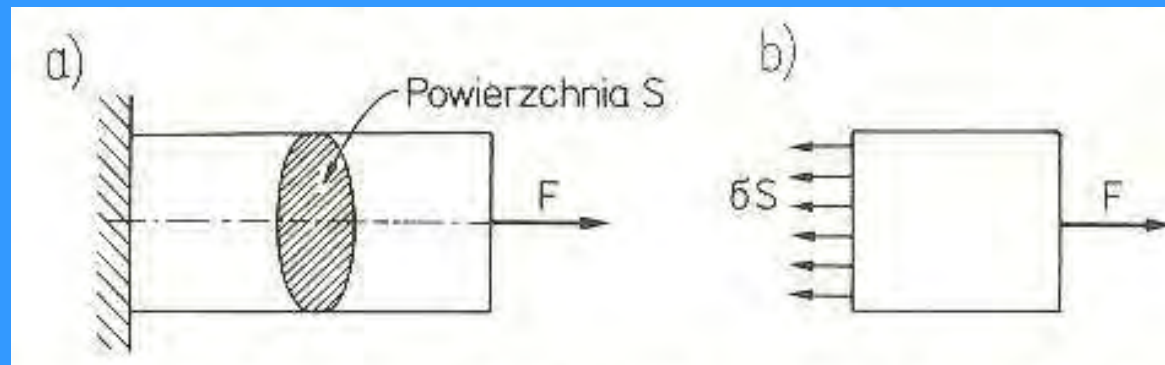
Polimorfizm – występowanie pierwiastka lub związku chemicznego w różnych strukturach krystalicznych

Alotropia – dotyczy przemian w czystych pierwiastkach

3. Właściwości mechaniczne

naprężenie, odkształcenie, próba rozciągania, twardość,
udarność, zmęczenie, pełzanie,
formy makroskopowego opisu krzywej umocnienia,

Pręt cylindryczny osiowo rozciągany (a); schemat ciała swobodnego przedstawiający rozciągany pręt (b) (Blich.4.1)

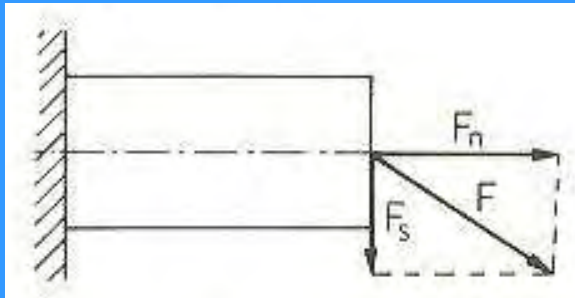


Siła F jest równoważona przez siłę oporu wewnętrznego σS ,
gdzie σ jest naprężeniem,

S pole powierzchni przekroju poprzecznego pręta

$\sigma = F/S$ [N/m²; MN/m²] naprężenie rozciągające (ściskające)

Pręt cylindryczny obciążony siłą ukośną do przekroju poprzecznego (Blich.4.2)



Naprężenie styczne (ścinające)

$$\tau = F_s/S \text{ [N/m}^2 \text{ ; MN/m}^2 \text{]}$$

Reakcją materiału na naprężenie jest odkształcenie

nominalne odkształcenie liniowe

$$\varepsilon_n = \Delta l/l_0$$

odkształcenie poprzeczne

$$\varepsilon_p = \Delta a/a_0 \text{ zmiana przekroju poprzecznego}$$

Współczynnik Poissona $\nu = - \varepsilon_p / \varepsilon_n$

Dla dużych odkształceń

Odkształcenie rzeczywiste

$$\varepsilon_r = \int_{l_0}^l dl/l = \ln l/l_0 \text{ bezwymiarowe}$$

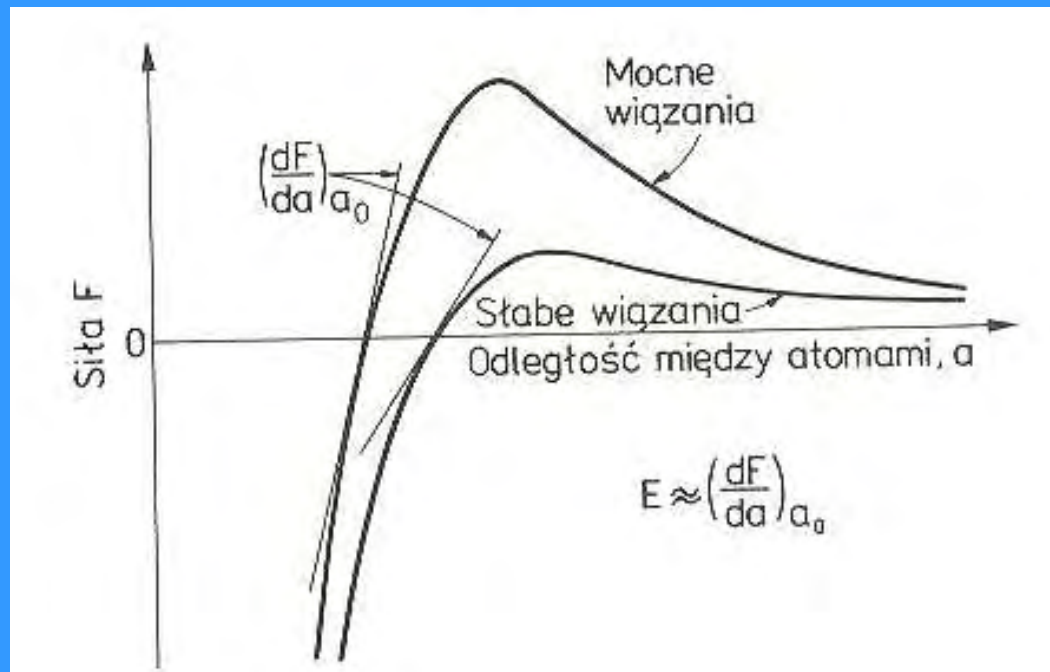
Moduły sprężystości

są zdefiniowane prawem Hook'a : $\sigma = E\varepsilon$

E – moduł Younga lub współczynnik sprężystości wzdłużnej

Wartość modułu Younga jest miarą oporu stawianego przez sąsiadujące atomy podczas zwiększania między nimi odległości

Zależność E od kształtu krzywej siła-odległość między atomami (Blich.4.6)



Zestawienie modułów Younga i temperatury topnienia dla wybranych metali

Metal	Temp. topnienia °C	Moduł Younga GPa
Pb	327	14
Zn	420	43
Mg	649	45
Al.	660	71
Ag	962	76
Au	1064	82
Cu	1085	124
Ni	1455	214
Fe	1538	196
Cr	1863	289
Mo	2623	324
W	3422	411

Moduł sprężystości i temperatura topnienia rosną wraz ze wzrostem siły wiązań

Moduł sprężystości określa sztywność materiału

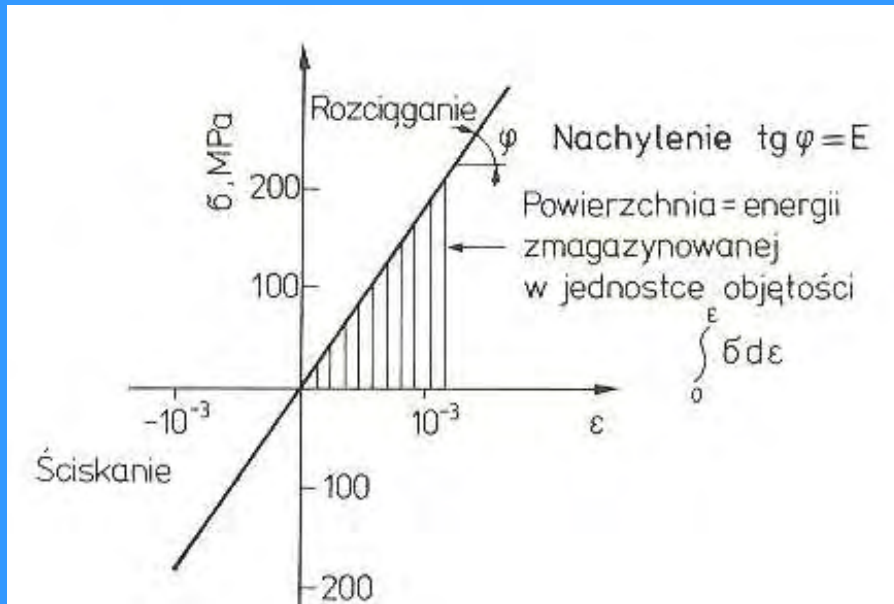
Moduł Younga E jest właściwością anizotropową i zależy od wiązań, składu i struktury

Dla małych odkształceń postaciowych (γ) $\tau = G\gamma$

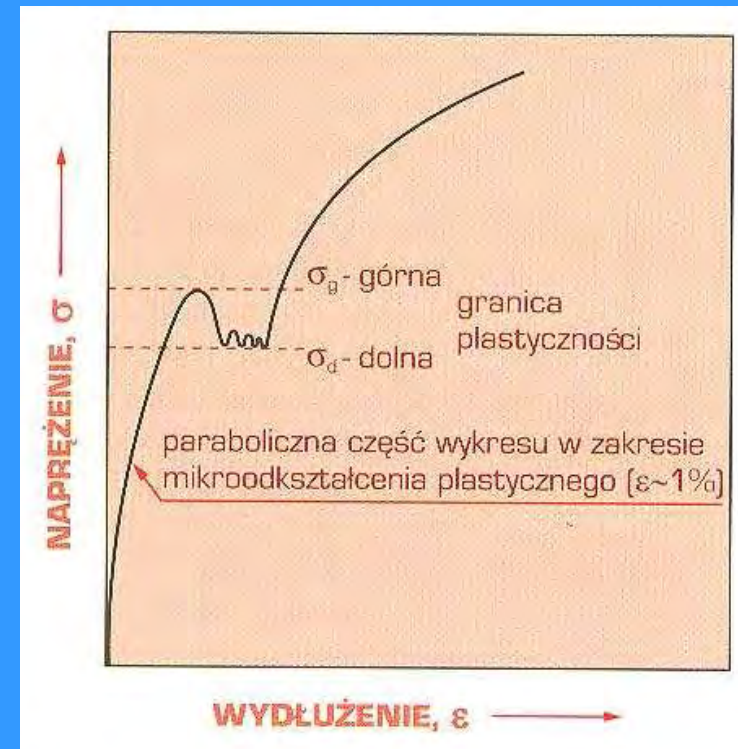
G –moduł Kirchoffa lub współczynnik sprężystości poprzecznej

Odształcenie sprężyste

Zależność naprężenia od odkształcenia
w zakresie liniowosprężystym
(Blich.4.7)



Krzywa rozciągania metali polikrystalicznych
(Dobrz. Nowy 4.24)



Statyczna próba rozciągania

(Blich.4.13)

Wielkości określone w próbie rozciągania

Umowna granica sprężystości

$$R_{0.05} = F_{0.05}/S_0$$

Umowna granica plastyczności

$$R_{0.2} = F_{0.2}/S_0$$

Wytrzymałość na rozciąganie

$$R_m = F_m/S_0$$

Wydłużenie procentowe po zerwaniu

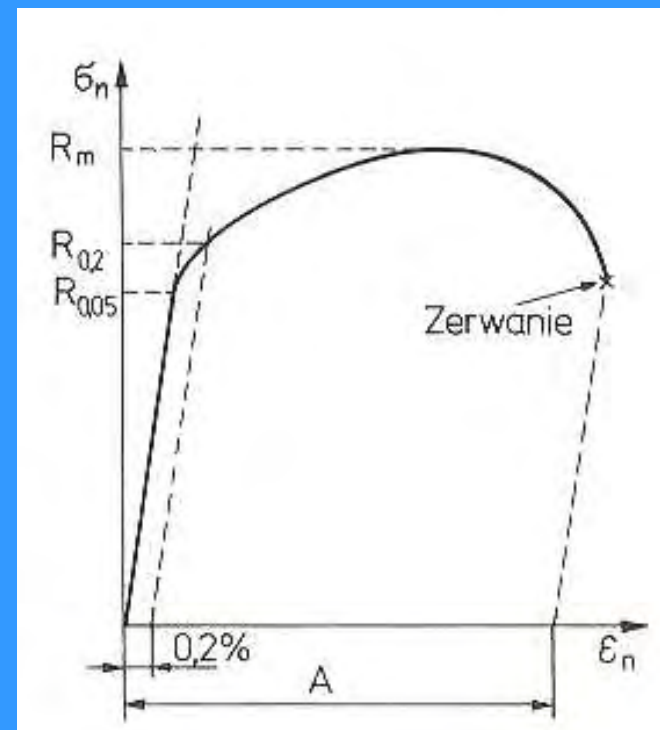
$$A = (l_u - l_0)/l_0 \cdot 100\%$$

Przewężenie procentowe

$$Z = (S_0 - S_u)/S_0 \cdot 100\%$$

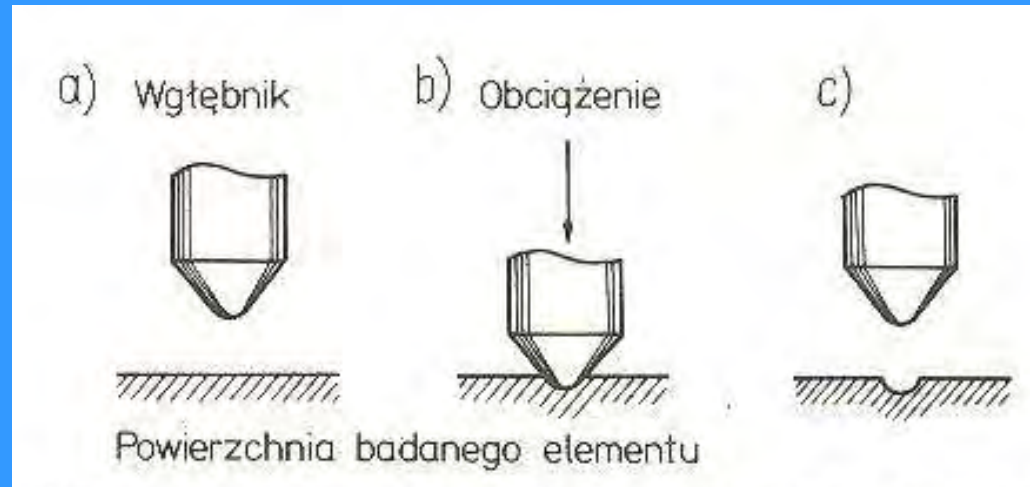
Umowna granica plastyczności i wytrzymałość na rozciąganie są miarami wytrzymałości materiału

Wydłużenie i przewężenie są miarami ciągliwości

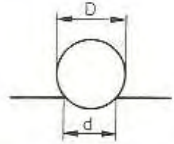

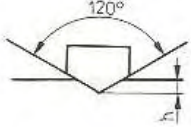

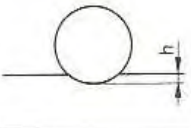

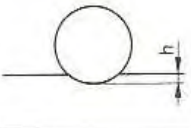

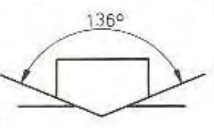
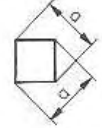


Twierdzenie

Twierdzeniem nazywamy opór materiału przeciw wciskaniu obiektu nazywanego wgłębniakiem (Blich.4.17)



Podstawowe metody pomiaru twardości (Blich.Tab4.2)

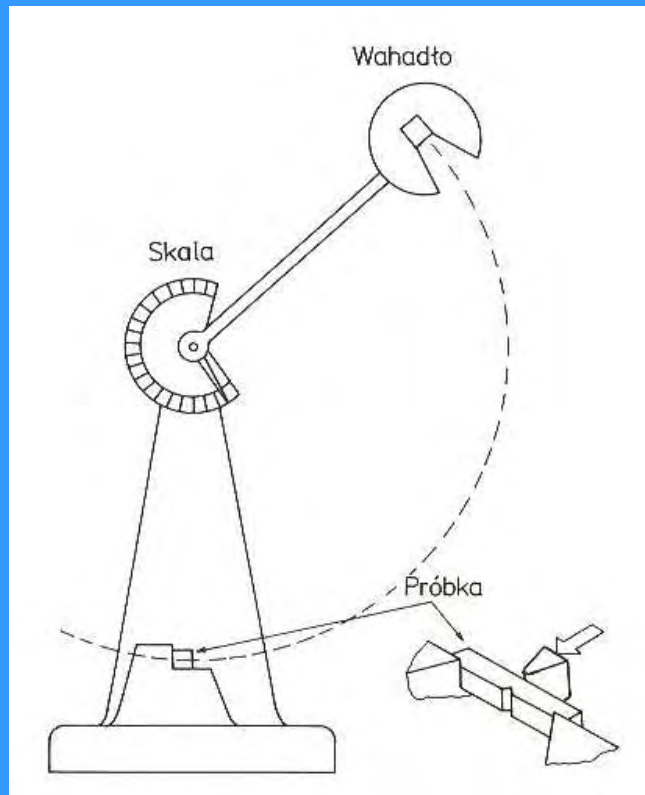
Metoda	Wgłębnik	Kształt odcisku		Obciążenie, N	Wzór do obliczenia twardości*
		widok z boku	widok z góry		
1	2	3	4	5	6
Brinella	kulka z węgla wольfram o średnicy 10; 5; 2,5 lub 1 mm			F	$HBW = 0,102 \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Rockwella A	stożek diamentowy			588,4	HRA = 100 - 500 h
C	stożek diamentowy			1471	HRC = 100 - 500 h
B	kulka o średnicy 1,5875 mm			980,7	HRB = 130 - 500 h
Vickersa	piramida diamentowa			F	$HV = \frac{0,1891 F}{a^2}$

* Występującą we wzorach wielkość odcisków należy podawać w mm.

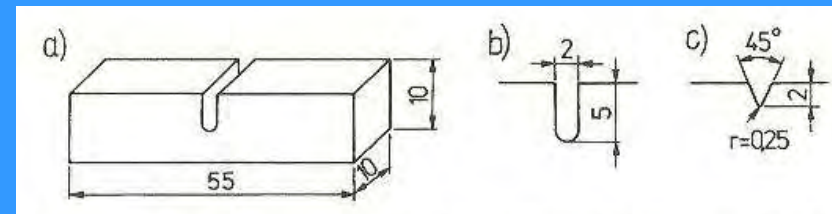
Udarność

Próba Charpy'ego

Schemat młota Charpy'ego
do badania udarności (Blich.4.18)



Kształt próbki udarnościowej
i stosowane rodzaje karbów
(Blich.4.19)



a) próbka z karbem Charpy'ego U

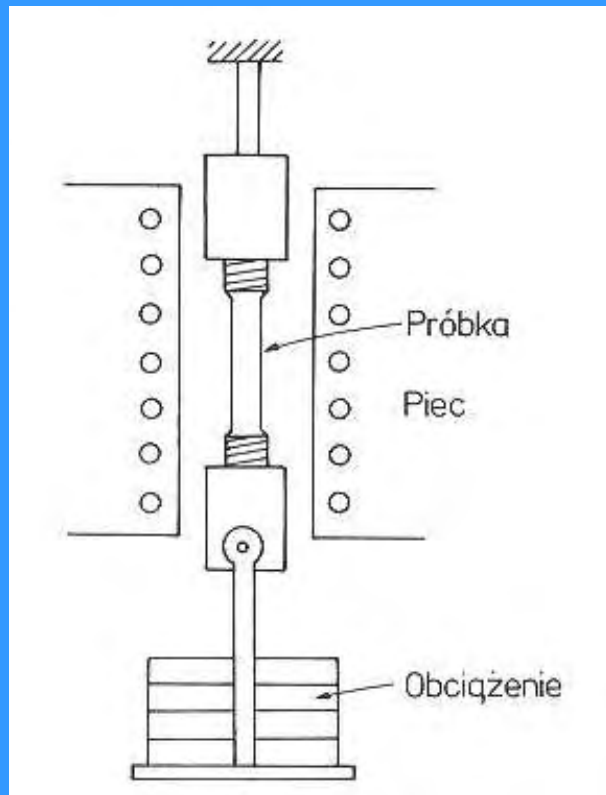
b) karb Charpy'ego U

c) karb Charpy'ego V

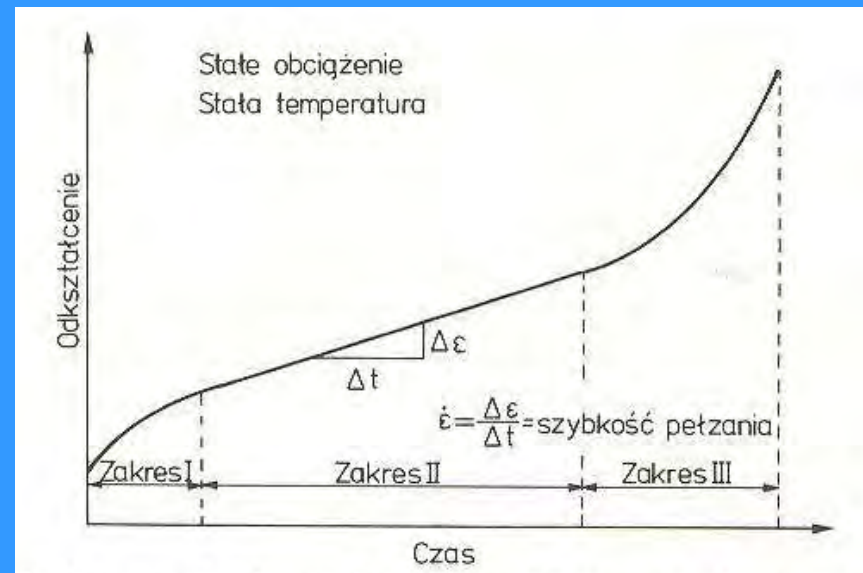
Pełzanie

Pełzaniem materiału nazywamy zwiększające się z upływem czasu odkształcenie plastyczne pod wpływem stałego obciążenia

Schemat urządzenia do badania odporności na pełzanie (Blich.4.28)



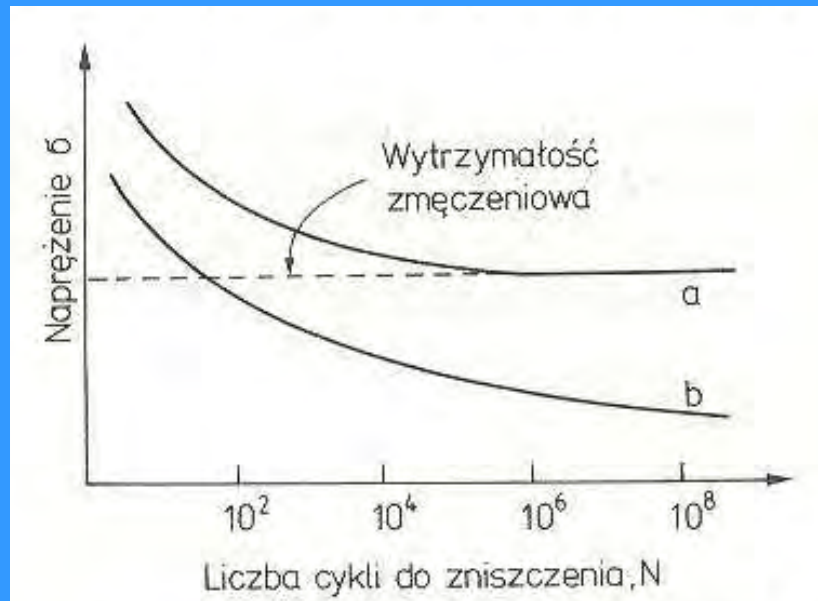
Krzywa pełzania; odkształcenie=f(czasu) pod stałym obciążeniem i w stałej temperaturze (Blich.4.29)



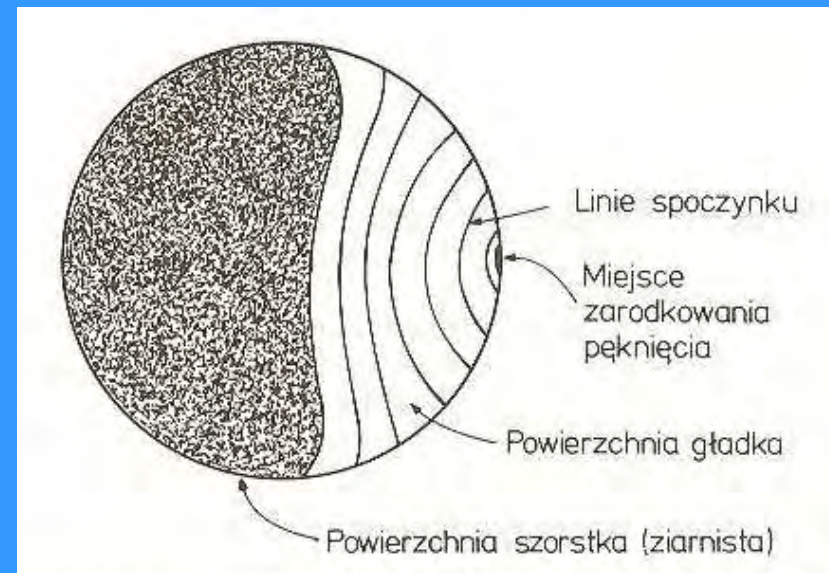
Zmęczenie

Pękanie materiału pod wpływem cyklicznie zmieniających się naprężeń nazywamy zmęczeniem

Krzywa naprężenie-liczba cykli do zniszczenia (krzywa Wöhlera)
np. dla stali (a); metali nieżelaznych (b)
(Blich.4.26)



Schemat powierzchni przełomu zmęczeniowego (Blich.4.27)



Formy makroskopowego opisu krzywej umocnienia

Formuła Ludwika

$\sigma = k \varphi^n$ ujęcie za pomocą paraboli; k, n - stałe

Wzór Ludwika-Hollomona: $\sigma - \sigma_0 = k\varphi^n$

gdzie: σ_0, k, n - stałe

σ - naprężenie

φ - odkształcenie rzeczywiste $\varphi = \ln(A_0/A)$

w układzie $\log \sigma - \log \varphi$ przewiduje liniową zależność pomiędzy naprężeniem a odkształceniem

Równanie Krupkowskiego: $\sigma = k (z_1 + 1 - z_1/z)^m$

gdzie: $z = 1 - (A/A_0)$

A_0, A - odpowiednio: początkowa i bieżąca wartość przekroju poprzecznego

K, z_1 - stałe

przy przyjęciu wydłużenia logarytmicznego

równanie Swifta: $\sigma = K / (\varphi - \varphi_0)^m$

4. Defekty struktury krystalicznej

roztwory stałe, defekty punktowe, liniowe, powierzchniowe

Roztwór stały stanowi jednorodną fazę o wiązaniu metalicznym i strukturze krystalicznej o właściwościach typowo metalicznych

Podstawowe – gdy rozpuszczalnikiem jest pierwiastek będący składnikiem stopu

Wtórne – gdy rozpuszczalnikiem jest faza międzymetaliczna

Roztwory stałe podstawowe zachowują strukturę sieciową jak czysty metal rozpuszczalnika

W zależności od zakresu stężenia składnika rozpuszczonego

-graniczne

-ciągłe

Warunki Hume-Rothery

tworzenia roztworów stałych ciągłych

- taki sam typ struktury krystalicznej
- mniejsza niż 15% różnica w promieniach atomowych
- zbliżona elektroujemność (zdolność do przyciągania elektronów)
- taka sama wartościowość

Jeżeli powyższe warunki nie są spełnione, możliwa jest jedynie rozpuszczalność ograniczona

- Roztwory stałe międzywęzłowe (ekspansja sieci)
- Roztwory stałe różnowęzłowe (ekspansja sieci lub kontrakcja sieci)

Nadstruktury

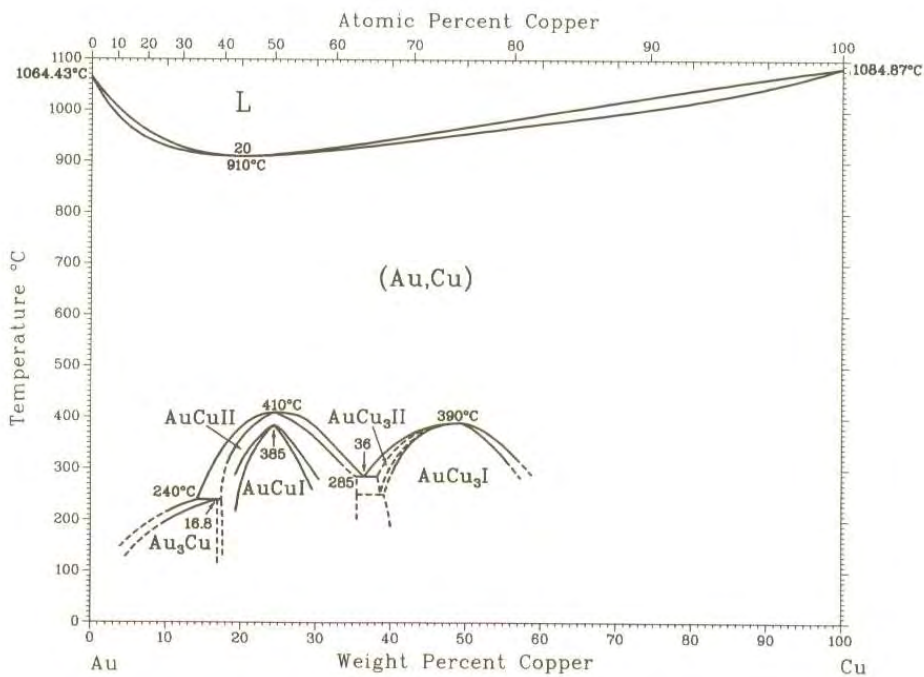
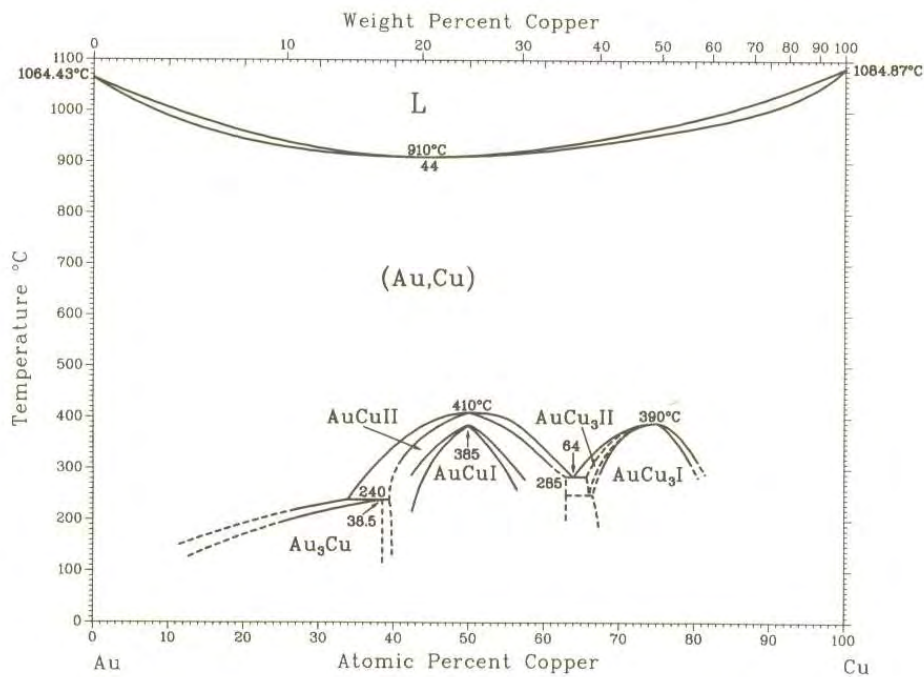
Roztwór stały charakteryzujący się prawidłowym rozkładem atomów obydwu składników w sieci, jest nazywany nadstrukturą i powstaje w wyniku przemiany

nieporządek ↔ porządek

Nadstrukturom można przypisać wzory AB, AB₃ lub A₃B odpowiadające ilościowym stosunkom atomowym A i B równym 1:1, 1:3, 3:1

Przykłady nadstruktur typów AB i AB₃ (Dobrz. Nowy Tab.3.10)

Typ nadstruktury	Przykłady nadstruktur	Typ sieci krystalograficznej
AB	AuCu, AgPt, CoPt, NiPt, FePt, MnPt	L1 ₀
	AgZn, CuZn, CuBe, FeCo, FeCr, NiAl, AlFe	B2 (L2)
	CdMg, NiSn, NiSb, AsNi, AuSn, FeSn	B8 ₁
AB ₃	AuCu ₃ , AlNi ₃ , FeNi ₃ , MnNi ₃ , PtCu ₃ , FePd ₃ , PdCu ₃ , AgPt ₃	L1 ₂
	AlCu ₃ , AlFe ₃ , SiFe ₃	L2 ₁ (D0 ₃)
	CdMg ₃ , WCo ₃ , MgCd ₃ , SnNi ₃ , MoCo ₃ , ThAl ₃	D0 ₁₉



Au-Cu Crystal Structure Data

Phase	Composition, at.% Cu	Pearson symbol	Space group	Strukturbericht designation	Prototype
(Au,Cu)	0 to 100	<i>cF4</i>	<i>Fm</i> $\bar{3}$ <i>m</i>	A1	Cu
Au ₃ Cu	10 to 38.5	<i>cP4</i>	<i>Pm</i> $\bar{3}$ <i>m</i>	L1 ₂	AuCu ₃
AuCu(I)	42 to 57	<i>tP4</i>	<i>P4/mmm</i>	L1 ₀	AuCu
AuCu(II)	38.5 to 63	<i>oI40</i>	<i>Imma</i>	...	AuCu(II)
AuCu ₃ (I)	67 to 81	<i>cP4</i>	<i>Pm</i> $\bar{3}$ <i>m</i>	L1 ₂	AuCu ₃
AuCu ₃ (II)	66 to ?	<i>tP28</i>	<i>P</i> $\bar{4}$ <i>mm</i>	...	Cu ₃ Pd

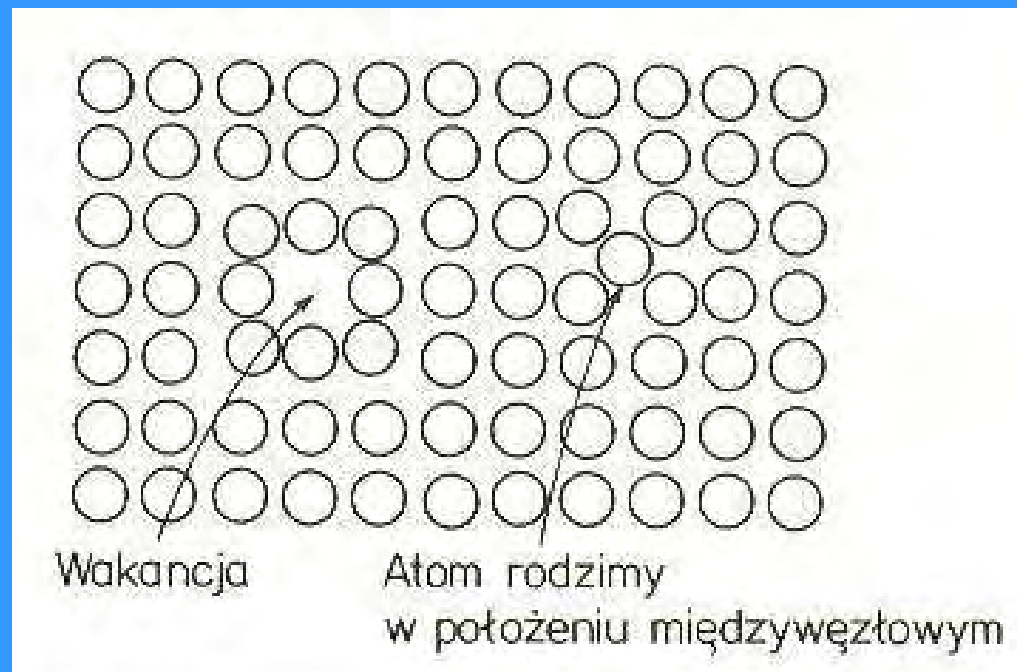
Note: Lattice parameter data can be found in [59Hir], [59Wri], [60Fli], [66Lu1], [66Lu2], [67Bje], and [68Oka].

(Massalski str. 360 i Tab. 361)

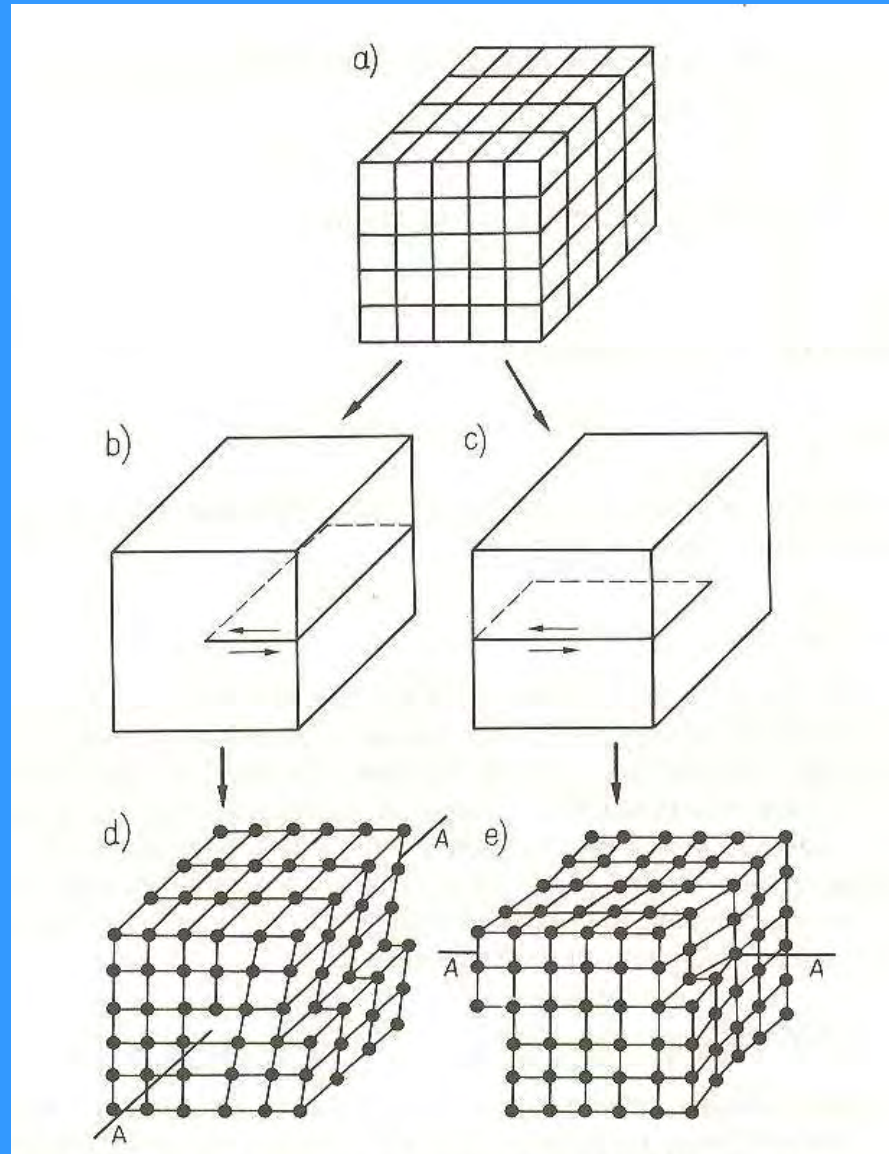
Defekty struktury krystalicznej

- **Punktowe** > wakancje
- **Liniiowe** > dyslokacje
- **Powierzchniowe** > granice ziaren

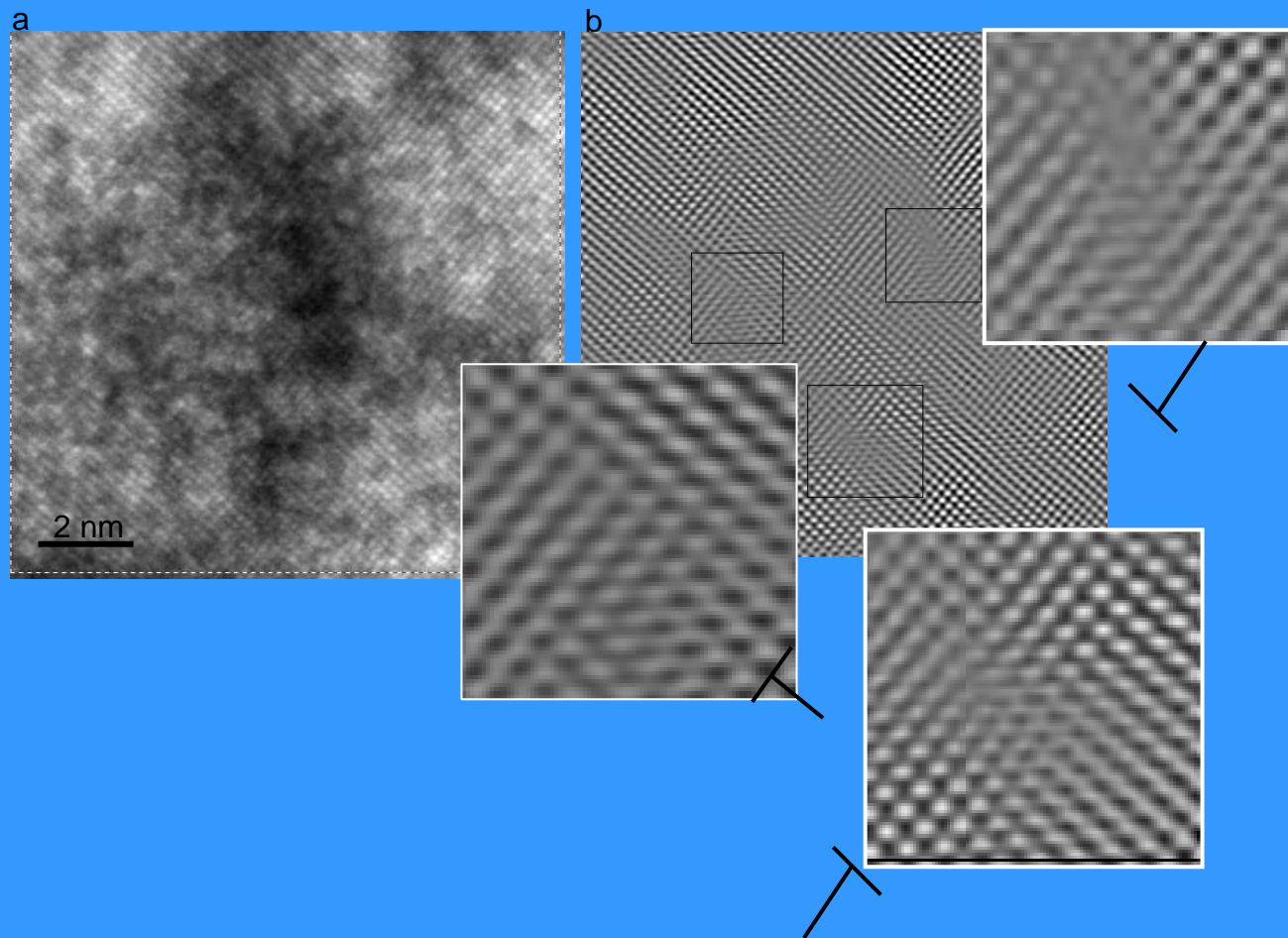
Defekty punktowe (Blich.5.7)



Defekty liniowe – dyslokacje (Blich.5.22)

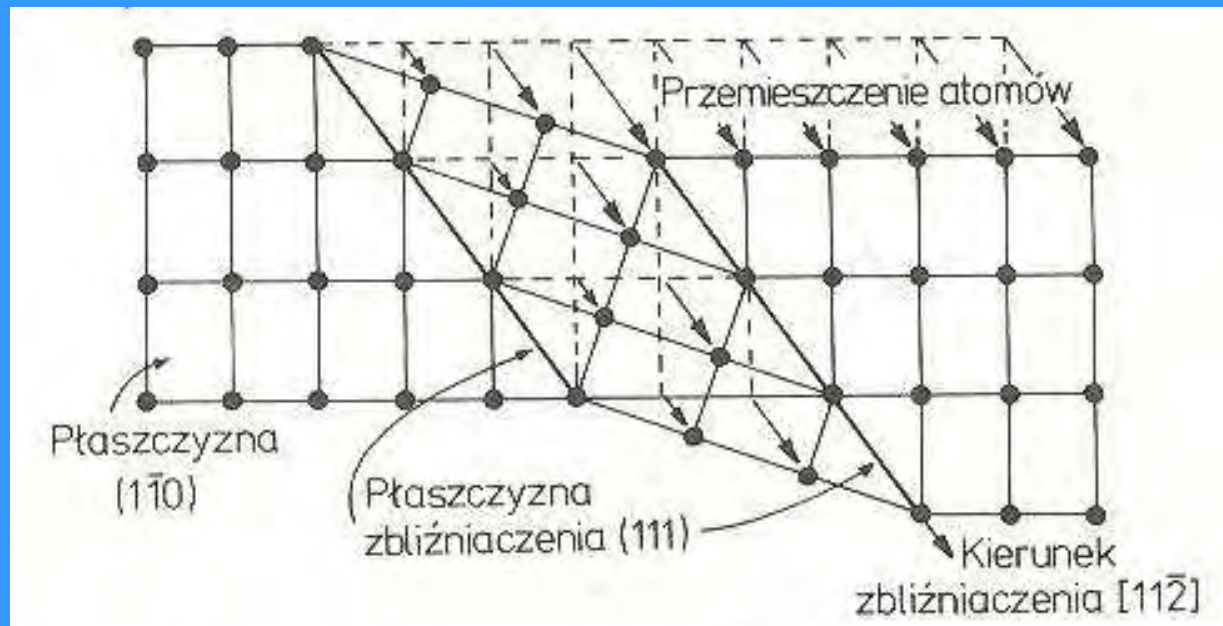


TEM

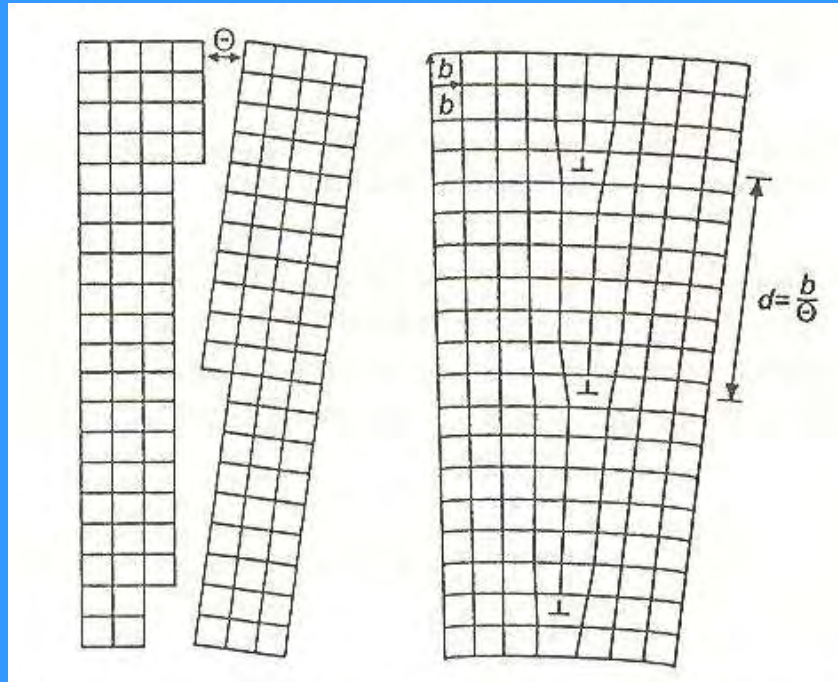


Defekty powierzchniowe – granice ziaren

bliźniaki; błędy ułożenia; granice wąskokątowe;
granice szerokokątowe (Blich.5.35)

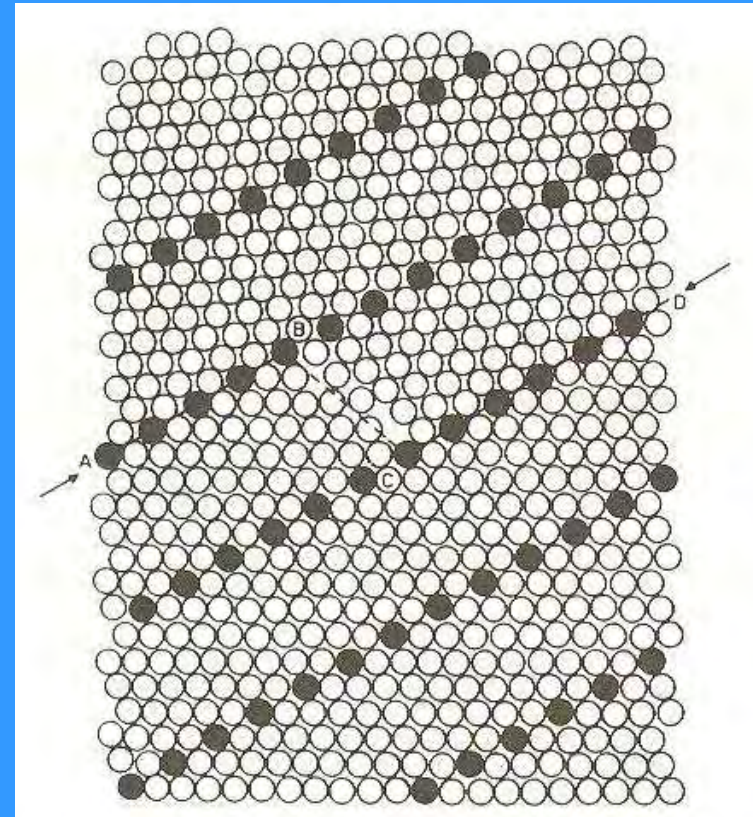


(Blich.5.37)



Schemat wąskokatowej granicy nachylonej, składającej się z izolowanych dyslokacji

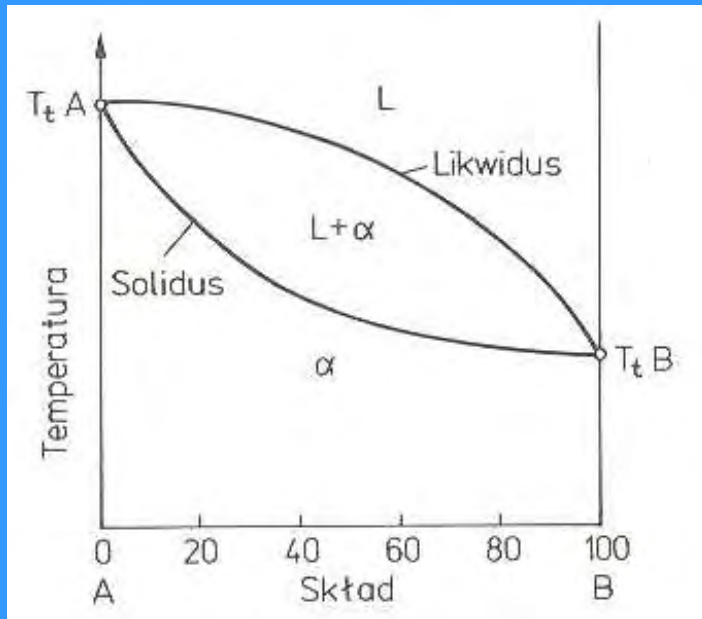
(Blich.5.39)



Dwuwymiarowy model granicy ziarn struktury RPC o dezorientacji 50°C wokół kierunku [110]. Ślad granicy wyznacza linia ABCD. Kółka zaczernione oznaczają atomy tworzące „supersieć”.

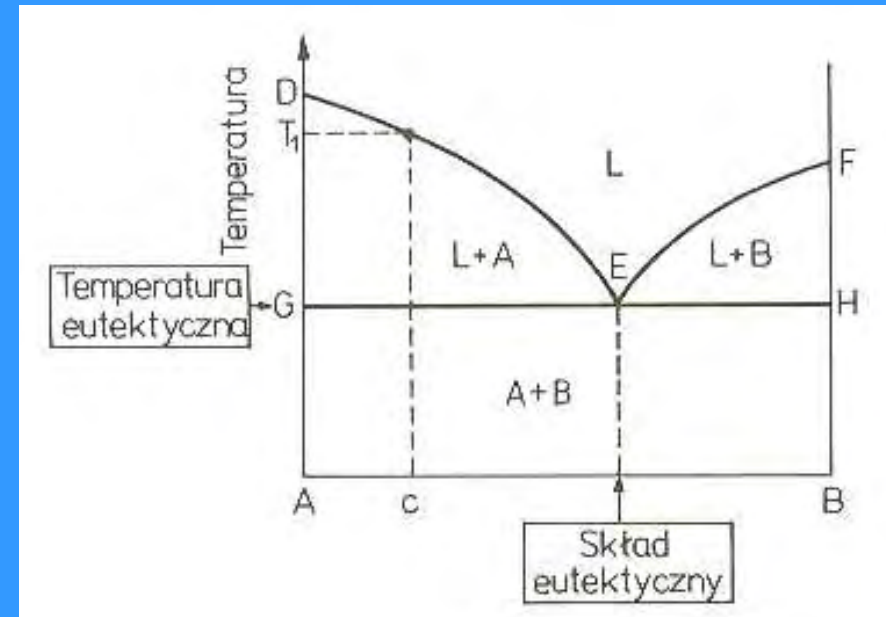
5. Wykresy fazowe

(Blich.6.3)



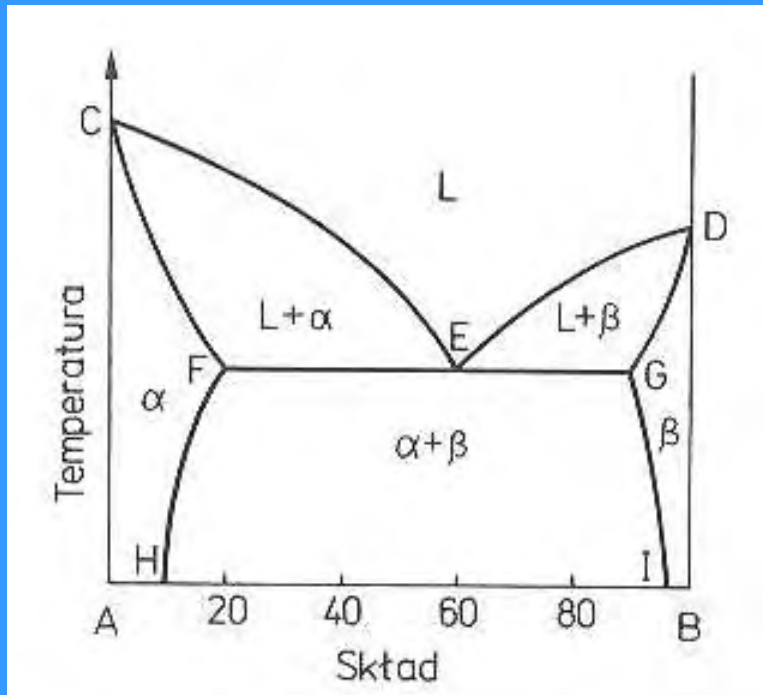
Wykres fazowy dla składników o nieograniczonej rozpuszczalności wzajemnej w stanie stałym

(Blich.6.10)



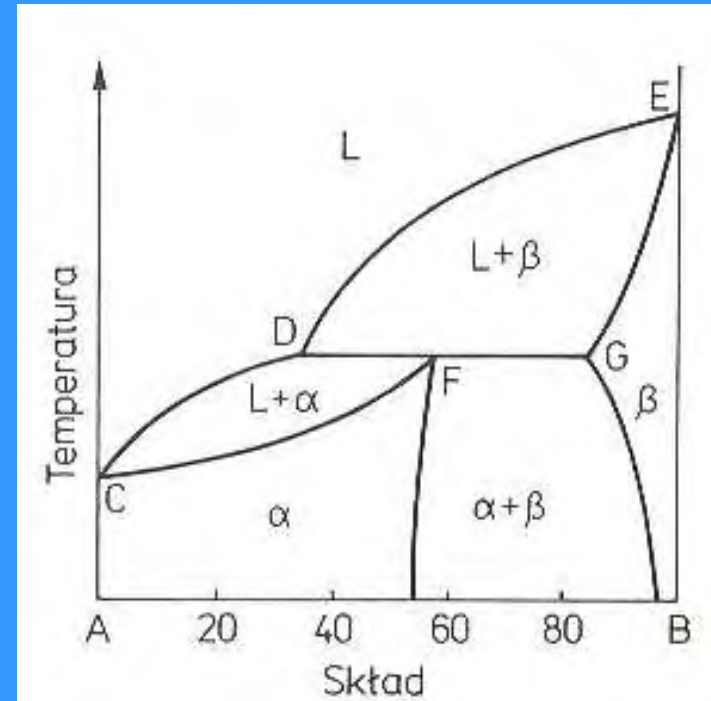
Wykres z przemianą eutektyczną i całkowitym brakiem rozpuszczalności składników w stanie stałym

(Blich.6.14)

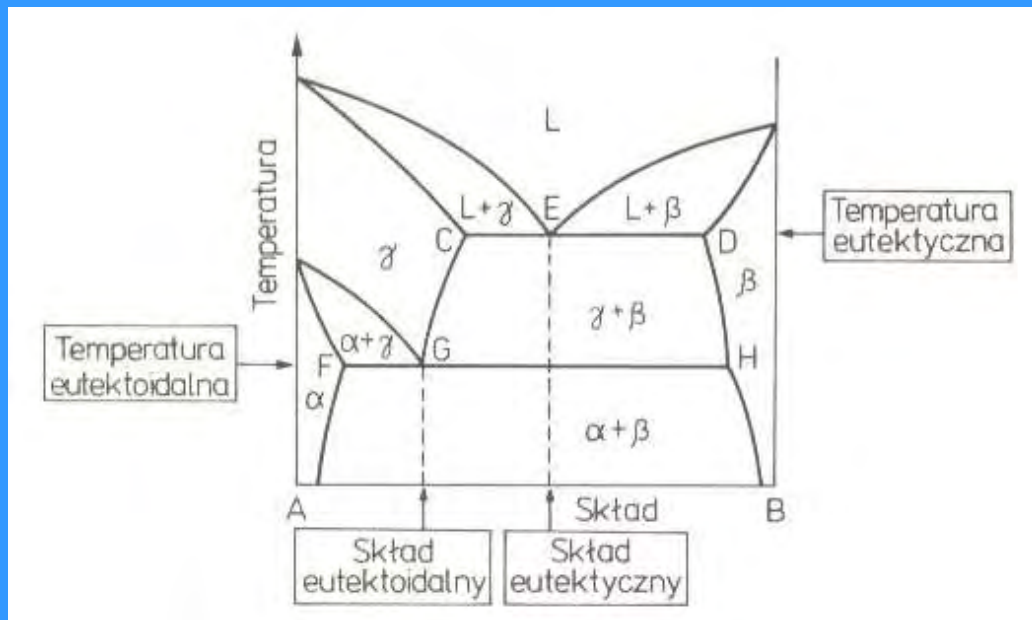


Wykres fazowy z przemianą eutektyczną dla składników tworzących w stanie stałym roztwory

(Blich.6.18)

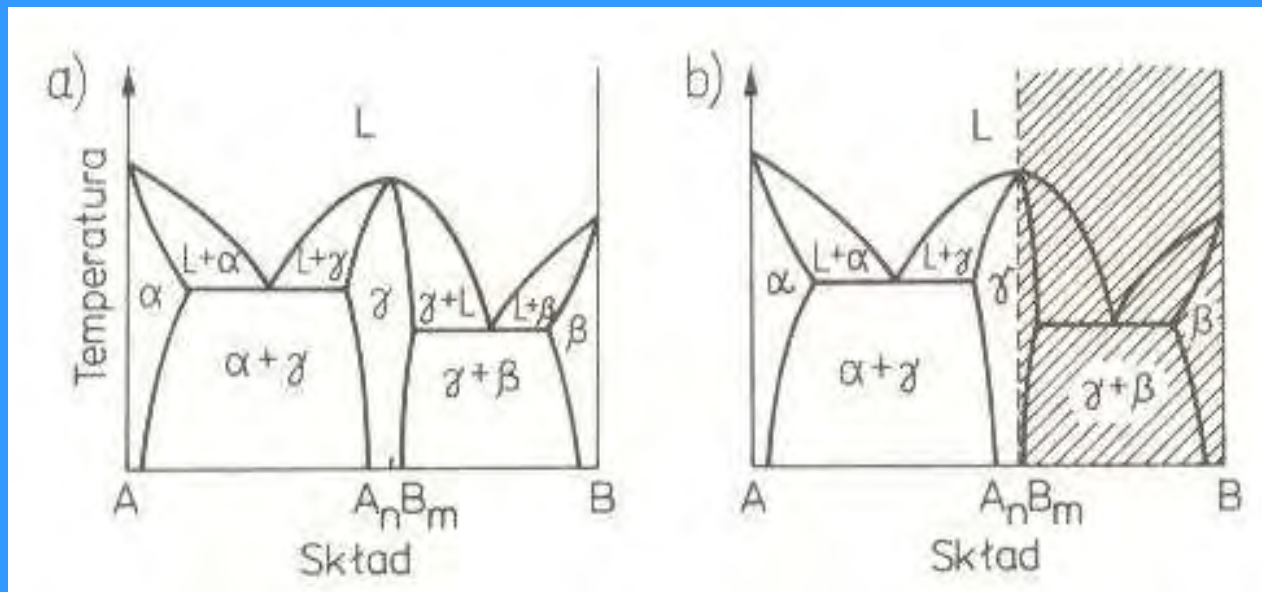


Wykres fazowy z przemianą perytektyczną



(Blich.6.20)

Wykres fazowy z przemianą eutektoidalną



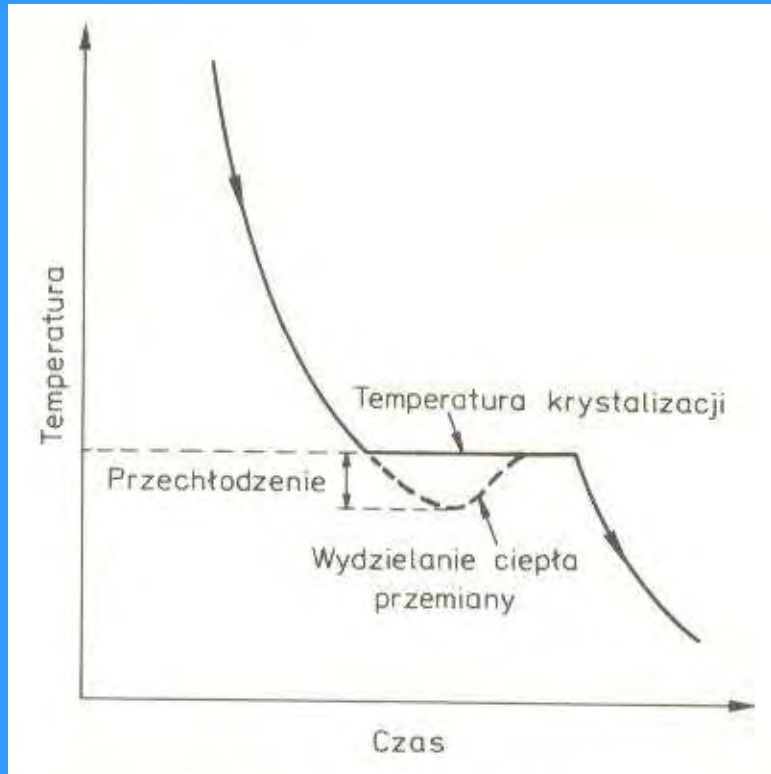
(Blich.6.22)

Wykres fazowy z trwałą fazą pośrednią A_nB_m

6. Zmiany strukturalne

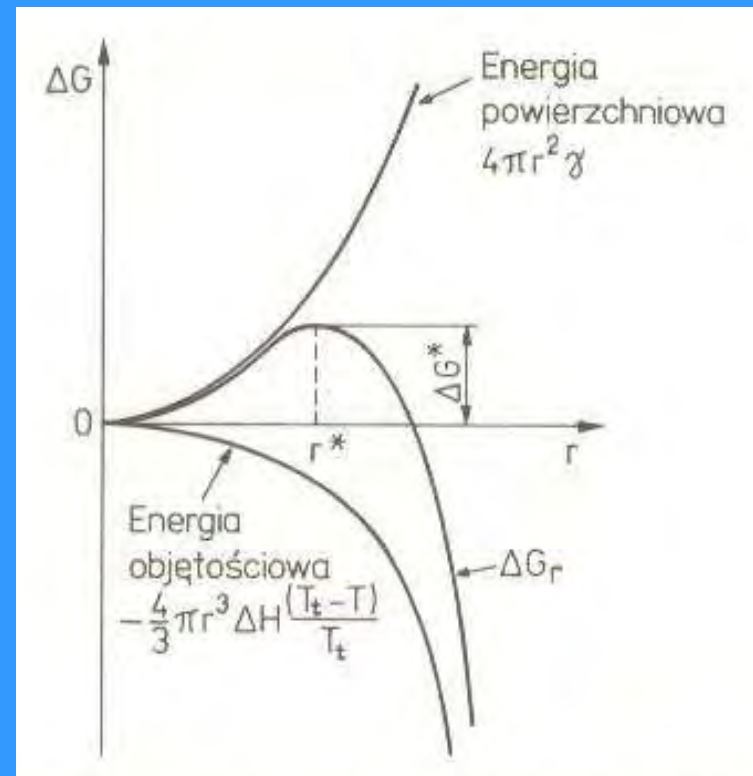
- **krystalizacja z fazy ciekłej, przechłodzenie stężeniowe,**
- **umocnienie odkształceniowe, rekrytalizacja, tekstura,**
- **anizotropia plastyczna,**
- **hartowanie, przesycaenie, starzenie,**
- **mechanizmy umocnienia tworzyw metalicznych**
- **metody otrzymywania monokryształów**

krystalizacja z fazy ciekłej, przechłodzenie stężeniowe (Blich.7.3)



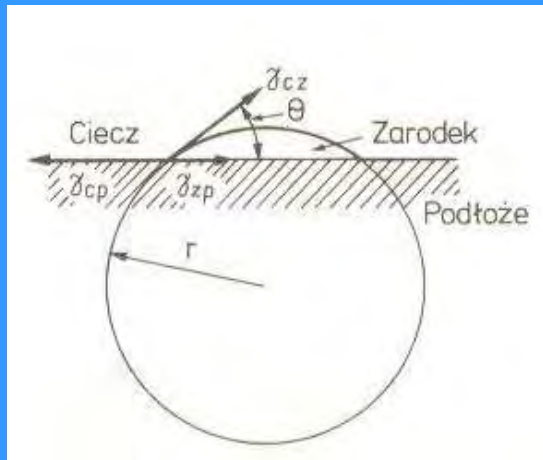
Krzywa chłodzenia czystego metalu z zaznaczeniem możliwego przechłodzenia

zarodkowanie jednorodne (Blich.7.7)



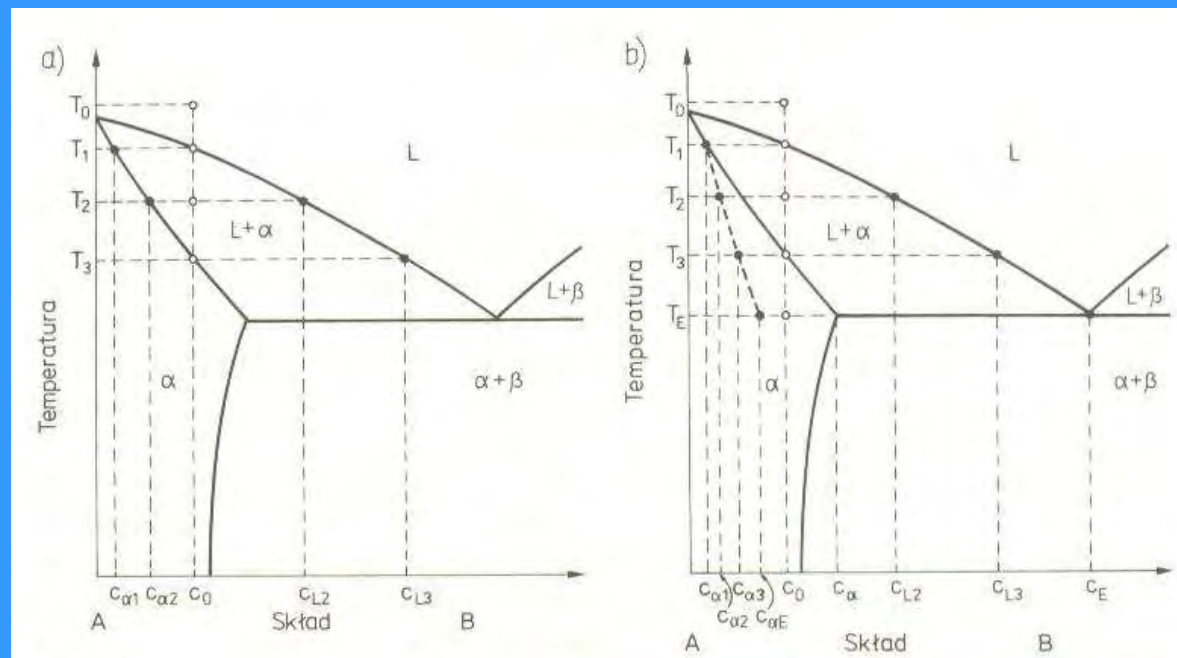
Zmiana entalpii swobodnej układu ΔG podczas tworzenia kulistego zarodka

Zarodkowanie niejednorodne (Blich.7.9)

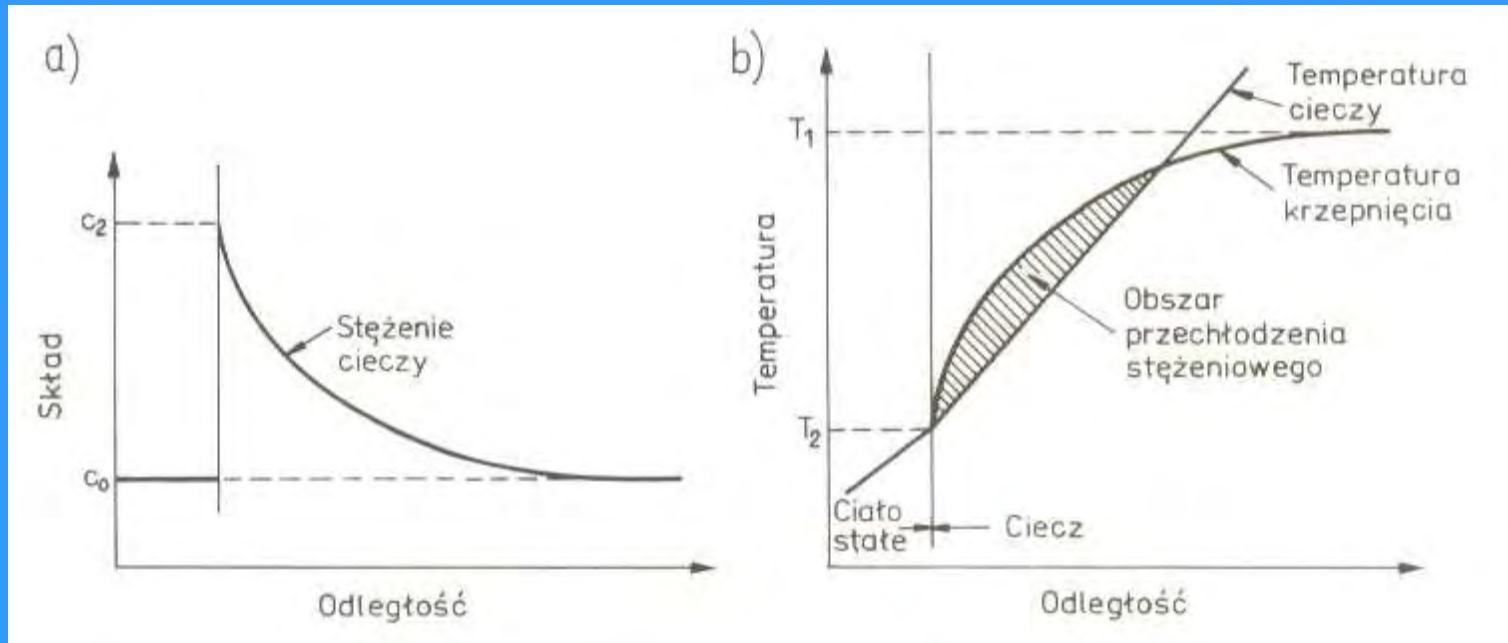


*Zarodkowanie niejednorodne
na płaskim podłożu*

Krystalizacja równowagowa i nierównowagowa (Blich.7.12)

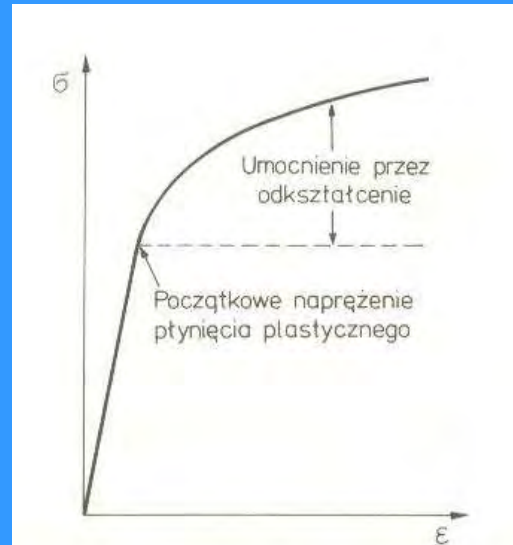
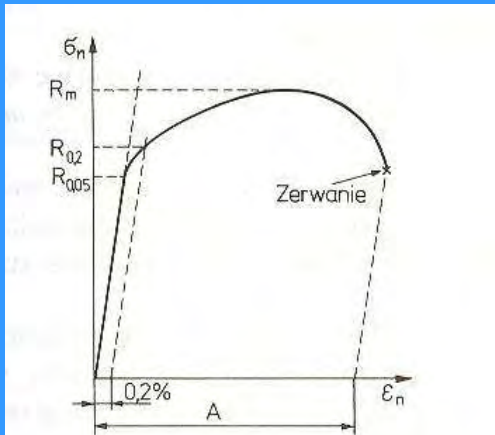


Przechłodzenie stężeniowe (Blich.7.16)



Zmiana: a) składu roztworu ciekłego, b) temperatury cieczy i krzepnięcia przy zmianie odległości od frontu krystalizacji

- **umocnienie odkształceniowe, rekrytalizacja, tekstura** (Blich.4.13, 5.44)



Moduły sprężystości

Prawo Hooke'a $\sigma = E \times \epsilon$

E – moduł Younga; miara oporu stawianego przez sąsiednie atomy podczas zwiększania między nimi odległości

Moduł sprężystości i temperatura topnienia rosną wraz ze wzrostem siły wiązań

Moduł sprężystości określa sztywność materiału

E jest właściwością anizotropową i zależy od wiązań, składu i struktury

Dla małych odkształceń postaciowych: $\tau = G \times \gamma$

G – moduł Kirchoffa lub wsp. sprężystości poprzecznej

Wielkości określone w próbie rozciągania

-umowna granica sprężystości $R_{0.05} = F_{0.05} / S_0$

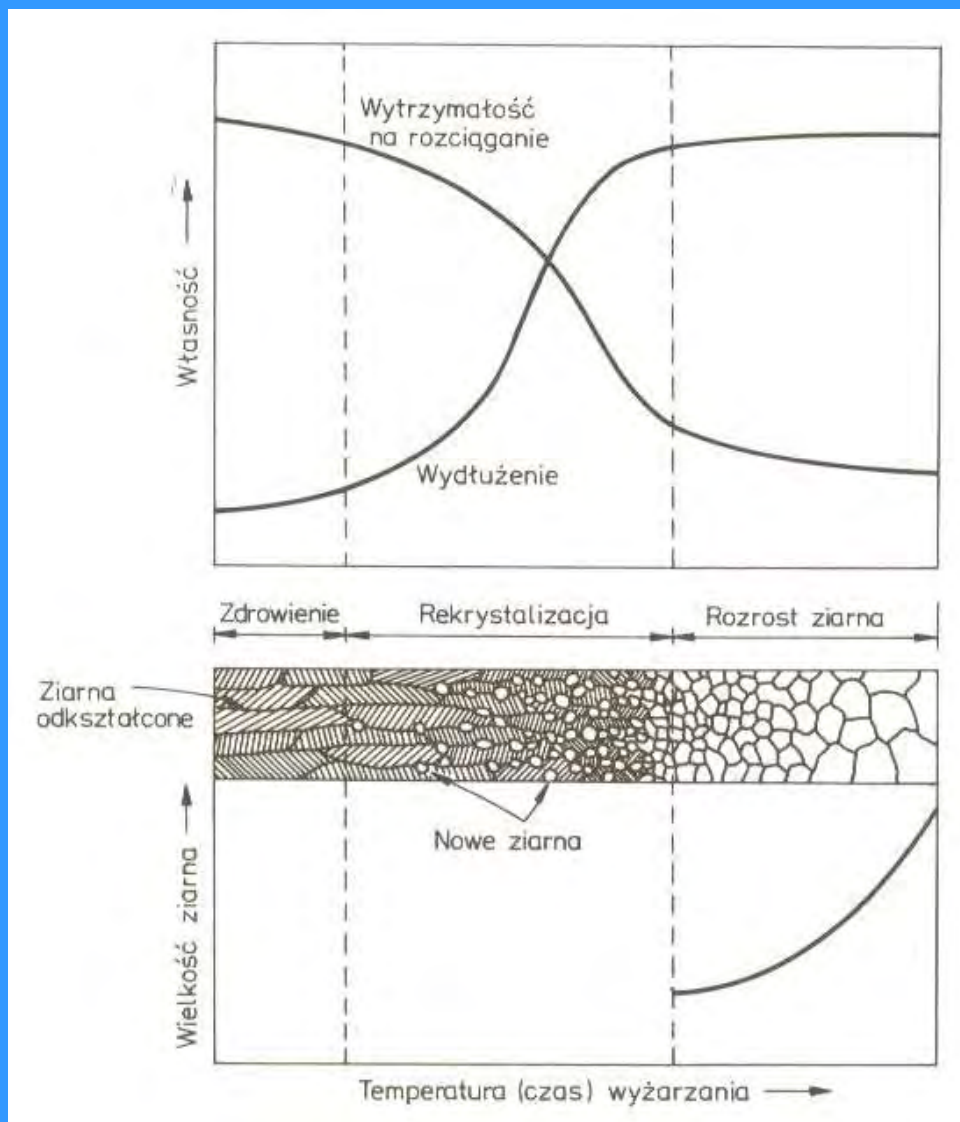
-umowna granica plastyczności $R_{0.2} = F_{0.2} / S_0$

-wytrzymałość na rozciąganie $R_m = F_m / S_0$

-wydłużenie procentowe $A = (l_n - l_0 / l_0) \times 100\%$

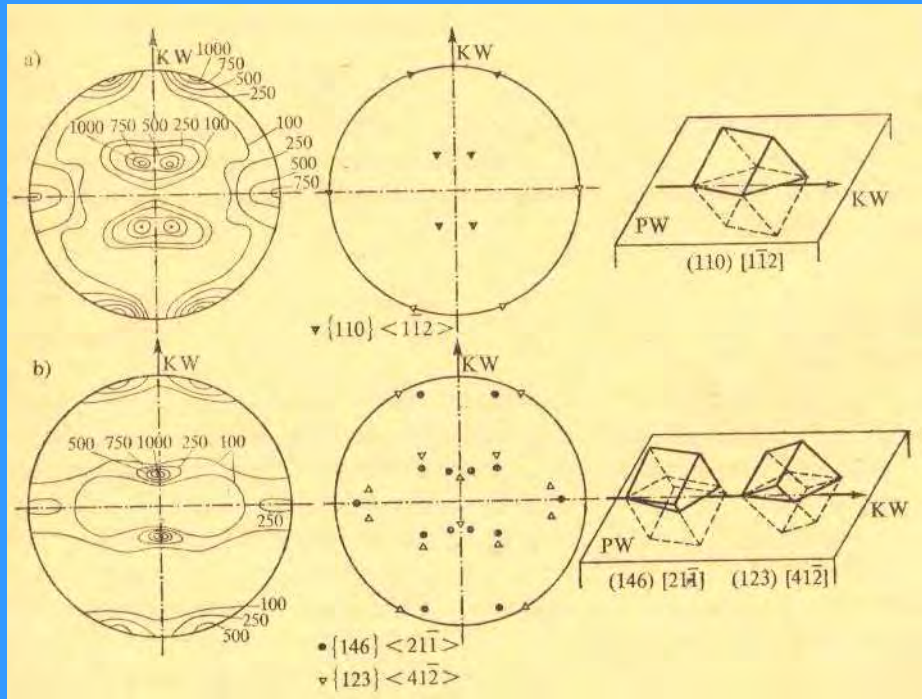
-przewężenie procentowe $Z = (S_n - S_0 / S_0) \times 100\%$

rekrytalizacja (Blich.7.50)

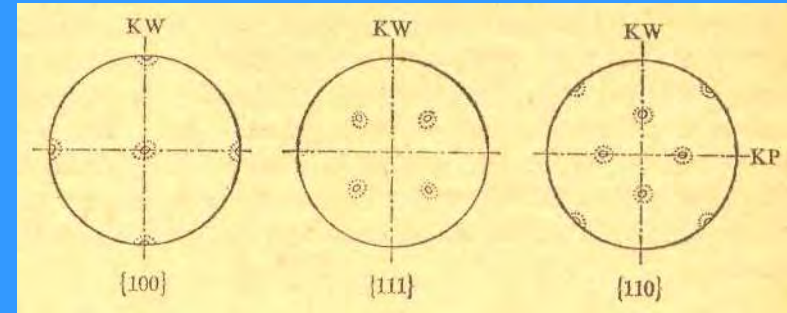


Schematyczne przedstawienie wpływu temperatury wyżarzania materiału odkształconego na wytrzymałość na rozciąganie, wydłużenie oraz mikrostrukturę

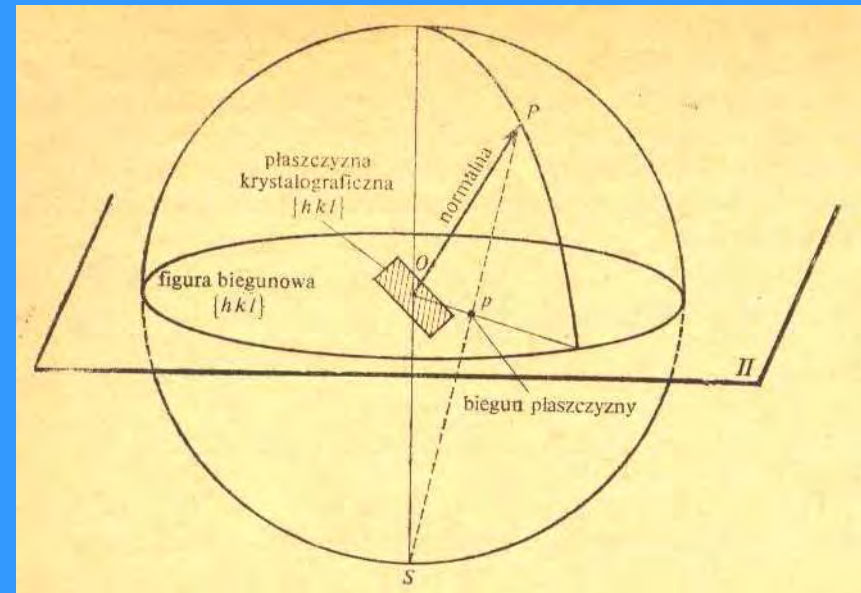
tekstura krystalograficzna (Coulomb 38, 7, 5)



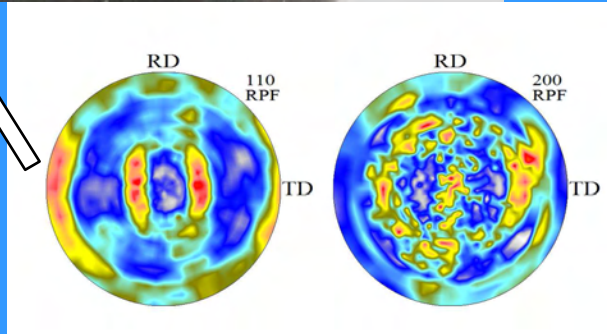
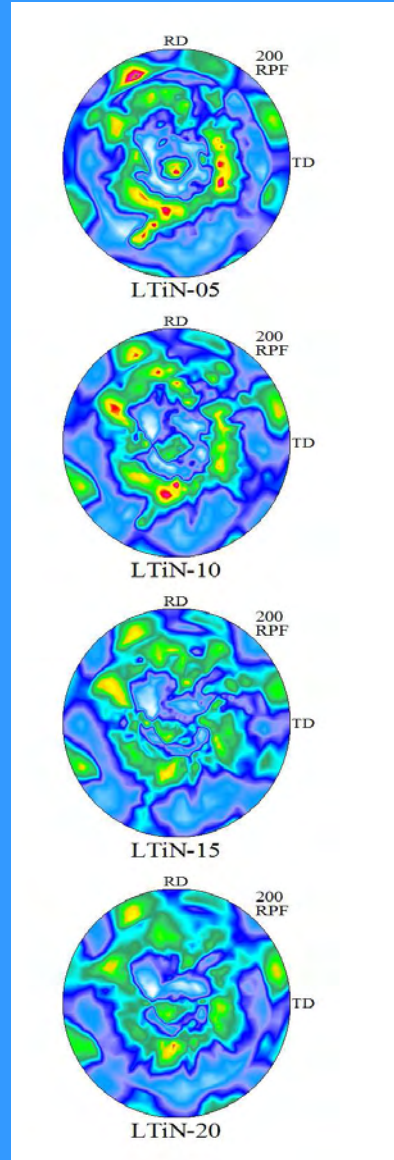
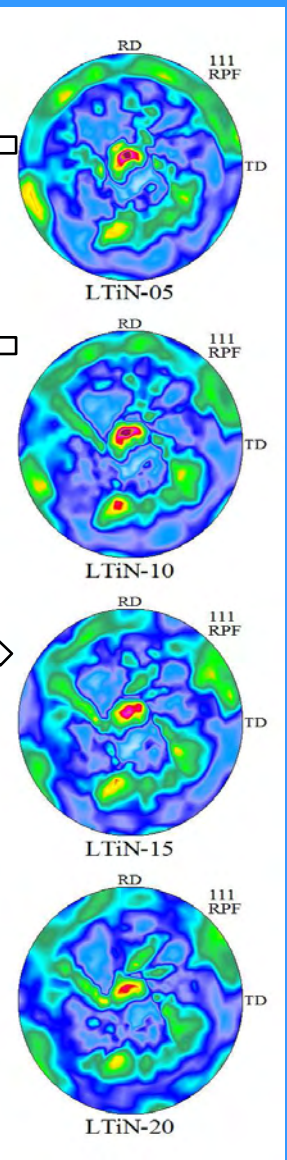
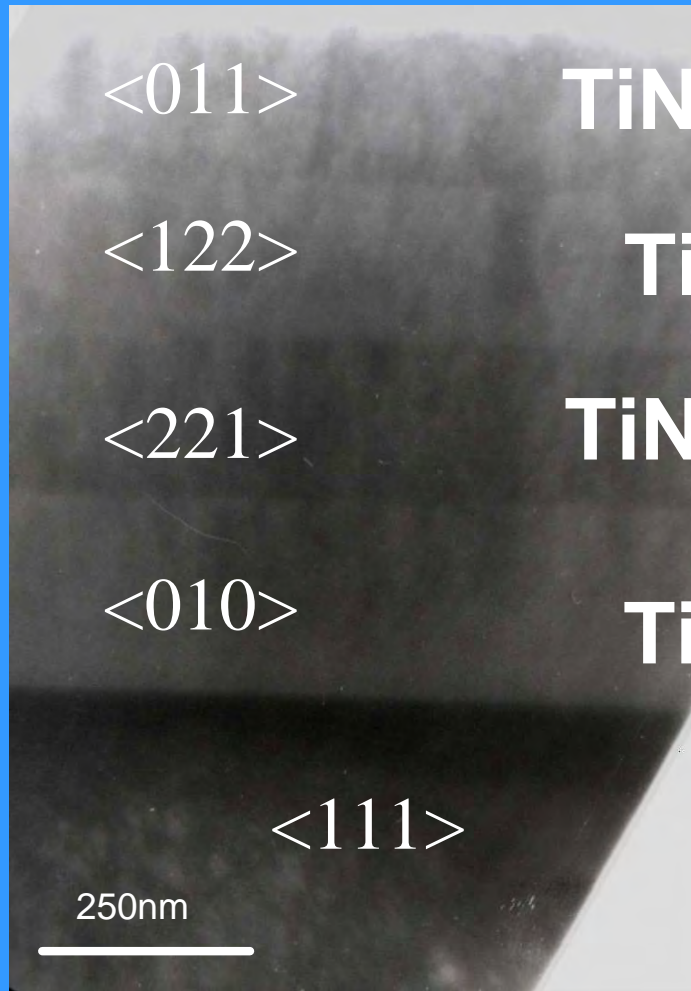
Figury biegunowe $\{111\}$ rzeczywiste, orientacje idealne i ułożenie komórek elementarnych stopu o sieci Al walcowanego do zgniotu 95%: a) tekstura typu mosiądzu, b) tekstura typu miedzi



Figury biegunowe tekstury sześciennej



Zasada rzutu stereograficznego



Ti/TiN- X-ray texture tomography



Anizotropia plastyczna

Krupkowski, Kawiński (1949)

$$K = (b_0/b_n)^2 - 1 / (h_0/h_n)^2 - 1$$

gdzie: b i h – wymiary przekroju poprzecznego próbek

Lankford (1950)

$$R = \ln (b_0/b_1) / \ln (h_0/h_1)$$

na próbce rozciągniętej do granicy wydłużenia
równomiernego

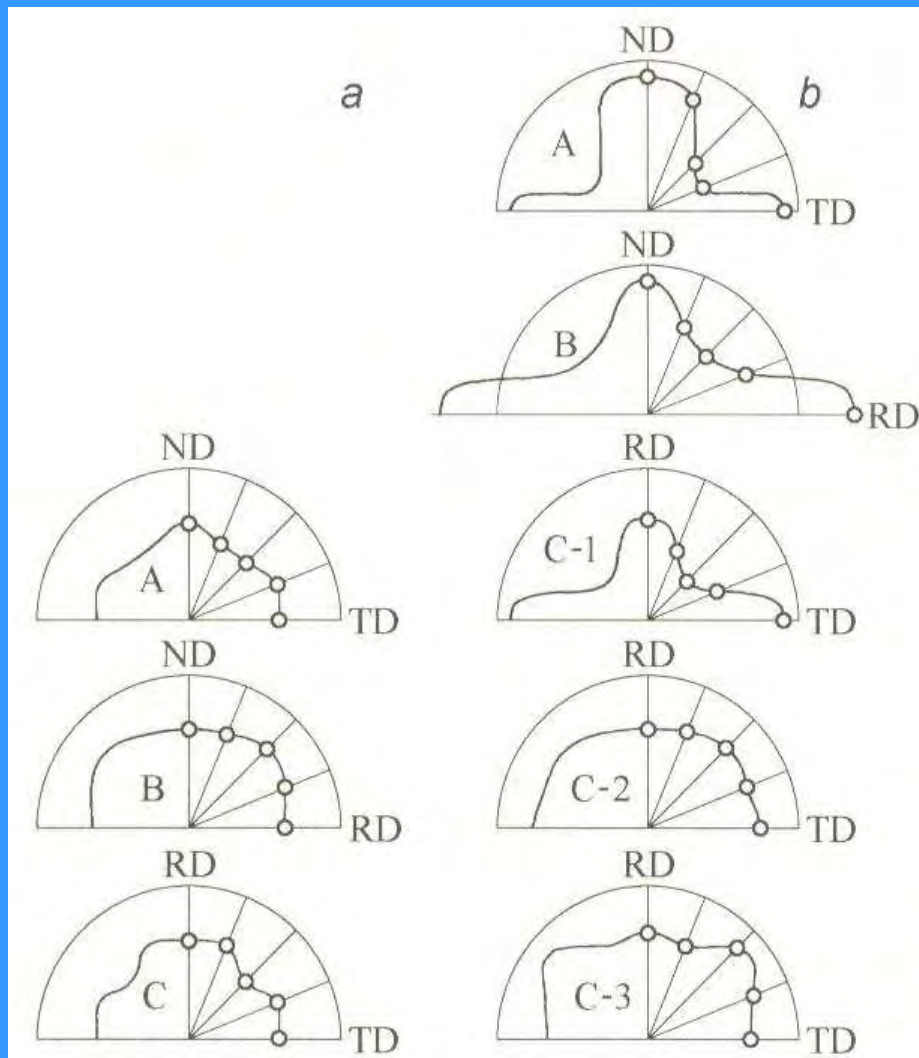
Truskowski

zapropozował ekstrapolację liniową K lub R jako funkcji
stopnia odkształcenia (K_0 , R_0)

Truskowski i Bojarski

zapropowowali ekstrapolację liniową K lub R

jako funkcję stopnia deformacji $K=f(z\%) \rightarrow K_0$ lub R_0

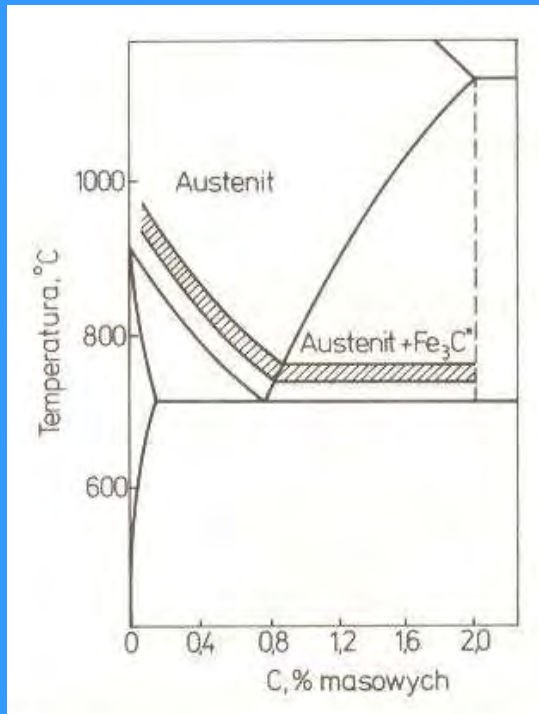


Mając wartości K_0 lub R_0 buduje się figury biegunowe anizotropii
(Trusz.4.7)

R_0 pole figures of hot rolled nickel (a) and hot rolled aluminium (b)

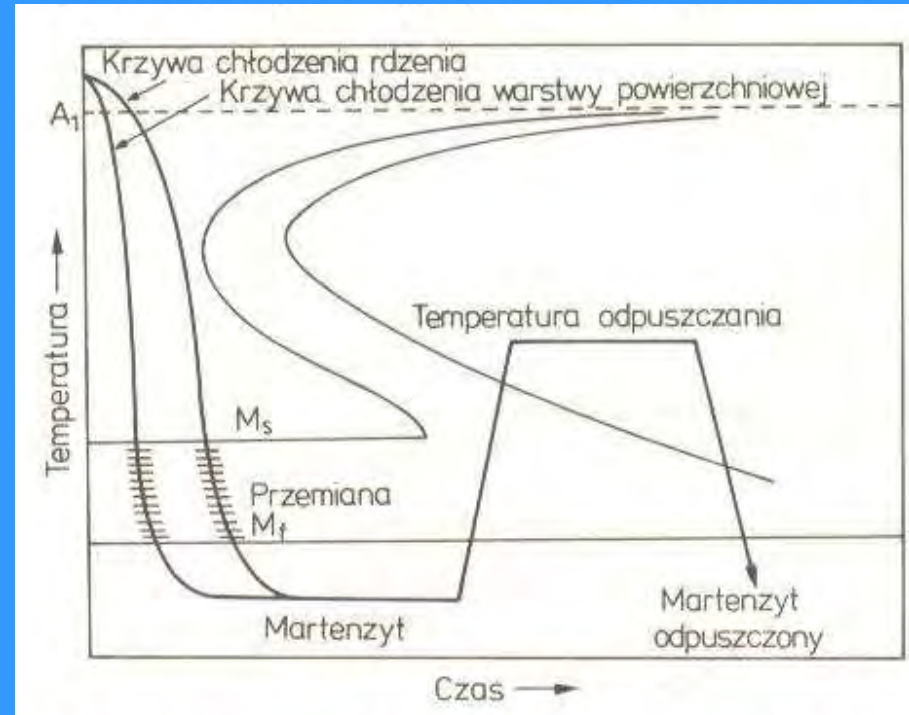
hartowanie

(Blich.7.32)



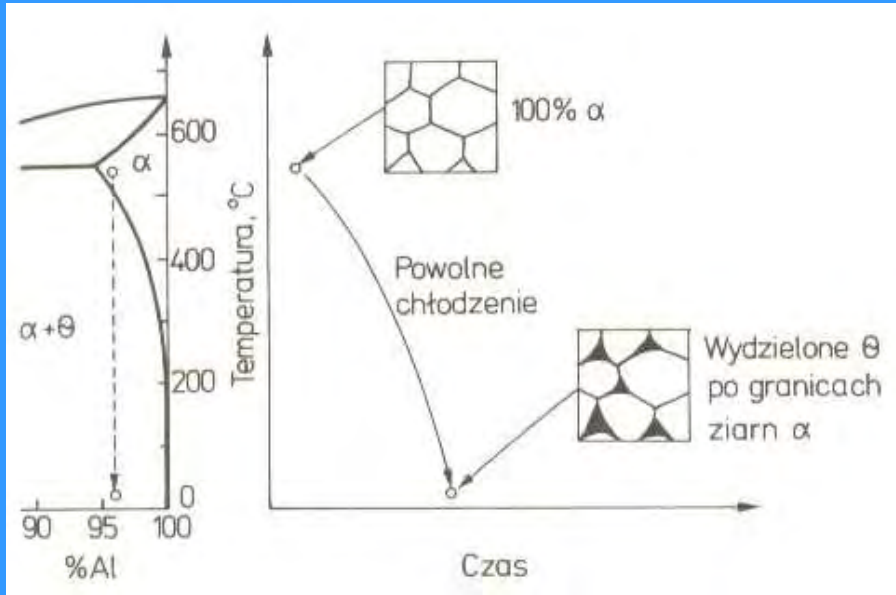
Zakres temperatur nagrzewania stali węglowych podczas hartowania

(Blich.7.33)



Schemat chłodzenia podczas hartowania zwykłego

przesycanie, starzenie

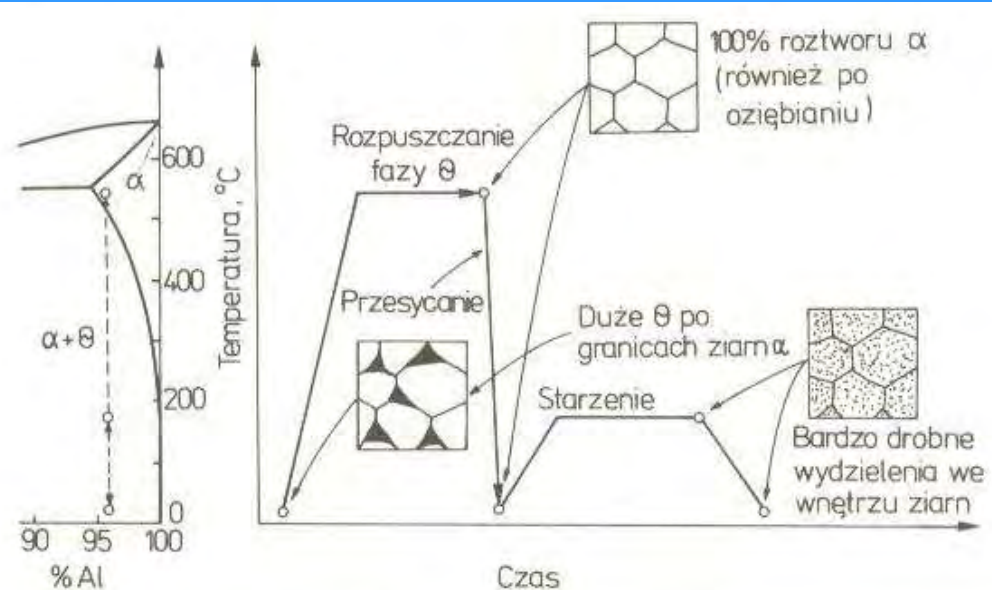


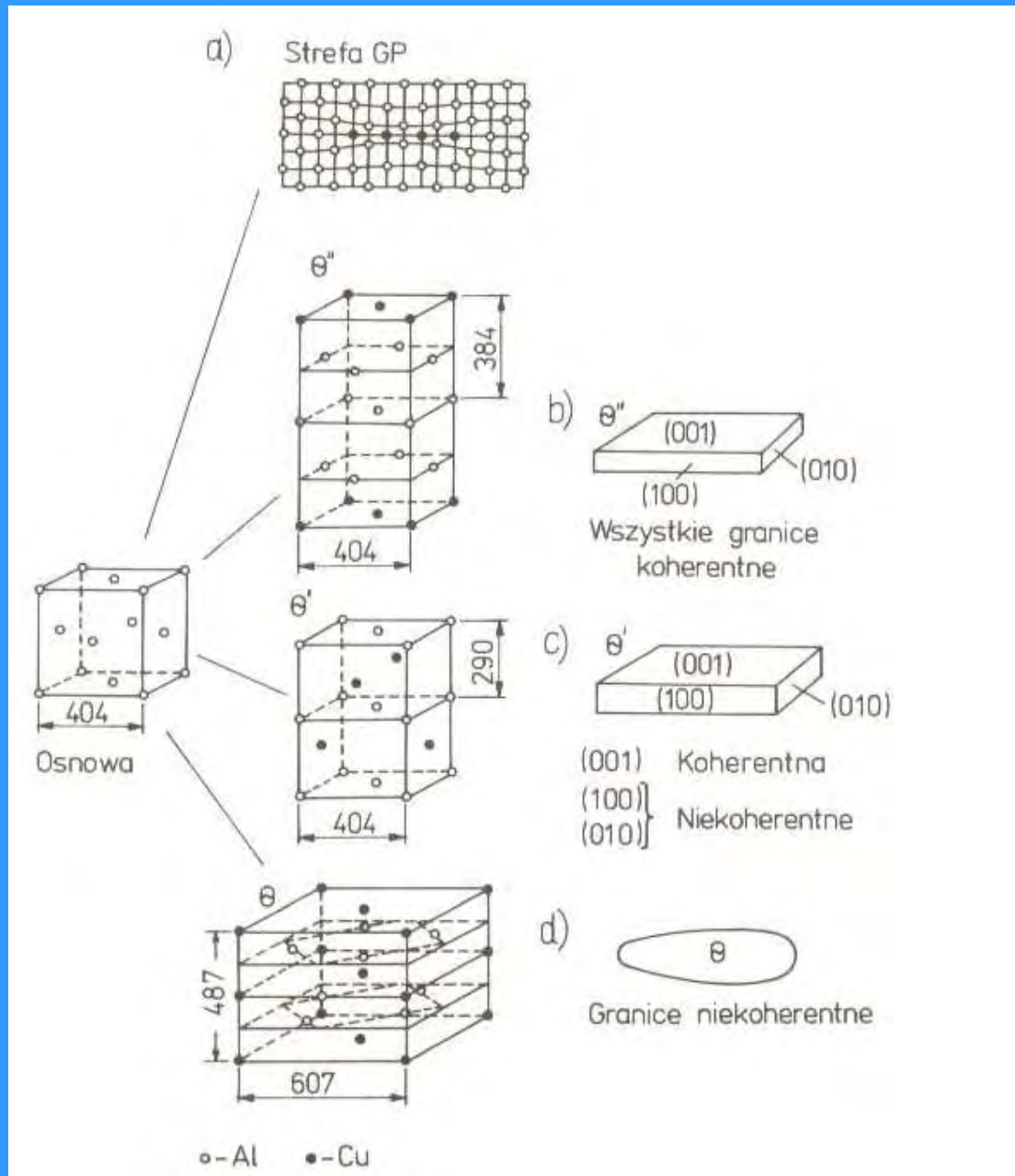
(Blich.7.43)

Powolne chłodzenie stopu AlCu4 z zakresu jednofazowego do temperatury otoczenia powoduje tworzenie się dużych wydzieli fazy θ (CuAl_2) na granicach ziarn fazy α

(Blich.7.44)

Schemat obróbki cieplnej (łącznie z tworzącymi się mikrostrukturami) powodującej umocnienie wydzieleniowe stopu AlCu4





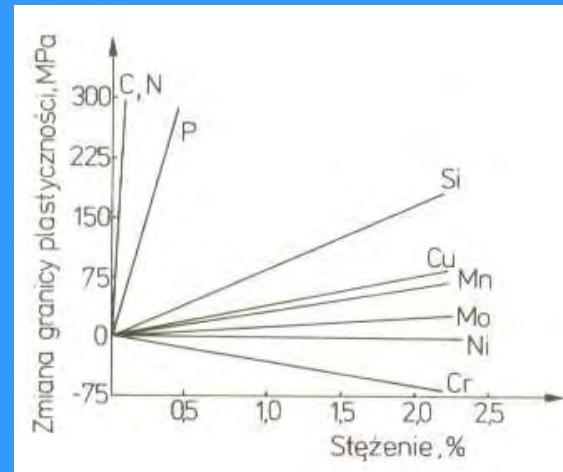
(Blich.7.45)

*Tworzące się fazy metastabilne
i faza stabilna podczas starzenia
stopów Al-Cu*

mechanizmy umocnienia tworzyw metalicznych

Umocnienie roztworowe

(Blich.5.41)



- Umocnienie odkształceniowe (dyslokacyjne)
- Umocnienie wydzieleniowe (cząstkami fazy dyspersyjnej)
- Umocnienie przez rozdrobnienie ziarna

Zależność Halla Petcha

$$\sigma_e = \sigma_p + k_p D^{-1/2}$$

gdzie: σ_p – naprężenie przy którym materiał z bardzo dużym ziarnem zaczyna się odkształcać plastycznie

k_p – współczynnik zależny od oporności granic ziaren przy ruchu dyslokacji

metody otrzymywania monokryształów

- **W stanie gazowym** -> przesylenie
- **W stanie ciekłym** -> przechłodzenie
- **W stanie stałym** -> zgniot krytyczny /2-7%/

7. Metale i ich stopy

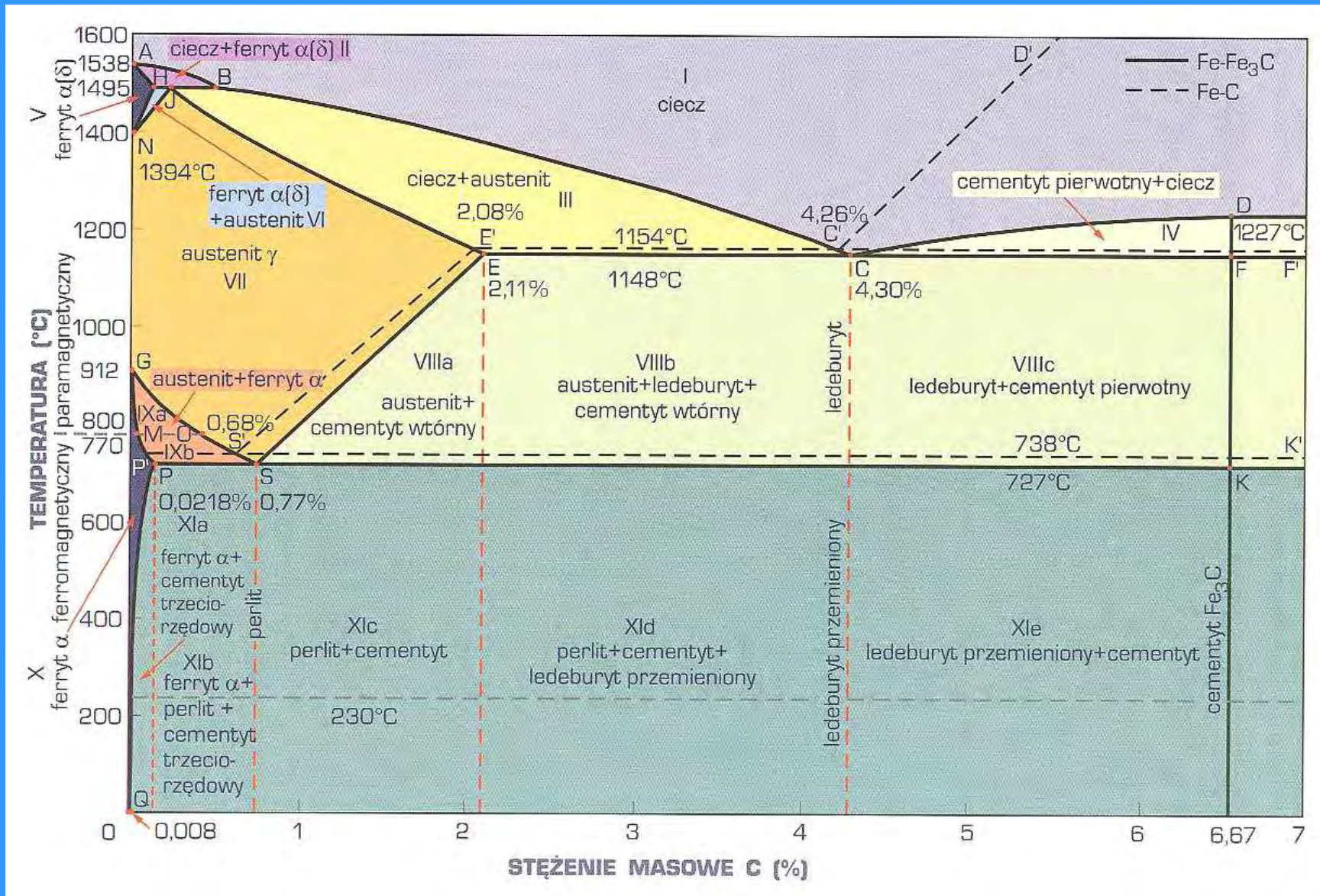
- stopy żelaza: stale, żeliwa,
- metale lekkie i ich stopy: aluminium, tytan, beryl, magnez
- metale ciężkie i ich stopy: miedź, cynk, ołów, cyna, nikiel, kobalt, cyrkon i hafn, kadm, ind i bizmut,
- metale trudnotopliwe: niob, tantal, molibden, wolfram, ren,
- metale szlachetne: złoto, srebro, platyna, pallad,
- metale alkaliczne i ziem rzadkich, metale rzadkie

stopy żelaza: stale, żeliwa

Stal jest przerobionym plastycznie technicznym stopem żelaza z węglem zawierającym do 2.11% C oraz inne pierwiastki pochodzące z surowców i paliw stosowanych podczas otrzymywania stali lub dodawane celowo

- Pierwiastki konieczne ze względów metalurgicznych (składniki zwykłe) : Mn, Si, niekiedy Al – dodawane w celu odtleniania stali
- Pierwiastki, których usuwanie poniżej pewnych granic jest ekonomicznie nieopłacalne lub w ogóle niemożliwe (zanieczyszczenia): S, P, O, N, H
- Pierwiastki wprowadzane do stali celowo (stopowe): Mn, Si, Ni, Cr, Mo, W, V, Cu i B

Dobrz.3.3)



Fragment wykresu równowagi żelazo-węgiel (wg J. Chipmana)

Podział stali

- Stale niestopowe (węglowe)
 - podstawowe, jakościowe, specjalne
- Stale stopowe
 - jakościowe, specjalne

Oznaczenie stali

- Znakowy (PN-EN 10027-1:1994) z symboli literowych i cyfr np. X5CrNiMo17-12-2 /C<0.05; Cr 17; Ni 12; Mo 2
- Cyfrowy (PN-EN 10027-2:1994) tylko z 5 cyfr, np. 1.xxnn /1-stal, xx –grupę stali nn –konkretny gatunek w grupie 1.4507

W przypadku staliwa znak gatunku poprzedza litera G

Rodzaje stali

Konstrukcyjne

- **Niskostopowa o podwyższonej wytrzymałości**
- **Do nawęglania**
- **Do azotowania**
- **Do ulepszania cieplnego (hartowanie + odpuszczanie)**
- **Sprężynowa**
- **Łożyskowa**

Narzędziowe

- **Do pracy na zimno**
- **Do pracy na gorąco**
- **Szybkotnąca**

O szczególnych właściwościach

- Odporne na korozję
- Żaroodporne i żarowytrzymałe

Żeliwa

odlewnicze stopy żelaza z węglem zawierające ponad 2,11%C oraz pierwiastki (Si, Mn, P i S)

Żeliwa – w których cały węgiel jest związany w Fe_3C (nie ma grafitu) - **żeliwa białe**

-w których znaczna część węgla występuje w postaci grafitu – **żeliwa szare**

metale lekkie i ich stopy: aluminium, tytan, beryl, magnez

- **Stopy aluminium**

- stopy do obróbki plastycznej**

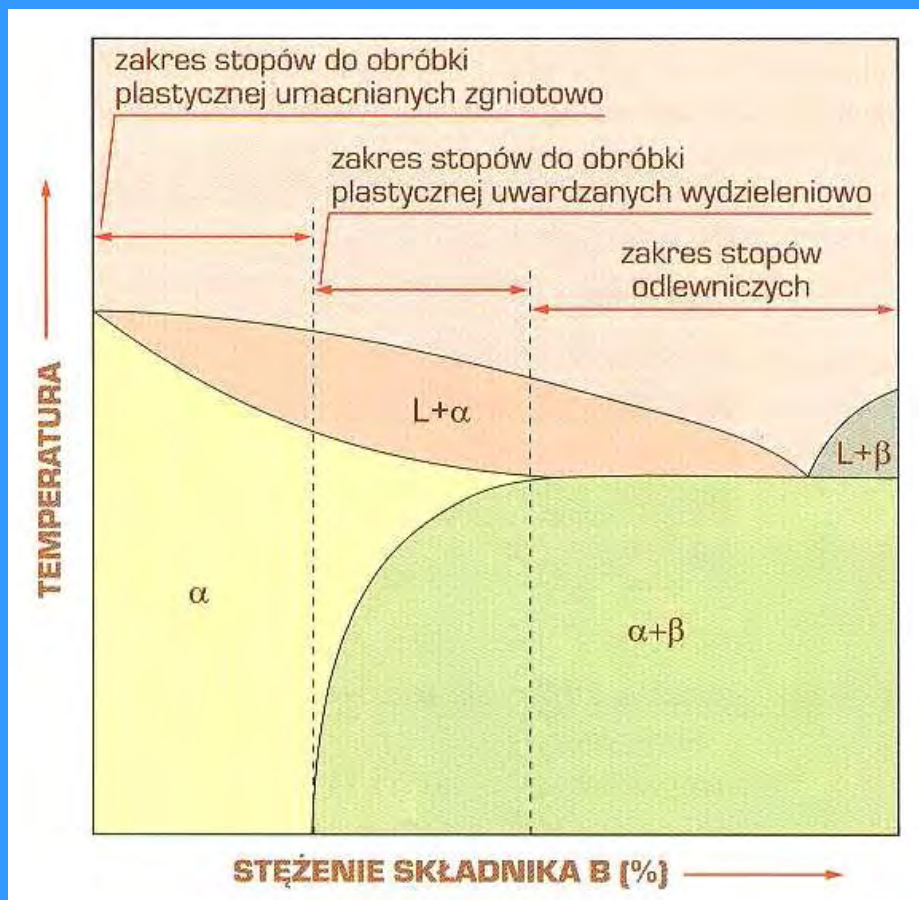
zawierają zwykle do około 5% pierwiastków stopowych; Cu, Mg, Mn, niekiedy: Si, Zn, Ni, Cr, Ti, Li

Część stopów jest poddawana obróbce cieplnej – utwardzaniu dyspersyjnemu /oznaczenie np. EN AW-AlCu5,5MgMn;
EN AW-AlMg0,7Si

- stopy odlewnicze**

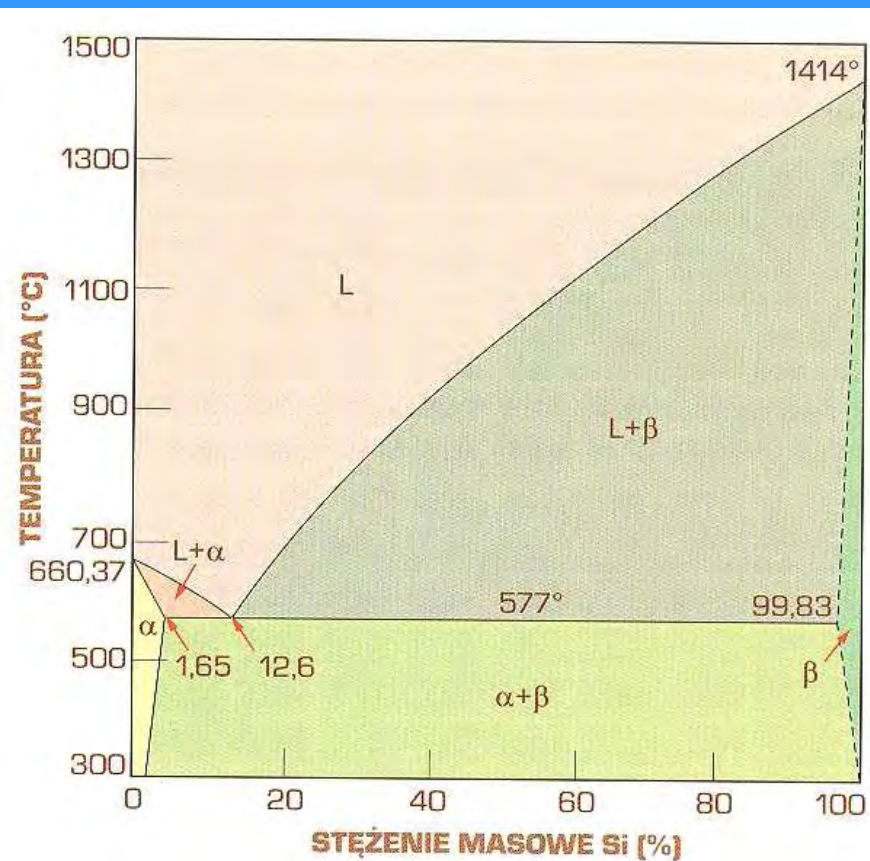
zawierają duże stężenia dodatków od 5 do 25%;
Si, Cu, Mg, Zn, Ni w różnych zestawieniach /oznaczenie np.
EN AC-AlSi5Cu3Mn

(Dobrz.4.4)



Fragment typowego wykresu równowagi stopów Al z zaznaczeniem zakresów stężenia stopów do obróbki plastycznej, umacnianych zgniotowo i utwardzanych wydzieleniowo oraz stopów odlewniczych

(Dobrz.4.5)



Wykres równowagi Al-Si (wg L.A. Willeya)

Stopy aluminium z krzemem

Odlewnicze – siluminy 2 – 30% Si (najczęściej 5-13,5%)

zastosowanie: żarowytrzymałe, tłoki silników spalinowych, głowice silników, pracujące w wodzie morskiej elementy

Przerabiane plastycznie – do 2% Si

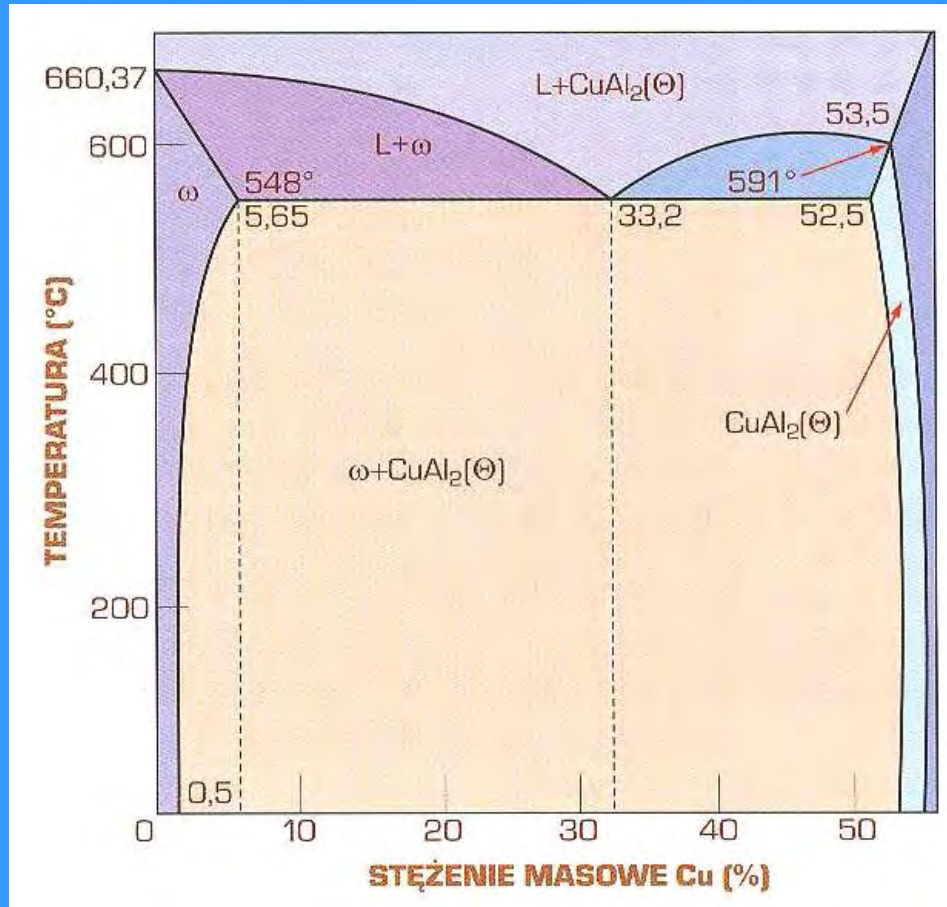
zastosowanie: elementy konstrukcyjne samolotów i pojazdów mechanicznych, elementy głębokotłoczne, kute

Stopy aluminium z magnezem

Odlewnicze; 2,5 – 10,5% Mg oraz: Si, Mn, Fe, Pb, Ti; odporne na korozję, mała gęstość; odlewy o dużej odporności na korozję, silnie obciążone elementy narażone na uderzenia

Przerabiane plastycznie; 0,4 – 5,6% Mg oraz: Si, Mn, Fe, Pb, Cr; hydronalie; odporne na korozję, spawalne, podatne do głębokiego tłoczenia /puszki/

Stopy aluminium z miedzią (Dobrz.4.9)



*Fragment wykresu równowagi Al-Cu
(wg L.A. Willeya)*

Durale miedziowe: 4,2-6,8%Cu,
oraz Mg, Mn, Si, Ni, Ti, Zr, Pb, Li

- Stopy aluminium z cynkiem /0,8-8,4%Zn/
- Stopy aluminium z manganem /1.0-1,5%Mn/
- Stopy aluminium z litem /1,9-2,7%Li/
- Spoiwa do lutowania twardego stopów aluminium; zawierają: Si (5,3%) , oraz Mg,Cu,Fe,Mn,Zn,Ti

Tytan i jego stopy

Odmiany alotropowe: $Ti\alpha$ heksagonalny do $882,5^{\circ}C$

$Ti\beta$ regularny, wysokotemperaturowy $> 882,5^{\circ}C$

Dodatki stopowe: Al, Sn, V, Mo, Cr, Cu, Zr, Si

Stopy jednofazowe α /Al, Sn/

Stopy dwufazowe $\alpha + \beta$

Stopy jednofazowe β /V, Mo, Cr, Cu/

Beryl i jego stopy

Struktura heksagonalna $A3 < 1250^{\circ}C$

Regularna $A2 > 1250^{\circ}C$; gęstość $1,848 \text{ g/cm}^3$

Zastosowanie: w technice lotniczej i kosmicznej

Dodatki stopowe: 24-43% Al, Mg, do 60% Ag

Zastosowanie: w stopach żelaza $FeNi_{20}Cr_{15}Mo_7Be_{0,6}$ – narzędzia chirurgiczne;

z miedzią – brązy berylowe; nie iskrzą, w kopalniach

Magnez i jego stopy

Struktura heksagonalna A3; gęstość 1,738 g/cm³

Dodatki stopowe: Al /3-11%/,

oraz: Zn /do 5%/, Mn /do 0,5%/; elektron Mg3-10Al1-3ZnMn

**Metale ciężkie i ich stopy: miedź, cynk, ołów,
cyna, nikiel, kobalt, cyrkon i hafn, kadm, ind i
bismut**

Miedź i jej stopy

- z cynkiem mosiądze /2-39%Zn/ ;
nazywane tradycyjnie tombakami /5-20%Zn/;
niklem i cynkiem – nowe srebro /7-18%Ni; 19-29%Zn/

Z innymi pierwiastkami brązy: cynowe, aluminiowe, berylowe,
krzemowe, manganowe

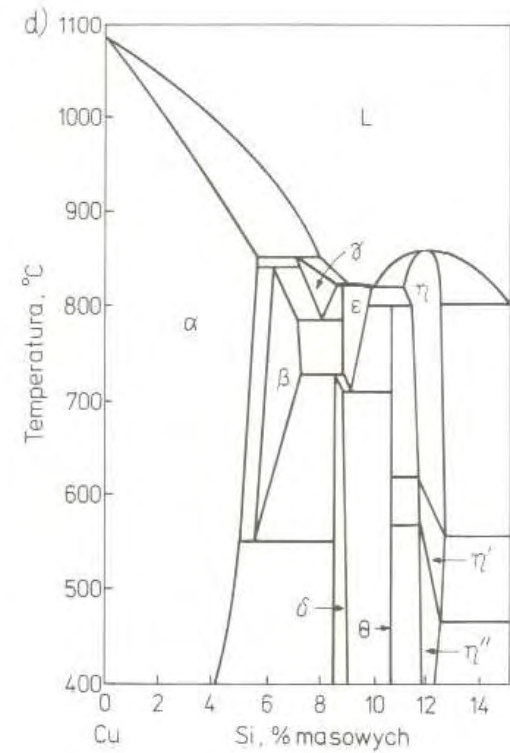
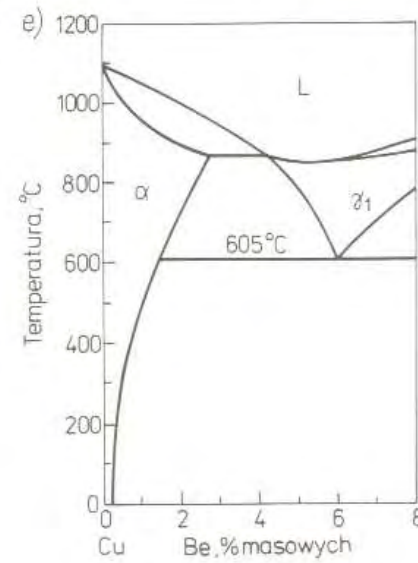
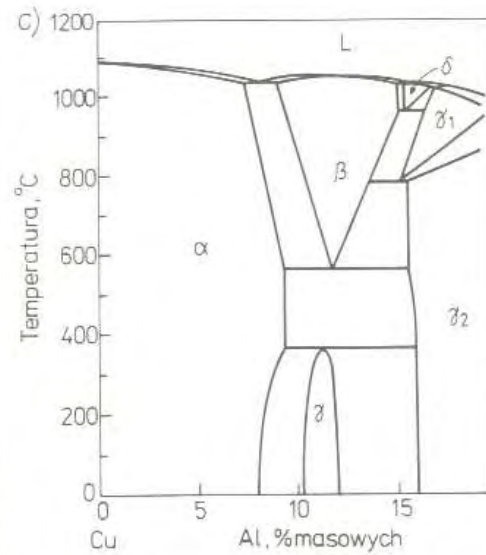
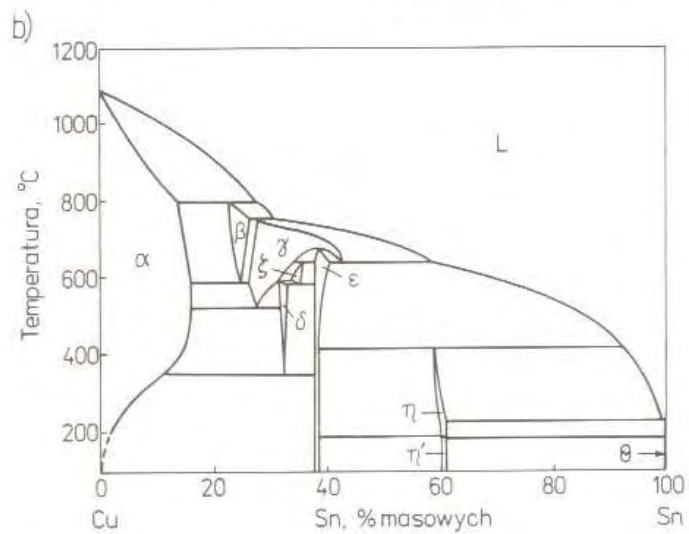
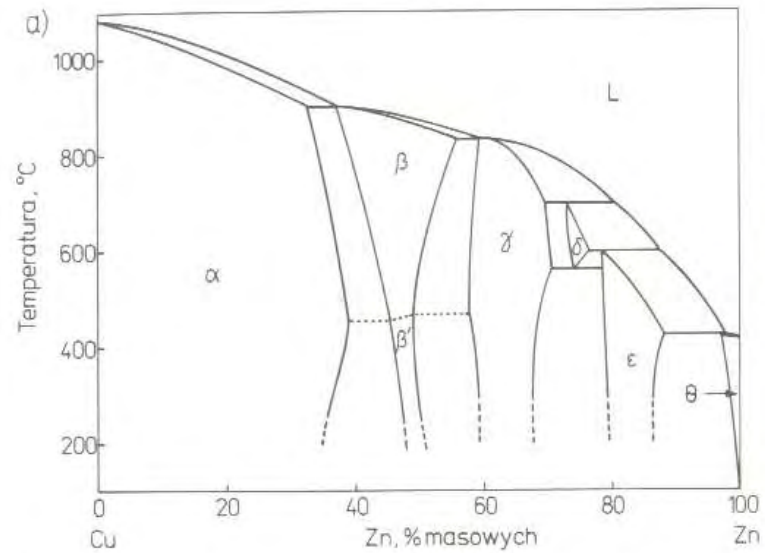
Spoiwa na bazie miedzi do lutowania twardego: zawierają Zn, Sn

Spize – stopy z cyną/9-13%/ i cynkiem /1-9,5%/ npCuSn10-20PbZn

Stopy monetarne – Cu-Zn-Mn; Cu-Al-Ni; Cu-Ni; Ni-Cu; Ni-Cu-Al.

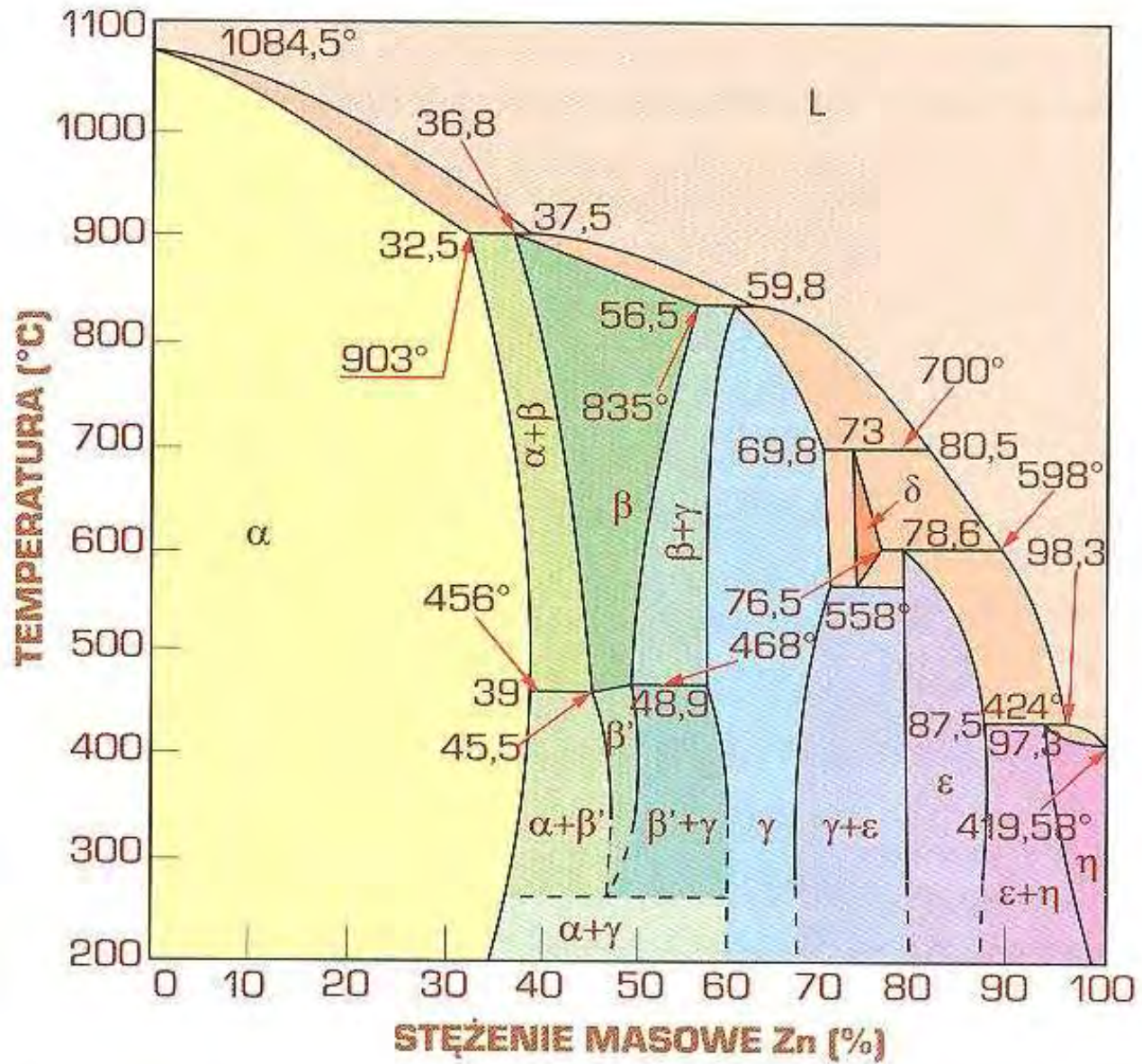
Miedzionikle – 40%Ni, 1-2%Si, Al, Fe lub Mn

(Blich.8.11)



Wykresy fazowe: a) Cu-Zn, b) Cu-Sn, c) Cu-Al, d) Cu-Si, e) Cu-Be

(Dobrz.4.23)



Wykres równowagi Cu-Zn (wg D.T. Hawkinsa)

Cynk i jego stopy

techniczne stopy Zn-Al zwane złączkami 3-30% Al

Ołów i cyna oraz ich stopy

Pb z dodatkami: Sb/0,1-10%/ oraz Sn,As,Cd,Cu lub Te

Sn z dodatkami Sb/ok.2,5%/ oraz Cu/do 2,5%/, Pb/do10%/

Nikiel i jego stopy

Stopy konstrukcyjne

(monel 27-34% Cu, do 2% Mn, 3,7-4,2% Mg)

Stopy odporowe (chromel 10% Cr, alumel 2,5% Al i 2% Si, nichrom 15-20% Cr, kanthal 20-35% Cr; 4-7% Al; 3% Co; 0,1% C)

Stopy odporne na korozję, żarowytrzymałe i zaworowe

Kobalt i jego stopy

Zastosowanie **kobaltu**: odporne na korozję powłoki, w produkcji węglików spiekanych jako lepiszcze, dodatek stopowy w stalach szybkotnących, stopach magnezu hafn oraz ich stopy

Cyrkon i hafn oraz ich stopy

Zastosowanie **cyrkonu**, związane wychwytywaniem termicznych neutronów, osłony prętów uranowego paliwa nuklearnego;

Zastosowanie **hafnu** oraz stopach żarowytrzymałych

Cyrkon i jako materiał prętów kontrolnych w reaktorach okrętów z napędem nuklearnym

Kadm i jego stopy

Właściwości chemiczne zbliżone do cynku; tworzy warstwę ochronną tlenków (ochrona w środowisku alkalicznym)

Głównie dodatek stopowy; w stopach Zn jako spoiwa z Ag i Cu; stopy Ag-Cd i Au-Cd wykazują efekt pamięci kształtu

Ind i bizmut oraz ich stopy

Tworzą stopy niskotopliwe, kosmetyki, Bi-Sr-Ca-Cu-O nadprzewodniki wysokotemperaturowe, w technice półprzewodnikowej, diody laserowe, baterie słoneczne

Stopy różne – użytkowe

Monele Ni-Cu (ok.20-40% Cu)

Nadstopy (superstopy) Ni

Ni-Cr-Fe

Ni-Mo-Fe-Cr-Co

Ni-Cr-Nb-Ti-Al

Nadstopy (superstopy) Fe-Ni

Ni-Fe-Cr-Mo-Ti-Al.

Nadstopy (superstopy) Co

Co-Cr-W-Ni

**metale trudnotopliwe: niob, tantal, molibden,
wolfram, ren**

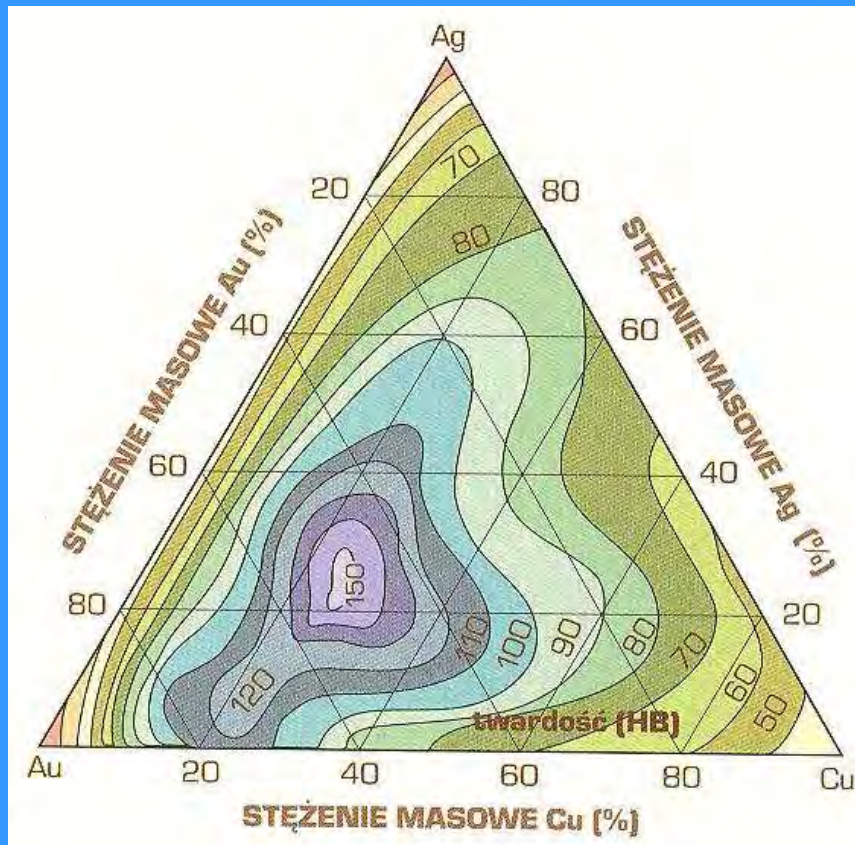
Temp. topnienia: Nb(2464°C); Ta(2996°C);
Mo(2610°C); W(3410°C); Nb(2464°C);
Re(3180°C);

Właściwości: duża wytrzymałość na rozciąganie,
duża twardość, wysoka odporność na korozję,
duża żarowytrzymałość przy braku odporności na
utlenianie

Zastosowanie: węgliki spiekane, dodatek stopowy

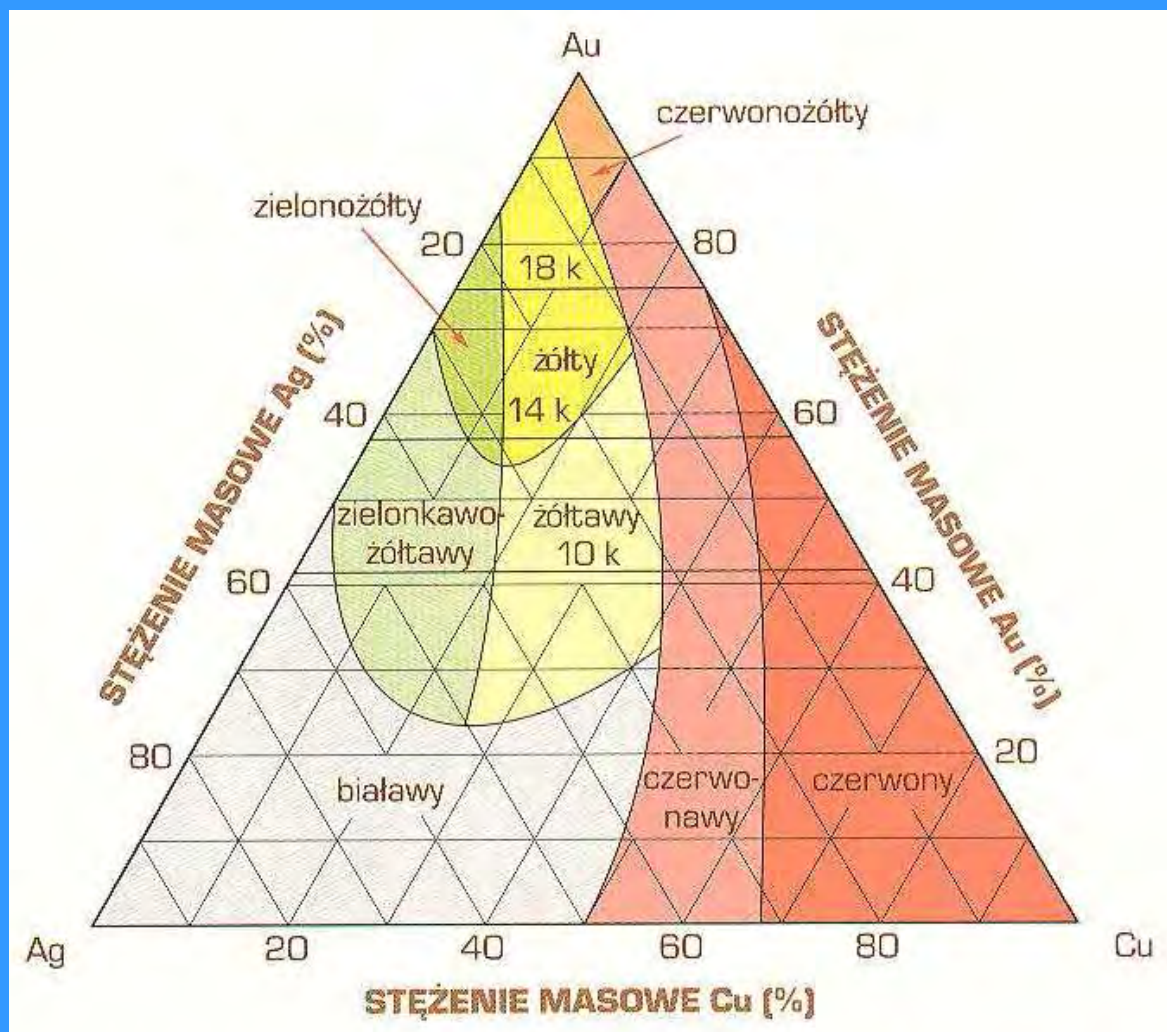
**metale szlachetne: złoto, srebro, platyna, oraz
inne platynowce: ruten, rod, pallad, osm, iryd**

**Główne zastosowanie: elektronika i elektrotechnika oraz
Au, Ag i Pt – stopy jubilerskie (Dobrz.4.52)**



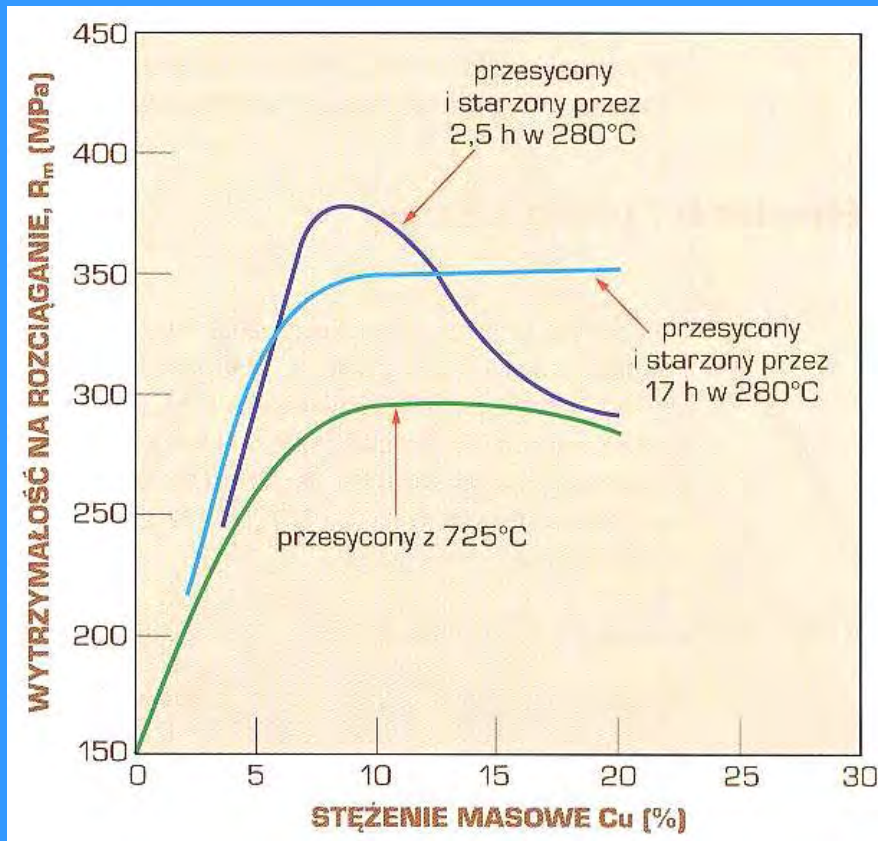
*Zależność twardości stopów Au-Ag-Cu
w stanie wyżarzonym od ich składu
chemicznego (wg K. Wesółskiego)*

(Dobrz.4.51)



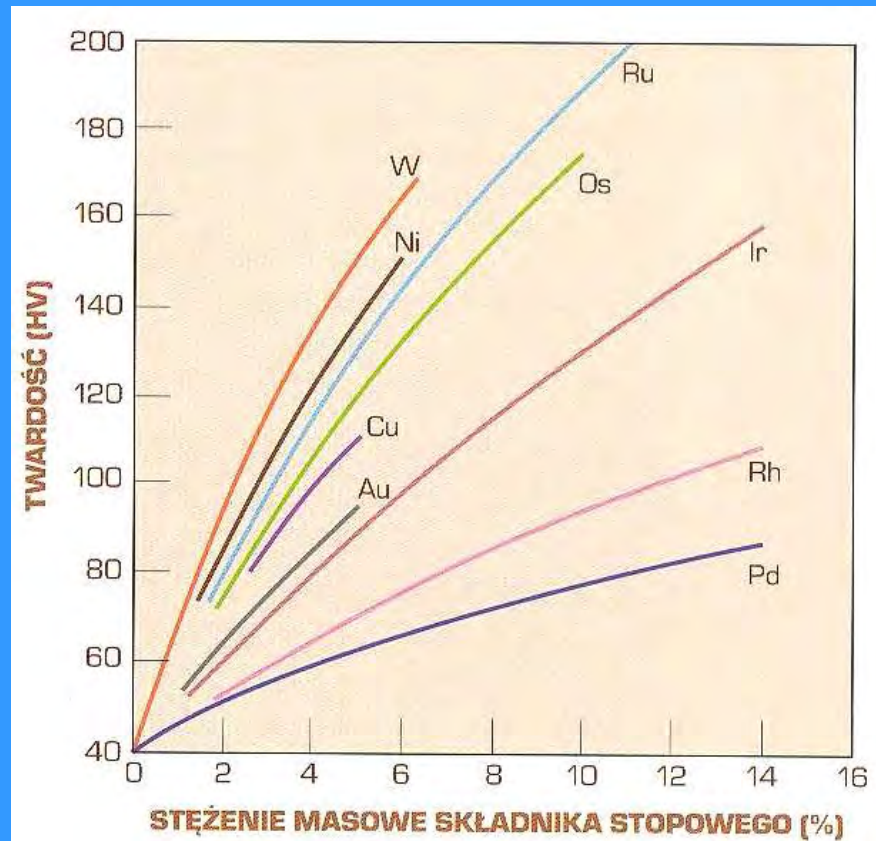
Wpływ składu chemicznego trójskładnikowych stopów Au-Ag-Cu na ich kolor (wg A.R. Robertsona)

(Dobrz.4.56)



Wpływ miedzi na wytrzymałość na rozciąganie stopów Ag-Cu po przesycaniu oraz po utwardzaniu wydzieleniowym (opracowano wg C.D. Coxe'a, A.S. Mc Donald i G.H. Sistare'a, Jra)

(Dobrz.4.59)



Wpływ dodatków stopowych na twardość stopów platyny (wg A.R. Robertsona)

Stopy	Próba	Cecha ¹⁾	Stopy	Próba	Cecha ¹⁾	
złota	960		srebra	925		
	750			875		
	585			830		
	500			800		
	375			–	(cecha dodatkowa)	
	333			950		
	–	(cecha dodatkowa)			–	(cecha dodatkowa)
palladu	850		dentystyczne	platyna 950		
	500			złoto 916		
	–	(cecha dodatkowa)			złoto 833	
wszystkie	inne cechy			złoto 750		
	główna	pomocnicza		pallad 333		
					złoto i pallad 302	
	znaki probiercze					
	metal	do kasowania				

¹⁾ Litery występujące w cechach określają właściwe Urzędy Probiercze w kraju: A – Białystok, B – Bydgoszcz, G – Gdańsk, H – Chorzów, K – Kraków, L – Łódź, P – Poznań, V – Wrocław, W – Warszawa, Z – Częstochowa.

(Dobrz. Nowy
Tabl Z15 zał)

*Oznaczenia (cechy
pobiercze) produktów ze
stopów metali szlachetnych*

Platyna – elektronika, termoelementy /PtRh10-Pt/

Pallad – tańszy od platyny, małe iskrzenie, styki w aparaturze nagłaśniającej, jubilerstwo stopy palladu z rutenem /Pd-Ru/ do oprawy brylantów /białe/

Iryd – tygle, elektrody w świecach zapłonowych

Osm – wysoka twardość, całkowicie nieobrabialny

Ruten – podobny do osmu, odporność chemiczna zbliżona do irydu /odporny na wodę królewską/

Rod – wysoka odporność na korozję, błyszczący i jasny /odporny na wodę królewską/, zwierciadła, jubilerskie pokrycia, katalizatory z platyną

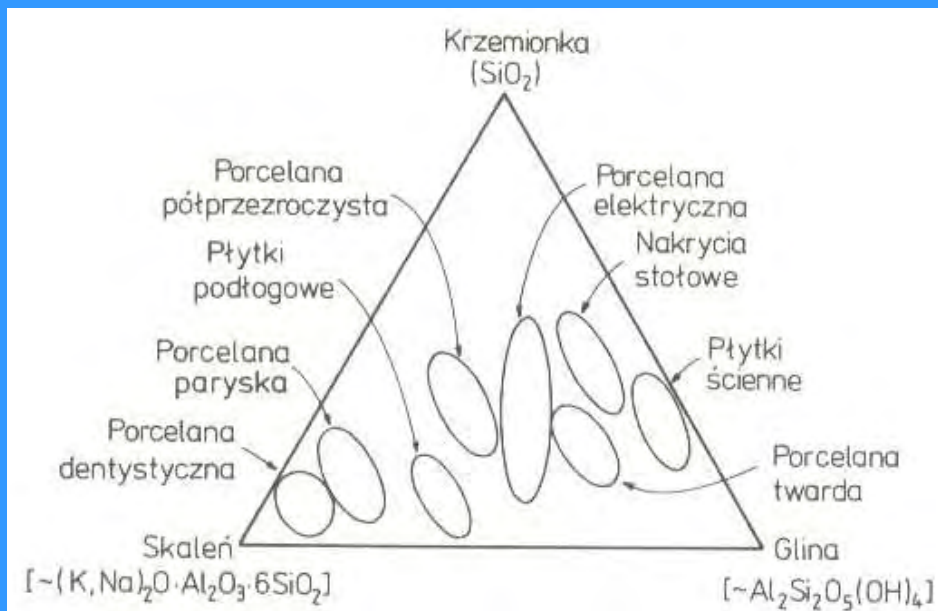
metale alkaliczne i ziem rzadkich, metale rzadkie

- Metale alkaliczne: Li, Na, K, Rb, Cs, Fr
 - Metale ziem alkalicznych: Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra
- /nie są użytkowe poza Be i Mg/**

8. Materiały ceramiczne i szkła

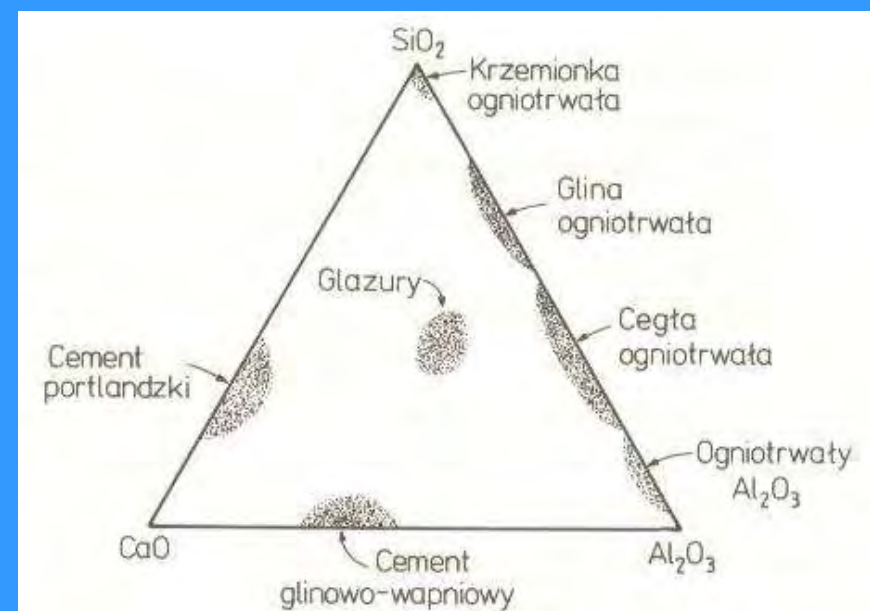
- Wyroby z gliny

(Blich 9.2)



Zawartość poszczególnych minerałów w typowych wyrobach z gliny

(Blich. 9.3)



Przybliżone składy niektórych ceramiek krzemianowych

- Nowoczesne materiały ceramiczne (Blich. Tab. 9.1)

TABLICA 9.1. Własności mechaniczne niektórych nowoczesnych materiałów ceramicznych

Material	Gęstość $\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$	Moduł Younga GPa	Wytrzymałość na zginanie MPa	Wytrzymałość na ściskanie MPa	Odporność na pękanie $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$
Al_2O_3	3,96	400	380	2800	5
AlN	3,26	310	350	2100	3
B_4C	2,51	450	400	2400	4
SiC	3,21	440	450	2900	4
Si_3N_4	3,20	310	1000	3400	4
Sialon	3,24	310	950	3500	7
TiB_2	4,48	540	350	4900	–
ZrO_2 (częściowo stabilizowany)	5,75	200	800	1800	10

- **Materiały ogniotrwałe**

(Blich. Tab. 9.2)

Składy typowych materiałów ogniotrwałych

Materiały ogniotrwałe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃
Materiały kwaśne					
krzemionkowe	93–97	–	–	–	–
szamotowe	45–60	28–45	–	–	–
wysokoglinowe	10–45	45–85	–	–	–
Materiały zasadowe					
magnezytowe	0,5–4	–	85–98	–	–
forsterytowe	30–35	–	50–65	7–10	–
Materiały obojętne					
chromitowe	3–13	12–30	10–20	12–25	30–50
chromitowo-magnezytowe	2–6	8–15	40–60	7–13	20–40

- **Ceramiczne materiały ściernie**

cięcie, szlifowanie, polerowanie; diament naturalny i sztuczny, węgiel krzemu (SiC-karborund), tlenek aluminium (Al₂O₃-korund), węgiel wolframu (WC), krzemionka (SiO₂)

- **Szkła – ceramika niekryształiczna**

(Blich. Tab. 9.3)

Składy typowych szkieł

Szkło	Skład, % masowych										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	CaO	B ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	ZnO	PbO	BaO	Inne
Szkło kwarcowe (krzemionkowe)	100	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Szkło borowo-krzemowe optyczne	70	–	9	–	10	–	8	–	–	3	–
Szkło sodowo-wapniowe okienne	72	1	14	9	–	3	–	–	–	–	1
Szkło sodowo-wapniowe na opakowania	71	1	16	9	–	1	–	–	–	1	1
Szkło na włókna (szkło E)	54	15	–	22	8	–	–	–	–	–	1
Szkło ołowiowe (kryształowe)	58	–	3	–	–	–	15	–	24	–	–
Glazura (bristol)	60	16	–	7	–	–	11	6	–	–	–
Emalia (miedziana)	34	4	–	–	3	–	17	–	42	–	–

9. Polimery

materiały organiczne (z kowalencyjnymi wiązaniami węgla)

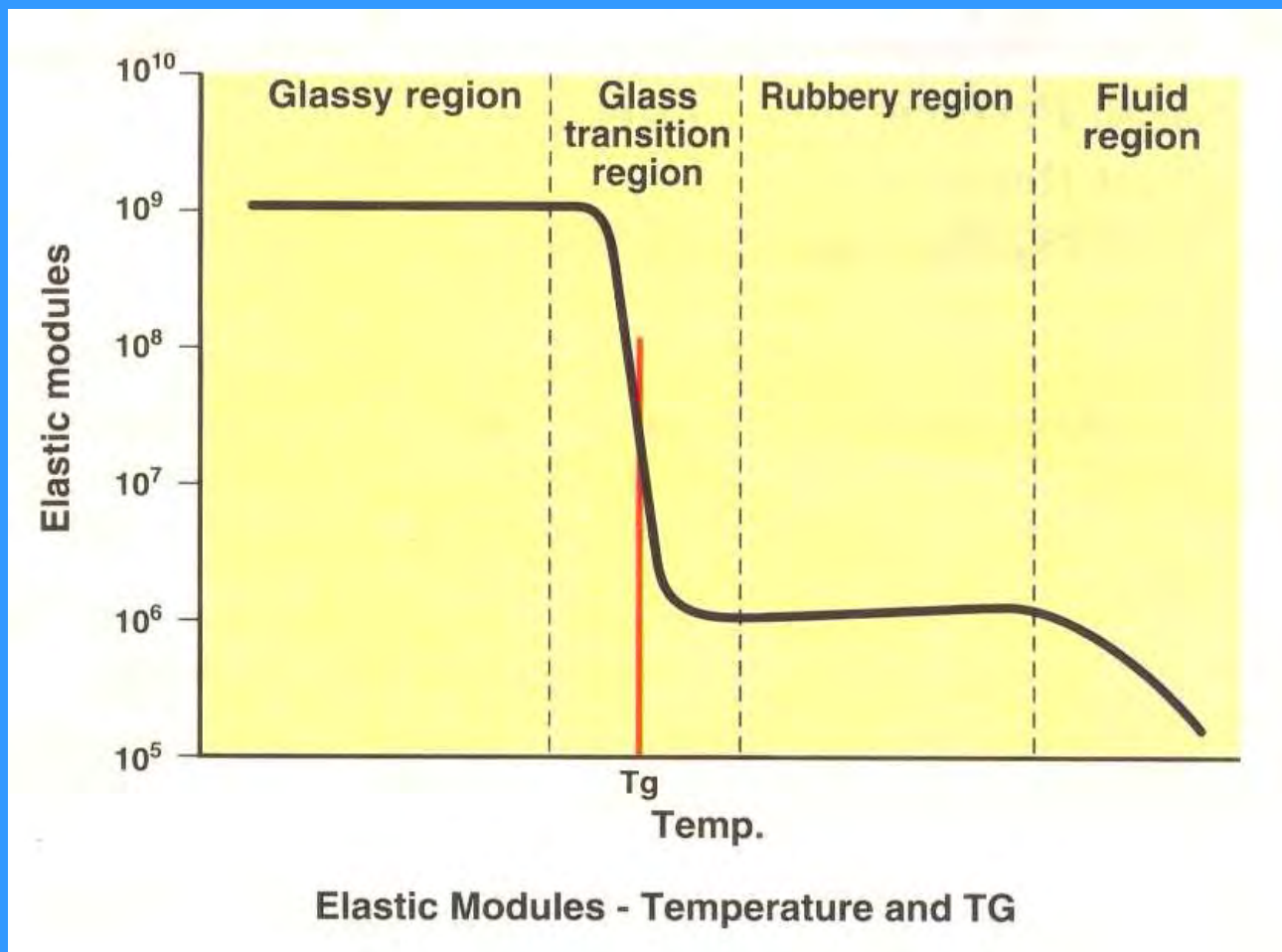
zawierają oprócz węgla: wodór, chlor, tlen, fluor, fosfor i siarkę

- Polimery termoplastyczne (termoplasty)
- Polimery termoutwardzalne (duroplasty)
- Elastomery (gumy)

Polimeryzacja rozpoczyna się od utworzenia długich łańcuchów, w których atomy są związane mocnymi wiązaniami kowalencyjnymi. Ilość i siła wiązań kowalencyjnych utworzonych między łańcuchami podczas formowania nadają każdej grupie polimerów specyficzne właściwości

Efekt pamięci kształtu w polimerach

(Mitsubishi Rys.1)



(Rys. 2 applications)

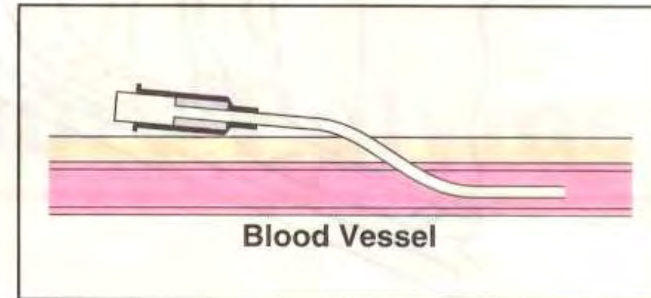
Medical

Intravenous Cannula

Intravenous Cannula becomes soft with body temperature under the skin is effective for long time using.



Intravenous Cannula



Health Care and Household Utensil

Handicap utensil

This tool changed shape for each people can use easily.



Spoon Handle

Food Industries Commodity

Film for Vegetable Storage

SMP sheet for the vegetable crisper of the refrigerator to keep freshness.

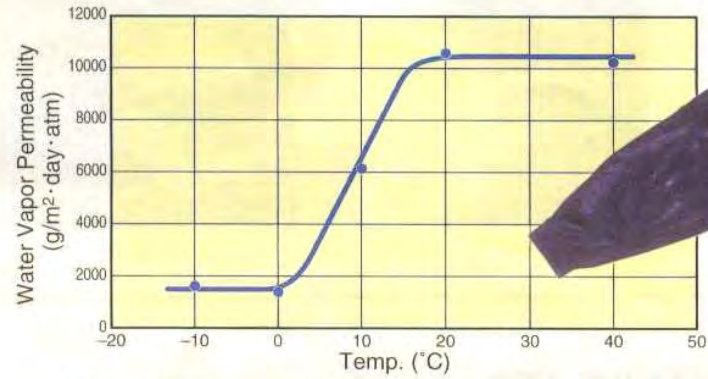


SMP Smart Sheet

Textile

Sports Wear

Water proof and temperature dependent breathing fabric for sports wear, bedclothes and more.



Water Vapor Transmission Coefficient (desiccant method)

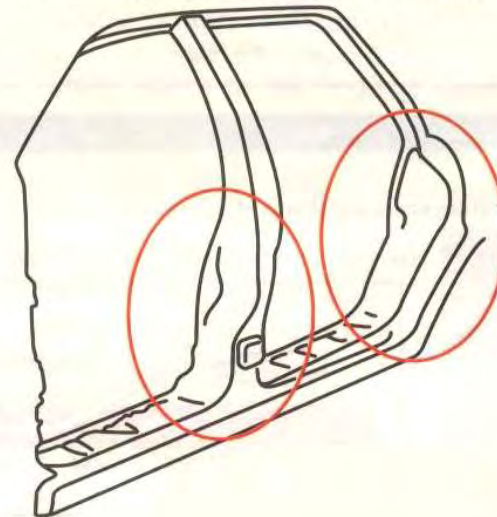


Sports Wear

Industrial Materials

Protection cover for auto assembly line

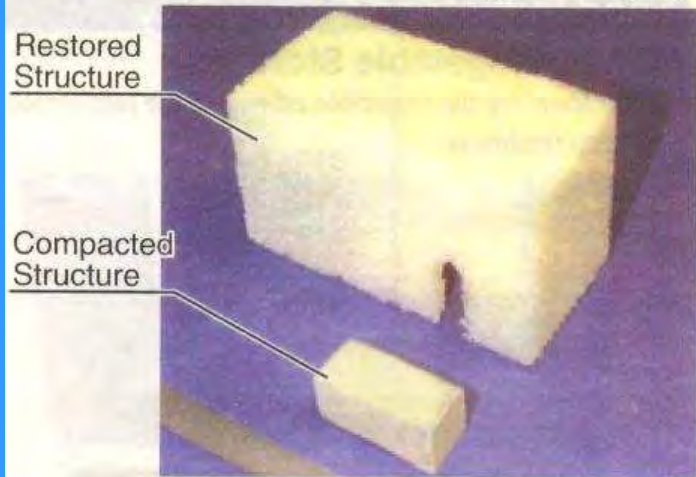
SMP cover can easily restore the creep deformation by heating it.



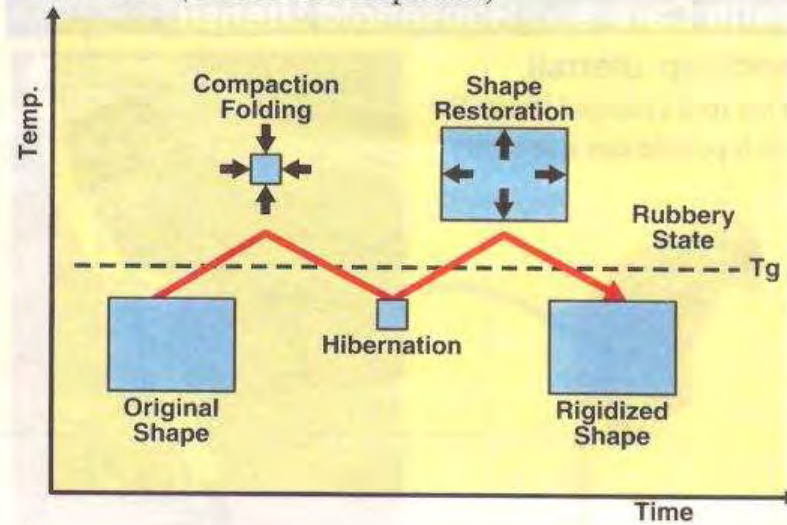
Protection Cover

Spacecraft Architecture

Cold hibernated elastic memory self-deployable structure (Under development)



Self-deployable SMP Foam



Miscellaneous Goods

Doll hair

Playing hair dress from straight to curl or curl to straight



Doll Hair

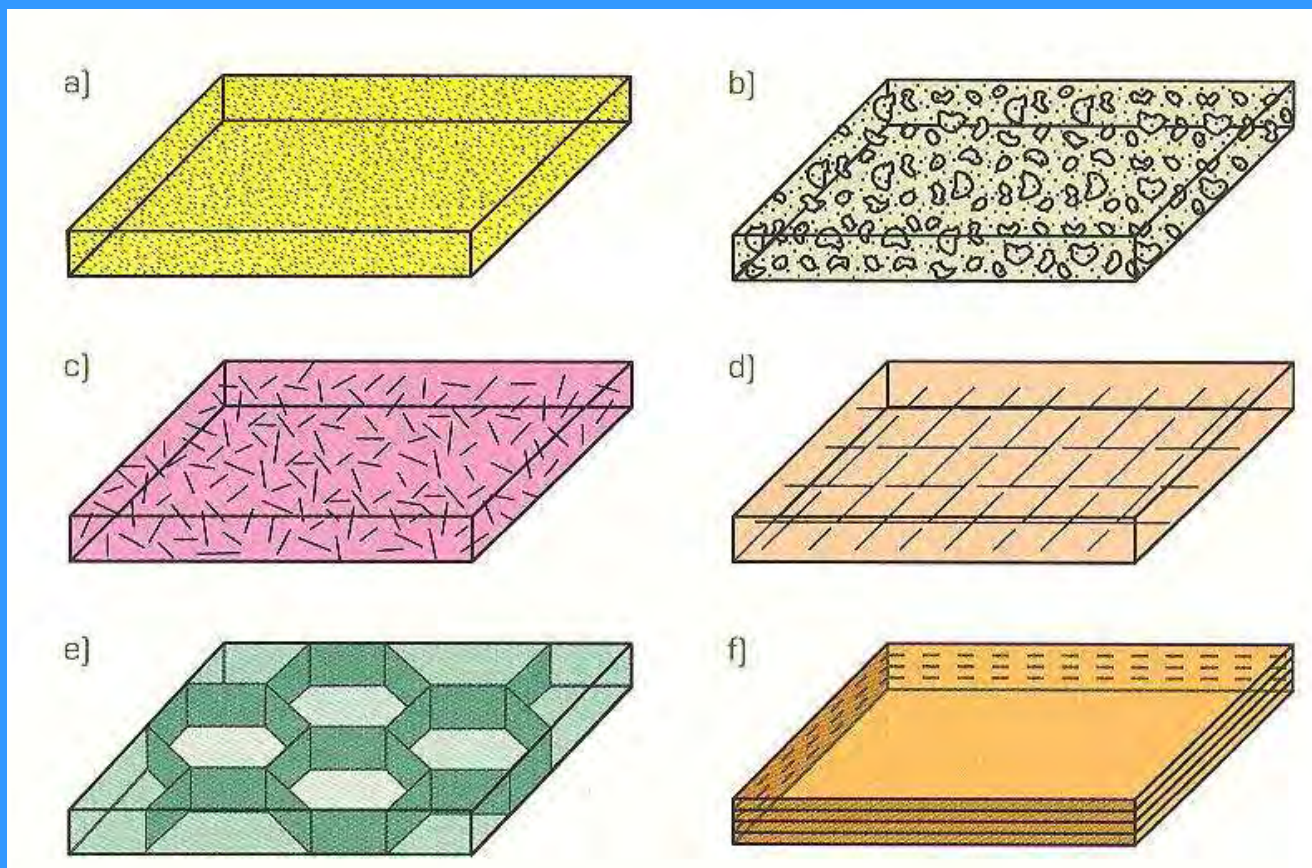
10. Kompozyty

Materiał utworzony z co najmniej dwóch komponentów (faz) o różnych właściwościach w taki sposób, że ma właściwości lepsze od możliwych do uzyskania w każdym z komponentów osobno i lepsze od wynikających z prostego sumowania tych właściwości

Składa się z osnowy i fazy umacniającej;

Osnowa – faza , która jest ciągliwa i otacza cząstki innej fazy nazywanej fazą umacniającą

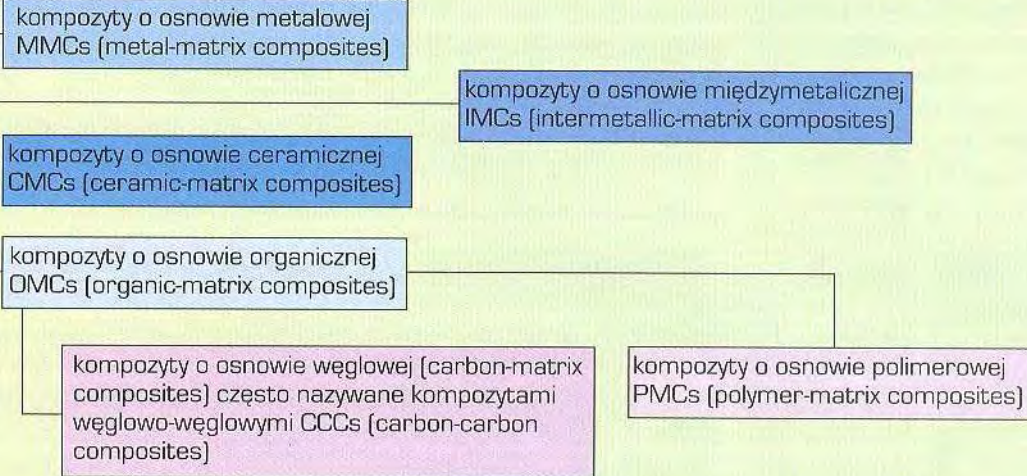
(Dobrz. 5.98)



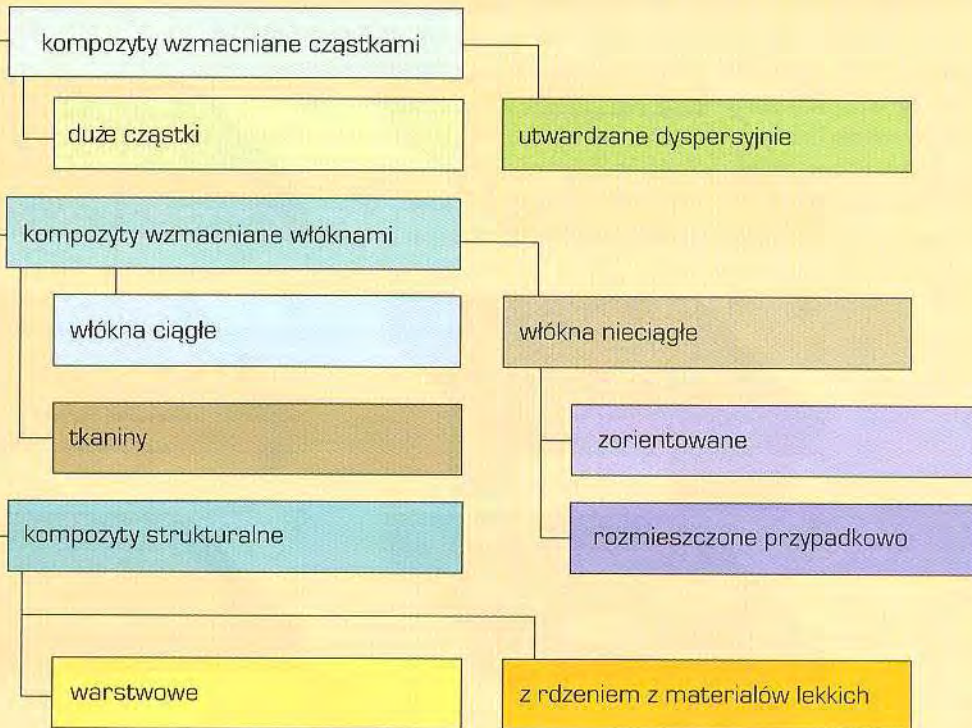
*Przykłady różnych rodzajów elementów wzmacniających materiały kompozytowe wzmacnianych:
a) cząstkami dyspersyjnymi, b) płatkami, c) włóknami nieciągłymi,
d) włóknami ciągłymi w postaci tkaniny, e) szkieletowo, f) warstwowo w laminatach
(opracowano według K.G. Budinskiego)*

MATERIAŁY KOMPOZYTOWE

1. poziom klasyfikacji ze względu na materiał osnowy



2. poziom klasyfikacji ze względu na rodzaj składników wzmacniających



(Dobrz. 5.97)

Ogólna klasyfikacja materiałów kompozytowych

11. Intermetale

stopy o składzie faz międzymetalicznych

Fazy międzymetaliczne – są połączeniami metali lub metali z niemetalami i wykazują właściwości metaliczne ze względu na częściowy lub całkowity udział wiązania metalicznego; występują przy ściśle określonych stężeniach składników stopu (mogą występować w pewnym zakresie stężeń i tworzyć roztwory stałe wtórne)

Charakterystyczne cechy faz międzymetalicznych

- Struktura krystaliczna różna od struktury każdego ze składników
- Atomy każdego ze składników wykazują uporządkowane rozmieszczenie w sieci krystalicznej
- W oddziaływaniach między atomami występuje przewaga wiązania metalicznego
- Wzajemne stosunki ilościowe rzadko odpowiadają wartościowościom chemicznym (brak stechiometryczności chemicznej)

Roztwory stałe wtórne /przy ściśle określonych stężeniach składników stopu/:

- Różnowęzłowe
- Międzywęzłowe
- Pustowęzłowe

(Dobrz. Nowy
Tab. 3.12,
Tab. 3.13)

Przykłady faz elektronowych

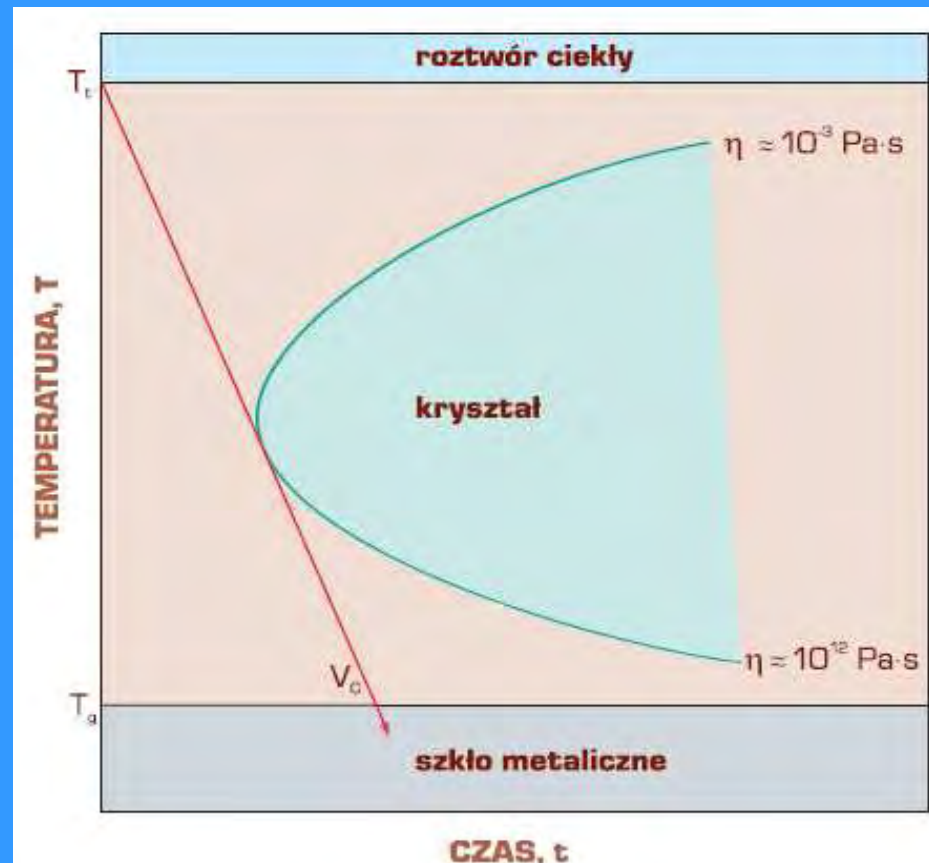
Typ fazy	Wartość stężenia elektronowego	Przykłady faz	Typ sieci krystalograficznej
β	$\frac{3}{2}$	CuBe, CuZn, CuPd, AgMg, AgZn, AgCd, AuMg, AuZn, AuCd, FeAl, CoAl, NiAl	Regularna przestrzenie centrowana B2 typu CsCl
		AgHg, Ag ₄ Al, Au ₃ Al, CoZn, MnZn	Regularna złożona, o 20 atomach, A13 typu Mnβ
		Cu ₃ Ga, Cu ₅ Ge, AgCd, Ag ₃ Al, Ag ₃ Ga, Ag ₃ In, Ag ₅ Sn, Ag ₇ Sb, Au ₃ In, Au ₅ Sn	Heksagonalna zwarcie wypełniona zbliżona do A3
γ	$\frac{21}{13}$	Cu ₅ Zn ₈ , Cu ₅ Cd ₈ , Cu ₅ Hg ₈ , Cu ₉ Ga ₄ , Cu ₉ In ₄ , Cu ₃₁ Sn ₈ , Ag ₅ Zn ₈ , Ag ₅ Cd ₈ , Ag ₅ Hg ₈ , Au ₃ Zn ₈ , Mn ₅ Zn ₂₁ , Fe ₅ Zn ₂₁ , Co ₅ Zn ₂₁ , Ni ₅ Be ₂₁ , Ni ₅ Zn ₂₁ , Ni ₅ Cd ₂₁ , Rh ₅ Zn ₂₁ , Pd ₅ Zn ₂₁ , Pt ₅ Be ₂₁ , Pt ₅ Zn ₂₁	Regularna złożona, o 52 atomach, typu mosiądzu γ
ε	$\frac{7}{4}$	CuZn ₃ , Cu ₃ Sn, Cu ₃ Ge, Cu ₃ Si, AgZn ₃ , AgCd ₃ , Ag ₃ Sn, Ag ₃ Al ₃ , AuZn ₃ , AuCd ₃ , Au ₃ Sn	Heksagonalna zwarcie wypełniona zbliżona do A3

Przykłady faz Lavesa

Typ fazy	Wartość stężenia elektronowego	Przykłady faz	Typ sieci krystalograficznej
MgCu ₂	1,3÷1,8 i > 2,3	MgCu ₂ , AgBe ₂ , BiAu ₂ , CaAl ₂ , KBi ₂ , NaAu ₂ , NbCo ₂ , TiBe ₂ , TiCo ₂ -α, ZrCo ₂ , ZrFe ₂ , ZrW ₂	Regularna złożona, o 24 atomach, C15 (rys. 3.48a)
MgZn ₂	1,8÷2,3	MgZn ₂ , CaCd ₂ , CaLi ₂ , CaMg ₂ , CrBe ₂ , KNa ₂ , MoBe ₂ , NbFe ₂ , NbMn ₂ , SrMg ₂ , TiFe ₂ , TiMn ₂ , VBe ₂ , WBe ₂ , WFe ₂ , ZrCr ₂	Heksagonalna złożona C14 (rys. 3.48b)
MgNi ₂	1,8÷2,3	MgNi ₂ , TiCo ₂ -β, ZrFe ₂ , UPt ₂ , U(Fe,Ni) ₂	Heksagonalna złożona C36 (rys. 3.48c)

12. Materiały amorficzne i nanokrystaliczne

Stopy o strukturze szkieł metalicznych (Dobrz. Nowy 7.315)



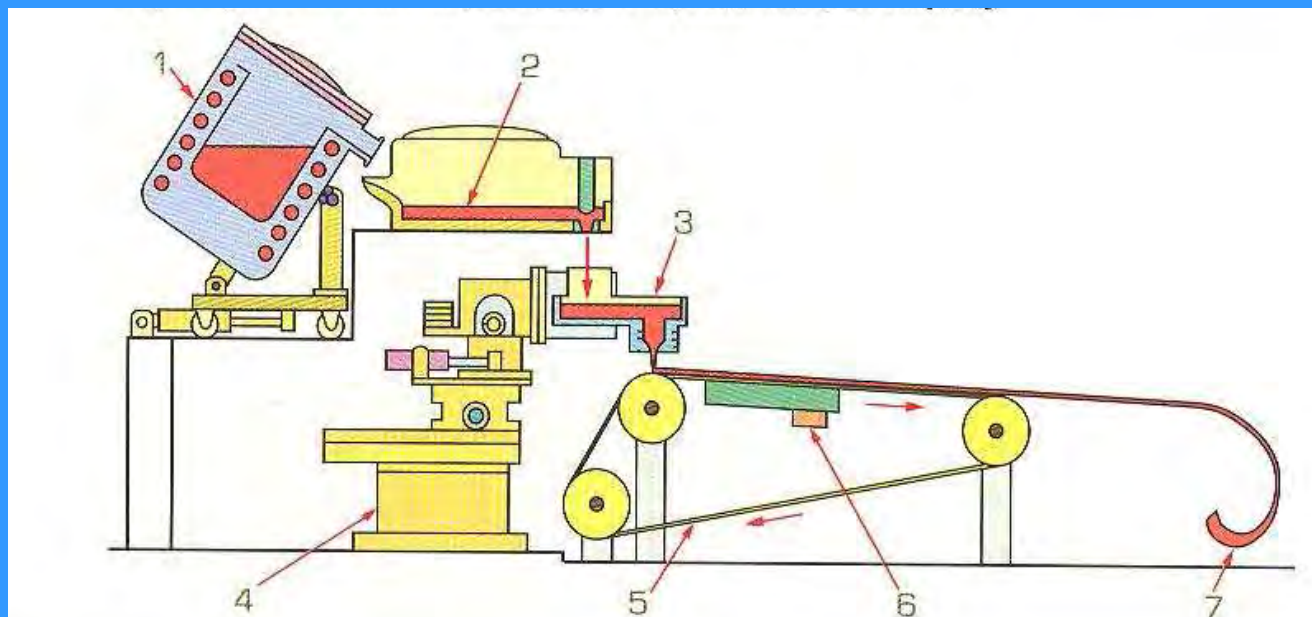
Schemat wykresu: czas–temperatura–przemiana zeszklenia stopów metali; T_t – temperatura topnienia, T_g – temperatura zeszklenia, η – lepkość

Stop	Temperatura zeszklenia T_s , K	Stosunek temperatury eutektyki do temperatury topnienia głównego pierwiastka stopowego T_E/T_i^A	Temperatura krystalizacji T_x , K
Au ₅₅ Pb _{22,5} Sb _{22,5}	312,9	-	337,3
Au ₈₁ Si ₁₉	292	0,48	320
Cu ₆₀ Cd ₄₀	-	0,6	-
Cu ₆₀ Zr ₄₀	740	0,85 (0,55)	-
Fe ₈₀ B ₂₀	>713	0,79	713
Fe ₈₀ P ₁₃ C ₇	705	-	730
Fe ₈₃ P ₁₇	-	0,73	-
La ₈₀ Au ₂₀	-	0,7	-
Mg ₇₀ Zn ₃₀	-	0,67	-
Ni ₆₀ Nb ₄₀	-	0,84 (0,53)	-
Ni ₈₀ P ₂₀	620	0,67	640
Pd ₈₀ P ₂₀	610	-	630
Pd _{77,5} Cu ₆ Si _{16,5}	645	-	-
Pd ₈₃ Si ₁₇	632	0,57	-
Pt ₈₀ P ₂₀	485	0,42	-
Pt ₆₆ Sb ₃₄	-	0,44	-
Ta ₈₀ Si ₁₀ B ₁₀	-	-	1225
W ₄₀ Re ₄₀ B ₂₀	-	-	1300
Zr ₅₀ Cu ₅₀	705	-	730
Zr ₃₅ Cu ₆₅	781	-	815
Zr ₇₂ Ni ₂₈	642	-	671
Zr ₆₀ Ni ₄₀	713	-	751
Zr ₃₆ Ni ₆₄	834	-	864
Zr ₇₀ Pd ₃₀	680	0,61	-
Zr ₈₀ Rh ₂₀	-	0,63	-

(Dobrz. Nowy 7.144)

Niektóre stopy metaliczne ulegające zeszkleniu (według danych P.G. Zielińskiego i H. Matyji oraz W.L. Johnsona)

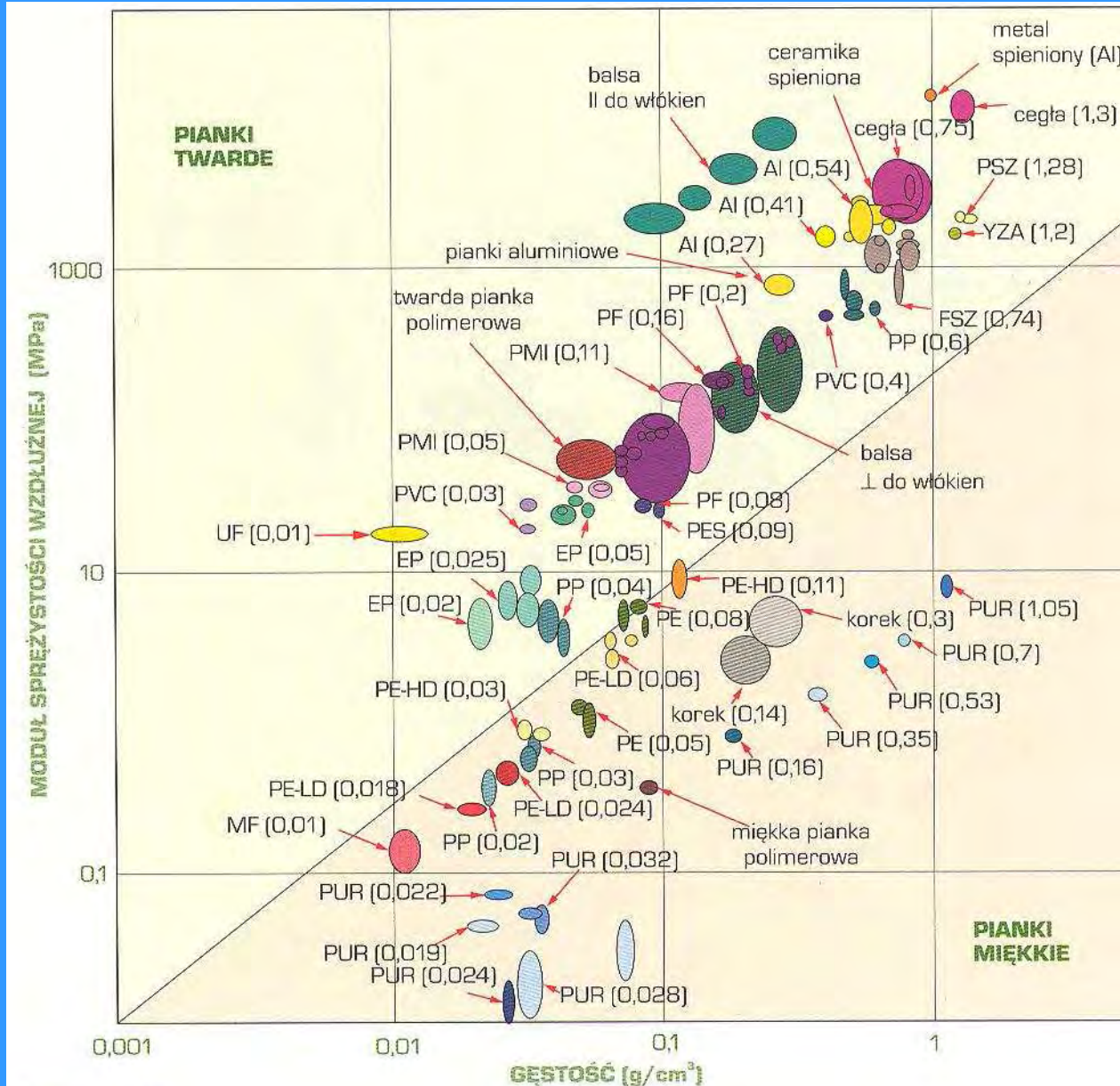
(Dobrz. Nowy 7.320)



Schemat urządzenia do odlewania szkła metalicznych na wirujący bęben (według rysunku zamieszczonego przez W.F. Smitha); 1 - piec do topienia składników stopu, 2 - ciekły stop przygotowany do wprowadzania do systemu odlewniczego, 3 - system odlewniczy, z którego ciekły stop jest pod ciśnieniem rozpylany z dyszy, 4 - manipulator umożliwiający zmianę grubości odlewanej taśmy przez zmianę pozycji dyszy, 5 - szybko przemieszczany, chłodzony pas miedziany, na którym rozpylony ciekły stop krzepnie w postaci amorficznej taśmy, 6 - urządzenie chłodzące, 7 - taśma amorficzna

13. Materiały porowate

Polimerowe – Ceramiczne – Metalowe



(Dobrz. Nowy 7.327)

Porównanie zależności modułu sprężystości i gęstości różnych pianek aluminiowych, polimerowych i ceramicznych ; w nawiasach podano gęstość pianek w g/cm³ (opracowano wg N.A. Watwrmana i M.F. Ashby'ego)

(Dobrz. Nowy
Tab. 7.160)

Oznaczenia niektórych materiałów			
Oznaczenie	Rodzaj materiału	Oznaczenie	Rodzaj materiału
ABS	akrylonitryl-butadien-styren	PMI	polimetakryloimid
CORD	kordieryt	PMMA	poli(metakrylan metylu)
EP	epoksyd, epoksy (żywica epoksydowa)	PP	polipropylen
FSZ	całkowicie stabilizowany spiekany ZrO_2	PS	polistyren
MF	melamina-formaldehyd	PSZ	częściowo stabilizowany spiekany ZrO_2
PC	poliwęglan	PUR	poliuretan
PE	polietylen	PVC	poli(chlorek winylu)
PE-HD	polietylen o dużej gęstości	UF	mocznik-formaldehyd
PE-LD	polietylen o małej gęstości	YZA	spiekany $Y_2O_3+ZrO_2$ + Al_2O_3
PE	polieterosulfon	ZTA	spiekany Al_2O_3 umacniany przez ZrO_2
SPF	fenol-formaldehyd		

Gazary – niektóre metale: Al, Ni, Cu, Fe Mn tworzą z wodorem eutektyki gaz-metal; stopiony metal jest długotrwale nasycany wodorem pod ciśnieniem 50MPa, następnie krystalizuje w tyglu z szybkością 0.05-5 mm/s, kształtem porów steruje się poprzez zmiany ciśnienia i kierunku krzepnięcia ; porowatość 5-75%, średnica porów 10 μ m – 10 mm

14. Materiały inteligentne

(ang. smart ; intelligent; adaptive materials)

Materiały reagujące na zewnętrzną stymulację i adoptujące się do warunków środowiskowych

mogą: samoistnie powielać się, naprawiać lub uszkadzać

Materiały inteligentne analogicznie jak systemy automatycznej regulacji spełniają funkcje :

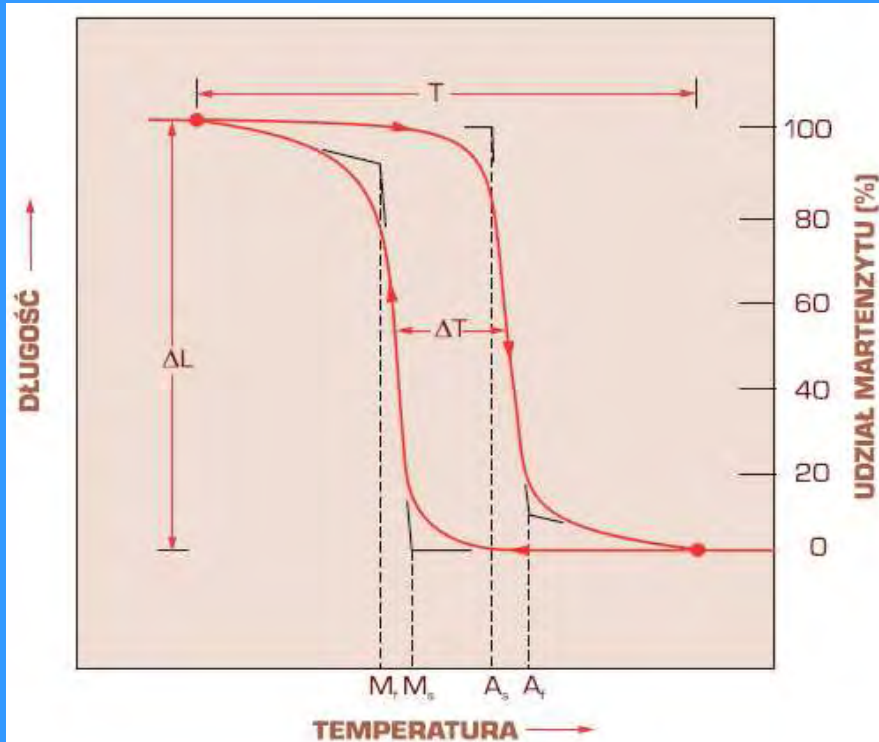
- **Sensora** */regulują stymulację zewnętrzną/*
- **Procesora** */analizują zmieniający się stan warunków środowiskowych/*
- **Aktuatora** */adaptują swe własności do zmiennych warunków środowiska/*

Grupy materiałów:

- Z pamięcią kształtu (termiczną)
- Z magnetyczną pamięcią kształtu
- Piezoelektryczne
- Elektro- i magnetostrykcyjne
- Elektro- i magnetoreologiczne (ciecze)
- Elektrochromiczne, światłowodowe i chiralne (aktywne optycznie)
- Dostrajające się (*tunable dielectrics*)

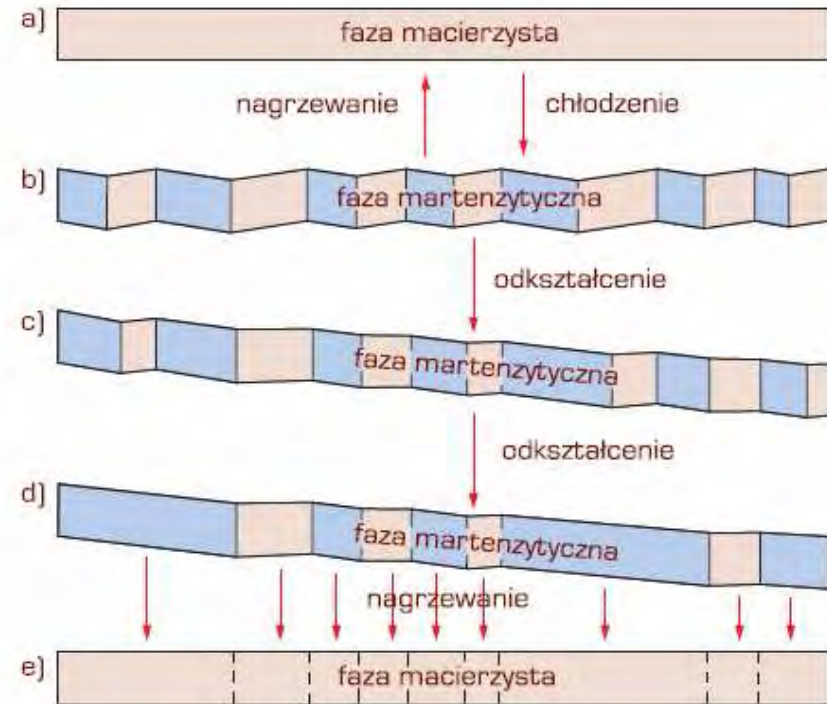
Materiały mogą być: metalowe, ceramiczne, polimerowe i kompozytowe

(Dobrz. Nowy 7.339)



Typowa krzywa przemiany w funkcji temperatury dla próbek ze stopu z pamięcią kształtu pod stałym obciążeniem, pod wpływem chłodzenia i nagrzewania; T – zakres temperatury przemiany, ΔT – zakres przemiany, M_s , M_f – odpowiednio temperatura początku i końca przemiany martenzytycznej, A_s , A_f – odpowiednio temperatura początku i końca powstania austenitu

(Dobrz. Nowy 7.340)



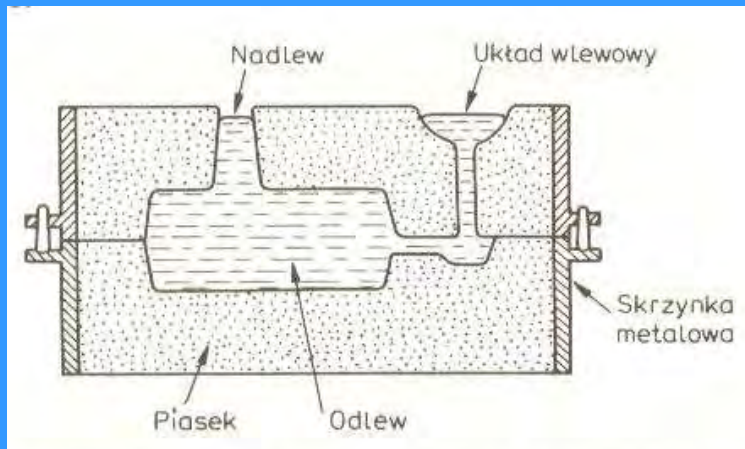
Schemat przemian strukturalnych w monokryształe stopu metali z pamięcią kształtu a) i e) faza rodzima, b).d) faza martenzytyczna (opracowano według K. Otsuka i K. Shimizu)

16. Procesy kształtowania metale, ceramika, polimery, kompozyty

Wyroby metalowe

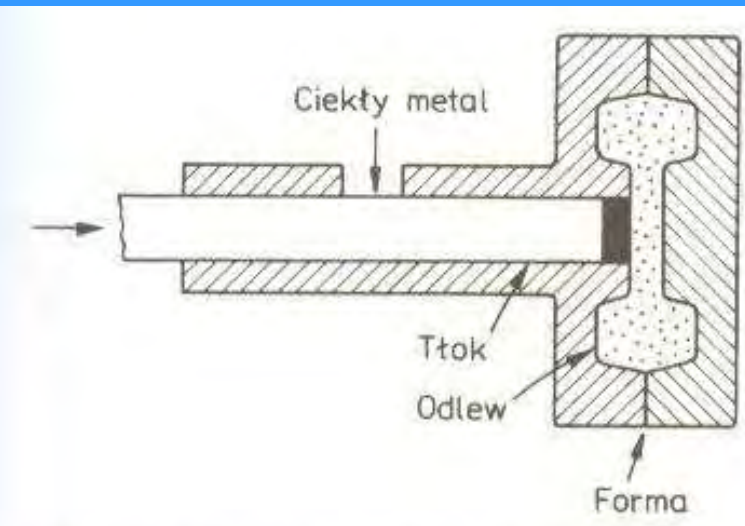
- odlewanie
- obróbka plastyczna na gorąco
- obróbka plastyczna na zimno
- metalurgia proszków
- obróbka skrawaniem

(Blich. 12.1)



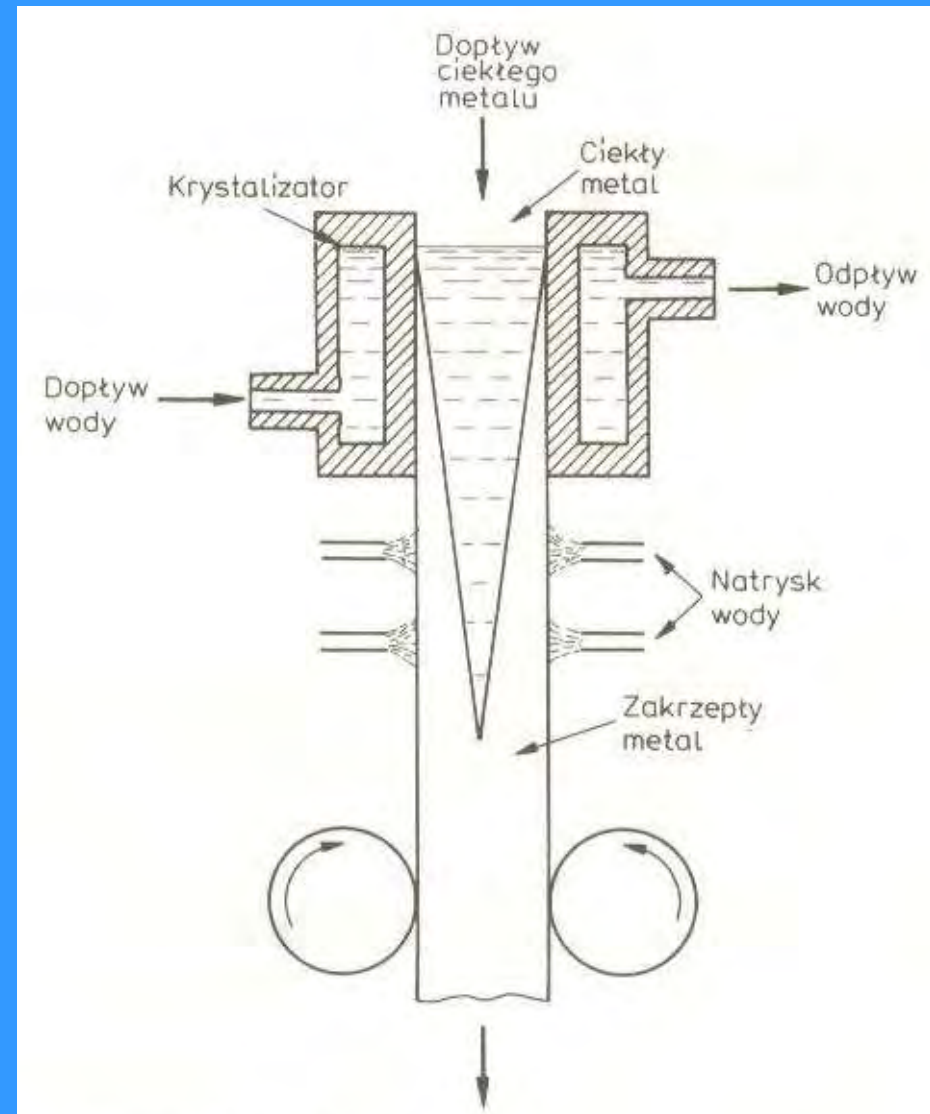
Schemat formy piaskowej z odlewem

(Blich. 12.2)



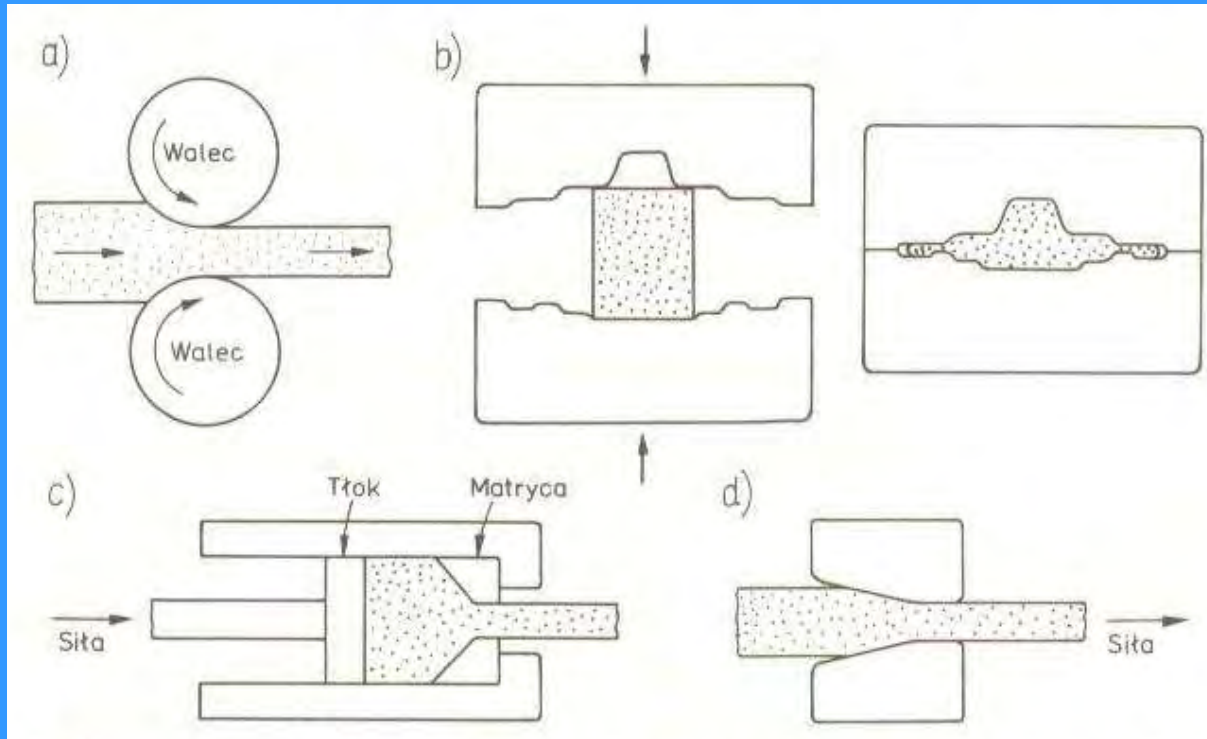
Schemat odlewania ciśnieniowego do formy metalowej

(Blich. 12.3)



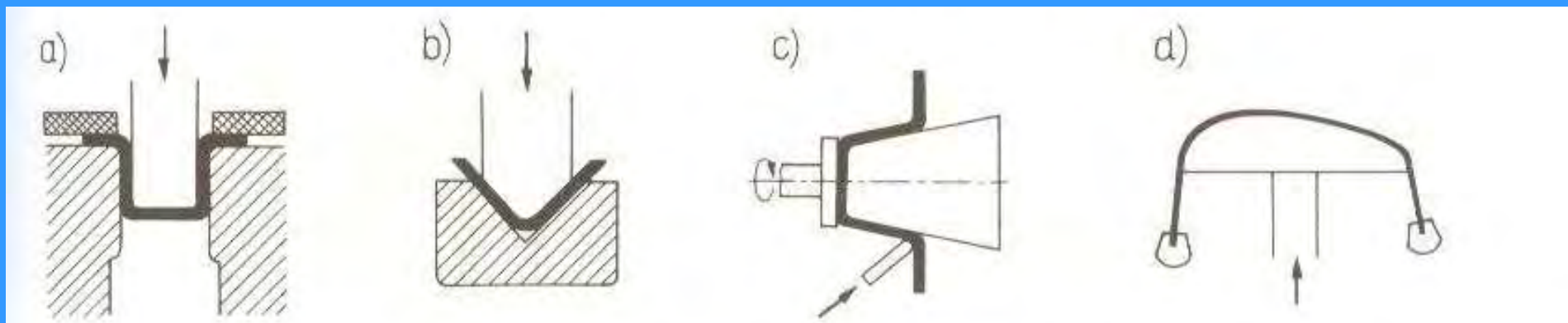
Odlewanie ciągłe wlewków

(Blich. 12.5)



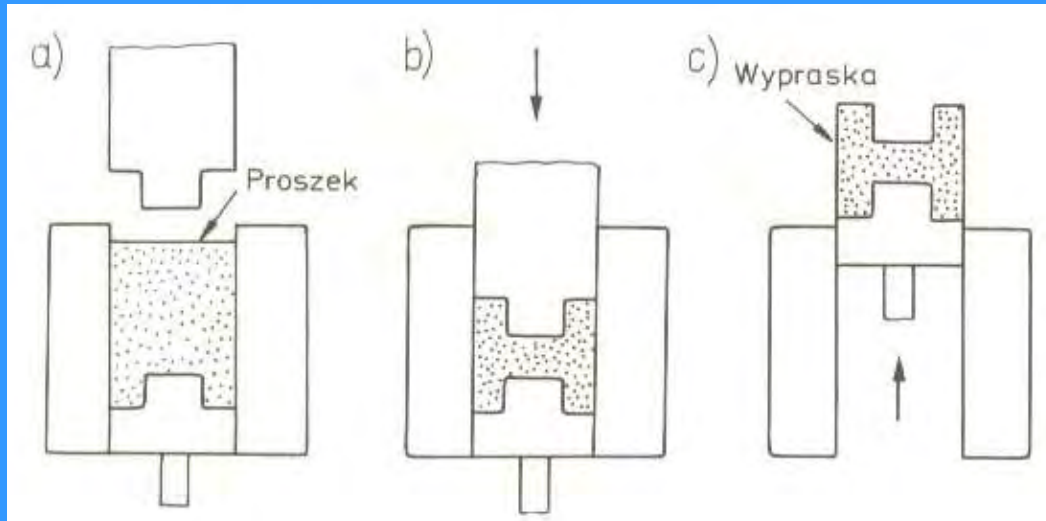
Podstawowe procesy formowania przez odkształcenie plastyczne: a) walcowanie, b) kucie (matrycowe), c) wyciskanie, d) ciągnienie

(Blich. 12.6)



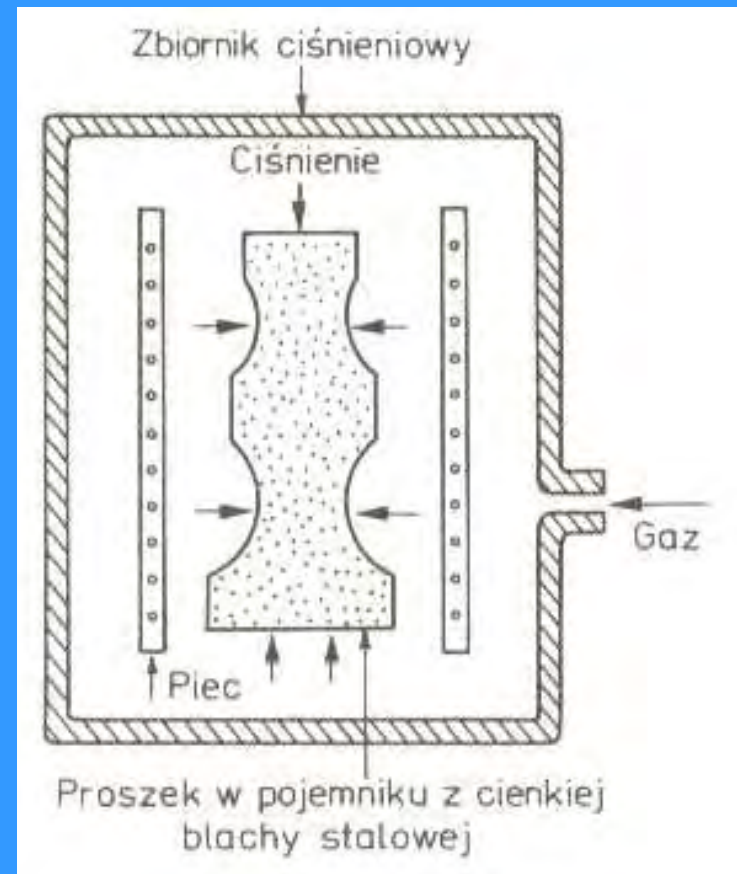
Podstawowe procesy kształtowania wyrobów z blachy: a) tłoczenie, b) gięcie, c) wyoblanie, d) obciąganie

(Blich. 12.7)



*Zagęszczanie proszku przez prasowanie jednoosiowe:
a) zasypanie proszku do matrycy, b) nadawanie kształtu (prasowanie), c) wypchnięcie wypraski z matrycy*

(Blich. 12.9)

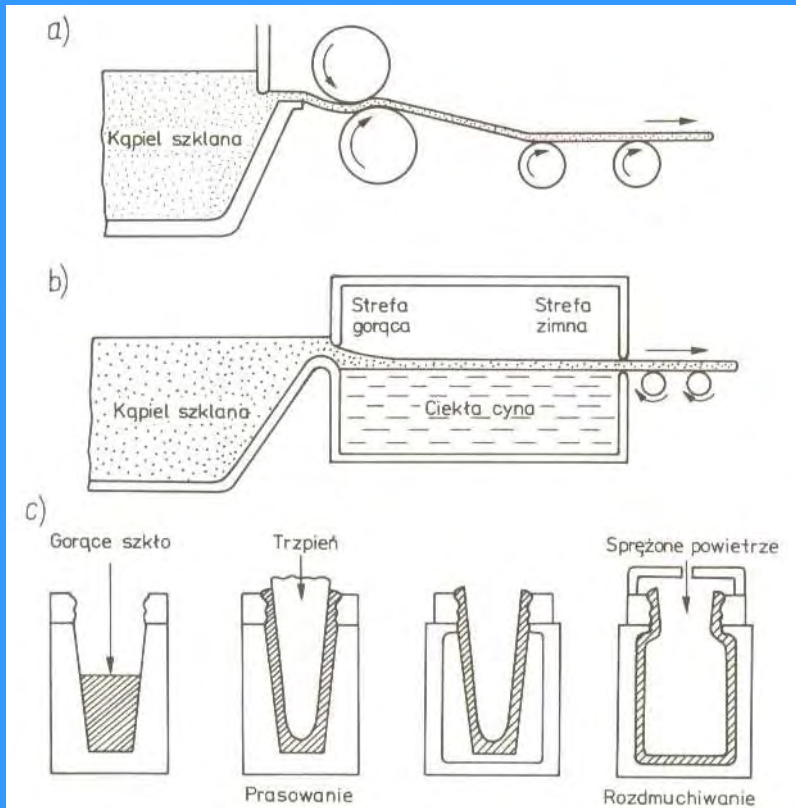


Wysokotemperaturowe prasowanie izostatyczne

Formowanie ceramik

- formowanie przez prasowanie i spiekanie
- odlewanie z gęstwy
- spiekanie reaktywne

Formowanie szkła (Blich. 12.11)



*Częściej stosowane metody formowania szkła:
a) walcowanie, b) rozpływanie się stopionego szkła na powierzchni ciekłej cyny,
c) prasowanie i rozdmuchiwanie*

Formowanie polimerów

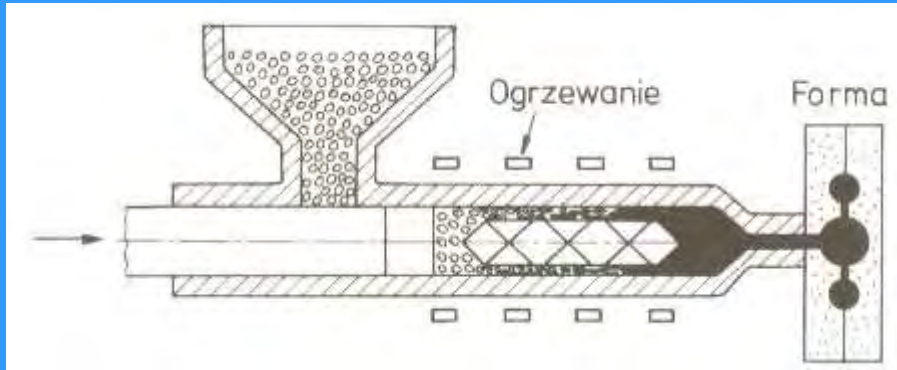
- formowanie przez wtrysk
- formowanie przez rozdmuchiwanie
- formowanie przez odlewanie

Formowanie kompozytów (in vitro)

- wytwarzanie włókien
- układanie włókien
- formowanie wyrobów
- odlewanie kompozytu agregatowego o osnowie metalowej

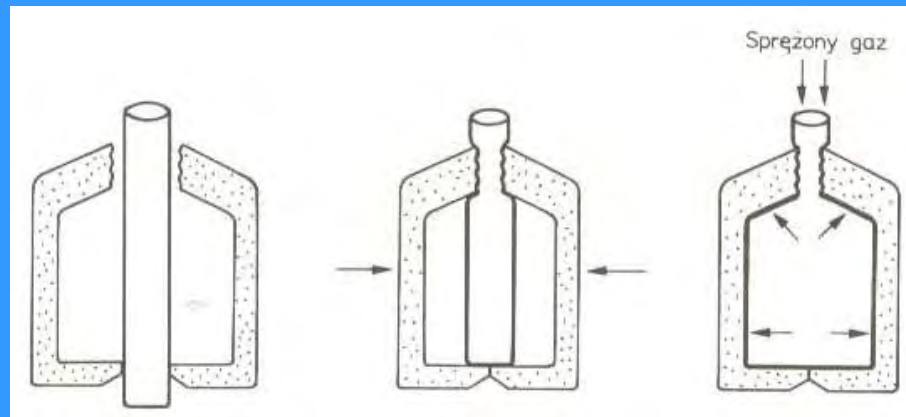
In situ –krystalizacja kierunkowa

(Blich. 12.13)



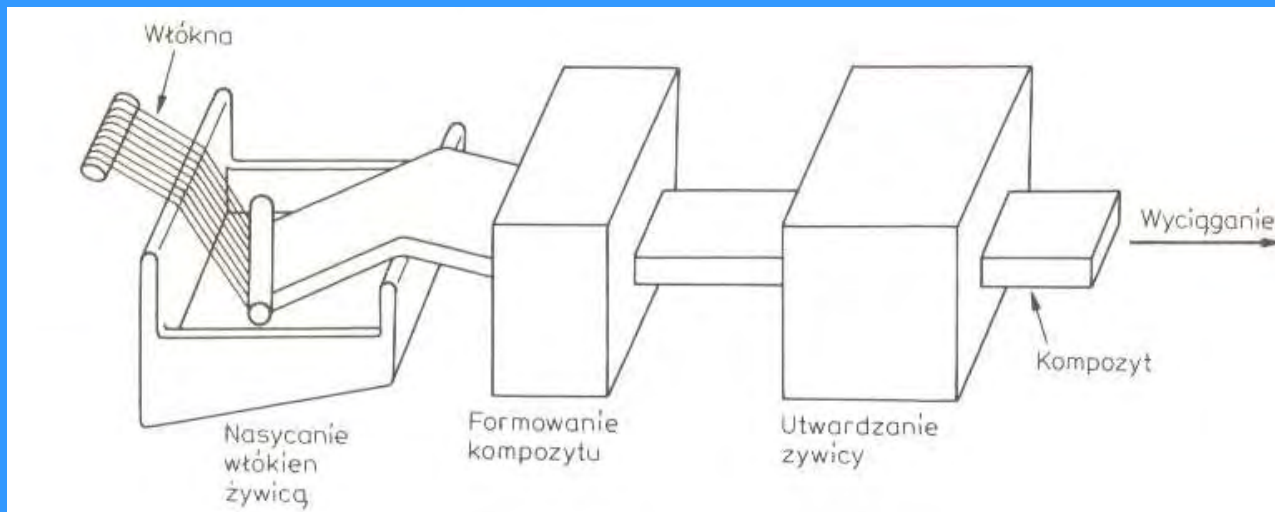
Formowanie polimeru przez wtrysk

(Blich.12.15)



Nadawanie kształtu przez rozdmuchiwanie

(Blich.12.21)



Schemat wytwarzania długich elementów o stałym przekroju metodą przeciągania

17. Inżynieria powierzchni

„Nigdzie tak mało nie znaczy tak wiele jak warstwa wierzchnia dla jakości części wyrobów i systemów maszynowych”

Parafraza słynnego powiedzenia Winstona Churchilla z okresu II Wojny Światowej, wypowiedziana przez profesora Kaczmarka w 1995r.

„Zastosowanie tradycyjnych i innowacyjnych technologii otrzymywania warstw wierzchnich i powłok w celu wytworzenia materiału kompozytowego o właściwościach nieosiągalnych oddzielnie zarówno dla materiału podłoża jak i materiału warstwy powierzchniowej, to obecnie zasadniczy cel inżynierii powierzchni.”

PROGRAM WYKŁADU „Inżynieria powierzchni” IIIrok SD

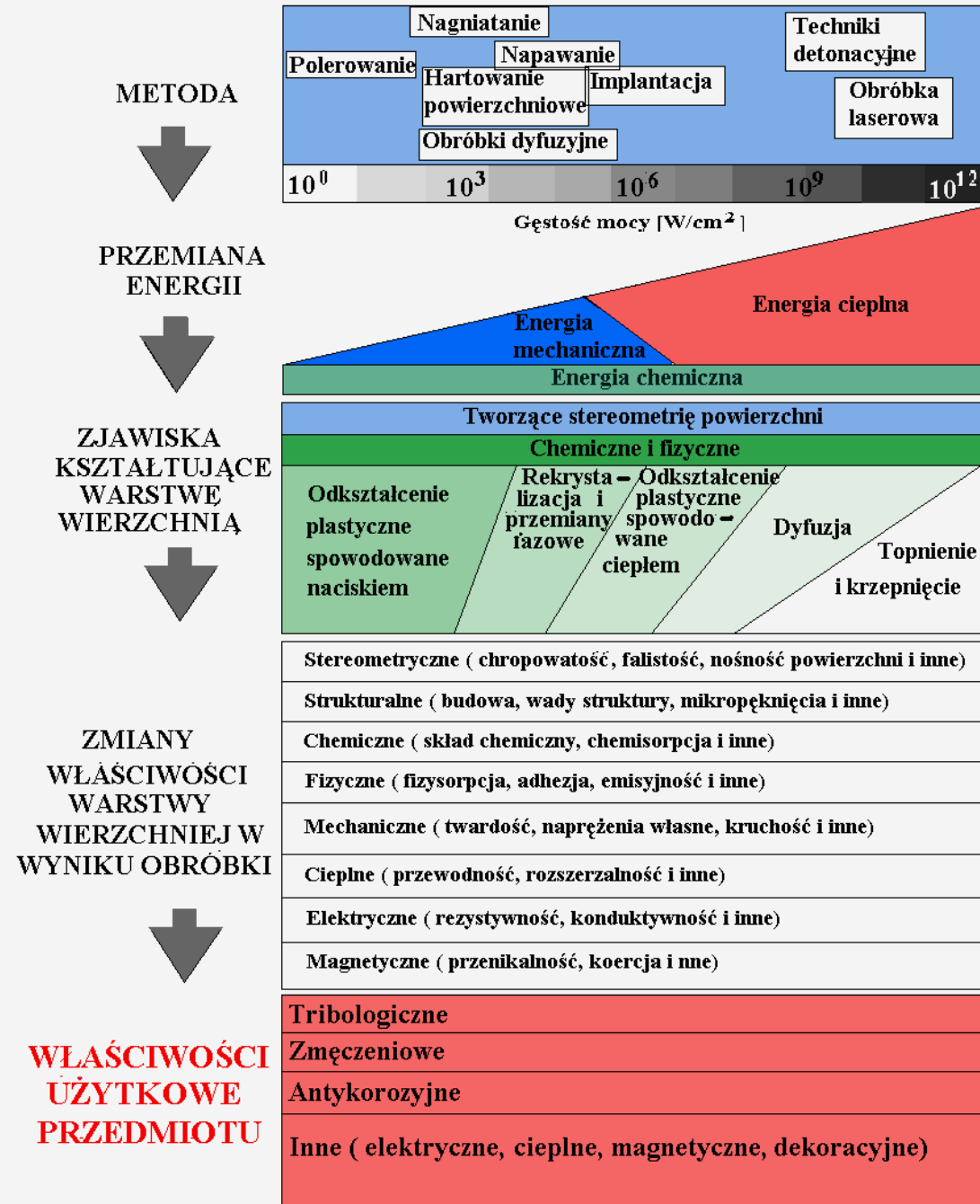
- 1. Zakres dyscypliny naukowej „inżynieria powierzchni”**
- 2. Nowoczesne metody wytwarzania technologicznych warstw wierzchnich**
- 3. Jednostki ciśnienia,**
 - 3a. Próżnia**
- 4. Mechaniczne metody modyfikacji powierzchni**
- 5. Chemiczne metody modyfikacji powierzchni CVD**
- 6. Krystalizacja powłok z fazy gazowej**
- 7. Plazma**
- 8. Fizyczne metody modyfikacji powierzchni PVD**
- 9. Oddziaływanie jonów i elektronów z powierzchnią ciała stałego**
- 10. Oddziaływanie wiązki laserowej z powierzchnia**
- 11. Wyładowanie magnetronowe w procesach plazmowych**
- 12. Modyfikacja powierzchni poprzez oddziaływanie jonów**
- 13. Modyfikacja powierzchni poprzez plazmową implantację jonów**
- 14. Modyfikacja powierzchni nisko-energetyczną i wysoko-prądową wiązką elektronów**

- 15. Laserowa modyfikacja powierzchni poprzez przetopienie**
- 16. Szybkie laserowe prototypowanie**
- 17. Osadzanie laserem impulsowym z wykorzystaniem ablacji laserowej**
- 18. Czyszczenie powierzchni z wykorzystaniem ablacji laserowej**
- 19. Modyfikacja powierzchni plazmą termiczną**
- 20. Odparowanie łukowe**
- 21. Metody diagnostyki powierzchni**
 - a. spektroskopowe metody analizy powierzchni**
 - b. diagnostyka strukturalna (AFM, SEM, TEM)**
 - c. naprężenia własne i metody ich pomiaru**
 - d. diagnostyka właściwości mikro-mechanicznych**
- 22. Twarde i supertwarde powłoki na bazie azotków, węglików, borków i nanokompozytów**
- 23. Powłoki na bariery termiczne**
- 24. Powłoki polimerowe uzyskiwane poprzez polimeryzację plazmową**
- 25. Kierunki rozwoju inżynierii powierzchni na świecie**

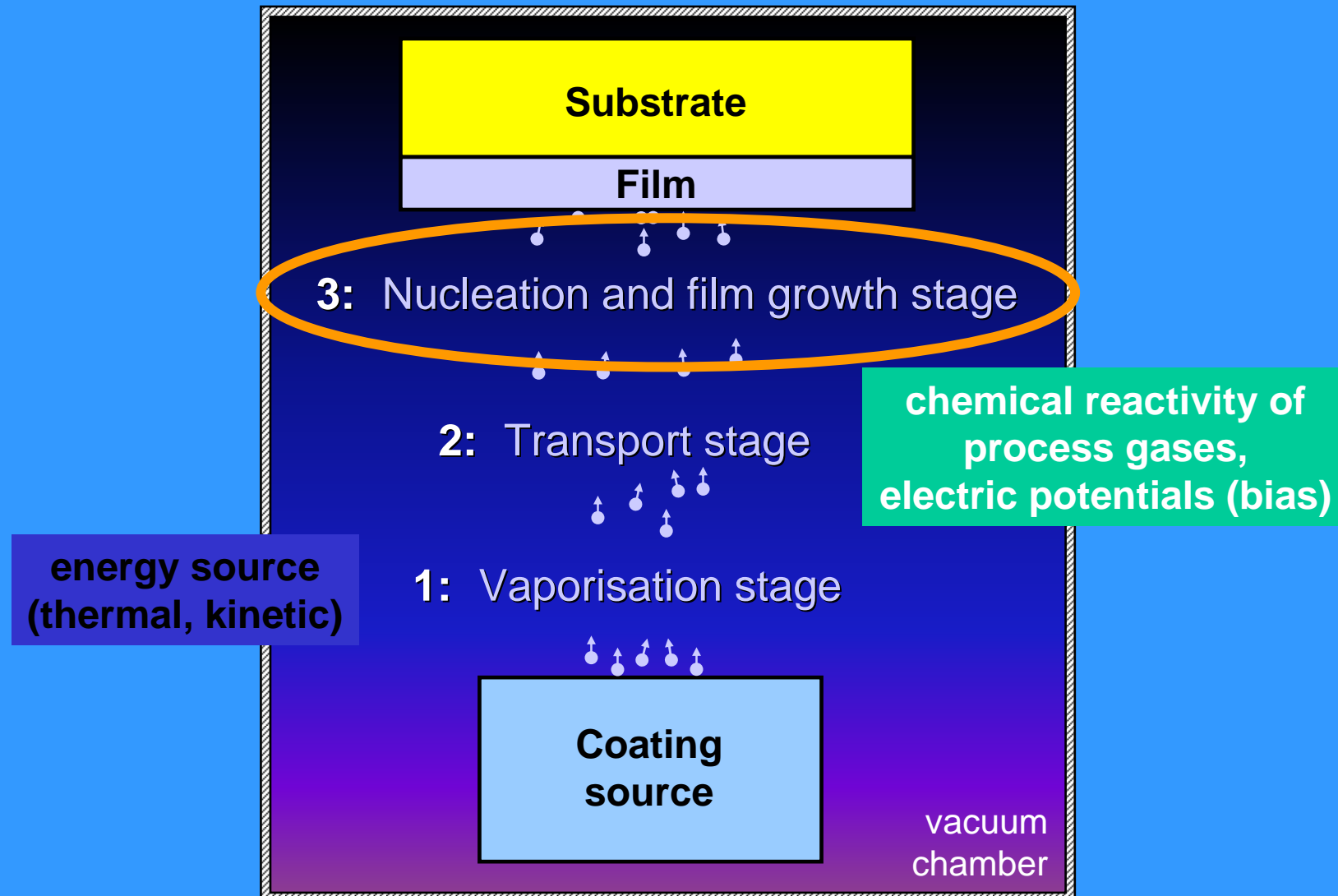
1. Zakres dyscypliny naukowej

„inżynieria powierzchni”

Schemat wpływu procesu technologicznego kształtowania warstwy powierzchniowej na właściwości użytkowe przedmiotu



Principles of vacuum coating



Metoda dwustopniowa (hybrydowa) Warstwy kompozytowe otrzymywane na stopach niklu

Metoda PVD

Obróbka jarzeniowa

Stop niklu

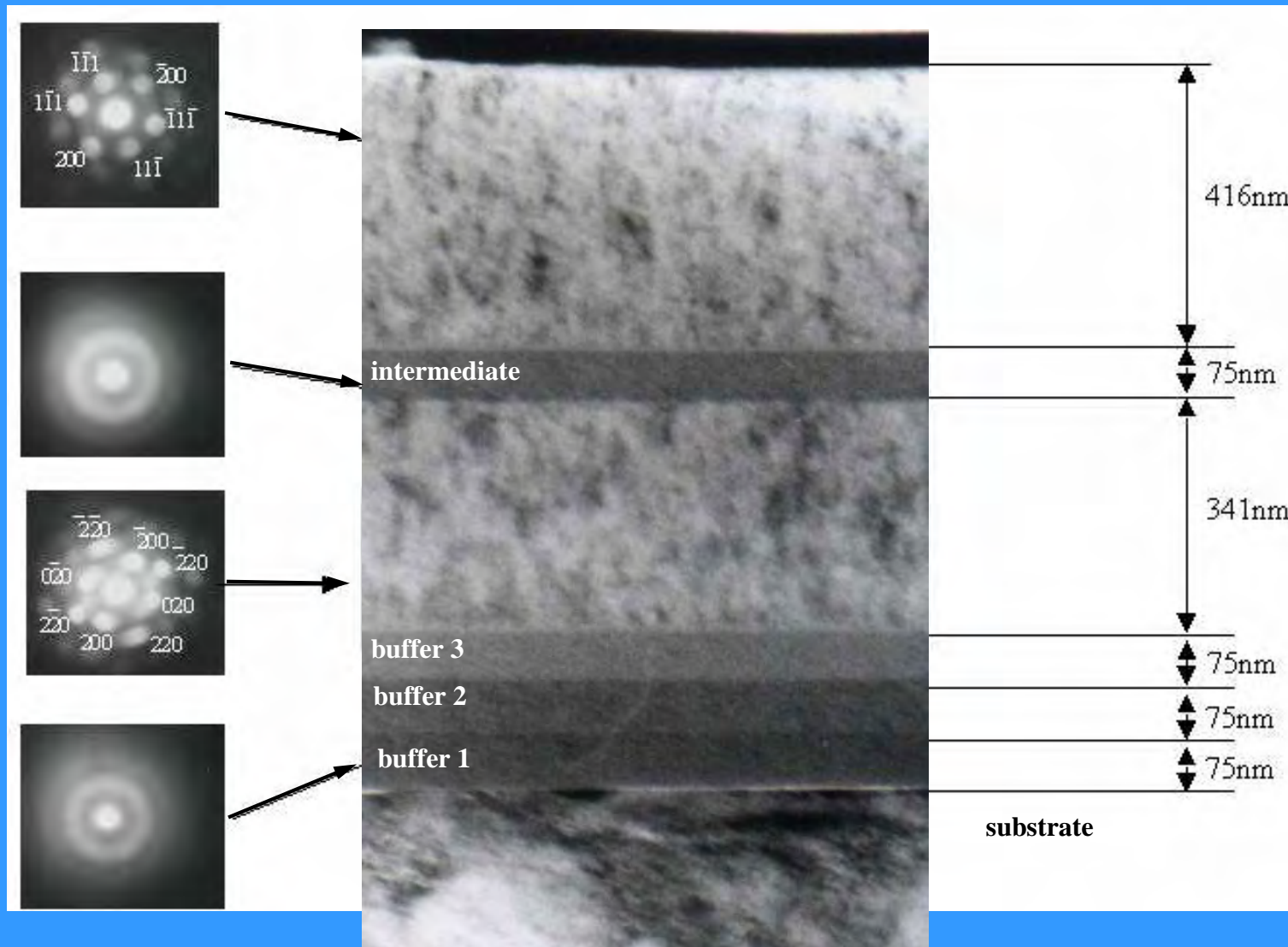
Powłoka
aluminium
Stop niklu

Utlenianie

Al_2O_3
NiAl
Ni_3Al
Strefa dyfuzyjna
Stop niklu

Azotowanie

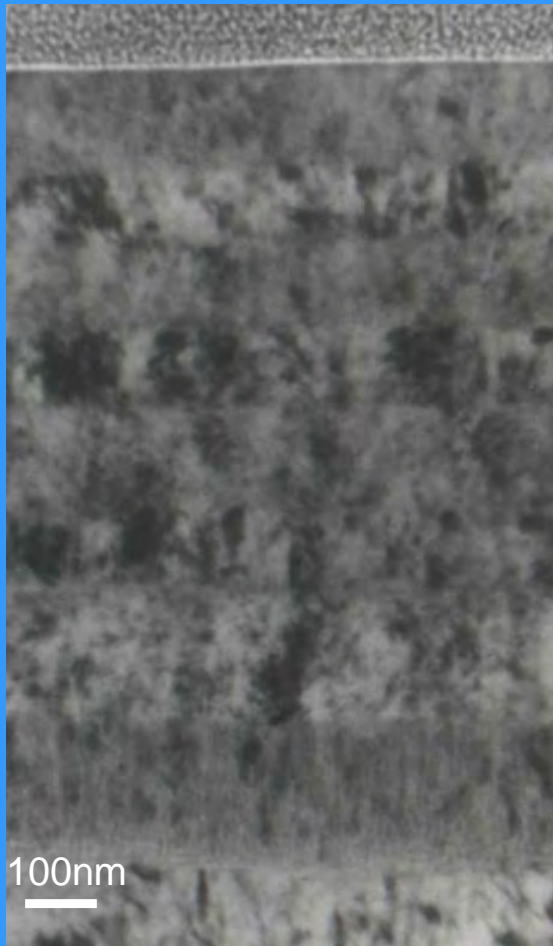
AlN
NiAl
Ni_3Al
Strefa dyfuzyjna
Stop niklu



Cr/CrN

8- layers

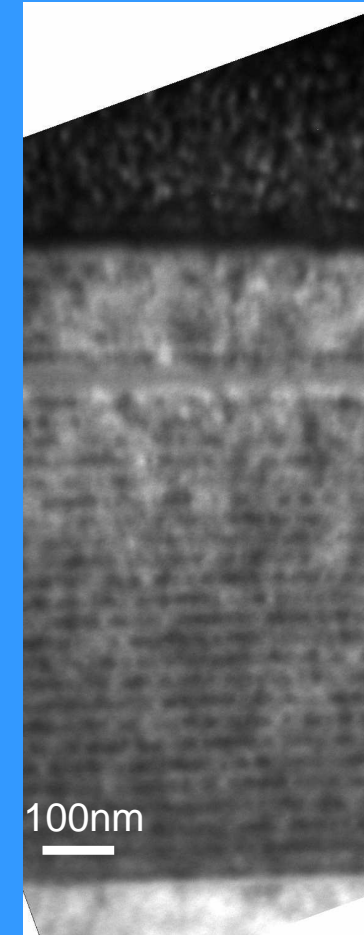
CrN
Cr
CrN
Cr
CrN
Cr
CrN
Cr



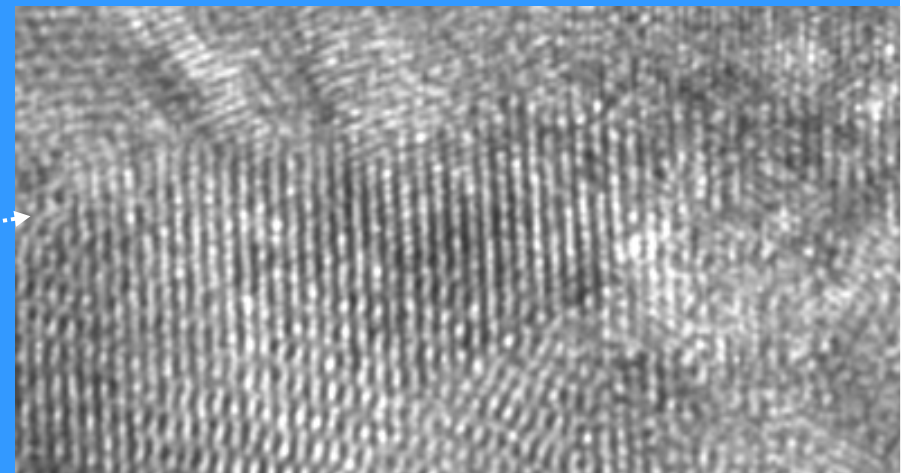
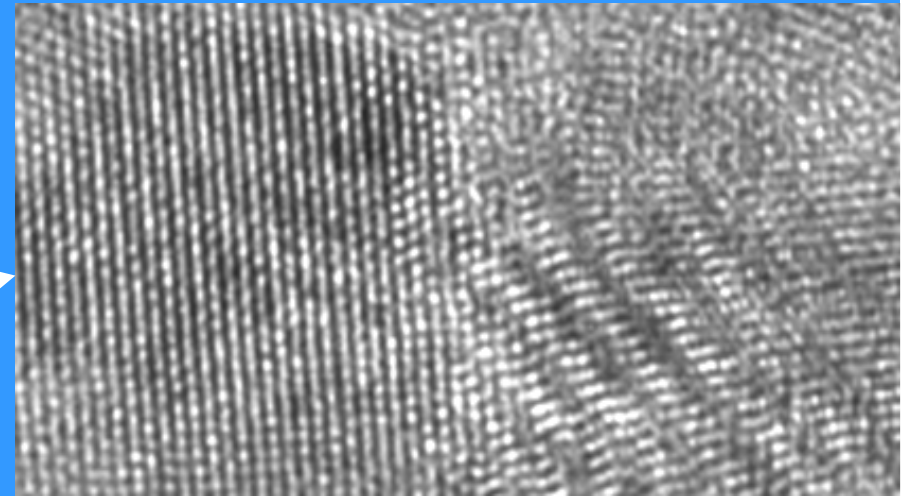
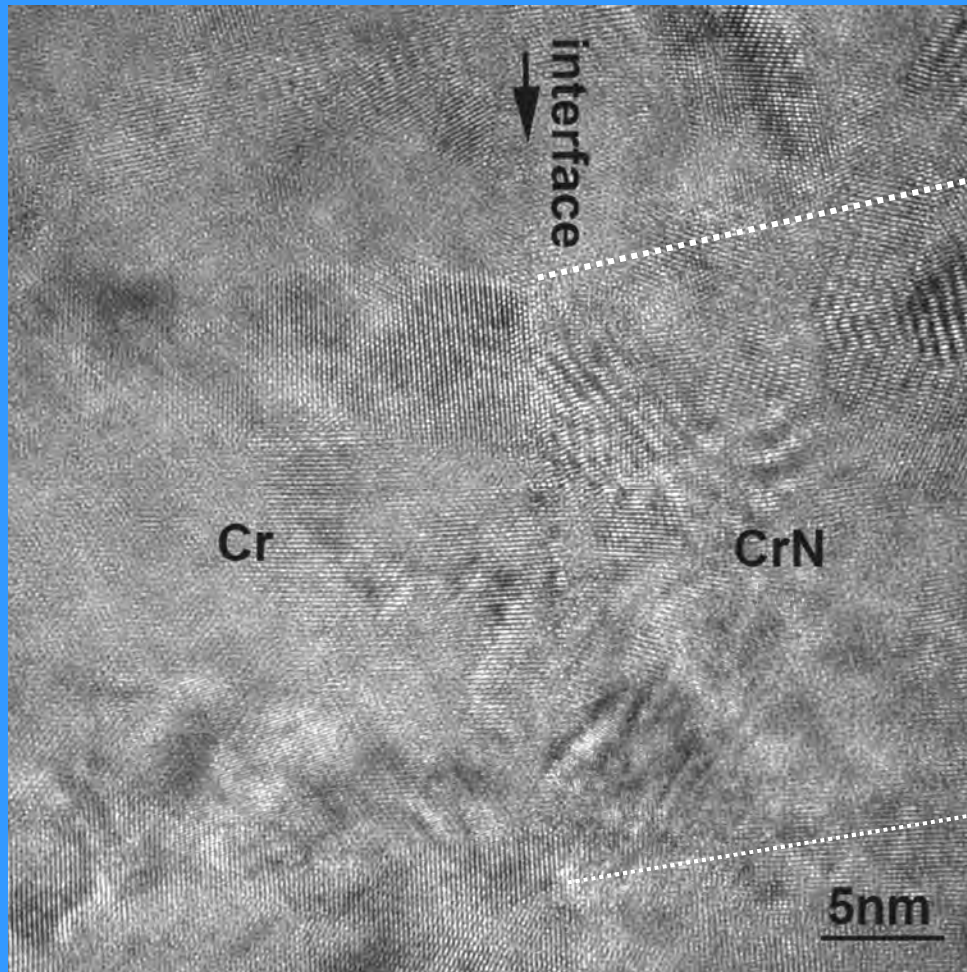
32- layers

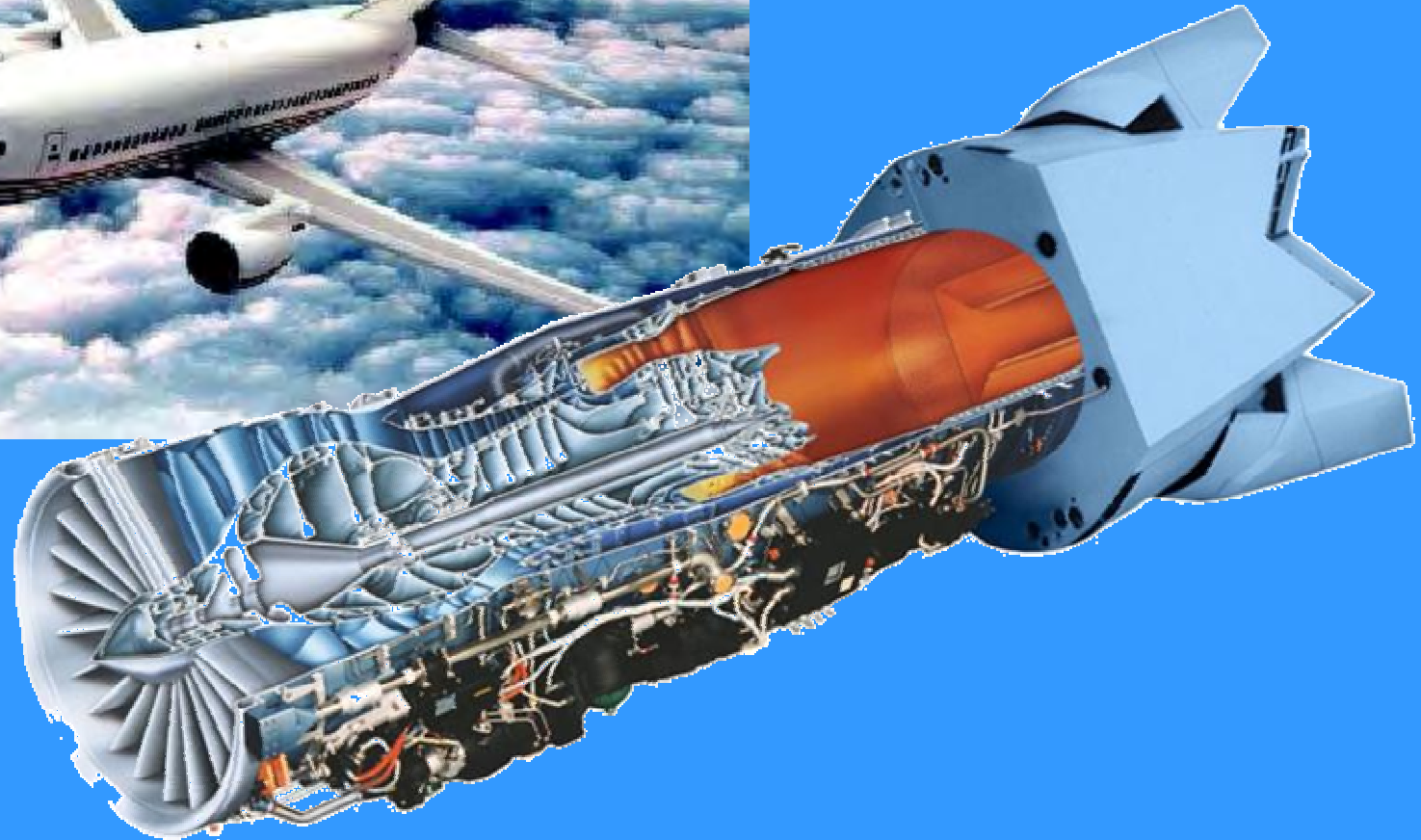


64- layers



Cr/CrN- 8 layers (HRTEM)





**koszt warstwy rekompensowany zwiększeniem
żywołności/ sprawności układu napędowego**

18. Nanomateriały i nanotechnologie

$$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$$

Główka szpilki	1 000 000 nm
Włos ludzki	50 000 – 80 000 nm
Komórki	5 000 – 200 000 nm
Proteiny	3 -20 nm
Łańcuchy DNA (średnica)	2 nm
Wirusy	10 – 200 nm
Molekuły leków zwalczających wirusy	5 nm
Atom wodoru	0.1 nm

Def. /Narodowa Strategia dla Polski 2006/

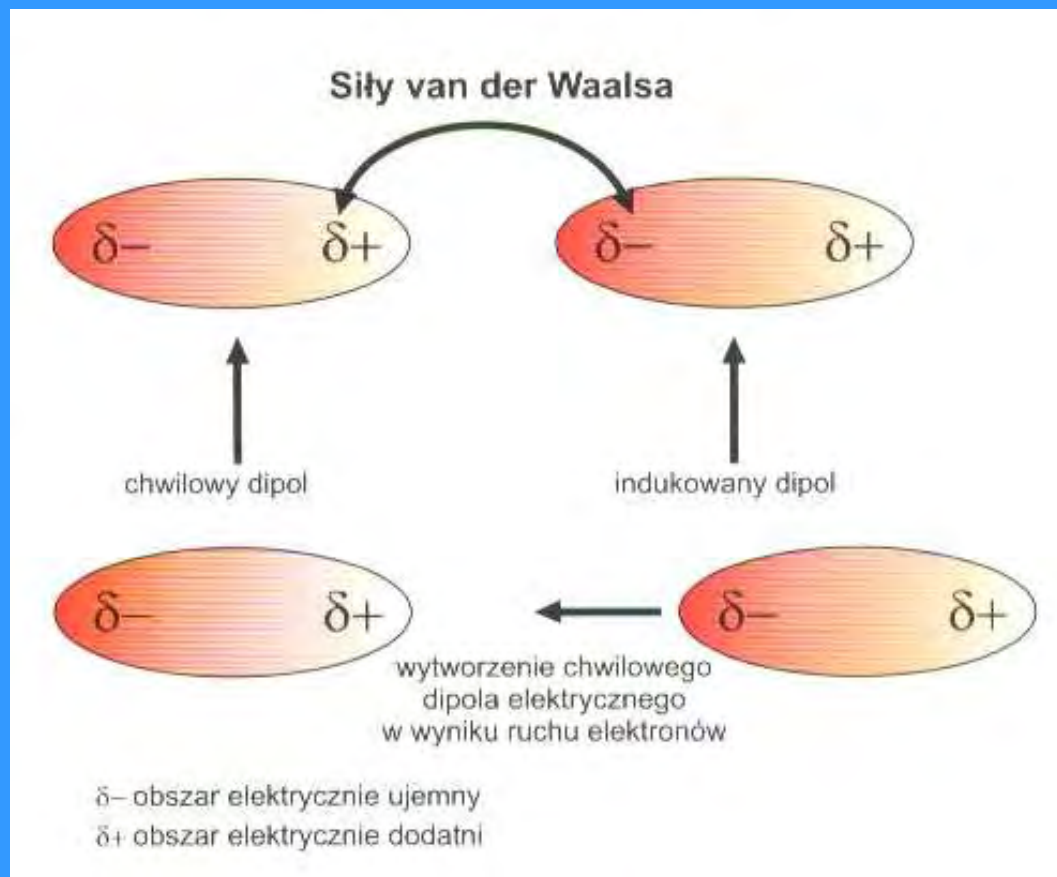
Nanotechnologia to projektowanie i wytwarzanie struktur, w których przynajmniej jeden rozmiar jest poniżej 100 nm i które posiadają nowe właściwości wynikające z nanorozmiaru

Richard P.Feynman

/spotkanie Amerykańskiego Towarzystwa Fizycznego, Kalifornia
1959/

„There's Plenty Room at the Bottom”

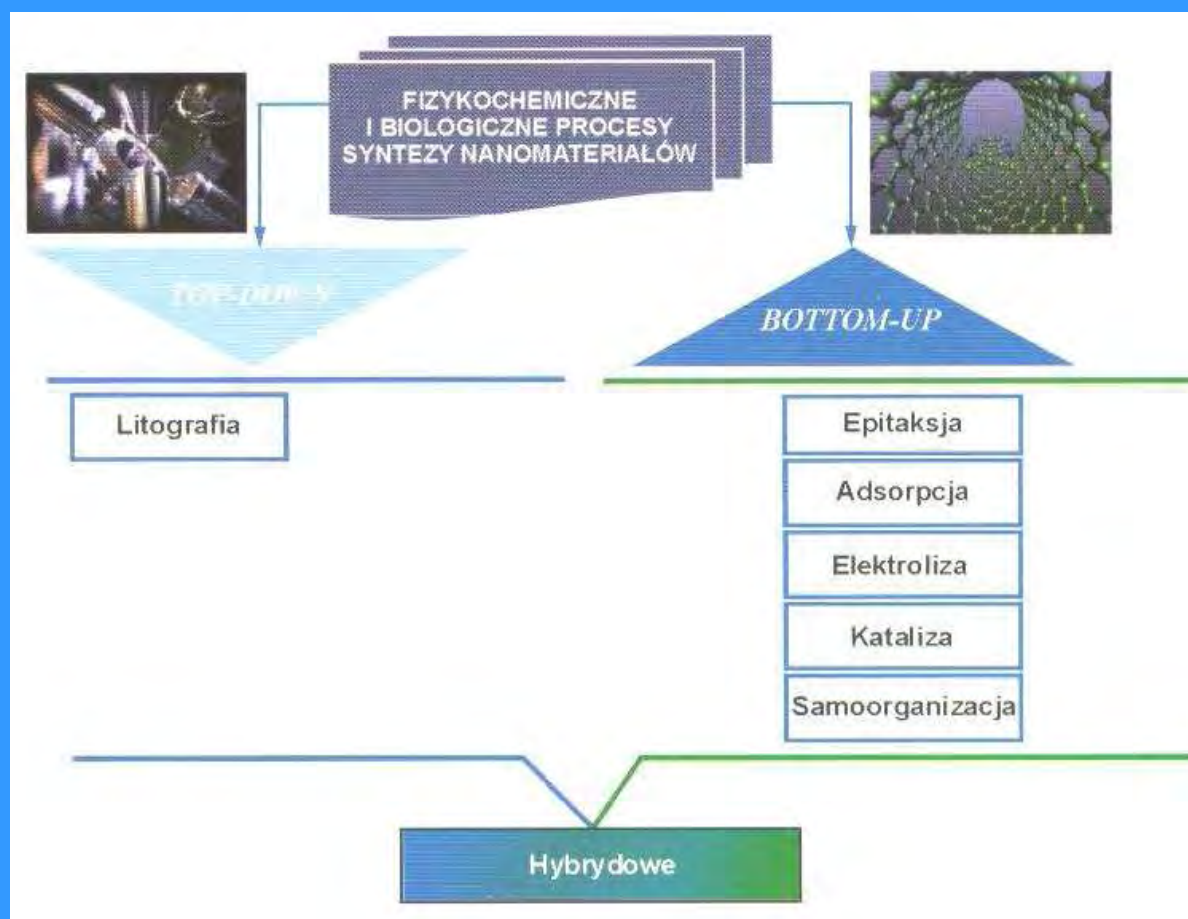
Zjawiska w nanoskali (Maz.2.4)



Schemat powstawania wiązania van der Waalsa

Procesy syntezy nanomateriałów (Maz.2.13)

- od dołu do góry (bottom-up)
- od góry do dołu (top-down)
- samoorganizacja



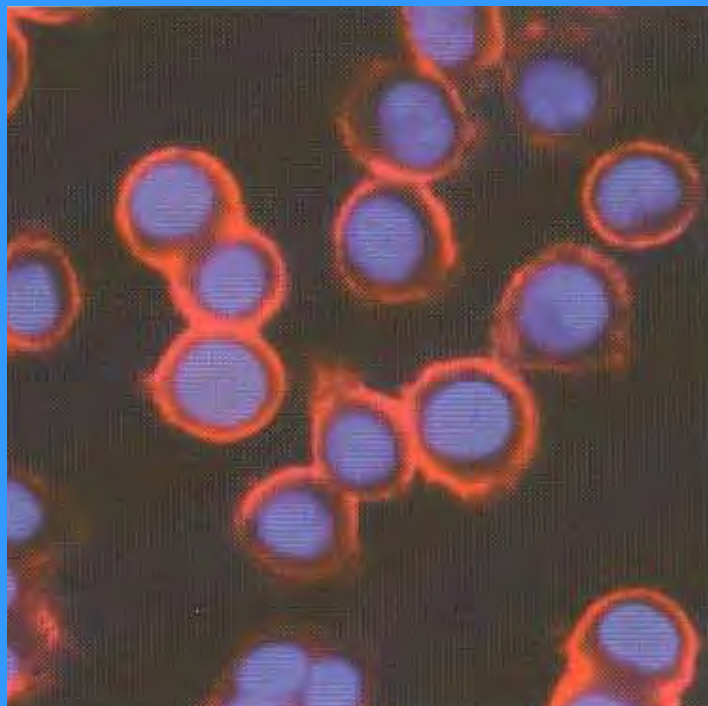
Klasyfikacja procesów syntezy nanomateriałów

Sztuczne nanostruktury

- Struktury niskowymiarowe /kropki kwantowe, studnie kwantowe, druty kwantowe/
- Struktury węglowe /fulereny, nanorurki i ich modyfikacje innymi atomami
- Nanostruktury molekularne i nadmolekularne /dendrymery, warstwy molekularne, klastera, złącza molekularne/

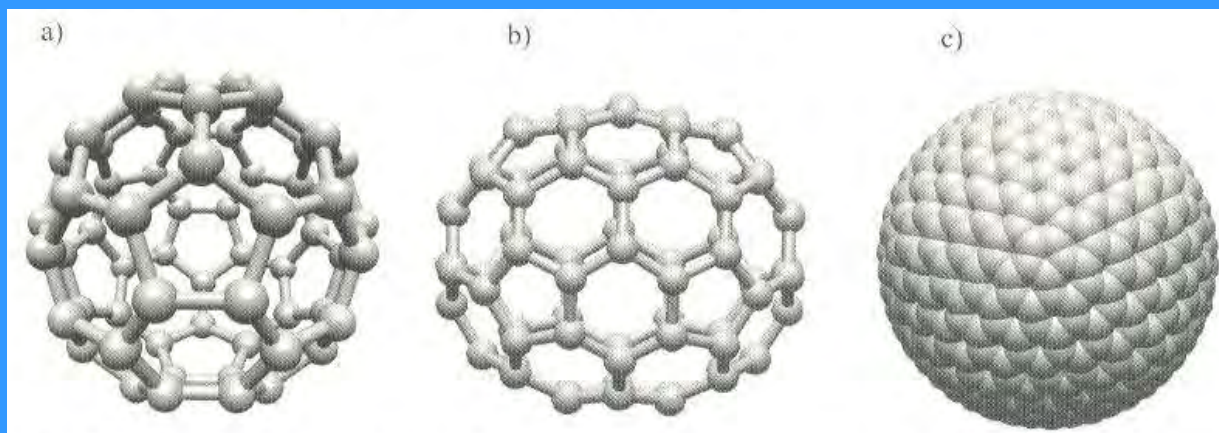
Dendrymery- to wielokrotnie i bardzo regularnie rozgałęzione polimery posiadające strukturę zwaną „gęstą gwiazda”

(Maz.2.36)



Markery nowotworów: czerwony kolor odpowiada kropkom kwantowym na powierzchni komórek raka piersi, natomiast jądro komórki jest zabarwione na niebiesko

(Maz.2.40)

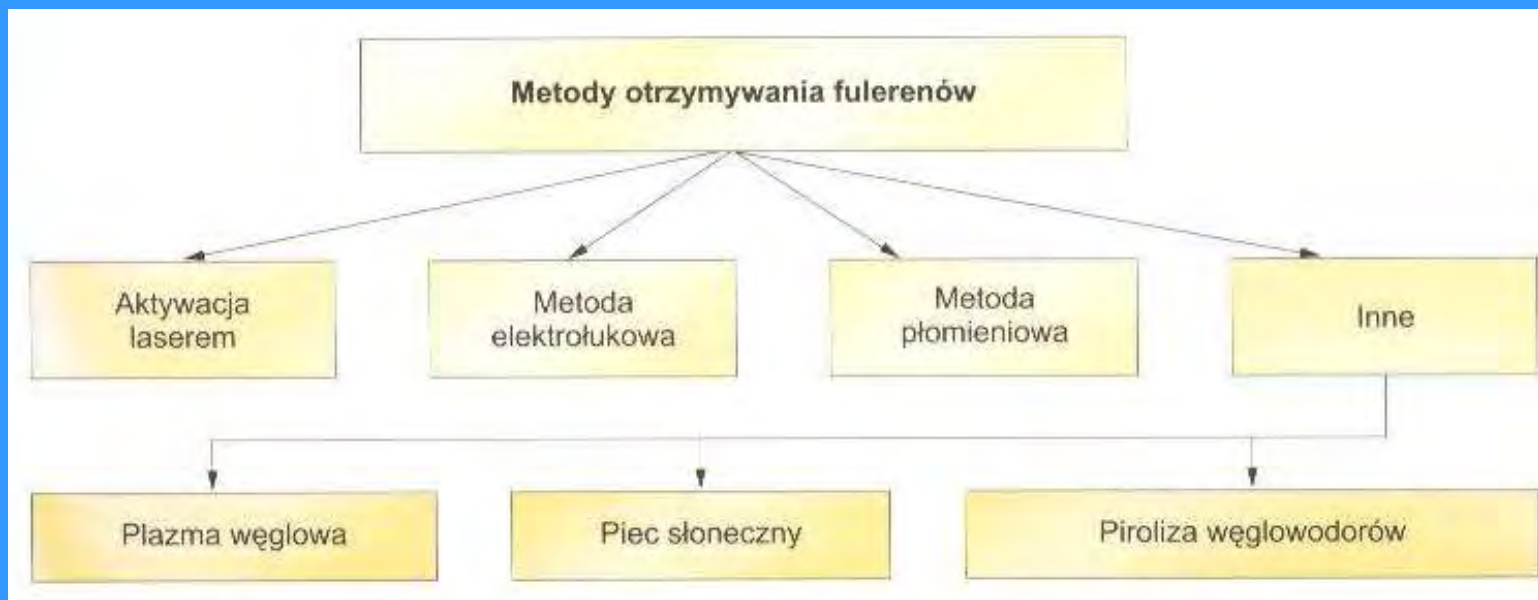


*Modele fulerenów a) C_{60} , b) C_{70} ,
c) C_{500}*

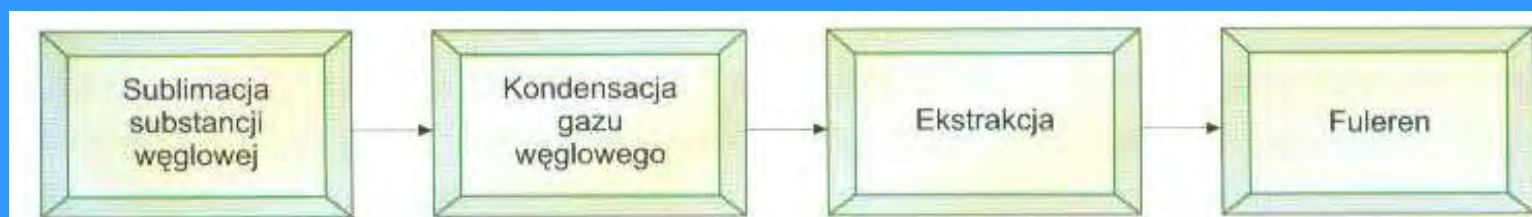
Metody wytwarzania fulerenów

(Maz.2.41)

(Maz.2.42)



Metody wytwarzania fulerenów

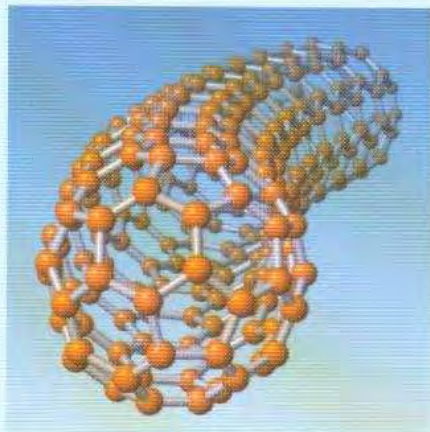


Schemat procesu otrzymywania fulerenów

(Maz. str.246)

Nanorurki

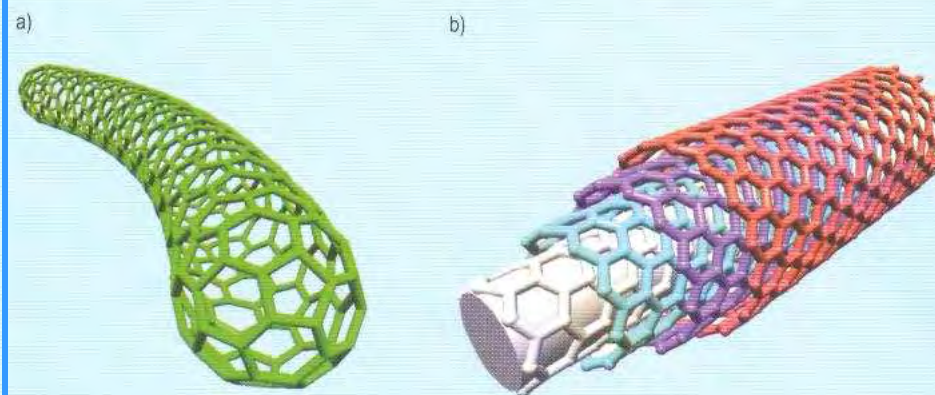
Nanorurki są trójwymiarowymi cząsteczkami chemicznymi o topologii cylindrycznej, w której to strukturze umiejscowione są atomy pierwiastka – w pierwszych odkrytych nanorurkach były to atomy węgla.



Graficzny model nanorurek węglowych

Źródło: opracowano na podstawie: S. Weber: Picture Book. *Fullerenes*, Livermore, California, 2004.

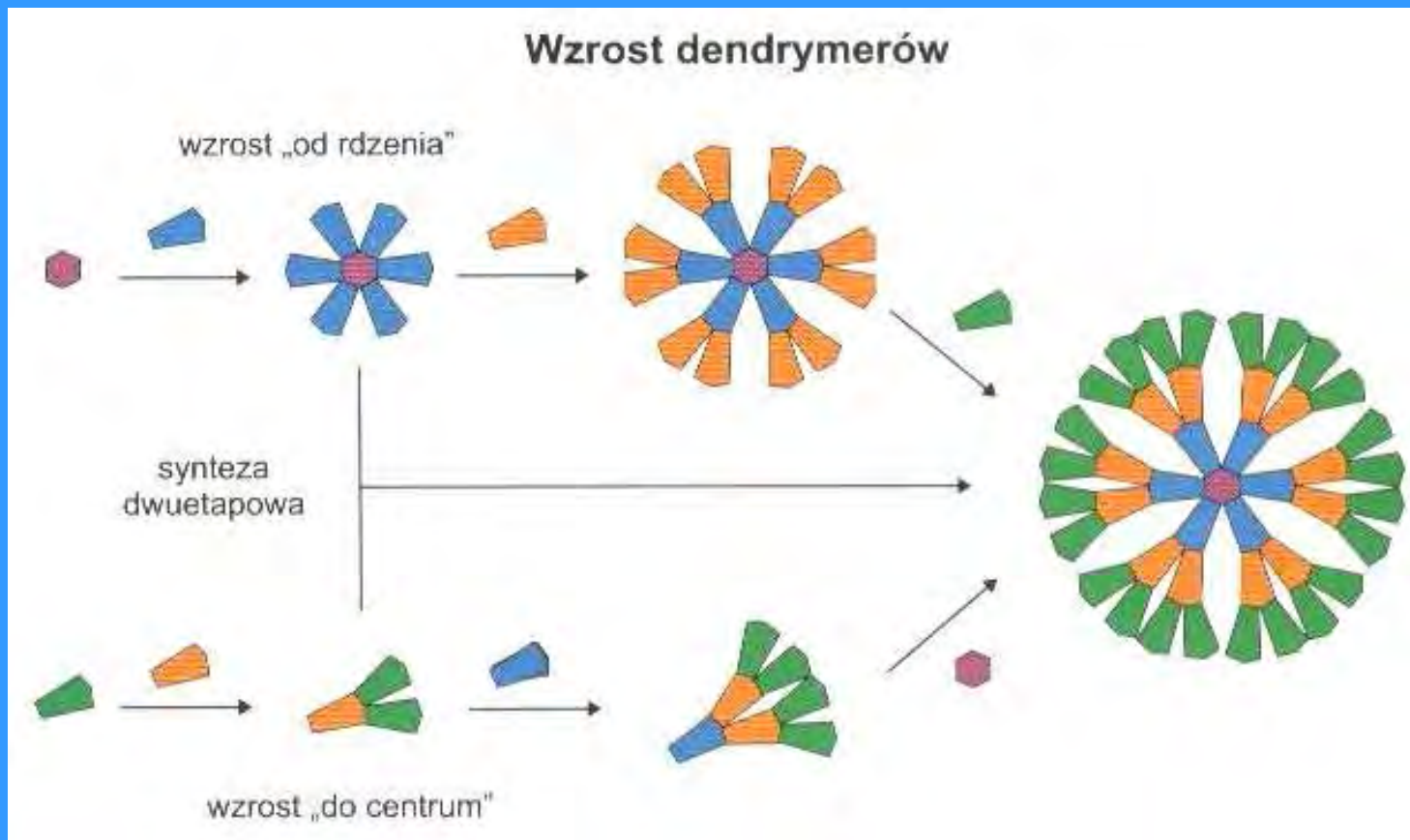
Historia odkrycia nanorurek węglowych jest bezpośrednio związana z fulerenami. Począwszy od roku 1985 r., kiedy to R. Smalley, H. Kroto i R. Curl przedstawili wyniki swoich doświadczeń nad fulerenem C_{60} nastąpiła eskalacja badań nanostruktur węglowych i w efekcie S. Iijima w 1991 r. odkrył strukturę nanorurek, będących częścią depozytu katodowego powstałego podczas syntezy fulerenów metodą elektrołukową. W tym samym roku zostały odkryte nanorurki wielowarstwowe, a dwa lata później kontynuacja prac przez S. Iijima i D. Bethune'a z firmy IBM doprowadziła do identyfikacji nanorurek jednowarstwowych.



Nanorurki: a) jednowarstwowe, b) wielowarstwowe

Źródło: opracowano z wykorzystaniem programu NanotubeModelerver.1.3.8 firmy JCrystalSoft.

(Maz.2.52)

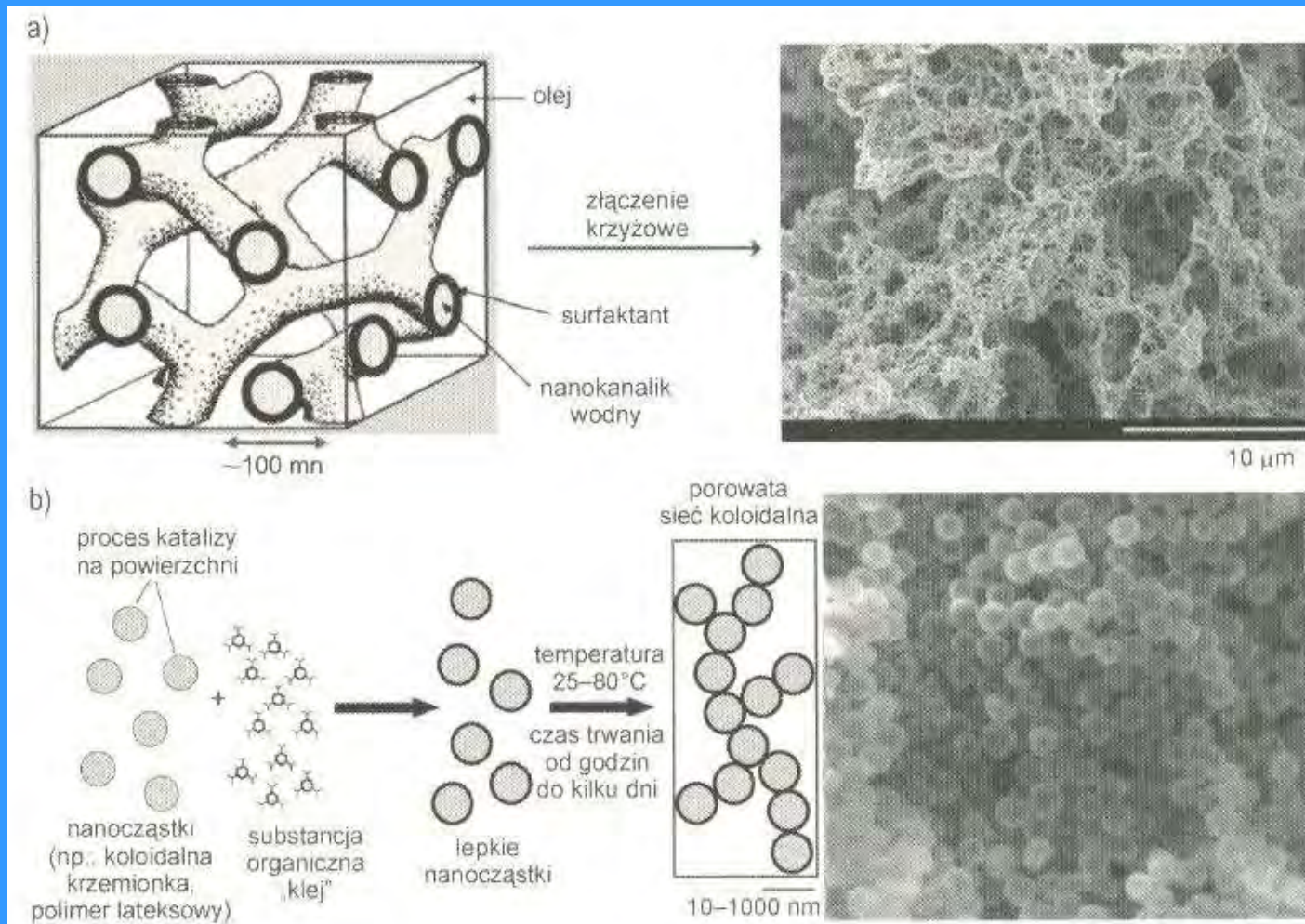


Uproszczony schemat powstawania dendrymeru

Nanomateriały strukturalne

- Nanoproszki
 - metody chemiczne
 - dyspersyjne metody mechaniczne (mielenie, wibracje, tarcie)
 - metody próżniowe
- Nanowłókna
 - elektroprzędzenie
 - mechaniczne (wydmuchiwanie stopu)
 - chemiczne

- **Materiały nanoporowate** (Maz.2.72)



Przykłady przestrzennej struktury materiałów nanoporowatych: a) struktura porowata nieregularna, b) struktura zbudowana z kulistych nanocząstek o średnicy < 200 nm i odległości pomiędzy nanocząstkami większej niż 500 nm

- **Nanometale**

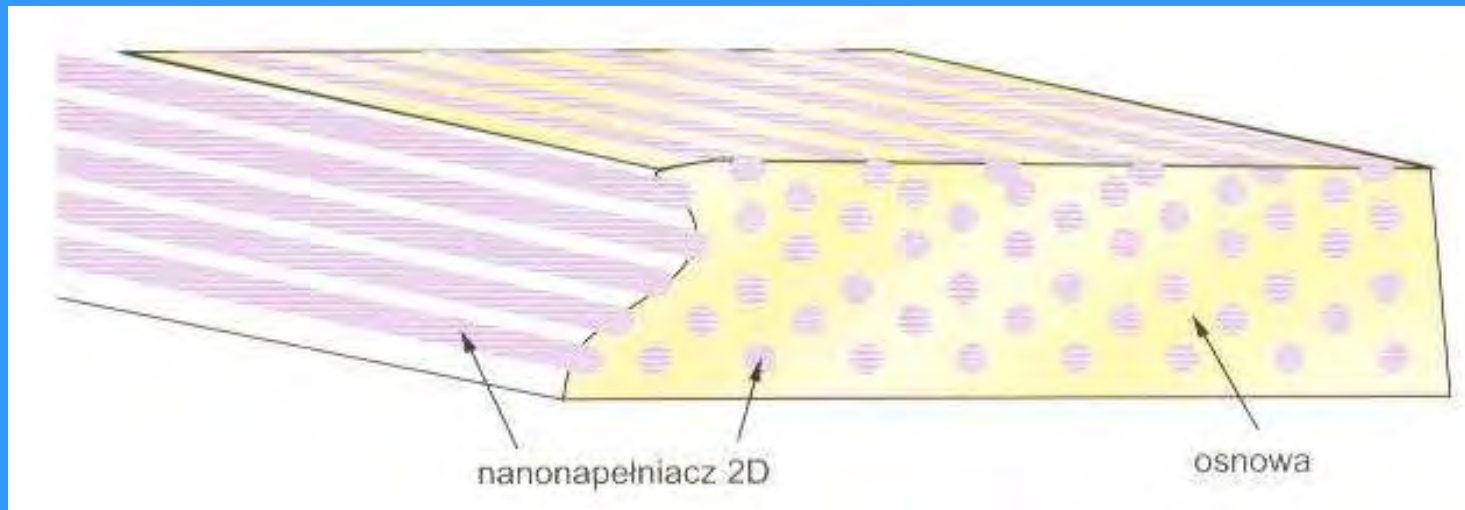
SPD – severe plastic deformation

ECAP –przeciskanie przez kanał kątowy /equal angular pressing/

HPT –skręcanie /high pressure torsion/

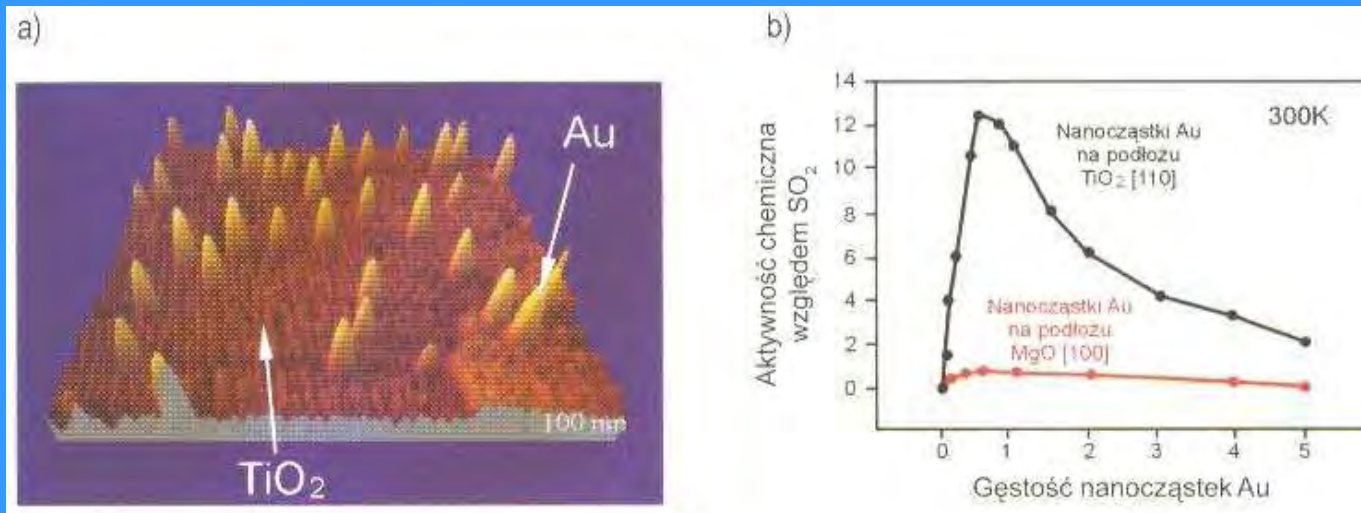
ARP –walcowanie akumulacyjne /accumulative roll bonding/

- **Nanokompozyty** (Maz.2.78)



Model struktury nanokompozytu 2D

- **Nanomateriały funkcjonalne**
Nanomateriały katalityczne (Maz.2.80)

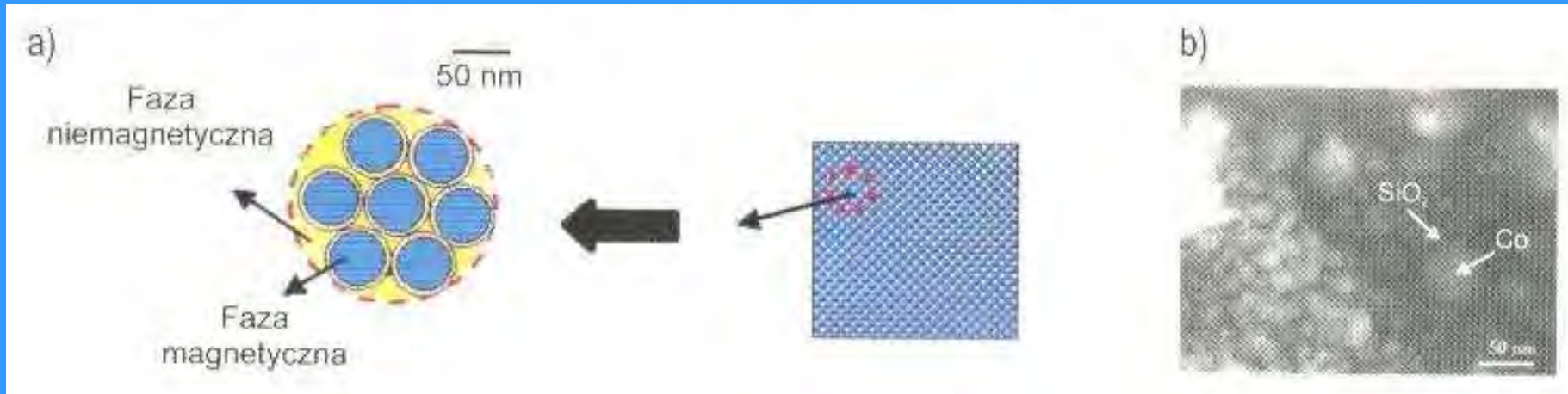


*Struktura powierzchni katalizatora nano-Au: a) topologia powierzchni;
b) zależność aktywności chemicznej od podłoża*

Nanomateriały elektroniczne
Nanomateriały magnetyczne

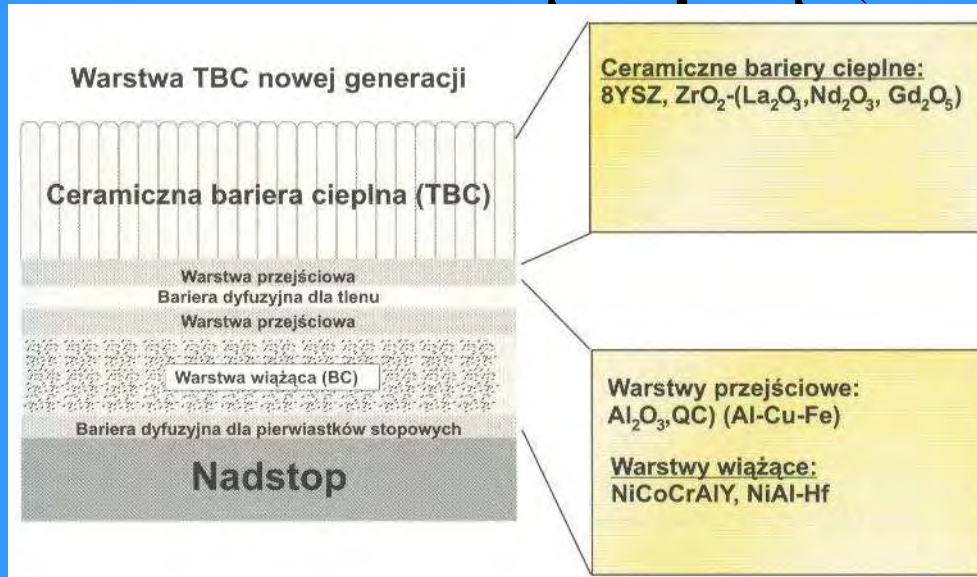
- **Nanowarstwy i nanopokrycia**

Powłoki nanokompozytowe (Maz.2.82)



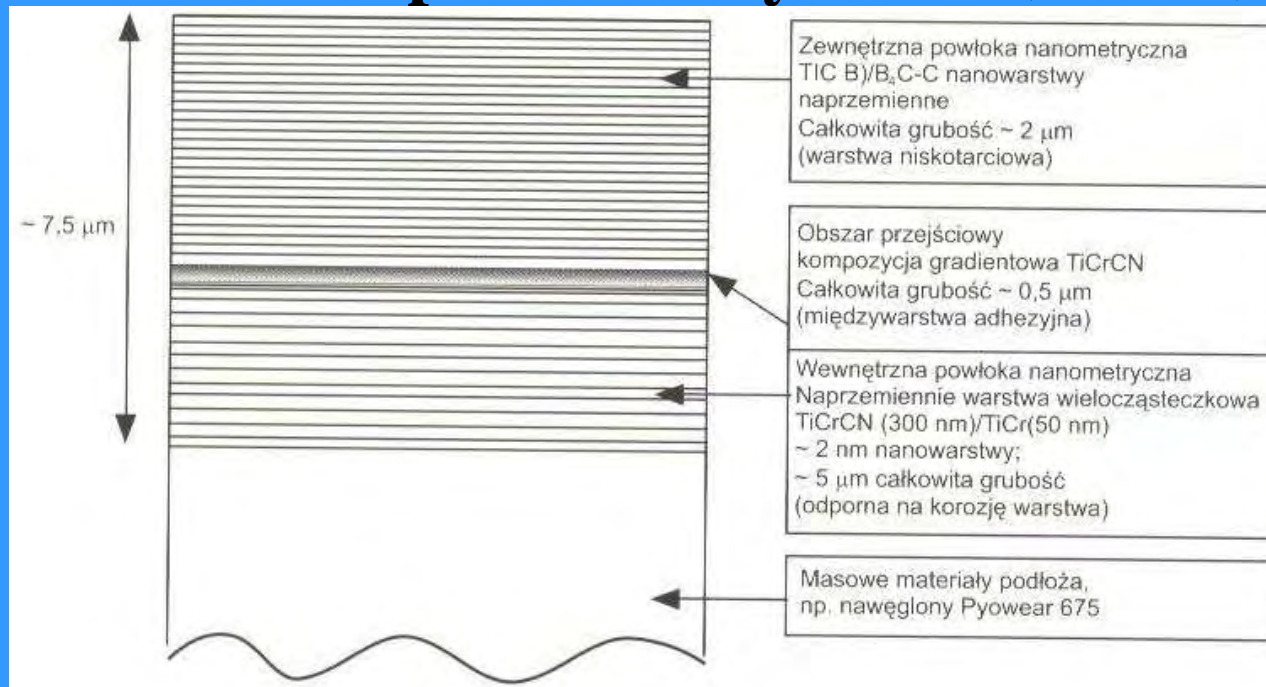
Kompozyt jako nanomateriał magnetyczny: a) schemat budowy nanokompozytu magnetycznego; b) obraz struktury nanomateriału magnetycznego z tunelowego mikroskopu elektronowego

- **Powłoki z barierą cieplną** (Maz.2.88)



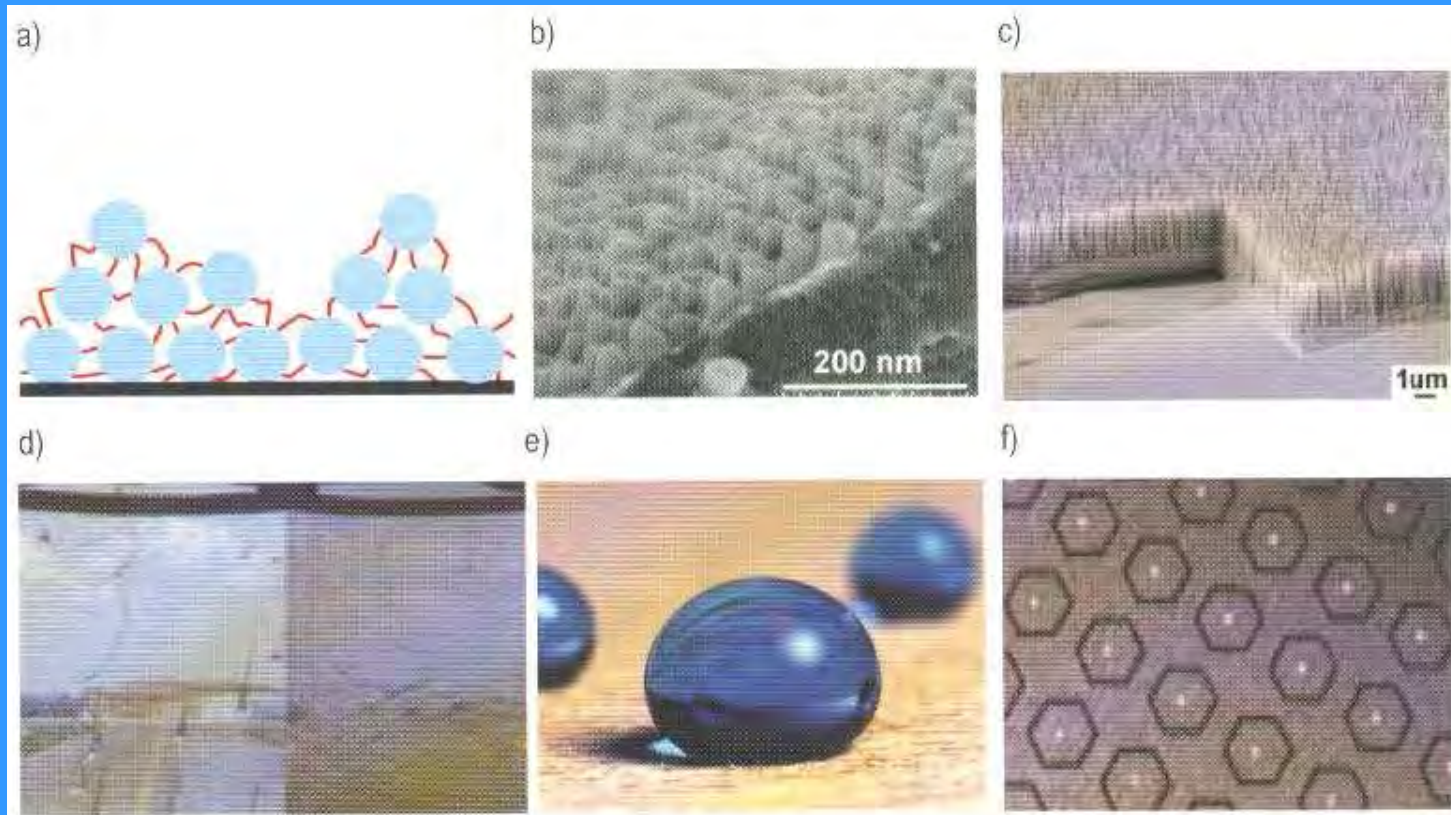
Schemat powłoki ochronnej z barierą cieplną

- **Powłoki przeciwzużyciowe** (Maz.2.92)



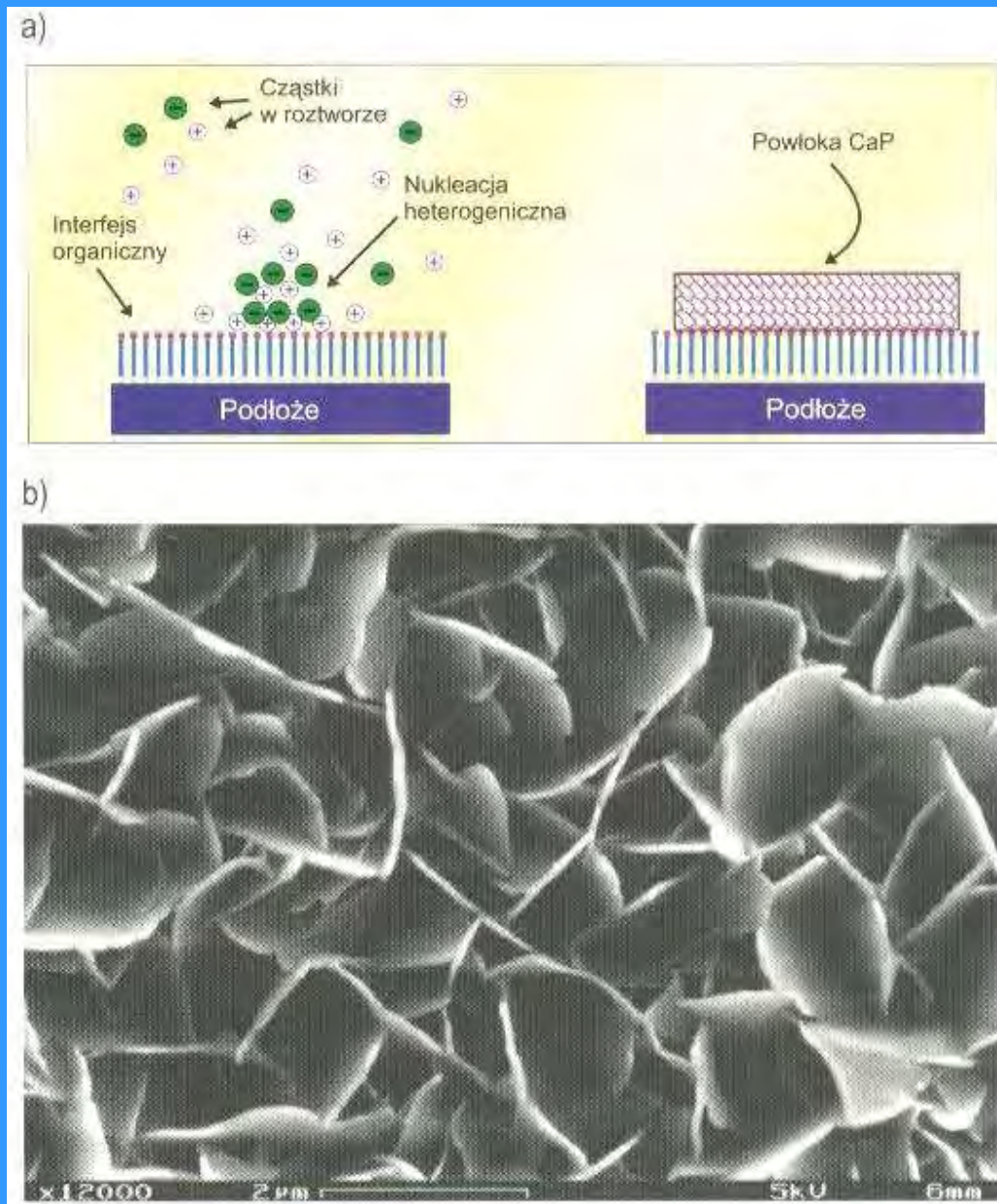
Schemat wielowarstwowej nanostrukturalnej powłoki przeciwzużyciowej zaprojektowanej do zastosowania na kołach zębatych w przemyśle lotniczym

- **Powłoki hydrofobowe** (Maz.2.95)



Przykłady nanostrukturalnych powłok hydrofobowych i ich zastosowań

• Powłoki biokompatybilne (Maz.2.96)



Powłoka CaP wytworzona z wykorzystaniem biomimetycznego procesu osadzania SIM: a) schemat procesu osadzania, b) obraz mikroskopu SEM powierzchni powłoki

Urządzenia w nanoskali

- Nanourządzenia fotoniczne

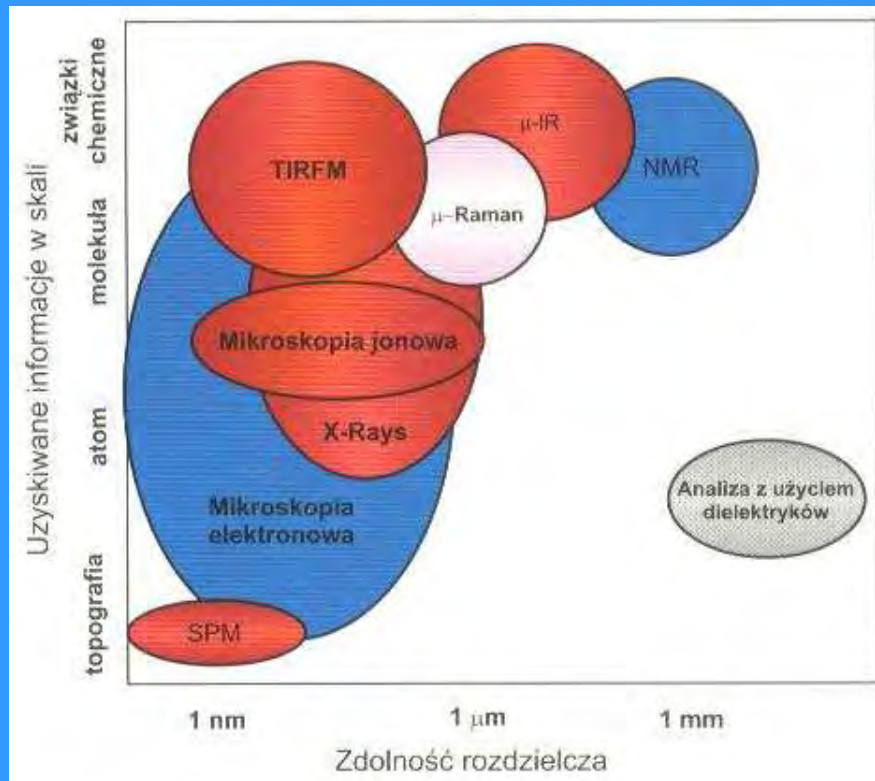
(Maz.2.99)



Zasada działania źródła światła z wykorzystaniem nanorurki węglowej

- Nanosensory i biosensory
- Nanoelementy podatne i ruchome
- Nanonapędy
- Nanomaszyny i nanoroboty
- Nanomanipulatory cząstek i molekuł
- Nanoźródła zasilania, nanogeneratory
- Nanofiltry aktywne

Nanoanalitika i nanometrologia (Maz.2.129)



*Techniki pomiarowe
stosowane w nanotechnologii*

SPM-Scanning Probe Microscopy;

TIRFM-Total Internal Reflection Fluorescence Microscope

FIM-Field Ion Microscope

μ-IR-Infrared Radiation; NMR-Nuclear Magnetic Resonance

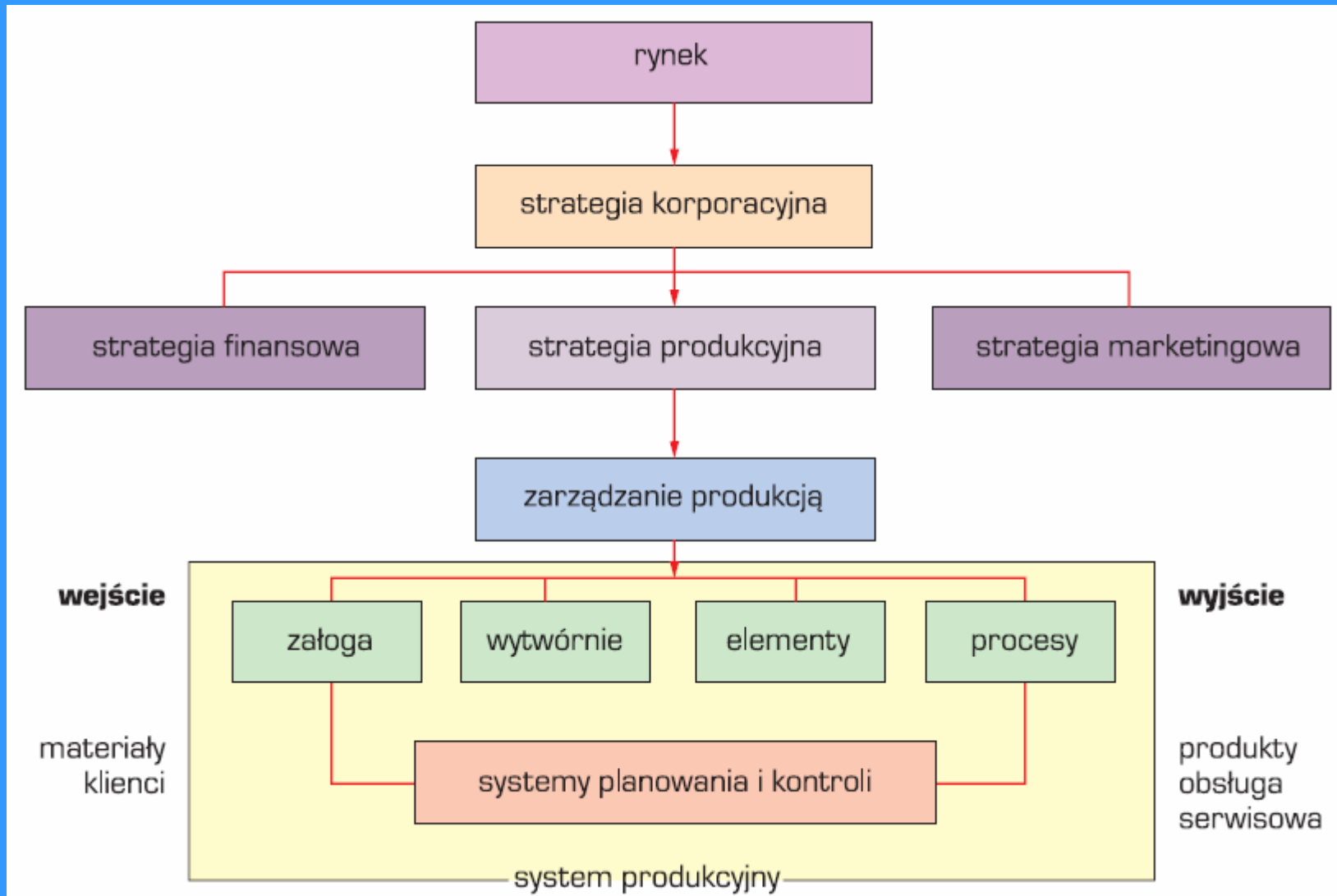
Nanotechnologie

procesy i urządzenia

- Synteza nanocząstek i krystalitów
- Produkcja nanometali
- Produkcja kompozytów
- Wytwarzanie nanostruktur powierzchniowych
- Produkcja nanostruktur półprzewodnikowych
- Projektowanie i wytwarzanie urządzeń technologicznych
- Zaawansowane podzespoły uniwersalne /źródła plazmy, źródła jonów, układy próżniowe, układy mikrofalowe, rozproszone systemy sterowania/

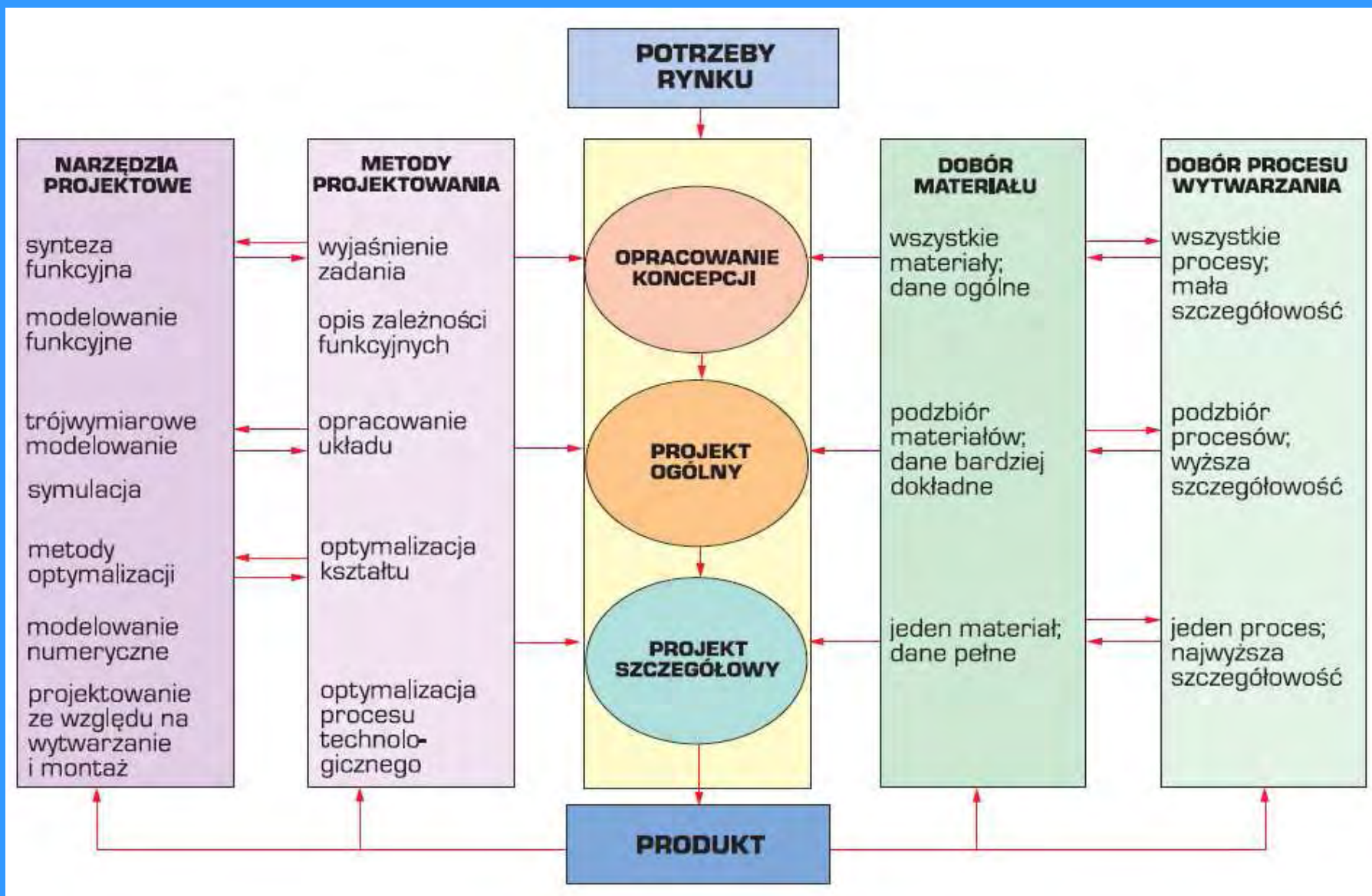
20. Podstawy projektowania materiałowego

(Dobrz. Nowy 8.1)



Ogólny model wytwarzania (opracowano wg R.B. Chase'a, N.J. Aquilano i F.R. Jacobsa)

(Dobrz. Nowy 8.8)



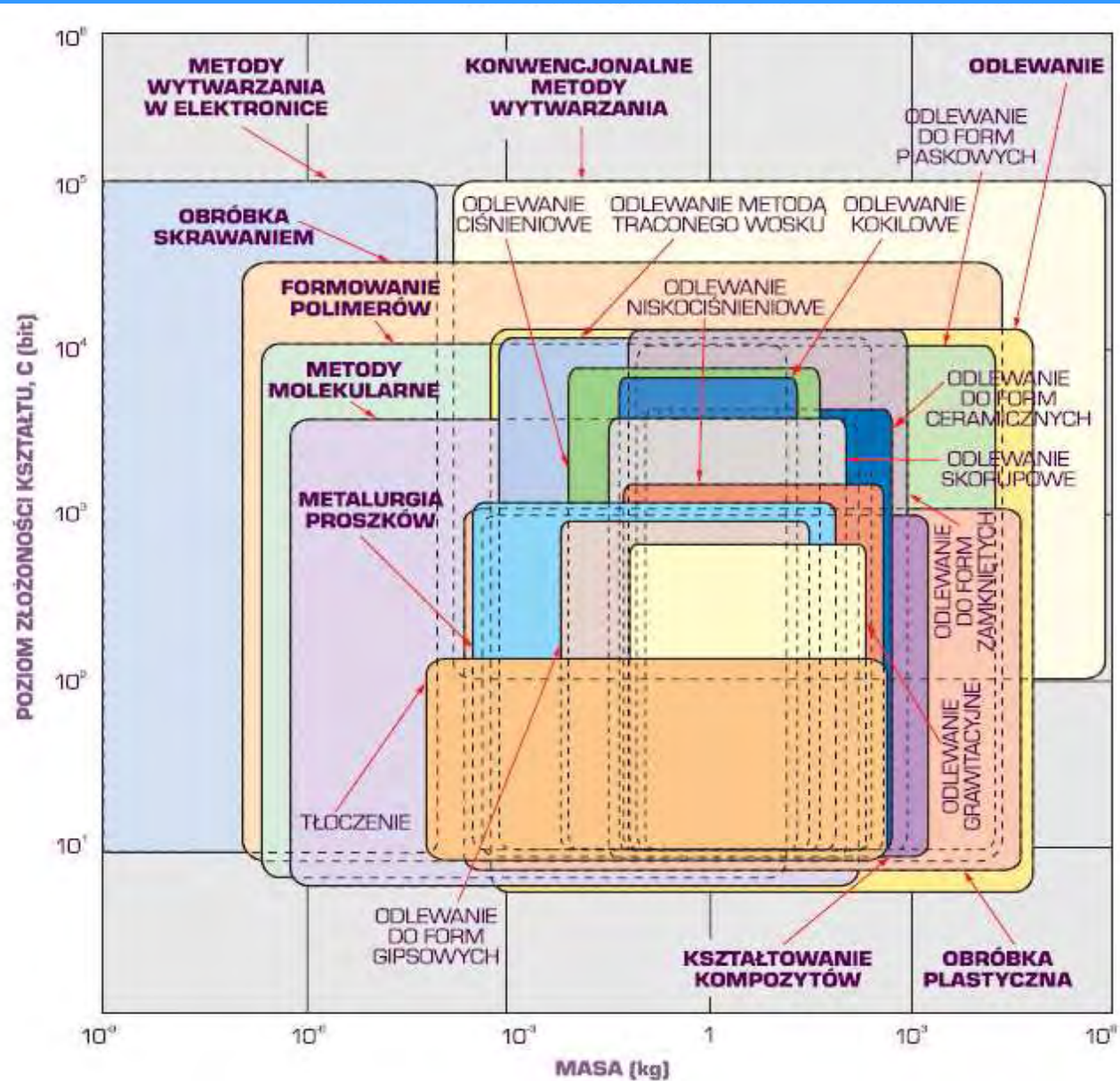
Stadia projektowania inżynierskiego (opracowano na podstawie ogólnych założeń M.F. Ashby'ego)

(Dobrz. Nowy 8.57)



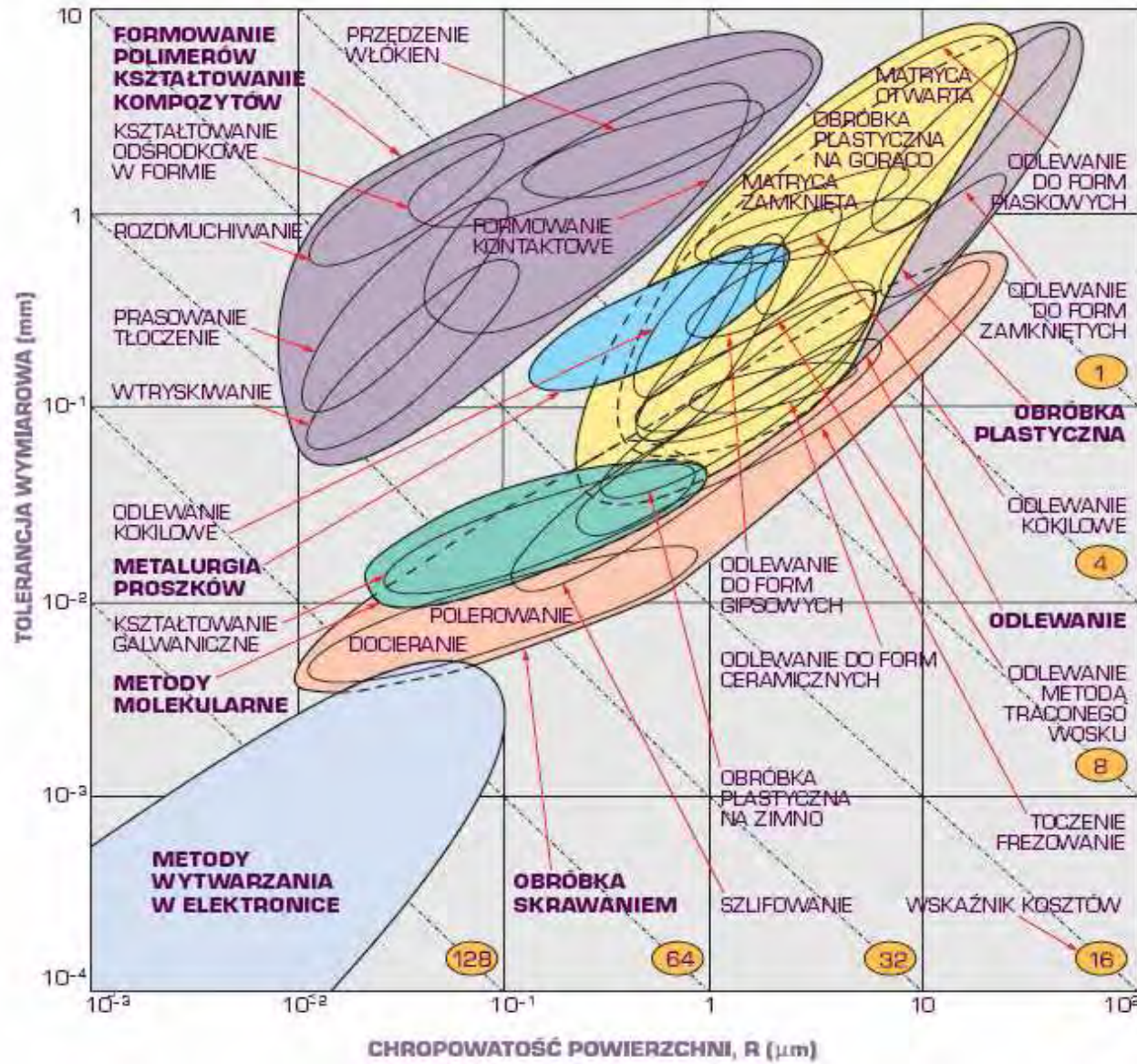
Schemat wzajemnych zależności między doбором materiału, kształtem i cechami geometrycznymi produktu, jego procesem technologicznym, strukturą i własnościami materiału oraz funkcjami użytkowymi produktu

(Dobrz. Nowy 8.58)



Możliwość doboru procesów technologicznych kształtowania produktów w zależności od poziomu złożoności ich kształtu i masy (opracowano według danych M.F. Ashby'ego)

(Dobrz. Nowy 8.61)



Zależność tolerancji wymiarowych oraz chropowatości produktów od procesów technologicznych ich kształtowania w powiązaniu z kosztami wytwarzania (opracowano według danych M.F. Ashby'ego)