

STOPY METALI NIEŻELAZNYCH

Podstawowym tworzywem stosowanym we współczesnej technice są stopy żelaza. Rozwój wielu dziedzin techniki jest jednak niemożliwy bez metali nieżelaznych i ich stopów. Podstawy teoretyczne metaloznawstwa stopów żelaza i metali nieżelaznych są analogiczne. Struktura stopów interpretowana jest w oparciu o wykresy równowagi fazowej. Oba rodzaje stopów kształtowane są przy użyciu tych samych technik i podlegają obróbce cieplnej. Do obu grup materiałów stosowane są wspólne metody badawcze. Specyficzną cechą stopów metali nieżelaznych jest ich duża ilość i bardzo zróżnicowane właściwości.

Miedź i stopy miedzi

Miedź była pierwszym metalem szeroko wykorzystanym przez człowieka. Około siedmiu tysięcy lat temu w dorzeczu Tygrysu i Eufratu posługiwano się narzędziami wyklepanymi z samorodków miedzi. Później zaczęto wytapiać miedź z rud. Produktem wytopu nie była czysta miedź, gdyż w rudach znajdowały się inne metale, zwłaszcza cyna. Narzędzia wykonane ze stopu miedzi z cyną, nazwanego brązem, miały większą trwałość niż miedziane. Z czasem nauczono się uzyskiwać brąz w wyniku stapiania składników w odpowiednich proporcjach. Wynalazek ten miał miejsce około cztery tysiące lat temu dając początek epoce brązu.

Miedź ma charakterystyczne czerwone zabarwienie. Krystalizuje w sieci RSC (A1) i nie posiada odmian alotropowych. Temperatura topnienia miedzi wynosi 1083°C.

Jest doskonałym przewodnikiem elektryczności, ustępuje jedynie srebru. Z tego powodu miedź znalazła duże zastosowanie w elektrotechnice na przewody.

Miedź charakteryzuje się wysoką przewodnością cieplną, co decyduje o jej zastosowaniu w przemyśle chemicznym na elementy wymienników ciepła.

Miedź wykazuje dużą odporność na korozję. Odporność na korozyjny wpływ atmosfery zapewnia obecność niebiesko-zielonego zasadowego węglanu i siarczanu miedzi, tzw. patyny.

Ze względu na dość niskie własności wytrzymałościowe i dużą plastyczność miedzi ($R_m \sim 200 \text{ N/mm}^2$, $R_e \sim 50 \text{ N/mm}^2$, $A \sim 35\%$), elementy maszyn i konstrukcji wykonuje się z jej stopów - mosiądzów i brązów, które mają gorszą przewodność elektryczną i cieplną, ale dobrą odporność na korozję i wyższą wytrzymałość.

Mosiądze – stopy miedzi z cynkiem, w których podstawowym składnikiem jest miedź, zawierające do ok. 45% Zn.

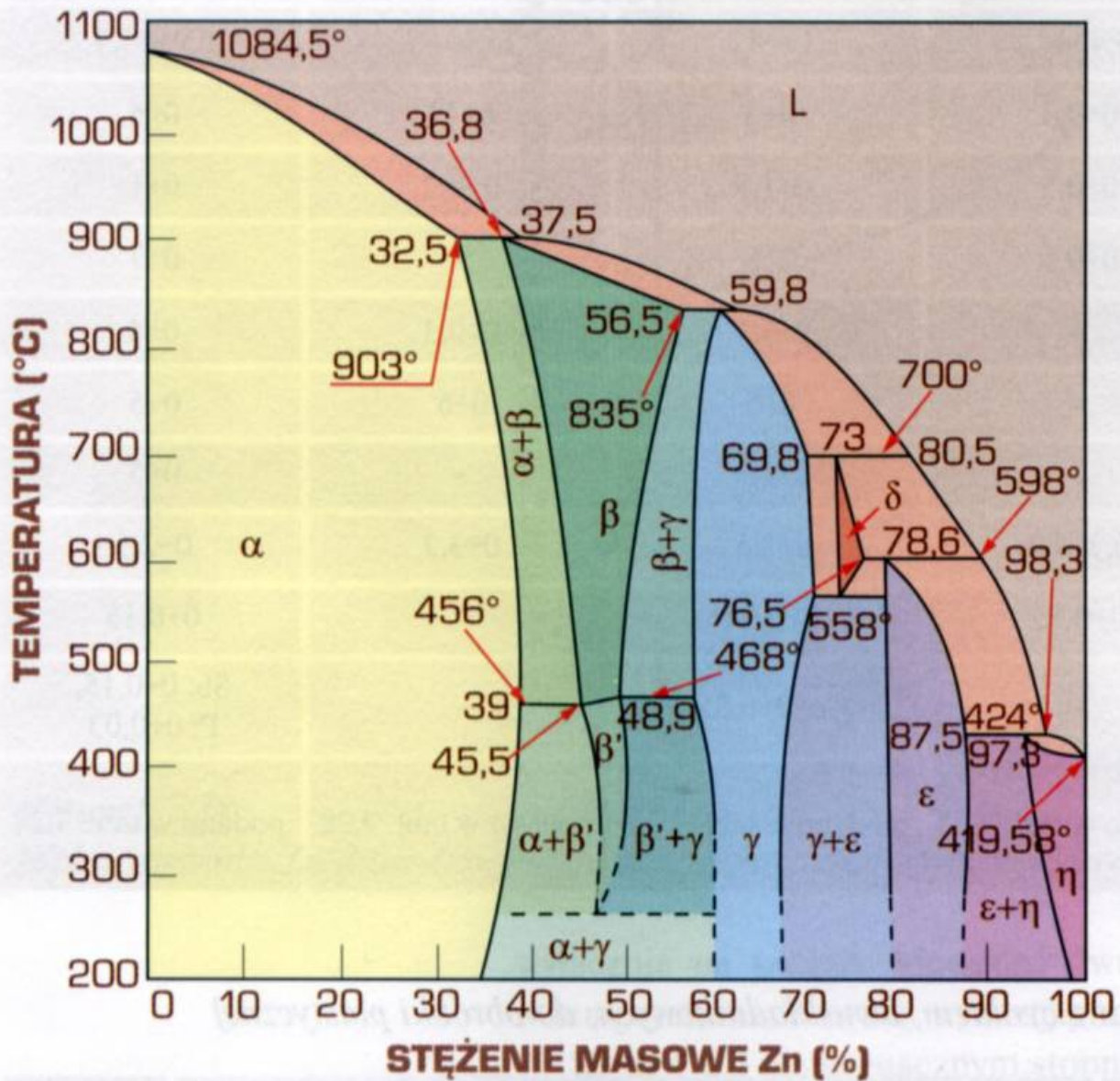
Mosiądze wieloskładnikowe – zawierające oprócz głównego dodatku stopowego – cynku, inne dodatki (1-4%), poprawiające określone właściwości. Są nimi: aluminium i cyna (poprawa odporności na korozję atmosferyczną i wody morskiej), mangan, krzem i żelazo (wzrost wytrzymałości), ołów (poprawa lejułości, skrawalności, właściwości ślizgowych).

Struktura mosiądzów

- do ok. 38 % Zn: roztwór stały α na bazie miedzi (A1) o dobrej plastyczności i wytrzymałości
- powyżej 38 % Zn: α + faza β' (krucha, o niskiej wytrzymałości)

Podział mosiądzów:

- odlewnicze (zwykle dwufazowe α + β')
- do obróbki plastycznej (zwykle jednofazowe α , o mniejszej zawartości Zn i innych dodatków niż odlewnicze)



Rysunek 7.13

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

Przykłady mosiądzów odlewniczych

Nazwa, znak	R_m	A	Właściwości, zastosowanie
Mosiądz manganowo-żelazowy CuZn40Mn3Fe1	450-500 N/mm ²	15-10 %	Odporny na ścieranie, korozję, kawitację. Proste i duże odlewy, np. śruby okrętowe
Mosiądz manganowo-ołowiowo-żelazowy CuZn43Mn4Pb3Fe	360-400 N/mm ²	10-8 %	Dobra lejność, odporność na ścieranie i podwyższone temperatury do 230°C. Łożyska, armatura
Mosiądz krzemowy CuZn16Si3,5	300-400 N/mm ²	15 %	Dobra lejność i skrawalność, odporność na ścieranie, korozję. Armatura i części maszyn w przemyśle chemicznym, okrętowym, komunikacyjnym

Mosiądze do obróbki plastycznej obrabiane są na zimno i na gorąco. Mosiądze jednofazowe α - na zimno, przy większej zawartości Zn (ok. 36 %) – na zimno i gorąco. Mosiądze dwufazowe $\alpha + \beta'$ – na gorąco.

Mosiądze ulegają znacznemu umocnieniu podczas obróbki plastycznej na zimno, co utrudnia obróbkę. W celu uplastycznienia materiału stosowane jest międzyoperacyjne wyżarzanie rekrytalizujące. Wyżarzanie rekrytalizujące może być również końcowym etapem procesu kształtowania wyrobu.

Charakterystyka stanów mosiądzu CuZn30

Stan	Miękki	Półtwardy	Twardy	Sprężysty
Stopień gniotu, %	-	10-15	20-25	50-60
R_m , N/mm ²	290	350	400	520
R_e , N/mm ²	45	25	15	5

Przykłady mosiądzów do obróbki plastycznej

Nazwa, znak	Właściwości, zastosowanie
Mosiądz dwuskładnikowy CuZn10	Bardzo podatny na obróbkę plastyczną na zimno, odporny na korozję naprężeniową, dobry do lutowania. Stosowany na elementy armatury w przemyśle chemicznym i okrętowym wykonane różnymi metodami obróbki plastycznej, zwłaszcza przez głębokie tłoczenie
Mosiądz ołowiowy CuZn36Pb3	Bardzo dobrze skrawalny, o ograniczonej podatności na obróbkę plastyczną na zimno. Stosowany na elementy wykonane techniką skrawania.
Mosiądz wieloskładnikowy bezołowiowy CuZn28Sn1	Bardzo odporny na korozję. Stosowany na rury wymienników ciepła.

Brązy – stopy których podstawowym składnikiem jest miedź, a głównymi dodatkami stopowymi są cyna, aluminium, krzem, beryl, mangan, ołów, których zawartość jest większa od 2 %. W zależności od głównego dodatku stopowego noszą odpowiednie nazwy, np.: **brązy cynowe, aluminiowe, krzemowe** itp. W brązach wieloskładnikowych znajdują się również inne dodatki stopowe, co uwzględnia się w nazwie, np.: brązy cynowo-ołowiowe.

Ze względu na zastosowanie, brązy dzieli się na odlewnicze i do obróbki plastycznej.

Brązy cynowe

Zawierają ok. 5-10 % Sn. Charakterystyczny dla brązów cynowych jest szeroki zakres krzepnięcia, co wpływa ujemnie na ich lejność oraz skłonność do tworzenia jam usadowych i porowatości.

Dodatki stopowe: Zn (poprawia właściwości odlewnicze), fosfor (wprowadzany jako odtleniacz poprawia własności mechaniczne i antykorozyjne), ołów (poprawia wł. antykorozyjne i gęstość)

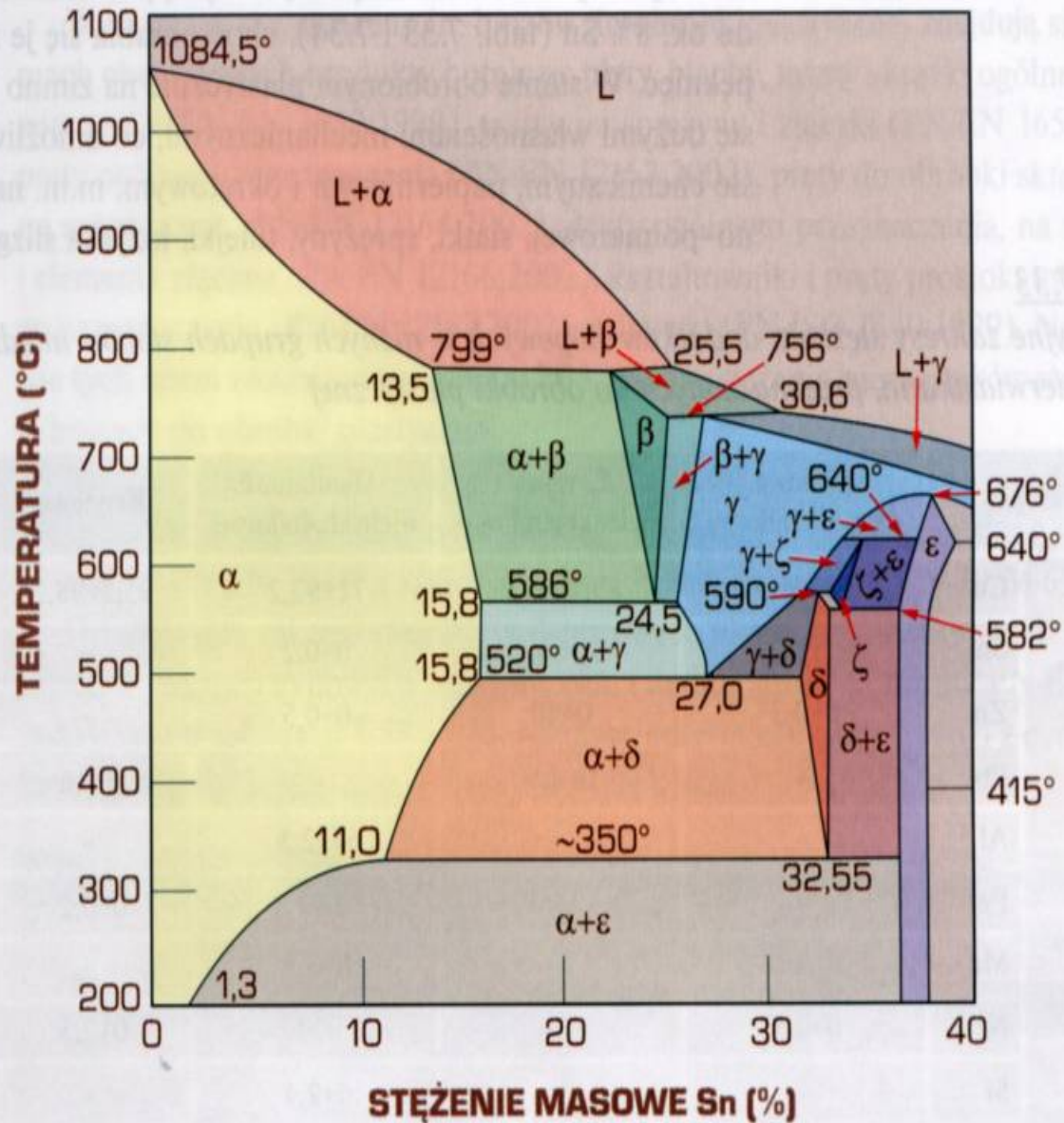
Struktura:

Roztwór α na bazie Cu (A1) - do ok. 8% Sn

α + eutektoid ($\alpha + \delta$) - > 8 % Sn

Właściwości mechaniczne:

Maksymalne wydłużenie i wytrzymałość na rozciąganie brązy cynowe osiągają przy ok. 8 % Sn. Powyżej tej zawartości Sn, wydłużenie stopów jest bliskie zeru.



Rysunek 7.15

Fragment wykresu równowagi Cu-Sn (według R.E. Johnsona)

Przykłady brązów cynowych odlewniczych

Nazwa, znak	Rm	A	Właściwości, zastosowanie
Brąz cynowy CuSn10	240- 310 N/mm ²	12- 5 %	Odporny na korozję i ścieranie, na działanie niektórych kwasów, lejność i skrawalność dobra. Stosowany na łożyska, napędy, sprzęt parowy i wodny, armaturę chemiczną
Brąz cynowo- fosforowy CuSn10P	220- 360 N/mm ²	2-6 %	Właściwości zbliżone do CuSn10; lepsza lejność, skrawalność, odporność na ścieranie. Stosowany na wysokoobciążone, szybkoobrotowe i narażone na korozję łożyska, części maszyn i armaturę chemiczną.
Brąz cynowo- ołowiowy CuSn10Pb10	180- 230 N/mm ²	7-6 %	Bardzo dobra lejność i skrawalność, odporny na ścieranie. Stosowany na łożyska i części maszyn pracujących przy dużych naciskach i szybkościach.
Brąz cynowo- cynkowy CuSn10Zn2	240- 270 N/mm ²	10- 7 %	Bardzo dobra lejność i skrawalność, odporny na korozję w wodzie morskiej. Stosowany na wysokoobciążone i narażone na korozję części maszyn w przemyśle okrętowym i papierniczym.

Brązy cynowe do obróbki plastycznej na zimno i gorąco zawierają mniej cyny niż odlewnicze, do około 8%. Mają one strukturę roztworu α .

Zgniot powoduje silne umocnienie brązów. W celu uplastycznienia materiału stosowane jest międzyoperacyjne wyżarzanie rekrytalizujące. Wyżarzanie rekrytalizujące może być również końcowym etapem procesu kształtowania wyrobu.

Charakterystyka stanów brązu CuSn6

Stan	R_m , N/mm ²	A, %	HB
Miękki (wyż. rekrytalizująco)	38-45	60-70	75
Twardy	75-85	4-6	200-210
Sprężysty	85-95	2-4	210-250

Brązy aluminiowe

Zawierają ok. 5-10 % Sn. Charakterystyczny dla brązów cynowych jest szeroki zakres krzepnięcia, co wpływa ujemnie na ich lejność oraz skłonność do tworzenia jam usadowych i porowatości.

Dodatki stopowe: Zn (poprawia właściwości odlewnicze), fosfor (wprowadzany jako odtleniacz poprawia własności mechaniczne i antykorozyjne), ołów (poprawia wł. antykorozyjne i gęstość)

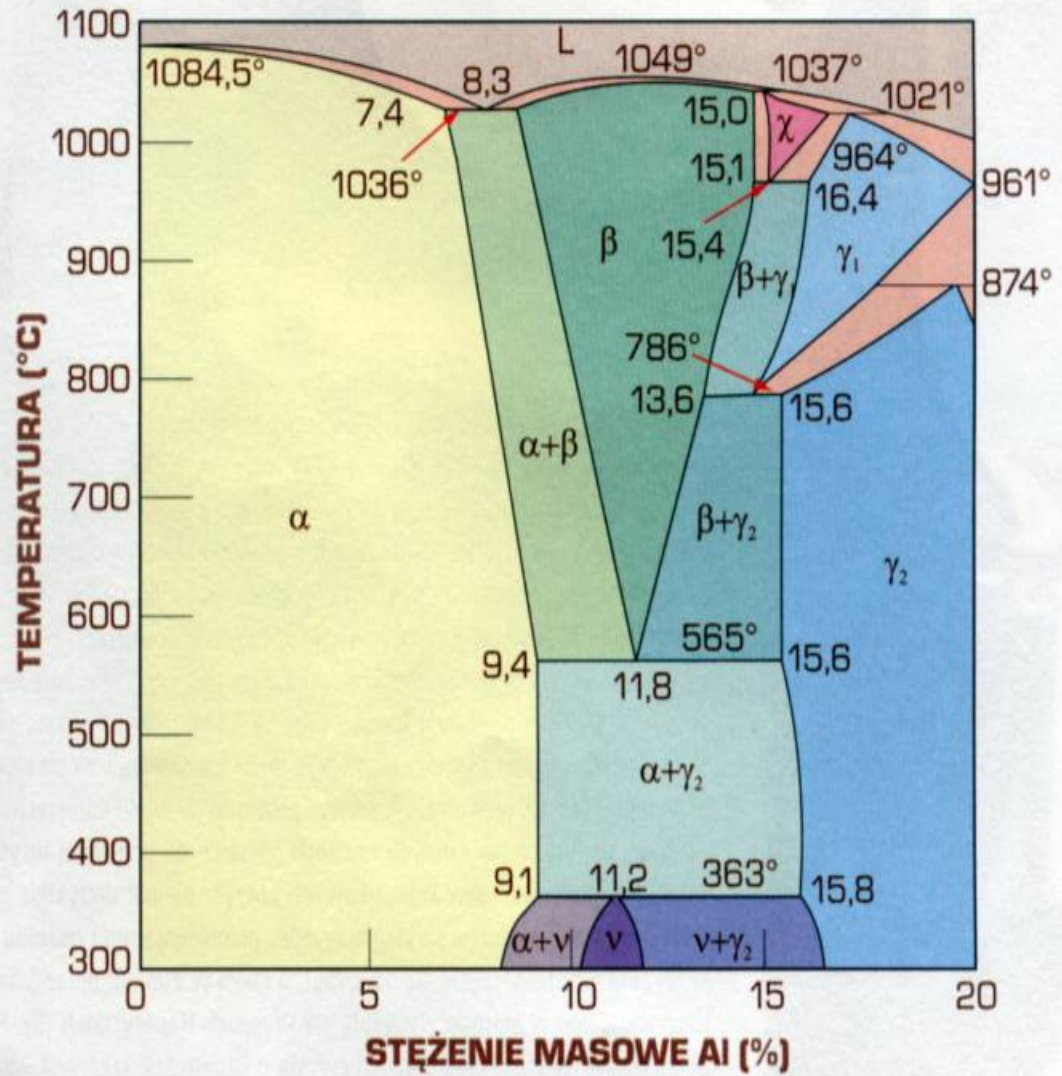
Struktura:

Roztwór α na bazie Cu (A1) - do ok. 8% Sn

α + eutektoid ($\alpha + \delta$) - > 8 % Sn

Właściwości mechaniczne:

Maksymalne wydłużenie i wytrzymałość na rozciąganie brązy cynowe osiągają przy ok. 8 % Sn. Powyżej tej zawartości Sn, wydłużenie stopów jest bliskie zeru.



Rysunek 7.16
 Fragment wykresu
 równowagi Cu-Al
 (według L.A. Willeya)

Aluminium i stopy aluminium

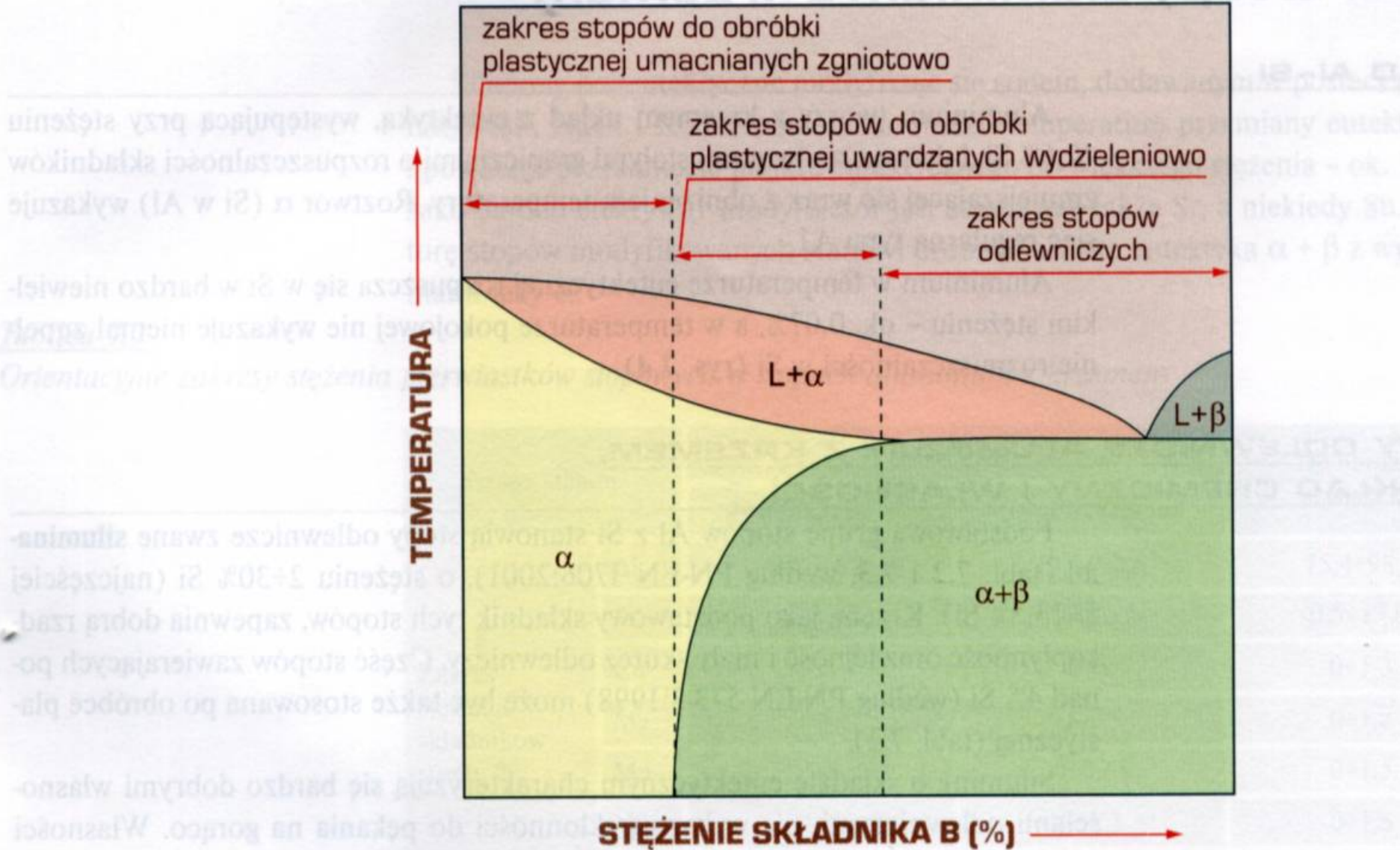
Aluminium jest metalem lekkim (gęstość $2,7 \text{ Mg/m}^3$, 3 razy mniejsza niż żelaza), co decyduje o szerokim zastosowaniu jego stopów w przemyśle lotniczym i transporcie. Aluminium cechuje dobre przewodnictwo elektryczne, stąd jego zastosowanie na przewody elektryczne. Na powietrzu pokrywa się cienką warstwą tlenku, która chroni je przed dalszym utlenianiem. Jest odporne na działanie wody i wielu kwasów. Nie jest odporne na działanie wodorotlenków i kwasów beztlenowych. Z powodu dobrej odporności na korozję, wykorzystywane jest w przemyśle spożywczym i chemicznym. Aluminium jest plastyczne i ma niską wytrzymałość: $R_m = 70 - 120 \text{ MPa}$, $R_e = 20 - 40 \text{ MPa}$, $A = 30 - 45\%$. Twardość wynosi $15 - 30 \text{ HB}$.

Własności wytrzymałościowe czystego aluminium są stosunkowo niskie, dlatego stosuje się stopy, które - po odpowiedniej obróbce cieplnej, mają wytrzymałość nawet kilkakrotnie większą od metalu podstawowego.

Stopy aluminium – stopy, których podstawowym składnikiem jest aluminium, a dodatkami miedź, krzem, magnez, cynk i mangan. Rozróżnia się stopy dwuskładnikowe i wieloskładnikowe.

Stopy cechują się korzystnym parametrem konstrukcyjnym, tzn. stosunkiem wytrzymałości do ciężaru właściwego, który jest większy niż dla stali, a oprócz tego ich udarność nie maleje w miarę obniżania temperatury, dzięki czemu w niskich temperaturach mają większą udarność niż stal.

Techniczne stopy aluminium dzieli się na odlewnicze oraz do obróbki plastycznej.



Rysunek 7.3

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

Stopy aluminium odlewnicze są to stopy, w większości których głównymi składnikami stopowymi są krzem, miedź i magnez.

Najszerze zastosowanie znajdują stopy z krzemem, dwuskładnikowe i wieloskładnikowe. Stopy te noszą nazwę siluminów. W strukturze stopów duży udział ma eutektyka złożona z krzemu i roztworu α na bazie aluminium, czego wynikiem jest niska plastyczność.

Siluminy charakteryzują się doskonałymi właściwościami odlewniczymi i małym skurczem, co związane jest m.in. z wąskim zakresem krzepnięcia tych stopów, przy składzie bliskim eutektycznemu. Mają również bardzo dobrą odporność na korozję. Ich właściwości mechaniczne zależą od postaci eutektyki. Z tego powodu, w czasie odlewania przeprowadza się proces modyfikacji struktury eutektyki, poprzez wprowadzenie mikrododatków działających jak zarodki krystalizacji i powodujących krzepnięcie eutektyki w postaci drobnoziarnistej. Dzięki temu właściwości mechaniczne siluminów ulegają poprawie.

Przykłady siluminów

Znak	R_m	A	Zastosowanie
AlSi11	160- 280 N/mm ²	1-6 %	Odlewy części o skomplikowanym kształcie, średnio obciążone części dla przemysłu okrętowego, jak armatura, części silników i pomp
AlSi5Cu2	160- 240 N/mm ²	~1 %	Odlewy głowic cylindrów silników spalinowych, wysoko obciążone części dla przemysłu maszynowego
AlSi10Mg1CuNi	210- 260 N/mm ²	~0 %	Odlewy tłoków wysokoprężnych silników benzynowych oraz sprężarek powietrznych i chłodnicowych
AlSi3Cu2Zn2Mg	160 N/mm ²	~1 %	Okucia budowlane, klamki, uchwyty, osprzęt wagonów kolejowych

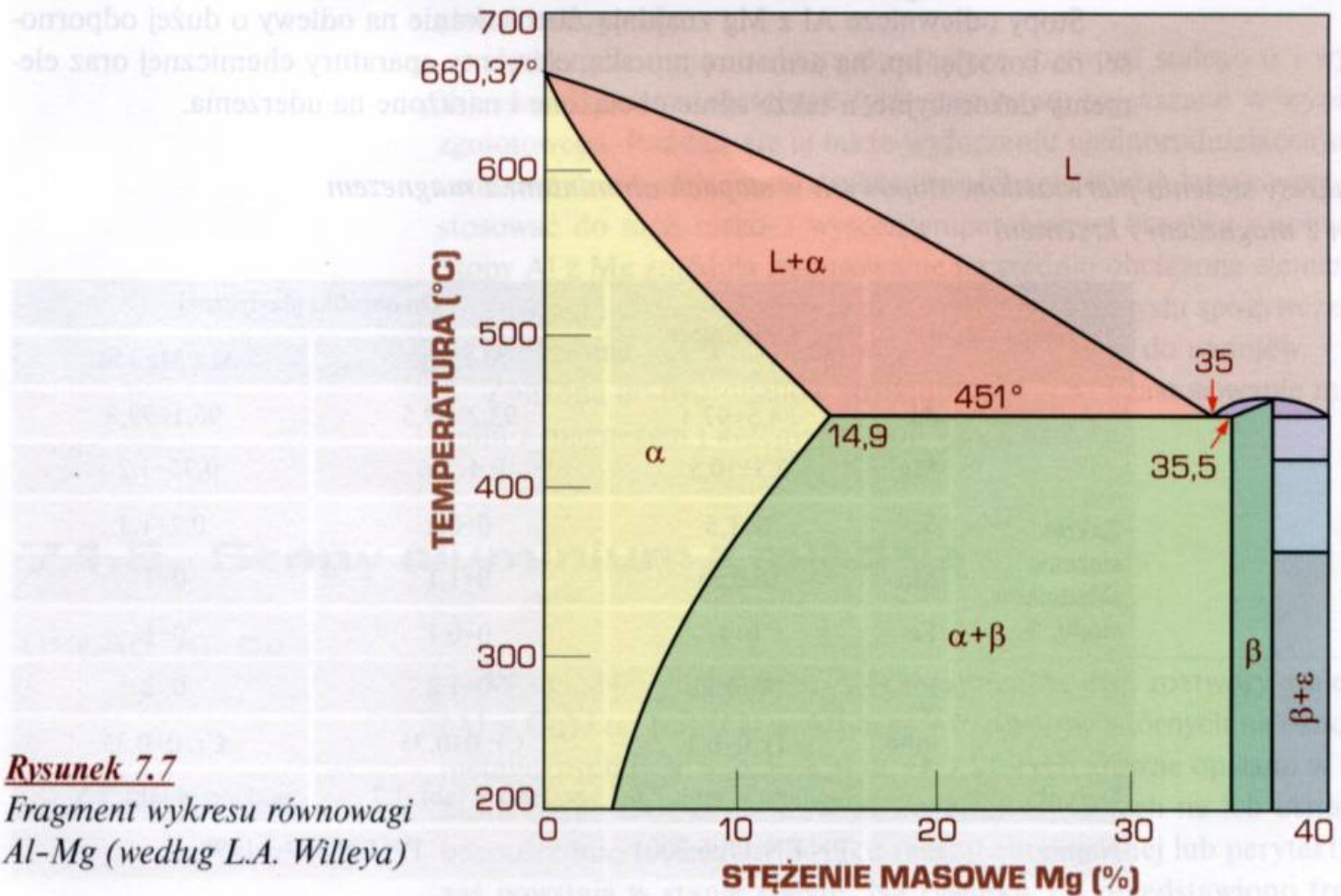
Stopy aluminium do obróbki plastycznej

Stopy do obróbki plastycznej to przede wszystkim stopy z magnezem, manganem, miedzią, cynkiem oraz dodatkami innych pierwiastków. Stopy przerabia się plastycznie na zimno lub gorąco.

Stopy te dzieli się na:

➤ Nieutwardzane wydzieleniowo (typu AlMn, AlMg, AlMnMg), o strukturze roztworu α na bazie aluminium, w których wzrost wytrzymałości uzyskuje się przez odkształcenie plastyczne.

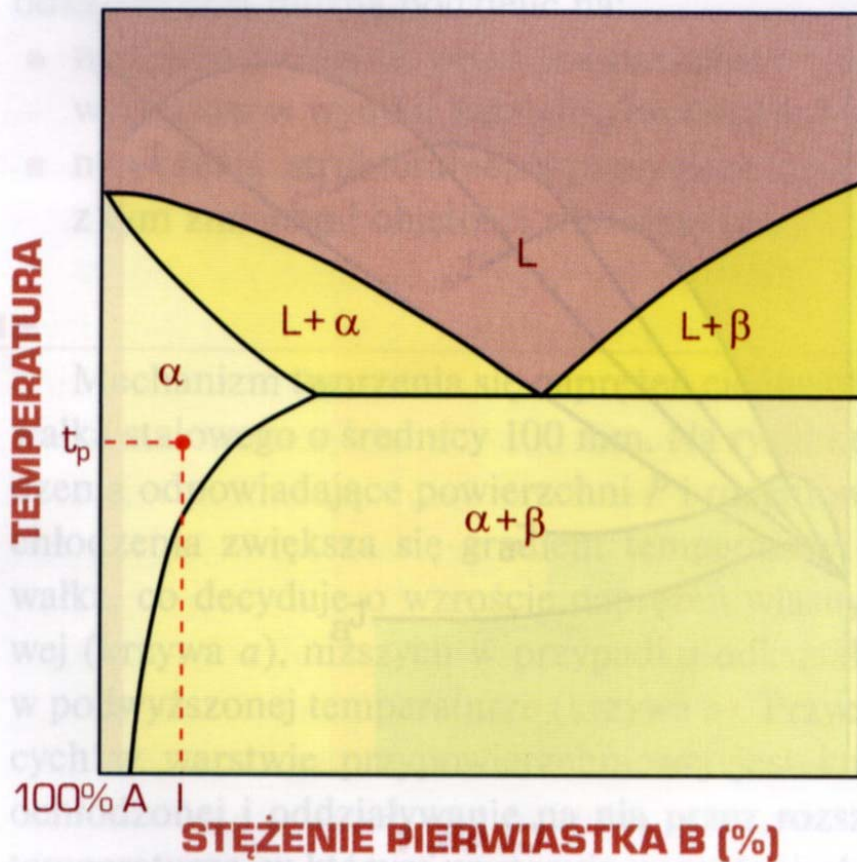
Przykład stopu: **AlMg4,5Mn** (hydronalium). Odporny na korozję, spawalny. Dostarczany w postaci blach, rur, prętów, drutów i kształtowników. Pręt ciągniony w stanie twardym wykazuje $R_m=300$ MPa, $A=9$ %. Stosowany na średnio obciążone elementy konstrukcji okrętowych, nadbudówki statków, urządzenia przemysłu chemicznego.



Rysunek 7.7
 Fragment wykresu równowagi
 Al-Mg (według L.A. Willeya)

Struktura stopu zawierającego do ~4 % Mg w temperaturze pokojowej: roztwór stały α magnezu w aluminium

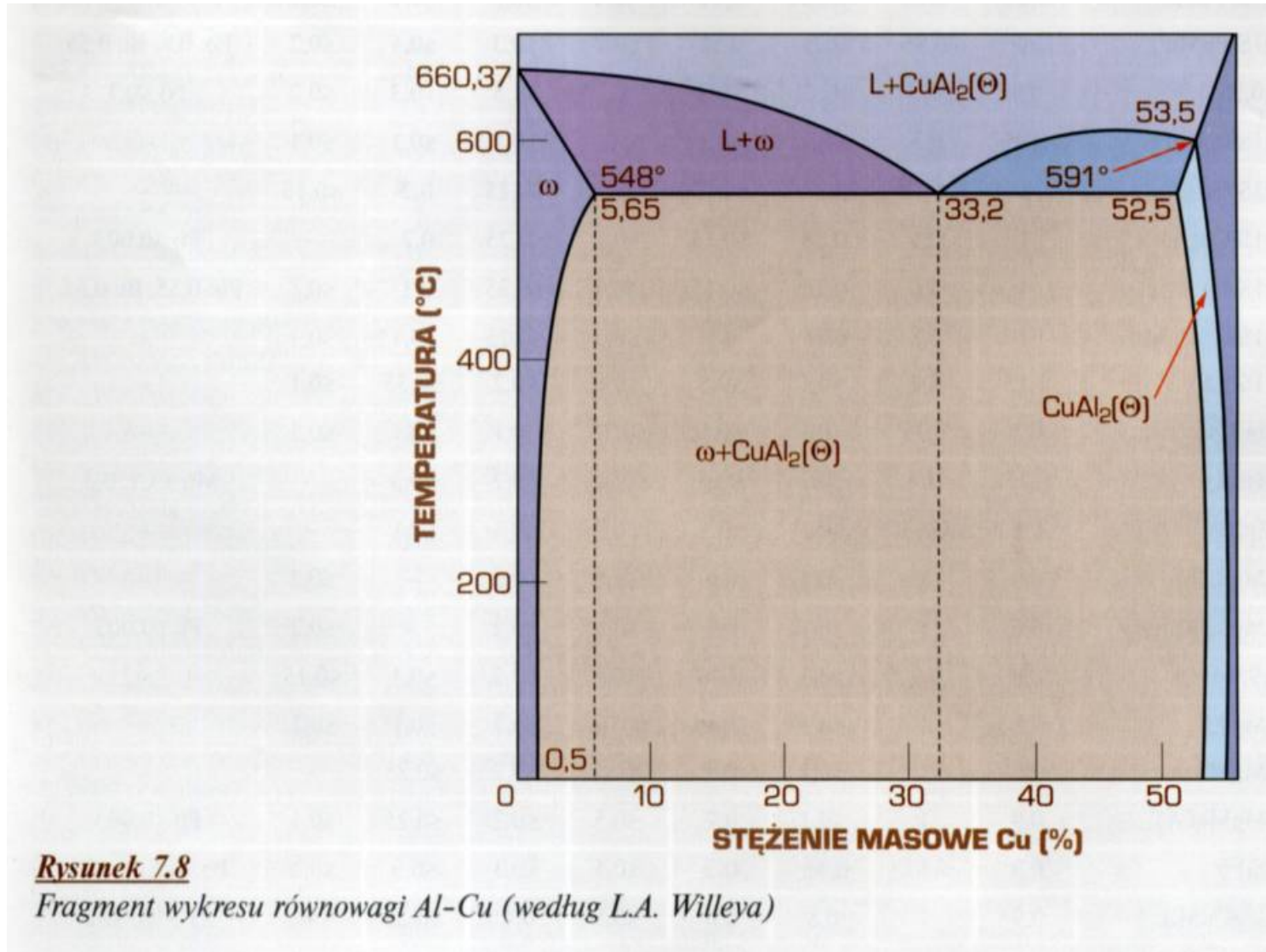
➤ Utwardzane wydzieleniowo (typu AlMgSi, AlCuMg, AlZnMg, AlZnMgCu) o strukturze złożonej z roztworu α na bazie aluminium i faz międzymetalicznych. Polepszenie właściwości wytrzymałościowych tych stopów uzyskuje się przez obróbkę cieplną złożoną z przesycaenia i starzenia.

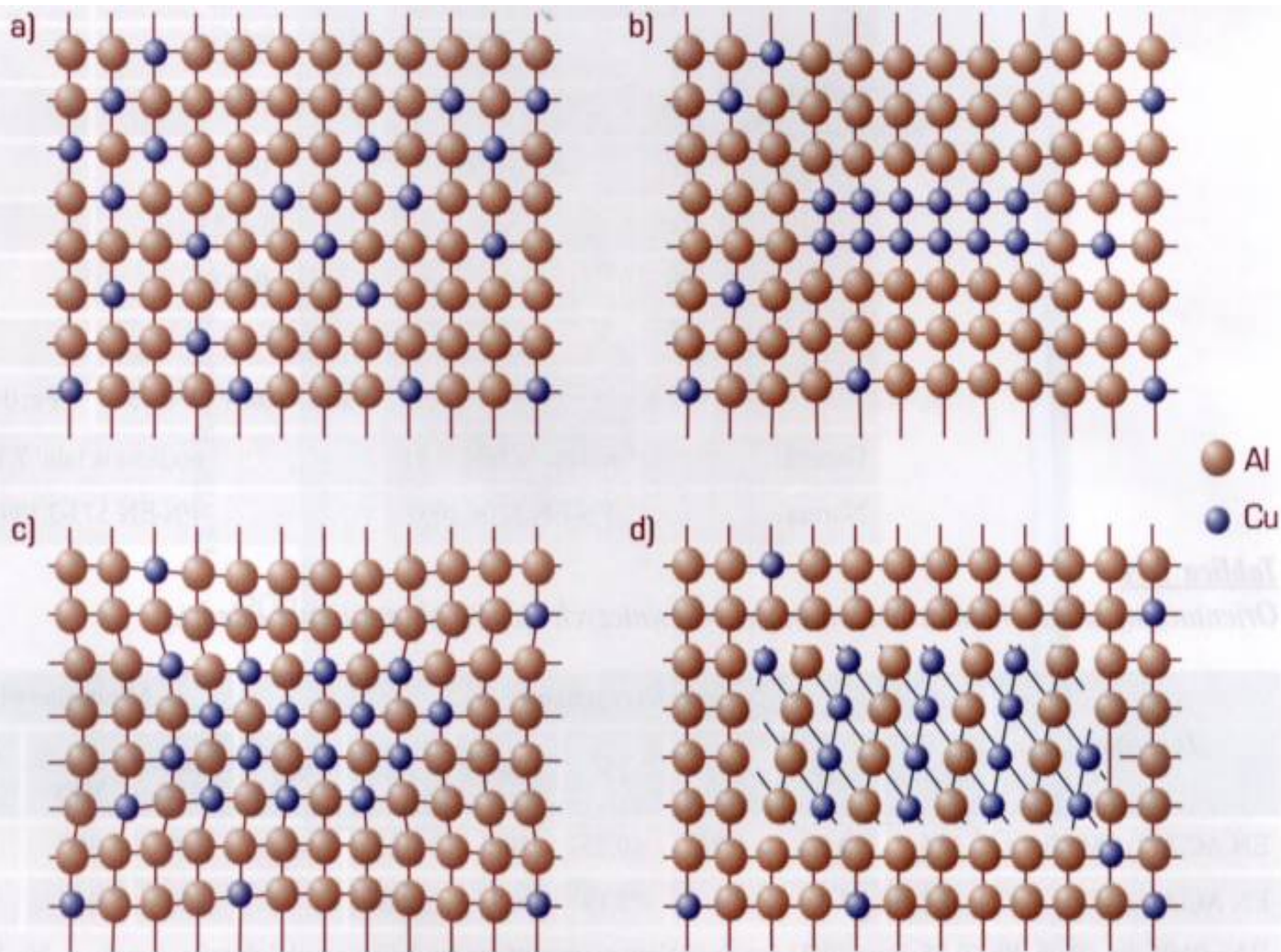


Przesycaenie: nagrzanie stopu do temp. 30-50 C powyżej granicznej rozpuszczalności i szybkie schłodzenie do temperatury pokojowej; stop uzyskuje metastabilną strukturę jednofazową

Starzenie: ekspozycja przesyconego stopu w temperaturze pokojowej lub w podwyższonej temperaturze, ale niższej od temperatury granicznej rozpuszczalności; wzrost właściwości wytrzymałościowych w wyniku generacji naprężeń związanych z przemieszczeniami atomów przesycających roztwór.

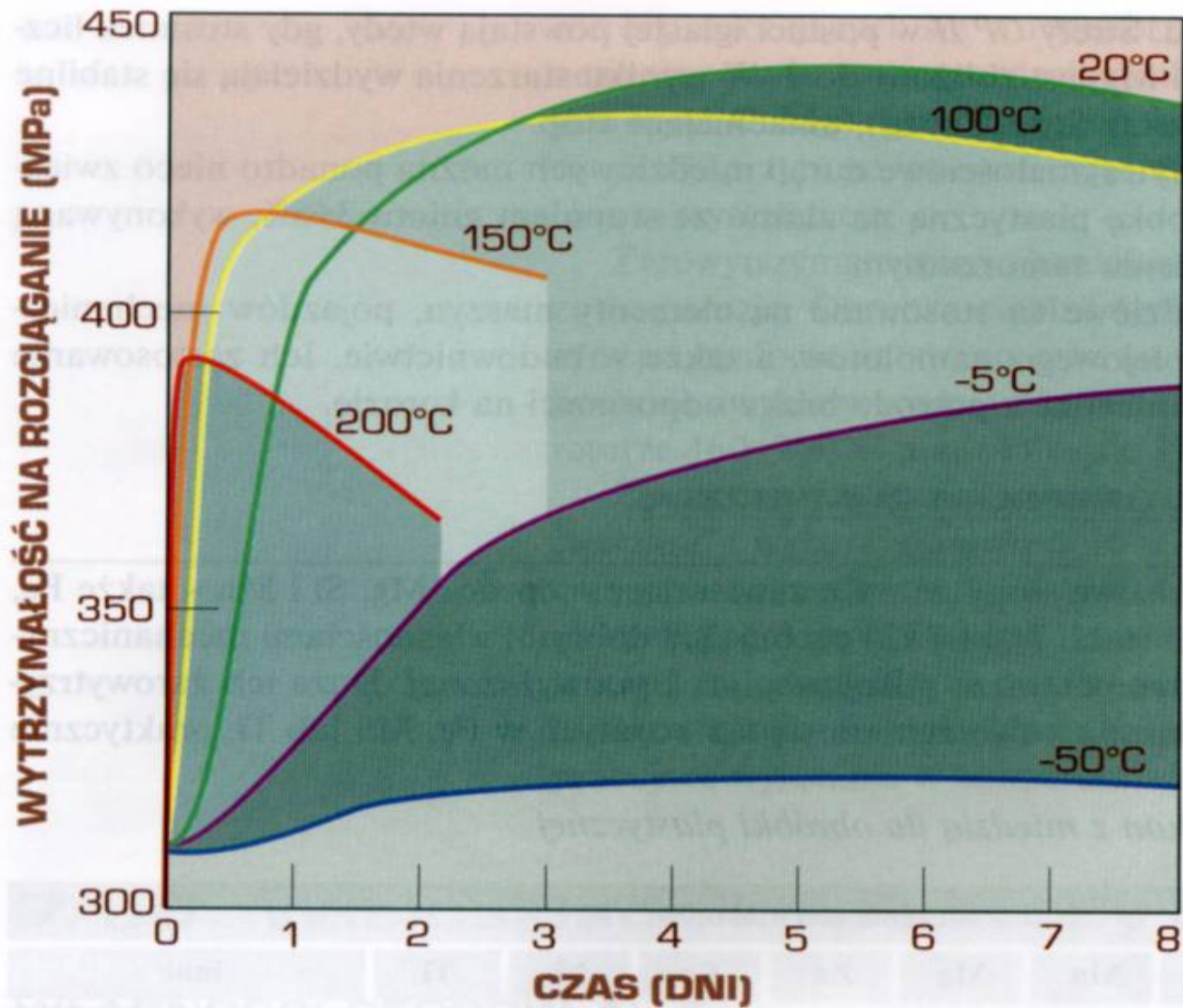
Utwardzanie wydzieleniowe na przykładzie stopu Al-Cu





Rysunek 7.9

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



Rysunek 7.10

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

Kolejność operacji obróbki plastycznej i cieplnej dla stopów aluminium do obróbki plastycznej:

1. Przesycanie
2. Obróbka plastyczna na zimno
3. Starzenie (naturalne lub sztuczne)

Przykłady stopów utwardzanych wydzieleniowo

AlCu4Mg0,5 (duraluminium): Stop konstrukcyjny o dobrych właściwościach mechanicznych i przeciwkorozyjnych, utwardzany przez przesycanie i starzenie w temperaturze pokojowej. Dostarczany w postaci blach, odkuwek, prętów i kształtowników. Po przesyceniu, zgnioście i starzeniu: $R_m=450\text{MPa}$, $A=20\%$. Stosowany na znacznie obciążone elementy konstrukcji lotniczych.

AlZn6Mg2Cu: Stop konstrukcyjny o dobrych właściwościach mechanicznych i przeciwkorozyjnych, utwardzany przez przesycanie i starzenie w temperaturze 120-140°C. Dostarczany w postaci blach, odkuwek, prętów i kształtowników. Po przesyceniu, zgnioście i starzeniu: $R_m=550\text{MPa}$, $A=10\%$. Stosowany na znacznie obciążone elementy konstrukcji lotniczych, środków transportu i maszyn.