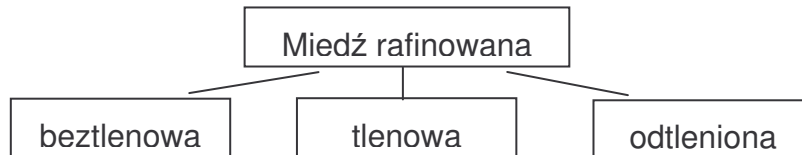


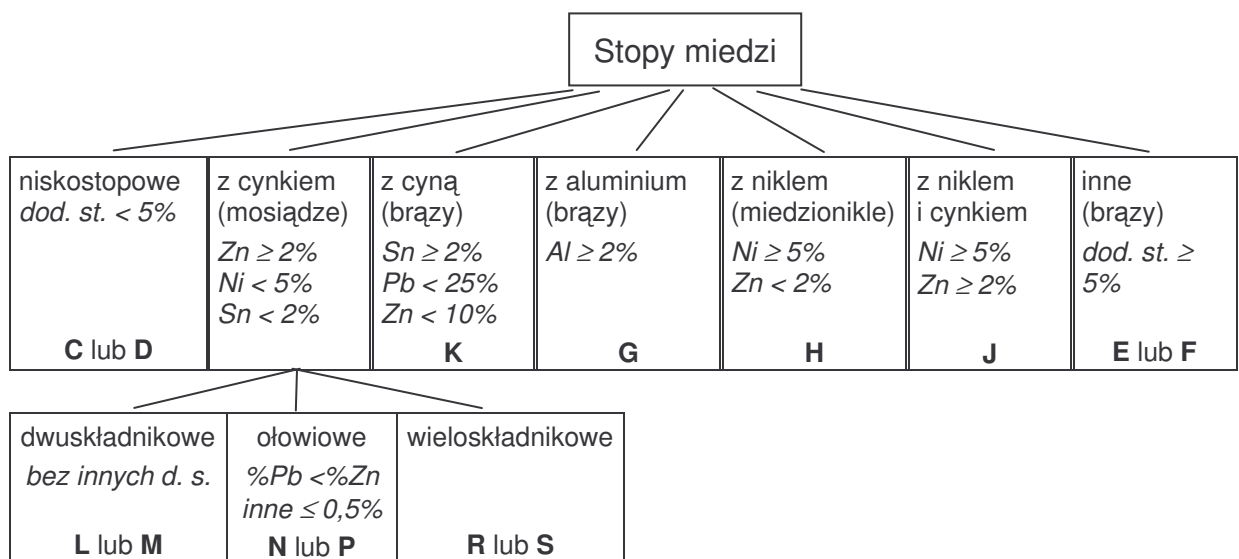
MIEDŹ I STOPY MIEDZI

Systemy oznaczania gatunków miedzi i stopów miedzi



Klasyfikacja miedzi rafinowanej wg PN-H-01051:1997

Miedź beztlenowa nie zawiera tlenu miedzi ani żadnej pozostałości odtleniaczy, miedź tlenowa zawiera regulowaną ilość tlenu w postaci tlenu miedzi, natomiast miedź odtleniona nie zawiera tlenu miedzi ale zawiera regulowane ilości odtleniaczy, z których najczęściej stosowanym jest fosfor.



Klasyfikacja stopów miedzi wg PN-H-01051:1997, PN-EN 1412:1998

Nazwa **inne stopy miedzi** obejmuje stopy miedzi z jakimikolwiek dodatkami stopowymi, w których ich zawartość wynosi minimum 5% i które nie należą do żadnej z pozostałych grup stopów. Natomiast grupa **niskostopowych stopów miedzi** obejmuje gatunki miedzi stopowej a także gatunki specjalnych stopów miedzi oddzielnie traktowane przez dotychczas obowiązujące polskie normy. Litery od A do S określają grupę materiałową w numerycznym systemie oznaczeń miedzi i jej stopów.

Gatunki miedzi i jej stopów określa się podając ich znak lub numer.

Europejski system znakowy.

Oznaczanie materiałów miedziowych znakiem oparto na systemie ISO 1190-1.

Znak gatunku miedzi określa metodę jej wytwarzania. Zbudowany jest z symbolu Cu oraz skrótu angielskiej nazwy poszczególnych rodzajów miedzi. Na przykład:

- miedź beztlenowa (*oxygen-free copper*) - Cu-OF,
- miedź tlenowa (*electrolytic tough pitch copper*) - Cu-ETP,
- miedź odtleniona fosforem (*deoxidized high/low phosphorus copper*) – Cu-DHP, Cu-DLP.

Znak stopów miedzi zbudowany jest z symbolu chemicznego miedzi Cu po którym następują symbole głównych dodatków stopowych z cyframi oznaczającymi ich nominalną procentową zawartość. Na przykład: CuZn20, CuZn40Pb2, CuAl7Si2.

Dla odróżnienia podobnych gatunków materiałów do przeróbki plastycznej i odlewniczych wprowadzono przyrostki do znaków materiałów odlewniczych. Znak materiału uzupełniony jest przyrostkiem - **B** dla oznaczenia materiału w postaci gąsek i przyrostkiem - **C** dla oznaczenia materiału w postaci odlewu. Na przykład: CuSn5Zn5Pb5-C.

Europejski system numeryczny.

System ten został ustanowiony w 1998 roku w normie PN-EN 1412. Numer gatunku miedzi i jej stopów zbudowany jest sześciu znaków. Znakiem pierwszej pozycji jest litera **C** oznaczająca materiał miedziowy, znakiem drugiej - litera oznaczająca postać materiału.

Na przykład: litera **C** - oznacza materiały w postaci odlewów,

W - materiały w postaci wyrobów przerobionych plastycznie,

X – materiały nieznormalizowane, tzn. nie wyszczególnione w normie europejskiej ale produkowane i/lub stosowane w Europie.

Znakami trzeciej, czwartej i piątej pozycji są numery w przedziale od 000 do 999. Nie mają one żadnego znaczenia przypisanego do żadnego ze znaków. Znakiem szóstej pozycji powinna być litera określająca jedną z grup materiałowych, tj. literą **A** lub **B** w przypadku miedzi, a w przypadku stopu miedzi - odpowiednią literą według schematu na rys.2. Na przykład: CW024A, CW300G, CB752S, CC383H.

Oznaczenia stanów materiału. W dokumentacji technicznej i przy cechowaniu wyrobów z miedzi i jej stopów przerabianych plastycznie w procesach przeróbki plastycznej na gorąco lub/i na zimno (druty, rury, kształtowniki, blachy, taśmy, odkuwki) lub odlewanych, oprócz oznaczenia gatunku materiału podaje się oznaczenie jego stanu.

Według normy PN-EN 1173:1995 oznaczenie stanu materiału składa się zwykle z czterech znaków. Literowy znak w pozycji 1 wskazuje charakterystyczną obowiązującą własność następująco:

A - wydłużenie,

B - granica sprężystości przy zginaniu,

D - stan po ciągnięciu bez określonych własności mechanicznych,

G - wielkość ziarna,

H - twardość (Brinella lub Vickersa),

M - stan bez określonych własności mechanicznych,

R - wytrzymałość na rozciąganie,
Y - umowna granica plastyczności.

W pozycjach 2 do 4 występują trzy cyfry określające minimalną wartość obowiązującej własności. W przypadku dodatkowej obróbki na końcu oznaczenia dodaje się uzupełniający przyrostek literowy, np. w przypadku wyżarzania odprężającego - literę **S**.

Przykłady: Taśma PN-EN 1172-CuZn0,5-H065-...; Rura PN-EN 1057-CW024A - R220-....

Oznaczenia metod odlewania. W dokumentacji technicznej i przy cechowaniu odlewów z miedzi i jej stopów oprócz oznaczenia gatunku materiału, podaje się również oznaczenie metody odlewania zgodnie z normą PN-EN 1982:2002, mianowicie:

GS - odlew piaskowy,
GM - odlew kokilowy,
GZ - odlew odśrodkowy,
GC - odlew ciągły,
GP - odlew ciśnieniowy.

Przykłady PN-EN 1412:1998: Odlew PN-EN 1982-CuAl10Fe5Ni5-GS-... albo:
Odlew PN-EN 1982-CC333G-GS-...

1. Miedź rafinowana

Miedź krystalizuje w układzie regularnym ściennie centrowanym (A1) poniżej temperatury topnienia równej 1083,4 °C. Jest metalem dosyć drogim, ciężkim, o niskich właściwościach wytrzymałościowych (tab.1). Dlatego w zastosowaniach gdzie kryterium doboru materiałów jest wytrzymałość właściwa (określana stosunkiem granicy wytrzymałości do gęstości materiału) stopy miedzi ustępują stopom aluminium, kompozytom i stalom.

Właściwości miedzi w stanie wyżarzonym

Gęstość ρ [Mg/m ³]	Moduł sprężystości i E [GPa]	R _m [MPa]	R _{pl} [MPa]	A [%]	Twardość ć [HB]	Przewodność elektryczna γ [MS/m]
8,94	119,4	200-230	35-60	35-50	30-50	59,8-58,8

Przedziały wartości niektórych właściwości uwzględniają wpływ różnego stopnia czystości miedzi i wielkości ziarna.

Duże zastosowanie miedzi i jej stopów (zaraz po stalach i stopach aluminium) związane jest z jej bardzo dobrą przewodnością elektryczną i cieplną (tab.1), dobrą odpornością na korozję, zwłaszcza w wodzie morskiej, łatwością kształtowania wyrobów zarówno przez obróbkę plastyczną na zimno jak i obróbkę skrawaniem, a także dekoracyjnym kolorem.

Zastosowanie technicznie czystej miedzi zależy od ilości zawartych w niej zanieczyszczeń. Gatunki miedzi o mniejszej czystości mają wyższe wartości właściwości wytrzymałościowych rzędu: $R_m = 220$ MPa, $R_{pl} = 70$ MPa.

Przykłady gatunków miedzi na odkuwki i odlewy (wg EN-12165:1998 i EN-1982:2002)

Rodzaj miedzi	Znak	Numer	% mas. Cu	Zastosowanie
Beztlenowa	Cu-OF	CW008A	99,95	Elektronika, radiotechnika
Tlenowa (katodowa przetopiona)	Cu-ETP	CW004A	99,90	Elektrotechnika
Odtleniona	Cu-DHP	CW024A	99,90	Elektrotechnika, instalacje ciepłej i zimnej wody, instalacje centralnego ogrzewania i gazowe
Odlewnicza	Cu-C	CC040A	nieustalony	Dysze do chłodziw itp.

Metody umacniania miedzi:

- Rozdrobnienie ziaren poprzez odkształcenie plastyczne i rekrytalizację (10% wzrost własności wytrzymałościowych).
- Odkształcenie plastyczne na zimno miedzi ze względu na jej bardzo dużą plastyczność i wysoki współczynnik umocnienia. Miedź odkształcona 70% gniotem osiąga wytrzymałość na rozciąganie około 400 MPa i granicę plastyczności około 370 MPa. Po takim odkształceniu jej przewodność zmniejsza się o około 2% co jest w przybliżeniu równoważne działaniu 0,1% zanieczyszczeń. Odkształcenie plastyczne miedzi nie ma wpływu na jej odporność na korozję.

Wyroby miedziane produkowane są więc w różnych stanach kwalifikacyjnych różniących się twardością, przewodnością właściwościami mechanicznymi i użytkowymi, np. w stanie miękkim, wyżarzonym rekrytalizująco, półtwardym wyżarzonym międzyoperacyjnie i twardym bez obróbki cieplnej. Dlatego wyroby miedziane muszą być oznakowane przez podanie zarówno gatunku jak i stanu kwalifikacyjnego materiału.

2. Niskostopowe stopy miedzi

Ze względu na niskie właściwości wytrzymałościowe w stanie wyżarzonym, czysta miedź często nie może być użyta jako materiał konstrukcyjny w urządzeniach, w których podlega podgrzaniu powyżej temperatury rekrytalizacji i od których wymaga się dobrego przewodnictwa elektrycznego lub bardzo dużej odporności na korozję. Stosuje się wówczas niskostopowe stopy miedzi: miedź stopową - gdy kryterium doboru jest przewodność elektryczna oraz brązy specjalne - gdy kryterium stanowią wysokie własności wytrzymałościowe i odporność na ścieranie przy wysokiej odporności na korozję.

Efekt umocnienia w miedzi stopowej, przy zachowaniu dostatecznie wysokiej przewodności elektrycznej, uzyskuje się:

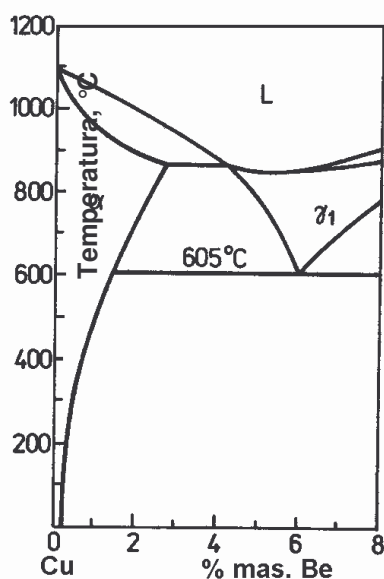
- dodając do miedzi niewielkie ilości pierwiastków stopowych (do 2%), które umacniają ją przez tworzenie roztworu (np. srebro, arsen, tellur) i nadają jej specjalne własności; np. tellur poprawia skrawalność, srebro - odporność na pęczanie w podwyższonych temperaturach,
- dodając pierwiastki, takie jak np. chrom, cyrkon, beryl, których rozpuszczalność w miedzi w temperaturze otoczenia maleje praktycznie do zera; stwarza to możliwość umocnienia wydzieleniowego miedzi przy kontrolowanym wzroście jej oporności.

Stany dostawy: rekrystalizowanym, umocnionym na zimno, umocnionym wydzieleniowo przez przesycaenie i starzenie a także po niskotemperaturowej obróbce cieplno-plastycznej, tj. w stanie starzonym i odkształconym przed, w trakcie lub po starzeniu.

Przykłady gatunków niskostopowych stopów miedzi
(wg PN-EN 12163:2002, PN-EN 12165:2001, PN-EN 12166:2002)

Grupa stopów	Znak	Przew. elektr. MS/m	HV	R _m MPa	Stan materiału
Miedź stopowa	CuCr1 CuTeP	min 42 min 48	140	400	^{*)} p/starzony 400-500°C rekrystalizowany
Braży specjalne	CuBe2 CuSi3Mn1	Średnia niska	440 95	1200 370	p/starzony 300-400°C rekrystalizowany

⁸⁾ p - przesycony



W grupie brązów specjalnych najlepszymi właściwościami mechanicznymi wyróżniają się **braży berylowe**. Dzięki zmiennej rozpuszczalności berylu w miedzi bardzo efektywna jest ich obróbka polegająca na przesycaeniu i starzeniu a także niskotemperaturowa obróbka cieplno-plastyczna. W stanie przesyconym wykazują dobrą podatność (twardość ok. 100 HV) do przeróbki plastycznej na zimno. Dodatek ołowiu podwyższa ich skrawalność. Ich szczególne właściwości to: bardzo wysokie właściwości wytrzymałościowe i sprężyste, bardzo duża odporność na ścieranie i korozję, brak skłonności do iskrzenia. Stąd ich zastosowanie na sprężyny, elementy sprężynujące i narzędzia nieiskrzące. Wadą ich jest wysoka cena z tego względu, że beryl należy do pierwiastków deficytowych.

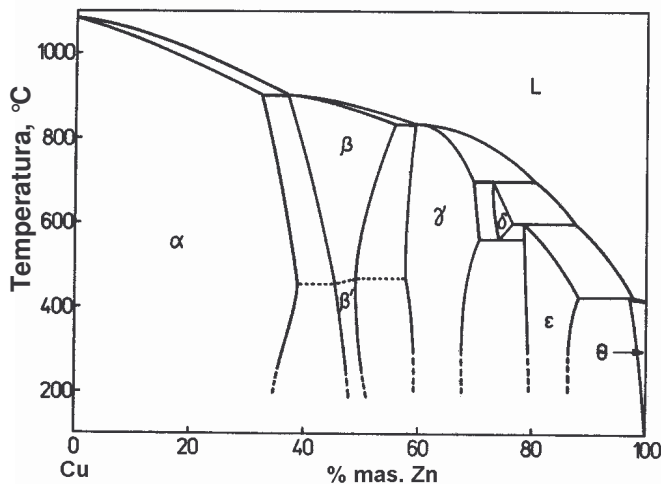
3. Stopy miedzi z cynkiem

Stopy miedzi, w których głównym dodatkiem stopowym jest cynk nazywane są mosiądzami.

Ze względu na skład chemiczny, metodę wytwarzania i mikrostrukturę dzieli się je na:

- mosiądze dwuskładnikowe → do przeróbki plastycznej → jednofazowe
→ dwufazowe
- mosiądze ołowiowe → do przeróbki plastycznej → dwufazowe
→ odlewnicze → dwufazowe
- mosiądze wieloskładnikowe → do przeróbki plastycznej → jednofazowe
→ dwufazowe
→ odlewnicze → dwufazowe

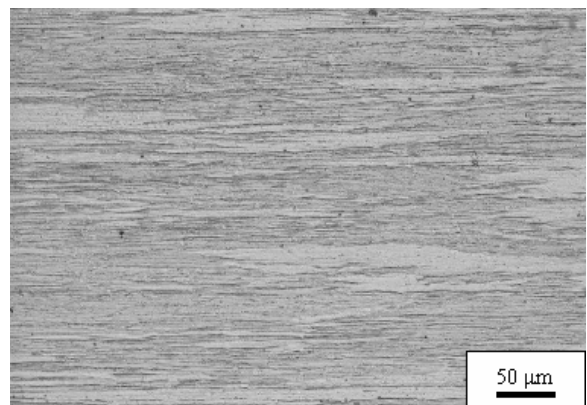
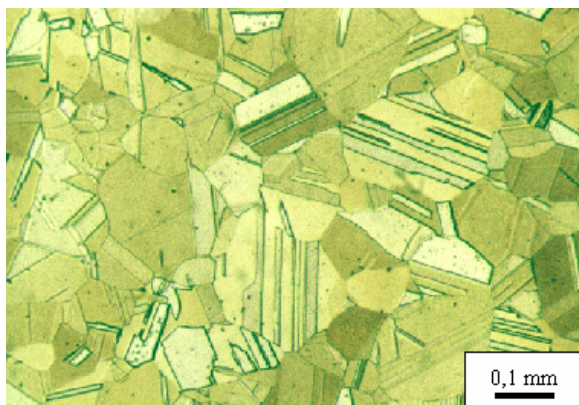
Mosiądze dwuskładnikowe są stopami przeznaczonymi do obróbki plastycznej na zimno i na gorąco.



Mosiądze jednofazowe -

zawierające od 2 do 37% Zn mają strukturę roztworu stałego α (o strukturze A1). Rozpuszczony w miedzi cynk powoduje wzrost jej granicy wytrzymałości na rozciąganie R_m z 230 MPa do 320 MPa a twardości - z 40 do 60 HB. Granica plastyczności również wzrasta z 70 MPa do 100 MPa, ale pozostaje w dalszym ciągu trzykrotnie niższa od granicy wytrzymałości, co czyni ten rodzaj mosiądów słabym materiałem konstrukcyjnym.

Charakterystyczny dla mosiądów jednofazowych, a nietypowy dla umocnienia roztworowego w innych stopach metali, jest wzrost wydłużenia z 30 do 60% w miarę wzrostu zawartości cynku. Z tego względu mosiądze α mają bardzo dobrą plastyczność i można je poddawać przeróbce plastycznej na gorąco i na zimno.



Obróbka plastyczna na zimno powoduje umocnienie materiału i zmniejszenie różnicy między granicą plastyczności a granicą wytrzymałości.

Własności mechaniczne (minimalne) mosiądzu CuZn30 w różnych stanach

Stan	miękki	półtwardy	twardy	sprężysty
Stopień gniotu, %	-	10-15	20-25	50-60
R _m , MPa	320	350	420	500
R _{pl} , MPa	100	220	300	450
A, %	55	25	15	8

Zastosowanie. Z półwyrobów mosiężnych o małych zawartościach cynku (CuZn5, CuZn10, CuZn15) wykonuje się rurki włoskowate, rury chłodnic, węzownice, membrany manometrów, łuski amunicji; z mosiądzów o średniej zawartości cynku (CuZn20, CuZn25, CuZn30, CuZn33, CuZn37) - rury do skraplaczy, elementy zamków błyskawicznych, wyroby otrzymywane metodą głębokiego tłoczenia, wyroby artystyczne.

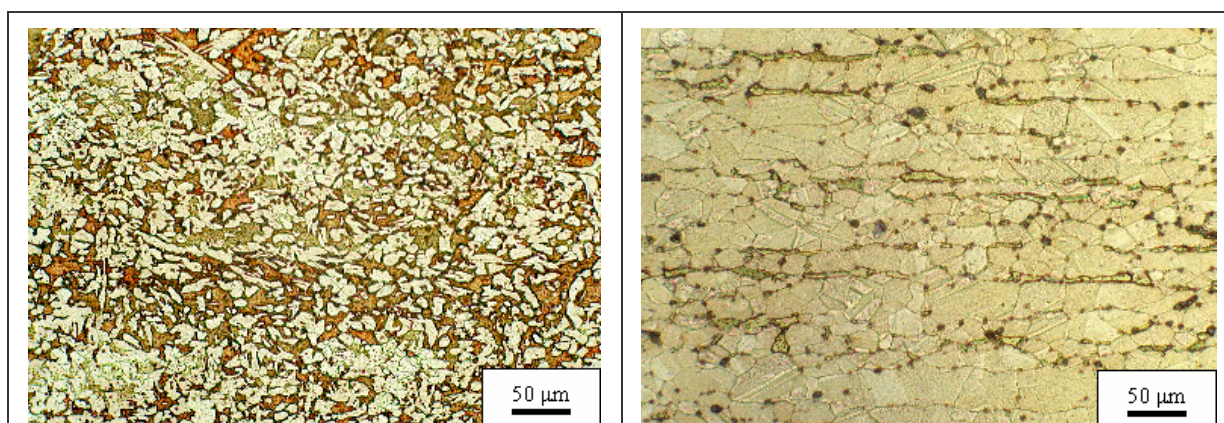
Mosiądze dwufazowe - zawierają od 38 do 45% Zn. Mają strukturę dwufazową $\alpha+\beta'$. Faza β' jest uporządkowanym roztworem wtórnym, na bazie fazy międzymetalicznej CuZn, krystalizującym w układzie A2. Inna niż fazy α budowa krystaliczna fazy β' jest przyczyną jej wyższej twardości i wyższych właściwości wytrzymałościowych. Pojawienie się fazy β' w strukturze mosiądzów powoduje wzrost ich wytrzymałości na rozciąganie do 420 MPa, niewielki wzrost granicy plastyczności i drastyczne obniżenie właściwości plastycznych (poniżej 20%). W efekcie mosiądze dwufazowe w porównaniu z jednofazowymi mają nieco lepszą skrawalność ale znacznie gorszą podatność do obróbki plastycznej na zimno. Dlatego kształtowane są przez przeróbkę plastyczną na gorąco w temperaturze, w której mają mikrostrukturę plastycznej, nieuporządkowanej fazy β (struktura A1), a obróbka plastyczna na zimno (np. ciągnięcie prętów) stosowana jest jako końcowy zabieg dla nadania wyrobom wymaganych wymiarów przekroju, odpowiedniej gładkości powierzchni i odpowiednich właściwości mechanicznych.

W grupie mosiądzów dwuskładnikowych tylko jeden gatunek, CuZn40, ma budowę dwufazową. Gatunek CuZn37 - tylko po wolnym chłodzeniu. Ponieważ podczas nagrzewania i chłodzenia tych stopów następuje przekształcenie ich struktury, można zwiększyć ich podatność do obróbki plastycznej na zimno można przez odpowiednio szybkie chłodzenie z temperatury wyżarzania. Pozwala to zmniejszyć istotnie ilość fazy β' w mosiądzu CuZn40 oraz uzyskać jednofazową strukturę fazy α w mosiądzu CuZn37. Stąd obydwa gatunki mosiądzów nadają się do przeróbki plastycznej na zimno i na gorąco i są produkowane są w postaci blach, taśm, prętów i rur w różnych stanach umocnienia odkształceniowego.

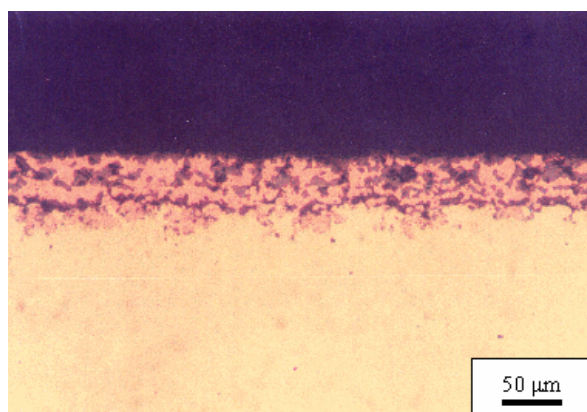
Wszystkie mosiądze, jedno i dwufazowe obrobione plastycznie na zimno, muszą być poddane wyżarzaniu odprężającym w temperaturze 200-300°C (poniżej temperatury rekrytalizacji) aby zapobiec międzykrystalicznej korozji naprężeniowej nazywanej pękaniem sezonowym. Korozja ta zachodzi pod wpływem dwóch czynników: rozciągających naprężeń własnych w materiale pozostałych po odkształcaniu na zimno oraz wilgotnego środowiska zawierającym amoniak. Odprężanie powoduje relaksację naprężeń nie zmniejszając umocnienia.

Mosiądze ołowiowe stanowi grupa mosiadców dwufazowych z dodatkiem ołowiu, w ilości od 0,3 do 3,5%, którego głównym zadaniem jest poprawa ich skrawalności dla ułatwienia pracy automatów i obrabiarek sterowanych numerycznie. Mosiądze ołowiowe kształtowane są przez przeróbką plastyczną na gorąco. Wydzielenia ołowiu podczas przemiany $\alpha \rightarrow \beta$ ulegają rozdrobnieniu i zepchnięciu z granic ziaren fazy α do środka ziaren fazy β dzięki czemu nie utrudniają obróbki plastycznej na gorąco i w gotowych wyrobach są rozmieszczone równomiernie w całej objętości stopu. W zależności od temperatury obróbki mogą mieć strukturę: iglastą gdy materiał jest odkształcany w temperaturze istnienia fazy β , ziarnistą gdy podczas odkształcania następuje przemiana $\beta \rightarrow \alpha$, oraz pasmową gdy odkształcanie następuje w temperaturze współistnienia fazy α i β .

Mosiądze ołowiowe (np. CuZn37Pb0,5; CuZn38Pb1,5; CuZn40Pb2) dostarczane są w postaci takich samych wyrobów jak mosiądze α , ale wykonywanie z nich gotowych elementów odbywa się głównie poprzez skrawanie. Obecność ołowiu obniża ich właściwości wytrzymałościowe. Na przykład mosiadz CuZn39Pb2 w stanie wyżarzonym rekrytalizująco osiąga $R_m = 360$ MPa przy $A_5 = 28\%$.



Mosiądze odznaczają się dobrą odpornością na korozję atmosferyczną oraz w środowisku wody wodociągowej i morskiej, tym większą im więcej zawierają miedzi. Podatne są jednak na wspomnianą już korozję naprężeniową (tym większą im więcej zawierają cynku) oraz odcynkowanie.



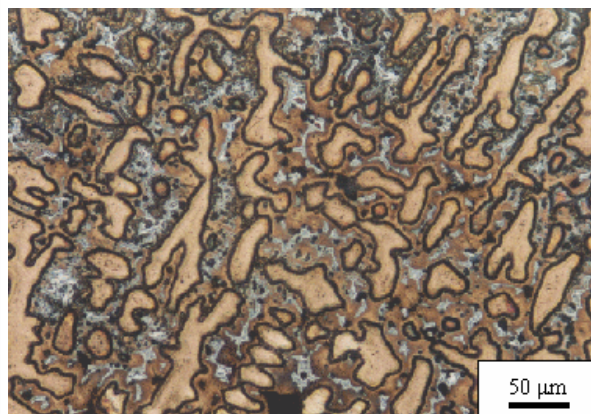
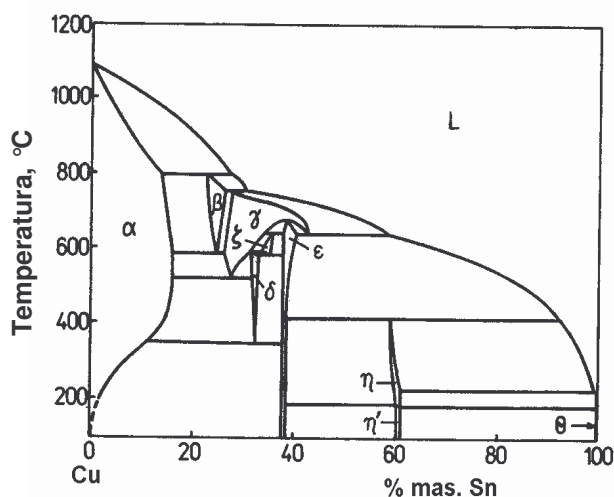
Odcynkowanie zachodzi w środowisku wodnym zawierającym chlor i polega na rozpuszczaniu warstw powierzchniowych (cynk i miedź przechodzą do wody) i osadzeniu się miedzi z powrotem na powierzchni w postaci gąbczastej. Korozja tego typu może mieć charakter zarówno równomierny jak i wżerowy. Ulegają jej mosiądze dwufazowe, w których selektywnie rozpuszczaniu ulega faza β' oraz mosiądze jednofazowe o zawartości cynku większej niż 20%.

4. Brązy cynowe

Brązami cynowymi nazywane są stopy miedzi z zawartością co najmniej 2% cyny. Przemysłowe zastosowanie znalazły stopy zawierające do około 11% Sn.

Dzieli się je na:

- brązy do przeróbki plastycznej → dwuskładnikowe → jednofazowe
- wieloskładnikowe → jednofazowe
- brązy odlewnicze → dwuskładnikowe → dwufazowe
- wieloskładnikowe → dwufazowe



W warunkach przemysłowego chłodzenia, z powodu małej dyfuzji cyny w miedzi, wykres ten ulega zmianie, tj. linia granicznej rozpuszczalności Sn w Cu przesuwa się w stronę czystej miedzi, zakres zmiennej rozpuszczalności poniżej 500 °C zanika oraz nie zachodzi rozpad eutektoidalny fazy $\delta \rightarrow (\alpha + \epsilon)$. Dlatego stopy techniczne w temperaturze otoczenia mają budowę niezgodną ze stanem równowagi. Stopy zawierające do około 5% Sn mają budowę jednofazową α , a przy większych zawartościach cyny - budowę dwufazową $\alpha + (\alpha + \delta)$. Faza α występuje w postaci dendrytów, a eutektoid $(\alpha + \delta)$ - w przestrzeniach międzydendrytycznych. Roztwór α ma zróżnicowaną zawartość miedzi i cyny na przekroju i długości ramion dendrytów. Zjawisko to nosi nazwę segregacji dendrytycznej.

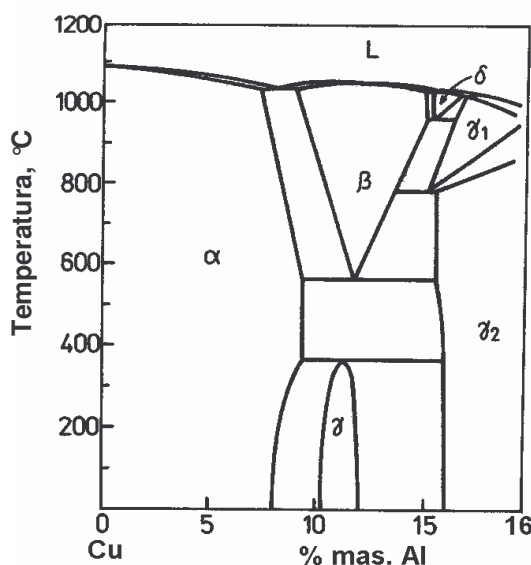
Oprócz skłonności do segregacji dendrytycznej brązy cynowe mają również dużą skłonność do segregacji odwrotnej wlewką. Głównymi przyczynami segregacji odwrotnej jest wysoka przewodność cieplna miedzi i mała dyfuzja cyny w miedzi. W czasie krzepnięcia, bogate w miedź dendryty roztworu α szybko odprowadzając ciepło szybko wrastają do środka wlewką. Wskutek skurczu między dendrytami tworzą się pustki, którymi faza ciekła bogata w cynę zostaje wypychana do warstw zewnętrznych tworząc w pewnych warunkach krzepnięcia tzw. "pot cynowy". Obydwa rodzaje segregacji z punktu widzenia przeróbki plastycznej są zjawiskiem bardzo niekorzystnym. Dlatego stopy do przeróbki plastycznej wykazujące po odlaniu silną segregację poddaje się wyżarzaniu ujednorodniającemu w zakresie 720-750 °C w celu wyrównania składu chemicznego.

Segregacja dendrytyczna jest zjawiskiem korzystnym jeżeli brązy cynowe stosuje się na panewki łożysk ślizgowych. Faza α spełnia wówczas rolę miękkiej osnowy a eutektoid $(\alpha + \delta)$ stanowi twardy składnik struktury przenoszący naciski.

Gatunki brązów cynowych do przeróbki plastycznej, dwuskładnikowe, np. CuSn4, CuSn8 i wieloskładnikowe, np. CuSn4Pb4Zn4, wyszczególnione są w normach dotyczących produktów hutniczych (PN-EN o numerach od 12163 do 12167). Produkty hutnicze z brązów cynowych mogą być dostarczane w stanie miękkim, wyżarzonym rekrytalizująco lub umocnionym przez przeróbkę plastyczną na zimno. Ich właściwości zależą, oprócz stanu dostawy, również od zawartości cyny; im jest wyższa tym wyższe są właściwości wytrzymałościowe, sprężyste, antykorozyjne i przeciwcierne. Na przykład przy wzroście zawartości cyny od 2 do 5% wytrzymałość rośnie z 240 do 420 MPa. Stosowane są głównie na panewki, śruby, sprężyny, elementy przyrządów kontrolno-pomiarowych. Brąz wieloskładnikowy CuSn4Pb4Zn4 przeznaczony jest na elementy ślizgowe.

Spośród wielu gatunków brązów odlewniczych objętych normą PN-EN 1982:2002 tylko dwa gatunki CuSn10-C i CuSn12-C należą do stopów dwuskładnikowych. Pozostałe stanowią brązy wieloskładnikowe, np. CuSn11P-C, CuSn10Pb10-C, CuSn5Zn5Pb5-C. Ich właściwości zależą od składu chemicznego, np. dla odlewów z brązu CuSn11P-C wymagane minimalne właściwości mechaniczne wynoszą: $R_m = 330-360$ MPa, $A_5 = 4-6\%$, 100 HB. Stosowane są na wysokoobciążone, szybkoobrotowe, źle smarowane i narażone na korozję łożyska, części trące maszyn w przemyśle okrętowym i papierniczym oraz armaturę chemiczną.

5. Brązy aluminiowe



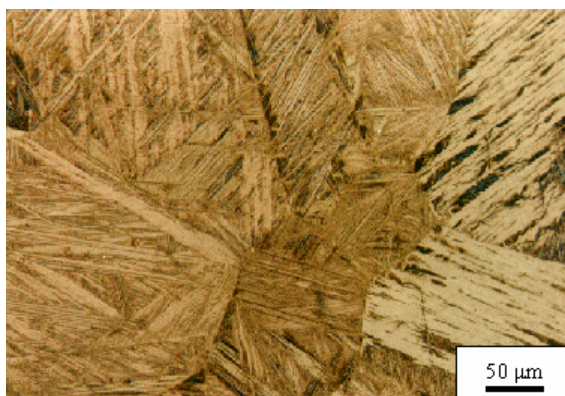
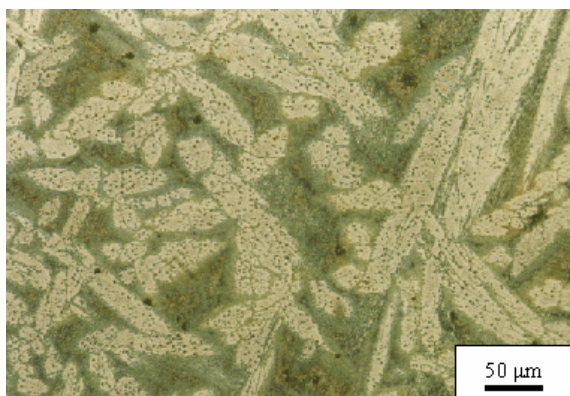
Są stopami konkurencyjnymi dla brązów cynowych, znacznie przewyższając je właściwościami, takimi jak: mniejsza skłonność do segregacji, lepsze właściwości odlewnicze, większa odporność na korozję, także na kawitację. Ponadto występująca w układzie Cu-Al (rys.4e) przemiana eutektydalna $\beta \rightarrow (\alpha + \gamma_2)$ daje możliwość poprawiania właściwości mechanicznych stopów zawierających więcej niż 9,5% Al, przez ulepszanie cieplne. Zaznaczona na wykresie przemiana perytektoidalna w stopach przemysłowych nigdy nie zachodzi.

Praktyczne zastosowanie znalazły stopy zawierające od 4 do 11,5% Al, produkowane jako:

- brązy do przeróbki plastycznej \rightarrow dwuskładnikowe
- \searrow wieloskładnikowe
- brązy odlewnicze \rightarrow dwuskładnikowe
- \searrow wieloskładnikowe

Grupa brązów do przeróbki plastycznej obejmuje jeden gatunek brązu dwuskładnikowego CuAl8 oraz kilka gatunków stopów wieloskładnikowych, np. CuAl6Si2Fe, CuAl10Fe3Mn2, CuAl10Ni5Fe4. Wolnochłodzone brązy o zawartości Al<8% mają strukturę jednofazową i można je przerabiać plastycznie na zimno i na gorąco. Ich wytrzymałość w stanie wyżarzonym, przy zawartości około 6% Al, osiąga wartość 400 MPa, wydłużenie - 50% i twardość - 80 HB. Ich główne zastosowanie to elementy pracujące w wodzie morskiej oraz elementy aparatury chemicznej.

W strukturze stopów o większej zawartości aluminium pojawia się eutektoid ($\alpha+\gamma_2$) silnie obniżający plastyczność stopów i dlatego można je przerabiać plastycznie tylko na gorąco. Ponieważ aluminiowe brązy dwuskładnikowe mają dużą skłonność do powstawania grubopłytkowego eutektoidu, dodaje się do nich żelazo, mangan i nikiel, które rozdrabniając eutektoid podwyższają własności wytrzymałościowe brązu i poprawiają właściwości plastyczne. Dalszy wzrost właściwości wytrzymałościowych przy zachowaniu dostatecznej plastyczności uzyskuje się przez ulepszanie cieplne, polegające na hartowaniu brązu z zakresu temperatur (900-1000)°C, w wyniku którego powstaje martenzyt listwowy β' o wysokiej wytrzymałości i bardzo niskiej plastyczności i odpuszczaniu w zakresie temperatur (400-600)°C. W wyniku odpuszczania następuje rozpad martenzytu na dyspersyjną mieszaninę faz $\alpha+\gamma_2$, o dobrym skojarzeniu własności wytrzymałościowych i plastycznych. Brąz CuAl10Ni5Fe4 osiąga po takiej obróbce cieplnej właściwości rzędu: $R_m = 780$ MPa, $A_5 = 9\%$, HB = 250. Obszar zastosowań tej grupy brązów to: wały, śruby, koła zębate, elementy narażone na ścieranie.



Brązy odlewnicze są stopami głównie wieloskładnikowymi o zawartości Al>8%. Norma PN-EN 182:2002 obejmuje cztery gatunki takich brązów, np. CuAl10Fe2-C, CuAl10Ni3Fe2-C, CuAl10Fe5Ni5-C i CuAl11Fe6Ni6-C, nadających się do ulepszania cieplnego i jeden dwuskładnikowy - CuAl9-C. Przeznaczone są na silnie obciążone części maszyn, elementy jednocześnie narażone na korozję, ścieranie i działanie obciążeń mechanicznych stosowane w przemyśle okrętowym, lotniczym, komunikacyjnym i chemicznym.

6. Miedzionikle

Stopy miedzi z niklem o zawartości niklu powyżej 5% są stopami przeznaczonymi do przeróbki plastycznej i odlewniczymi. Są to stopy jednofazowe, ponieważ miedź tworzy z niklem układ o nieograniczonej rozpuszczalności w stanie ciekłym i stałym.

W warunkach technicznych, przy zwiększonych szybkościach chłodzenia krystalizacja tych stopów ma charakter dendrytyczny ze skłonnością do segregacji dendrytycznej. Następstwem tej segregacji jest koncentracja niklu (i innych dodatków stopowych o wyższych od miedzi temperaturach topnienia) w osiach i rozgałęzieniach dendrytów. Podczas obróbki plastycznej na gorąco następuje znaczne ujednorodnienie składu chemicznego ziaren roztworu stałego α a pozostałością segregacji jest pasemkowy efekt trawienia się tych stopów .

Im więcej niklu w stopie tym wyższe są jego właściwości wytrzymałościowe, większa odporność korozyjna i większa oporność elektryczna właściwa i siła elektromotoryczna. W sześciu gatunkach miedzionikli do przeróbki plastycznej, objętych normami PN-EN wyrobów hutniczych, stężenie niklu zawarte jest w przedziale 8-25%, natomiast w czterech gatunkach stopów odlewniczych (wg PN-EN 1982:2002) - zawartość niklu sięga 30%. Tylko jeden gatunek - CuNi25 stosowany na monety - jest dwuskładnikowy. Pozostałe zawierają dodatki żelaza, manganu lub cyny, które rozpuszczone w roztworze stałym poprawiają ich odporność korozyjną, np. CuNi9Sn2, CuNi30Fe1Mn1-C. Miedzionikle stosowane są na rury wymienników ciepła (szczególnie w urządzeniach okrętowych), urządzenia klimatyzacyjne, itp. Ich wytrzymałość na rozciąganie w stanie wyżarzonym sięga 400-550 MPa przy wydłużeniu 35-30%.