

5. ZLIATINY NEŽELEZNÝCH KOVOV

5.1 Zliatiny hliníka

Technicky čistý hliník. Hliník je nepolymorfny kov s kubickou plošne centrovanou mriežkou. Vyznačuje sa nízkou mernou hmotnosťou ($2700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), veľmi dobrou elektrickou ($38 \text{ MS}\cdot\text{m}^{-1}$) a tepelnou vodivosťou ($209 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$), tvárnosťou za tepla aj za studena, odolnosťou proti atmosferickej korózii. Má však nízku pevnosť. Druhy hliníka sa líšia jeho čistotou, ktorá sa rovnako ako u ostatných technicky čistých kovov, vyjadruje číselne minimálnym obsahom daného kovu v hmotnostných percentách (napr. Al 99,5). Mechanické vlastnosti hliníka sú zhrnuté v tab. 5.3 [103].

Tab. 5.3

Mechanické vlastnosti technicky čistého hliníka v žíhanom stave pri teplote $20 \text{ }^\circ\text{C}$

Druh (čistota) Al			Al 99,99	Al 99,5
medza klzu	$R_{p0,2}$	(MPa)	15	50
medza pevnosti	R_m	(MPa)	50	90
ťažnosť	A_5	(%)	45	30
kontrakcia	Z	(%)	90	70
modul pružnosti v ťahu	E	(MPa)	71 000	71 000
tvrdosť	HB		15	20

Najbežnejšími prímiesami v hliníku sú Fe a Si, ktoré sú obsiahnuté vo východiskových surovinách a veľmi ťažko sa odstraňujú. Už od 0,05 % Fe sa na hraniciach zŕn hliníka objavuje eutektikum ($\alpha + \text{Al}_3\text{Fe}$), ktoré zhoršuje tvárnosť a odolnosť hliníka proti korózii. Rozpustnosť kremíka v tuhom roztoku α je v porovnaní so železom rádovo väčšia, ale ihlicovité segregáty na kremík bohatej fázy β ovplyvňujú vlastnosti hliníka podobne ako eutektikum ($\alpha + \text{Al}_3\text{Fe}$).

Odolnosť hliníka proti korózii je významne ovplyvnená jeho pasiváciou. Ochranná vrstva Al_2O_3 o hrúbke asi $0,1 \text{ }\mu\text{m}$, vznikajúca za teploty okolia, robí hliník stálym na vzduchu a v morskej vode. Korózii v aktívnejších

prostrediach odoláva Al tým lepšie, čím je čistejší. Neodoláva hydroxidom (NaOH, KOH) a halovým kyselinám (HCl, HF).

Obr. 5.1. Zmeny mechanických vlastností technicky čistého hliníka v závislosti od stupňa tvárnenia za studena

Malú pevnosť technicky čistého hliníka zvyšujeme tvárnením za studena. Dosiahnuté deformačné spevnenie pri danom stupni tvárnenia je nepriamo úmerné čistote hliníka (obr. 5.1). Rekryštalizačná teplota Al 99,5 po stredných stupňoch tvárnenia je asi 150 °C. Prakticky používané teploty rekryštalizačného žihania sú 300 až 400 °C. Tvárnenie za tepla prebieha v rozmedzí 500 až 350 °C. Veľké množstvo technicky čistého hliníka sa v súčasnosti používa na výrobu tenkých plechov a fólií pre obalovú techniku. Najmä medziročný nárast spotreby Al-fólií je výrazný. Možno však pozorovať tendencie nahrádzať technicky čistý hliník jeho vysokoplastickými zliatinami s nízkym obsahom prísad (0,6 - 1,3 % Fe; 0,3 - 1 % Si; do 1,5 % Mn, do 0,8 % Mg a do 0,3 % Cu), z ktorých vyrobené fólie majú väčšiu tuhosť. To umožňuje zmenšiť hrúbku fólií pod 10 μm a v dôsledku toho ušetriť materiál. Veľmi dôležitý je v týchto zliatinách obsah Mn, ktorý zväčšuje povrchové napätie a spôsobuje tvorbu guľôčkovitých útvarov $Al_6(FeMn)$. To má za následok zvýšenie plasticity zliatiny.

Za účelom zlepšenia vlastností (mechanických, najmä pevnostných, odolnosti voči korózii, zlievateľnosti, lisovateľnosti a pod.) sa hliník leguje. Hlavnými prísadami v hliníkových zliatinách sú Cu, Mg, Si, Mn a Zn, v nových typoch zliatin aj Li.

Rozdelenie zliatin hliníka. Zliatiny prevyšujú aspoň jednou významnou a využívanou vlastnosťou čistý hliník. V súčasnosti je v priemyslovo vyspelých štátoch normovaných viac ako sto zliatin hliníka, ktoré je možné roztriediť z dvoch hľadísk [81]:

1. Z hľadiska možnosti zvýšenia ich pevnostných vlastností cestou tepelného spracovania - vytvrdzovania ich delíme na:
 - a) nevytvrditeľné,
 - b) vytvrditeľné.
2. Z hľadiska technológie spracovania ich delíme na:
 - a) zliatiny určené na tvárnenie,
 - b) zlievarenské zliatiny.

Nevytvrditeľné zliatiny na tvárnenie. K týmto zliatinám patria dvojzložkové zliatiny Al-Mn a Al-Mg (tab. 5.4). Rozpustnosť mangánu vo fáze α je malá, takže zliatiny Al-Mn by sa vytvrdzovali len málo. Používajú sa zliatiny do 1,5 % Mn, lebo už od 2 % Mn vznikajú pri kryštalizácii primárne kryštály fázy Al_6Mn , ktoré zhoršujú mechanické vlastnosti. Zliatiny Al-Mn sú náchylné k hrubozrmej a stĺpkovitej kryštalizácii, ktorá sa potláča mikroprísadami Ti, B alebo Zr. Tieto zliatiny majú dobrú odolnosť proti korózii, dobrú zvariteľnosť a je možné ich spevniť tvárnením za studena až na $R_m = 200$ MPa pri $A_{10} = 5$ %.

Obr. 5.2. Vplyv obsahu horčíka na mechanické vlastnosti tvárnených zliatin Al-Mg v žíhanom stave (plnou čiarou) a v tvrdom stave (čiarkovane)

Tab. 5.4

Vybrané tvárnené zliatiny hliníka podľa STN

Označenie STN	Označenie chem.zloženia	Použitie
42 4432	AlMn1	menej namáhané dielce v chemickom a potravinárskom priemysle, plátovanie
42 4412	AlMg2	súčiastky dopravných prostriedkov, chemický a potravinársky priemysel, stavebníctvo
42 4415	AlMg5	
42 4201	AlCu4Mg	lietadlá, koľajové vozidlá, automobily
42 4203	AlCu4Mg1	
42 4204	AlCu2Mg	nity
42 4218	AlCu2Mg2Ni	piesty, hlavy valcov, súčiastky turbokompresorov
42 4400	AlMg1SiMn	letecký, automobilový, potravinársky priemysel
42 4401	AlMgSi	jemná mechanika
42 4405	AlMgSiFe	elektrovodná zliatina
42 4441	AlZn4Mg1	súčiastky vzdušných a koľajových dopravných prostriedkov, tlakové nádrže
42 4222	AlZn6Mg2Cu	vysokonamáhané súčiastky

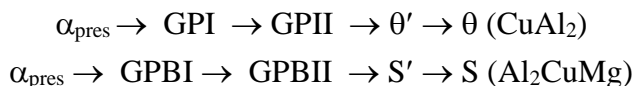
Rozpustnosť horčíka vo fáze α je síce podstatne vyššia ako mangánu, napriek tomu sa zliatiny Al-Mg nevytvrdzujú, pretože malé zvýšenie pevnosti by bolo sprevádzané veľkým znížením ťažnosti. Používajú sa zliatiny do 5 % Mg, lebo s rastúcim obsahom horčíka rastie aj podiel fázy β (Al_3Mg_2), ktorá zhoršuje tvárnosť a odolnosť proti korózii. Závislosť mechanických vlastností tvárnených zliatin Al-Mg od ich chemického zloženia a stavu je na obr. 5.2 [81].

Zliatiny Al-Cu-Mg-(Ni). Sú základnou skupinou vytvrditeľných zliatin pre tvárnenie. Ich mikroštruktúra v žíhanom stave je tvorená fázami α , θ (Al_2Cu) a S (Al_2CuMg). Prímеси Fe, Mn a Si vytvárajú vlastné komplexné fázy (napr. $AlCuFeMn$ alebo $Al_{12}Fe_3Si$), ktoré sú vo fáze α a takmer

nerozpustné, a teda vždy prítomné v štruktúre. Vo vytvrdenom stave obsahujú tieto zliatiny fázu α' , GP zóny alebo fázy θ' a S' .

Vytvrdzovanie je cyklus tepelného spracovania, pozostávajúci z rozpúšťacieho žihania (ohrev na teplotu hranice rozpustnosti, počas ktorého sa rozpustí všetok segregát, takže štruktúra je tvorená homogénnou fázou α), rýchleho ochladenia a starnutia. Ochladením na teplotu okolia sa získa presýtený tuhý roztok α' . Takýto stav fázy α' je buď termodynamicky nestabilný a k jej rozpadu dochádza samovoľne pri teplote okolia, alebo je metastabilný a k rozpadu fázy α' dôjde až po dodaní určitej aktivačnej energie (ohrevom, tvárnením). Tieto procesy, smerujúce k dosiahnutiu termodynamickej rovnováhy, nazývame starnutie. Starnutie delíme na prirodzené (za teploty okolia) a na umelé (za zvýšených teplôt). Procesy prebiehajúce pri starnutí závisia predovšetkým od chemického zloženia zliatiny a od teploty starnutia. V zliatine Al-Cu-Mg vhodného chemického zloženia bude prebiehať starnutie tak, že najskôr sa v určitých kryštalografických rovinách fázy α' začnú na mnohých miestach zhluokovať atómy medi. Tieto oblasti, ktoré sa nazývajú *Guinierove-Prestonove zóny*, sú koherentné s fázou α' . Medzi GP zónami a fázou α' nie je teda fázové rozhranie, preto GP zóny deformujú kryštalovú mriežku fázy α' a v ich okolí vznikajú napät'ové polia, brániace pohybu dislokácií. Tým dochádza k precipitačnému spevneniu zliatiny. V ďalšom priebehu starnutia zliatin Al-Cu vzniká metastabilná fáza θ' , ktorej tetragonálna mriežka je semikoherentná; útvary fázy θ' sú teda obklopené dislokáciami, ktoré spôsobujú čiastočnú relaxáciu okolitých napät'ových polí, takže spevnenie je v porovnaní s GP zónami menšie. Ďalej dochádza k zhrubnutiu častíc fázy θ' , ktoré sú stále menej koherentné. Toto štádium označujeme za prestarnutie. Nakoniec by celá sústava dospela do rovnovážneho stavu, v ktorom by obsahovala fázy α a θ' .

U zliatin Al-Cu-Mg sú prítomné dva typy zón. Ak je pomer Cu : Mg cca 3 : 1 sú vzniknuté zóny analogické zónam v binárnom systéme. U zliatin, kde pomer Cu - Mg je väčší ako 3 : 1, t. j. bohatých na Cu, vznikajú zóny ihlicovitého tvaru, ktoré sú nazývané zónami GPB (Guinier, Preston, Bagariackij). Nakoľko v priemyselných zliatinách je pomer Cu : Mg vždy väčší v prospech Cu, sú v subštruktúre prítomné oba typy zón. Rozpad presýteného tuhého roztoku sa realizuje podľa nasledujúcich schém:



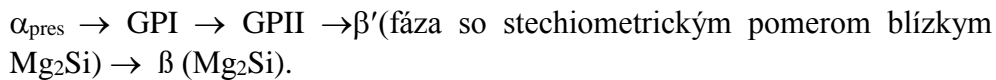
Zliatiny typu $AlCu4Mg$ sa nazývajú *duraly*, so zvýšeným obsahom horčíka ($AlCu4Mg1$) *superduraly*. Sú dobre tvárne za tepla (380 až 450 °C) aj za studena; zliatiny spevnené tvárnením za studena je možné zmäkčiť žihaním, pri 330 až 430 °C, 2 až 6 h. Obvykle sa vytvrdzujú za studena (495 až 515 °C/voda/20 °C, 4 h) na $R_m = 400$ MPa (u duralu) alebo na $R_m = 450$ MPa (u superduralu). Zmeny mechanických vlastností pri starnutí superduralu (obr. 5.3) naznačujú, že maximálne zvýšenie $R_{p0,2}$ možno dosiahnuť len umelým starnutím, ale vedie to k rýchlemu poklesu ťažnosti i odolnosti proti korózii. Pretože ani po prirodzenom starnutí nie je odolnosť proti korózii u týchto zliatin pre mnohé účely postačujúca, plátujú sa hliníkom Al 99,5 alebo zliatinou AlMn1 [81].

Zliatiny $Al-Cu-Mg-Ni$ sú vhodné pre súčasti motorov, pracujúce pri zvýšených teplotách (do 300 °C). Majú zvýšený obsah Fe a znížený obsah Si, čo zjemňuje útvary fázy Al_9FeNi , ktorá bráni poklesu pevnosti za zvýšených teplôt. Príčinou vytvrdzovania za tepla (530 °C/voda/190 °C, 12 h) je fáza S' .

Obr. 5.3. Závislosť mechanických vlastností zliatiny $Al-Cu4-Mg1$ od doby a teploty starnutia

Zliatiny Al-Mg-Si. Sú to vytvrditeľné zliatiny pre tvárnenie, charakteristické nižšou pevnosťou, ale vyššou koróznou odolnosťou a vyššou húževnatosťou v porovnaní so zliatinami $Al-Cu-Mg$. Ich

vytvrditeľnosť je podmienená precipitáciou fázy Mg_2Si . Rozpad presýteného tuhého roztoku sa uskutočňuje podľa nasledovnej schémy:



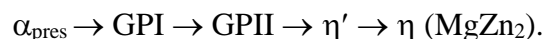
Priemyselné zliatiny je možné rozdeliť do dvoch skupín:

- Zliatiny s prebytkom Mg.* V dôsledku väčšieho množstva Mg, aké je potrebné k vytvoreniu príslušného množstva Mg_2Si , sa zvyšuje odolnosť voči korózii, znižujú sa pevnostné vlastnosti a zhoršuje sa tvárnosť v porovnaní so zliatinami, kde je rovnaké množstvo intermetallickej fázy Mg_2Si , ale bez prebytku Mg v zliatine.
- Zliatiny s prebytkom Si.* V dôsledku prebytku Si sa zvyšujú pevnostné vlastnosti zliatin, bez zníženia schopnosti k tvárneniu a bez zhoršenia zvariteľnosti. Čiastočne sa znižuje odolnosť týchto zliatin voči interkryštalickej korózii.

Príkladmi zliatin Al-Mg-Si, ktoré sa nazývajú aj *aviaily* sú zliatiny STN 42 4400-1 v tab. 5.6. V stave vytvrdenom za tepla (520 až 535 °C/voda/160 °C, 5h) sa aviaaly bežne spevňujú tvárnením za studena na $R_m = 400$ MPa. Naopak zmäkčenie zliatiny je možné dosiahnuť žíhaním (340 až 370 °C) a pomalým ochladením (max. 100 °C.h⁻¹).

Zliatiny Al-Zn(-Cu-Mg). Zliatiny na báze Al-Zn spolu so zliatinami na báze Al-Cu-Mg patria k najstarším priemyselným zliatinám hliníka. Už na začiatku nášho storočia sa používali binárne zliatiny Al-Zn na výrobu odliatkov a polotovarov, vyrobených tvárnením. Bolo zistené, že tieto binárne zliatiny sú veľmi náchylné k vzniku trhlín v prítomnosti už veľmi malého množstva (0,005 až 0,001) Pb alebo Sb. V dôsledku uvedeného nenašli tieto binárne zlúčeniny širšie uplatnenie. Neskôr, keď sa začala venovať opäť pozornosť týmto zliatinám, bolo zistené, že legovaním sa výrazne zlepšia vlastnosti oproti pôvodne binárnym zliatinám. Dnes v podstate môžeme hovoriť o dvoch typoch zliatin:

Zliatiny Al-Zn-Mg. Všetky priemyselné zliatiny tohto typu obsahujú väčšie množstvo Zn ako Mg. Od pomeru Zn : Mg závisí, aká fáza, obsahujúca Zn, bude prítomná v štruktúre. Ak je pomer Zn : Mg väčší ako 2 v štruktúre bude prítomná fáza $MgZn_2$, ak je pomer menší, fáza $Mg_3Zn_3Al_2$. V prvom prípade sa rozpad presýteného tuhého roztoku realizuje podľa schémy:



Fáza η (MgZn_2) v uvedenej schéme môže byť nahradená fázou T ($\text{Mg}_3\text{Zn}_3\text{Al}_2$). Pre popisované zliatiny je charakteristické, že vďaka vysokej rozpustnosti Zn v Al majú veľké teplotné rozmedzie, v ktorom sú homogénne a pri ochladzovaní veľkú stabilitu fázy α , čo uľahčuje technológiu vytvrdzovania. Vytvrdzovať sa môže za tepla aj za studena (14 dní). Dosiaditeľné precipitačné spevnenie je porovnateľné s avialmi. Pri vyššom pomere (Zn/Mg) sú tieto zliatiny veľmi dobre lisovateľné za tepla, ale horšie zvariteľné. Odolnosť proti korózii sa zvyšuje zložitým postupom pri starnutí (440 až 500 °C/vzduch/120 °C, 46 h + 150 °C, 8h).

Zliatiny Al-Zn-Mg-Cu spĺňajú podmienku pre vysokopevné zliatiny, t. j. $R_m > (E/150)$, kde E je modul pružnosti v ťahu. Vo vytvrdenom stave sa u zliatin Al-Zn-Mg-Cu dosahuje $R_m = 500$ až 600 MPa pri $A_5 = 15$ až 5 %. Vytvrdzujú sa za tepla (470 °C/vzduch/135 °C, 16 h) a z teploty rozpúšťacieho žihania sa musia ochladzovať zrýchlene, aby sa potlačila segregácia fázy S; pri starnutí precipitujú fázy S', T' a η' . Vo vytvrdenom stave sú tieto zliatiny náchylné k medzikryštálovej korózii a koróznemu praskaniu; preto sa často plátujú.

Zliatiny Al-Li. Sú to nové zliatiny pre letecký priemysel. Významnou prednosťou lítia ako prísady do Al-zliatin je jeho nízka merná hmotnosť 534 kg.m⁻³, predstavujúca menej ako pätinu mernej hmotnosti hliníka. Maximálna rozpustnosť lítia v hliníku je 6,5 % pri 601 °C) a s klesajúcou teplotou sa znižuje. To dáva možnosť využiť vytvrdzovanie, založené na precipitácii β (AlLi). Súčasný vývoj však smeruje predovšetkým k sústavám viaczložkovým (tab. 5.5) a súčasné zliatiny Al-Li možno rozdeliť na ternárne zliatiny Al-Li-Mg a kvaternárne zliatiny Al-Li-Cu-Mg. Zatiaľ čo v ternárnych zliatinách Al-Li-Mg je primárnou spevňujúcou fázou δ' (Al_3Li), v kvaternárnych zliatinách to môžu byť S' (Al_2CuMg) pri nízkom alebo strednom obsahu Cu a vysokom obsahu Mg a Li a fáza T₁ (Al_2CuLi), resp. δ' T₁ pri strednom a vysokom obsahu Cu a nízkom obsahu Mg a Li. Do väčšiny Al-Li zliatin sa pridáva Zr, ktorý tvorí komplexné disperzoidy β' - Al_3Zr , alebo α' - $\text{Al}_3(\text{Zr},\text{Li})$. Tieto disperzoidy slúžia ako nukleačné miesta pre rekryštalizáciu a vylučovanie δ' - fázy, čím sa zvyšuje pevnosť a húževnatosť. Prítomnosť týchto disperzoidov však podporuje tvorbu textúry a teda anizotropiu vlastností, môže však podporovať zjemnenie zŕn počas tuhnutia. Zvlášť užitočnou vlastnosťou zliatin AlLiCuMgZr je vysoká hodnota ich modulu pružnosti, ktorá umožňuje znížiť hmotnosť lietadla o cca 7,5 % v porovnaní s konštrukciami z duralu [57].

Silumíny. Najdôležitejšou skupinou zliatin hliníka na odliatky sú zliatiny, obsahujúce ako hlavnú prísadu Si, nazývané silumíny. Silumíny majú nízkumernú hmotnosť ($2650 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), dobrú odolnosť proti korózii, malý sklon k zadieraniu a pri odlievaní dobrú zabiehavosť, malú zmrašťivosť (0,5 %) a nie sú náchylné na praskanie. Ich obrobitelnosť je trochu horšia než u iných zliatin hliníka. Z hľadiska možnosti spevňovania tepelným spracovaním je možné rozdeliť silumíny na nevytvrditeľné a vytvrditeľné [83, 86].

Tab. 5.5

Vybrané zliatiny Al-Li

Zliatina	Chemické zloženie (% hmot.)					Hustota [g.cm ⁻³]	R _e [MPa]	R _m [MPa]	Modul pružnosti [GPa]
	Li	Cu	Mg	Zr	iné				
01420-T6	2,0	-	5,3	-	0,5 Mn	2,47	280	460	73,8
8090-T6	2,5	1,0	1,0	0,10	-	2,54	429	504	79,3
2091-T6	2,0	2,2	1,5	0,10	-	2,58	440	480	77,9
2090-T8	2,3	2,7	0,2	0,12	-	2,57	518	559	78,6
2195-T8	1,3	4,3	0,4	0,14	0,4 Ag	2,71	585	612	77,9

Nevytvrditeľné silumíny obsahujú 5 až 20 % Si a ďalšie prísady, z ktorých najbežnejší je Mn, ktorý eliminuje nepriaznivý vplyv prímеси Fe na ťažnosť, húževnatosť a zlievarenské vlastnosti silumínov. Prísadou Cu je možné zvýšiť medzu únavy, aj keď sa mierne zhorší odolnosť proti korózii. Najlepšie zlievarenské vlastnosti majú eutektické silumíny, obsahujúce 10 až 13 % Si. Jednou zložkou eutektika (α + β) je fáza β, obsahujúca nad 98 % Si, ktorá má väčšiu kryštalizačnú schopnosť než fáza α. Tá začína začína eutektickú kryštalizáciu oneskorene, kedy už ihlicovité útvary fázy β dosahujú značnú dĺžku. K dosiahnutiu jemnejších kryštálov fázy β sa silumíny modifikujú vhodnými prísadami (Na, Sr), ktoré znižujú kryštalizačnú schopnosť fázy β. Tavenina potom tuhne s väčším podchladením a vzniká jemné eutektikum. Z toho istého dôvodu sa obvykle modifikujú podeutektické silumíny liate do kokíl alebo pod tlakom. Okrem modifikovania je u silumínov nevyhnutná aj rafinácia tavby. Účelom rafinácie je očistenie taveniny od kovových a nekovových vtrúsenín a rozpustených plynov. Na rafináciu a modifikáciu sa používajú prostriedky pripravené špeciálne na tieto účely: ALFINOX, DEGASSER, ALSIL 680, ALSIL 710, ALSIL 750 (čísllice udávajú najnižšiu funkčnú teplotu pre rafináciu). V podstate sú to chloridy a fluoridy sodíka, draslíka, vápnika,

zinku, mangánu a pod. Príklady nevytvrditeľných silumínov (42 4330, 42 4384) a ich použitia uvádza tab. 5.6.

Tab. 5.6

Vybrané zlievarenské zliatiny hliníka podľa STN

Označenie STN	Označenie chem. zloženia	Použitie
42 4330 42 4384	AlSi13Mn AlSi10Mn	tenkostenné odliatky, nepriepustné pre kvapaliny, pre styk s potravinami
42 4515	AlMg5SiMn	rebrové hlavy valcov, leštené súčasti v architektúre
42 4568	AlMg9MnBe	odliatky odolné atmosférickej a morskej vode
42 4331	AlSi10MgMn	tenskostenné odliatky v leteckom a automobilovom priemysle
42 4336	AlSi12Ni2Cu	pre vyššie teploty (piesty)
42 4338	AlSi8Cu4Mn	vysokonamáhané zložené odliatky (blok motora)
42 4315	AlCu4Ni2Mg	piesty väčších rozmerov
42 4361	AlCu8FeSi	púzdra a panvy klzných ložísk

Vytvrdiviteľné silumíny musia okrem Si obsahovať prísadu Mg alebo Cu [88]. Vytvrdiviteľnosť je potom zabezpečená vylučovaním fázy Mg_2Si alebo Al_2Cu . Silumíny ternárneho typu, obsahujúce meď (Al-Si-Cu), majú teplotu rozpúšťacieho žihania 515 ± 5 °C (s ohľadom na teplotu topenia ternárneho eutektika Al- Al_2Cu -Si, ktorá je 525 °C) a teplotu starnutia 150 - 170 °C. Viaczložkové silumíny s Cu (Al-Si-Cu-Ni-Mn) sú určené pre prácu pri vyšších teplotách a majú teplotu rozpúšťacieho žihania 535 ± 5 °C a teplota starnutia 200 - 220 °C. Príklady použitia (42 4336, 42 4338) sú v tab. 5.6. Väčší význam ako silumínom s Cu je možné pripísať vytvrdiviteľným silumínom typu Al-Mg-Si (napr. 42 4331 v tab. 5.6., ktoré dosahujú v stave modifikovanom (pozri obr. 5.4) a vytvrdenom pevnosť v ťahu okolo 200 MPa. Pri vytvrzovaní sa teplota rozpúšťacieho žihania zvyčajne volí 535 ± 5 °C a teplota umelého starnutia 160 - 170 °C. Pevnostné vlastnosti

silumínov Al-Mg-Si je možné pozitívne ovplyvniť očkovaním (napr. Ti, B), ktorým sa dosiahne zjemnenie zrna. Pri súčasnom špičkovom silumíne AlSi7Mg0.6 je možné dosiahnuť po očkovaní, modifikovaní a vytvrdení medzu pevnosti v ťahu približujúcu sa hodnote 300 MPa.

Obr. 5.4. Mikroštruktúra AlSi10MgMn v stave nemodifikovanom a v stave modifikovanom 0,04 % Sr, lept. Dix-Keller, zv.400x

Ďalšie zlievarenské zliatiny hliníka. Sú to zliatiny na báze Al-Mg (napr. 42 4515 a 42 4568 v tab. 5.6) a Al-Cu (napr. 42 4315 a 42 4361 v tab. 5.6).

Zliatiny Al-Mg s rozličným obsahom horčíka (3 - 11 %) majú dobré mechanické vlastnosti, vysokú koróznú odolnosť, dobrú leštiteľnosť a veľmi nízku hustotu. Nevýhodou je sklon k oxidácii, ktorou sa zhoršujú vlastnosti. Túto nevýhodu možno znížiť prísadou 0,005 - 0,02 % Be. Zlievarenské vlastnosti zliatin nie sú veľmi dobré. Zabíhavosť je asi 3-krát menšia ako pri silumínoch. Interval tuhnutia sa pohybuje v závislosti od chemického zloženia od 495 do 620 °C. Z dôvodu pomerne širokého intervalu tuhnutia sú tieto zliatiny náchylné na tvorenie mikropórovitosti. Zmraštenie v tuhom stave je 0,9 až 1,55 %. Zliatiny Al-Mg sa tepelne spracovávajú najmä pri obsahu Mg väčšom ako 8 %. Kaliaca teplota má dosahovať hodnotu asi 450 °C, aby sa za krátky čas dosiahla homogenizácia štruktúry. Aby sa zabránilo vzniku

prasklín, uskutočňuje sa kalenie v teplej vode alebo v oleji. Nevýhodou zliatin Al-Mg je, že už pri málo zvýšených teplotách starnú, čo je spôsobené precipitáciou fázy Mg_5Al_8 . Starnutím sa zvyšuje pevnosť, ale znižuje húževnatosť.

Zliatiny Al-Cu sa používajú na výrobu hláv valcov spaľovacích motorov, prípadne na výrobu odliatkov ďalších zariadení, pracujúcich pri zvýšených teplotách. Ich zlievarenské vlastnosti sú pomerne zlé. Vzhľadom na veľký interval tuhnutia majú nevyhovujúcu zabiehavosť a sklon k tvoreniu trhlín. Ako ďalšie prísady sa používajú kremík (do 6 %) a zinok (do 2,5 %), príp. Ni, Mg. Obsah Cu sa pohybuje v rozmedzí 3 až 8,5 %. V podstate bývajú zliatiny Al-Cu dvojaké, a to s nízkym obsahom medi, ktoré neobsahujú eutektikum, štruktúru tvorí len tuhý roztok α a sekundárne vylúčený $CuAl_2$, a zliatiny s vyšším obsahom medi s eutektikom v štruktúre [6].

5.2 Zliatiny horčíka

Horčík je nepolymorfný kov, kryštalizujúci v hexagonálnej tesne usporiadanej mriežke (H12). Má nízku mernú hmotnosť 1740 kg.m^{-3} a teplota tavenia je $650 \text{ }^\circ\text{C}$. Mechanické vlastnosti nie sú priaznivé. Pevnosť technicky čistého horčíka v ťahu (v liatom stave max. 110 MPa) je síce vyššia než u technicky čistého hliníka, pre konštrukčné využitie je však aj tak veľmi nízka (horčík po tvárnení žíhaný má $R_{p0,2} = 95 \text{ MPa}$, $R_m = 190 \text{ MPa}$, $A_5 = 16 \%$; hliník po tvárnení žíhaný $R_{p0,2} = 30 \text{ MPa}$, $R_m = 80 \text{ MPa}$, $A_5 = 35 \%$). Relatívne zlá tvárnosť horčíka vyplýva z typu kryštalickej mriežky a zlepšuje sa až pri zvýšených teplotách (nad $225 \text{ }^\circ\text{C}$), preto sa tvárni väčšinou za tepla [103, 104]. Deformáciou možno pevnosť horčíka zvýšiť na $160 - 220 \text{ MPa}$. Horčík a jeho zliatiny zle odolávajú korózii. Ako konštrukčný materiál je čistý horčík nevhodný.

Charakteristika a rozdelenie zliatin horčíka. Zliatiny horčíka sú väčšinou ternárne, pričom ako hlavné legúry sa používajú hliník, zinok, mangán, kremík a tórium alebo prvky vzácnych zemín. Používajú sa aj dve binárne zliatiny Mg-Al a Mg-Zn. Hliník zvyšuje podstatne pevnosť, tvrdosť a zlepšuje tiež zlievateľnosť (zliatiny Mg-Al majú podstatne menšiu zmrastivosť ako čistý horčík). Zinok zvyšuje pevnosť a tvrdosť a pri malej prísade (do 5 %) tiež húževnatosť. Mangán (okolo 1 %) zlepšuje odolnosť proti korózii a zvariteľnosť. Prísada mangánu zvyšuje najmä medzu klzu zliatiny. Najväčší význam prísady mangánu je v znížení náchylnosti na

koróziu v morskej vode [102]. Kremík v malom množstve (do 2 %) zvyšuje tvrdosť a zlepšuje obrobitelnosť. Prísadou Si sa však zhoršuje odolnosť proti korózii a podstatne sa zníži tvárnosť. Väčšina zliatin horčíka obsahuje mangán, zlepšujúci odolnosť proti korózii. Pre vyššie teploty (do 380 °C) sa používajú zliatiny horčíka s tóriom a s prvkami vzácnych zemín [101].

Obr. 5.5. Rozsah a zmena rozpustnosti niektorých prísadových prvkov v horčíku

Z metalografického hľadiska sa horčíkové zliatiny podobajú na zliatiny hliníka. Príslušné binárne systémy (pozri obr. 5.5) obsahujú tuhý roztok prísady v horčíku a intermediálne fázy (s výnimkou zliatin Mg-Mn). Rozpustnosť prísad v tuhom stave sa v závislosti od teploty výrazne mení, vytvrdzovanie väčšiny horčíkových zliatin však nemá v porovnaní so zliatinami hliníka taký význam, pretože sa ním nedosiahne taká výrazná zmena mechanických vlastností.

Zliatiny horčíka je možné deliť na zliatiny na tvárnenie a odlievanie.

Zliatiny horčíka na tvárnenie. Zliatiny horčíka sú podobne ako čistý horčík za studena zle tvárne, pretože aj tuhý roztok prísad v horčíku má zvyčajne hexagonálnu mriežku. Až na malé výnimky sa preto spracovávajú pri teplotách nad 200 až 250 °C; najčastejšie v rozmedzí 300 až 400 °C. Chemické zloženie zliatin na tvárnenie sa od zliatin na odliatky podstatne nelíši, zliatiny na tvárnenie však majú jemnejšie zrno, sú homogénnejšie a majú preto lepšie mechanické vlastnosti. Prehľad základných zliatin horčíka na tvárnenie je v tab. 5.7.

Zliatiny Mg-Al-Zn sú najčastejšie používanou skupinou zliatin horčíka a obvykle obsahujú 3 až 9 % Al; 0,2 až 1,5 % Zn a 0,15 až 0,5 % Mn (časť rovnovážneho diagramu sústavy Mg-Al je na obr. 5.6). Príliš vysoký obsah hliníka vedie ku zhoršeniu tvárnosti za studena aj za tepla, zinok zlepšuje pevnosť aj tvárnosť, ale pri obsahu nad 1,5 % je tvárnenie zliatin ťažké. Zliatiny tejto skupiny majú sklon ku korózii pod napätím, a to tým väčší, čím väčší je obsah hliníka. Zinok nemá na odolnosť proti korózii vplyv, mangán ju zlepšuje.

Tab. 5.7

Zliatiny horčíka na tvárnenie

Zliatina	Stredný obsah prvkov v hmot. %							Informatívne údaje pre T [°C]					
								R _{p0,2}	R _m	A ₅	σ _{TPt 100}		
	Báza	Al	Mn	Zn	KVZ	Zr	Cd	d'alsie	20	150	200	250	
								MPa	MPa	%	MPa		
MgAl3Zn	3,5	0,33	0,6					160	270	16			
MgAl4Zn	4,4	0,5	1,15					150	260	14			
MgAl6Zn	6,25	0,33	1,00					170	280	12			
MgAl9Zn	8,5	0,33	0,60					220	280	12			
Mg-Al-Cd	8,0	0,40				7,8	Ag 2,25	300	430	7			
Mg-Zn-Zr			5,80		0,60			300	340	10			
			3,00	La 0,9	0,68	1,6		260	320	14			
			6,25	Nd 1,7	0,75	0,6		345	390	7			
			1,25	Ce 0,2	0,09			160	250	17			
Mg-Mn		1,75		Ce				170	250	18	120	75	35
Mg-Mn-Al	0,6	1,4		0,25			Ca 0,2	200	260	7			
Mg-KVZ		2,00		Nd 3,0			Ni 0,18	130	260	7	200	150	100
				Nd 2,0	0,55			140	280	14	190	120	
		0,50		Ce 0,1		0,35	Y 8,4	360	410	4			
Mg-Th-		0,60					Th 2,1	160	220	4			100
Mn		1,60					Th 3,0	230	280	4			
Mg-Th-													
Mn													

Mg-Li	0,75	0,25	2,25	Ce			Li 10,8	140	185	27			
Mg-Li	5,0	0,33	1,4	0,25		4,0	Li 8,5	190	240	17			
				0,1									

Zliatina s malým množstvom prísady hliníka (Mg-Al3) sa používa na plechy a pásy. K najviac používaných zliatinám patrí Mg-Al4-Zn. Na rozdiel od ostatných zliatin tejto sústavy sa dobre zvára. Nevytvrdzuje sa, používa sa v stave žíhanom, v stave po tvárnení za tepla, alebo v stave spevnenom tvárnením za studena. Tvrdšia zliatina Mg-Al6 sa používa na profily, výlisky a plechy. Výkovky veľmi namáhané (vrtuľové listy) sa zhotovujú so zliatiny Mg-Al9 (pevnosť v ťahu 290 až 320 MPa, ťažnosť 8 až 12 %, tvrdosť 70 až 75 HB). Pre vytvrdzovanie sú vhodné zliatiny s vyšším obsahom hliníka (nad 6 %). Zliatiny na báze Mg-Al sú použiteľné tiež pri zvýšených teplotách. Prísada niklu (až 3 %) rozširuje (podobne ako u niektorých zliatin hliníka) oblasť pracovných teplôt až nad 300 °C.

Obr. 5.6. Časť rovnovážneho diagramu sústavy Mg-Al

Zliatina Mg-Al-Cd patrí k zliatinám vysokopevnostným. Namiesto Zn obsahuje Cd a Ag.

Zliatiny Mg-Zn-Zr obsahujú 2 až 6 % Zn a 0,7 % Zr (časť diagramu Mg-Zn je na obr. 5.7) a používajú sa najmä v leteckom priemysle (vrtule, podvozky). Majú vysoké mechanické vlastnosti v dôsledku spevňujúceho vplyvu zinku a očkujúceho účinku zirkónu. Zirkón tvorí so železom

nežiaduce prímiesy, zlúčeniny Zr_2Fe_3 a $ZrFe$, ktoré majú vysokú teplotu topenia, v roztavenom horčíku sú nerozpustné, zlučuje sa ďalej s vodíkom a potláča vznik pórovitosti. Zvyšok zirkónu, ktorý zostáva rozpustený v tavenine, reaguje pri peritektickej reakcii s horčíkom za vzniku kryštálov obohatených zirkónom, ktoré zvyšujú počet kryštalizačných zárodkov a zliatina kryštalizuje jemnozrnné. Oblasť obohatenú zirkónom tiež brzdí rast zŕn pri rekryštalizácii. Zirkón zvyšuje pevnosť, tvárnosť a odolnosť horčíkových zliatin proti korózii. Väčšina zliatin tejto skupiny sa používa v stave žíhanom alebo v stave po tvárnení za tepla, pretože spevnenie dosiahnuteľné vytvrdzovaním je pomerne malé.

Obr. 5.7. Časť rovnovážneho diagramu sústavy Mg-Zn

Niektoré zliatiny tejto skupiny obsahujú tiež malé množstvo kadmia a KVZ. Kadmium, v horčíku neobmedzene rozpustné, zlepšuje pevnosť, tvárnosť a tvárnosť; KVZ tvoria intermetalické zlúčeniny, ktoré zlepšujú mechanické vlastnosti najmä pri zvýšených teplotách.

Zliatiny na báze Mg-Mn a Mg-Mn-Al použiteľné do teploty 200 °C majú dobrú odolnosť proti korózii, tvárnosť za tepla a zvariteľnosť. Na výrobu nádrží na benzín sa používa dobre zvariteľná zliatina Mg-Mn (1,2 až 1,5 % Mn) s pevnosťou do 250 MPa. Odolnosť voči korózii sa vysvetľuje tvorbou zlúčeniny mangánu a železa, ktorá má veľkú mernú hmotnosť a usadzuje sa na dne kelímka pri tavení zliatiny. Zliatina Mg-Mn, obsahujúca menšie množstvo céru, zlepšujúceho pevnostné a tvárne charakteristiky tvorbou disperznej zlúčeniny Mg_9Ce , ktorá prispieva k zjemneniu zrna pri kryšta-

lizácii zliatiny, sa používa v leteckej výrobe na súčiastky vyrábané lisovaním. Zliatina Mg-Mn-Al obsahuje tiež vápnik (do 0,3 %), ktorý zjemňuje zrno a teda zvyšuje pevnostné charakteristiky. Zliatiny sústavy Mg-Mn sa nevytvrdzujú. Preto sú ich pevnostné vlastnosti pomerne nízke.

Zliatiny Mg-Mn s prísadou tória (2 až 3 %) majú za vyšších teplôt vysoké pevnostné charakteristiky. Umelo sa vytvrdzujú po tvárnení za studena. Horčíkové zliatiny s Th patria k zliatinám často používaným v leteckej a raketovej technike.

Zliatiny Mg-KVZ majú ako hlavný legujúci prvok neodým. Niektoré sú navyše legované mangánom a niklom, alebo zirkónom. Neodým zabezpečuje vysokú žiarupevnosť, ktorá je podmienená dostatočnou stabilitou tuhého roztoku a malou rýchlosťou koagulácie vytvrdzujúcej fázy Mg₉Nd pri vyšších teplotách. Rozpustnosť fázy Mg₉Nd v horčíku pri teplotách 150 až 300 °C je malá a takmer nezávisí od teploty, čo koaguláciu častíc tejto fázy podstatne obmedzuje. Mangán a nikel veľmi zlepšujú odolnosť proti tečeniu, pevnosť pri tečení a v menšej miere pevnosť v ťahu. Avšak nikel znižuje odolnosť proti korózii. Zirkón medzi pevnosti v ťahu trochu znižuje, ale na odolnosť proti tečeniu a na pevnosť pri tečení nemá vplyv. Hlavným účelom legovania zirkónom je zjemnenie zrna, zlepšujúce tvárnosť.

Perspektívnou zliatinou tejto skupiny je zliatina s prísadou céru, kadmia a yttria. Má dobré technologické vlastnosti, hodí sa pre všetky druhy tvárnených hutných výrobkov. Vysoká pevnosť po vytvrdení je spôsobená veľkým substitučným spevnením tuhého roztoku rozpusteným ytriom a precipitačným vytvrdením intermetalidmi pri rozpade presýteného tuhého roztoku. Zliatina je použiteľná do 250 °C.

Zliatiny Mg-Li predstavujú nový typ ultraľahkých zliatin. Legovanie horčíka lítium (merná hmotnosť 530 kg.m⁻³) umožňuje vyrábať zliatiny s mernou hmotnosťou 1300 až 1700 kg.m⁻³. V závislosti od obsahu lítia (obr. 5.8) môžu mať tieto zliatiny štruktúru α (do 5,5 % Li), $\alpha + \beta$ (od 5,7 do 10,4 % Li), alebo β (nad 10,4 % Li) [105]. Prísada Li nad 10 % spôsobuje zmenu kryštalografickej mriežky tuhého roztoku z hexagonálnej tesne usporiadanej (H12 - fáza α), typickej pre horčík, na kubickú plošne centrovanú (K12 - fáza β), typickú pre lítium [106]. Fáza β má preto vysokú tvárnosť. Najviac

perspektívne sú zliatiny s β štruktúrou a ($\alpha + \beta$) štruktúrou, ktoré sú dobre tvárne aj pri teplote okolia a majú vysokú húževnatosť.

V súčasnosti sú predmetom skúmania polykomponentné zliatiny MgLi7Al14 s prísadou niekoľko percent kadmia, zinku alebo striebra. Tieto zliatiny s mriežkou K12 sa môžu spevňovať vytvrdzovaním a získavajú sa vlastnosti, ktoré dávajú nádejné prognózy pre ich použitie v technike. Predmetom intenzívneho vývoja pre potrebu leteckej a raketovej techniky je ďalej zliatina s 14 % Li a 1,25 % Al. Udávaná merná hmotnosť je $1350 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, $R_{p0,2} = 106 \text{ MPa}$, $R_m = 134 \text{ MPa}$. Zliatina je dobre zvárateľná, má dobrú koróznú odolnosť, nevýhodou je nízka medza tečenia za tepla a zníženie mechanických vlastností pri zvýšených teplotách.

Obr. 5.8. Časť rovnovážneho diagramu sústavy Mg-Li

Zliatiny horčíka na odliatky. Chemické zloženie mnohých zliatin horčíka na odliatky je blízke zloženiu zliatin na tvárnenie. Mechanické vlastnosti odliatkov sú však nižšie. Podstatne sa zlepšujú zjemnením zrna, ktoré sa dosahuje u jednotlivých zliatin rôznymi spôsobmi - prehriatím taveniny pred odliatím, pridaním malého množstva (do 1 % hmotnosti taveniny) zvláštnych očkovadiel bez prehriatia taveniny (krieda, magnezit, práškový bezvodý chlorid železitý), alebo prísadou zirkónu.

Zliatiny Mg-Al-Zn obsahujú do 12 % Al, ~ 3 % Zn a ~ 0,5 % Mn. Sú to najpoužívanejšie zlievarenské zliatiny horčíka, známe pod názvom *elektrón*, použiteľné až do teploty 150 °C. Všetky obsahujú prísadu mangánu,

zlepšujúcu odolnosť proti korózii. Najčastejšie používaná zlievarenská zliatina, vhodná pre liatie do piesku aj do kokíl má zloženie: 9 % Al; 2 % Zn a 0,2 % Mn. Po vytvrdení dosahuje pevnosť v ťahu 270 MPa, ťažnosť 3 %. Tiež zliatiny s nižším obsahom hliníka (2 až 6 %) s prísadou Ni sa často používajú. V stave po odliatí majú R_m 140 až 200 MPa, ťažnosť 5 až 10 %. Vytvrdením sa ich vlastnosti ešte ďalej zlepšujú.

Zliatiny Mg-Mn majú dobrú odolnosť proti korózii, sú dobre obrábiteľné aj zvariteľné, avšak zle zlievateľné. Obsahujú 1 % až 2,5 % Mn, nevytvrdzujú sa, majú preto pomerne nízke mechanické vlastnosti (R_m je 80 až 110 MPa, ťažnosť 5 až 2 %).

Zliatiny Mg-Zn-Zr. Prísada zirkónu (0,4 až 1 %) zjemňuje zrno zlievarenských zliatin a zlepšuje ich mechanické vlastnosti. Napr. zliatina 3,5 až 5,5 % Zn; 0,4 až 1 % Zr a 0,15 % Mn má v stave po odliatí do piesku pevnosť v ťahu 230 MPa a ťažnosť 10 %; vytvrdením sa pevnosť zvýši na 270 MPa, ťažnosť však poklesne na 7 %. Prísadou kovov vzácnych zemín (napr. céru) k základnej zliatine Mg-Zn-Zr sa zlepšia mechanické vlastnosti a zliatiny je možné použiť až do teploty 200 až 250 °C.

Zliatiny Mg-KVZ majú vysokú žiarupevnosť. Zliatiny na báze Mg-KVZ s hlavným prísadovým prvkom neodýmom sú použiteľné do 250 až 300 °C. Pri normálnej teplote tieto zliatiny nemajú vysoké hodnoty mechanických vlastností, ale pri vyšších teplotách sú žiarupevné. Majú dobré zlievarenské vlastnosti. Všetky obsahujú tiež zirkón, ktorý zjemňuje zrno a zlepšuje odolnosť proti korózii. Neobvyklou prísadou je ytrium, prípadne indium. Zliatiny tejto skupiny sa spravidla používajú vo vytvrdenom stave. Vytvrdzujúce fázy majú malý sklon ku koagulácii, čo je podmienkou vysokej žiarupevnosti.

Zliatiny Mg-Th-Zr sú vytvrditeľné a patria medzi zliatiny žiarupevné. Sú použiteľné do teplôt 300 až 350 °C.

Zliatiny horčíka majú mechanické vlastnosti výhodnejšie ako čistý horčík a pre svoju nízku mernú hmotnosť sa rozšírili najmä v leteckej a raketovej technike, v menšej miere pri výrobe prístrojovej, najmä optickej techniky, textilných strojov a automobilov (pretekárske autá).

5.3 Zliatiny titánu

Titán je polymorfný kov bielej farby, ktorý patrí medzi ľahké, ale pevné kovy. Špecifická hmotnosť čistého titánu je 4500 kg/m³. Titán sa vyskytuje

v dvoch alotropických modifikáciách. Do teploty 882 °C je stabilná α -fáza, ktorá kryštalizuje v hexagonálnej tesne usporiadanej mriežke (H12). Nad touto teplotou až po teplotu tavenia (1668 °C) je stabilná β -fáza, ktorá má mriežku kubickú, priestorovo centrovanú. Čistý titán je tvárny a pomerne mäkký. V žíhanom stave má pevnosť 240-550 MPa a ťažnosť 15-22 %. Pevnosť titánu ovplyvňuje jeho čistota, najmä obsah kyslíka a dusíka. Tvárnením za studena je možné jeho pevnosť zvýšiť až nad 800 MPa. Dobre tvárny je titán pri teplotách 880 až 980 °C; t. j. v oblasti modifikácie β . Pri vyšších teplotách už dochádza k intenzívnej oxidácii titánu.

Titán má vysokú afinitu ku kyslíku. Oxid titánu TiO_2 rýchlo vzniká na povrchu kovu aj pri teplote miestnosti, pevne lipne na povrchu, pasivuje ho a chráni pred koróziou v oxidačných prostrediach (napr. v 70 % HNO_3 až do 200 °C). Organickým kyselinám, chlórovaným organickým zlúčeninám a alkalickým roztokom odoláva aj pri zvýšených teplotách. Na titán nepôsobia ani niektoré roztavené kovy (Sn, Zn, Mg). Titán koroduje v H_2SO_4 pri stredných koncentráciách, v H_3PO_4 a najmä v HCl a v suchom chlóre.

Čistý titán má pomerne nízku tepelnú vodivosť, ako aj koeficient teplotnej rozťažnosti, čo prispieva k jeho dobrej zvariteľnosti. Nedostatkom je jeho zlá obrábatelnosť, porovnateľná s obrábatelnosťou nehrdzavejúcich austenitických ocelí.

Štruktúra a tepelné spracovanie zliatin titánu. Prísadové prvky sa v oboch modifikáciách rozpúšťajú úplne alebo čiastočne a tvoria substitučné tuhé roztoky α a β s mriežkou odpovedajúcou modifikácii. Niektoré prvky sa s titánom zlučujú a tvoria intermetalické zlúčeniny. Podobne ako v oceliach môžu v zliatinách titánu existovať pri nerovnovážnych podmienkach fázových premen metastabilné fázy martenzitického typu.

Rovnovážne stavy sústav Ti-prísadový prvok vyjadrujú rovnovážne diagramy, z ktorých pre praktické účely sa využíva obvykle len spodná časť diagramov, a slúžia zároveň na klasifikáciu prísadových prvkov (obr. 5.9). Prísadové prvky v titánových zliatinách delíme podľa rozpustnosti prvkov v jednotlivých modifikáciách a podľa ich vplyvu na stabilitu fáz na:

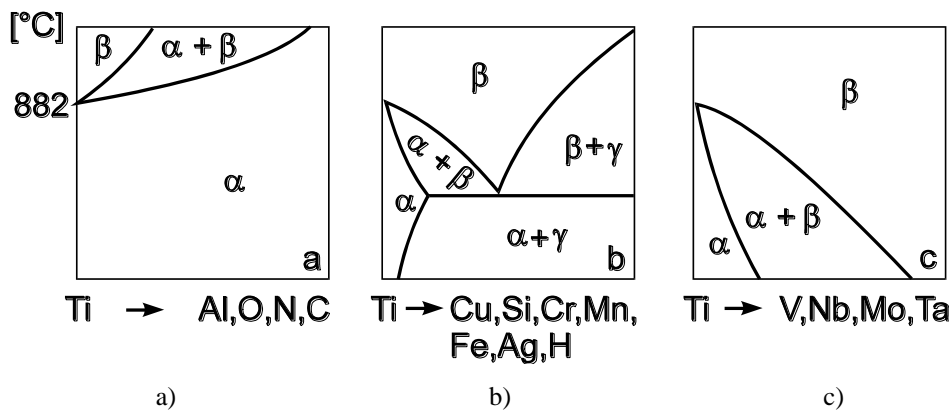
- *rozširujúce oblasť α* – Al, O, N, C, kde praktický význam má len hliník a ostatné nekovové prvky sú nečistotami, ktorých obsah je treba udržať minimálny; sú označované ako α -stabilizátory – zvyšujú teploty fázovej premeny $\alpha \leftrightarrow \beta$;
- *čiastočne rozširujúce oblasť β* – Mn, Fe, Cr, Si, Cu, Ag, kedy prísadový prvok sa viac rozpúšťa vo fáze β než vo fáze α a fáz β stabilizuje. Pri

nižších teplotách dochádza k eutektoidnej premene a vzniká pri nej eutektoid tvorený tuhým roztokom α a intermetalická fáza bohatá na prísadový prvok;

- úplne rozširujúce oblasť β – Mo, Nb, Ta, V, čiastočne Sn, Zr. Tieto prvky znižujú teplotu fázovej premeny $\alpha \leftrightarrow \beta$ so stúpajúcim obsahom prísady, fáza β sa tak stáva stabilnou aj pri normálnej teplote.

Prvky ovplyvňujúce oblasť β sú označované ako β -stabilizátory. Cín a zirkón síce stabilizujú fázu β , ale vplyv na teplotu premeny $\alpha \leftrightarrow \beta$ majú len malý a sú označované ako prvky neutrálne.

Legujúce prísady z hľadiska typu tvoreného tuhého roztoku delíme do dvoch skupín: tie, ktoré tvoria intersticiálny tuhý roztok (vodík, kyslík, dusík a uhlík) a tie, ktoré tvoria substitučný roztok (Al a ostatné prvky). Ak sú v zliatine α i β -stabilizátory, zliatina je aj pri teplote miestnosti dvojfázová. Prítomnosť β -fázy má priaznivý vplyv na zjemnenie zŕn, a teda aj na pevnosť a húževnatosť a zlepšuje tiež zvarateľnosť zliatiny. Veľký význam pri posudzovaní mechanických vlastností majú intersticiálne prímеси. V α -fáze je rozpustnejší C, N a O, v β -fáze vodík. Hlavnou nečistotou v titáne je kyslík. Jeho prítomnosť síce zvyšuje pevnosť, ale znižuje ťažnosť.



Obr. 5.9. Vplyv prísadových prvkov na teplotu polymorfnej premeny titánu

Zliatiny titánu potom podľa rovnovážnej štruktúry rozdeľujeme na:

- homogénne zliatiny α ,
- heterogénne zliatiny ($\alpha + \beta$),
- homogénne zliatiny β .

Štruktúrny stav zliatiny však nezávisí len od jej chemického zloženia, ale aj od tepelného spracovania, ktorého základom sú riadené fázové premeny. Titánové zliatiny sa spracovávajú žiňaním a zušľachtovaním. V prípade žiňania sa u titánových zliatin stretávame s celým radom spôsobov žiňania: *žiňanie na zníženie napätia*, *žiňanie stabilizačné*, *žiňanie homogenizačné* a predovšetkým *žiňanie rekryštalizačné*. Výsledné vlastnosti spracovania zliatiny sú dané vyššou teplotou žiňania. Žiňanie na teplotách 700 – 900 °C (pre α -zliatiny) vedie k vzrastu ťažnosti, lomovej húževnatosti, ale aj rozmerovej i teplotnej stabilite. Nevhodné tepelné spracovanie môže viesť k zhrubnutiu zrna a naopak, nepoznáme tepelné spracovanie, ktoré by viedlo k zjemneniu zrna. Zjemnenie zrna možno dosiahnuť iba deformáciou a následnou rekryštalizáciou. Pomerne podrobný a súborný údaj o teplotách žiňania pre jednotlivé titánové zliatiny je uvedený v [107].

Vytvrdzovanie ako možnosť zvyšovania mechanických vlastností sa používa predovšetkým u heterogénnych zliatin ($\alpha+\beta$) a je možné ho použiť aj pre zliatiny β a skladá sa z rozpúšťacieho žiňania, rýchleho ochladzovania a izotermického rozpadu fázy β na precipitát α .

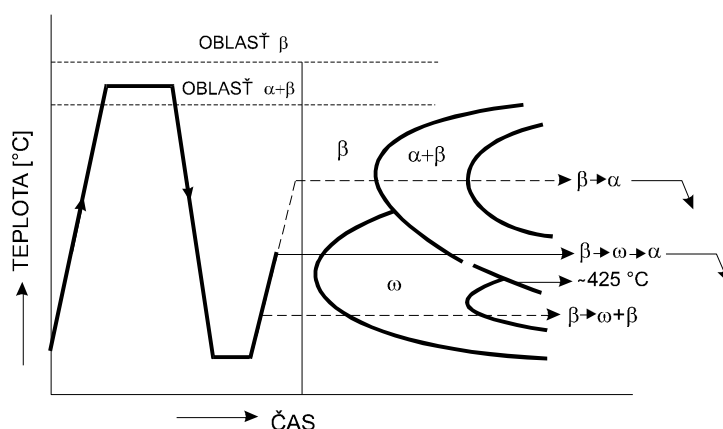
Obr. 5.10. Binárny rovnovážny diagram titán - prísada rozširujúca oblasť β

Na obr. 5.10 je uvedený rovnovážny diagram titánových zliatin s prísadou rozširujúcou oblasť β . Pri pomalom ochladzovaní vznikajú v závislosti od chemického zloženia rovnovážne štruktúry α , $\alpha + \beta$ alebo β . Pri zvýšenej rýchlosti ochladzovania dochádza k bezdifúznej martenzitickej premene fázy β na presýtený tuhý roztok α , označovaný ako fáza α' . Na rozdiel od

martenzitu v oceliach sa však tvrdosť α' podstatne nelíši od tvrdosti α . Podobne ako u martenzitickej premeny ocelí je možné stanoviť teploty M_s a M_f (pozri tiež obr. 5.10). Z ich priebehu vyplýva, že úplný priebeh martenzitickej premeny je možný len pri nižších koncentráciách prísad. Naopak, pri vyšších koncentráciách vzniká metastabilná fáza β . Naznačený priebeh vzniku nerovnovážnych fáz je v skutočnosti ešte zložitejší. Pri určitých rýchlostiach ochladzovania vzniká v štruktúre zliatin so strednou koncentráciou prísady popri fázach α' a β ďalšia nerovnovážna fáza ω . Na rozdiel od martenzitickej fázy α' zvyšuje fáza ω výrazne tvrdosť zliatiny, ale súčasne spôsobuje jej značnú krehkosť.

Žihanie (rozpušťaacie alebo tiež homogenizačné) sa uskutočňuje zvyčajne v hornej časti pol'a ($\alpha + \beta$) na obr. 5.11. Táto teplota je tým vyššia, čím sa v zliatine zvyšuje podiel β , a to sa prejavuje zvýšením pevnosti po vytvrdení a miernym znížením ťažnosti. Ohrev až do oblasti β nie je výhodný, pretože rýchlo hrubne zrna.

Ochladzovanie. Po výdrži na teplote sa zliatina ochladzuje dostatočnou rýchlosťou, ktorá závisí od typu zliatiny a od rozmerov polovýrobku. V niektorých prípadoch stačí ochladzovanie na vzduchu, ale vždy treba na minimum skrátiť čas medzi ukončením ohrevu a začiatkom ochladzovania (napr. pri zliatine TiAl6V4 nesmie byť tento čas väčší ako 2 s).



Obr. 5.11. Schéma vytvrdzovania titánových zliatin

Izotermický rozpad. Izotermický rozpad fázy β pri vyšších teplotách (500 až 600 °C) na rovnovážny precipitát α je podstatou vytvrdzovania. Pri izotermickom rozpade β dochádza k vylučovaniu krehkej fázy ω , ale len do

určitých teplôt (približne 425 °C), takže sa zliatiny pod touto teplotou nesmú zásadne žihať. Okrem toho je dokázané, že prísada Al obmedzuje vznik fázy ω tým, že spomaľuje premeny $\beta \rightarrow \omega$. Toto zistenie viedlo aj k úprave chemického zloženia titánových zliatin.

Titánové zliatiny sa tiež spracovávajú chemicko-tepelným spracovaním, napr. k zlepšeniu odolnosti proti opotrebeniu sa zliatiny titánu nitrídajú v plynnom prostredí pri 850 až 950 °C po dobu 30 až 50 h. Tenká povrchová vrstva (stotiny mm) má tvrdosť HV 800 až 900 podľa zloženia zliatiny.

Zliatiny α . Najrozšírenejšie sú zliatiny α a ($\alpha + \beta$). Zliatiny α obsahujú ako hlavné prísady Al, Zr a Sn. Sú charakteristické dobrými zlievarenskými vlastnosťami, vysokou húževnatosťou pri nízkych teplotách, dobrou zvärateľnosťou a dobrou odolnosťou proti tečeniu. Ich nevýhodou je citlivosť na vodíkovú krehkosť a pri väčšom obsahu Al aj menšia plasticosť, ktorá je spôsobená tvorbou nadštruktúr typu Ti_3Al . Odolnosť proti korózii je vysoká, avšak horšia ako u čistého titánu.

Zvláštne postavenie majú dvojfázové zliatiny, v ktorých je podiel fázy β malý (tzv. pseudoalfa zliatiny). Tieto zliatiny si zachovávajú základné charakteristické vlastnosti zliatin α , ako je napr. necitlivosť pevnostných vlastností za vyšších teplôt k predchádzajúcemu tepelnému spracovaniu, alebo dobrá zvärateľnosť. Navyše majú väčšiu plasticitu a ich vlastnosti nie sú natoľko ovplyvňované obsahom vodíka. Príklady zliatin α (a pseudoalfa) uvádza tab. 5.8.

Tab. 5.8

Chemické zloženie a mechanické vlastnosti niektorých titánových zliatin so štruktúrou alfa

Zliatina	R_e [MPa]	R_m [MPa]	A [%]
TiAl8Zr8NbTa	860	930	15
TiAl6Zr4V1	950	980	12
TiAl8Mo1M	930	1010	10
TiAl5Sn2,5 (VT5-1)	820	860	>12

(Poznámka k tab. 5.8 a ďalej: Označenie "VT" a číselný znak sa týka ruských zliatin, označenie "T" a číselný znak českých zliatin POLDI.)

Zliatiny ($\alpha + \beta$). Dvojfázové zliatiny ($\alpha + \beta$) (mikroštruktúra na obr. 5.12) obsahujú stabilizátory fázy α (predovšetkým Al) a stabilizátory fázy β (napr. V, Mo, Fe, Cr, Mn). O mechanických vlastnostiach zliatin rozhoduje

hlavne obsah stabilizátorov β . Zliatiny ($\alpha + \beta$) sa používajú v tepelne spracovanom stave. Sú najstaršími, najrozšírenejšími a súčasne najperspektívnejšími zliatinami titánu.

Príklady chemického zloženia a mechanických vlastností obsahuje tab. 5.9. Za zliatinu s optimálnymi vlastnosťami je považovaná zliatina TiAl6V4, pre ktorú sú v tab. 5.10 uvedené mechanické vlastnosti podrobnejšie. Vplyv podmienok kalenia a popúšťania na mechanické vlastnosti zliatiny TiAl6V4 znázorňuje obr. 5.13.

Obr. 5.12. Štruktúra titánovej zliatiny a - VT9 b - VT3, izotermicky žihanej, lept. 10 % HF, zv. 400 x

Obr. 5.13. Závislosť mechanických vlastností zliatiny TiAl6V4 od kaliacej teploty (a) a od teploty a doby popúšťania (b)

Tab. 5.9

Chemické zloženie a mechanické vlastnosti niektorých titánových zliatin so štruktúrou ($\alpha+\beta$)

Zliatina	R _e [MPa]	R _m [MPa]	A [%]
TiAl6V4 (VT6, T90)	1030	1180	6-16
TiAl5Cr3Fe1	1140	1340	6-8
TiAl4Mo4V4	1030	1170	10-12
TiAl7Mo4	1210	1310	6

Tab. 5.10

Mechanické vlastnosti zliatiny TiAl6V4

	Žíhaná				Vytvrdená			
	teplota [°C]							
	20	350	400	450	20	350	400	450
HB	255-341				290-369			
Ráz. húževnatosť J.cm ⁻²	40				30			
Medza únavy MPa	530	-	-	-	560	450	440	-
Medza pevnosti pri tečení MPa	-	540	360	140	-	630	360	-

Zliatiny β . Zliatiny β majú sklon k absorpcii kyslíka a vodíka, čo znižuje húževnatosť a vyžaduje zváranie v atmosfére veľmi čistého argónu. Táto vlastnosť spôsobila oneskorenie v ich priemyselnom využívaní. V posledných rokoch sa im však venuje stále väčšia pozornosť. Perspektívne predstavujú zliatiny s najvyššími pevnostnými vlastnosťami pri najnižších výrobných nákladoch. Niektoré zliatiny sa relatívne ľahko stávajú superplastickými (napr. Ti10V2Fe3Al už pri teplote pod 1250 °C). Príklady zliatin β sú v tab. 5.11.

Tab. 5.11

Chemické zloženie a mechanické vlastnosti niektorých titánových zliatin so štruktúrou ($\alpha+\beta$)

Zliatina	R _e [MPa]	R _m [MPa]	A [%]
TiV8Fe5Al1	800-1400	900-1450	6-8
TiV13Cr1Al3	900-1700	950-1800	4-14
TiCr11Mo8Al3 (VT15)		900-1500	

Použitie titánových zliatin. Titán je síce ťažší ako hliník, ale aj vo vzťahu k mernej hmotnosti podstatne pevnejší. To ho predurčuje na použitie predovšetkým v leteectve a ďalšej dopravnej technike. Prakticky všetky súčasné dopravné lietadlá majú niektoré súčiastky (leteckých turbín, ale aj iné) zo zliatin titánu. V aerobusoch typu Boeing 747 alebo Il-86 je použité viac ako 20 ton titánu. Najmodernejšie konštrukcie (Blackbird, Boeing - 2707) využívajú titánové zliatiny takmer úplne namiesto hliníkových zliatin. Vo všeobecnosti sa uvažuje, že výmena Al-zliatin za Ti-zliatiny má za následok zníženie hmotnosti lietadla o 20 - 25 %.

Vysoká odolnosť proti morskej vode predurčuje titánové zliatiny ako perspektívny materiál v konštrukcii ponoriek a batyskafov.

Zliatiny titánu sa využívajú aj v lekárstve (napr. endoprotézy z TiAl6V4 s vysokou čistotou), kde sa stali konkurenciou zliatin kobaltu (pozri kap. 5.6).

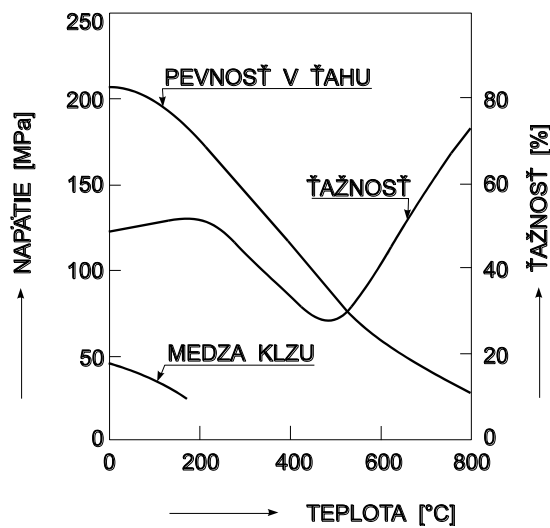
5.4 Zliatiny medi

Med' je nepolymorfny kov červenkastej farby s kubickou plošne centrovanou mriežkou. Teplotu tavenia má 1083 °C a hustotu 8900 kg/m³ – asi 3-krát vyššiu ako hliník. Tepelná a elektrická vodivosť medi je o niečo nižšia ako striebra, ale asi 1,5-krát vyššia ako u hliníka. Elektrická vodivosť čistej medi sa zvyčajne berie ako základ na porovnanie vodivosti iných kovov a zliatin. Normál vodivosti (IACS) pre med' bol stanovený na 58 Mss⁻¹. Legovanie znižuje vodivosť medi.

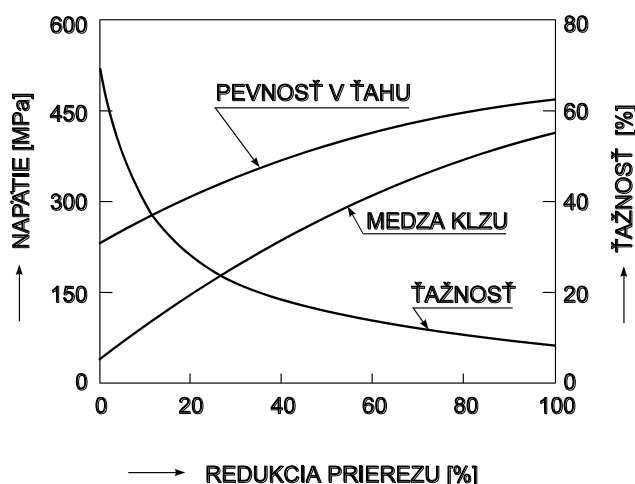
Mechanické vlastnosti medi závisia od jej stavu a sú dané jej kryštalografickou mriežkou (K12). Pri normálnej teplote i pri znížených teplotách má med' vysokú tvárnosť a húževnatosť. So zvyšujúcou sa teplotou sa jej pevnostné vlastnosti trvalo znižujú a v okolí 500 °C sa objavuje u technickej medi tiež pokles plastických vlastností (obr. 5.14). Preto je vhodné med' tvárniť buď za studena alebo pri teplotách 800 až 900 °C. Tvárnením za studena sa pevnostné vlastnosti zvyšujú a ťažnosť

klesá (obr. 5.15). V liatom stave má pevnosť 160 MPa, valcovaná za tepla 220 MPa. Meď je ťažná a deformáciou za studena ju možno spevňovať takmer až na úroveň pevnosti mäkkej ocele.

Meď je odolná proti oxidácii, reaguje však so sírou a sírnyimi zlúčeninami za vzniku sulfidu medi. Hlavnou nečistotou v medi je kyslík. Bezokyslíkatá meď sa získa dezoxidáciou fosforom, lítiom alebo bórom. Limitované množstvo kyslíka obsahuje katódová meď a tzv. kyslíková meď. Okrem kyslíka hlavnými nečistotami v medi sú fosfor a železo. Čistá meď je ťažko zlievateľná. Má veľkú zmrastivosť (1,5 %) a pri vysokých teplotách rozpúšťa veľké množstvo plynov, ktoré sa pri tuhnutí uvoľňujú a spôsobujú naplynenie a pórovitosť odliatkov. Zlievateľnosť je možné zlepšiť prísadou niektorých prvkov ako Zn, Sn, Si, Ni, Cd, Be a pod.



Obr. 5. 14. Vplyv teploty na medzu pevnosti, medzu klzu a ťažnosť medi



Obr. 5. 15. Zmena vlastností medi tvárnením za studena

V zliatinách medi sa využíva 14 legujúcich prvkov, väčšinou v oblasti rozpustnosti tuhého roztoku. Väčšina komerčných zliatin je teda monofázových a počas ohrevu alebo ochladzovania nevykazuje alotropické premeny. Niektoré zliatiny sa dajú precipitačne spevňovať. Niektoré vykazujú aj alotropickú premenu a dajú sa tepelne spracovať.

Meď a jej zliatiny môžeme rozdeliť do 3 skupín, a to:

1. meď a vysokomeďnaté zliatiny,
2. mosadze (Cu-Zn, príp. ďalšie prvky),
3. bronzy (Cu + iný prvok ako Zn).

Tieto skupiny môžeme ešte ďalej deliť na tvárnené a liate. V tab. 5.12 sú uvedené hodnoty tepelnej vodivosti a teplotnej oblasti tavenia pre niektoré zliatiny medi.

Tab. 5.12

Tepelná oblasť tavenia a tepelná vodivosť niektorých tvárnených zliatin medi

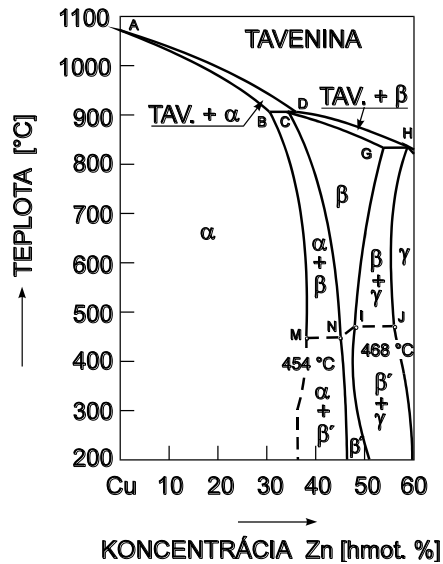
Č.	Označenie zliatiny	Tepelná oblasť tavenia (°C)	Tepelná vodivosť l (W/mK)
1	bezokyslíkatá meď	1072-1097	390
2	berýliový bronz	870-970	107-129
3	komerčný bronz, 90 %	1030-1050	188

4	mosadz, 86 %	995-1035	160
5	mosadz, 70 %	930-960	120
6	fosforový bronz, 10 %	850-1000	50
7	hliníkový bronz	1050-1150	67
8	kremíkový bronz	980-1035	36
9	horčíkový bronz	870-900	105
10	Cu-10%Ni	1100-1160	45
11	Cu-30%Ni	1180-1250	29

Mosadze. Sú to zliatiny medi a zinku, v ktorých je popri týchto základných kovoch vždy určité množstvo nečistôt a často tiež určitý obsah ďalších prísad, ktoré ich vlastnosti (podľa spôsobu použitia) ešte zlepšujú. Podľa spôsobu spracovania rozlišujeme mosadze tvárnené a zlievarenské. Zvláštnu skupinu tvoria tvrdé pájky.

Binárny rovnovážny diagram sústavy Cu-Zn (obr. 5.16) je pomerne zložitý. Pre technickú prax má však význam len oblasť v rozmedzí koncentrácií 0 až 50 % Zn, pretože zliatiny s vyššou koncentráciou zinku už nemajú priaznivé mechanické vlastnosti (sú veľmi krehké).

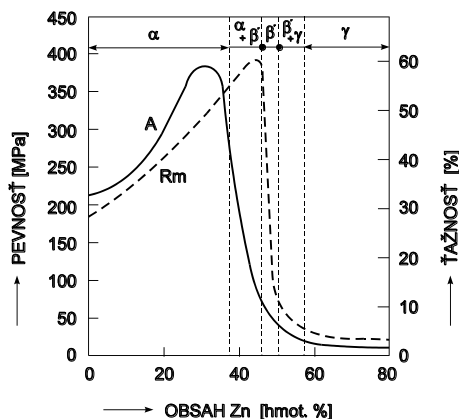
Meď a zinok sú v tekutom stave dokonale rozpustné; v stave tuhom je ich rozpustnosť obmedzená (meď - kubická plošne centrovaná mriežka K12; zinok - hexagonálna mriežka H12). Počas tuhnutia sa z taveniny vylučujú fázy: α , β , γ , δ , ϵ a η . Väčšina z nich sú intermediárne fázy, charakterizované určitým pomerom medzi počtom valenčných elektrónov a počtom atómov. Primárny tuhý roztok α (tuhý roztok zinku v medi) má kryštálovú mriežku rovnakú ako meď a rozpúšťa max. 39 % Zn (pri teplote ~ 450 °C). Pri nižších teplotách rozpustnosť zinku v tuhom roztoku α klesá na ~ 33 % Zn. V zliatinách s vyššou koncentráciou Zn sa však pri normálnej teplote zachová presýtený tuhý roztok α , preto majú zliatiny až do koncentrácie 39 % Zn výslednú štruktúru homogénnu, pozostávajúcu len z kryštálov tuhého roztoku α . Po tvárnení a vyžíhaní sú to polyedrické zrná tuhého roztoku α so žihacími dvojčatami (obr. 5.17a).



Obr. 5.16. Rovnovážny diagram meď – zinok

Zliatiny s koncentráciou 32 % Zn (bod B) až 36 % Zn (bod C) kryštalizujú za peritektickej reakcie (pri teplote 902 °C), kedy reakciou časti primárne vylúčených kryštálov α a taveniny vzniká fáza β . S klesajúcou teplotou v tuhom stave sa mení podiel oboch druhov kryštálov v dôsledku zmeny rozpustnosti tak, že výsledná štruktúra je tvorená len kryštálmi tuhého roztoku α . U zliatin s koncentráciou 36 až 56 % Zn existuje po stuhnutí fáza β . Mriežka tejto fázy je kubická priestorovo centrovaná s náhodným rozmiestnením atómov Cu a Zn; fáza β je pomerne dobre tvárna. Pri ďalšom ochladzovaní sa mení (pri teplotách 454 až 468 °C) neusporiadaná fáza β na usporiadanú fázu β' . Fáza β' je tvrdá a krehká. Výsledná štruktúra zliatin v rozmedzí koncentrácií 39 až 45 % Zn je heterogénna, tvorená kryštálmi tuhého roztoku α a kryštálmi fázy β' (obr. 5.17b).

Obr. 5.17. Štruktúra tvárnenej mosadze: a – homogénna, hlbokotážná mosadz Ms70, b – heterogénna, mosadz Ms63, lept. $K_2Cr_2O_7$, zv. 100 x



Obr. 5.18. Vplyv obsahu zinku na mechanické vlastnosti mosadze

V praxi sa až na malé výnimky používajú len zliatiny s obsahom do 45 % Zn; mosadze s vyššou koncentráciou Zn, ktorých štruktúra je tvorená fázou β' alebo $\beta' + \gamma$ sú už nadmerne krehké. Mechanické vlastnosti technicky používaných zliatin Cu-Zn sú znázornené na obr. 5.18.

Používané technické mosadze obsahujú popri Cu a Zn niektoré ďalšie prísady (buď nečistoty alebo prvky zámerné pridávané). Ich vplyv je podobný ako v čistej medi. Napr. bizmut a síra zhoršujú predovšetkým tvárnosť za tepla. Podobne pôsobí olovo, ktoré však zlepšuje obrábateľnosť; u heterogénnych mosadzí sa používa prísada Pb v množstve 1 až 3 %. Homogénne mosadze obsahujú pre zvýšenie pevnosti ako ďalšie prísady cín, hliník, kremík a nikel. Kremík tiež zvyšuje odolnosť proti korózii, nikel zlepšuje húževnatosť.

Tepelné spracovanie mosadzí. Základným spôsobom tepelného spracovania mosadzí je *rekryštalizačné žihanie*, ktorým je možné v kombinácii

s tvárnením meniť zrnitosť štruktúry a ovplyvňovať stupeň spevnenia, dosiahnutý plastickou deformáciou. Spodná hranica rekryštalizačných teplôt leží pre binárne zliatiny Cu-Zn pri teplote ~ 425 °C; horná hranica je daná obsahom zinku v zliatine. Druhým spôsobom tepelného spracovania mosadzí je *žíhanie na zníženie napätia* (pri teplote 250 až 300 °C), ktorým sa znižuje nebezpečie korózneho praskania.

Mosadze na tvárnenie. Tvárnené mosadze tvoria prevažnú časť mosadzných výrobkov. Dodávajú sa ako plechy, pásy, tyče, rúrky, drôty a pod. V stave mäkkom (vyžíhanom) alebo po určitom stupni tvárnenia za studena (stav polotvrdý, tvrdý atď.). Mechanické vlastnosti mosadzí na tvárnenie sú uvedené v tab. 5.13.

Tombaky sú mosadze s obsahom medi nad 80 % (Ms96, Ms90, Ms85, Ms80). Chemickými a fyzikálnymi vlastnosťami sa blížia čistej medi, ale majú výhodnejšie mechanické vlastnosti. Tombak s vyšším obsahom medi sa používa na mince, plakety, meda ily (sú ešte ďalej pozlacované rôznym spôsobom). Tombak so stredným a nižším obsahom medi má svetložltú farbu, blíži sa k farbe zlata, a preto sa fólie z tohto materiálu používajú ako náhrada za zlato. Používajú sa na ozdobné a umelecké predmety, nepravé šperky, v architektúre, ďalej na armatúry, v elektrotechnike, na manometre, ohybné kovové hadice, sitá a pod. Tombak Ms80 má vyšší obsah zinku, takže aj jeho chemická odolnosť je znížená, a preto jeho použitie (rovnaké ako u ostatných tombakov) je závislé od prostredia.

Hlbokotážné mosadze majú približne 70 % Cu (Ms70, Ms68) a pre zaručenie vysokej ťažnosti je potrebné udržať obsah nečistôt na nízkej hodnote. Zliatiny Cu-Zn majú v okolí koncentrácie 32 % Zn najväčšiu ťažnosť pri dobrej pevnosti (obr. 5.18), a preto sa zliatiny tohoto druhu používajú aj k hlbokému ťahaniu; používajú sa napr. na výrobu nábojníc, hudobných nástrojov, v potravinárskom priemysle a pod.

Tab. 5.13

Mosadze na tvárnenie

Zliatina STN	Chemické zloženie, % ¹⁾			Mechanické vlastnosti			
	Cu	Pb	Ostatné ²⁾	R _{p0,2} , MPa	R _m , MPa	A, %	HB
Ms96 tombak 42 3200	95-97	²⁾	0,2	-	40 ³⁾	2	-
Ms90 tombak 42 3201	88-91	²⁾	0,3	80	250	40	55-70

Ms85 tombak 42 3202	84-86	2)	0,3	120	270	40	55-75
Ms80 tombak 42 3203	79-81	2)	0,3	130	270	40	55-80
Ms70 42 3210	69-72	2)	0,2	130	280	47	60-85
Ms68 42 3212	67-70	2)	0,3	120	300	42	60-85
Ms63 42 3213	62-65	0,2	0,5	120	290	40	60-90
Ms60 42 3220	59-62	0,3	0,7	200	340	30	65-100
Ms58 42 3223	56-59,5	1-3	1	120	370	20	70-100
1) zvyšok v zliatine tvorí zinok, 2) obsah prímiesí v príslušnej norme, 3) stav tvrdý, ostatné zliatiny v mäkkom stave							

Mosadz s vyšším obsahom zinku (Ms63) je pre svoj malý obsah medi pomerne lacná. Je to heterogénna zliatina s malým podielom fázy β' , s nižšou ťažnosťou, ktorá je ešte za studena dobre tvárna. Používa sa na najrôznejšie, menej namáhané výrobky, ako napr. inštalačný materiál v elektrotechnike, autochladiče a pod. Pre zlepšenie obrábatelnosti sa pridáva menšie množstvo olova (STN 42 3214 – Ms63Pb). Mosadz Ms60 je heterogénna zliatina ($\alpha + \beta'$). Vplyvom prítomnosti fáz β' sa výrazne zvyšuje jej pevnosť, ale má nižšiu ťažnosť aj tvárnosť za studena v porovnaní s ostatnými mosadzami. Je dobre tvárna za tepla (700 až 800 °C) kovaním alebo lisovaním v zápustkách. Používa sa v architektúre, na rôzne lodné kovania, na rúrky, zväracie elektródy. Pre tento typ mosadzí (približne so 60 % Cu) je charakteristický ich sklon ku korózii odzinkovaním a sklon k praskaniu vplyvom korózie [108], ktoré obvykle prebieha medzi zrnami. Náchylnosť k praskaniu sa zvyšuje so stúpajúcim obsahom zinku (pri obsahu Zn pod 15 % sa nevyskytuje) a dosahuje maximum pri 40 % Zn. Prísady, ktoré obsahujú mosadze, nezväčšujú náchylnosť k praskaniu, naopak niektoré (napr. Mg, Sn, Be, Mn) ju znižujú. Rovnakým spôsobom pôsobí znižovanie veľkosti zrna.

Automatové mosadze sú mosadze s obsahom medi približne 60 % a s prísadou olova 1 až 3 %, ktoré zlepšuje obrábateľnosť. Olovo nie je v mosadzi rozpustné a jeho prísada má podobný vplyv ako v automatových oceliach. V štruktúre mosadze má byť olovo jemne rozptýlené. Menšie dielce karburátorov a bezšvové rúrky sa vyrábajú z Ms60Pb (STN 42 3221). Mosadz Ms59Pb (STN 42 3222) je určená na plechy, pásy, pruhy a tyče a Ms58Pb (STN 42 3223) na tyče rôzneho profilu. Zliatiny Ms59Pb a Ms58Pb sa dajú za tepla dobre kovať a lisovať. Za studena sú menej tvárne, ale dobre sa razia, a preto sa používajú na razenie rôznych súčiastok pre hodinárstvo a súčiastok pre rôzne menšie prístroje, predovšetkým v elektrotechnike. Z Ms58Pb sa vyrábajú skrutky a iné hromadne sústružené súčiastky.

Mosadze na odliatky sú heterogénne zliatiny ($\alpha + \beta'$) s obsahom 58 až 63 % Cu, často s prísadou olova (1 až 3 %) pre zlepšenie obrábateľnosti (Ms63Pb). Mosadze na odlievajú majú dobrú zabiehavosť a malý sklon k odmiešaniu, dost' sa však zmrašťujú. V porovnaní so zliatinami na tvárnenie majú zlievarenské mosadze v dôsledku hrubšej a menej rovnomernej štruktúry horšie mechanické vlastnosti. Odliatky z Ms60 a Ms58 sa používajú predovšetkým na menej namáhané odliatky, ako sú napr. súčasti čerpadiel, plynové a vodovodné armatúry, stavebné a nábytkové kovanie a pod.

Špeciálne mosadze. Sú to zliatiny medi, zinku a jednej alebo viacerých prísad (hliník, cín, nikel, mangán, železo, kremík) a obvykle sa nazývajú podľa tretej zložky (napr. kremiková mosadz je zliatina Cu-Zn-Si). Prísada ďalších prvkov umožňuje zvyšovať mechanické vlastnosti, ale tiež odolnosť proti korózii, zlievateľnosť, obrábateľnosť. Zmena vlastností závisí od druhu pridávaného prvku a od jeho vplyvu na štruktúru.

Podľa spôsobu výroby sa špeciálne mosadze delia na tvárnené a na odliatky. Dodávajú sa ako tyčový materiál, rúrky, profily, príp. ako výkovky alebo odliatky pre veľmi namáhané súčasti.

Hlinikové mosadze majú vyšší obsah medi 69 až 79 %. Prísada hliníka u mosadzí určených na tvárnenie nepresahuje 3 až 3,5 % (štruktúra je homogénna), pretože pri vyššom obsahu Al sa v štruktúre objavujú ďalšie fázy ($\beta + \gamma$), ktoré síce zvyšujú tvrdosť a pevnosť, ale znižujú tvárnosť. Mosadz Ms70Al (0,6 až 1,6 % Al) s prísadou Sn a Mn je dobre odolná voči korózii a používa sa na výrobu kondenzátorových trubiek. Mosadz Ms77Al (1,7 až 2,5 % Al), ktorej použitie je rovnaké, má vzhľadom k vyššiemu obsahu Al zvýšenú odolnosť proti korózii v morskej vode. Zliatiny na

odliatky sú heterogénne, majú nižší obsah Cu a vyšší obsah Al (do 7 %), čím je daná dobrá odolnosť proti korózii aj v morskej vode. Používajú sa na veľmi namáhané odliatky armatúr, závitníkové kolesá, ložiská a ložiskové puzdrá.

Mangánové mosadze pre tvárnenie obsahujú 3 až 4 % Mn a na odliatky 4 až 5 % Mn. Majú vysokú pevnosť, veľkú húževnatosť a dobrú odolnosť proti korózii a používajú sa obvykle ako heterogénne. Na tvárnenie sú určené mosadz Ms58Mn (tzv. duokov) a mosadz Ms57AlMn (trikov), ktoré majú pomerne vysokú pevnosť (v polotvrdom stave 400 až 500 MPa) pri veľkej húževnatosti a odolávajú dobre korózii. Používajú sa na výrobu armatúr, ventilových sediel, vysokotlakých rúrok a pod. Mosadz Ms58Mn sa tiež používa na dekoračné účely (povrch výrobkov sa pokrýva pri oxidácii za tepla vzhľadnou, trvanlivou hnedou patinou). Zlievarenské zliatiny majú vyšší obsah mangánu aj železa a používajú sa na vysokonamáhané odliatky, ako súčasti zbraní, lodné skrutky, turbínové lopatky a armatúry pre najvyššie tlaky.

Cínové mosadze sú prevažne heterogénne zliatiny s obsahom cínu do 2,5 %. Cín pôsobí priaznivo na mechanické vlastnosti a odolnosť proti korózii. Niektoré zliatiny, ako Ms60Sn majú dobré akustické vlastnosti a používajú sa na výrobu zvukových nástrojov. Zliatina Ms62Sn sa používa na výrobu pásov, plechov a profilov využívaných pri stavbe námorných lodí.

Kremíkové mosadze obsahujú max. 5 % Si pri vysokom obsahu medi 79 až 81 %. Spracovávajú sa tvárnením (max. 4 % Si) a odlievaním. Majú veľmi dobrú odolnosť proti korózii a dobré mechanické vlastnosti aj pri nízkych teplotách (-183 °C). Pri použití nad 230 °C je ich tečenie veľké aj pri nízkom napätí [18], pri teplote nad 290 °C krehnú. Prísada olova (3 až 3,5 %) pôsobí priaznivo na trecie vlastnosti, takže tieto mosadze sú vhodné na liatie ložísk a puzdier (Ms80Si3Pb3). Kremíkové mosadze sa uplatňujú pri stavbe lodí, lokomotív a vagónov. Zlievarenské zliatiny (dobrá zabiehavosť) sa používajú na výrobu armatúr, ložiskových puzdier, ozubených pastorkov a ozubených kolies.

Niklové mosadze obsahujú 8 až 20 % Ni, ktorý sa dokonale rozpúšťa v homogénnych mosadziach α a rozširuje oblasť α [109]. Homogénne zliatiny majú vysokú tvárnosť za studena a sú vhodné na hlboké ťahanie. Heterogénne zliatiny ($\alpha + \beta$) sú veľmi dobre tvárne za tepla. Niklové mosadze majú dobré mechanické vlastnosti, odolnosť proti korózii a sú dobre leštiteľné. Zliatiny s obsahom medi okolo 60 % a niklu 14 až 18 % (napr. Ms65Ni14) patria k najstarším zliatinám (na úžitkové a ozdobné

predmety) a sú známe pod rôznymi obchodnými názvami ako pakfong, alpaka, argentan a pod. Používajú sa tiež v stavebníctve, jemnej mechanike, na výrobu lekárskeho prístrojov a na namáhané pružiny (vysoký modul pružnosti).

Tvrde spájky sú buď jednoduché alebo špeciálne mosadze s teplotou topenia nad 600 °C. Používajú sa na spájkovanie kovov a zliatin s vyššou teplotou tavenia, ako sú meď a jej zliatiny, ocele, liatiny a pod. Ak ide o binárne zliatiny Cu-Zn, označujú sa ako mosadzné spájky, s prísadou ďalšieho kovu (Ag alebo Ni) ako strieborné spájky alebo niklové spájky. Mosadzné spájky s obsahom 42 až 54 % Cu majú teplotu tavenia 840 až 880 °C a používajú sa pre spájanie mosadzí. Strieborné spájky obsahujú 30 až 50 % Cu; 25 až 52 % Zn; 4 až 45 % Ag; čím vyšší je obsah striebra, tým nižšia je teplota tavenia spájky (až 720 °C). Strieborné spájky veľmi dobre zabiehajú a dávajú pevné spoje. Niklové spájky (38 % Cu, 50 % Zn, 12 % Ni) majú teplotu tavenia v okolí 900 °C; používajú sa pre spájanie ocelí a niklových zliatin. Spájka Ms60Ag s veľmi nízkym obsahom Ag (0,2 až 0,4 %) s hornou teplotou tavenia 900 °C má dobrú elektrickú vodivosť a používa sa preto v elektrotechnike. Spájka Ms60SiSn s hornou teplotou tavenia 850 °C má vysokú pevnosť a je vhodná pre spájkovanie ocelí, sivej liatiny, medi a mosadze.

Bronzy. Sú to zliatiny medi s ďalšími prvkami okrem zinku a obvykle sa nazývajú podľa hlavnej prísady, a to cínové bronzy, hliníkové bronzy a pod.

Cínové bronzy sú zliatiny medi s cínom, kde množstvo oboch kovov je najmenej 99,3 %. Rovnovážny diagram medi s cínom patrí medzi veľmi zložité binárne diagramy. V niektorých oblastiach (predovšetkým v rozmedzí 20 až 40 % Sn) nie je dodnes presne určený. Pre technickú prax majú význam len zliatiny do obsahu 20 % Sn. Cínové bronzy s vyšším obsahom Sn sú vplyvom prítomnosti intermeriárnych fáz veľmi krehké. V tekutom stave sú Cu a Sn dokonale rozpustné, v tuhom stave je ich rozpustnosť obmedzená.

Technické zliatiny obvykle kryštalizujú inak ako odpovedá rovnovážnemu diagramu. Do 5 % Sn sú zliatiny homogénne a sú tvorené len tuhým roztokom α (tuhý roztok cínu v medi), ktorý má kubickú plošne centrovanú mriežku (K12). V liatom stave je štruktúra týchto zliatin dendritická, v stave tvárnenom a žíhanom je tvorená pravidelnými polyedrickými zrnami [111]. Zliatiny s väčším obsahom cínu (5 až 20 %) majú výslednú štruktúru tvorenú kryštálmi tuhého roztoku α a eutektikom ($\alpha + \delta$) (obr. 5.19).

Obr. 5.19. Liaty cínový bronz CuSn10, lept. $K_2Cr_2O_7$, zv. 100 x

Fáza δ je elektrónová zlúčenina $Cu_{31}Sn_8$ ($e/a = 21/13$) s kubickou mriežkou. Je to krehká fáza, ktorá má nepriaznivý vplyv na ťažnosť a pri vyšších koncentráciách Sn (nad 20 %) aj na pevnosť, ktorá výrazne klesá. V technických zliatinách nedochádza k vylučovaniu fázy ϵ (Cu_3Sn s hexagonálnou mriežkou; $e/a = 7/4$), aj keď klesá rozpustnosť, pretože pod teplotou 350 °C je difúzna schopnosť atómov Sn pomerne malá a neobjaví sa pri normálnej teplote ani u zliatin s väčším obsahom Sn.

Prísada cínu má na vlastnosti bronzu podobný vplyv ako zinok v mosadziach. Na tvárnenie sa používajú cínové bronzы do obsahu asi 9 % Sn (nad 5 % tieto zliatiny možno ľahko zohriať do jednofázového stavu). Používajú sa tam, kde z hľadiska pevnosti alebo odolnosti proti korózii nepostačuje mosadz. Na odliatky sa používajú bronzы s vyšším obsahom Sn do 20 %. Používajú sa omnoho častejšie než bronzы tvárnené. Odliatky z cínových bronzov majú dobrú pevnosť a húževnatosť, vysokú odolnosť proti korózii a využívajú sa ich výborné trecie vlastnosti (dané heterogénnou štruktúrou $\alpha + (\alpha + \delta)$). Cínové bronzы majú malú zmrašťivosť (1 %), ale horšiu zabiehavosť a väčší sklon k tvorbe mikrostriehnutín.

Cínové bronzы na tvárnenie. Bronz CuSn1 (STN 42 3011) obsahuje 0,8 až 2 % Sn a má v mäkkom stave pevnosť v ťahu 250 MPa, ťažnosť 33 %. Má dobrú odolnosť proti korózii a elektrickú vodivosť; používa sa v elektrotechnike. Bronz CuSn3 (STN 42 3012) s 2,5 až 4 % Sn má v mäkkom stave pevnosť v ťahu 280 MPa a ťažnosť 40 %. Používa sa na výrobu zariadení v chemickom priemysle a elektrotechnike. Bronz CuSn6 (STN 42 3016) s pevnosťou v ťahu 350 MPa a ťažnosťou 40 % (v mäkkom

stave) sa používa obzvlášť tam, kde je požadovaná zvýšená odolnosť proti korózii, pri dobrej pevnosti a húževnatosti; napr. na pružiny pre korózne prostredia. Bronz CuSn8 (STN 42 3018) má zo skupiny tvárnených cínových bronzov najvyššiu pevnosť (380 MPa) a ťažnosť (40 %). Je vhodný na výrobu ložiskových puzdier a v tvrdom stave na pružiny, ktoré nepodliehajú únave pri korózii.

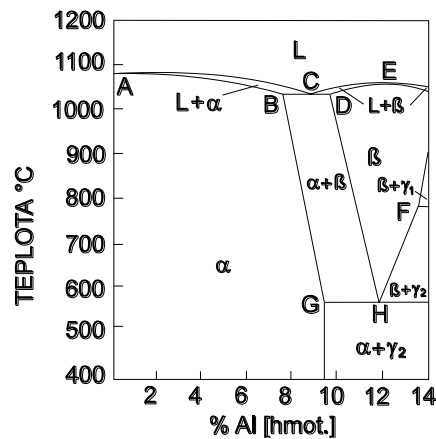
Cínové bronzы na odliatky. Bronz CuSn1 (STN 42 3111) s nízkym obsahom cínu má dostatočnú elektrickú vodivosť a používa sa predovšetkým na výrobu odliatkov pre elektrotechnické účely. Bronzy CuSn5 a CuSn10 (STN 42 3115 a 42 3119) majú pevnosť v ťahu 180 a 220 MPa, ťažnosť 15 % a dobrú odolnosť proti korózii. Používajú sa na namáhané súčasti turbín, kompresorov, na výrobu armatúr a obežných kolies čerpadiel. Bronz CuSn12 (STN 42 3123) sa používa na súčasti, ktoré sú vystavené vysokému mechanickému namáhaniu pri súčasnom trecom namáhaní (skrutkové kolesá, vence ozubených kolies). Bronzy CuSn10 a CuSn12 sa používajú ako ložiskové bronzы. Používanie bronzov s vyšším obsahom Sn 14 až 16 % (vysoká cena) sa nahrádza cínovými bronzami s približne 6 % Sn (dobré klzné vlastnosti).

Cínovo olovené a olovené bronzы sú zliatiny medi, pri ktorých sa Sn čiastočne alebo celkovo nahrádza Pb. Olovo ako prísada k medi zlepšuje klzné vlastnosti zliatin bez negatívneho vplyvu na ich tepelnú vodivosť. Sústava Cu-Pb sa vyznačuje len čiastočnou rozpustnosťou oboch kovov v kvapalnom a prakticky úplnou nerozpustnosťou v tuhom stave. Výsledná štruktúra zliatin pozostáva po stuhnutí z kryštálov medi a olova. Pri rýchlom ochladzovaní zliatiny sú obe zložky rovnomerne rozložené a zliatiny majú veľmi dobré klzné vlastnosti. Olovené bronzы sú preto zvlášť vhodné k vylievaniu oceľových panví klzných ložísk. Znášajú vysoké merné tlaky, pomerne veľké obvodové rýchlosti a je ich možné použiť aj pri zvýšených teplotách (asi 300 °C).

Ložiskové bronzы sa vyrábajú dvojakého druhu. Ako bronzы s nižším obsahom olova (10 až 20 %) a prísadou cínu (5 až 10 %) alebo ako bronzы s vysokým obsahom olova (25 až 30 %) bez prísady cínu. V súčasnosti sa používajú ako ložiskové bronzы predovšetkým olovené bronzы CuSn10Pb a CuSn10Pb10. Olovo (prísada od 4 do 25 %) zlepšuje klzné vlastnosti ložiska a cín (4 až 10 %) zlepšuje pevnosť a odolnosť proti únave. Používajú sa hlavne na ložiská v prašnom a koróznom prostredí. Binárne zliatiny druhej skupiny majú menšiu pevnosť a tvrdosť a používajú sa ako výstelky oceľových panví. Malými prísadami Mn, Ni, Sn, Zn (v celkovom

množstve do 2 %) je možné zjemniť ich štruktúru a zmenšiť sklon k odmiešaniu. Oceľové panvy vyliate tenkou vrstvou oloveného bronzu sa používajú často na hlavné a ojnicné ložiská spaľovacích motorov. Binárne zliatiny sú uvedené v norme pod označením STN 42 3182 (CuPb20), STN 42 3184 (CuPb30Fe), ternárne zliatiny pod označením STN 42 3121 a STN 42 3122.

Hliníkové bronzy sú zliatiny medi, kde hlavnou prísadou je hliník. Pre technickú prax majú význam zliatiny s obsahom do 12 % Al. Rovnovážny diagram Cu-Al je komplikovaný diagram podobný diagramom Cu-Zn a Cu-Sn. Časť tejto sústavy pre zliatiny do 14 % Al je na obr. 5.20 [112].



Obr. 5.20. Časť sústavy Cu-Al

Rozpustnosť Al v Cu je maximálne 7,3 %, s klesajúcou teplotou sa rozpustnosť zvyšuje na 9,4 % Al. Štruktúra homogénnych zliatin je tvorená kryštálmi tuhého roztoku α (substitučný tuhý roztok hliníka v medi), ktorý má kubickú plošne centrovanú mriežku (K12) a ktorého vlastnosti sú podobné ako má tuhý roztok α v mosadziach. Je to fáza relatívne mäkká a plastická. V reálnych zliatinách nedochádza k dokonale rovnovážnemu stavu a pri obsahoch hliníka blízkych hranici rozpustnosti, je treba počítať s výskytom určitého podielu fázy β v štruktúre. Horná hranica obsahu Al v zliatinách s homogénnou štruktúrou α závisí od rýchlosti ochladzovania a pohybuje sa v intervale 7,5 až 8,5 % Al [113].

Zliatiny v rozmedzí 7,3 až 9,4 % Al tuhnú za vzniku eutektika ($\alpha + \beta$) a tesne pod eutektickou priamkou obsahujú primárne vylúčenú fázu α alebo β a eutektikum. (Eutektikum po premenách pri nižších teplotách mizne a tak

sa jeho vplyv v štruktúre neprejaví.) S klesajúcou teplotou sa mení zloženie kryštálov α a β podľa času zmeny rozpustnosti. Fáza β je neusporiadaný tuhý roztok elektrónovej zlúčeniny Cu_3Al (pomer e/a = 3/2) s mriežkou K8, a je to tvrdá a krehká fáza.

U zliatin s obsahom 9,5 až 12 % Al sa vylučuje z taveniny pri kryštalizácii fáza β , z ktorej pri nižších teplotách vzniká tuhý roztok α . Fáza β sa pri pomalom ochladzovaní rozpadá pri eutektoidnej teplote 565 °C na eutektoid ($\alpha + \gamma_2$), ktorý je lamelárny. Preto sa niekedy označuje eutektoidný rozpad fázy β ako „perlitická premena“ [82]. Fáza γ_2 je tuhý roztok elektrónovej zlúčeniny Cu_9Al_4 so zložitou kubickou mriežkou (pomer e/a = 21/13), ktorá je tvrdá a krehká. Pomaly ochladzované zliatiny s koncentráciou 9,4 až 12 % Al sú po prekryštalizácii v tuhom stave heterogénne. Ich štruktúru tvoria kryštály tuhého roztoku α a eutektoid ($\alpha + \gamma_2$).

Heterogénne zliatiny sú častejšie využívané, pretože je u nich možné získať veľmi dobré mechanické vlastnosti tepelným spracovaním. Zliatiny s obsahom 10 až 12 % Al je možné tepelne spracovávať podobne ako ocele. Rýchlym ochladením zliatin z teploty v oblasti fázy β alebo ($\alpha + \beta$) je možné eutektoidnú premenu potlačiť a dosiahnuť martenzitickú transformáciu. Získame tak štruktúru s veľmi jemnými a tvrdými ihlicami označovanú β_1 , ktorá má kubickú priestorovo centrovanú mriežku. Podchladením fázy β pod teplotu martenzitickej premeny M_s vzniká ihlicovitá martenzitická fáza β' s kubickou plošne centrovanou mriežkou a je presýteným neusporiadaným tuhým roztokom [114].

Z hľadiska chemického zloženia možno hliníkové bronzy rozdeliť na dve základné skupiny [113]:

- jednoduché (binárne) zliatiny, t. j. zliatiny Cu-Al bez ďalších prísad;
- komplexné (polykomponentné) zliatiny, ktoré okrem Al obsahujú aj ďalšie prísady ako železo, nikel, mangán a obsah železa, mangánu alebo niklu neprevyšuje 6 %.

Železo je častou legúrou hliníkových bronzov. Rozpúšťa sa do 2 % vo fáze α a zvyšuje jej pevnostné vlastnosti. Tvorí s hliníkom intermetalickú fázu FeAl_3 , ktorá spôsobuje zjemnenie štruktúry [113]. Mangán má na taveninu dezoxidačný účinok a v tom je aj význam jeho prísady v polykomponentných zliatinách. Do 14 % sa rozpúšťa vo fáze α , v ktorej má podobný účinok ako Fe [113]. Nikel je najčastejšou prísadou

v polykomponentných hliníkových bronzoch a má pozitívny vplyv na koróznú odolnosť v agresívnych vodných roztokoch a morskej vode. Nikel sa rozpúšťa asi do 5 % vo fázi α . S hliníkom tvorí intermetalickú fázu Ni_3Al , ktorá má precipitačne spevňujúci účinok.

Hliníkové bronzы homogénne sú húževnaté, dobre tvárne za studena aj za tepla. Zliatiny heterogénne sú pevnejšie, tvrdšie a zastudena menej tvárne. Dajú sa však dobre tvárniť za tepla; majú tiež dobrú zlievateľnosť. Hliníkové bronzы sa vyznačujú dobrou pevnosťou aj pri vyšších teplotách a tiež veľmi dobrou odolnosťou proti korózii a proti oteru. Používajú sa na namáhané súčasti v chemickom a potravinárskom priemysle, v strojárstve na veľmi namáhané ozubené a závitové kolesá, armatúry pracujúce pri vyšších teplotách a pod. Podľa spôsobu spracovania sa delia hliníkové bronzы na bronzы na tvárnenie a bronzы na odlievanie.

Na tvárnenie sa používajú jednoduché alebo komplexné hliníkové bronzы s obsahom 4,5 až 11 Al; na odliatky sa používajú len komplexné hliníkové bronzы, a to s obsahom 7,5 až 12 % Al.

Na tvárnenie za studena sa používa bronz $CuAl_5$ (STN 42 3042). Dodáva sa ako plechy, pásy, tyče, dráty a rúrky. V mäkkom stave má pevnosť v ťahu 380 MPa, ťažnosť 40 % a tvrdosť 70 až 110 HB. Používa sa pri stavbe lodí, v chemickom, potravinárskom a papiernickom priemysle.

Na tvárnenie za tepla sa používajú obvykle komplexné zliatiny. Hliníkový bronz $CuAl_9Mn_2$ (STN 42 3044) sa používa na výrobu armatúr (do teplôt 250 °C), bronz $CuAl_9Fe_3$ (STN 42 3045) na výrobu ložiskových puzdier, ventilových sediel a i.

Zliatina $CuAl_{10}Fe_3Mn_{1,5}$ (STN 42 3046) má zvýšenú tvrdosť a pevnosť, je vhodná na výrobu puzdier a ložísk (nahradzuje olovené bronzы).

Zliatina $CuAl_{10}Fe_4Ni_4$ (STN 42 3047), kedy nikel nahrádza mangán, sa používa do teplôt 500 °C, niekedy aj 600 °C. Nikel priaznivo ovplyvňuje mechanické a korózne vlastnosti. Po tepelnom spracovaní má pevnosť 836 MPa a ťažnosť 13,4 %. Pri použití v koróznom prostredí morskej vody dosahuje lepšie výsledky než chrómnikové korózne ocele. Nepodlieha kavitačnej korózii ani korózii pod napätím. Používa sa na odliatky pri stavbe vodných turbín a púmp, ďalej na ventilové sedlá, výfukové ventily a iné súčasti pracujúce pri vysokých teplotách a v chemickom priemysle.

Zliatina $CuAl_{19}Ni_5Fe_1Mn_1$ (STN 42 3048) obsahuje popri nikli aj vyšší obsah Mn. Je vhodná na odliatky závitových kolies automobilov, tesniace krúžky kľzných uložení pre vysoké tlaky a pod.

Kremíkové bronzy. Obsah kremíka býva v týchto zliatinách obvykle v rozmedzí 0,9 až 3,5 %. Ak sa požaduje vyššia elektrická vodivosť, nemá obsah Si prekročiť 1 %. Kremíkové bronzy sa vyrábajú najčastejšie ako komplexné zliatiny Cu-Si-Ni-Mn-Zn-Pb; binárne zliatiny Cu-Si sa používajú len výnimočne. Mangán sa rozpúšťa v tuhom roztoku, zvyšuje pevnosť a tvrdosť a zlepšuje korózne vlastnosti. Zinok zlepšuje zlievarenské vlastnosti a mechanické vlastnosti ako Mn. Nikel sa jednak rozpúšťa v tuhom roztoku, jednak tvorí s Si zlúčeninu Ni₂Si, ktorá má priaznivý vplyv na žiarupevnosť. Prísada olova zabezpečuje dobré klzné vlastnosti.

Kremíkové bronzy majú dobrú tvárnosť za tepla aj za studena a používajú sa tiež k výrobe odliatkov. Odolávajú účinkom kyseliny sírovej, soľnej a niektorým zásadám. Pre ich dobré mechanické, chemické a trecie vlastnosti sa používajú ako náhrady za cínové bronzy, ktoré predčia vyššou pevnosťou a väčším rozmedzím pracovných teplôt. Tvárnená zliatina CuSi3Mn (STN 42 3053) má v mäkkom stave pevnosť v ťahu 380 MPa, ťažnosť 40 %. Používa sa na výrobu tyčí, drôtov, plechov, pásov, výkovekov a výliskov. Zliatiny na odlievanie majú väčšinou vyššiu koncentráciu prísad a obsah Si dosahuje často až 5 %.

Berýliové bronzy. Berýlium je v medi obmedzene rozpustné (max. 2,7 %) a v tuhom stave sa jeho rozpustnosť výrazne znižuje (0,2 % pre teplotu okolia). Binárne zliatiny s nízkym obsahom berýlia (0,25 až 0,7 %), ktoré majú dobrú elektrickú vodivosť, ale nižšie mechanické vlastnosti, sa používajú len málo. Častejšie sa vyrábajú zliatiny s vyšším obsahom Be a s ďalšími prísadovými prvkami Ni, Co, Mn, Ti. Kobalt (0,2 až 0,3 %) zvyšuje žiarupevnosť, nikel zlepšuje húževnatosť a titán zjemňuje zrno. Najväčší význam majú zliatiny s približne 2 % Be, kedy sa dosahujú najvyššie mechanické vlastnosti [115] precipitačným vytvrdzovaním. Tepelné spracovanie sa skladá z rozpúšťacieho žihania (700 až 800 °C/1 h) a ochladenia vo vode. Takáto zliatina je ťažná a mäkká a starne len umelo [116]. Vytvrdzovanie prebieha pri teplotách 280 až 300 °C. Pevnosť v ťahu vytvrdenej zliatiny presahuje 1200 MPa, tvrdosť 400 HB. Ďalšie zvýšenie pevnosti sa dosiahne tvárnením za studena po ochladení z teploty rozpúšťacieho ohrevu. Použitie berýliových bronzov je dané predovšetkým ich vysokou pevnosťou, tvrdosťou a odolnosťou proti korózii, ktorú tieto zliatiny nestrácajú ani vo vytvrdenom stave. Používa sa pri výrobe pružín, ktoré majú mať dobrú elektrickú vodivosť, tiež pre nástroje ktoré nemajú pri náraze iskriť (banské nástroje), zápustky pre tvárnenie, ložiská atď. Berýliové bronzy sú drahé a v normách STN nie sú zaradené.

Niklové bronzy. Meď a nikel sú vzájomne dokonale rozpustné v tekutom aj v tuhom stave. Binárne zliatiny sú vyrábané s minimálnym obsahom prímiesí. Komplexné zliatiny, ternárne a viaczložkové, sú vytvrditeľné. Niklové bronzy majú dobrú pevnosť pri normálnej aj zvýšenej teplote, dobrú medzu únavy, sú odolné voči korózii aj pod napätím, odolávajú opotrebeniu; majú vysoký elektrický odpor.

Binárne zliatiny Cu-Ni s nízkym obsahom Ni asi do 10 % sa používajú len obmedzene. Sú nahradzované inými a lacnejšími zliatinami medi.

Zliatiny so stredným obsahom Ni (15 až 30 %) majú vysokú odolnosť proti korózii a sú dobre tvárne za studena. Zliatiny s obsahom 15 až 20 % sa používajú pre hlboké ťahanie, zliatiny s 25 % Ni na výrobu mincí a zliatiny s obsahom 30 % Ni v chemickom a potravinárskom priemysle.

Širšie uplatnenie majú komplexné zliatiny. Niklový bronz CuNi30Mn nikelin (STN 42 3064) s 27 až 30 % Ni, 2 až 3 % Mn, zvyšok Cu a nečistoty do 0,6 % sa vyznačuje vysokou pevnosťou a odolnosťou proti korózii aj pri zvýšených teplotách. Nikelin je vzhľadom k svojmu vysokému elektrickému odporu vhodný ako odporový materiál až do 400 °C.

Zliatina CuNi45Mn konštantán (STN 42 3065) so 40 až 46 % Ni, 1 až 3 % Mn, zvyšok Cu a nečistoty do 0,5 % má zo zliatin Cu-Ni najväčší merný elektrický odpor a používa sa ako odporový a termočlánkový materiál.

Najčastejšie sú používané zliatiny Cu-Ni-Fe-Mn, kde prísada železa a mangánu výrazne zlepšuje korózne vlastnosti, predovšetkým v morskej vode a v prehriatej vodnej pare. Zliatina CuNi30 (STN 42 3063), kde obsah Fe je v rozsahu 0,4 až 1,5 % a Mn 0,5 až 1,5 %, sa používa na výrobu kondenzátorov a kondenzátorových trubiiek pre námorné lode. V novších zliatinách býva používaná aj prísada nióbu a tiež sa znižuje obsah niklu vzhľadom na jeho deficitnosť. Príkladom je zliatina CuNi10Ge s 9 až 10 % Ni, 1 až 1,75 % Fe a max. 0,75 % Mn, ktorá sa používa ako kondenzátorový materiál námorných lodí.

5.5 Zliatiny niklu

Nikel je kov bielej farby s kubickou plošne centrovanou mriežkou (K12), bez alotropickej premeny až po teplotu tavenia (1453 °C). Nikel patrí spolu so železom a kobaltom do skupiny feromagnetických kovov. Curieho teplota čistého niklu je 357 °C, pričom poloha Curieho bodu je ovplyvňovaná čistotou niklu (Fe, Co teplotu zvyšujú, ostatné prísady

znižujú). Mechanické vlastnosti niklu sú závislé od čistoty, spracovania a teploty. Merná hmotnosť niklu je 8900 kg/m^3 . Čistý nikel je tvárny, má medzu klzu 150 MPa, pevnosť v ťahu 400 až 450 MPa (v mäkkom stave), ťažnosť 30 až 40 % a tvrdosť HB = 80. Tvárnením za studena sa pevnosť v ťahu zvyšuje až na 1100 MPa, ale znižuje sa ťažnosť na 2 %, tvrdosť je HB = 220. Do teploty 400 °C sa pevnostné vlastnosti niklu takmer nemenia, pri vyšších teplotách rýchlo klesá R_m , $R_{p0,2}$ klesá pomalšie [117]. Čistý nikel je dobre zvarateľný väčšinou komerčných metód. Nikel dobre odoláva korózii v rôznych prostrediach. Z ekonomického hľadiska je prvkom deficitným.

Približne 15 % niklu sa používa na kovové alebo odlievané súčasti predovšetkým v mimoriadne koróznom prostredí. Typické je použitie čistého niklu v potravinárskom a chemickom priemysle a v elektrotechnike. Najväčšia časť niklu (asi 60 %) sa spotrebuje ako prísada v legovaných oceliach a zvyšok tvoria rôzne niklové zliatiny.

Zliatiny niklu sú všeobecne pevnejšie, tvrdšie a húževnatejšie než väčšina zliatin nežeľzných kovov a než rad ocelí. Ich cena je však pomerne vysoká, porovnateľná s cenou akostných nehrdzavejúcich ocelí, ale sú lacnejšie než titánové zliatiny. Použitie týchto zliatin je ekonomicky výhodné, ak sú využité ich vysoké mechanické vlastnosti, predovšetkým pri zvýšených teplotách, alebo vlastnosti chemické, ktoré sú u radu zliatin výhodnejšie než u čistého niklu, ako aj špeciálne fyzikálne vlastnosti.

Konštrukčné zliatiny možno rozdeliť do troch skupín:

- zliatiny pre prácu v bežných podmienkach,
- antikorózne zliatiny,
- žiaruvzdorné a žiarupevné zliatiny.

Konštrukčné zliatiny niklu pre prácu v bežných podmienkach. Pre bežné pracovné podmienky sa niklové zliatiny používajú predovšetkým v štátoch, v ktorých nikel nie je vyslovene deficitným kovom. U nás sa používajú len vo veľmi malej miere.

Nevytvrditel'né konštrukčné zliatiny sa spevňujú tvárnením za studena. Do tejto skupiny patria najmä zliatiny s prísadou Mn, Si a Mo. *Zliatiny Ni-Mn* (2 až 5 % Mn) majú zvýšenú odolnosť pri zvýšených teplotách v oxidačnom alebo redukčnom prostredí, ktoré obsahuje zlúčeniny síry. *Zlievarenské zliatiny Ni-Si* majú vyšší obsah kremíka (9 % Si) a ďalšie prísady ako Cu, Fe, Cr, Co a Mn. Majú rovnako ako *zliatiny Ni-Mo* (až 32 % Mo + ďalšie prísady) vysokú odolnosť v prostrediach viacerých kyselín.

Vytvrdiviteľné konštrukčné zliatiny sa spevňujú precipitačným vytvrdzovaním. V *zliatinách Ni-Be* (cca 2 % Be) sa dosahuje po vytvrdení pevnosť až 1800 MPa pri dostatočnej ťažnosti a bez zníženia koróznej odolnosti. *Zliatiny Ni-Al* so 4,5 % Al majú po precipitačnom vytvrdzovaní pri 590 °C pevnosť až 1350 MPa pri ťažnosti 7 % a tvrdosti 380 HB.

Zliatiny Ni-Cu patria k najrozšírenejším zliatinám niklu a sú známe pod obchodným označením *monely*. Pôvodne sa vyrábali priamo z rúd obsahujúcich oba prvky v pomere asi 2 : 1 (Kanada). Súčasné monely obsahujú 29 až 32 % Cu, prípadne niektorých ďalších kovov, ako Si, Mn, Fe, Al. Jednoduché zliatiny sa spevňujú tvárnením za studena, zliatiny s prísadou Al sú vytvrdiviteľné a vôbec najväčšie pevnosti sa dosahujú kombináciou deformácie a vytvrdzovania. Rozpúšťacie žihanie sa uskutočňuje pri 780 až 800 °C a umelé starnutie pri 520 až 540 °C. Môže sa dosiahnuť široký rozsah mechanických vlastností, napr. pevností od 500 do 1400 MPa. Jednoduché monely sa uplatňujú tam, kde sa požaduje súčasne vysoká pevnosť aj korózna odolnosť. Vyrábajú sa z nich ventily, čerpadlá, propelery, námorné komponenty, chemické zariadenia a tepelné výmenníky. Komplexné monely sú vhodné aj na použitie pri vyšších teplotách.

Antikorózne zliatiny niklu. Pre najťažšie korózne podmienky, pre ktoré iné materiály nevyhovujú koróznou odolnosťou (oceľ), mechanickými vlastnosťami (olovo, nekovové materiály) alebo extrémne vysokou cenou (tantal, titán) sa používajú antikorózne zliatiny niklu. Aj tieto materiály sú však veľmi drahé a surovinovo náročné. Majú vysokú pevnosť, ale väčšina z nich má len obmedzenú schopnosť deformácie za studena. S rôznymi obmenami chemického zloženia sa vyrábajú vo viacerých štátoch pod rôznymi názvami. Pridržíme sa najrozšírenejších názvov podľa pôvodných výrobcov (Haynes Co. a International Nickel Co.). Pre redukčne pôsobiace prostredia boli vyvinuté *zliatiny Ni-Mo*. Východiskovým vývojovým typom bola zliatina NiMo20Fe20 označená ako *Hastelloy A*, z ktorej vznikol znížením obsahu Fe pod 10 % a zvýšením obsahu molybdénu na 30 % zlepšený typ *Hastelloy B*. Je určený pre neoxidujúce prostredia. Používa sa napr. na nádrže pre morenie v HCl alebo H₂SO₄. Pre oxidačné prostredia boli vyvinuté *zliatiny Ni-Mo-Cr*. Je v nich znížený obsah Mo (zabezpečuje odolnosť v redukčnom prostredí) a doplnená prísada Cr, ktorá zabezpečuje pasivačnú schopnosť zliatiny. Typickým predstaviteľom je zliatina NiMo18Cr16, označovaná ako *Hastelloy C*. Má nižšiu koróznou odolnosť v kyseline chlorovodíkovej, je však univerzálnejšia a použiteľná v redukčnom aj oxidačnom prostredí. Žiadny z uvedených typov zliatin neodoláva

kyseline sírovej v celom rozsahu koncentrácií a teplôt (až do varu). Pre tento účel slúžia *zliatiny Ni-Si-Cu*. Konkrétne *Hastelloy D* je zliatina $\text{NiSi}_{10}\text{Cu}_4$ a jej korózna odolnosť je založená na ochrannom pôsobení sulfátového filmu na povrchu zliatiny. Tento sulfátový film vzniká účinkom kyseliny sírovej. *Inconel* sú antikorózne *zliatiny Ni-Cr* (min. 72 % Ni, 15 % Cr, 8 % Fe). Uplatňujú sa hlavne u súčastí namáhaných za tepla, v prostrediach, ktoré obsahujú voľné halové prvky.

Žiaruvzdorné a žiarupevné zliatiny niklu. Žiaruvzdorné a žiarupevné zliatiny niklu sú vysokopevné konštrukčné materiály používané tam, kde nepostačujú svojimi vlastnosťami špičkové žiarupevné ocele. Sú teda určené pre prevádzkové teploty nad 750 °C. Je vyvinutý celý rad typov (pre rôzne namáhanie a prevádzkové teploty). Vývoj týchto zliatin bol motivovaný predovšetkým vývojom spaľovacích turbín a potrebou pracovať so stále vyššími vstupnými teplotami spalín (najmä u najexponovanejších súčastí, ako sú obežné lopatky). Po vyčerpaní možností ocelí sa pozornosť nakoniec obrátila k zliatinám niklu (V. Británia) a zliatinám kobaltu (USA). Britské zliatiny dostali označenie *Nimonic* a stali sa východiskom pre vývoj v ďalších krajinách. Pre najvyššie tepelno-pevnostné podmienky sa dnes ako konštrukčné materiály používajú komplexne legované vytvrditeľné zliatiny niklu, označované pre svoje vlastnosti *superzliatiny*. Porovnanie žiarupevnosti niklových superzliatin a žiarupevných ocelí vyplýva z obr. 5.21.

Obr. 5.21. Závislosť medze pevnosti pri tečení od teploty pre žiarupevné ocele a niklové zliatiny

Chemické zloženie niklových superzliatin. Niklové superzliatiny predstavujú z hľadiska chemického zloženia pomerne rozsiahlu skupinu komplexne legovaných zliatin. Zložitosť legovania základnej niklovej matrice veľkým počtom prvkov (z nich viaceré sú vo veľmi malých množstvách) nie je výsledkom presne zistených vplyvov jednotlivých prvkov na štruktúru a vlastnosti konkrétnej zliatiny, ale vychádza predovšetkým z empirických poznatkov. Napriek tomu je možné vymedziť aspoň základné charakteristiky týchto zliatin z hľadiska chemického zloženia a vplyvu jednotlivých legujúcich prvkov. Hlavné prísady v niklových superzliatinách možno rozdeliť do 4 skupín:

- *chróm*, ktorý sa sčasti rozpúšťa v matrici, sčasti sa zúčastňuje na tvorbe komplexných karbidov; zásadný význam má najmä Cr rozpustený v γ -fáze; je totiž základným prvkom, ktorý zvyšuje žiaruvzdornosť niklových superzliatin;
- *kobalt*, ktorý sa rozpúšťa substitučne v nikli a jeho základný význam spočíva v tom, že zvyšuje žiarupevnosť niklových zliatin (zvyšuje rekryštalizačnú teplotu);
- *hliník a titán*, ktoré vytvárajú s niklom intermetalické precipitáty $Ni_3(Al, Ti)$ a umožňujú tak vytvrditeľnosť niklových superzliatin;
- *molybdén a volfrám*, ktoré substitučne spevňujú maticu a tvoria karbidy, ktoré zvyšujú žiarupevnosť.

Podobne ako Co sa chová aj Fe, má však negatívny vplyv na žiaruvzdornosť a náchylnosť ku krehnutiu (vznik σ - fázy). Podobný účinok ako Al a Ti má Nb; k skupine obsahujúcej Mo a W je ešte možné priradiť Ta. Okrem uvedených legúr obsahujú niklové superzliatiny aj malé množstvo ďalších prísad. Ide o prvky, ktoré brzdia difúziu ostatných prvkov v oblasti hraníc zŕn, bránia tým vzniku karbidických filmov a ochudobneniu priľahlých oblastí o spevňujúce prísady (B, Zr, Hf). Tým sa znižuje nebezpečenstvo vzniku trhliniek a predčasných krehkých lomov. Ďalšie používané mikroprísady (La, Ce, Y) zvyšujú žiaruvzdornosť.

Príklady chemického zloženia superzliatin niklu sú uvedené v tab. 5.14. Z uvedených britských zliatin je Nimonic 80 určený pre teploty okolo 750 °C. Má pevnosť v ťahu pri 20 °C 800 až 1100 MPa, pri 700 °C ešte 740 MPa. Pre vyššie teploty majú zliatiny Nimonic vyšší obsah Al a Ti a sú navyše legované kobaltom. Zliatinu Nimonic 100 je možné použiť pri 900 °C (aj vyššie). Má pevnosť pri 20 °C 1280 MPa, pri 700 °C 1060 MPa a pri 900 °C ešte 410 MPa. Medzi najvýkonnejšie niklové zliatiny vôbec patrí Nimonic 118. České zliatiny zhruba odpovedajú zliatinám Nimonic (AKN 21 zodpovedá Nimonic 80, AKN 30 zliatine Nimonic 95). Obdobné liate niklové zliatiny sa vyrábajú pod označením LVN (LVN 3, 4, 5 a 9; nová zliatina LVN 10 a vo vývoji LVN 11), z ktorých je v tab. 5.9 uvedená LVN 9. Jej vlastnosti sú porovnateľné s ruskou zliatinou ŽS6K. Pokrýva oblasť pracovných teplôt do 900 °C a používa sa na presne liate lopatky leteckých turbín a obežné a rozvodové kolesá výfukových turbín pre pohon preplňovacích dúchadiel. Z ruských zliatin bola ako prvá vyvinutá modifikácia britskej zliatiny Nimonic 80 (pod značkou EI 437), ktorá bola neskôr zlepšená mikroprísadou bóru (značka EI 437 B - tab. 5.14). Druhou vývojovou skupinou boli zliatiny na báze Ni-Cr-Ti-Al, prípadne s prísadou W a Mo (EI 617, EI 826, EI 598), ktoré sú úspornejšie legované v porovnaní so špičkovými zliatinami (náhrada Mo volfrámom a vylúčenie deficitného kobaltu). Špičkové ruské zliatiny ovšem kobalt obsahujú v množstve 5 až 14 %. Zliatina EI 929 (tab. 5.14) je svojimi vlastnosťami pri vysokých teplotách porovnateľná s tvárnenými zliatinami, ktoré obsahujú 20 až 28 % Co.

Tab. 5.14

Príklady chemického zloženia superzliatin niklu

Zliatina	Chemické zloženie, %								
	C	Cr	Co	Ti	Al	W	Mo	Fe	Iné
NIMONIC 80	max. 0,1	20	max. 2	2,2	1,1	-	-	max.5	
NIMONIC 100	max. 0,3	11	20	1,5	5	-	5	max. 2	
NIMONIC 118	max. 0,2	15	15	4	5	-	4	max. 1	B,Zr
LVN 9	0,1	10	3,5	2,8	5,3	5	3,5	-	B, Zr
EI 437 B	max. 0,07	21	-	2,6	0,8	-	-	max.1	Ce, B
EI 929	max. 0,12	11	14	1,7	4	5,5	-	max.5	V, Ba, B

ŽS6K	0,16	11,5	4,5	2,8	5,5	5	4	max.2	B
------	------	------	-----	-----	-----	---	---	-------	---

Mikroštruktúra niklových superzliatin. Základnou štruktúrnou zložkou (matricou) superzliatin v liatom stave je fáza γ , t. j. tuhý roztok prísad v nikli. Na spevňovaní matrice sa podieľa fáza γ' , karbidy a u niektorých zliatin aj ďalšie spevňujúce fázy, ako boridy a pod. Fáza γ' je obvykle popisovaná ako intermetalická zlúčenina $Ni_3(Al,Ti)$. Je to intermetalická zlúčenina s kubickou plošne centrovanou mriežkou. Vysoký stupeň podobnosti jej mriežky s mriežkou tuhého roztoku γ vedie k dlhotrvajúcemu koherentnému vytvrdeniu. Okrem Ti a Al môže obsahovať prvky, ktoré nahradzujú Ni, a to: Mo, Co, Cr a Fe. Morfológia γ' fázy (globulitická, kubická, bunkovitá), ktorá výrazne ovplyvňuje výsledné vlastnosti superzliatiny, je daná jej chemickým zložením a tepelným spracovaním [118].

Karbidy sa v mikroštruktúre niklových superzliatin vylučujú vo viacerých alternatívach. S istým zjednodušením možno hovoriť o troch základných skupinách: MC, $M_{23}C_6$ a M_6C . Karbid MC sa vyskytuje v blokoch alebo v tvare "čínskeho písma", väčšinou vo vnútri zŕn. Vytvára ho predovšetkým Ti; čiastočne sa v ňom rozpúšťajú Mo a W. Karbid $M_{23}C_6$ sa vylučuje na hraniciach zŕn. Je typickým komplexným karbidom. Základným prvkom je Cr, ktorý môže nahrádzať Mo, W, Fe, Ni, Co. Karbid M_6C vzniká v zliatinách obsahujúcich vyšší podiel Mo a W. Je typickým komplexným karbidom, ako bolo uvedené v základnej alternatíve ternárnym $(Mo,W)_6C$. Atómy Mo a W môžu byť sčasti nahradené atómami Fe, príp. Cr, Co, Ni. Karbidom MC a $M_{23}C_6$ sa pripisuje účasť na karbidických reakciách za vysokých teplôt, pri ktorých sa tvoria nové objemy fázy γ podľa schémy:



Tieto karbidické reakcie porušujú prípadnú rovnováhu medzi fázami γ a γ' . Podľa základných predstáv o mikroštruktúre sa nachádzajú častice MC vo vnútri zŕn, zatiaľ čo $M_{23}C_6$ na ich hraniciach v retiazkovitom usporiadaní. Blokovaná (nesúvislá) štruktúra týchto karbidov sa považuje za dôležitú pre húževnatosť zliatiny. Retiazkovito vylúčené karbidy na hraniciach zŕn zvyšujú odolnosť proti tečeniu, pretože brzdia sklzy na hraniciach zŕn. Finálna štruktúra po tepelnom spracovaní zodpovedá niektorej zo štyroch vývojových alternatív, schematicky znázornených na obr. 5.22.

Obr. 5.22. Schéma vývoja mikroštruktúr superzliatin niklu

Ako dôsledok pôsobenia vysokej teploty a napätia sa niekedy vytvárajú v superzliatinách nežiaduce fázy. Tieto fázy znižujú mechanické vlastnosti zliatiny, sú krehké, tvrdé, a preto sú iniciátormi lomu. Nežiaduce fázy viažu vysoký obsah žiaruvzdorných prvkov, tým ochudobňujú maticu a znižujú žiaruvzdornosť. Medzi nežiaduce fázy zaradíme predovšetkým σ - fázu, ktorej chemické zloženie možno vyjadriť vzorcom A_xB_y , konkrétne $(Cr,Mo)_x(Fe,Ni)_y$. Môže precipitovať v Ni-zliatinách v teplotnej oblasti 650 – 925 °C. Je to intermetalická zlúčenina, tvorená prechodnými kovovými prvkami a má tetragonálnu mriežku. Vyskytuje sa v zliatinách s vyšším obsahom ako 5 % Co. Mechanické vlastnosti zliatiny závisia od formy a rozloženia σ - fázy. Veľmi nepriaznivé je jej ihlicovité vylúčenie na hraniciach zrn. Ďalej sú v štruktúre nežiaduce Lavesove fázy A_2B , konkrétne $(Fe,Cr,Mn,Si)_2(Mo,Ti,Nb)$. Kryštalizujú v hexagonálnej sústave. Ich výskyt je pravdepodobnejší v zliatinách s vyšším obsahom Fe.

Tepelné spracovanie niklových superzliatin. Požadovaná finálna štruktúra sa dosahuje vytvrdzovaním. Po tomto tepelnom spracovaní sú vlastnosti zliatin výsledkom kombinácie spevnenia legovaním (substitučne rozpustené atómy), precipitačného a disperzného vytvrdenia. Princíp vytvrdzovania je pomerne jednoduchý. Prvou operáciou je rozpúšťacie žíhanie. Pomerne vysokú teplotu ohrevu umožňujú karbidy typu M_6C a M_7C_3 , primárne uložené väčšinou na hraniciach zrn, zabraňujúce zhrubnutiu štruktúry počas

ohrevu. Rozpúšťacím ohrevom (po určitom zotrvaní na teplote) sa získa presýtený roztok γ , ktorý sa v ďalších tepelných operáciách rozpadá precipitáciou (starnutím). Starnutím predovšetkým vzniká precipitát γ' , ktorý býva obvykle koherentný s mriežkou matrice γ . Súčasne sa vylučujú karbidy. Prevládajúcou reakciou u väčšiny zliatin je vznik karbidov $M_{23}C_6$ na hraniciach zrn. K vylučovaniu fázy γ' dochádza bežne už pri ochladzovaní z teploty rozpúšťacieho žihania. Napr. u zliatiny LVN 10 nie je možné zabrániť vylúčeniu γ' ani rýchlym ochladením. U iných zliatin sa vylúčenie γ' dosiahne v priebehu starnutia. Konkrétna voľba technologických parametrov závisí od chemického zloženia superzliatiny. Voľba teploty rozpúšťacieho žihania (a zotrvania) na teplote závisí predovšetkým od teploty rozpustnosti fáz (prítomných v liatom stave) v tuhom roztoku γ . Pohybuje sa medzi 1040 a 1200 °C; zotrvanie na teplote okolo 4 h. Teploty starnutia sa pri rozličných zliatinách pohybujú v intervale 600 až 1000 °C. Starnutie býva v rade prípadov dvojstupňové, 1. stupeň vždy pri vyššej teplote (napr. 950 °C) a 2. stupeň pri nižšej teplote (napr. 750 °C). Zotrvanie na teplote starnutia obvykle prevyšuje 15 h.

5.6 Zliatiny kobaltu

Kobalt je polymorfný kov, ktorý sa svojimi vlastnosťami podobá na železo. Jeho merná hmotnosť je 8900 kg.m⁻³, teplota tavenia 1495 °C. Kryštalizuje v dvoch alotropických modifikáciách: nízkoteplotnej α s mriežkou hexagonálnou tesne usporiadanou (H12) a vysokoteplotnej β s mriežkou kubickou plošne centrovanou (K12). Teplota alotropickej premeny je 417 °C.

Kobalt je prvkom feromagnetickým a teplota Curieho bodu je 1120 °C. Čistý kobalt sa takmer nepoužíva. Je v celosvetovom meradle kovom veľmi deficitným.

Kobaltové zliatiny majú veľmi dobrú koróznou odolnosť a vysokoteplotné creepové vlastnosti. Zliatiny kobaltu našli uplatnenie ako materiály magneticky tvrdé. Ako konštrukčné a nástrojové materiály sa používajú najmä zliatiny odolné proti opotrebeniu (pre technické aplikácie i medicínske účely) a zliatiny žiarupevné a žiaruvzdorné (superzliatiny).

Stelity sú polykomponentné liate zliatiny, vyznačujúce sa vysokou odolnosťou proti opotrebeniu a korózii aj za vyšších teplôt. Vyznačujú sa vysokou tvrdosťou pri normálnej teplote (600 HB = 59 až 68 HRC) i pri

teplotách nad 600 °C (pri teplote 900 °C až 200 HB) a sú označované ako *zliatiny s vysokou tvrdosťou*. Pri teplote nad 600 °C majú vyššiu tvrdosť než rýchlorezné ocele a ich opotrebenie pri vyšších teplotách je menšie než u rýchlorezných ocelí. Konvenčné stelity typu Co-Cr-W-C obsahujú vždy okolo 30 % chrómu, volfrámu od 4 do 17 % a uhlíka od 1 do 3,7 %. V štruktúre majú karbidy M_7C_3 a v malom množstve M_6C_3 , bázu tvorí tuhý roztok chrómu a volfrámu v kobalte. Množstvo karbidov M_7C_3 a závisí od obsahu chrómu, volfrámu a uhlíka.

Obr. 5.23. Mikroštruktúra stelitu Co28Cr4W1,1C odlievaného do pieskovej formy (a) a tvárneného (b) [97]

Na obr. 5.23 sú prezentované mikroštruktúry stelitu Co28Cr4W1,1C odliateho do pieskovej formy (obr. 5.23a) a tvárneného (obr. 5.23b). Počas kovania pri vysokých teplotách dochádza ku koalescencii karbidov a v dôsledku toho sa získava veľmi homogénne rozloženie globulárnych karbidov v tuhom roztoku. Tvrdosť stelitov závisí v prvom rade od tvrdých karbidov Cr_7C_3 (okolo 1600 HV), ich tvaru, disperzity a rozloženia. Na druhej strane ich odolnosť proti opotrebeniu závisí nielen od karbidov, ale tiež od zloženia tuhého roztoku.

Stelity patria do tej skupiny materiálov, ktorých odolnosť proti oteru závisí od tvrdosti zliatiny. Všeobecne sa predpokladá, že matematické vyjadrenie oteruvzdornosti stelitov vychádza zo závislosti:

$$V = kPl/H, \quad (5.2)$$

kde V je objem treného materiálu, P - zaťaženie, l - je dĺžka styku skúmanej vzorky s protivzorkou, H - tvrdosť. Koeficient k závisí predovšetkým od metódy merania a má najčastejšie hodnotu od 10^{-4} do 10^{-5} .

Tvrdosť stelitov závisí od obsahu uhlíka a jeho pomeru k obsahu bóru. Sklon k znižovaniu tvrdosti s nárastom teploty závisí predovšetkým od obsahu volfrámu a molybdénu.

Stelity charakterizuje veľmi dobrá odolnosť proti oxidácii a korózii. Stelity sú najviac odolné proti pôsobeniu kyseliny sírovej, fosforečnej a organických kyselín, ale ich odolnosť je ohraničená pri pôsobení kyseliny soľnej a dusičnej, najmä pri zvýšených teplotách.

Všetky stelity sú zvärateľné a používajú sa k naváraniu tvrdých, proti korózii odolných vrstiev (napr. na hlavy ventilov spaľovacích motorov). Sú ťažko obrábateľné, ale brúsením je možné dosiahnuť vysokú hladkosť povrchu. Obrábanie stelitov sa najčastejšie robí náradím zo spekaných karbidov. Stelity sa predovšetkým používajú na nemazané časti strojov, ktoré vyžadujú odolnosť proti opotrebeniu pri zvýšených teplotách.

Implantáty na báze kobaltu. V päťdesiatych rokoch sa na stomatologické odliatky začala používať zliatina kobaltu, nazývaná *Vitalium*, obsahujúca 65 % Co, 27 % Cr, 6 % Mo a 2 % Ni. Táto zliatina neskôr (po nevelkej modifikácii chemického zloženia) našla použitie na výrobu implantátov, predovšetkým v odlievaní endoprotéz na trvalé zastupovanie opotrebovaných častí ľudského organizmu. V súčasnosti sú bedrové endoprotézy vo viacerých krajinách vyrábané zo zliatin kobaltu Co-Cr-Mo.

Kobaltové superzliatiny. Najväčšie množstvo kobaltu bolo v ostatných desaťročiach použité v USA na výrobu žiarupevných a žiaruvzdorných zliatin, nazývaných superzliatiny. Superzliatiny sa v podstate nelíšia svojim chemickým zložením od stelitov. Rozdiel je v ich použití. Prototypom superzliatin bola opäť zliatina *Vitalium* (v danom prípade obsahujúca 0,4 % C, 30 % Cr, 5 % Mo, 2 % Ni). Pre svoju odolnosť proti korózii a dobré zlievarenské vlastnosti sa rozšírila oblasť jej použitia najskôr na lopatky plynových turbín a s ohľadom na vynikajúcu žiarupevnosť a žiaruvzdornosť sa v súčasnosti používa na výrobu vysoko zaťažených prvkov v kozmickom priemysle, v leteckom priemysle – v prúdových motoroch na lopatky turbín a riadiace lopatky, spaľovacie komory atď.

V tabuľke 4.15 je uvedené chemické zloženie kobaltových superzliatin, vyrábaných v súčasnosti v USA. Ako vyplýva z tab. 5.15 superzliatiny sa odlišujú od zliatiny *Vitalium* predovšetkým náhradou molybdénu volfrámom a eventúalnym prídavkom bóru, tantalu a zirkónu. Vyšší obsah niklu vyplýva výlučne zo snahy ušetriť kobalt.

Tab. 5.15

Superzliatiny na báze kobaltu [97]

Označenie superzliatiny	Obsah prvkov, hmot. %								
	C	Cr	Ni	W	B	Ta	Zr	Iné	Co
X40	0,5	26,5	10,5	7,5	0,01	-	-		zvyšok
X45	0,75	26,5	10,5	7,0	0,01	-	-		zvyšok
FSX414	0,35	29,52	10,5	7,0	0,01	-	-		zvyšok
FSX418	0,35	9,5	10,5	7,0	0,01	-	-	0,15 Y	zvyšok
MM302	0,85	21,5	-	10,0	0,005	9,0	0,2		zvyšok
MM509	0,60	21,5	10,0	7,0	-	3,5	0,5	0,2 Ti	zvyšok
W152	0,45	21,0	-	11,0	-	-	-	2,0 Nb	zvyšok

Štruktúra týchto zliatin sa skladá z fázy β , ktorá je tuhým roztokom stopových prvkov v kobalte s mriežkou kubickou plošne centrovanou (K12). Tuhý roztok je spevnený disperznými časticami karbidov M_7C_3 , $M_{23}C_6$ a tiež MC, ak je prítomný tantal. Karbidy M_7C_3 môžu byť pri väčších obsahoch uhlíka zložkami eutektík.

Podobne ako u superzliatin niklu predstavujú ďalší vývojový stupeň monokryštalické lopatky leteckých motorov, pripravené riadenou kryštalizáciou. Chemické zloženie superzliatin tzv. monokryštalických na báze kobaltu sa líši od polykryštalických len vylúčením prvkov, ktoré stabilizujú hranice, ako je uhlík, bór alebo zirkón. Monokryštalické lopatky vyrobené zo superzliatin na báze kobaltu boli v roku 1982 použité pri stavbe turbín v lietadlách Boeing 767 a Airbus A 310.

Ďalším krokom v rozvoji technológie častí vyrábaných zo superzliatin je zavedenie ochranných keramických vrstiev z korundu Al_2O_3 alebo oxidu zirkónu ZrO_2 . Takéto vrstvy o hrúbke 0,2 mm sa nanášajú plazmovo alebo vákuovo pri nahrievaní prúdom elektrónov.

5.7 Ostatné zliatiny neželezných kovov

Lahkotaviteľné kovy. Medzi ľahkotaviteľné kovy zaradujeme kovy s teplotou tavenia do 600 °C. *Ga, In, Sn, Pb, Bi, Sb, Zn a Cd* ako konštrukčný materiál majú v technicky čistej forme alebo ako základ zliatin,

menší alebo väčší význam. Väčšina ľahkotavitelných kovov sa používa na pokovovanie.

Gálium je kov namodralej farby (s jasne vyvinutými kryštálmi na lome) s nízkou teplotou topenia (29,7 °C). Polykryštalické gálium je pomerne krehké, ako monokryštál je však dobre tvárne. Svojimi chemickými vlastnosťami sa gálium podobá hliníku. Gálium s vysokou chemickou čistotou sa rozpúšťa len veľmi pomaly v organických kyselinách. Horúca kyselina dusičná rozpúšťa ochrannú kysličníkovú vrstvu. Gálium sa ľahko rozpúšťa v lúčavke kráľovskej, hydroxide sodnom alebo draselnom. Rovnako naň pôsobia halogény, s ktorými sa priamo zlučuje. Technické použitie gália je veľmi obmedzené (vysoká cena), aj keď jeho zvláštne fyzikálne vlastnosti sú predmetom neustáleho štúdia. Jeho hlavné uplatnenie je v modernej elektrotechnike. Používa sa ako polovodič popri germániu a kremíku, kde sa používajú niektoré jeho zlúčeniny s vysokou čistotou, najmä pri zvýšených teplotách a vyššej frekvencii. Stále väčšie množstvo gália sa používa v konštrukcii slnečných batérií. Niektoré jeho zlúčeniny majú dobré supervodivé vlastnosti. Aj keď sa gálium ľahko zlieva takmer so všetkými kovmi, použiteľných zliatin je v technickej praxi pomerne málo. Známe sú len niektoré dentálne zliatiny s prísadou gália až 36 % [89].

Indium je striebriсто lesklý kov s teplotou topenia 156,4 °C. Indium je veľmi tvárny, veľmi mäkký kov, ktorého tvrdosť je nižšia ako tvrdosť olova. Rekryštalizuje už pri normálnej teplote, a preto je možné aj veľmi intenzívne tvárnenie, bez toho, aby sa spevnil. Mechanické vlastnosti závisia od jeho čistoty. Indium s čistotou 99,9 % má tvrdosť HB = 0,9, jeho pevnosť je približne 2,6 MPa, ťažnosť je 22 % (na dĺžke 25 mm). Na vzduchu je indium stále, po ohreve na vyššiu teplotu sa slabo okysličuje; v roztavenom stave sa okysličuje veľmi intenzívne a pri väčšom prehriatí sa ľahko vznieti. Najviac india sa spotrebuje na pokovovanie ložísk pre veľmi namáhané ložiská leteckých a naftových motorov.

V praxi používané zliatiny india sa opierajú o štúdium podvojných [105] i potrojných sústav. Najväčší význam majú nízkotavitelné zliatiny. Prísada india znižuje teplotu topenia Woodovho kovu prakticky lineárne o 1,45 °C na každé percento india až do 19,1 %, kde sa dosahuje teplota 47 °C. Veľmi nízku teplotu topenia 16 °C má eutektikum sústavy In-Ga s 24 % In. Zliatina s 50 % In a 50 % Sn v roztavenom stave zmáča sklo a používa sa na vákuové tesnenie a spoje skla. Indium a jeho zliatiny priľnú dobre k mnohým kovom aj nekovom. Preto sa veľmi používajú nízkotavitelné spájky In-Cu-Ag a In-Cu-Au na spájanie zliatin zlata. Používa sa tiež zlatá

spájka s 20 % In, ktorej likvidus je pri 700 °C a ktorá dobre zabieha. Prísada india zvyšuje pevnosť a tvrdosť zlata, čo sa využíva u dentálnych zliatin. Indium tvorí niektoré, z hľadiska modernej techniky dôležité zlúčeniny. Sú to oxidy, teluridy a sulfidy používané ako polovodiče, termistory, fotobunky a pod.

Cín. Z kovov, všeobecne používaných v technickej praxi, patrí cín k najdrahším a v súčasnej dobe patrí medzi deficitné kovy. Cín je polymorfný kov striebristo bielej farby s teplotou tavenia 232 °C. Obvyklou modifikáciou cínu je modifikácia β s tetragonálnou mriežkou, ktorá je stála do teploty 13,2 °C. Prekryštalizačná schopnosť modifikácie β na α je malá, preto je možná len pri veľkom podchladení (pri teplote hlboko pod 0°C). Nízkotepelná modifikácia α (kubická mriežka s diamantovým usporiadaním) má podobu sivého prášku a v technickej praxi je takmer neznáma a význam má len tam, kde premena cínu $\beta \rightarrow \alpha$ ohrozuje cínové výrobky [90]. Ide o tzv. cínový mor, ktorý za hlbokých mrazov napadá organové píšľaly.

Cín dobre odoláva atmosférickým vplyvom, a preto sa najviac využíva k ochrane kovov, predovšetkým pocínovanie plechov [91].

Zinok je nepolymorfný kov (mriežka H12) na modravej farby (na vzduchu stráca svoj lesk a zosivie) s teplotou topenia 419 °C. Má dobré zlievarenské vlastnosti, odoláva dobre atmosférickej korózii. Používa sa predovšetkým na povrchovú ochranu (pozinkovanie) plechov, drôtov a pásov; časť potom na výrobu mosadzí a zliatin na báze zinku.

Bizmut, antimón a kadmium majú ako technicky čisté menší význam a používajú sa predovšetkým ako prísadové prvky a na výrobu zliatin. Čistý bizmut sa používa pri výrobe atómovej energie ako chladiace médium. Zliatiny Bi-V, Bi-Th sa používajú ako palivo pre atómové reaktory. Antimón sa používa predovšetkým na výrobu zliatin s nízkou teplotou topenia a menšia časť sa využíva na pokovovanie medi a mosadzí. Veľmi čisté kadmium sa používa v atómových reaktoroch na reguláciu jadrových reakcií. Zliatiny kadmia majú technické využitie predovšetkým ako spájky a zliatiny s nízkou teplotou topenia.

Olovo je mäkký ťažký kov modrosivej farby, s teplotou topenia 327,4 °C. Má dobrú koróznú odolnosť v mnohých kyselinách; na zlepšenie mechanických vlastností môže byť legované striebrom ($\approx 1\%$), antimónom, vápnikom a cínom. Používa sa najmä v chemickom strojárstve, na armatúry a potrubia, ale nie v potravinárstve, lebo je jedovaté. Vzhľadom na odolnosť

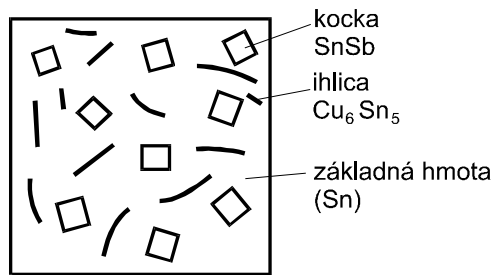
olova proti vlhkosti sa používa aj na opláštenie káblov. Veľké je využitie olova aj pri výrobe akumulátorov.

Zliatiny ľahkotaviteľných kovov. Ľahkotaviteľné kovy tvoria medzi sebou najčastejšie jednoduché sústavy s eutektikami, ktoré majú v zliatinách veľký podiel a určujú ich vlastnosti. Jednotlivé kovy sa od seba navzájom líšia typom kryštalickej mriežky a kubická plošne centrovaná mriežka, typická pre ostatné kovy, je u tejto skupiny kovov (okrem olova) výnimkou. Zn, Cd a Tl kryštalizujú v hexagonálnej tesne usporiadanej mriežke a ostatné kovy potom v sústavách u kovov málo obvyklých. Tieto kovy preto len výnimočne tvoria medzi sebou tuhé roztoky (Sb-Bi v celom rozsahu koncentrácií; In-Tl v obmedzenom rozsahu). Najdôležitejšie zliatiny môžeme rozdeliť na kompozície, mäkké spájky a ľahkotaviteľné zliatiny.

Kompozície sú zliatiny na vylievanie ložiskových panví. Ložiskové kovy sa všeobecne zvolia podľa špecifických tlakov a klznej rýchlosti. Pre malé rýchlosti (do $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) a malé špecifické tlaky (do $0,5 \text{ MPa}$) vyhovujú dobre mazané liatinové panvy. Pre najväčšie špecifické tlaky a rýchlosti do $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ sa uplatňujú olovené bronzy. Kompozície sa osvedčujú ako vhodný materiál pre veľké rýchlosti a stredné špecifické tlaky (do 12 MPa). Preto sú dôležité najmä ako ložiskové kovy pre rôzne dopravné prostriedky.

Na materiál na vylievanie ložiskových panví kladieme pomerne protichodné požiadavky: dostatočnú odolnosť proti opotrebeniu, predpísaným tlakom a rýchlosti, na druhej strane však vyžadujeme, aby ložiskový kov bol mäkkší ako hriadeľ, aby sa mu rozmerovo prispôbil a opotrebenie bolo čo najmenšie. Týmto požiadavkám kompozície vyhovujú veľmi dobre. Ich zloženie sa zvolí tak, aby v mäkkej základnej hmote boli uložené potrebné mäkké fázy. Kompozície majú ďalej prednosť v tom, že zabraňujú privareniu panvy na hriadeľ pri nadmernej rýchlosti alebo tlaku (kompozícia sa teplom vznikajúcim trením roztaví).

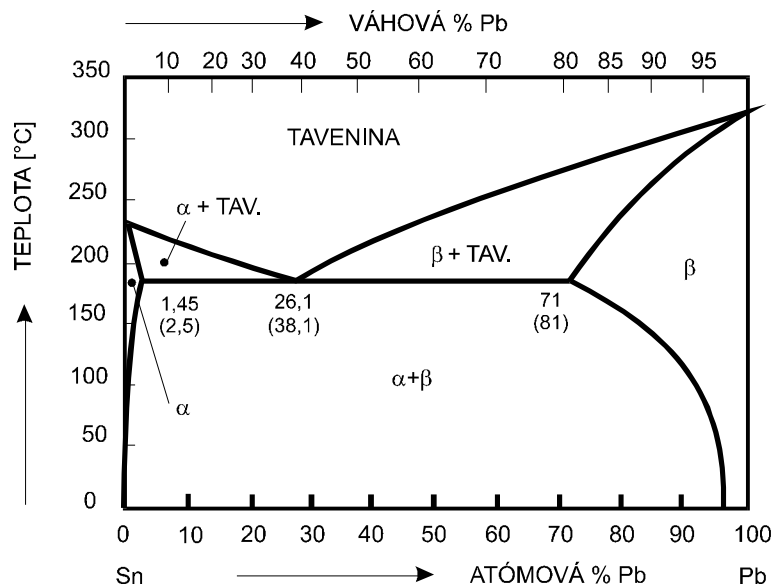
Cínové kompozície obsahujú Sn, Sb a Cu. Jednotlivé zložky vytvárajú dôležité intermetalické fázy Cu_6Sn_5 a SnSb. Fáza Cu_6Sn_5 , vylučujúca sa pri kryštalizácii ako prvá formou ihlíc, prestupuje taveninu ako sieťovina. Počas ďalšieho ochladzovania taveniny pri vylievaní panvy sa vylučujú kubické kryštály SnSb, ktoré sú ľahšie ako tavenina. Ich vyplávaniu na povrch zabraňuje sieťovina Cu_6Sn_5 , a preto sú dosť rovnomerne rozložené po celom objeme. Sieťovina Cu_6Sn_5 pri vonkajšom namáhaní sa ľahko drví a vo vznikajúcich priehlbniach sa potom dobre udržiava mazadlo. Obidve uvedené intermetalické fázy sú tvrdé a po stuhnutí sú uložené v mäkkom základe, ktorý tvorí Sn (obr. 5.24).



Obr. 5.24. Schéma štruktúry cínovej kompozície

Olovené kompozície sú zliatiny Pb-Sb s prísadou jedného alebo viacerých ďalších kovov, predovšetkým Sn, Cu. Tvrdosť antimónu je 30 HB a olova cca 3 HB. Oba kovy spolu tvoria eutektikum, kedy zliatiny podeutektické a eutektické sú mäkké a pri použití tejto zliatiny ako ložiskového kovu sú vhodné len zliatiny nadeutektické, ktoré obsahujú 16 až 18 Sb. Kubické kryštály Sb (tvrdá fáza) sú uložené v eutektiku, ktoré tvorí mäkký základ. K týmto zliatinám sa pridáva malé množstvo medi (1 až 1,5 %), ktoré s antimónom tvorí tvrdú zlúčeninu Cu_2Sb zvyšujúcu tvrdosť ložiska. Pri zvýšených teplotách sa znižuje tvrdosť tejto kompozície, a preto je možné ju použiť do pracovnej teploty 60 °C. Vlastnosti olovených kompozícií sa zlepšujú prísadou cínu obvykle od 2 do 10 % (môže dosiahnuť i 20 %) a malou prísadou medi (max. 0,5 %). Je možné pridať tiež malú prísadu niklu a arzenu (do 1 %), kedy je kompozícia síce krehká, ale môže byť použitá pri vyšších teplotách a vysokých tlakoch. Oloveným kompozíciám s prísadou cínu sa niekedy dáva prednosť pred cínovými kompozíciami [92] a používajú sa na výstelky ložísk strojov, s prísadou Ni a As sa používajú na namáhané ložiská a ložiskové panvy, napr. železničných vozidiel.

Mäkké spájky sú väčšinou binárne zliatiny Pb-Sn (obr. 5.25) s nízkou teplotou tavenia a dobrou schopnosťou spájať niektoré kovy a zliatiny (Cu, zliatiny Cu, Zn, Pb, ocele a ďalšie). Technicky dôležité sú spájky pokrývajúce všetky oblasti rovnovážneho diagramu a ich použitie závisí od obsahu cínu v zliatine. Najvýhodnejšou zliatinou z hľadiska teploty tavenia



Obr. 5.25. Rovnovážny diagram Pb-Sn

je eutektická spájka Sn60-Pb (STN 42 3655). Používa sa na najjemnejšie spájkovanie v jemnej mechanike a v elektrotechnike. Na bežné účely sú určené podeutektické spájky, napr. Sn30-Pb a pre klampiarske práce Sn8-Pb. Spájky s vyšším obsahom cínu sú pomerne drahé, používajú sa preto len na jemné práce alebo spájkovanie namáhaných súčastí (napr. chladiče motorových vozidiel). Pre spájkovanie výrobkov prichádzajúcich do styku s potravinami sa používajú spájky s obsahom 90 % Sn. Na spájkovanie hliníka sa bežne používajú zliatiny Sn-Zn, nazývané aj ťažké spájky (Sn70-Zn).

Lahkotaviteľné zliatiny majú extrémne nízku teplotu tavenia. Využíva sa skutočnosť, že zliatiny eutektického zloženia majú nižšiu teplotu tavenia ako zložky, pritom viaczložkové eutektiká tuhnú vždy pri ešte nižších teplotách ako binárne, zložené z rovnakých zložiek. Najznámejšou zliatinou tohto typu, pri ktorej je využitá vhodná kombinácia koncentrácií ľahkotaviteľných kovov (Bi:Pb:Sn:Cd = 4:2:1:1) je *Woodov kov*. Teplota tavenia Woodovho kovu je 65 až 60 °C. Používa sa na výrobu tavných poistiek, spájky na špeciálne účely a pod.

Ťažkotaviteľné kovy a ich zliatiny. Ťažkotaviteľné kovy sú kovy s teplotou topenia vyššou než má železo, ale zároveň sa tieto kovy ťažko tavia vzhľadom na vysokú afinitu ku kyslíku (Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W,

Re) a tvoria zliatiny, v ktorých vždy prevláda základný kov. Tvoria zlúčeniny s C, N, B a Si, medzi sebou tvoria často tuhé roztoky. Zliatiny titánu vzhľadom na ich význam sú popísané v samostatnej časti 5.4.

Zirkónové zliatiny. Zirkón (polymorfný kov bielej farby s mriežkou H12 a K8 a s teplotou tavenia 1852 °C) je základom radu zliatin [93] a dôležitou prísadou v iných zliatinách. V technickej praxi sa využívajú tie zliatiny, ktoré popri výhodných mechanických vlastnostiach za normálnej a zvýšenej teploty si zachovávajú vynikajúcu koróznú odolnosť zirkónu, ktorá sa ešte zvyšuje prísadou cínu. Tieto zliatiny sa potom využívajú predovšetkým v konštrukciách atómových reaktorov a majú obchodné označenie *Zircaloy*. Používajú sa ako povlaky palivových článkov vodou chladených reaktorov.

Tantal je nepolymorfný kov (mriežka K12) s vysokou teplotou topenia 2996 °C. Čistý tantal je dobre tvárny za studena, má veľmi dobrú odolnosť voči korózii. Čistý tantal sa používa pri výrobe kondenzátorov a špeciálnych elektronických súčiastok, uplatňuje sa aj pri výrobe chirurgických nástrojov, tkanivových protéz (nereaguje s tkanivom) a tiež ako elektroodporový materiál pre vysoké teploty. Časť tantalu sa spotrebuje ako prísada pri výrobe ocele a pri výrobe spekaných karbidov. Prísadové prvky (Ru, W, Mo, Zr) pri nízkych koncentráciách zvyšujú pevnosť. Zliatiny Ta majú len obmedzený význam a najväčší význam má zliatina s 10 % W.

Molybdén je nepolymorfný kov (mriežka K8) striebrostobielej farby s teplotou topenia 2610 °C. Je veľmi dobre tvárny za studena (ťahanie veľmi jemných drôtov), má veľmi dobrú odolnosť voči korózii, pri vyšších teplotách (nad 550 °C) má sklon k oxidácii. Molybdén sa nerozpúšťa v kyseline chlorovodíkovej, fluorovodíkovej a nepôsobia naň roztoky hydroxidov. Oxiduje však v horúcej kyseline dusičnej a vriacej kyseline sírovej.

Čistý molybdén sa najviac používa v elektrotechnike ako plechy, pásy, drôty, mriežky na výrobu elektróniek alebo röntgenových trubíc a pod. Ako materiál vhodný pre vysoké teploty sa používa pri výrobe termočlánkov (s volfrámom); dýz pre raketové motory. Pre dobrú odolnosť proti korózii sa používa tiež v chemickom priemysle, napr. na výrobu armatúr, nádob a i.). Vzhľadom na jeho odolnosť voči roztaveným kovom a sklám sa z neho vyrábajú rôzne elektródy, kryty pre termočlánky, taviace panvy, ďalej kokily alebo jadrá kokíl, zápustky a nástroje pre vytlačanie kovov za tepla.

Molybdén je základom dôležitých žiarupevných zliatin. Sú to zliatiny s niklom, známe pod označením Hastelloy (kap. 5.6), zliatiny s volfrámom,

vzhľadom k ostatným ušľachtilým kovom umožňujú jeho väčšie uplatnenie v technickej praxi.

V chemickom priemysle sa zo striebra stavajú rôzne, nie príliš veľké zariadenia, ako sú varné kotly, autoklávy, chladiče a rôzne aparatúry, rozmernejšie zariadenia sa obvykle galvanicky pokovujú silnou vrstvou striebra. V elektrotechnike sa predovšetkým využíva vysoká vodivosť striebra, ktorá je väčšia než vodivosť medi, pri výrobe vodivých súčastí a rôznych spojníkov. Na kontakty sa popri čistom striebre najčastejšie používajú plátované materiály. Pre veľmi namáhané ložiská leteckých motorov boli vyvinuté postriebené ložiská. V zubnom lekárstve sa používajú na výplne zubov strieborné amalgámy (s 50 % ortuti), ktoré si zachovávajú svoju objemovú stálosť aj po stuhnutí. Novšie amalgámy tohto druhu podľa [94] obsahujú 33 % Ag, 52 % Hg, 12 % Sn, 2 % Cu a 0,5 % Zn.

Mechanická vlastnosti striebra sa výrazne zlepšujú rôznymi prísadami, zliatiny sú obvykle lacnejšie a pritom si zachovávajú vlastnosti čistého striebra. Z radu zliatin striebra majú praktický význam zliatiny striebra s meďou, zinkom, kadmium, cínom, paládiom a platinou a uplatňujú sa aj zložitejšie zliatiny, ktoré vznikli vhodnou kombináciou uvedených prísad. Technický význam zliatin s meďou je predovšetkým v zliatinách pre kontakty. V norme STN 42 3832-36 sú uvedené tri kontaktné zliatiny striebra s meďou Ag95-Cu, Ag90-Cu a Ag80-Cu, ktoré sa dodávajú ako plechy, pásy a drôty. Ku kontaktným zliatinám striebra radíme aj zliatiny s kadmium (do 15 %) a zliatiny s paládiom. V STN 42 3838-39 sú uvedené dve zliatiny s kadmium, a to zliatina AgCd30 a AgCd15. Zvláštnym druhom zliatin pre kontakty sú zliatiny, u ktorých je tvrdosť zvyšovaná *vnútornou oxidáciou* [95]. Čisté striebro je legované malým množstvom kovu s vyššou afinitou ku kyslíku než má striebro (napr. horčík, hliník, berýlium, titán, mangán) [96].

Vplyv vzniknutých oxidov (pri žíhaní za teploty asi 800 °C) pridávaného kovu v zliatine na zvyšovanie tvrdosti je možné prirovnať k pôsobeniu precipitátov v zliatinách, ktoré vytvrdzujú. Vlastnosti zliatin s *vnútornou oxidáciou* sa v mnohých smeroch príliš nelíšia od vlastností striebra. Majú prakticky rovnakú teplotu topenia, hustotu, majú dobrú tepelnú a elektrickú vodivosť, podobne ako striebro dobre odolávajú oxidácii a majú rovnakú koróznú odolnosť. Zliatiny s *vnútornou oxidáciou* sa používajú ako natvrdo spájkované kontakty, ktoré nestrácajú pri spájkovaní svoju tvrdosť, alebo

ako pružinový elektrovodný materiál pre zvýšené teploty a stredné až vyššie hodnoty elektrického zaťaženia.

Zliatiny striebra, medi a zinku sú veľkou skupinou zliatin striebra, ktoré sa prevažne používajú ako spájky. Strieborné spájky sa používajú vtedy, keď je požadovaná nízka teplota topenia a ak má byť spoj pevnejší a húževnatejší a chemicky odolnejší, než je možné dosiahnuť mosadznou spájkou. Pri spájkovaní súčastí používaných v elektrotechnike je najviac požadovaná dobrá elektrická vodivosť, ktorú majú spájky s vyšším obsahom striebra. Strieborné spájky sa dobre uplatňujú pri spájkovaní niklu a jeho zliatin, spájkovaní medi a zliatin medi a spájkovaní nehrdzavejúcich ocelí.

Platina je lesklý kov (mriežka K12) s teplotou topenia 1774 °C. Má vysokú chemickú odolnosť. Priaznivé vlastnosti platiny sa v zliatinách s kovmi platinovej skupiny zvýrazňujú, a tak sa tieto zliatiny používajú v sťažených podmienkach. Platina a jej zliatiny sa používajú predovšetkým v elektrotechnickom priemysle, najmä na výrobu termočlánkov; pri stavbe laboratórnych pecí sa používajú na odporový materiál.

Platina a jej zliatiny sa v elektronike uplatňujú tiež ako kontakty, ktorých prednosťou je, že sa na ich povrchu netvorí oxid. Platinové kontakty sa používajú napr. v telefónnych relé, pri väčších prúdových zaťaženiach sa používajú zliatiny platiny s irídiom (10 až 25 %). V leteckom priemysle sa platina používa na výrobu elektród pre zapaľovacie sviečky leteckých motorov.