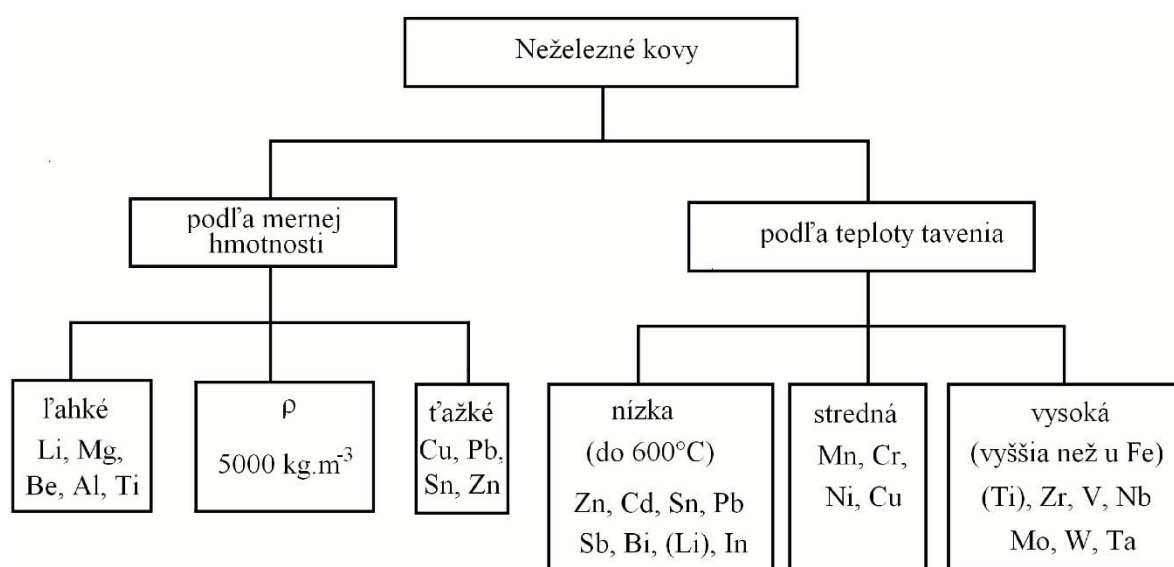


5 NEŽELEZNÉ KOVY A ICH ZLIATINY

Neželezné kovy sú všetky čisté kovy, okrem železa. Svoj technický význam získali vďaka špecifickým vlastnostiam, ku ktorým patria vysoká elektrická a tepelná vodivosť (meď, hliník), malá merná hmotnosť (hliník, horčík, titán), vysoká teplota tavenia (volfrám), špeciálne fyzikálne vlastnosti, odolnosť proti korózii a pod. Ako konštrukčné materiály majú väčší význam ako samotné neželezné kovy ich zliatiny. Neželezné kovy a ich zliatiny sa využívajú tam, kde ich náhrada dostupnejšími materiálmi nie je možná.

Neželezné kovy rozdeľujeme podľa mernej hmotnosti na ľahké kovy a ťažké kovy, obr.5.1. Hranicou medzi nimi je merná hmotnosť 5000 kg.m^{-3} .



Obr. 5.1 Rozdelenie neželezných kovov

Ako konštrukčný materiál pri výrobe leteckej a dopravnej techniky alebo iných konštrukčných častí, pri ktorých sa požaduje nízka merná hmotnosť, sa významne uplatňujú zliatiny ľahkých neželezných kovov, Tab.5.1.

Tab.5.1 Ľahké kovy

Kov	Merná hmotnosť [Mg.m ⁻³]	Tm [°C]	Poznámka
Titán	4,50	1667	vysoká Tm – veľmi vysoká medza tečenia
Ytrium	4,47	1510	dobrá pevnosť aj plasticosť, deficitné
Bárium	3,50	729	
Scandium	2,99	1538	deficitné
Hliník	2,70	660	

Stroncium	2,60	770	reaktívne na vzduchu aj vo vode
Cézium	1,87	28,5	neodoláva tečeniu, nízka teplota tavenia, veľmi reaktívne na vzduchu aj vo vode
Berýlium	1,85	1287	ťažko obrobiteľné, veľmi jedovaté
Horčík	1,74	649	
Vápnik	1,54	839	málo odolné tečeniu, nízka teplota tavenia, vysoká reaktivnosť na vzduchu aj vo vode
Rubídium	1,53	39	
Sodík	0,97	98	
Draslík	0,86	63	
Lítium	0,53	181	

Medzi významné konštrukčné materiály patria predovšetkým zliatiny hliníka, horčíka a titánu. Hliník a jeho zliatiny sčasti nahrádzajú niektoré neželezné kovy, ocele a drevo. Titán a jeho zliatiny, ktorých spotrebu zabezpečujeme predovšetkým dovozom, sa používajú hlavne v leteectve, ale postupne našli uplatnenie aj v ostatných priemyselných odvetviach. Zliatinám horčíka sa v poslednej dobe v oblasti výskumu venuje veľká pozornosť a ich uplatnenie sa výrazne zväčšuje. Medzi najprogresívnejšie prísadové kovy v súčasnosti patrí berýlium a vôbec najľahší kov – lítium.

Ostatné neželezné kovy patria podľa kritéria mernej hmotnosti medzi ťažké neželezné kovy. Ide o skupinu prvkov, ktorá sa často delí na podskupiny podľa rôznych kritérií. V Tab.5.2 sú rozdelené vybrané kovy podľa teploty tavenia – na ľahkotaviteľné, so strednou teplotou tavenia a ťažkotaviteľné). Ako konštrukčné materiály sa uplatňujú predovšetkým zliatiny Cu, Ni, Co a ľahkotaviteľných kovov Sn, Zn a Pb.

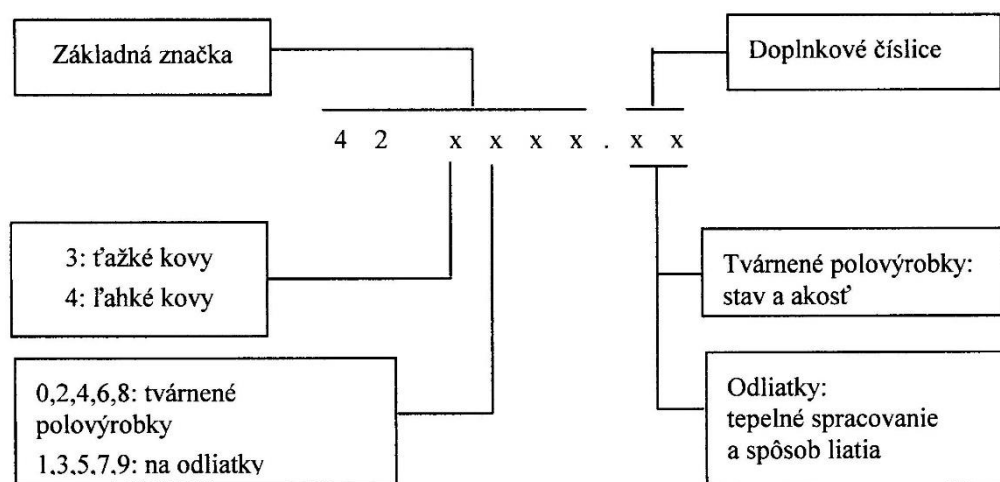
Tab.5.2 Vybrané ťažké neželezné kovy

Kov	Merná hmotnosť [Mg.m ⁻³]	T _m [°C]	Elektrická vodivosť [m.Ωmm ⁻²]
Cín	7,3	231,9	8,7
Olovo	11,34	327,4	4,9
Zinok	7,13	419,5	17,0
Striebro	10,49	960	61,0
Meď	8,93	1083	59,7
Nikel	8,90	1455	11,5
Kobalt	8,86	1493	16,1
Volfrám	19,32	3395	18,3

Označovanie neželezných kovov a zliatin podľa STN

Neželezné kovy a ich zliatiny sú označované základným šesťmiestnym číselným znakom príslušného materiálového listu podľa STN, obr.5.2.

Hutnícke označenie zliatin je vytvorené z chemických značiek prvkov, z ktorých sa zliatina skladá a z čísel, určujúcich strednú hodnotu ich obsahu. Na prvom mieste je základný kov, ktorého obsah sa obvykle neudáva, za ním nasledujú legujúce prvky podľa obsahu. Napr. obchodný názov superdural – AlCu4Mg1 (k základnému kovu sú prilegované 4 %Cu a 1 %Mg).



Obr.5.2 Číselné označenie neželezných kovov

5.1. Zliatiny ľahkých neželezných kovov

Ľahké kovy a najmä ich zliatiny tvoria významnú skupinu konštrukčných materiálov pre veľmi priaznivý pomer ich pevnosti ku hustote. Najviac sa v technickej praxi uplatňuje Al, Mg, Ti a ich zliatiny.

5.1.1 Hliník a jeho zliatiny

Hliník (Al) je nepolymorfny kov s kubickou plošne centrovanou mriežkou. Vyznačuje sa nízkou mernou hmotnosťou (2700 kg.m⁻³), veľmi dobrou elektrickou (38 MS.m⁻¹) a tepelnou vodivosťou (209 W.m⁻¹.K⁻¹), dobrou tváriteľnosťou za tepla aj za studena, odolnosťou proti atmosférickej korózii. Má však nízku pevnosť za studena. Je to kov bielej farby, je tretím najrozšírenejším prvkom v prístupnej časti zemského povrchu po kyslíku a kremíku. Teplota tavenia je 660,1°C. Jednotlivé druhy hliníka rozlišujeme podľa jeho čistoty, 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.

Najbežnejšími prísadami 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 (α +Al₃Fe), ktoré zhoršuje tvárnosť a odolnosť hliníka proti korózii. Rozpustnosť kremíka v tuhom roztoku α je v porovnaní so železom rádovo väčšia, ale ihlicovitý segregát na kremík bohatej fázy β ovplyvňuje vlastnosti hliníka podobne ako eutektikum (α +Al₃Fe).

Odolnosť hliníka proti korózii je významne ovplyvnená jeho pasiváciou. Ochranná vrstva Al₂O₃ o hrúbke asi 0,1 μ m, vznikajúca pri teplote okolia, zabezpečuje stálosť hliníka na vzduchu a v morskej vode. So zvyšujúcou čistotou hliníka stúpa aj jeho odolnosť proti korózii. Neodoláva hydroxidom (NaOH, KOH) a halovým kyselinám (HCl, HF).

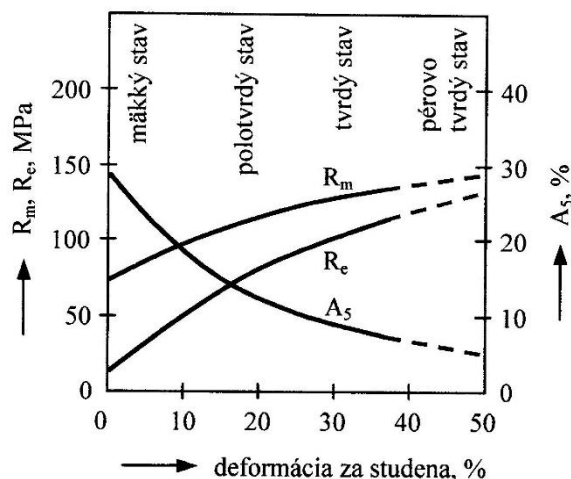
Tab.5.3 Mechanické vlastnosti technicky čistého hliníka v žíhanom stave pri teplote 20°C

Druh (čistota) Al		Al 99,99	Al 99,5
medza klzu	R _{p0,2} [MPa]	15	50
Pevnosť	R _m [MPa]	50	90
ťažnosť	A ₅ [%]	45	30
kontrakcia	Z [%]	90	70
modul pružnosti v ťahu	E [MPa]	7,1.10 ⁴	7,1.10 ⁴
Tvrdosť	HB	15	20

Malú pevnosť technicky čistého hliníka zvyšujeme tvárnením za studena. Dosiahnuté deformačné spevnenie pri danom stupni tvárnenia je nepriamo úmerné čistote hliníka, obr.5.3. Rekryštalizačná teplota Al 99,5 po stredných stupňoch tvárnenia je asi 150°C. Prakticky používané teploty rekryštalizačného žíhania 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.

V súčasnosti sú 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 μ m a v dôsledku toho ušetriť materiál. Mn v týchto zliatinách spôsobuje zvýšenie plasticity zliatiny.

Za účelom zlepšenia mechanických vlastností, hlavne pevnostných, odolnosti proti 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.

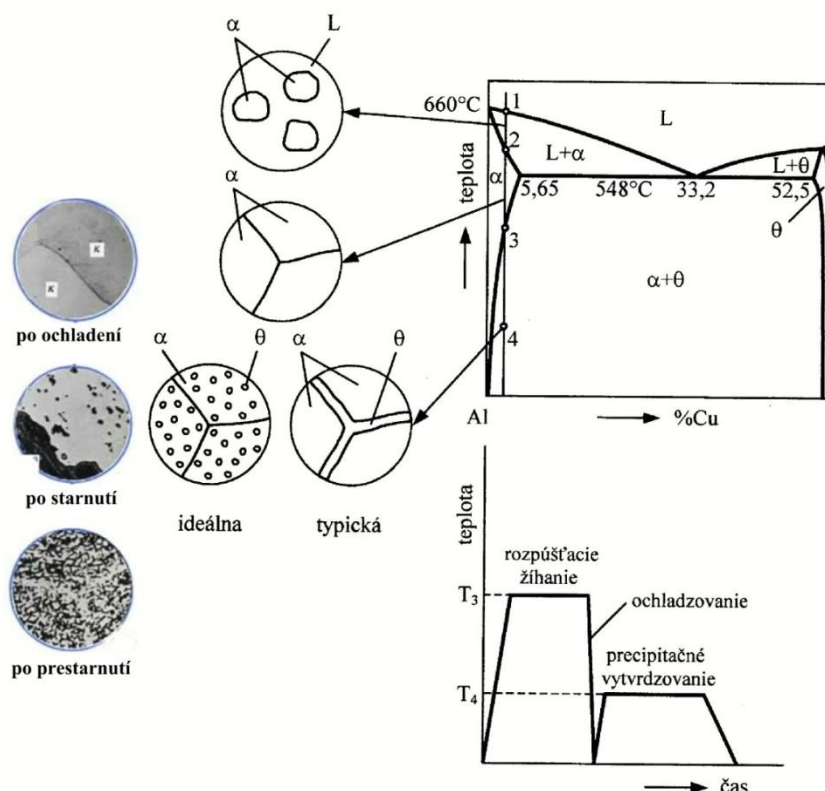


Obr.5.3 Vplyv tvárnenia za studena na mechanické vlastnosti Al (Al 99,5)

Vytvrdzovanie zliatin hliníka predstavuje zmenu rozpustnosti prísady v základnom kove a tým možnosť vytvorenia presýteného tuhého roztoku, ktorého ďalšia premena vedie k zmene vlastností. Vytvrdzovanie sa skladá z nasledujúcich technologických operácií:

1. Rozpúšťacie žiňanie – ohrev zliatiny na teplotu, pri ktorej sa v štruktúre rozpúšťa prítomná fáza.
2. Ochladenie zliatiny – obyčajne do vody s teplotou 20°.
3. Starnutie – rozpad presýteného tuhého roztoku:
 - prirodzené do 100°C,
 - umelé od 150 do 210°C.

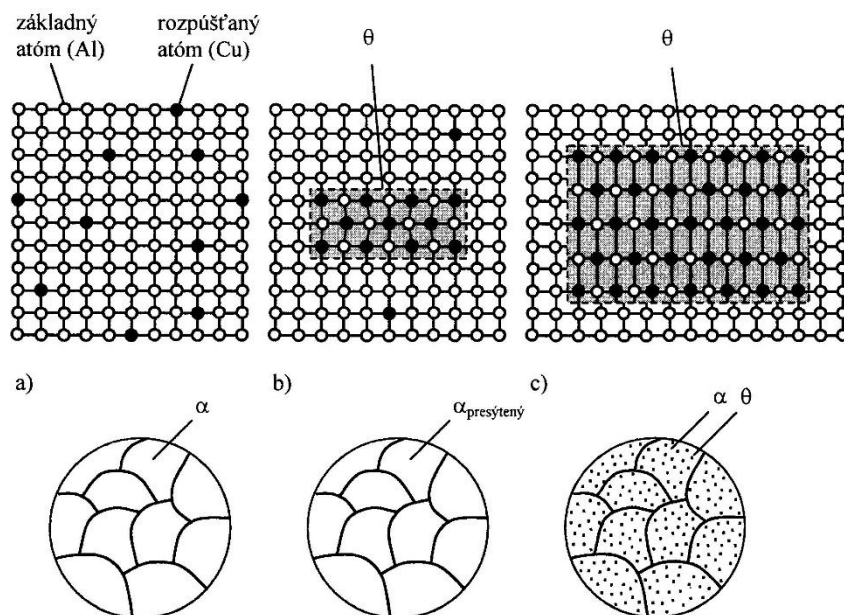
Schéma vytvrdzovania je uvedená na obr.5.4. V bode 3 pri pomalom ochladzovaní vyznačenej zliatiny je prekročená hranica rozpustnosti Cu v tuhom roztoku α a nadbytočná Cu sa vylučuje ako intermediárna fáza Al_2Cu (θ) na hraniciach zŕn tuhého roztoku α (segregácia), čo zhoršuje mechanické vlastnosti zliatiny. Pri tepelnom spracovaní sa pri ohreve zliatiny do oblasti α (rozpúšťacie žiňanie pri teplote cca 500°C) dosiahne homogénny α . Rýchlym ochladením sa potlačí segregácia a získame presýtený tuhý roztok α . Ten nie je stabilný a v závislosti od vonkajších podmienok nastáva prirodzené stárnutie (samovoľný rozpad presýteného tuhého roztoku pri normálnej teplote) alebo umelé stárnutie, t.j. riadený proces rozpadu presýteného tuhého roztoku, pri ktorom materiál zohrejeme na teplotu nižšiu ako je hranica rozpustnosti (bod 3). V zliatine Al-Cu bude prebiehať precipitácia Al_2Cu formou vylučovania jemných rozptýlených častočiek vo vnútri zŕn.



Obr.5. 4 Fázový diagram Al-Cu a schéma vytvrdzovania

Procesy, prebiehajúce pri starnutí (v závislosti od teploty) je možné rozdeliť na tri etapy, Obr.5.5. V prvej etape starnutia vzniknú Guinierove-Prestonove zóny (GPZ), ktoré sú oblasťami zvýšenej koncentrácie medi v tuhom roztoku. Atómové priemery hliníka a medi sú rozdielne (pri medi sú menšie), preto miesta bohatšie na meď (GPZ) majú iný mriežkový parameter ako miesta chudobnejšie na meď. Nakoľko sú GPZ koherentné s tuhým roztokom (nie sú oddelené medzifázovou hranicou), ich existencia sa spája so vznikom mriežkových napätí, ktoré zvyšujú tvrdosť a pevnosť materiálu. Táto prvá etapa je jedinou a konečnou etapou starnutia pri teplotách do 100°C a prejavuje sa max. efektom vytvrdzenia.

V druhej etape nastáva preskupenie iónov v týchto zónach a koncentrácia medi v zónach dosahuje približne stechiometrický pomer Al_2Cu . Vzniká prechodový precipitát θ' . V tretej etape sa úplne preskupujú atómy na mriežku rovnovážneho precipitátu (fáza θ). V druhej a tretej etape sa postupne stráca koherencia a vytvrdzenie napäťovými poľami sa mení na typické precipitačné vytvrdzenie, ktorého efekt je o niečo nižší.



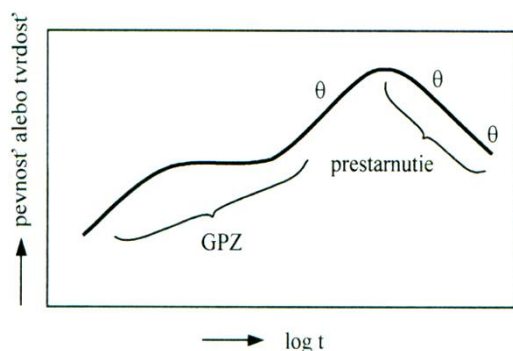
Obr.5.5 Schéma štádií starnutia a mikroštruktúr: a) presýtený tuhý roztok α , b) prechodový semikoherentný precipitát θ' , c) rovnovážny nekoherentný precipitát θ

Charakteristická krivka, vyjadrujúca zmeny tvrdosti a pevnosti v priebehu precipitačného vytvrdzovania pri konštantnej teplote, je na Obr.5.6. S rastúcim časom pevnosť a tvrdosť rastie, dosiahne maximum a potom klesá, pričom sa tento pokles označuje ako prestarnutie. Pri ďalšom zvyšovaní teploty sa znižuje výsledná tvrdosť a pevnosť koaguláciou rovnovážneho precipitátu. V zásade platí, že čím vyššia je teplota starnutia, tým je síce menší efekt vytvrdenia (nárast pevnosti a tvrdosti), ale zliatiny sú tvárnejšie a húževnatejšie.

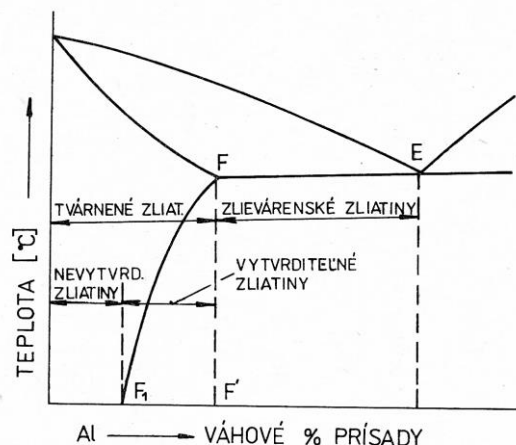
Rozdelenie zliatin hliníka

Zliatiny prevyšujú aspoň jednou významnou a využívanou vlastnosťou čistý hliník a je ich možné roztriediť z dvoch hľadísk:

1. z hľadiska možnosti zvýšenia ich pevnostných vlastností cestou tepelného spracovania vytvrdzovaním ich delíme:
 - a) nevytvrditeľné,
 - b) vytvrditeľné,
2. z hľadiska technológie spracovania ich delíme na (Obr.5.7):
 - a) zliatiny určené na tvárnenie,
 - b) zlievarenské zliatiny s obsahom eutektika v štruktúre.



Obr.5.6 Schéma závislosti pevnosti a tvrdosti na čase pri precipitačnom vytvrdzovaní pri konštantnej teplote



Obr.5.7 Schéma rozdelenia zliatin hliníka

A. Zliatiny hliníka na tvárnenie

Zliatiny nízkopevnostné s dobrou odolnosťou proti korózii

K týmto zliatinám patria dvojzložkové zliatiny Al-Mn a Al-Mg. Rozpustnosť mangánu vo fáze α je malá, takže zliatiny Al-Mn by sa vytvrdzovali málo efektívne. Používajú sa zliatiny do 1,5 %Mn, lebo už od 2 %Mn vznikajú pri kryštalizácii primárne kryštály fázy Al₆Mn, ktoré zhoršujú mechanické vlastnosti. Tieto zliatiny sú náchylné k hrubozrnej a stĺpkovitej kryštalizácii, ktorá sa potláča mikroprísadami Ti, B alebo Zr. Zliatiny majú dobrú odolnosť proti korózii, dobrú zvariteľnosť a je možné ich spevniť tvárnením za studena až na $R_m = 200 \text{ MPa}$ pri $A_{10} = 5 \%$.

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 (Al₃Mg₂), ktorá zhoršuje tvárnosť a odolnosť proti korózii.

Zliatiny Al-Mg-Si. Sú to vytvrditeľné zliatiny pre tvárnenie, v porovnaní so zliatinami Al-Cu-Mg majú nižšiu pevnosť, vyššiu koróznú odolnosť a vyššiu húževnatosť. Priemyselné zliatiny je možné rozdeliť do dvoch skupín:

- Zliatiny s prebytkom Mg. V dôsledku väčšieho množstva Mg sa zvyšuje odolnosť proti korózii, zvyšujú sa pevnostné vlastnosti a zhoršuje sa tvárnosť.
- 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 proti interkryštalickej korózii.

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

Zliatiny s vyššou a vysokou pevnosťou ale nízkou odolnosťou proti korózii

Zliatiny Al-Zn(-Cu-Mg) predstavujú najviac používané materiály tejto podskupiny. Sú to hlavne *duraly* AlCu4Mg, AlCu4Mg1 a AlCu4Mg1Mn, ktoré dosahujú značné pevnosti po vytvrdení tepelným spracovaním (R_m až 530 MPa). Bolo zistené, že binárne zliatiny sú veľmi náchylné k vzniku trhlín v prítomnosti už veľmi malého množstva Pb alebo Sb (0,005 až 0,001). V dôsledku uvedeného nenašli tieto binárne zlúčeniny širšie uplatnenie. Avšak legovaním je možné ich vlastnosti zlepšiť. Hlavným výrobkom sú výlisky a plechy, povrchovo chránené proti korózii tenkou vrstvou hliníka (plátované duraly). Najrozšírenejšie sú tieto dva typy 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. Vďaka vysokej rozpustnosti Zn v Al majú veľké teplotné rozmedzie, v ktorom sú homogénne. Vytvrdzovať sa môžu za tepla i za studena. Pri vyššom pomere (Zn/Mg) sú tieto zliatiny veľmi dobre lisovateľné za tepla, ale horšie zvariteľné.

➤ **Zliatiny Al-Zn-Mg-Cu** spĺňajú podmienku pre vysokopevné zliatiny, $R_m > (E/150)$, 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. 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). 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. Do väčšiny Al-Li zliatin sa pridáva Zr, čím sa zvyšuje pevnosť a húževnatosť. 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.

A. Zliatiny hliníka na odlievanie

Sú určené pre výrobu tvarových odliatkov liatím do piesku, kovových foriem alebo tlakovým odlievaním. Mechanické hodnoty u odliatkov nedosahujú hodnoty výrobkov tvárnených a značne závisia od spôsobu odlievania. Najväčšia pevnosť v ťahu býva asi 250 MPa. Pri liatí do piesku vzniká hrubá štruktúra s najnižšími pevnostnými charakteristikami. Jemná štruktúra s lepšími vlastnosťami sa tvorí pri liatí do kovových foriem alebo pri tlakovom liatí.

➤ **Silumíny.** Najdôležitejšou skupinou zliatin hliníka na odliatky sú zliatiny, obsahujúce ako hlavnú prísadu Si, nazývané silumíny. Majú nízku mernú hmotnosť (2650 kg.m^{-3}), dobrú odolnosť proti korózii, malý sklon k zadieraniu, dobrú zabiehavosť pri odlievaní, malú zmršťivosť (0,5 %) a nie sú náchylné na praskanie. Ich obrobitelnosť je horšia ako u iných zliatin hliníka. Z hľadiska možnosti spevňovania tepelným spracovaním je možné rozdeliť silumíny na nevytvrditeľné a vytvrditeľné.

Nevytvrditeľné silumíny obsahujú 5 až 20 %Si a ďalšie prísady, z ktorých najbežnejší je Mn, ktorý eliminuje nepriaznivý vplyv prímiesi 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.

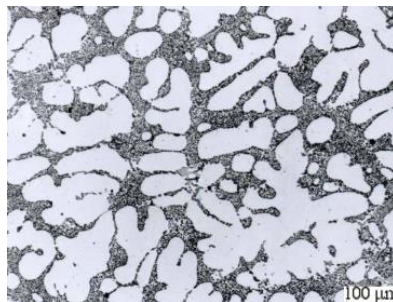
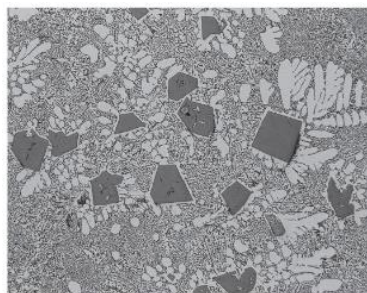
Vytvrditeľné silumíny musia okrem Si obsahovať prísadu Mg alebo Cu. Vytvrditeľnosť je potom zabezpečená vylučovaním fázy Mg_2Si alebo Al_2Cu . Väčší význam je možné pripísať vytvrditeľným silumínom typu Al-Mg-Si, ktoré dosahujú pevnosť v ťahu okolo 200 MPa. Pevnostné vlastnosti silumínov Al-Mg-Si je 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 pevnosť v ťahu približujúcu sa hodnote 300 MPa.

Modifikácia silumínov. Pevnosť a súčasne i tvárnosť silumínov je možné zvýšiť zjemnením kryštálov kremíka v eutektiku, a to dvoma spôsobmi:

- 1) podchladením taveniny zvýšenou rýchlosťou ochladzovania a následne vyššou rýchlosťou eutektickej premeny s tvorbou normálneho eutektika,
- 2) modifikáciou malým množstvom alkalických kovov (sodíka, lithia, stroncia).

Prvý spôsob dáva dobré výsledky, je však použiteľný len pre odliatky tenkostenné, odlievane do kovových foriem alebo tlakovo. Druhý spôsob je univerzálnejší. V praxi sa široko používa modifikovanie silumínov sodíkom.

Štruktúra silumínov je tvorená tuhým roztokom Si v Al a eutektikom ($\alpha + \text{Si}$). Kremík v eutektiku je prítomný vo forme ihlíc a je krehký, obr.5.8. Z tohto dôvodu sa používa modifikovanie - očkovanie silumínu prísadou Na alebo Sr tesne pred odlievaním. Kremík v modifikovanom silumíne má jemnú globulitickú formu, obr.5.9. Modifikovaním sa zvyšuje pevnosť aj ťažnosť silumínu ($R_m = 300 \text{ MPa}$).



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

Zliatiny Al-Mg s rozličným obsahom Mg (3 - 11 %) majú dobré mechanické vlastnosti, vysokú koróznú odolnosť, dobrú lešiteľnosť a veľmi nízku mernú hmotnosť. 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. Z dôvodu širokého intervalu tuhnutia sú tieto zliatiny náchylné na tvorbu mikropórov. 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, ochladzovanie sa uskutočňuje v teplej vode alebo v oleji. Nevýhodou zliatin Al-Mg je, že už pri málo zvýšených teplotách starnú. 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 tvorbe trhlín. Ako ďalšie prísady sa používajú kremík (do 6 %) a zinok (do 2,5 %), prípadne Ni, Mg. Obsah Cu sa pohybuje v rozmedzí 3 až 8,5 %. V podstate bývajú zliatiny Al-Cu dvojaké, a to s nízkym obsahom Cu, ktoré neobsahujú eutektikum a zliatiny s vyšším obsahom medi s eutektikom v štruktúre.

Označovanie tvárnených druhov hliníka, jeho zliatin a stavov týchto technických materiálov

Označovanie neželezných kovov, vrátane zliatin hliníka je doteraz obsiahnuté v STN 42 0055. Podľa tejto normy je každý neželezný kov označený základným šesťmiestnym číslom a jeho stav doplnkovým dvojmiestnym číslom, oddeleným od základného čísla desatinnou bodkou.

Európske označovanie druhu tvárneného hliníka a jeho zliatin obsahuje norma STN EN 573-1 (triediaci znak 42 1401), ktorá používa základné štvormiestne číslo. Prvá číslica udáva skupinu materiálov podľa hlavného prísadového prvku :

- 1 xxx (rada 1000) ... hliník min. 99,00 %
- 2 xxx (rada 2000) ... meď
- 3 xxx (rada 3000) ... mangán
- 4 xxx (rada 4000) ... kremík
- 5 xxx (rada 5000) ... horčík
- 6 xxx (rada 6000) ... horčík a kremík
- 7 xxx (rada 7000) ... zinok
- 8 xxx (rada 8000) ... ostatné prvky

9 xxx (rada 9000) ... neobsadené

Základnému číselnému označeniu predchádzajú písmená a spojovacie čísla EN AW-xxxx. Za poslednou číslicou môže ešte nasledovať veľké písmeno (A, B, ...) označujúce uznaný národný variant materiálu. Teda napr.: EN AW-1050 pre hliník 99,5 a EN AW-2014A pre zliatinu AlCu4SiMg

Ďalej sa v hranatej zátvorke uvádza označenie chemického zloženia podľa týchto pravidiel :

- a. na prvom mieste je chemická značka hliníka a medzera, za ktorými nasledujú chemické značky zliatinových prvkov a číslice charakterizujúce ich obsah v poradí podľa klesajúceho obsahu;
- b. uvádzajú sa najviac 4 zliatinové prvky vo vyššie uvedenom poradí, pri rovnakom obsahu v abecednom poradí;
- c. obsah prvkov je charakterizovaný hmotnostnými percentami s rôznou presnosťou na jedno či dve desatinné miesta u technicky čistého hliníka zaokrúhlene na celé číslo, v prípade nutnosti na 5/10 menovitej hodnoty hlavného prísadového prvku, ak je jeho obsah > 1 % alebo na 1/10 pri obsahu < 1 %; napr.:
EN AW-1050 [Al 99,5] EN AW-1199 [Al 99,99]
EN AW-2014A [Al Cu4SiMg(A)] EN AW-6063 [Al Mg0,7Si]
a podobne sa postupuje pri ďalších prísadových prvkoch, ak je to nutné na rozlíšenie rôznych druhov zliatin (požaduje sa ak je to možné čo najjednoduchšie označenie);
- d. hliník a jeho zliatiny určené na zvláštne použitie (menovité účely) vyžadujúce špecifické chemické zloženie sa označí písmenom pred chemickým zložením. Napr. hliník pre elektrotechniku EN AW-5305 [Al 99,5]
- e. u zliatin vyrábaných z veľmi čistého hliníka sa jeho obsah vyznačí na dve desatinné miesta, napr.: EN AW-5305 [Al 99,85Mg1]

Európske označenie stavu tvárneného hliníka a jeho zliatin obsahuje norma STN EN 515 (triediaci znak 42 0053). Označenie rôznych stavov je založené na poradí základných spôsobov spracovania, ktoré sa používajú na dosiahnutie určitého stavu výrobku.

Na označenie základných stavov sa používajú veľké písmená a na podrobnejšie označenie konkrétnych variantov základných stavov sa používa jedna až päť číslic. Označenie stavu je od označenia druhu materiálu oddelené pomlčkou, napr. :

EN AW-1050 [Al 99,5(A)] - H16

Rozlišuje sa nasledujúcich päť základných stavov:

- F – stav tvárnený z výroby, jeho dosiahnutie nebolo riadené podmínkami spracovania s ohľadom na mechanické vlastnosti, ktoré sa preto ani nešpecifikujú;
- O – stav žíhaný (mäkký) s nízkou pevnosťou;

H – stav deformačne spevnený u výrobkov tvárnených za studena po žíhaní alebo tvárnení za tepla; za písmenom H nasledujú vždy najmenej dve číslice, z ktorých prvá vyjadruje spôsob spracovania a druhá vyjadruje stupeň deformačného spevnenia (viď ďalej uvedený Prehľad označovania stavov);

W – nestabilný stav po rozpúšťacom žíhaní u zliatin, ktoré prirodzene starnú (samovoľné starnutie pri normálnej teplote);

T – stav tepelne-mechanicky spracovaný spravidla vytvrdený; prvé číslice rozlišujú poradie základných etáp spracovania (rozpušťacie žíhanie, starnutie a tvárnenie za studena), ďalšie číslice vyjadrujú varianty základných etáp, ktorými sa dosahujú určité mechanické, technologické a korózne vlastnosti alebo ich optimalizácia.

5.1.2 Horčík a jeho zliatiny

Horčík (Mg) má najnižšiu mernú hmotnosť 1740 kg.m^{-3} z technicky významných kovov. Je to nepolymorfný kov, kryštalizuje v hexagonálnej tesne usporiadanej mriežke (H12), teplota tavenia je 650°C . Má nízke mechanické vlastnosti (pevnosť, ťažnosť, KC). Pevnosť technicky čistého horčíka v ťahu je max. 110 MPa v liatom stave. Relatívne zlá tvárnosť horčíka vyplýva z typu kryštalickej mriežky a zlepšuje sa až pri zvýšených teplotách nad 225°C , preto sa tvárni väčšinou za tepla, pri teplote $300 - 400^{\circ}\text{C}$. Deformáciou možno pevnosť horčíka zvýšiť na 160 - 220 MPa. Horčík a jeho zliatiny zle odolávajú korózii, pri vyšších teplotách prudko oxiduje. Ako konštrukčný materiál je čistý horčík nevhodný.

Zliatiny horčíka sú väčšinou ternárne, 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 zlievateľnosť, zliatiny Mg-Al majú podstatne menšiu zmrštitosť ako čistý horčík. Zinok zvyšuje pevnosť a tvrdosť a pri obsahu do 5 % tiež húževnatosť. Mangán (okolo 1 %) zlepšuje odolnosť proti korózii a zvariteľnosť. Prísada mangánu zvyšuje najmä medzu klzu zliatiny a náchylnosť zliatiny na koróziu v morskej vode. Kremík v malom množstve (do 2%) zvyšuje tvrdosť a zlepšuje obrobiteľnosť, zhoršuje však odolnosť proti korózii a podstatne znižuje tvárnosť. Väčšina zliatin horčíka obsahuje mangán, ktorý zlepšuje odolnosť proti korózii. Pre vyššie teploty (do 380°C) sa používajú zliatiny horčíka s tóriom a s prvkami vzácnych zemín.

Zliatiny horčíka delíme 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. Preto sa spracováva 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 majú však jemnejšie zrno, sú homogénnejšie a majú preto lepšie mechanické vlastnosti.

Zliatiny Mg-Al-Zn sú najčastejšie používanou skupinou zliatin horčíka a obvykle obsahujú 3-9 %Al, 0,2 až 1,5 %Zn a 0,15 až 0,5 %Mn. Zliatiny tejto skupiny majú sklon ku korózii pod napätím, a to tým väčší, čím väčší je obsah hliníka. Zliatina s malým množstvom prísady hliníka sa používa na plechy a pásy. K najviac používaným zliatinám patrí Mg-Al₄-Zn. Na rozdiel od ostatných zliatin tejto sústavy sa dobre zvara. 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 zo zliatin Mg-Al₁₉. Pre vytvrdzovanie sú vhodné zliatiny s vyšším obsahom hliníka (nad 6 %). Zliatiny na báze Mg-Al sú použiteľné tiež pri zvýšených teplotách.

Zliatina Mg-Zn-Zr obsahuje 2-6 %Zn a 0,7 %Zr a používa sa najmä v leteckom priemysle (vrtule, podvozky). Majú vysoké mechanické vlastnosti v dôsledku spevňujúceho vplyvu zinku a očkujúceho účinku zirkónu. 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.

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 %) s pevnosťou do 250 MPa. 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-Li predstavujú nový typ ultraľahkých zliatin. Legovanie horčíka lítiom umožňuje vyrábať zliatiny s mernou hmotnosťou 1300 - 1700 kg.m⁻³. V súčasnosti sú predmetom skúmania polykomponentné zliatiny MgLi₇Al₁₄ s prísadou niekoľko percent kadmia, zinku alebo striebra. Tieto zliatiny sa môžu spevňovať vytvrdzovaním a získavajú sa vlastnosti, ktoré dávajú dobré prognózy pre ich použitie v technike.

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.

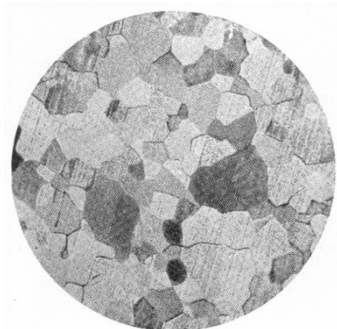
Zliatiny Mg-Al-Zn obsahujú do 12 %Al, do 3 %Zn a do 0,5 %Mn. Sú to najpoužívanejšie zlievarenské zliatiny horčíka, známe pod názvom elektrón, použiteľné až do teploty 150°C. Všetky obsahujú prísadu mangánu, zlepšujúcu odolnosť proti korózii. Najčastejšie používaná zlievarenská zliatina, vhodná pre liatie 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 %.

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

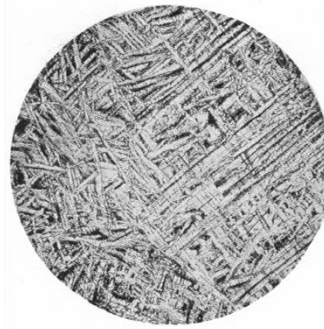
Zliatiny Mg-Zn-Zr. Prísada zirkónu (0,4 až 1 %) zjemňuje zrno zlievarenských zliatin a zlepšuje ich mechanické vlastnosti. Prísadou kovov vzácnych zemín (napr. céru) k základnej zliatine Mg-Zn-Zr sa zlepšia mechanické vlastnosti a zliatiny je možné použiť až do teploty 200 až 250°C.

5.1.3 Titán a jeho zliatiny

Titán (Ti) je polymorfný kov bielej farby, ktorý patrí medzi ľahké, ale pevné kovy. Merná hmotnosť čistého titánu je 4500 kg.m^{-3} . 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 na 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. Na obr.5.10 a obr.5.11 sú uvedené mikroštruktúry titánu vo vyžíhanom a liatom stave.



Obr.5.10 Mikroštruktúra technického titánu vo vyžíhanom stave, zrná fázy α , zv. 250x



Obr.5.11 Mikroštruktúra liateho titánu, ihlicovitá fáza α , zv. 250x

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. Čistý titán má pomerne nízku tepelnú vodivosť ako aj koeficient teplotnej rozťažnosti, čo prispieva k jeho dobrej zvariteľnosti. Nedostatkom je jeho zlá obrobiteľnosť, porovnateľná s obrobiteľnosťou 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 premien metastabilné fázy martenzitického typu. Prísadové prvky v titánových zliatinách delíme podľa rozpustnosti prvkov v jednotlivých modifikáciách a podľa ich vplyvu na stabilitu fáz na:

- prvky rozširujúce oblasť α – Al, O, N, C, praktický význam má len Al, ostatné nekovové prvky sú nečistotami,
- čiastočne rozširujúce oblasť β – Mn, Fe, Cr, Si, Cu,
- úplne rozširujúce oblasť β – Mo, Nb, Ta, V, znižujú teplotu fázovej premeny $\alpha \leftrightarrow \beta$ a fáza β sa tak stáva stabilnou aj pri normálnej teplote.

Hlavnou nečistotou v titáne je kyslík. Jeho prítomnosť síce zvyšuje pevnosť, ale znižuje ťažnosť.

Zliatiny titánu podľa rovnovážnej štruktúry rozdeľujeme na:

Homogénne zliatiny s α fázou – obsahujú hlavne Al, Zr a Sn. Majú dobré zlievarenské vlastnosti, vysokú húževnatosť pri nízkych teplotách, sú dobré zvariteľné. Napr. TiAl5Sn2,5 s $R_m = 825 \text{ MPa}$, $A = 10\%$. Sú to zliatiny s vynikajúcou zvariteľnosťou, dostatočnou pevnosťou a odolnosťou voči krehkému porušeniu i za veľmi nízkych teplôt, avšak s horšou kujnosťou. Na rozdiel od β zliatin nemôžu byť spevnene tepelným spracovaním, z dôvodu vysokej stability α štruktúry. Vyznačujú sa menšou koróznou odolnosťou, avšak vyššou pevnosťou ako čistý titan. Najvýznamnejším zástupcom tejto skupiny je zliatina Ti-5Al-2,5Sn . Používajú sa na časti potáhov lietadiel, nádrže, konštrukciu rakiet, lopatky kompresorov, časti statorov plynových turbín a i.

Zliatiny typu pseudo α - označované sú tiež ako super α , obsahujú malé množstvo β stabilizátorov (napr. vanád alebo molybdén). Obsah fázy β v pseudo α zliatinách nemôže prekročiť 6 hm. %. Vykazujú o 15 až 20 % vyššiu pevnosť ako α zliatiny, lepšiu tvariteľnosť a pomerne vysokú ťažnosť. Patria tu zliatiny Ti-8Al-1Mo-1V alebo $\text{Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo}$ využívané v letectve.

Heterogénne zliatiny ($\alpha + \beta$) - obsahujú stabilizátory α fázy (Al) a stabilizátory β fázy (V, Mo, Fe, Cr, Mn). Požadované vlastnosti týchto zliatin je možné dosiahnuť tepelným spracovaním,

ktorým je možné meniť pomer oboch fáz, ich veľkosť a distribúciu. Obsah fázy β pri izbovej teplote je podľa typu a obsahu legovacích prvkov od 10 až do 50 %. Dvojfázové zliatiny sa vyznačujú širokou škálou štruktúr a sú tvorené rovnoosými zrnami alebo lamelami oboch tuhých roztokov prípadne ich zmesou. Oproti ostatným titanovým zliatinám je ich veľkou prednosťou dobrá tvariteľnosť za studena a taktiež lepšia odolnosť proti únavovému porušovaniu. Zliatiny sa vyznačujú zvýšenou pevnosťou pri normálnej teplote, ktorá ale s rastúcou teplotou klesá. Hlavnou nevýhodou dvojfázových zliatin je ich zvariteľnosť a horšia odolnosť proti tečeniu ako u zliatin s jednofázovou štruktúrou.

TiAl6V4 – má vysoké mechanické vlastnosti ($R_m = 990$ MPa), po tepelnom spracovaní až 1250 MPa.

TiAl7Mo4 – má podobné vlastnosti ako *TiAl6V4*.

Použitie: letecký priemysel, stavba rakiet, kozmický priemysel, potravinársky a chemický priemysel, elektrotechnika.

Zliatiny typu pseudo β - Zvyšovaním obsahu β stabilizujúcich prvkov spolu s obsahom Al do 3 % vznikne zliatina metastabilná alebo pseudo β zliatina. Zliatiny tohto typu využívajú precipitáciu fázy α pre vytvrdzovanie zliatin. Jednou zo základných pseudo β zliatin je Ti-10V-2Fe-3Al.

Homogénne zliatiny s β fázou - obsahujú stabilizátory β fázy Mo, V, Ta, Nb, sú vytvrditeľné a dosahujú vysokú pevnosť pri teplote okolia ale len do 350 °C. V porovnaní s $\alpha + \beta$ zliatinami vykazujú výrazne lepšiu obrobitelnosť, tvariteľnosť za normálnych teplôt a únavovú odolnosť. Ďalšiu výhodu predstavuje vysoká pevnosť až do teploty 500°C. Zliatiny typu β obsahujúce molybdén disponujú navyše vyššou koróznou odolnosťou. Obtiažne sa vyrábajú, pre drahé legúry majú malé praktické uplatnenie. Nárast spotreby týchto zliatin je spojený s ich lomovou húževnatosťou, ktorá vyhovuje zvýšeným požiadavkám pri vesmírnych konštrukciách. Používanými β zliatinami titanu sú Ti-10V-2Fe-3Al, Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn a Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr.

Aplikácie titánových zliatin v biomedecíne

Titan a jeho zliatiny sú považované za najatraktívnejšie kovové materiály pre biomedicínske účely a tvoria podstatnú časť materiálov využívaných pri konštrukcii dentálnych a ortopedických implantátov.

Hlavným dôvodom zvýšeného využívania titanu ako biomateriálu je jeho vynikajúca biokompatibilita. Ide o schopnosť vzájomnej znášanlivosti látok predovšetkým materiálov v biologickom prostredí. Biokompatibilita titanu je výsledkom pasívnej vrstvy TiO_2 o hrúbke 2 – 5 μm , ktorá chráni materiál pred koróziou a zaručuje jeho bioinertnosť. Výhodou tejto vrstvy je, že v prípade porušenia alebo po prevedení opravy materiálu je schopná sa sama jednoducho obnoviť.

5.2. Zliatiny ťažkých neželezných kovov

Patria sem najmä meď, nikel, kobalt a ich zliatiny.

5.2.1 Meď a jej zliatiny

Meď (Cu) je nepolymorfný kov červenkastej farby s kubickou plošne centrovanou mriežkou. Teplotu tavenia má 1083°C a mernú hmotnosť 8900 kg.m⁻³, teda asi trikrát väčšiu 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. Legovanie znižuje vodivosť medi.

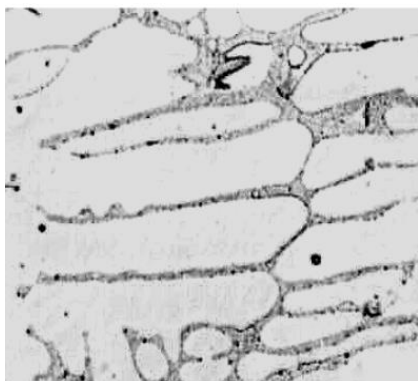
Mechanické vlastnosti medi závisia od jej stavu a sú dané jej kryštalografickou mriežkou (K12). Pri normálnej teplote i pri znížených teplotách má meď vysokú tvárnosť a húževnatosť. So zvyšujúcou sa teplotou sa jej pevnostné vlastnosti trvalo znižujú a v okolí 500°C sa objavuje u technickej medi tiež pokles plastických vlastností. Preto je vhodné meď tvárniť za studena alebo pri teplotách 800 - 900°C. Tvárnením za studena sa pevnostné vlastnosti zvyšujú a ťažnosť klesá. V liatom stave má pevnosť 160 MPa, valcovaná za tepla 220 MPa. Meď je ťažná a deformáciou za studena je možno spevňovať takmer až na úroveň pevnosti mäkkej ocele.

Meď je odolná proti oxidácii, reaguje však so sírou a sírnymi zlúčeninami za vzniku sulfidu medi. Hlavnou nečistotou v medi je kyslík. Bezokyslíkatá meď sa získa dezoxidáciou fosforom, lítiom alebo bórom. Okrem kyslíka hlavnými nečistotami v medi sú fosfor a železo. Čistá meď je ťažko zlievateľná. Má veľkú zmrašťivosť (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. V zliatinách medi sa využíva 14 legujúcich prvkov, väčšinou v oblasti rozpustnosti tuhého roztoku. Väčšina komerčných zliatin je teda monofázových. Niektoré zliatiny sa dajú precipitačne spevňovať. Niektoré vykazujú aj alotropickú premenu a dajú sa tepelne spracovať.

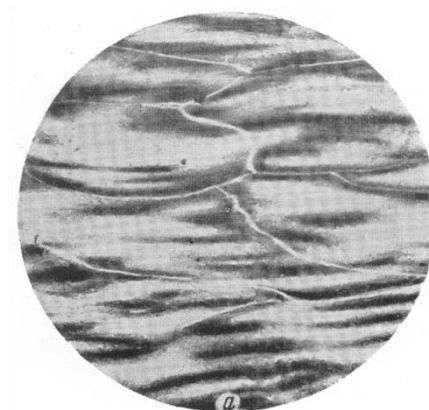
Meď a jej zliatiny môžeme rozdeliť do troch skupín:

- meď a vysokomeďné zliatiny,
- mosadze (Cu-Zn, prípadne ďalšie prvky),
- bronzы (Cu + iný prvok ako Zn).

Tieto skupiny ešte môžeme ďalej deliť na tvárnené a liate. Mikroštruktúra liatej a tvárnenej medi je znázornená na obr.5.12 a obr.5.13.



Obr.5.12 Mikroštruktúra liatej medi, zv. 200x



Obr.5.13 Mikroštruktúra tvárnenej medi, stupeň deformácie 20%, zv.200x

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. Pre technickú prax majú význam zliatiny s maximálne 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 má mriežku K12, zinok H12). V zliatinách s vyššou koncentráciou Zn sa však pri normálnej teplote zachová tuhý roztok α , preto majú zliatiny až do koncentrácie 39 %Zn výslednú štruktúru homogénnu, pozostávajúcu len z kryštálov tuhého roztoku α . Používané technické mosadze obsahujú popri Cu a Zn niektoré ďalšie prísady (buď nečistoty alebo prvky zámerne 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 %.

Základom tepelného spracovania mosadzí je rekryštalizačné žihanie, ktorým je možné v kombinácii s tvárnením meniť zrnitosť štruktúry a ovplyvňovať stupeň spevnenia, dosiahnutý plastickou deformáciou.

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.)

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.

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, a preto sa zliatiny tohto druhu používajú aj na hlboké ťahanie; používajú sa napr. na výrobu nábojníc, hudobných nástrojov, v potravinárskom priemysle a pod.

Mosadz s vyšším obsahom zinku (Ms63) je pre svoj malý obsah medi pomerne lacná. Je to heterogénna zliatina s nižšou ťažnosťou, ktorá je ešte za studena dobre tvárna. Používa sa na najrôznejšie, menej namáhané výrobky.

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 má byť v štruktúre jemne rozptýlené. Menšie dielce karburátorov a bezšvíkové rúrky sa vyrábajú z Ms60Pb (STN 42 3221). Zliatiny Ms59Pb (STN 42 3222) a Ms58Pb (STN 42 3223) 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 s obsahom 58 až 63 %Cu, často s prísadou olova (1 až 3 %) pre zlepšenie obrábateľnosti (Ms63Pb). Mosadze na odlievanie majú dobrú zabiehavosť a malý sklon k odmiešavaniu, dosť sa však zmrašťujú. V porovnaní so zliatinami na tvárnenie majú zlievárenské 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 (Al, Sn, Ni, Mn, Fe, Si) a obvykle sa nazývajú podľa tretej zložky (napr. kremíková 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 *zlievárenské*.

Hliníkové mosadze majú vyšší obsah medi 69 až 79 %. Prísada hliníka v mosadziach určených na tvárnenie nepresahuje 3 až 3,5 % (štruktúra je homogénna). Mosadz Ms70Al (0,6 až 1,6 %Al) s prísadou Sn a Mn je dobre odolná voči korózii a používa sa na výrobu kondenzátorových rúrok. Mosadz Ms77Al (1,7 až 2,5 %Al), ktorej použitie je rovnaké, má vzhľadom na vyšší obsah 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.

Kremíkové mosadze obsahujú max. 5 %Si pri vysokom obsahu medi 79 až 81 %. Spracovávajú sa tvárnením (max. 4 %Si) a odlievaním (dobrá zabiehavosť). Majú veľmi dobrú odolnosť proti korózii a dobré mechanické vlastnosti aj pri nízkych teplotách. Prísada olova (3 až 3,5 %) pôsobí priaznivo na trecie vlastnosti, takže tieto mosadze sú vhodné na liatie ložísk a puzdier (Ms80Si3Pb3).

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.

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.

Niklové mosadze obsahujú 8 až 20 %Ni, ktorý sa dokonale rozpúšťa v homogénnych mosadziach. Homogénne zliatiny majú vysokú tvárnosť za studena a sú vhodné na hlboké ťahanie. Heterogénne zliatiny 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.

Tvrde spájky sú buď jednoduché alebo špeciálne mosadze s teplotou tavenia 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.

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 %. Pre technickú prax majú význam len zliatiny do obsahu 20 %Sn. Cínové bronzy s vyšším obsahom Sn sú vplyvom prítomnosti intermediárnych fáz veľmi krehké. V tekutom stave sú Cu a Sn dokonale rozpustné, v tuhom stave je ich rozpustnosť obmedzená. Prísada cínu má na vlastnosti bronzu podobný vplyv ako zinok v mosadziach. Na tvárnenie sa používajú cínové bronzy 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 bronzy s vyšším obsahom Sn do 20%. Využívajú sa omnoho častejšie než bronzy tvárnené. Odliatky z cínových bronzov majú dobrú pevnosť a húževnatosť, vysokú odolnosť proti korózii a využívajú sa ich výborné trecie vlastnosti. Cínové bronzy majú malú zmrašťivosť (1 %), ale horšiu zabiehavosť a väčší sklon k tvorbe mikrostriahnutí.

Cínové bronzy 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 CuSn12 (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 bronzy 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. Bronzy CuSn10 a CuSn12 sa používajú ako ložiskové bronzy. 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 bronzy 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 tekutom 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 na vylievanie oceľových panví klzných ložísk. Znášajú vysoké merné tlaky, pomerne veľké obvodové rýchlosti a je ich možné použiť aj pri zvýšených teplotách (asi 300°C).

Hliníkové bronzы sú zliatiny medi, kde je hlavnou prísadou hliník. Pre technickú prax majú význam zliatiny s obsahom do 12 %Al. Štruktúra homogénnych zliatin je tvorená kryštálmi tuhého roztoku (substitučný tuhý roztok hliníka v medi) s mriežkou K12. Horná hranica obsahu Al v zlatinách s homogénnou štruktúrou závisí od rýchlosti ochladzovania a pohybuje sa v intervale 7,5 až 8,5 %Al. Heterogénne zliatiny sa častejšie využívajú, 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.

Kremíkové bronzы. Kremíkové bronzы (0,9 až 3,5 %) majú dobrú tvárnosť za tepla aj za studena a používajú sa tiež na výrobu odliatkov. Odolávajú účinkom kyseliny sírovej, soľnej a niektorým zásadám.

Berýliové bronzы. Berýlium je v medi obmedzene rozpustné (max. 2,7 %) a v tuhom stave sa jeho rozpustnosť výrazne znižuje (0,2 % pre teplotu okolia). Vyrábajú sa zliatiny s vyšším obsahom Be a ďalšími prísadovými prvkami (Ni, Co, Mn, Ti). Co (0,2 až 0,3 %) zvyšuje žiarupevnosť, Ni zlepšuje húževnatosť a Ti zjemňuje zrna. Najväčší význam majú zliatiny s približne 2 %Be, kedy sa dosahujú najvyššie mechanické vlastnosti precipitačným vytvrdzovaním. Použitie berýliových bronzov je dané predovšetkým ich vysokou pevnosťou, tvrdosťou a odolnosťou proti korózii, ktorú tieto zliatiny nestrácajú ani vo vytvrdenom stave. Berýliové bronzы sú drahé a v normách STN nie sú zaradené.

Niklové bronzы. Meď a nikel sú vzájomne dokonale rozpustné v tekutom aj v tuhom stave. Binárne zliatiny Cu-Ni s nízkym obsahom Ni (do 10 %) sa vyrábajú s minimálnym obsahom prímiesí a používajú sa len obmedzene. Širšie uplatnenie majú komplexné ternárne zliatiny a viaczložkové, ktoré sú vytvrditeľné. Niklové bronzы majú dobrú pevnosť pri normálnej aj zvýšenej teplote, dobrú medzu únavy, sú odolné voči korózii aj pod napätím, odolávajú opotrebeniu, majú vysoký elektrický odpor. Nahrádzajú ich iné lacnejšie zliatiny medi.

Označovanie druhov medi, jej zliatin a stavov týchto technických materiálov

Označovanie medi a jej zliatin, rovnako ako ostatných neželezných kovov, sa doteraz riadi STN 42 0055. Podľa tejto normy sa každý materiál označuje základným šesťmiestnym číslom a jeho stav doplnkovým číslom za oddeľujúcou bodkou.

Európske alfanumerické označovanie tvárnených i odlievaných druhov medi a jej zliatin obsahuje norma STN EN 1412 (triediaci znak 42 1308), ktorá je založená na norme ISO/TR 7003 a je alternatívou k sústave označovania materiálov podľa ISO 1190-1.

Každý druh materiálu sa označuje šiestimi znakmi (veľkými písmenami a číslicami) podľa nasledujúcich pravidiel:

- a. prvý znak je písmeno "C" označujúce skupinu medi a jej zliatin
- b. druhý znak je písmeno bližšie určujúce materiály pre skupinu polotovarov a výrobkov
B – ingoty na pretavenie na liate výrobky
C – liate výrobky
M – predzliatiny
R – rafinovaná netvárnena med'
S – prídavné materiály
W – tvárnené polovýrobky
X – nenormalizované materiály
- c. tretí, štvrtý a piaty znak sú číslice 001 až 799 pre normalizované druhy medi a jej zliatin
- d. šiesty znak je písmeno označujúce skupinu materiálov podľa ich chemického zloženia takto:
A alebo B – technicky čistá med'
C alebo D – nízkolegované zliatiny medi (do 5 % iných prvkov)
E alebo F – vysokolegované zliatiny medi (5 % a viac iných prvkov)
G - zliatiny med'-hliník
H - zliatiny med'-nikel
J - zliatiny med'-nikel-zinok
K - zliatiny med'-cín
L alebo M – zliatiny med'-zinok (binárne mosadze)
N alebo P – zliatiny med'-zinok-olovo
R alebo S – zliatiny med'-zinok (komplexné mosadze)

Spôsob alternatívneho označovania druhov medi alebo jej zliatin je zrejmý z nasledujúcich dvoch prípadov:

- CW 004 A (podľa STN EN 1412) alebo Cu-DHP (podľa ISO 1190-1)
- CW 722 R (podľa STN EN 1412) alebo CuZn40Mn1Pb1FeSn (podľa ISO 1190-1)

Európske označovanie stavov medi a jej zliatin je uvedené v norme STN EN 1173 (triediaci znak 42 1309). Označovanie stavov je založené na vyjadrení záväzných požadaviek na vlastnosti polovýrobkov a výrobkov a neberie do úvahy ani tepelné spracovanie ani spôsob výroby a stavy polovýrobkov a výrobkov sa podľa tejto normy vyjadrujú iba jednou z vlastností, napr. pevnosťou alebo tvrdosťou alebo veľkosťou zrna, a pod. Toto označovanie

je vhodné pre tvárnené alebo liaté výrobky, nie je vhodné pre predliatky (ingoty). Neumožňuje jednoznačne priradiť k sebe stavy výrobkov vyjadrené touto normou a doplnkovým dvojčíslím v STN 42 0055.

Každý stav polovýrobku alebo výrobku sa označuje štyrmi až šiestimi znakmi (veľkými písmenami a číslicami) podľa nasledujúcej schémy:

- a. Prvým znakom je písmeno označujúce záväznú vlastnosť:
 - A – ťažnosť
 - B – medza pružnosti v ohybe
 - D – bez špecifikovanej vlastnosti, v ťahanom stave
 - G – veľkosť zrna
 - H – tvrdosť podľa Brinella alebo Vickersa
 - M – bez špecifikovanej vlastnosti, z výroby
 - R – pevnosť v ťahu
 - Y – dohovorená medza klzu
- b. Druhý, tretí a štvrtý znak sú číslice udávajúce minimálnu hodnotu záväznej vlastnosti, označenie D a M podľa bodu a) nie sú nasledované číslicami; v prípade nízkej hodnoty vyjadrenej jednou číslicou na štvrtom mieste nuly (napr. ťažnosť 3 % sa označí A 003); hodnoty vlastností sa uvádzajú v týchto jednotkách: A [%], B, R, Y [MPa]; G [μm] a H [MPa].
- c. Piaty, prípadne šiesty znak sa pridáva v prípade vysokých hodnôt (väčších ako 999) alebo ak je vhodné žižhanie na zníženie zvyškových napätí, napr. pevnosť v ťahu 1050 MPa sa označí R1050 alebo uvedené dodatočné žižhanie R460S.

V európskych normách polovýrobkov a výrobkov z medi a jej zliatin sa postupne uvádza druh materiálu, potom stav výrobku a nakoniec ďalšie doplnenie podľa príslušných noriem výrobkov, ako ukazujú nasledujúce dva príklady:

- drôt EN 12166-CW024A-R330-... alebo drôt EN 12166-Cu-DHP-R330-...
- výkovok EN 12420-CW722R-H085-... alebo výkovok EN 12420-CuZn40MN1Pb1FeSn-H085-...

Návrhy európskych noriem výrobkov väčšinou predpisujú stavy H, R, M, tj. predpisujú minimálnu tvrdosť, minimálnu pevnosť v ťahu alebo nepredpisujú žiadnu vlastnosť (viď bod a).

5.2.2 Nikel a jeho zliatiny

Nikel (Ni) 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 polohu Curieho bodu ovplyvňuje čistota 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 80 HB.

Tvárnosťou za studena sa pevnosť v ťahu zvyšuje až na 1100 MPa, ale znižuje sa ťažnosť na 2 %, tvrdosť je 220 HB. Do teploty 400°C sa pevnostné vlastnosti niklu takmer nemenia, pri vyšších teplotách rýchlo klesá R_m . Čistý nikel je dobre zvariteľný väčšinou bežne používaných zvaracích metód. Nikel dobre odoláva korózii v rôznych prostrediach. Z ekonomického hľadiska je deficitným prvkom. Približne 15 % svetovej produkcie niklu sa používa na tvárnené alebo odlievané súčasti, určené predovšetkým pre silne korózne prostredie. 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 neželezných kovov a než celý 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 v rade zliatin výhodnejšie než pri čistom nikle, ako aj špeciálne fyzikálne vlastnosti.

Konštrukčné zliatiny možno rozdeliť do troch skupín:

- zliatiny pre prácu v bežných podmienkach,
- antikoročné 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.

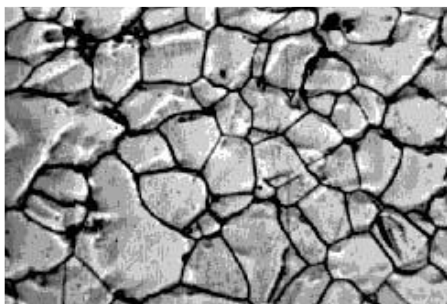
Nevytvrditeľné konštrukčné zliatiny sa spevňujú tvárnením za studena. Do tejto skupiny patria najmä zliatiny s prísadou Mn, Si a Mo. *Zliatiny Ni-Mn* (2 až 5 %Mn) majú zvýšenú odolnosť pri zvýšených teplotách v oxidačnom alebo redukčnom prostredí, ktoré obsahuje zlúčeniny síry. *Zlievárenské zliatiny 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.

Vytvrditeľné 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.

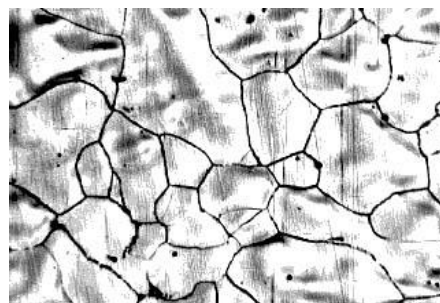
Zliatiny Ni-Cu patria k najrozšírenejším zliatinám niklu a sú známe pod obchodným označením *monely*. Pôvodne sa vyrábali priamo z rúd obsahujúcich oba prvky v pomere asi 2 : 1 (Kanada). Súčasné monely obsahujú 29 až 32 %Cu, prípadne niektorých ďalších kovov ako Si, Mn, Fe, Al. Jednoduché zliatiny sa spevňujú tvárnením za studena, zliatiny s prísadou Al sú vytvrditeľné a vôbec najväčšie pevnosti sa dosahujú kombináciou deformácie a vytvrdzovania. 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 (oceľe), 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, najrozšírenejšie názvy podľa pôvodných výrobcov sú Haynes Co. a International Nickel Co. Pre redukčné 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 NiSi10Cu4 a jej koróznou odolnosť sa zakladá na ochrannom pôsobení sulfátového filmu na povrchu zliatiny, obr.5.14. Tento sulfátový film vzniká účinkom kyseliny sírovej. *Inconel* sú antikorózne zliatiny *Ni-Cr* (min. 72 %Ni, 15 %Cr, 8 %Fe). Uplatňujú sa hlavne pri súčiastiach namáhaných za tepla, v prostrediach, ktoré obsahujú voľné halové prvky.



a)



b)

Obr.5.14 Mikroštruktúra Hastelloy D a) po odliatí, b) po homogenizačnom žíhaní (zv. 200x)

Žiaruvzdorné a žiarupevné zliatiny niklu. Žiaruvzdorné a žiarupevné zliatiny niklu sú vysokopevné konštrukčné materiály používané tam, kde nepostačujú svojimi vlastnosťami špičkové žiarupevné ocele. Sú určené pre prevádzkové teploty nad 750°C. Je vyvinutý celý rad typov (pre rôzne namáhania a prevádzkové teploty). Vývoj týchto zliatin bol motivovaný predovšetkým vývojom spaľovacích turbín a potrebou pracovať so stále vyššími vstupnými teplotami spalín (najmä pri najexponovanejších súčiastkach, ako sú obežné lopatky). Tieto zliatiny dostali označenie *Nimonic*. Pre najvyššie tepelno-pevnostné podmienky sa dnes ako konštrukčné materiály používajú komplexne legované vytvrditeľné zliatiny niklu, označované pre svoje vlastnosti *superzliatiny*.

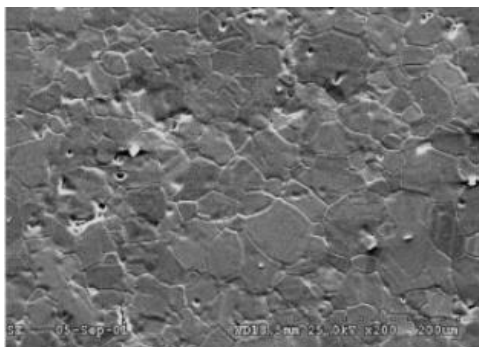
5.2.3 Kobalt a jeho zliatiny

Kobalt (Co) je polymorfný kov s mernou hmotnosťou 8900 kg.m⁻³ a s teplotou tavenia 1495°C. Kryštalizuje v dvoch alotropických modifikáciách: nízkoteplotnej α s mriežkou H12 a vysokoteplotnej β s mriežkou 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 koróznú 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 pri vyšších teplotách. Vyznačujú sa vysokou tvrdosťou pri normálnej teplote (600 HBW = 59 až 68 HRC) i pri teplotách nad 600°C (pri teplote 900°C až 200 HBW) 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 pri

rýchlorezných oceliach. Konvenčné stelity typu Co-Cr-W-C obsahujú vždy okolo 30 %Cr, od 4 do 17 %W a od 1 do 3,7 %C. V štruktúre majú karbidy M_7C_3 a v malom množstve M_6C_3 , bázu tvorí tuhý roztok chrómu a volfrámu v kobalte.

Stelity charakterizuje veľmi dobrá odolnosť proti oxidácii a korózii, sú najviac odolné proti pôsobeniu kyseliny organických kyselín, ale ohraničená pri pôsobení najmä pri zvýšených sú zvariteľné a používajú proti korózii odolných ventilov spaľovacích obrobiteľné, ale dosiahnuť vysokú hladkosť povrchu. 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* (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, obr. 5.15.

Obr. 5.15 Mikroštruktúra zliatiny kobaltu Co-Cr-Mo (SEM)

Kobaltové 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). Superzliatiny sa odlišujú od zliatiny *Vitalium* predovšetkým náhradou molybdénu volfrámom a eventuálnym prídavkom bóru, tantalu a zirkónu. Vyšší obsah niklu vyplýva výlučne zo snahy ušetriť kobalt. Pre svoju odolnosť proti korózii a dobré zlievárenské 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.

5.3. Ľahkotaviteľné kovy a ich zliatiny

Medzi ľahkotaviteľné kovy zaraďujeme kovy s teplotou tavenia do 600°C, t.j. Ga, In, Sn, Pb, Bi, Sb, Zn a Cd, ktoré majú ako konštrukčný materiál menší alebo väčší význam v technicky čistej forme alebo ako základ zliatin. Väčšina ľahkotaviteľných kovov sa používa na pokovovanie.

4.3.1 Ľahkotaviteľné kovy

Indium (In) je veľmi tvárny, mäkký kov s teplotou tavenia 156,4°C. Patrí medzi stopové kovy, napriek svojej vysokej cene nadobúda stále väčší technický význam. V strojárstve sa používa indium ako prísada k iným ľahkotaviteľným kovom. V týchto zliatinách potom zvyšuje pevnosť a antikoročné vlastnosti. V leteckom a automobilovom priemysle sa používa galvanicky nanesená vrstva india ako ložiskový kov. Pokovovanie indiom zvyšuje odolnosť ložísk leteckých a naftových motorov proti korózii a opotrebeniu.

Cín (Sn) je deficitný a patrí k najdrahším technickým kovom. Má teplotu tavenia 232°C. Podstatná časť svetovej výroby cínu sa spotrebuje vo výrobe pocínovaných plechov, ktoré sa používajú na výrobu konzerv. Cínový povlak dobre odoláva koróznym účinkom potravín, pričom nemá negatívny vplyv na ich kvalitu (t.j. na zdravotnú bezchybnosť, chuť, vzhľad a pod.). Je ho možné vyvalcovať na fólie o hrúbke menšej ako 0,1 mm (tzv. staniol), ktoré sa skôr používali ako obalový materiál na potravinárske výrobky. Veľká časť výroby cínu sa ďalej spotrebuje na výrobu zliatin, a to najmä cínových bronzov, kompozícií a mäkkých spájkov.

Zinok (Zn) má teplotu tavenia 419°C. Má dobré zlievárenské vlastnosti a odoláva atmosférickej korózii. Používa sa hlavne na povrchovú ochranu (až 1/3 výroby je určená na pozinkovanie, metalizáciu) plechov, drôtov a pásov; časť na výrobu mosadzí a zliatin na báze zinku a časť sa využíva v grafickom priemysle (ofsetové tabule). Zinkové zliatiny na výrobu odliatkov pod tlakom sú ternárne zliatiny typu Zn-Al-Cu. Obsah hliníka je okolo 4%, prísada medi je v jednotlivých druhoch odstupňovaná. Sú to normované zliatiny s 0,5; 1 a 3 %Cu. Prísada medi zvyšuje pevnosť odliatkov, pôsobí však nepriaznivo na stálosť rozmerov.

Bizmut (Bi), antimón (Sb) a kadmium (Cd) sa používajú predovšetkým ako prísadové prvky na výrobu zliatin. Čistý bizmut (teplota tavenia 271°C) sa používa pri výrobe atómovej energie ako chladiace médium a zliatiny Bi-V, Bi-Tn sa používajú ako palivo pre atómové reaktory. Antimón (teplota tavenia 631°C) slúži na výrobu zliatin s nízkou teplotou tavenia a časť sa využíva na pokovovanie medi a mosadzí. Čisté kadmium (teplota tavenia 321°C) sa používa v atómových reaktoroch na reguláciu jadrových reakcií. Zliatiny kadmia majú technické využitie predovšetkým ako spájky, kompozície a nízkotavitel'né zliatiny.

Olovo (Pb) má teplotu tavenia 327,4°C, je dobre tvárne, dobre zlievateľné, zvarateľné a obrábateľné, nedá sa však pilovať, nakoľko maže. Na vzduchu sa pokrýva oxidickou vrstvou, chrániacou pred ďalšou oxidáciou. Je mimoriadne odolné proti účinkom kyseliny sírovej, ľahko ho však narušuje riedená kyselina dusičná a organické kyseliny. Olovo je jedovaté, preto pri jeho výrobe a spracovaní musia byť dodržiavané prísne bezpečnostné opatrenia. Dodáva sa v rôznych stupňoch čistoty, a to buď ako tzv. mäkké olovo, alebo ako olovo tvrdé.

Mäkké olovo je vlastne technicky čisté olovo (od 99,5 %Pb vyššie). Je určené na výrobu zliatin olova, na výrobu striel, brokov, kaliacich kúpeľov, tesnení vodovodných a kanalizačných rúr, v chemickom priemysle na kyselinovzdorné vyloženia a pod.

Tvrdé olovo je zaužívané označenie pre zliatiny Pb-Sb. Napr. káblové plášte sa lisujú z tvrdého olova, zliatiny PbSb0,5. Na výrobu akumulátorových dosiek sa používa PbSb5,5 a PbSb7,5. Pomerne veľké množstvo tvrdého olova sa spotrebuje vo forme rôznych tvárnených polotovarov v strojárstve (tesnenia) a chemickom priemysle. Zo zliatin olova (okrem už uvedených) sú najdôležitejšie kompozície a mäkké spájky.

5.3.2 Zliatiny ľahkotaviteľných kovov

Podľa účelu použitia a najvýznamnejších vlastností ich môžeme rozdeliť do troch významných skupín:

- kompozície,
- mäkké spájky,
- ľahkotaviteľné zliatiny.

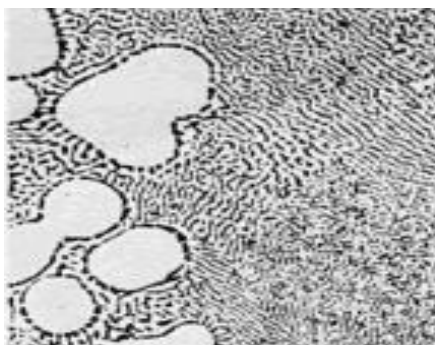
Kompozície sú zliatiny určené na vylievanie ložiskových panví. Ložiskové kovy sa všeobecne volia podľa merných tlakov a klznej rýchlosti. Pre malé rýchlosti (do 5 m.s⁻¹) a malé merné tlaky (do 0,5 MPa) vyhovujú dobre mazané liatinové panvy. Pre najväčšie merné tlaky a rýchlosti do 10 m.s⁻¹ nachádzajú uplatnenie olovené bronzy. Kompozície sa osvedčujú ako vhodný materiál pre výstelky klzných ložísk pre malé rýchlosti a stredné merné tlaky (do 12

MPa). Zaujímajú teda dôležité miesto najmä ako ložiskový kov pre rôzne dopravné prostriedky.

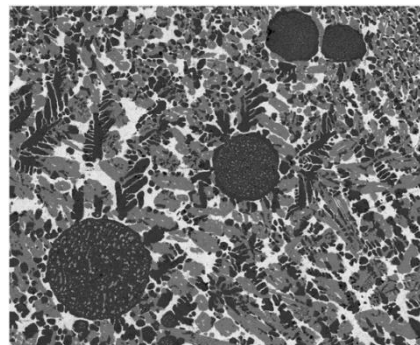
Olovené kompozície obsahujú Pb, Sn, Sb a Cu. Mäkký základ tvoria olovo a cín, tvrdou fázou sú kubické kryštály antimónu. Oloveným kompozíciám s prísadou cínu sa niekedy dáva prednosť pred cínovými kompozíciami a používajú sa na výstelky ložísk strojov, s prísadou Ni a As sa používajú na namáhané ložiská a ložiskové panvy, napr. železničných vozidiel.

Kadmiové kompozície sa využívajú v dvoch typoch. Jednak ako zliatiny kadmia s malou prísadou niklu, jednak v podobe zliatin s kombinovanou prísadou medi a striebra. Využívajú sa v leteckých a automobilových motoroch. Majú vyššiu teplotu tavenia, vyššiu pevnosť a tvrdosť ako kompozície cínové. Zároveň majú vyššiu odolnosť proti opotrebeniu a lepšiu tepelnú vodivosť. Majú však značnú tepelnú rozťažnosť a ľahko oxidujú v tekutom stave.

Mäkké spájky, používané v technickej praxi, sú prevažne binárne zliatiny Pb - Sn. Používa sa celý rad spájk s odstupňovaným obsahom cínu. Pódeutektické zliatiny (s vyšším obsahom Sn) sa vyznačujú nižšou pevnosťou a výhodnou cenou v porovnaní s cenou cínu. Používajú sa ako spájky tam, kde by bol vysoký obsah olova nevýhodou zo zdravotného hľadiska, napr. na spájkovanie lekárskeho prístrojov a v potravinárskom priemysle. Používajú sa na mäkké spájkovanie ocele, zinku, medi, pocínovaných, pozinkovaných a poolovených plechov. Kadmiové spájky vyžadujú vyššiu pracovnú teplotu a práca s nimi je preto pomalšia. Mikroštruktúra vybraných spájk je na obr. 5.16 a obr. 5.17.



Obr. 5.16 Mikroštruktúra zliatiny Sn30Pb,
zv.200x



Obr. 5.17 Mikroštruktúra zliatiny BiZnSb,
zv.200x

Ľahkotaviteľné zliatiny sa používajú ako spájky s extrémne nízkou teplotou tavenia (spájkovanie tavných poistiek), na tavné poistky na ochranu proti nadmernému ohrevu a na iné podobné účely. Tieto zliatiny obsahujú okrem bežných ľahkotaviteľných kovov (Sn, Pb) aj bizmut, antimón alebo kadmium. Najznámejšou zlatinou tohto typu je tzv. Woodov kov, ktorý obsahuje bizmut, olovo, cín a kadmium v pomere 4:2:1:1. Používa sa na výrobu tavných poistiek, na spájky na špeciálne účely a pod.

5.4. Ťažkotaviteľné kovy a ich zliatiny

Ťažkotaviteľné kovy sú kovy s teplotou tavenia vyššou ako má železo, ale zároveň sa tieto kovy ťažko tavia vzhľadom na vysokú afinitu ku kyslíku. Patria sem Cr, V, Zr, Mo, W, Ta, Nb, Hf, Re a niekedy sa sem radí aj titán. Ťažkotaviteľné kovy tvoria zliatiny, v ktorých vždy prevláda základný kov s C, N, B a Si tvoria zlúčeniny a medzi sebou tvoria tuhé roztoky.

Chrómovanie (Cr) sa taví pri teplote 1 865°C. Je vysoko odolný proti korózii vďaka pasivačnej schopnosti. Svoj lesk nestráca na vzduchu ani vo vode. Odoláva roztokom niektorých kyselín a alkalickým roztokom. Najväčšie množstvo Cr sa spotrebuje pri legovaní vysokolegovaných antikoročných, žiaruvzdorných a žiarupevných ocelí. Zlepšuje odolnosť proti korózii, zvyšuje prekaliteľnosť a zlepšuje vlastnosti cementačných vrstiev. Čistý Cr sa používa na galvanické pokovovanie s cieľom buď zlepšiť vzhľad výrobkov (lesklé chrómovanie), pohlcovať tepelné žiarenia (čierne chrómovanie), alebo zvýšiť povrchovú tvrdosť súčiastok (tvrdé chrómovanie).

Zirkón (Zr) je polymorfný kov podobný titátu, ktorý je základom radu zliatin a dôležitou prísadou v iných zliatinách. Teplota tavenia je 1852°C. V technickej praxi sa využívajú tie zliatiny, ktoré si popri výhodných mechanických vlastnostiach pri normálnej a zvýšenej teplote zachovávajú vynikajúcu koróznú odolnosť Zr, ktorá sa ešte zvyšuje prísadou cínu. Tieto sa potom využívajú predovšetkým v konštrukciách jadrových reaktorov a majú obchodné označenie *Zircaloy* ($\approx 1,4\% \text{Sn}$), obr.5.18. Používajú sa ako povlaky palivových článkov vodou chladených reaktorov.



Obr.5.18 Mikroštruktúra zliatiny Zirkalloy, zv.200x

Niób (Nb) s teplotou tavenia 2470°C má vysokú odolnosť proti kyselinám a pre dobré creepové vlastnosti nachádza použitie pri stavbe jadrových reaktorov. Zliatiny nióbu majú vynikajúcu žiaruvzdornosť a žiarupevnosť pri extrémne vysokých teplotách. Dôležité postavenie má Nb v supravodivých zliatinách, vo forme intermetalických zlúčenín. Veľký

význam má niób ako prísada v oceliach. Zvyšuje medzu tečenia žieruvzdorných a žiarupevných ocelí, v austenitických oceliach pôsobí stabilizačne a zvyšuje ich odolnosť proti medzikryštalickej korózii. Materiály legované niómom sa považujú pri konštrukcii rakiet, nadzvukových lietadiel, turbín a vysokotlakých kotlov.

Tantal (Ta) je nepolymorfny kov s veľmi dobrou chemickou stálosťou a teplotou tavenia 2996°C. Veľmi čistý tantal sa pri tvárnení takmer nespevňuje. Uplatňuje sa pri konštrukcii chemických zariadení, na výrobu trysiek pre umelé vlákna, vo farmaceutickom priemysle, v chirurgii a tiež ako elektroodporový materiál pre vysoké teploty. Časť sa spotrebuje ako prísada ocelí a pri výrobe spekaných karbidov.

Molybdén (Mo) má teplotu tavenia 2620°C a vlastnosťami sa podobá volfrámu. Jeho pevnosť výrazne narastá tvárnením za studena a dosahuje až 2500 MPa pri ťažnosti 2 až 5 %, pri vysokej čistote je dobre tvárny. Má dobré mechanické vlastnosti aj pri vysokých teplotách, avšak bez účinnej povrchovej ochrany ho nemožno ako žiarupevný materiál použiť. Zliatiny Mo s Ti (do 1,2 %) a Zr (do 0,3 %) sú určené pre použitie pri vysokých teplotách, využívajú sa v konštrukcii nadzvukových lietadiel a rakiet, na súčasti krátkodobovo zaťažované pri vysokých teplotách. Najviac molybdénu sa však spotrebuje pri výrobe zliatinových ocelí. Je prítomný tiež vo výrobkoch práškovej metalurgie (spekané karbidy, kontakty) a v magneticky mäkkých zliatinách typu permaloy.

Volfrám (W) má vôbec najvyššiu teplotu tavenia (3530 – 3410°C). Na vzduchu je stály, s kyselinami väčšinou nereaguje. Najčastejšie sa vyrába metódou práškovej metalurgie. Mechanické vlastnosti W závisia od stupňa tvárnenia, pri tenkých drôtoch (0,02 mm) sa dosahuje pevnosť až 4200 MPa. Volfrám sa používa na vlákna žiaroviek, vo vysielacích elektrónkach (žeravé katódy, konštrukčné časti), v oblúkových lampách (elektródy), na výrobu zvaracích elektród, topné odpory pre najvyššie teploty a v zliatinách s Cu alebo Ag kontakty s dobrou odolnosťou proti oteru. Veľká časť wolfrámu sa v podobe karbidov (WC) spotrebuje na výrobu rezných materiálov (tvrdokovy). Najviac wolfrámu sa však uplatňuje ako prísada pri výrobe legovaných nástrojových ocelí a iných zliatin.

5.5. Drahé kovy a ich zliatiny

Drahé kovy a ich zliatiny sú charakterizované predovšetkým svojou malou afinitou ku kyslíku. Sú to Ag, Au, Pd, Pt, Rh, Ru, Ir, Os.

Striebro (Ag) má zo všetkých kovov najvyššiu elektrickú vodivosť, vysokú chemickú odolnosť a teplotu tavenia 962°C. Na vzduchu je úplne stále, odoláva aj slabším oxidačným prostrediam a väčšine soľných roztokov. Hlavnými odbormi využitia striebra je

elektrotechnika a optika. Využíva sa jeho výborná tepelná a elektrická vodivosť, prípadne vysoká odrazivosť lúčov všetkých farieb. V elektrotechnike sa striebro používa najmä na kontakty, ktoré sa vyznačujú vysokou životnosťou (zliatiny s 5-20 %Cr). Zliatiny Ag s Cu, Zn, Cd, Sn, Pd a Pt nachádzajú použitie v klenotníctve a v priemyselnej praxi. Strieborné spájky (pre tvrdé spájkovanie) majú dobrú vodivosť, nízku teplotu tavenia a dávajú pevný, húževnatý a aj chemicky odolný spoj s dobrou vodivosťou.

Zlato (Au) má teplotu tavenia 1063°C, v prírode sa nachádza takmer výlučne v kovovej forme, a to buď ako rýdze alebo ako prímes striebra. Čistota (rýdzosť) zlata sa udáva buď v promile alebo v karátoch. Čisté zlato zodpovedá rýdzosti 24 karátov. Nízka tvrdosť rýdneho zlata je príčinou jeho rýchleho opotrebenia. Leguje sa preto Cu, Ag, Ni, Pd a v menšej miere aj Zr. Tieto zliatiny nachádzajú uplatnenie v klenotníctve, mincovníctve, zubnom lekárstve a v elektrotechnike na kontakty.

Platina (Pt) má teplotu tavenia 1774°C, je významná predovšetkým svojou vynikajúcou chemickou stálosťou, odolnosťou proti oxidácii aj pri vysokých teplotách. Používa sa na výrobu termočlánkov a ako odporový materiál pre laboratórne elektrické pece.

Paládium (Pd) má teplotu tavenia 1554°C, najväčšie využitie má v elektrotechnike pri výrobe katalyzátorov pre chemický priemysel a automobily. Paládiové spájky (Pd-Ag-Mn, Pd-Mn, Pd-Cu-Ag) majú dobrú pevnosť pri zvýšených teplotách a odolávajú oxidácii, používajú sa pri spájkovaní žiarupevných superzliatin v konštrukcii plynových turbín, nadzvukových lietadiel a rakiet.