



# Slitiny neželezných kovů

*Petr Šidlof*



# Neželezné kovy – roční produkce

Tabulka XII.1. Roční výroba kovů ve světě v miliónech tun (rok 2002).

<b>Kov</b>	<b>Výroba [<math>10^6</math>t/rok]</b>	<b>Kov</b>	<b>Výroba [<math>10^6</math>t/rok]</b>
Fe	750	Cr	3
Al	21	Ni	1
Cu	11	Mg	0,3
Zn	7	Sn	0,2
Pb	6	Ti	0,1

# Neželezné kovy - vlastnosti

	Kov	Teplota tání [°C]	Hustota (20°C) [kg/m <sup>3</sup> ]	Krystalická struktura
lehké kovy	hliník	660	2 700	fcc
	hořčík	650	1 740	hcp
	titan	1668	4 500	T<882°C-hcp, α(Ti) T>882°C-bcc, β(Ti)
kovy s nízkou T <sub>M</sub>	olovo	327	11 300	fcc
	zinek	420	7 100	hcp
	cín	230	7 300	T<13°C-strukturní typ diamantu <sup>1</sup> , α(Sn) T>13°C-tetragonální <sup>2</sup> , β(Sn)
	rtuť	-39	13 500	T<-39°C-trigonální <sup>3</sup>
kovy se střední T <sub>M</sub>	měď	1083	8 940	fcc
	nikl	1453	8 900	fcc
	kobalt	1493	8 850	T<417°C-hcp, β(Co) T>417°C-fcc, α(Co)
kovy vysokou T <sub>M</sub>	wolfram	3410	19 300	bcc
	molybden	2610	10 220	bcc
	zirkonium	1852	6 450	T<862°C-hcp, α(Zr) T>862°C-bcc, β(Zr)
ušlechtilé kovy	stříbro	960	10 500	fcc
	zlato	1063	19 300	fcc
	platina	1773	21 450	fcc

<sup>1</sup>struktura diamantu je kubická, každý atom je obklopen čtyřmi sousedy  
<sup>2</sup>struktura tetragonální má elementární buňku ve tvaru hranolu se čtvercovou podstavou  
<sup>3</sup>elementární buňka struktury trigonální má všechny tři hrany stejné a rovněž všechny tři úhly shodné, avšak jiné než 90°

# Hliník

## Vlastnosti

- lehký kov –  $2700 \text{ kg/m}^3$ ,  $T_M = 660^\circ\text{C}$ , fcc
- obsažen ve velké míře v Zemské kůře (třetí nejčastější prvek po O a Si)
- velmi dobrá elektrická a tepelná vodivost (60% čisté Cu)
- nemagnetický
- v čistém stavu měkký a tvárný, nízká pevnost
- korozní odolnost díky pasivaci povrchu
- vysoká odrazivost ve viditelném a zejména UV a vzdáleném IR spektru
- objeven a využíván až od 19. století



[www.aluminiumleader.com](http://www.aluminiumleader.com)

## Využití

- konstrukční prvky letadel, automobilů, motorů
- obalová technika (fólie, plechovky)
- stavebnictví (profily, střešní krytiny)
- elektrotechnika (dálkové rozvody)

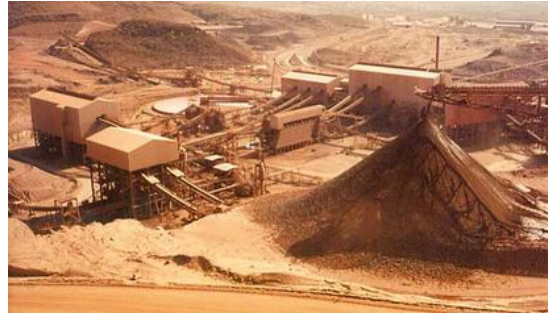
# Výroba hliníku

## Těžba bauxitu



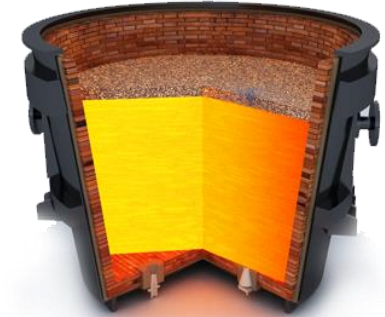
- bauxit - směs oxidů a hydrátů Al
- tropické oblasti – Austrálie, Čína, Brazílie

## Produkce čistého $\text{Al}_2\text{O}_3$



- mletí
- vyluhování
- odstranění Si, příměsí

## Elektrolytická redukce



- $\text{Al}_2\text{O}_3$  + kryolit @ 950°C
- elektrolytický rozklad  $\text{Al}_2\text{O}_3$
- tekutý Al na dně elektrolyzéro
- odlévání do ingotů

## Poznámky

- el. energie – 20-40% nákladů na výrobu hliníku (15kWh/kg), 5% spotřeby USA
- recyklovaný hliník – pouze 5% energie oproti elektrolytické výrobě z bauxitu



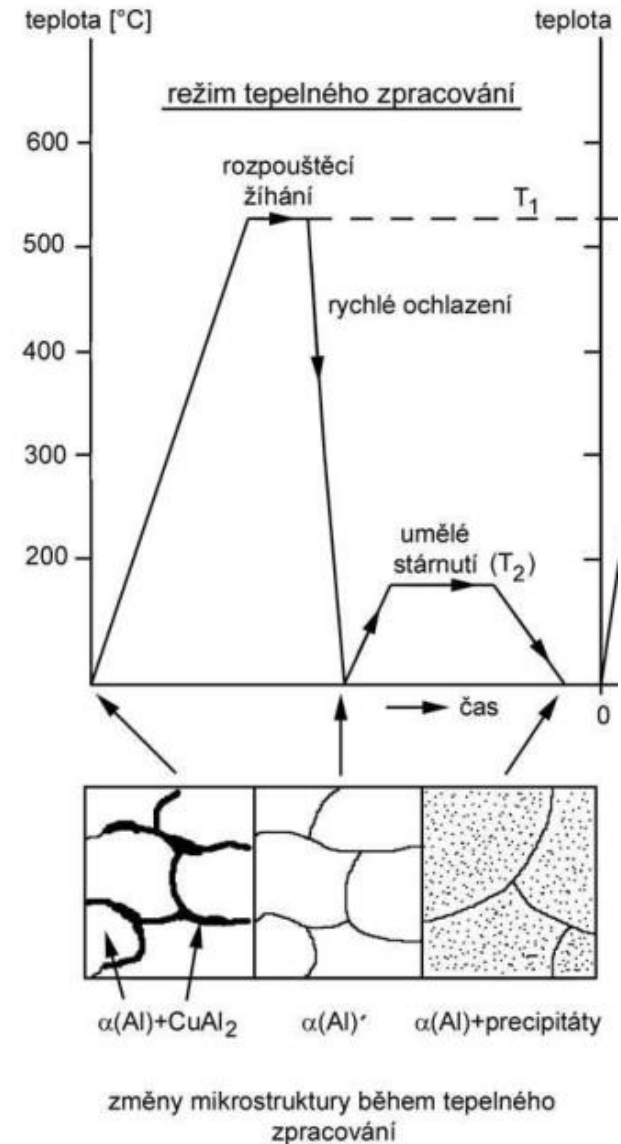
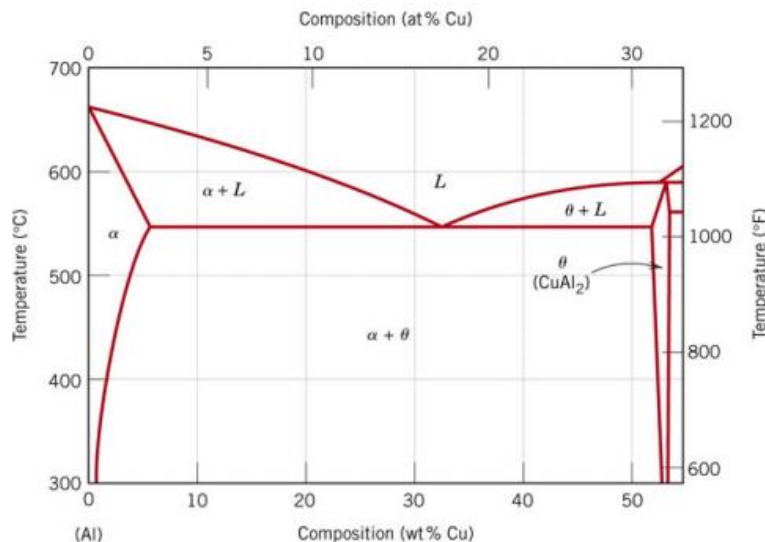
# Zpevnění a vytvrzení hliníku

## Legující prvky

- Cu + Mg (duraly), Si (siluminy), Mn, Zn, Li

## Precipitační vytvrzování duralu

- rozpouštěcí žíhání ( $T_1 = 500^\circ\text{C}$ )
- rychlé ochlazení (přesycený tuhý roztok  $\alpha$ )
- umělé stárnutí – precipitace jemných částic  $\text{CuAl}_2$



# Slitiny hliníku

## Dural

- obsah Cu 1-6%, Mg do 2%
- pevnost v tahu až 450 MPa
- letecké konstrukce, automobilový průmysl, sportovní vybavení (6061)
- korozní odolnost horší než u čistého Al, lze zlepšit Si (na úkor pevnosti) - stavebnictví

## Vysokopevnostní dural Al-Zn-Mg-Cu

- pevnost až 600 MPa – letecký průmysl, sportovní vybavení, zbraně (7075)

## Al – Li – Cu – Mg

- nízká hustota a vysoká pevnost – špičkové slitiny pro letectví

## Al – Mn (do 1.5%)

- dobrá tvařitelnost za studena – potrubí, nápojové plechovky

## Siluminy Al – Si (až 25%)

- slévárenské slitiny – bloky motorů, hlavy válců, litá kola

# Titan a jeho slitiny

## Vlastnosti

- $\rho = 4506 \text{ kg/m}^3$ ,  $T_M = 1668^\circ\text{C}$ , hcp
- vysoká pevnost, výborná korozní odolnost (pasivace), žárupevnost
- vysoká reaktivita při teplotách nad  $600^\circ\text{C}$

## Slitiny

- TiAl6V4 – pevnost až 1100MPa (zhruba 50% vyrobeného titanu)
- TiAl3V13Cr11 – pevnost 1400MPa
- Ni-Ti – slitiny s tvarovou pamětí
- intermetalika Ti-Al (tryskové spalovací motory)

## Využití

- letecký a kosmický průmysl – extrémní nároky na pevnost a spolehlivost
- chemický průmysl – čerpadla, potrubí, zásobníky
- zdravotnictví – lékařské nástroje, implantáty, stenty (biokompatibilní)
- TiN – povlaky vrtáků a obráběcích nástrojů





# Hořčík a jeho slitiny

## Vlastnosti

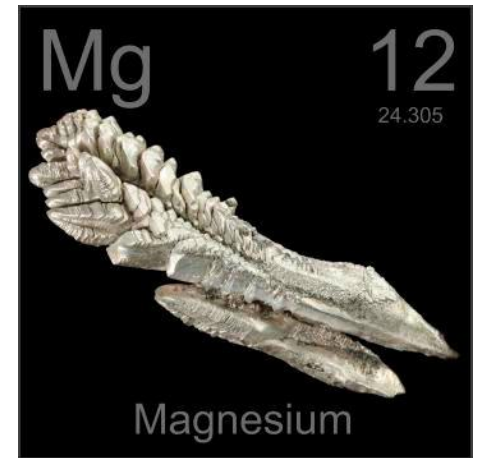
- $\rho = 1740 \text{ kg/m}^3$ ,  $T_M = 650^\circ\text{C}$ , hcp
- vysoce reaktivní – výroba v ochranné atmosféře
- 13% hmotnosti Země, velké zásoby v mořské vodě ( $\text{MgCl}_2$ )

## Slitiny

- legující prvky: Al, Zn, Mn, Zr; Ce, Nd, Li
- Mg – Al (2-9%) – Zn (max 3%) - elektrony

## Využití

- méně namáhané letecké součástky
- chassis notebooků
- litá kola



# Olovo a jeho slitiny

## Vlastnosti

- $\rho = 11340 \text{ kg/m}^3$ ,  $T_M = 327^\circ\text{C}$ , fcc
- měkké, tvárné
- výborná korozní odolnost



## Slitiny a využití

- Pb-Sb (do 25%), nověji Pb-Ca (do 1%) – olověné akumulátory
- Pb-Sn – měkké pájky
- Woodův kov  $\text{Bi}50\text{Pb}28\text{Sn}13\text{Cd}9$  –  $T_M = 70^\circ\text{C}$  (tavné pojistky, požární jističe)
- munice
- ochrana proti radiaci

Chemická toxicita – omezení spotřeby (potrubí, benzín, pájky)

# Zinek

## Vlastnosti

- $\rho = 7140\text{kg/m}^3$ ,  $T_M = 419^\circ\text{C}$ , hcp
- výborná korozní odolnost (pasivace)



## Slitiny a využití

- povrchová ochrana ocelových výrobků – galvanické a žárové zinkování (55%)
- mosaz Cu-Zn (3-45% hm.)
- slitiny Zn-Al-Cu - drobné kovové výrobky (zámky, kliky)
- zinko-uhlíkové a alkalické baterie
- po železe druhý nejdůležitější kov v biosféře – enzymy, proteiny

# Cín

## Vlastnosti

- $\rho = 7310 \text{ kg/m}^3$ ,  $T_M = 231^\circ\text{C}$   
 $\beta$ -cín: fcc – měkký, tvárný, korozně odolný
- $\alpha$ -cín: tetragonální (cínový mor)



## Slitiny a využití

- povrchová úprava oceli proti korozi (plechovky)
- pájky Pb-Sn, amalgámy, umělecké předměty
- výroba tabulového skla
- bronz – Cu-Sn

# Rtuť

## Vlastnosti

- $\rho = 13534 \text{ kg/m}^3$ ,  $T_M = -38^\circ\text{C}$
- tekutý kov
- rozpustné soli a páry – silně toxické



## Slitiny a využití

- teploměry a tlakoměry – vysoké povrchové napětí, nízká smáčivost (zakázáno 2007 – EU RoHS)
- zubní amalgámy – Hg-Ag-Sn-Cu
- rtuťové výbojky

# Měď

## Vlastnosti

- $\rho = 8920 \text{ kg/m}^3$ ,  $T_M = 1084^\circ\text{C}$ , fcc
- velmi dobrý elektrický vodič (standard)

## Využití čisté mědi

- Cu vysoké čistoty: elektrické vodiče
- stavebnictví – dešťové svody, rozvody vody a tepla, tepelné výměníky

## Mosazi (Cu-Zn)

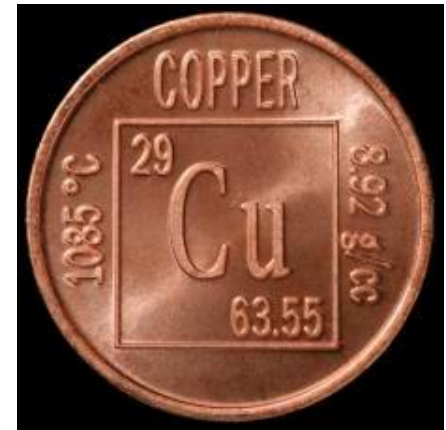
- $\alpha$ -mosazi (do 38%Zn) – tuhý roztok Zn v Cu. Výborně tvařitelné
- $\alpha+\beta$ -mosazi (38-45%Zn) – obsahují intermetalickou fázi CuZn (pevnější)

## Bronzy

- cínové bronzy (22% Sn – zvonovina)
- červené bronzy Cu-Sn-Zn (levnější)
- olověné bronzy Cu-Pb (kluzná ložiska)

## Ostatní

- konstantan CuNi45 – tenzometry, termočlánky



# Niki

## Vlastnosti

- $\rho = 8900 \text{ kg/m}^3$ ,  $T_M = 1455^\circ\text{C}$ , fcc
- tvárný kov, dobrá korozní odolnost
- ferromagnetický

## Využití

- chrom-niklové austenitické korozivzdorné oceli
- povrchové úpravy (niklování)

## Niklové superslitiny

- žáruvzdorné a žárupevné – schopné přenášet zatížení až do  $0.9 T_M$
- letecké motory, lopatky spalovacích turbín
- příklad: Inconel 600 (NiCr16Fe8Mn1) – až 1500MPa



# Kobalt

## Vlastnosti

- $\rho = 8900 \text{ kg/m}^3$ ,  $T_M = 1495^\circ\text{C}$ , hegaxonální
- vlastnostmi podobný niklu, ferromagnetický

## Využití

- legující prvek (vysokopevnostní a nástrojové oceli, superslitiny)
- magnetické slitiny Fe-Co-V, Co-Sm
- radioaktivní  $^{60}\text{Co}$  – hloubková radioterapie (gama-nůž)

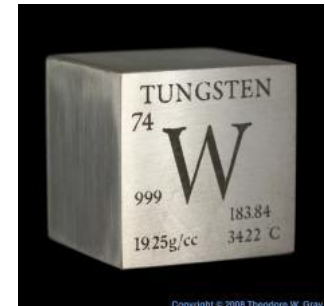




# Kovy s vysokou teplotou tání

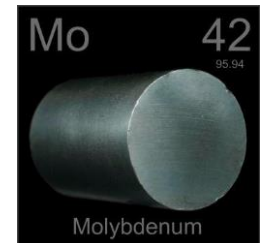
## Wolfram

- $\rho = 19250 \text{ kg/m}^3$ ,  $T_M = 3422^\circ\text{C}$ , bcc
- křehký, tvrdý, výroba – prášková metalurgie
- karbidy wolframu – brusné materiály, obráběcí nástroje (60%)
- vysokoteplotní aplikace – vlákna žárovek, pece
- legující prvek v korozivzdorných a nástrojových ocelích a superslitinách
- vojenské aplikace – hlavice raket, kulky (místo ochuzeného uranu)



## Molybden

- $\rho = 10280 \text{ kg/m}^3$ ,  $T_M = 2623^\circ\text{C}$ , bcc
- legující prvek ve vysokopevnostních ocelích a superslitinách
- katalyzátor v  $\text{NO}_x$  sondách



## Zirkonium

- $\rho = 6511 \text{ kg/m}^3$ ,  $T_M = 1855^\circ\text{C}$ , hcp
- vysoká korozní odolnost, nízká absorpce pomalých neutronů
- palivové tyče jaderných reaktorů



# Ušlechtilé kovy

## Stříbro

- $\rho = 10490 \text{ kg/m}^3$ ,  $T_M = 961^\circ\text{C}$ , fcc
- nejlepší vodič – 106% Cu
- elektrotechnika, šperky
- fotovoltaické panely
- dezinfekce, klasický film, IR zrcadla, baterie



## Zlato

- $\rho = 19300 \text{ kg/m}^3$ ,  $T_M = 1064^\circ\text{C}$ , fcc
- elektrotechnika (spolehlivé kontakty), šperky
- bílé, červené, zelené zlato - slitiny



## Platina

- $\rho = 21090 \text{ kg/m}^3$ ,  $T_M = 1763^\circ\text{C}$ , fcc
- chemická odolnost v agresivních chemikáliích
- katalyzátor (emise automobilů)
- klenotnictví, chemický průmysl, termočlánky (Pt100)

