

ESF II projekt Západočeské univerzity v Plzni

reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/18_056/0013239



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

1



Západočeská univerzita v Plzni
Katedra materiálů a technologií

2.

**Elektrotechnické materiály
KET/ELTM**

Ing. Robert Vík, Ph.D.



FAKULTA
ELEKTROTECHNICKÁ
ZÁPADOČESKÉ
UNIVERZITY
V PLZNI

EK 410, rvik@fel.zcu.cz



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



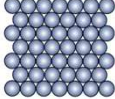
ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

2

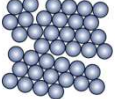
Uspořádání částic v pevných látkách

- krystalické látky**
 - ▶ charakterizovány pravidelným uspořádáním částic
 - ▶ rozložení částic se periodicky opakuje v celém krystalu
 - ▶ monokrystaly, polykrystaly

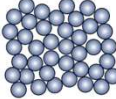
Monocrystalline



Polycrystalline



Amorphous



- amorfní látky**
 - ▶ nemají pravidelnou strukturu
 - ▶ periodické uspořádání těchto částic je omezeno na velmi krátkou vzdálenost

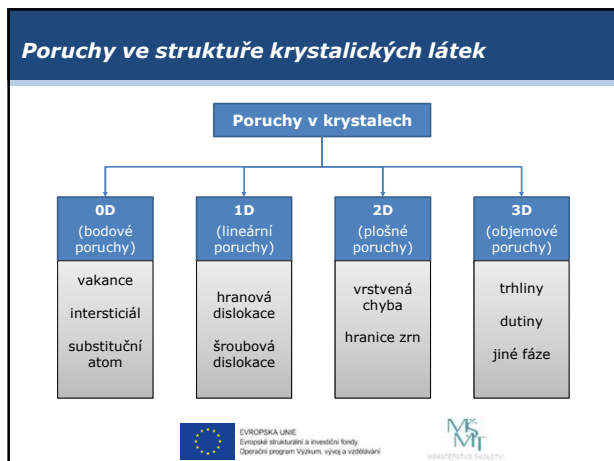


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

3



4

Poruchy ve struktuře krystalických látek - bodové

- narušení pravidelnosti struktury v jednom místě (bodě)
- 1) vakance
- 2) intersticiál
- 3) příměs v intersticiální poloze
- 4, 5) substituční příměsi

EVROPSKÁ UNIE
 Evropské strukturální a investiční fondy
 Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

5

Poruchy ve struktuře krystalických látek - bodové

- narušení pravidelnosti struktury v jednom místě (bodě)
- 1) vakance
- 2) intersticiál
- 3) příměs v intersticiální poloze
- 4, 5) substituční příměsi

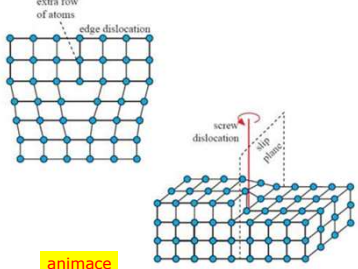
Hong, J., Hu, Z., Probst, M., Li, R., Liu, D., Tang, X., Gu, L., Mao, R., Fang, Q., Xia, L., Zhang, J., Wu, D., Zhang, Z., Jin, C., Li, W., Zhang, X., Tian, J., Zhang, Z. (2019). "Crystal structure defects in crystalline materials". *Materials Communications* 8: 8203.

EVROPSKÁ UNIE
 Evropské strukturální a investiční fondy
 Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

6

Poruchy ve struktuře krystalických látek - lineární

- porušení pravidelnosti podél jedné čáry (linie)
- 1) hranová dislokace (edge dislocation)
- 2) šroubová dislokace (screw dislocation)



animace

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MS MT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

7

Poruchy ve struktuře krystalických látek - lineární

- porušení pravidelnosti podél jedné čáry (linie)
- 1) hranová dislokace (edge dislocation)
- 2) šroubová dislokace (screw dislocation)



Schraubenversetzung

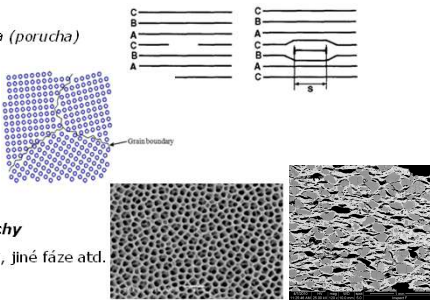
EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MS MT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

8

Poruchy ve struktuře krystalických látek – plošné a objemové

- **plošné poruchy**
- 1) vrstvená chyba (porucha)
- 2) hranice zrn
- **objemové poruchy**
 - ▶ trhliny, dutiny, jiné fáze atd.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MS MT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

9

Materiály používané v elektrotechnice

-  čisté kovy
-  slitiny kovů
-  anorganické látky
-  syntetické makromolekulární látky
-  kompozitní materiály

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MS MT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

10

Charakteristické vlastnosti materiálů

Mechanické vlastnosti

- všechny vlastnosti, které popisují chování materiálu jako odezvu na silové a deformační zatížení (pružnost, pevnost, tvrdost, houževnatost, křehkost, žárupévnost, tečení, únava)

Fyzikální vlastnosti

- Elektrické
- Magnetické
- Tepelné
- Optické

Chemické vlastnosti

- korozní odolnost, žáruvzdornost

Technologické vlastnosti

- svařitelnost, obrábitelnost, tvárnost, slévatelnost atd.

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MS MT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

11

Vlastnosti materiálů (vysvětlení pojmů)

- pružnost** - schopnost materiálu deformovat se tak, aby v něm nedocházelo k nevratným změnám
- pevnost** - schopnost materiálu přenášet napětí, aniž by došlo k jeho porušení
- houževnatost** - schopnost materiálu absorbovat energii před porušením (vyjadřuje odpor materiálu vůči vzniku a následnému růstu trhliny)
- křehkost** - opak houževnatosti. Křehký materiál se poruší při vystavení namáhání bez významné plastické deformace.
- tvrdost** - vyjadřuje odolnost materiálu vůči trvalé deformaci. Jedná se o odpor, který klade materiál proti vnikání cizího tělesa.
- žárupévnost** - schopnost materiálu dlouhodobě přenášet větší namáhání za vyšších teplot (pevnost za zvýšených teplot)
- žáruvzdornost** - odolnost vůči korozi za zvýšených teplot (nad 600°C)
- korozivzdornost** - odolnost vůči elektrochemické korozi za normálních teplot
- únava materiálu** - pomalé kumulující se poškození materiálu, vznikající opakovaným zatěžováním (plastickými deformacemi) v místech koncentrace mechanického napětí

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MS MT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

12

Deformace materiálů

- deformace tělesa je změna jeho tvaru díky působení vnější síly
- elastické** – při ukončení působení síly se těleso vrací do původního tvaru
- plastické** – deformace zůstávají i po ukončení působení síly





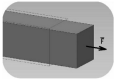

EVROPSKÁ UNIE
 Evropské strukturální a investiční fondy
 Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



13

Mechanické vlastnosti materiálů

- nejdůležitější parametry pro konstrukční materiály
- vyjadřují chování materiálu za působení vnějších sil
- podle způsobu zatěžování** - na zkoušky *tahem*, tlakem, ohybem, krutem, stříhem,
- podle časového průběhu zátěžné síly** - na zkoušky *statické*, charakterizované pomalými změnami zatížení a konstantní rychlostí deformace a na *zkoušky dynamické* s rychlými změnami zatížení a s velkou rychlostí deformace,
- podle fyzikálních podmínek** - zkoušky za různých teplot a v různých prostředích



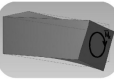
tah



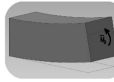
tlak



střih



krut



ohyb



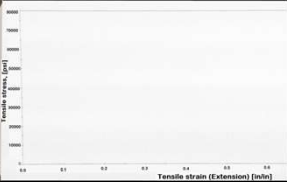
EVROPSKÁ UNIE
 Evropské strukturální a investiční fondy
 Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



14

Zkouška tahem

- zkouška spočívá v postupném zatěžování zkušební tyče do přetržení s cílem zjistit pevnostní a plastické vlastnosti materiálu
- výsledkem tahový diagram (závislost síly na deformaci)

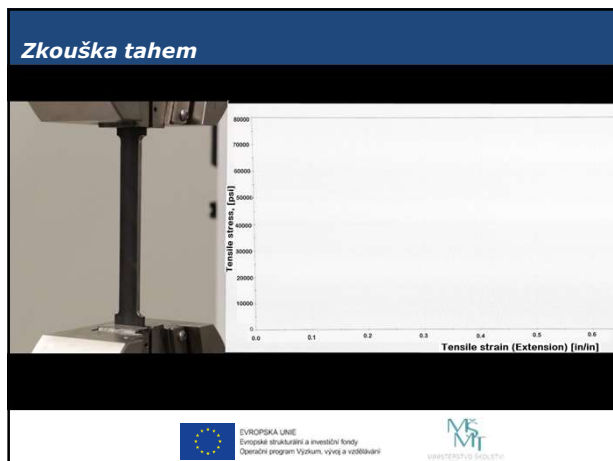





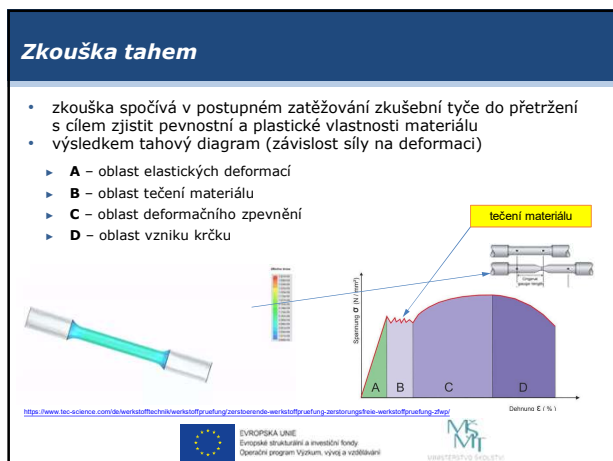
EVROPSKÁ UNIE
 Evropské strukturální a investiční fondy
 Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



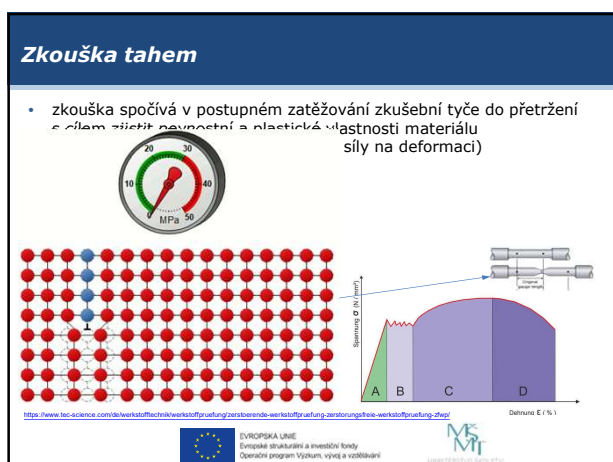
15



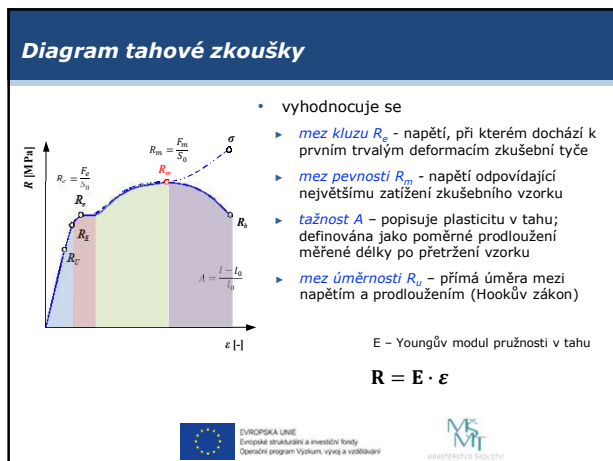
16



17



18



19

Charakteristické vlastnosti konstrukčních kovových materiálů (obecně)

Čisté kovy

- ▶ měkké, tvárné, málo pevné
- ▶ dobře elektricky vodivé
- ▶ odolné proti korozi

Slitiny kovů

- ▶ tvrdší, pevnější, hůře tvárné
- ▶ horší elektrická vodivost
- ▶ méně odolné proti korozi (kromě legovaných slitin)

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MT
MATEMATICKÝ ÚSTAV

20

Železo a jeho slitiny

- technicky nejvýznamnější kov
- v čisté formě malé využití
- ▶ výroba surového železa pomocí redukce železných rud koksem

$$Fe_2O_3 + 3C \rightarrow 2Fe + 3CO$$

- slitiny železa s uhlíkem – dělení dle obsahu uhlíku
- ▶ **oceli** (obsah **C** cca **do 2 %**)
- ▶ **litiny** (obsah **C** **nad 2 %**)

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MT
MATEMATICKÝ ÚSTAV

21

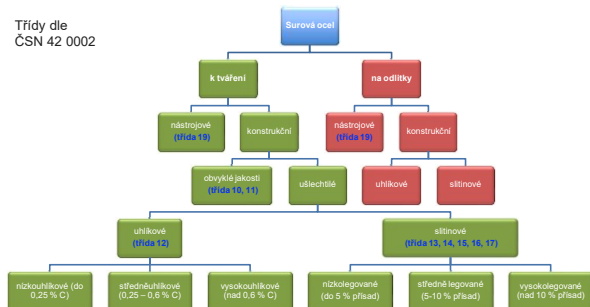
Oceli

- vlastnosti modifikovány
 - obsahem uhlíku
 - zpracováním
 - zušlechťujícími přísadami (legury – např. Mn, Cr, Ni, Mo)
- rozdělení podle použití
 - konstrukční**
 - nástrojové**
 - (se zvláštními vlastnostmi)**

22

Oceli

Třídy dle
ČSN 42 0002



23

Vlastnosti a použití ocelí

Konstrukční oceli třídy 10

- levné, dobře obrobitelné a svařitelné
- pro stavební účely, strojní zařízení, mostní konstrukce, jeřáby a podobná zařízení
- cca 80 % všech vyráběných ocelí

Konstrukční oceli třídy 11

- kvalitnější než oceli třídy 10, zaručen obsah síry a fosforu (zhoršují vlastnosti oceli), pevnost, mez kluzu a tažnost
- pro náročnější strojní součásti jako hřídele, čepy, ozubená kola, šrouby, matice atd.

Oceli třídy 12

- zaručené chemické složení
- k tažení za studena, k cementování

Oceli třídy 13

- legovány Mn a Si
- středně namáhané součásti s vyšší odolností proti opotřebení (např. pružinové oceli), oceli pro transformátorové plechy

Oceli třídy 14

- legovány Cr, Mn a Si
- použití pro namáhané součásti

24

Vlastnosti a použití ocelí

Oceli třídy 15

- ▶ legovány Cr, Mn, Mo, V, W a Si
- ▶ vysoká pevnost, mez kluzu a tečení, dobře odolávají korozi
- ▶ pro namáhané součásti jako například ozubená kola, klikové hřídele motorů, torzní tyče, tlakové nádoby, energetická zařízení pracující za zvýšených teplot

Oceli třídy 16

- ▶ legovány Ni a Cr
- ▶ dobré mechanické vlastnosti i za nízkých teplot
- ▶ pro vysoce namáhané součásti

Oceli třídy 17

- ▶ vysoce legované zejména Ni (až 70 %) a Cr, dále Mo, Ti a Mn
- ▶ velmi odolné proti žáru, korozi a otěru, pro kalící pece, energetická zařízení, potravinářský a chemický průmysl, zdravotnictví, funkční části bagrů, drtičů, mlýnů apod.

Oceli třídy 19

- ▶ oceli užívané k výrobě obráběcích a tvářecích nástrojů (nástrojová ocel)



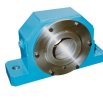
EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



25

Použití konstrukčních ocelí

- ▶ stožáry vvn
- ▶ malé rotory
- ▶ hřídele
- ▶ svorníky transformátorů
- ▶ kostry asynchronních motorů
- ▶ rotory a tělesa ložisek synchronních generátorů
- ▶ ložiskové stojany a pánve ložisek turbogenerátorů



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



26

Oceli se zvláštními vlastnostmi

- vedle mechanických i další vlastnosti

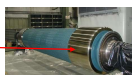
tepelnými

- ▶ oceli s malou tepelnou roztažností (Invar)
- ▶ žárupevné oceli – parovody, součásti turbín (oceli legované prvky tvořícími karbidy např. Cr, Mo, W, V)



magnetickými

- ▶ nemagnetické části el. strojů, armování kabelů, skříně citlivých mag. přístrojů (austenitické, manganové oceli)



korozními

- ▶ korozivzdorné oceli – chemické provozy, potravinářství (oceli s vysokým obsahem Cr, Cr-Ni, Cr-Mn)
- ▶ žáruvzdorné oceli – součásti kotlů, parních potrubí atd. (oceli legované Cr, Al, Si)



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



27

Nástrojové oceli

- používány k výrobě nástrojů
 - ▶ požadována odolnost povrchu nástroje v místě kontaktu se zpracovávaným materiálem
 - ▶ pevnost tělesa, které musí přenášet technologické zatížení
- použití:
 - ▶ řezné nástroje
 - ▶ nástroje k tváření
 - ▶ nástroje měřicí
 - ▶ pomocné nástroje a přípravky



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



28

Litiny

- slitiny železo-uhlík obsahující více než cca 2 % uhlíku
- vysoká odolnost vůči tlaku a teplotě, ale vysoká křehkost a nízká pružnost
- větší množství příměsí než oceli (Mn, Si, P, S)
- litina šedá (nejrozšířenější), temperovaná, tvárná, legovaná (např. austenitická)
- použití na:
 - ▶ podstavce těžkých strojů
 - ▶ ložisková pouzdra
 - ▶ kostry elektromotorů (statory)
 - ▶ jádra cívek (pro ss magnetizaci)



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



29

Neželezné kovy a jejich slitiny

- obvykle dražší než železo, ale využívají se pro své specifické fyzikálně-chemické vlastnosti
 - ▶ nižší hustota (hliník)
 - ▶ vyšší elektrická vodivost (měď, hliník)
 - ▶ vyšší odolnost vůči korozi (nikl, zlato, chrom)

Rozdělení:

- kovy s nízkou teplotou tání (cca do 500 °C) – Na, Li, Bi, Sn, Pb, Zn
- kovy se střední teplotou tání (cca do 1500 °C) – Cu, Ni, Co, Mn
- kovy s vysokou teplotou tání (cca nad 2000 °C) – Zr, Cr, V, Nb, Mo, Ta, W
- lehké kovy ($\rho \leq 5000 \text{ kg.m}^{-3}$) – Mg, Al, Be, Ti
- ušlechtilé kovy (Au, Ag, Pt, Pd, Rh, Ir)
(pro konstrukční účely se vzhledem k vysoké ceně příliš nepoužívají)



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



30

Kovy a slitiny s nízkou teplotou tání

31

Kovy a slitiny s nízkou teplotou tání

Alkalické kovy

- Li (180 °C), Na (98 °C), K (63 °C)

Lithium

- malé rozměry atomu – součást elektrod a elektrolytů v bateriích a akumulátorech
- přísada při výrobě speciálních skel a keramik

Sodík

- chladiivo v jaderných reaktorech, osvětlovací technika (výbojky)

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MS MT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, Mládež a tělovýchovy

32

Kovy a slitiny s nízkou teplotou tání

Cín

- stříbrně lesklý kov, $t_f = 232\text{ °C}$
- cínování měděných, mosazných i železných výrobků (např. vodiče v kabelech, kabelové oka atd.)
- slitiny – např. měkké pájky (SnPb, SnAgCu)
- součást kluzných vrstev v ložiscích

Zinek

- bílošedý kov, $t_f = 419\text{ °C}$
- pozinkování ocelových výrobků (protikoroziní ochrana)
- do slitin (s Cu – mosazi, s Al – tlakové lití)
- elektrody (baterie Zn-C)

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

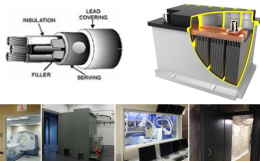
MS MT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, Mládež a tělovýchovy

33

Kovy a slitiny s nízkou teplotou tání

Olovo

- ▶ modrošedý lesklý kov, $t_c = 327\text{ }^{\circ}\text{C}$
- ▶ měkký, těžký, odolný vůči korozi
- ▶ akumulátory, pláště kabelů, pájky
- ▶ ochrana proti záření



Bismut ($t_f = 271\text{ }^{\circ}\text{C}$), **kadmium** ($t_f = 321\text{ }^{\circ}\text{C}$), **indium** ($t_f = 156\text{ }^{\circ}\text{C}$)

- ▶ hlavní složka slitin s velice nízkou teplotou tání (pod 100 °C)
 - Slitina 47 – teplota tání 47 °C (B45Pb23Sn81In19Cd5)
 - Woodvův kov – teplota tání 70 °C (Bi50Pb28Sn19Cd3)
 - ▶ speciální pájky, teplotní pojistky (samočinné hasící zařízení)
 - Cd – akumulátory, slitiny, povrchové ochrany (dnes se upouští)
 - ▶ In – optika (zrcadla), polovodiče, transparentní elektrody (oxid In+Sn)
- 



EVROPSKA UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



34

Kovy se střední teplotou tání

The image shows a periodic table of elements. The top row has four colored boxes representing states of matter: Solid (light blue), Liquid (dark blue), Gas (green), and Unknown (grey). The table is divided into two main sections: '1773 Kelvin' on the left and '1500°Celsius' on the right. The '1500°Celsius' section has a red circle around the elements Co, Ni, and Cu. The periodic table includes elements from Hydrogen (H) to Oganesson (Og).



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MUNICH UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

35

Kovy se střední teplotou tání

Nikl

- ▶ bilostříbný feromagnetický kov, $t_f = 1450\text{ }^{\circ}\text{C}$
- ▶ dobře zpracovatelný, kujný i tažený
- ▶ výborná chemická odolnost - protikoroziní povrchové ochrany
- ▶ žáruvzdorné, žárupevné, korozně odolné slitiny (Ni-Cr, Ni-Mo, Ni-Cu) – turbíny, motory, pece
- ▶ speciální slitiny Ni-Ti (např. Nitinol) – tvarová paměť, superplastické
- ▶ mincovnictví, elektrotechnika (magnetické materiály, kontakty, odporové materiály)

Kobalt

- ▶ modrošedý feromagnetický kov, $t_f = 1495\text{ °C}$
- ▶ tvrdý, pevnější než ocel
- ▶ cca 40 % kobaltu sa využije v Li-ion akumulátorech (katódy)
- ▶ slitiny (30 %), magnetické materiály (cca 5 %), pigmenty (5 %)



EVROPSKA UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Věda, vývoj a vzdělávání



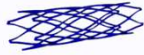
UNIVERSITY OF MICHIGAN

36

Kovy se střední teplotou tání

Nikl

- ▶ bílostříbrný feromagnetický kov, $t_f = 1450\text{ }^{\circ}\text{C}$
- ▶ dobře zpracovatelný, kujný i tažný
- ▶ výborná chemická odolnost - protikorozní povrchové ochrany
- ▶ žáruvzdorné, žárupevné, korozně odolné slitiny (Ni-Cr, Ni-Mo, Ni-Cu) - turbíny, motory, pece
- ▶ speciální slitiny Ni-Ti (např. Nitinol) - tvarová
- ▶ mincovnictví, elektrotechnika (magnetické materiály)



Kobalt

- ▶ modrostříbrný feromagnetický kov, $t_f = 1495\text{ }^{\circ}\text{C}$
- ▶ tvrdý, pevnější než ocel
- ▶ cca 40 % kobaltu se využije v Li-ion akumulátorech (katody)
- ▶ slitiny (30 %), magnetické materiály (cca 5 %), pigmenty (5 %)



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



37

Kovy se střední teplotou tání

Měď

- ▶ ušlechtilý kov načervenalé barvy, $t_f = 1084\text{ }^{\circ}\text{C}$
- ▶ korozně odolný, dobře se zpracovává
- ▶ cca 55% jako čistý kov, 45 % ve formě slitin
- ▶ stavebnictví (okapy, střešní krytiny), potrubní rozvody
- ▶ chladiče, potravinářská zařízení
- ▶ slitiny - mosazi, bronzы
- ▶ mosazi (slitiny Cu + Zn) - tvrdší a pevnější než měď, lépe obrobitelná
- ▶ bronzы (slitiny Cu + ostatní kovy (Sn, Al, Ni))
 - + Sn - dobré kluzné vlastnosti (součásti spínačů, sběrné kroužky, kontaktní segmenty)
 - + Al - součásti odolné vyšším teplotám
 - + Ni - odporové vodiče, termoelektrické články



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



38

Kovy s vysokou teplotou tání

Solid																		Liquid										Gas										Unknown																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
H	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk

Kovy s vysokou teplotou tání

Wolfram

- ▶ stříbřitě bílý, velmi těžký a mimořádně obtížně tavitelný kov, $t_f = 3420\text{ °C}$ (nejvyšší ze všech kovů)
- ▶ zejména pro vysokoteplotní aplikace (vlákna žárovek, svařovací elektrody, pece, atd.)
- ▶ karbid wolframu – tvrdokovy pro obráběcí nástroje

Zirkonium

- ▶ stříbřitě bílý kov, mimořádně odolný proti korozi, $t_f = 1854\text{ °C}$
- ▶ zejména jaderná energetika (cca 90 % kovu) – konstrukce palivových článků (velmi malý zachyt neutronů, tzn. neovlivňuje štěpné reakce)
- ▶ protikorozní ochrana speciálních laboratorních a průmyslových zařízení



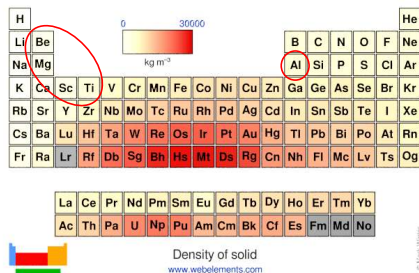
EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO MÍSTNOSTÍ

40

Lehké kovy



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO MÍSTNOSTÍ

41

Lehké kovy

Hliník

- ▶ bílošedý kov, lehký, $\rho = 2700\text{ kg.m}^{-3}$, $t_f = 660\text{ °C}$
- ▶ vedle oceli nejpoužívanější konstrukční materiál, menší hustota, ale také menší pevnost
- ▶ technické profily (např. stavebnictví), chladiče, konstrukční odlitky
- ▶ lehké pevné slitiny (např. dural (Al+Mg+Cu), siluminy (Al+Si)) – letecký a automobilový průmysl, strojírenství, elektrotechnika



Hořčík

- ▶ velmi lehký kov, $\rho = 1740\text{ kg.m}^{-3}$, $t_f = 650\text{ °C}$
- ▶ velmi reaktivní (nízká odolnost vůči korozi)
- ▶ zejména pro konstrukční slitiny – tlakové lití tvarově složitých dílů, kde je důležitá hmotnost
- ▶ rámy a ochranné kryty přístrojů (NTB, foto)



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO MÍSTNOSTÍ

42

Lehké kovy

Titan

- ▶ velmi lehký kov, $\rho=4500 \text{ kg.m}^{-3}$, $t_f = 1670 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- ▶ vysoká pevnost (vyšší než ocel) při velmi korozně odolný (i za vysokých teplot)
- ▶ letecká a kosmická technika, lékařství (biokompatibilita díky oxidaci povrchu)
- ▶ rámy a ochranné kryty přístrojů – fotoaparáty, mobilní zařízení, notebooky
- ▶ povrchové protikorozní a ochranné vrstvy(TiN)





EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
ZÁPADOČESKÉ
UNIVERZITY
V PLZNI

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
MILANO

43



Západočeská univerzita v Plzni

Katedra materiálů a technologií

Děkuji za pozornost

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
ZÁPADOČESKÉ
UNIVERZITY
V PLZNI

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
MILANO

44
