

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA FAKULTA STROJNÍ



VLASTNOSTI A ZKOUŠENÍ MATERIÁLŮ

KONSTRUKČNÍ MATERIÁLY

doc. Ing. Halama Radim, Ph.D.
Ing. František Fojtík, Ph.D.
Ing. Martin Fusek, Ph.D.
Ing. Jaroslav Rojíček, Ph.D.
Dr. Ing. Ludmila Adámková

Ostrava 2013

© doc. Ing. Halama Radim, Ph.D., Ing. František Fojtík, Ph.D., Ing. Martin Fusek, Ph.D., Ing. Jaroslav Rojíček, Ph.D., Dr. Ing. Ludmila Adámková

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3027-8



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

OBSAH

1	KONSTRUKČNÍ MATERIÁLY	3
	1.1konstrukční materiály	4
	1.2Vazby v pevných látkách.....	6
	1.3Vlastnosti materiálů.....	9
	1.4Krystalová stavba kovů	13
	1.5Millerovy indexy	14
2	POUŽITÁ LITERATURA	18



1 KONSTRUKČNÍ MATERIÁLY



OBSAH KAPITOLY:

Základní skupiny konstrukčních materiálů.

Vazby v pevných látkách.

Vlastnosti materiálů.

Krystalová stavba kovů.

Millerovy indexy



MOTIVACE:

Znalost spektra konstrukčních materiálů, jejich mechanických vlastností a vhodnosti použití daného materiálu na daný konstrukční záměr je základním stavebním kamenem každého úspěšného inženýra.



CÍL:

Základní skupiny konstrukčních materiálů, vazby v pevných látkách, struktura pevných látek.

Vlastnosti materiálů, rozdělení do základních skupin.

Rozdělení a základní charakteristika kovů.

Rozdělení a základní charakteristika polymerů, keramiky a kompozitu.

Krystalová stavba kovů, přehled krystalových soustav a krystalických mřížek.

Značení rovin a směru – Millerovy indexy.

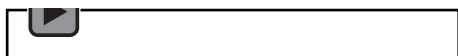


1.1 KONSTRUKČNÍ MATERIÁLY

Studiem kovů se kromě fyziky a chemie zabývá fyzikální metalurgie. Jejím obsahem je vztah mezi vlastnostmi různých materiálů a jejich vnitřní strukturou v makro i mikro měřítku. Poznáním a využíváním těchto vztahů je posláním celého oboru fyzikální metalurgie.



Audio 1.1



Budoucí strojní inženýr potřebuje získat základní představy o souvislostech struktury materiálů a jejich mechanických vlastnostech a použití daných konstrukčních materiálů.

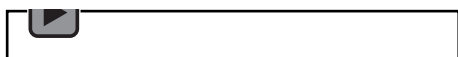
ZÁKLADNÍ SKUPINY KONSTRUKČNÍCH MATERIÁLŮ

Materiál: Je každá pevná látka, která je určena pro další technologické zpracování ve výrobě.

- Je třeba si uvědomit, že vlastnosti materiálu spolu s výrobní technologií určují vlastnosti finálního výrobku. Správná volba materiálu pro každý produkt je tedy zásadní.
- Materiál podléhá degradačním procesům (plastická deformace, lom, únava, tečení, opotřebení, radiační poškození, koroze).
- Pro každou skupinu materiálů je charakteristický možný rozsah vlastností, které jsou přímo dány vnitřní stavbou. Vnitřní stavba materiálu závisí kromě chemického složení, také na technologii výroby a zpracování materiálu.
- Základní částicí hmoty je atom. Atom se skládá z jádra a obalu, přičemž téměř všechna hmota atomu je soustředěna v jádře.



Audio 1.2



Obrázek 1 Materiál

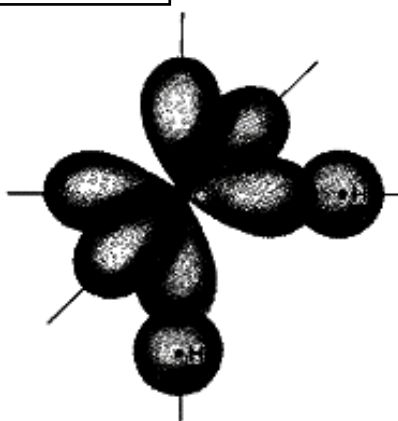
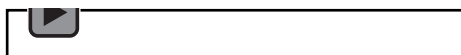


SKLADBA ATOMU

- Již řecký filosof Démokritos (460-371 př.n.l.), od něhož pochází i název atom (atomos = nedělitelný) přišel s myšlenkou skladby hmoty z mnoha okem nepostřehnutelných částic. Až v 19. století však vědci přijali myšlenku, podle níž se chemické prvky skládají z atomů. Po objevu elektronu a zjištění, že všechny atomy obsahují elektrony, byl navržen Thomsonem první model atomu (tzv. „pušinka“ model atomu), který byl experimentálně rozporován. Až Rutherfordův druhý model zahrnoval existenci kladného jádra uprostřed atomu, přičemž elektrony měly být rozptýleny rovnoměrně v celém objemu. V roce 1913 předložil dánský fyzik Niels Bohr první smysluplný model atomu, který byl „používán“ poměrně dlouhou dobu. Podle Bohrova modelu se elektrony pohybují po určitých kruhových drahách kolem kladného jádra, podobně jako se pohybují planety Sluneční soustavy kolem Slunce. Podobnost je dokonce řádově i v poměru velikosti Slunce a jádra atomu, respektive vzdálenosti planet od Slunce a vzdálenosti elektronů od jádra.
- Bohrov model atomu byl posledním modelem, který bylo možno vysvětlit na základě klasické fyziky. Opět proti němu bylo vzneseno několik vážných námitek, experimentálního i teoretického rázu, proto vznikl model atomu, využívající představ kvantové mechaniky. Podle tohoto modelu má elektron jak vlnový, tak částicový charakter a jeho poloha v okolí jádra je dána pravděpodobnostní funkcí. I přes nedostatky je
- Bohrov model používán stále, musíme však mít na paměti, že jednotlivé „dráhy“ elektronů jsou místa nejčastějšího výskytu elektronů. Hovoříme o tzv. „orbitalech“, viz obr.2.



Audio 1.3



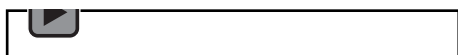
Obrázek 2 Valenční atomové orbity v H_2O

Některé prvky (vzácné plyny He, Ne, Ar, Kr, Xe, Ru) mají tzv. stabilní elektronovou konfiguraci – jejich vnější (valenční) elektronové dráhy jsou zcela zaplněny (valenční oktet – 8 valenčních elektronů), proto jsou chemicky stabilní a nezúčastňují se reakcí. Ostatní prvky, jejichž valenční dráhy nejsou zcela obsazené, se snaží dosáhnout valenčního oktetu uvolněním nebo získáním elektronů za vzniku kladného či záporného iontu, případně sdílením elektronů s jiným atomem. To je základem chemických reakcí a vazeb mezi atomy.





Audio 1.4



1.2 VAZBY V PEVNÝCH LÁTKÁCH

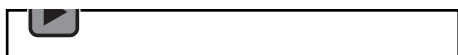
Pevné látky „drží pohromadě“, proto musí existovat *přitažlivé i odpuzivé síly mezi atomy!* Nyní stručně zmíníme jednotlivé typy vazeb, které se u pevných látek vyskytují.

IONTOVÁ VAZBA

- Atomy jsou k sobě vázány především díky elektrostatické přitažlivé síle, jež působí mezi částicemi s opačným nábojem. Dochází k tomu, že jeden atom k sobě přitáhne od druhého atomu elektron příp. více elektronů, který potřebuje k dosažení stabilní elektronové konfigurace a stane se záporným iontem. Druhý atom se po jeho/jejich ztrátě stane kladným iontem. Iontová vazba působí ve sloučeninách alkalických kovů a nekovů (halogeny F, Cl, Br...).
- Typické vlastnosti sloučenin s iontovou vazbou:
 - síla je stejná ve všech směrech kolem iontu (nesměrovost)
 - vazebné energie jsou relativně velké ($\sim 1000 \text{ kJ/mol}$), proto mají iontové sloučeniny vysokou teplotu tání
 - dobrá rozpustnost ve vodě, tvrdost a křehkost (anorganické soli, např. NaCl)
 - vede k dobrým elektrickým a tepelným izolačním vlastnostem

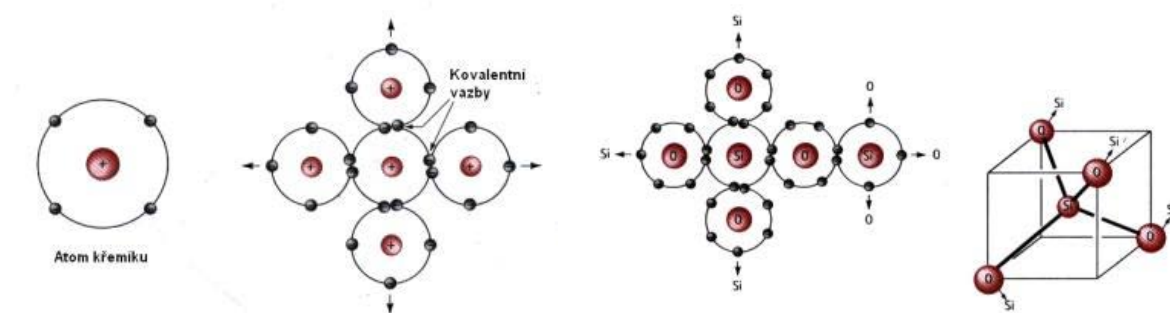


Audio 1.5



KOVALENTNÍ VAZBA

- Je vnitromolekulární forma chemické vazby, kterou lze charakterizovat sdílením jednoho nebo více párů elektronů mezi dvěma prvky. Atomy účastníci se vazby si tímto způsobem zaplňují valenční vrstvu elektronového obalu.
- Tato vazba je velmi silná, takže ani táním nebo rozpouštěním se molekuly nemění. Příkladem této párové vazby elektronů je např. H_2O , CO_2 , Cl_2 , ale i diamant, karbid křemíku SiC či polymery s řetězcí C-atomů.



Obrázek 3 Vazby mezi atomy křemíku (Si) a křemenu SiO₂ (směrovost)

Vlastnosti kovalentní vazby:

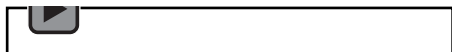
- existuje ve směru mezi atomy zúčastněnými na sdílení atomů



- může být velmi pevná – poskytuje materiálu velkou tvrdost a vysokou teplotu tání (diamant $\sim 3550^{\circ}\text{C}$), nebo naopak velmi slabá (vismut Bi $\sim 270^{\circ}\text{C}$)
- iontová a kovalentní vazba většinou působí společně, poměr závisí na vzdálenosti prvků v periodické tabulce prvků (čím dále jsou prvky od sebe v periodické tabulce prvků, tím větší podíl iontové vazby)



Audio 1.6

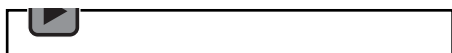


KOVOVÁ VAZBA

- Podobá se vazbě kovalentní. Jakmile se atomy kovů k sobě přiblíží a vytvoří krystalickou strukturu, valenční elektrony se jako plyn volně pohybují mezi kladnými ionty kovových atomů, čímž vyvolají vazebné síly. Valenční elektrony tvoří tzv. elektronový mrak.
- Projevuje se především u prvků, které mají nízký počet elektronů ve vnější sféře, což jsou právě především kovy.
- Vlastnosti kovové vazby:
 - Je nesměrová
 - elektronový mrak působí jako „lepidlo“ spojující kationy dohromady
 - různě pevná vazba (68kJ/mol pro Hg, 850kJ/mol pro W)



Audio 1.7

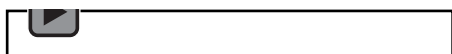


Van der Waalsova vazba

- Vyskytuje se u všech látek, bývá však překryta některou ze silnějších vazeb.
- Van der Waalsovy síly jsou přitažlivé nebo odpudivé interakce (síly) mezi molekulami.
- Jsou slabší než kovalentní vazby (energie vzájemného působení $\sim 10\text{kJ/mol}$), ale ovlivňují fyzikální vlastnosti materiálů.



Audio 1.8



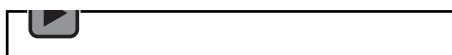
STRUKTURA LÁTEK

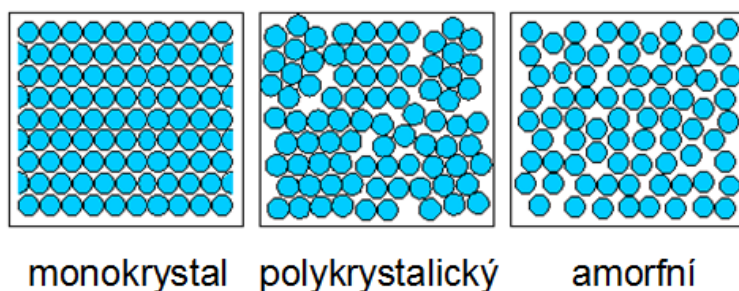
Látky lze rozdělit na:

- Krystalické
 - Krystalický stav látky je takový, kdy jednotlivé molekuly a atomy jsou zákonitě uspořádány v prostoru (nerosty, led, kovy atd.).
- Amorfni
 - Amorfni stav látky je takový, kdy jednotlivé molekuly a atomy jsou nahodile uspořádány v prostoru (např. sklo).
- Semikrystalické
 - U **semikrystalických látek** se střídají krystalické oblasti s amorfními.



Audio 1.9





Obrázek 4 Struktura látek

MONOKRYSTAL

- monokrystalu mluvíme, jestliže se elementární buňka opakuje translačně v celém objemu a atomy jsou pravidelně uspořádány.
- Tvoří trojrozměrné útvary, které lze vytvořit trojrozměrně periodickým opakováním určitého motivu.
- Pokud se motiv periodicky opakuje v celém objemu materiálu, mluvíme o monokrystalu.

Pouze některé látky se v přírodě vyskytují ve formě monokrystalu:

- diamant a další drahé kameny
- oxid křemičitý apod.
- Významnou vlastností monokrystalů je tzv. *anizotropie* fyzikálních vlastností, tj. často značně se lišící vlastnosti v různých směrech (např. modul pružnosti, optické a elektrické vlastnosti, apod.).



Audio 1.10

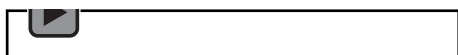


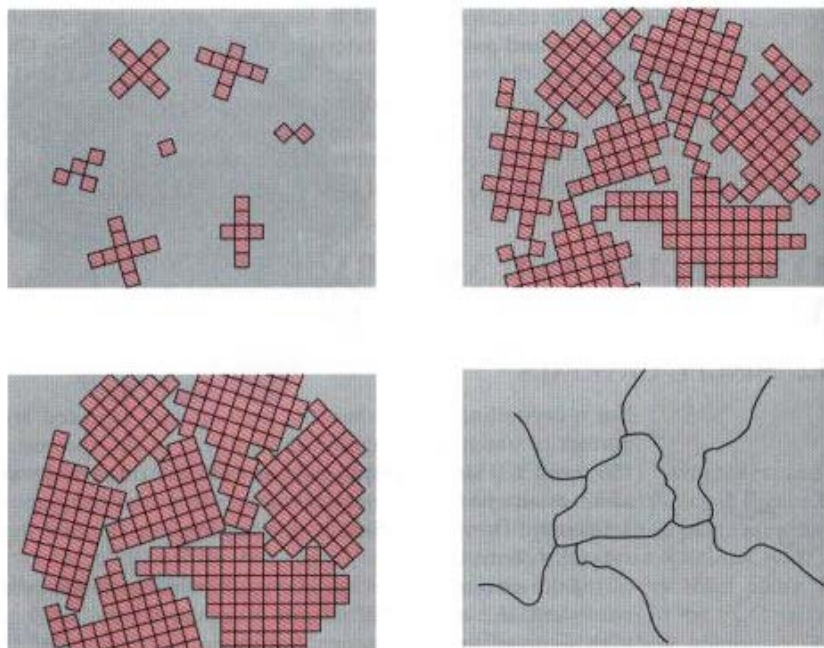
POLYKRYSTAL

- Polykrystal je složen z drobných monokrystalků (tzv. *zrn*), oddělených od sebe *hranicemi zrn*.
- Důvodem je zřejmě skutečnost, že polykrystaly mají ve srovnání s monokrystaly nižší energii a vyšší entropii.
- U polykrystalů je anizotropie potlačena tím, že zrna mají různou orientaci. Přesto i u nich se objevuje anizotropie, způsobená tím, že zrna polykrystalů se většinou během výroby deformují (např. válcováním, protlačováním a pod.) v jednom směru a zrna pak mají v tomto směru protáhlejší tvar.

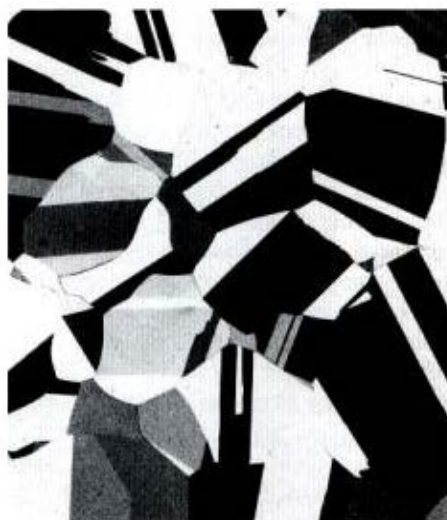


Audio 1.11





Obrázek 5 Postupné vytváření polykrystalu (tuhnutím)



Obrázek 6 Polykrystalická struktura oceli

1.3 VLASTNOSTI MATERIÁLŮ

Vlastnosti materiálů lze rozdělit do několika základních skupin:

- Chemické
- Fyzikální
- Mechanické
- Technologické

CHEMICKÉ VLASTNOSTI

- Z pohledu předmětu Vlastnosti a zkoušení materiálů je chemické složení materiálu zásadní například s ohledem na korozní namáhání.

FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI



Mezi nejpodstatnější fyzikální vlastnosti budeme počítat vlastnosti:

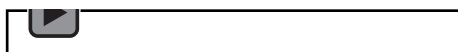
- Elektrické
- Magnetické
- Tepelné
- Optické

MECHANICKÉ VLASTNOSTI

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



Audio 1.12



TECHNOLOGICKÉ VLASTNOSTI

- technologie zpracování materiálu od polotovaru po výrobek

DALŠÍ TECHNOLOGICKÉ VLASTNOSTI

Mezi technologické vlastnosti budeme počítat také:

- tření
- opotřebení
- odolnost vůči plynům a kapalinám
- odolnost vůči radiačnímu záření
- atd.

ZÁKLADNÍ SKUPINY KONSTRUKČNÍCH MATERIÁLŮ

Konstrukční materiály lze rozdělit do několika základních skupin:

- Kovy a jejich slitiny
- Polymery
- Keramika
- Kompozity
- Technická skla
- Nové materiály – uhlíková vlákna, nanotechnologie atd.



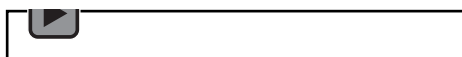
POLYMERY

Polymery jsou tvořeny makromolekulárními řetězci, které vznikají polymerizací základních konstitučních jednotek, monomerů.

- Ve srovnání s kovy a keramikou mají menší hustotu a jsou schopny velkých elastických deformací. Jsou snadně zpracovatelné.
- Stav: amorfní nebo semikrystalický.



Audio 1.15



Dělení:

- o reaktoplasty – např. epoxidy, ...,
- o termoplasty – polyetylen, polypropylen, ...,
- o kaučuky a pryže (elastomery) – přírodní kaučuk, polyuretan, ...,
- o polymerní pěny

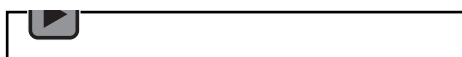
KERAMIKA

Keramické materiály jsou nekovové polykrystalické látky, které se vyrábějí z práškových surovin a zhutňují se žárovým procesem.

- Ve srovnání s kovy jsou křehké. Jejich pevnost v tahu je nízká. Před finálním lomem nevykazují plastickou deformaci. Naopak mají vysokou pevnost v tlaku (až 15x vyšší oproti tahu). Jsou však velmi málo odolné působení koncentrátorů napětí.



Audio 1.16



Dělení:

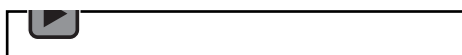
- o skelná porézní keramika (tradiční keramické materiály, porcelán, cementová pojiva, některé přírodní horniny)
- o konstrukční keramika (na bázi uhlíku, karbidů, kyslíčků, nitridů,

KOMPOZITY

Je to nejmladší skupina konstrukčních materiálů. Za kompozitní materiál lze považovat každý strukturní systém, který je složen nejméně ze dvou fází, se zřetelným fázovým rozhraním.



Audio 1.17



Dělení:

- s kovovou maticí
- s keramickou maticí



- s polymerní maticí

Sekundární fáze může existovat v kompozitu:

- ve formě dispergovaných jemných částí
- granule pravidelného nebo nepravidelného tvaru
- krátká (neuspořádaná) nebo dlouhá (uspořádaná) vlákna

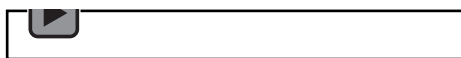
1.4 KRYSTALOVÁ STAVBA KOVŮ

- Podle stupně krystalografických elementů rozlišujeme 7 krystalových soustav.
- Celkem existují 4 typy základních prostorových mřížek: primitivní (a), bazálně středěná (b), prostorově středěná (c) a plošně středěná (d).
- Ne v každé krystalografické soustavě mohou existovat všechny 4 typy prostorových mřížek. V důsledku změny teploty a tlaku mohou kovy a jejich slitiny měnit krystalovou strukturu (polymorfie). Příkladem je železo - α , γ , δ (910/1400 °C).

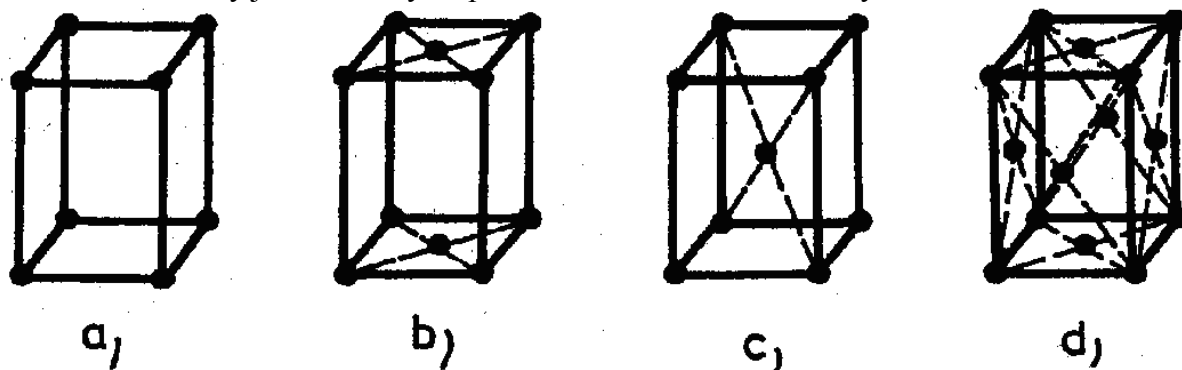
Většina kovů krystaluje v soustavě krychlové plošně středěné (face-centered-cubic, ve zkratce f.c.c.), krychlové prostorově středěné (body-centered-cubic, ve zkratce b.c.c.) a šesterečné (hexagonal-closed-packed, ve zkratce h.c.p.). Mezi f.c.c. kovy patří například Al, Cu, Au, Ag, Pt, Ni, γ -Fe, kdežto mezi b.c.c. kovy α -Fe, Mo, W, Ta. V soustavě h.c.p. krystalizují Mg, Zn a Co.



Audio 1.18



- Prostorové mřížky jsou uvedeny na příkladu ortorombické soustavy viz. Obrázek 8.



Obrázek 8 Typy prostorových mřížek v ortorombické soustavě

PŘEHLED KRYSTALOVÝCH SOUSTAV

- Triklinická (trojklonná) – pouze primitivní mřížka
- Monoklinická (jednoklonná) – primitivní a bazálně centrovaná
- Ortorombická (kosočtverečná) – všechny 4 mřížky
- Hexagonální (šesterečná) – bazálně centrovaná
- Trigonální (klencová) – pouze primitivní mřížka

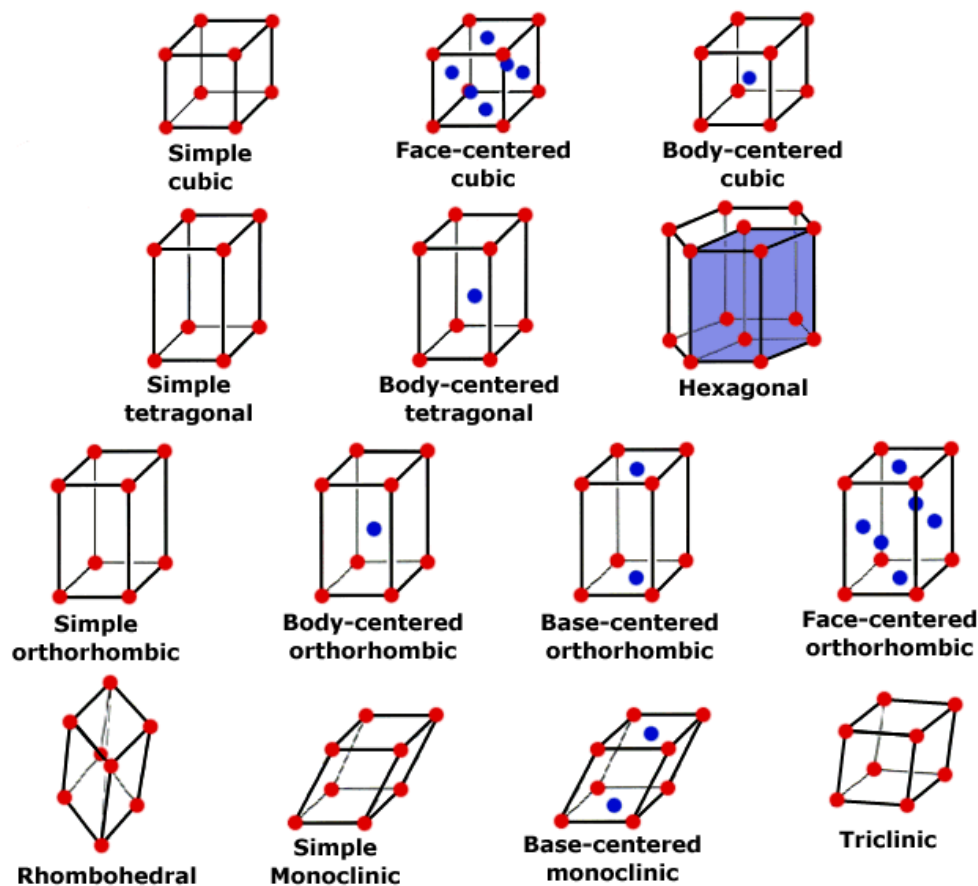
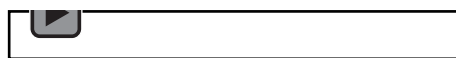


- Tetragonální (čtverečná) – primitivní a prostorově centrovaná
- Kubická (krychlová) – primitivní, prostorově a plošně centrovaná

V sedmi krystalových soustavách existuje 14 mřížek (Bravaisovy soustavy, obr.9).



Audio 1.19



Obrázek 9 Bravaisovy krystalové soustavy

1.5 MILLEROVY INDEXY

K označování krystalografických rovin se používají tzv. Millerovy indexy.

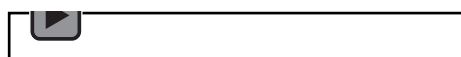
ZNAČENÍ ROVIN

- Poloha roviny je určena třemi číselnými indexy h, k, l zapsanými v kulaté závorce (hkl).
- Platí:

$$h:k:l = \frac{1}{a} : \frac{1}{b} : \frac{1}{c}$$



Audio 1.20

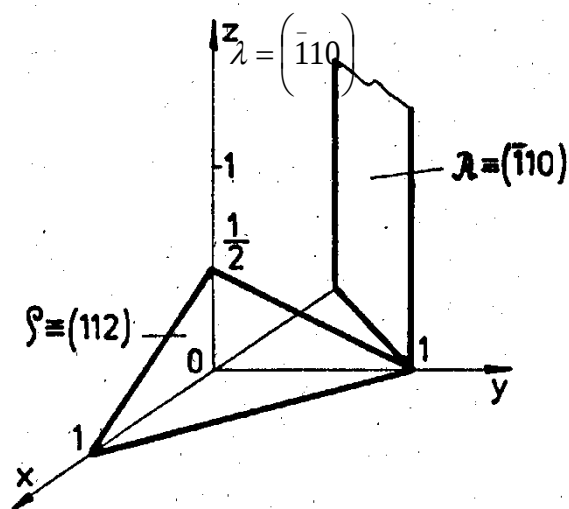


Př. Rovina $\rho = (112)$ je uvedena na obrázku 10.

- Je-li rovina v záporné části, je označena následující způsobem:

$$\left(\bar{h} \bar{k} l \right)$$

Př. Rovina λ je rovněž uvedena na obrázku 10.



Obrázek 10 Značení rovin – Millerovy indexy

ZNAČENÍ SMĚRŮ

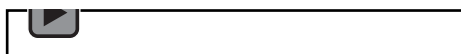
- Ke značení směru se používají indexy u, v, w zapisované v hranaté závorce.

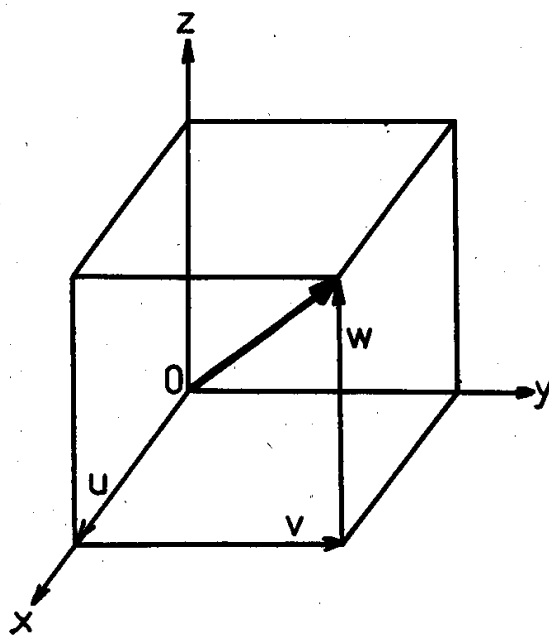
$$[uvw]$$

Př. Vektor označený $[111]$ je uvedený na obrázku 11.



Audio 1.21





Obrázek 11 Značení směrů – Millerovy indexy

- Délka směru $I = [uvw]$ se určí jako délka vektoru:

$$I = \sqrt{u^2 + v^2 + w^2}$$

Úhel mezi směry $[u_1v_1w_1]$ a $[u_2v_2w_2]$ lze stanovit z výrazu:

$$\cos \varphi = \frac{u_1 \cdot u_2 + v_1 \cdot v_2 + w_1 \cdot w_2}{\sqrt{u_1^2 + v_1^2 + w_1^2} \cdot \sqrt{u_2^2 + v_2^2 + w_2^2}}$$

Podmínka rovnoběžnosti směru $[uvw]$ s rovinou (hkl) je definována výrazem:

$$u \cdot h + v \cdot k + w \cdot l = 0$$

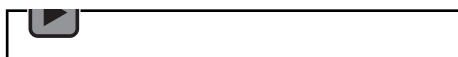
- Pokud rovina (hkl) a směr $[hkl]$ mají stejné indexy pak směr je normálou dané roviny a platí

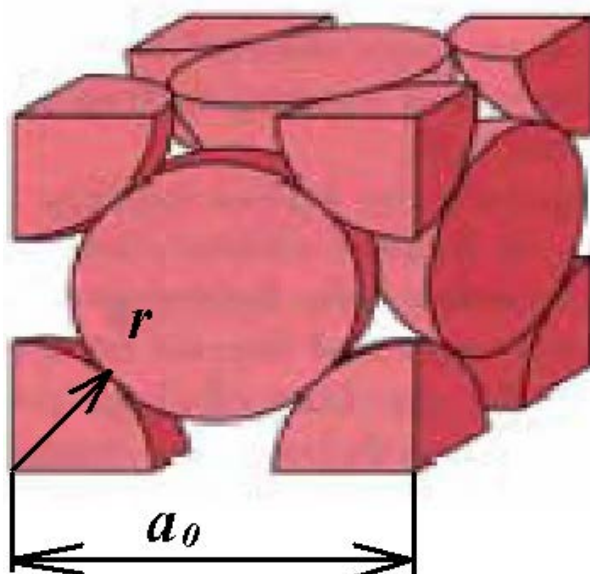
$$[hkl] \perp (hkl)$$

Krystalickou mřížku popisuje parametr mřížky a_0 a velikost atomu r . Oba parametry jsou uvedeny na příkladu kubické plošně centrované mřížky viz obr. 12



Audio 1.22





Obrázek 12 Kubická plošně centrovaná mřížka – parametr mřížky a poloměr atomu

- U kubické plošně centrované mřížky je vztah mezi parametrem mřížky a_0 a velikostí atomu r následující

$$4 \cdot r = \sqrt{2} \cdot a_0$$

což lze snadno odvodit pro jednu úhlopříčku strany elementární buňky, dle obr. 12 směr [011]. Nej hustěji obsazená rovina je pro b.c.c. mřížku (111).

- U primitivní mřížky je vztah mezi parametrem mřížky a_0 a velikostí atomu r pak

$$2 \cdot r = a_0$$

Tento vztah lze získat pro směr [010].

- U kubické prostorově centrované mřížky je vztah mezi parametrem mřížky a_0 a velikostí atomu r následující

$$4 \cdot r = \sqrt{3} \cdot a_0$$

Přičemž k čemuž lze dojít pro nejvíce obsazený směr [111]. Nejtěsnější uspořádání atomů je v rovině (110).



2 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Silbernagel, A.: Nauka o materiálu I, skripta FS VŠB – TU Ostrava, 2000, 150 s
- [2] Strnadel, B.: Řešené příklady a technické úlohy z materiálového inženýrství, VŠB – TU Ostrava, 1998, 334 s.
- [3] Silbernagel, A.: Programy do cvičení z nauky o materiálu I, skripta VŠB – TU Ostrava, 1999, 120 s.
- [4] Machek, V., Sodonka, J.: Nauka o materiálu : kovy a kovové materiály. 1. část, ČVUT v Praze, 2001, 207 s. ISBN [80-0102424-5](#)
- [5] Ptáček, L.: Nauka o materiálu I, Akademické nakladatelství CERN, 2001 Brno, 505 s. ISBN [80-7204-193-2](#)
- [6] Dorazil, E.: Nauka o materiálu I : přednášky, VUT v Brně, 1989, Brno, 247 s.

Internet

- [7] University of Cambridge. *Dissemination of IT for the Promotion of Materials Science (DoITPoMS)*. Animace pro podporu výuky Nauky o materiálu (Materials Science), 2010.
<http://www.doitpoms.ac.uk/index.html>
- [8] Úvod do fyziky pevných látek
<http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/index.htm>
- [9] SOLID STATE CHEMISTRY: DESCRIBING CRYSTALLINE SOLIDS
<http://www.seas.upenn.edu/~chem101/sschem/solidstatechem.html>

