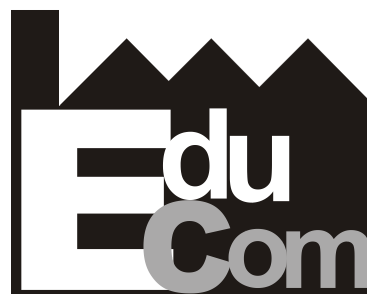


Materiály ve strojírenství

doc. Dr. Ing. Elias TOMEH

e-mail: elias.tomeh@tul.cz

Technická univerzita v Liberci



EDUCATION COMPANY

Úvod do strojírenství

**Technické univerzity v Liberci a partneři
Preciosa, a.s. a TOS Varnsdorf a.s.**

TU v Liberci



Materiály ve strojírenství

Obsah přednášky

1. ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ MATERIÁLŮ POUŽÍVANÝCH VE STROJÍRENSTVÍ
2. KRITÉRIA VOLBY VHODNÝCH MATERIÁLŮ PRO PRAKTICKÉ APLIKACE
3. POVRCHOVÉ ÚPRAVY KOVŮ A SLITIN

Materiály ve strojírenství

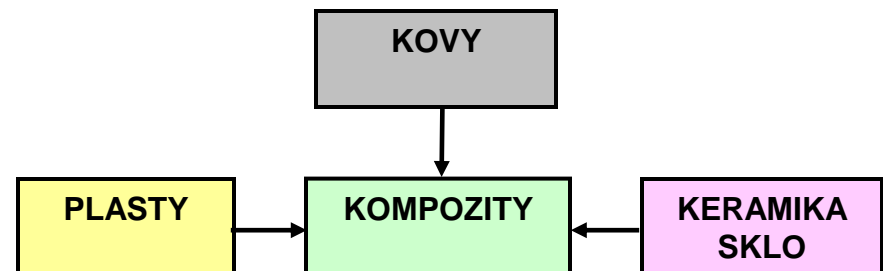
Vývojové etapy lidstva nesou názvy podle materiálu, který byl objeven a používán:

- doba **bronzová** (3000 – 5000 let p.n.l.),
- doba **železná** (od 1500 let p.n.l. až do 20. století n.l.),
- současná etapa má povahu **multimateriálovou** (vedle kovových materiálů plasty, kompozity, křemík v elektrotechnice apod.)

Materiály jsou klíčem k inovacím v tomto tisíciletí (k dispozici je dnes 40000 až 80000 různých materiálů a často jsou připravovány pro speciální použití).

Základní rozdělení materiálů používaných ve strojírenství:

- Kovy železné a neželezné
- Plasty
- Keramika, sklo
- Kompozity



Materiály ve strojírenství

Roční světová spotřeba hlavních materiálů 1995

Materiál	Roční spotřeba v mil. tun
Beton	950
Ocel	730
Plasty	100
Hliník	18
Mangan	11
Měď	9
Zinek	7
Olovo	5
Chrom	3
Kompozity s polymerní matricí	2
Dřevo	2
Nikl	1
Hořčík	0,3
Titan	0,1

Materiály ve strojírenství

Roční světová výroba kovových materiálů dosahuje cca 800 mil. tun např.:

- Železné kovy cca 740 mil.tun,
- Hliníkové slitiny ≈ 20 mil.tun,
- měď ≈ 10 mil.tun, ...

objemově to je cca 10^8 m³ (krychle o straně 465 m). Stejný objem zaujímá roční výroba plastů (hmotnostně je roční produkce plastů cca 100 mil.tun).

Suroviny pro výrobu materiálů pro strojírenství jsou získávány ze Země (zemské kůry nebo z hlubin – nerosty/rudy, organické látky).

Pouze výjimečně se naleznou čisté kovové nerosty (v Australii zlatý valoun cca 70 kg, v USA balvan mědi 500 tun). Většinou jsou kovy v nerostech (rudách) obsaženy jako sloučeniny nebo příměsi s kyslíkem, sírou, uhlíkem a jinými prvky.

Čisté kovy se z rud získávají tavením a vhodnými chemickými procesy.

Materiály ve strojírenství

Nejvýznamnějšími surovinami pro výrobu kovových materiálů jsou:

- železná ruda (oxidy železa) pro výrobu železných kovů.
- a bauxit (oxidy hliníku).

Ze železné rudy se železo vyrábí tavením ve vysokých pecích (teplota tavení železné rudy je cca 1600 °C), hliník se z roztaveného bauxitu získává elektrolýzou (teplota tavení bauxitu je 2000 °C, k jejímu snížení se používá další nerost, kryolit, jehož přísadou lze teplotu tavení snížit až na 1000 °C – i tak je výroba hliníku energeticky velmi náročná).

Charakteristika kovových materiálů:

Jsou vysoké moduly pružnosti, možnost zpevnění legováním a tepelným zpracováním. Kovy jsou houževnaté a dobře tvářitelné, mají dobrou tepelnou a elektrickou vodivost, mají menší odolnost proti korozi.

Svémi vlastnostmi leží mezi keramikou a skly na straně jedné a polymery a elastomery na straně druhé.

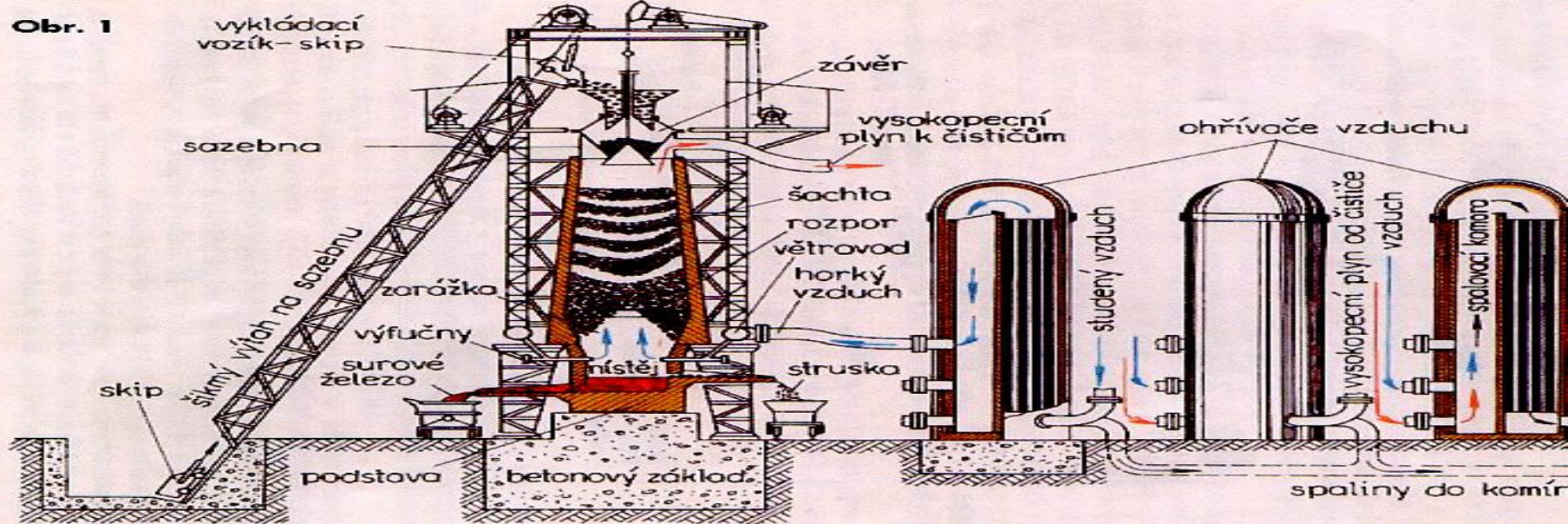
Materiály ve strojírenství

Železná ruda je oxidem železa, který se účinkem vysoké teploty taví a za přítomnosti uhlíku (dříve dřevěné uhlí, později koks) se kyslík uvolňuje od železa, váže se na uhlík a v podobě oxidů uhlíku odchází a v reakční nádobě zůstává železo.

Tavení železné rudy se uskutečňuje ve vysokých pecích – produktem tavení ve vysokých pecích je „surové“ železo, obsahující velké množství uhlíku.

Kvalitní ocel se vyrábí odstraňováním uhlíku a přidáváním jiných vhodných přísad (legur) v jiných ocelářských pecích (Siemens-Martinská, elektrická oblouková, konvertor, ...).

Litiny se získávají úpravou surového železa v kuplovnách.



Vysoká pec je protiproudý reaktor, pracující dlouhodobě v nepřetržitém provozu (10 až 15 let): plnění pece, dmýchání větru a odvod plynu jsou prakticky kontinuální plynulé procesy, vypouštění strusky a odpich surového železa (s teplotou $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$) se k plynulosti blíží.

Nízká spotřeba energie ve vysoké peci je zajištěna využíváním vysokopecního (kychtového) plynu k ohřevu vzduchu (větru) pro přívod do reakční šachty. Kychtový plyn: $\approx 4\% \text{H}_2$ -vodík, $\approx 26\% \text{Co-oxid uhelnatý}$, $10\% \text{CO}_2$ -oxid uhličitý, $60\% \text{N}_2$ -dusík

Příklad menší vysoká pec s produkcí surového železa ≈ 200 tun/den:

Výška ≈ 30 metrů, denní vsázka 475 tun ž.r., 200 tun koksu, 50 tun přísad

Materiály ve strojírenství

Surové železo obsahuje:

- kromě 3,5-4,5% uhlíku
- ještě křemík, mangan, fosfor a síru

a jejich obsah se musí upravit tak (spolu s dodáním jiných prvků – Ni-**nikl**, Mo-**molybden**, W-**walfram**, V-**vanad**),

aby vyrobená ocel měla potřebné mechanické vlastnosti i tvárnost za tepla a za studena.

C-**uhlík**, Mn-**mangan**, Si-**křemík** a P-**fosfor** mají vysokou afinitu ke kyslíku: Co **oxid uhelnatý** uniká z taveniny jako plyn, kysličníky dalších prvků vytvářejí na povrchu taveniny strusku.

Surové železo se z velké části spotřebuje na výrobu oceli.

Materiály ve strojírenství

Rozdělení technických slitin železa

Kujná železa

Obsah uhlíku

< 2.14%

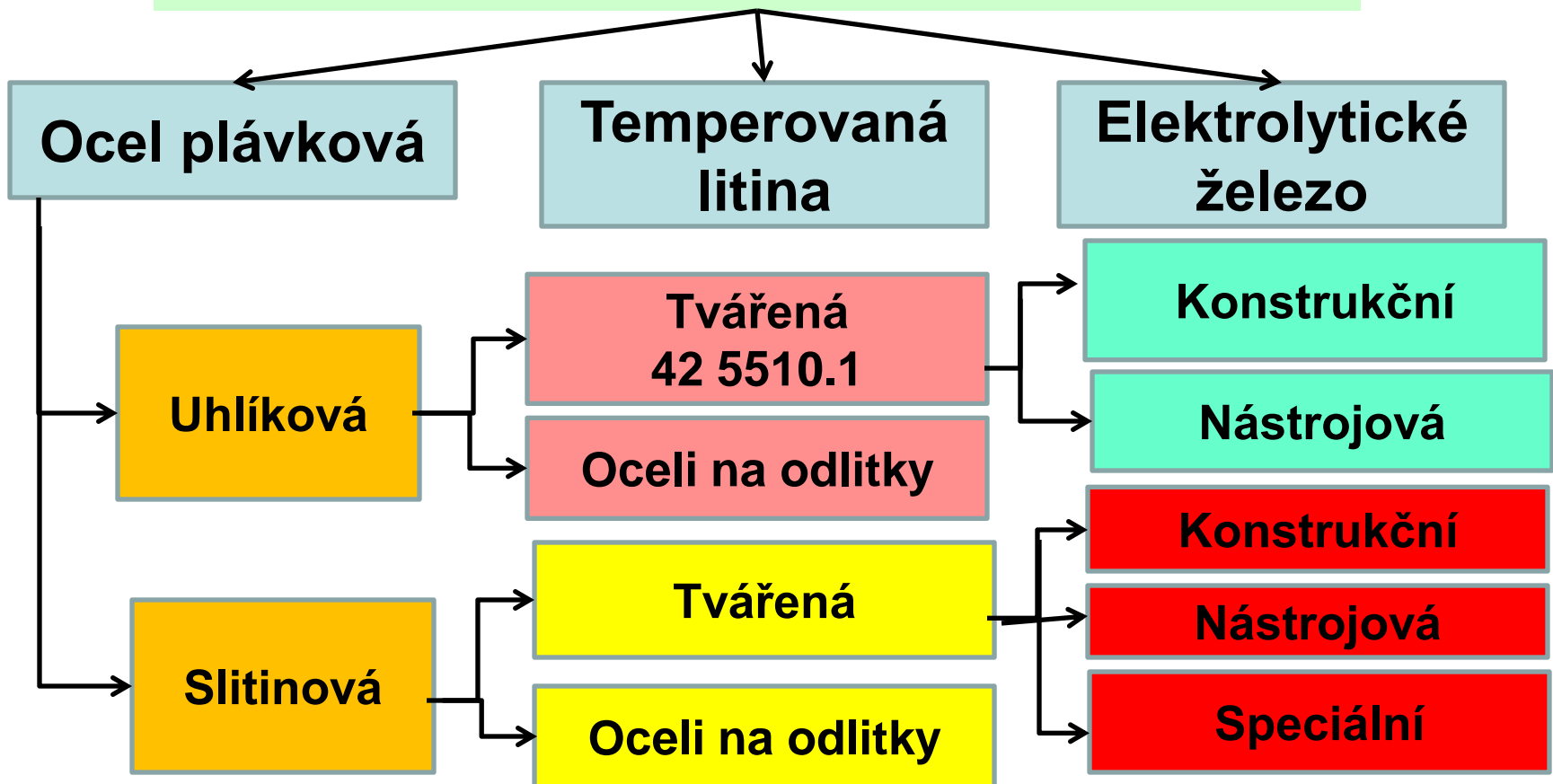
Surová železa nekujná

Obsah uhlíku

> 2.14%

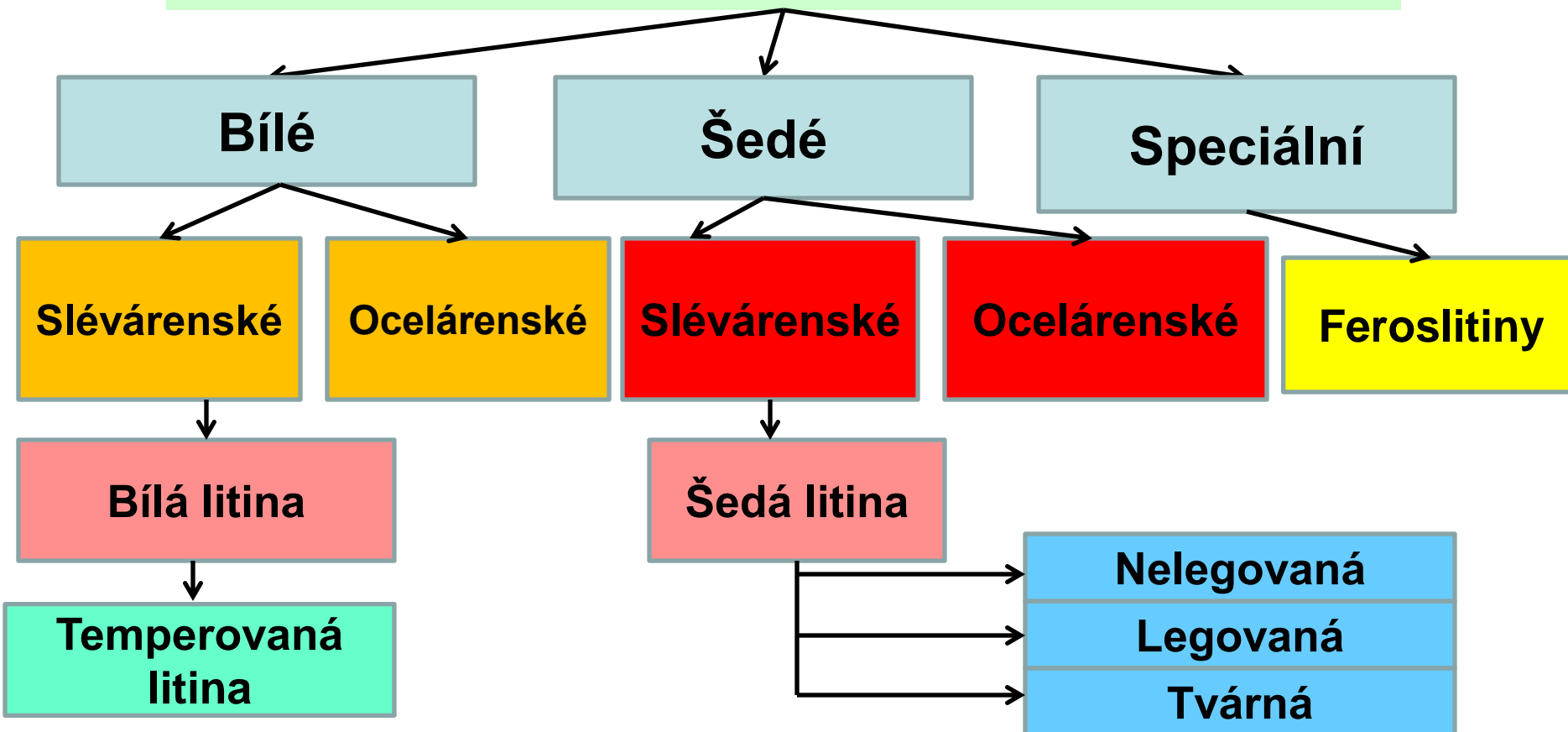
Materiály ve strojírenství

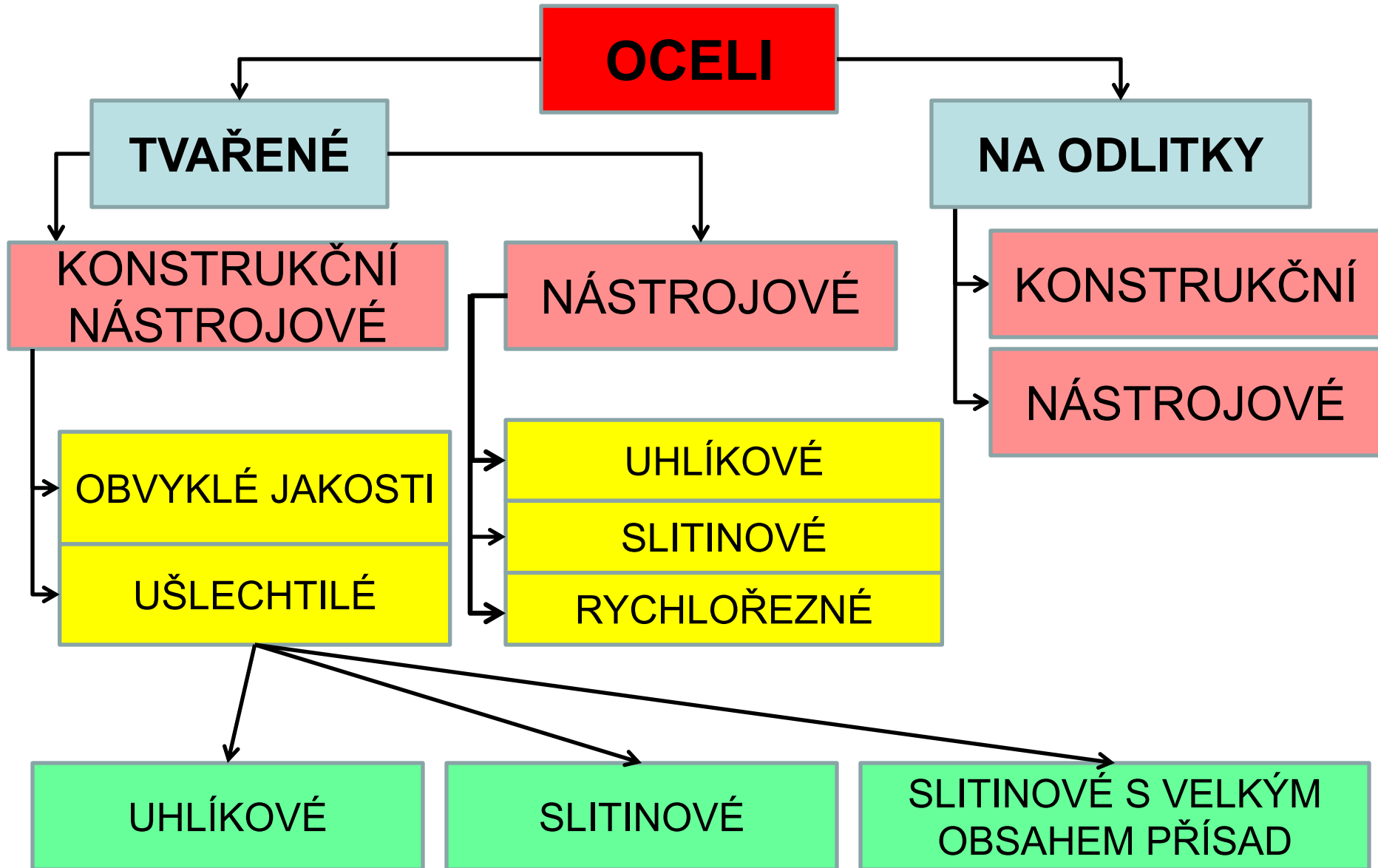
Kujná železa – Obsah uhlíku < 2.14%



Materiály ve strojírenství

Surová železa nekujná – Obsah uhlíku > 2.14%





Materiály ve strojírenství

Teplota tání čistého železa je $1529\text{ }^{\circ}\text{C}$. Čisté železo krystalizuje v soustavě krychlové ve více modifikacích (α , β , γ , δ), které se tvoří v závislosti na teplotě a podmínkách krystalizace.

Technické železo obsahuje řadu příměsí, nejdůležitější je uhlík, který se v železe vyskytuje ve dvojí podobě:

- elementární grafit
- karbid železa Fe_3C (čistý karbid železa obsahuje 6,67% C)

Struktury technického železa po krystalizaci se nazývají

- 0 – 2% C : austenit
- 2 – 4,3% C: austenit + ledeburit
- 4,3% C: ledeburit
- > 4,3% C: cementit + ledeburit

Materiály ve strojírenství

Oceli k tváření se podle použití dělí na:

- *konstrukční*
- *a nástrojové,*

podle chemického složení se dělí na:

- *Uhlíkové*
- *a slitinové.*

Oceli uhlíkové jejich vlastnosti jsou dány především obsahem uhlíku.

Dělíme je na: - *nízkouhlíkové* do 0,25%C,

- *středněuhlíkové* od 0,25 do 0,6%C,
- *a vysokouhlíkové* nad 0,6 %C.

Materiály ve strojírenství

Oceli slitinové (legované) se dělí na:

- *nízkolegované* se součtem prvků mimo uhlíků nad 2,5 %,
- *středně legované* od 2,5 do 5 %
- *výše legované* 5 až 10 %
- *vysoce legované* se součtem legujících prvků nad 10 %.

Vlastnosti těchto ocelí jsou dány druhem a množstvím legujících prvků (přísad).

Materiály ve strojírenství

Litiny

Jsou slitiny železa s uhlíkem (s obsahem větším než 2 %) a dalších prvků Si-**křemík**, Mn-**mangan**, P-**fosfor**, S-**síra**.

Podle chemického složení a podle podmínek tuhnutí taveniny slitiny železa s uhlíkem a dalšími prvky vzniká eutektikum buď:

- cementitické (ledeburit - podstata bílé litiny),
- nebo grafitické (šedá litina).

Přechod mezi těmito druhy litin tvoří litina *přechodová* (maková), která obsahuje vedle grafitu i cementit.

Materiály ve strojírenství

Materiály, používané ve strojírenství ke stavbě strojů a zařízení, musí mít potřebné **mechanické vlastnosti** z hlediska konstrukce, **technologické vlastnosti** s ohledem na způsob výroby a příp. jiné **specifické vlastnosti** z hlediska funkce ve stroji (zařízení).

Mechanické vlastnosti

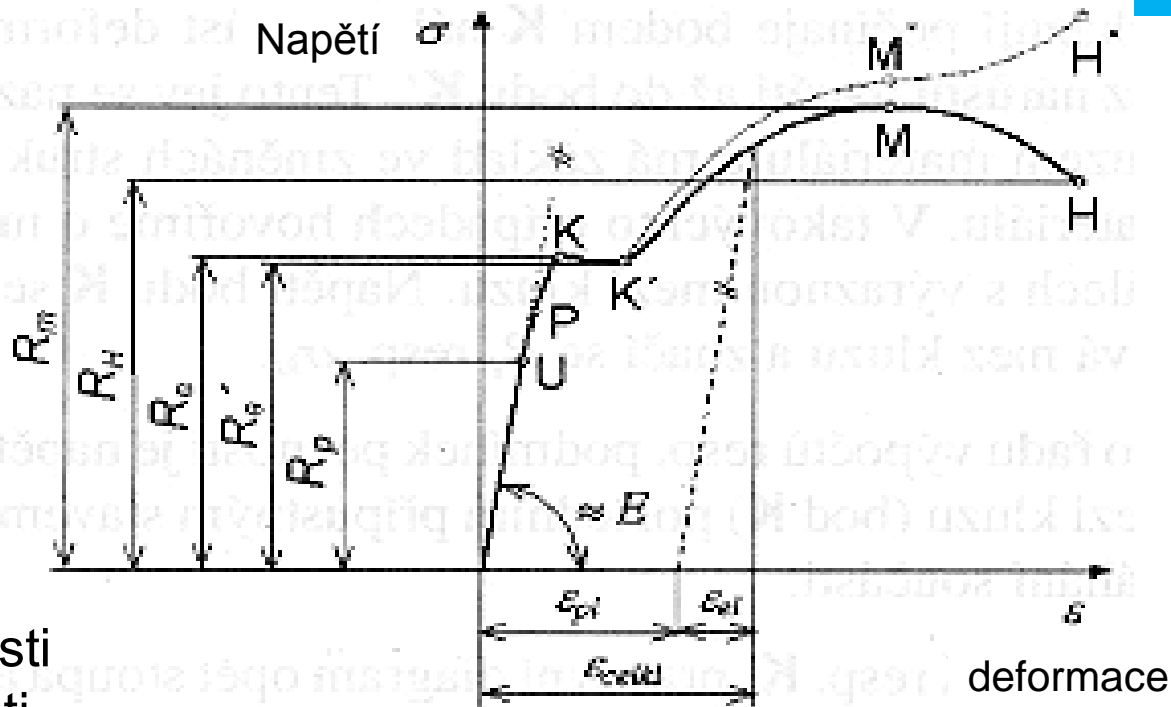
- Pevnost, modul pružnosti
- Mez úměrnosti
- Mez průtažnosti
- Tvrdost
- Houževnatost (schopnost deformací, náchylnost ke zlomení)
- Vrubová houževnatost (citlivost na tvarové změny)
- Mez únavy - únavová pevnost (nejvýznamnější parametr)

Příklad vybraných vlastností ocelí:

Ocel uhlíková	- pevnost	700 MPa
	- mez průtažnosti	400 MPa
	- mez únavy	33 MPa
Ocel slitinová	- pevnost	1050 MPa
	- mez průtažnosti	950 MPa
	- mez únavy	50 MPa

Materiály ve strojírenství

Trhací (pracovní) diagram oceli



U – mez úměrnosti

P – mez pružnosti

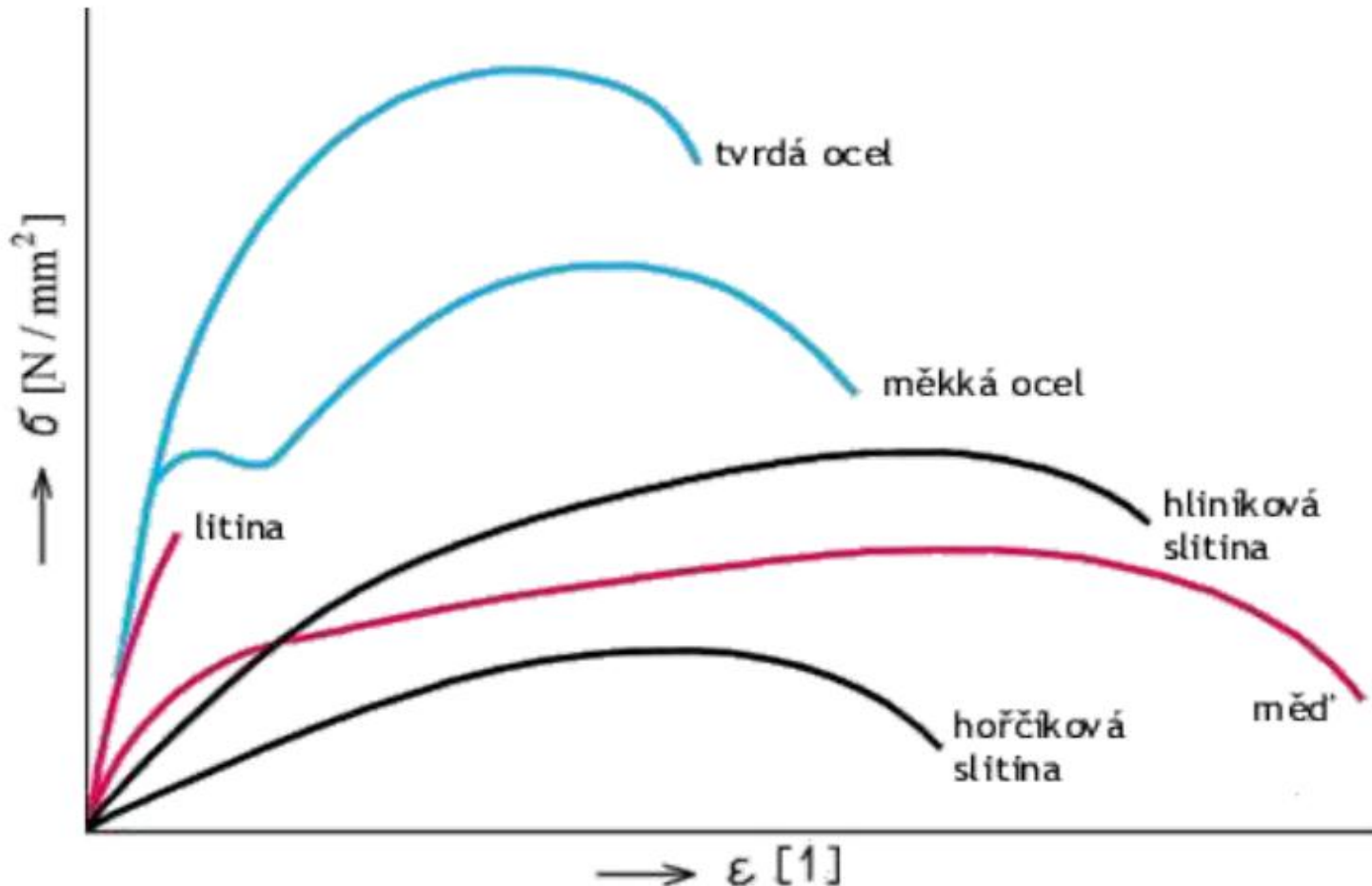
K – mez kluzu (poslední přípustný stav namáhání)

K' - zpevňování materiálu

M – maximální napětí (začátek kontrakce průřezu) - mez pevnosti

H – přetržení zkušební vzorku

Materiály ve strojírenství



Materiály ve strojírenství

Neželezné kovy a jejich slitiny

Hliník a slitiny hliníků patří mezi nejvýznamnější neželezné kovy, vyniká velmi dobrou elektrickou vodivostí, dobrou korozní odolností a nízkou měrnou hmotností. Má velmi dobrou zpracovatelnost (plechy, pásy a folie pro obaly, dráty pro elektrotechniku, lisované profily od jednoduchých až po komplikované průřezy pro použití ve stavebnictví i strojírenství a profily i plechy ze slitin vysoké pevnosti pro letectví).

Měď a slitiny mědi patří k nejrozšířenějším neželezným kovům. Slitiny mědi se dělí na mosazi (slitiny se zinkem) a bronzы (slitiny s ostatními kovy mimo niklu).

Materiály ve strojírenství

Neželezné kovy a jejich slitiny

Olovo je typické svou velkou měrnou hmotností (s níž souvisí i velká schopnost pohlcování záření) a odolností proti působení kyselin.

Zinek vyniká odolností proti atmosférické korozi a slabším zásadám. Slitiny zinku jsou vhodné pro výrobu složitých tenkostěnných odlitků s dobrou pevností.

Titan a jeho slitiny jsou novým konstrukčním materiálem. Čistý titan má nízkou měrnou hmotnost ($4500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), vynikající korozní odolnost a dobré mechanické vlastnosti.

Materiály ve strojírenství

Neželezné kovy a jejich slitiny

Nikl a slitiny niklu se vyznačují především velkou odolností proti korozi a dobrými mechanickými vlastnostmi i za vyšších teplot, velká část čistého niklu se spotřebuje do slitinových ocelí a na povrchové úpravy. Slitiny niklu se železem (a případně dalšími prvky) mají specifické fyzikální vlastnosti, především magnetické nebo elektrické (velký odpor) a slitiny s chromem tvoří základ slitin žárupevných.

Hořčík má nejmenší měrnou hmotnost z běžných kovů a jeho slitiny se s výhodou používají na odlitky tlakově lité.

Molybden a wolfram jsou kovy s nejvyššími teplotami tavení a mají významné použití v elektrotechnice i jako legující prvky při výrobě speciálních ocelí a slitin.

Materiály ve strojírenství

Plasty:

organické látky – polymery (kromě polymeru obsahují plasty různé přísady k úpravě jejich vlastností – plniva, barviva, stabilizátory, změkčovadla apod.)

REAKTOPLASTY: materiály, které mohou být převedeny do netavitelného a nerozpustného stavu účinkem tepla, záření nebo katalyzátoru s tvořením příčných vazeb mezi makromolekulami polymeru s prostorovou strukturou (tzv. vytvrzování). Proti termoplastům jsou vysoce tuhé a tvrdé, tepelně odolné a stálé za tepla, odolné vůči povětrnosti a korozi: nevýhodou je jejich malá tažnost. Používají se jako lisovací hmoty, nátěrové hmoty, lepidla, tmely, vrstvené lamináty, zalévací hmoty. Příklady – fenolplasty, aminoplasty, epoxidy, polyestery, silikonové pryskyřice.

Materiály ve strojírenství

Plasty:

TERMOPLASTY: mají schopnost opakovaně ohřevem měknout a ochlazením tuhnout v teplotním intervalu charakteristickém pro daný plast. Příklady - polyethylen PE, polypropylen PP, Polyvinylchlorid PVC, polystyren PS, polyethylentereftalát PET, polyamid PA, polyuretany PUR.

ELASTOMERY jsou polymery, které mají ve svém makromolekulárním řetězci reaktivní místa, umožňující chemickou reakcí (vulkanizací pomocí vulkanizačního činidla) vytvořit prostorovou síť, ve které jsou původně lineární makromolekulární řetězce kaučuku pospojovány chemickými púčnými vazbami.

Materiály ve strojírenství

Plasty:

VLASTNOSTI ELASTOMERU jsou určovány koncentrací pučných vazeb a chemickou strukturou při vulkanizaci se surovina (tvárný kaučuk) mění na pryž, jejíž základní vlastností je schopnost velké elastické deformace při zatěžování v tahu. Kaučuk je buď přírodní nebo syntetický (butadien, butadienstyren a pod). Jako plnivo se do kaučuku při výrobě pryže používají saze (zvyšují pevnost, tvrdost a působí proti opotřebení).

Charakteristické vlastnosti pryže:

- odrazová pružnost
- odolnost proti opotřebení a cyklickým deformacím
- chemická odolnost
- nepropustnost pro plyny a vodu
- elektroizolační vlastnosti

Elastomery mohou být jak pro všeobecné použití, tak pro speciální případy (olejovzdorné, teplovzdorné).

Materiály ve strojírenství

KERAMIKA:

anorganická nekovová látka s heterogenní polykrystalickou strukturou, připravená slinováním za zvýšených teplot. Základní materiál vypálených výrobků (střep) je tvořen krystaly jednoho nebo více druhů sloučenin, skelnou fází a póry. Tato mikrostruktura má pro vlastnosti a chování keramiky rozhodující význam a je stejně důležitá jako chemické složení střepu.

Základ klasické keramiky tvoří křemičitany hliníku a hlinitanokřemičitany alkalických kovů (porcelán, poloporcelán, kamenina apod).

Keramika na základě sloučenin titanu: oxid titaničitý, titaničitany alkalických zemin a jejich pevné roztoky s jinými sloučeninami se uplatňují jako keramické dielektrikum, pevné roztoky titaničitanů a zirkoničitanů olovnatých tvoří **piezokeramických hmot**.

Materiály ve strojírenství

KERAMIKA:

Keramika na základě oxidu železitého v kombinaci s dalšími oxidy tvoří **ferity** pro použití v elektrotechnice a elektronice. Podobné složení má keramika, používaná k výrobě prvků s teplotně silně závislým elektrickým odporem (**termistory**).

Oxidová keramika bez přísad taviv s vysokou chemickou čistotou materiálu (až 99,9% oxidu ve střepu) se používá pro zvláště **náročné technické účely** (elektroniku, jadernou techniku, techniku vysokých teplot).

Bezokyslíkatá keramika je složena z *karbidů, nitridů, boridů* apod., vyžaduje odlišný způsob zpracování od běžné keramické technologie a má zcela **mimořádné technické parametry** (vysoké odolnosti proti opotřebení, vysoké pevnosti v žáru, odolnosti proti teplotním nárazům, vysoké tepelné vodivosti apod.).

Materiály ve strojírenství

KOMPOZITNÍ MATERIÁLY : jsou heterogenní materiály tvořené dvěma, popř. více fázemi, obvykle rozdílného chemického složení, které se liší také svými fyzikálními a mechanickými vlastnostmi. Jedna z fází tvoří matici kompozitu a je spojitou fází. Sekundární fáze zpevňující matici kompozitu je obvykle nespojitá, tvořená částicemi různého typu a tvaru. Významnou vlastností složených materiálů je především jejich vysoká měrná pevnost a u některých druhů také dobrá žárupevnost nebo odolnost proti korozi apod. Kompozity různého druhu se uplatňují v leteckých konstrukcích, v raketové technice, v dopravě, v chemickém průmyslu, ve výrobě sportovních potřeb.

Matrice kompozitu má nižší pevnostní vlastnosti a větší plasticitu a často má také nízkou hustotu. Základní funkcí matrice je přenos vnějšího zatížení na zpevňující fázi. Matrice dále spojuje částice zpevňující fáze, chrání je před mechanickým, popř. chemickým poškozením. Matrice odděluje jednotlivé částice zpevňující fáze a brání rozvoji křehkého porušení kompozitu a může být kovová, polymerní nebo silikátová.

Materiály ve strojírenství

KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

Zpevňující fáze má vysokou pevnost, vysoký modul pružnosti E (o řád vyšší než modul pružnosti matrice) a malou deformaci do lomu (1 až 2 %) při vysokém podílu pružné deformace. Zpevňující fáze přenáší převážnou část vnějšího zatížení a může být kovová, skleněná nebo keramická, popř. mohou být kompozity zpevněné vláknovými monokrystaly (whiskery). Podle tvaru zpevňující fáze jsou kompozity s částicovou zpevňující fází (kulovitý, deskovitý nebo tyčkovitý tvar) nebo s vláknovou (průběžnou nebo krátkou) zpevňující fází.

Rozhraní mezi maticí a zpevňující fází (vrstva mezi stykem obou fází) je podmínkou pro dobrou soudržnost obou fází i potlačení chemických reakcí na fázovém rozhraní matrice a zajišťuje potřebné vlastnosti kompozitu. Pro určitý typ zpevňující fáze je proto nutné použít jen určité druhy matrice, popř. vytvořit vhodnou ochrannou vrstvu na povrchu zpevňující fáze.

Materiály ve strojírenství

KRITÉRIA VOLBY VHODNÝCH MATERIÁLŮ PRO PRAKTICKÉ APLIKACE

Pevnost materiálu je téměř vždy nejvýznamnějším hlediskem při volbě materiálu pro danou aplikaci. O mechanických vlastnostech materiálu (tzv. materiálových charakteristikách) lze většinu informací získat z různých materiálových databází.

Materiálové náklady: komplexní problém, který se netýká jen ceny zvoleného materiálu a technologie jeho zpracování, do výpočtu nákladů je nutné zahrnout ale i náklady na dopravu, povrchovou úpravu aj.

Technologie výroby s ohledem na rozměry, tvar, požadovanou kvalitu povrchu součásti, sériovost výroby apod. být určena tak, aby se maximálně využil materiál a minimalizovaly se výrobní náklady (prosazují se bezodpadové technologie: tvářením, přesné lití, prášková metalurgie, minimum obrábění, ...).

Materiály ve strojírenství

KRITÉRIA VOLBY VHODNÝCH MATERIÁLŮ PRO PRAKTICKÉ APLIKACE

Ekologičnost použití zvoleného materiálu: důsledky zvoleného materiálu na životní prostředí (přímé nebo nepřímé) z hlediska výroby materiálu, technologie jeho zpracování, možná rizika při jeho použití v konkrétním stroji nebo zařízení, likvidace s možností recyklace a pod.

Znalost zatížení a prostředí při provozu stroje nebo zařízení, sortiment polotovarů, omezení daného výrobního zařízení, věrohodnost vstupních dat.

Materiály ve strojírenství

POVRCHOVÉ ÚPRAVY KOVŮ A SLITIN

Důvody k povrchové úpravě jsou dány požadavkem na dosažení určitých vlastností:

- **Odolnost proti korozi**
- **Odolnost proti opotřebení**
- **Odolnost proti vysokým teplotám**
- **Vzhled**

Povrchové úpravy materiálů a strojních součástí slouží především k ochraně proti korozi a provádí se pomocí ochranných vrstev (je se základním materiálem neoddělitelně spojena) a povlaků (je na základním materiálu vytvořena přilnavostí).

Materiály ve strojírenství

POVRCHOVÉ ÚPRAVY KOVŮ A SLITIN

Ochranná vrstva se vytváří vzájemným působením základního materiálu a prostředí, v technologiích povrchových úprav se nejčastěji uplatňují povlaky.

- **Moření** – rozpouštění korozních produktů z povrchu kovových součástek za pomoci kyselin (k. solná, dusičná, fluorovodíková, fosforečná aj.), provádí se v mořicích autoklávech.

Materiály ve strojírenství

POVRCHOVÉ ÚPRAVY KOVŮ A SLITIN

Kovové povlaky:

- chemickým pokovováním v lázních roztoku soli kovu, kterým se pokovuje (měď, cín, nikl, stříbro)
- elektrochemické (galvanické) pokovování v lázních roztoku soli kovu, kterým se pokovuje (měď, cín, zinek, nikl, chrom, stříbro, zlato), tloušťky povlaků lze přesně řídit (obvykle 10^{-4} až 10^{-3} mm).
- pokovování v roztavených kovech (povlaky ze zinku, cínu, olova).
- povlaky stříkané za vysokých teplot (metalizace – šopování): natavený povlakový kov se rozstříkuje stlačeným vzduchem na povrch (plynová metalizace, elektrometalizace, plazmová metalizace).
- pokovování ve vakuu (povlakový kov je ohřátý nad teplotu odpařování ve vakuu a páry kovu dopadají na povrch materiálu – velmi tenké povlaky s vysokým leskem).

Materiály ve strojírenství

POVRCHOVÉ ÚPRAVY KOVŮ A SLITIN

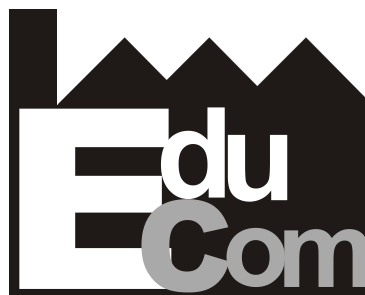
Nekovové anorganické povlaky (fosfátování v lázni fosforečnanů při teplotách 75 °C, řízená oxidace hliníkových slitin se vznikem Al_2O_3 - eloxování), keramické smalty (sklovina na povrchu oceli slinuje při 800°C a na hliníku při 580°C s vytvářením křemičitanů s obsahem kovových kyslíčků).

Povlaky z organických nátěrů: roztírání štětcem, stříkání, máčení, elektroforetické namáčení (v automobilovém průmyslu).

Děkuji za pozornost

doc. Dr. Ing. Elias TOMEH

e-mail: elias.tomeh@tul.cz



EDUCATION COMPANY

Tato přednáška byla inovována v rámci projektu EduCom
CZ.1.07/2.2.00/15.0089

EduCom - Inovace studijních programů s ohledem na
požadavky a potřeby průmyslové praxe zavedením inovativního
vzdělávacího systému "Výukový podnik"