



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Úpravy školních vzdělávacích programů pro odborné předměty na SOŠ a SOU

(Vybrané náměty pro učitele v oblasti materiálů a průřezového tématu Člověk a životní prostředí)

RKC Moravskoslezského kraje

Doc. Ing. Berta Rychlíková, CSc.

- Snímek 3 až 37 - inovace výuky o materiálu
- Snímek 38 až 51 - environmentální problematika v odborných předmětech

Degradace a hodnocení vlastností konstrukčních materiálů (snímky 3 až 15).

- Lom materiálu. Únava materiálu. Creep kovů a viskoelastické chování polymerů. Radiační poškození. Koroze a korozní praskání.

Vývoj v oblasti ocelí (snímky 16 až 19)

- Oceli o vysoké pevnosti, korozivzdorné, žáruvzdorné a žáropevné oceli. Oceli odolné proti opotřebení. Mikrolegované oceli.

Příklady vybraných neželezných kovů v netradičních aplikacích (snímky 20 až 23)

- Intermetalika. Slitiny s tvarovými paměťovými vlastnostmi. Lehké kovové materiály.

Technická keramika (snímky 24 až 28)

- Oxidová keramika. Neoxidová keramika. Cermety.

Další vybrané materiály (snímky 29 až 37)

- Nanokrystalické materiály. Jíly. Uhlíkové materiály (grafen, furelleny). Karbidy, nitridy, boridy, silicidy. Vlákna a vláknové kompozity.

- Popis chování trhlin a jejich šíření umožňují metody lomové mechaniky.
- Mechanika lomu deformovatelných těles nepracuje s napětím, ale **faktorem intenzity napětí K** , na němž závisí rychlost šíření únavových trhlin. Je funkcí tvaru trhliny, její délky, působícího napětí a tvaru tělesa.
- Neuvažuje pevnost, ale **lomovou houževnatost** (mezní faktor intenzity napětí)
- Hodnotí kritickou velikost mikroskopických vad a vliv velikosti těles, hodnocení podmínek šíření trhlin a jejich tvorbu.
- Jestliže je známa závislost rychlosti šíření trhliny na faktoru intenzity napětí K lze určit zbývající počet cyklů do lomu, tj. zbytkovou životnost.

- Velikost faktoru intenzity napětí K závisí na hnací síle trhliny, slouží k hodnocení napětí na čele trhliny při nestabilním šíření trhliny
- V okamžiku nestabilního šíření trhliny dosahuje hodnota faktoru intenzity napětí K_I kritické hodnoty - **lomové houževnatosti**, proto i : **kritická hodnota součinitele intenzity napětí**
- Způsob (mód) namáhání rozhoduje také o velikosti a označení faktoru intenzity napětí . První mód znamená namáhání trhliny tahem (K_I), druhý smykem (K_{II}), třetí stříhem (K_{III}).
- Dynamická lomová houževnatost K_{ID} (závislá také na teplotě, hodnoty u ocelí jsou nižší než K_{IC})

- Ve stavu *rovinné napjatosti* nejsou zachovány podmínky prvního módu namáhání trhliny (tah),
kritická hodnota faktoru intenzity napětí- **lomová houževnatost** se označuje K_C , vyjadřuje se v $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$
hnací síla trhliny G_C je energie nutná k vytvoření jednotkového povrchu trhliny (označuje se také jako **houževnatost**, $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$)
- Vztah mezi G_C a K_C :

$$K_C = (E \cdot G_C)^{1/2}$$

K_C se určuje na zkušebních tělesech, G_C se obvykle následně určí výpočtem

- Kromě lomové houževnatosti lze definovat také **lomové napětí** – jde o kritickou hodnotu napětí, závislou na skutečné povrchové energii. Nestabilní lom nastane, je-li napětím o kritické hodnotě zatížena součást s trhlinou o kritické délce.
- Při šíření trhliny při dostatečně vysoké hodnotě nominálního napětí se tvoří na čele trhliny **plastická zóna** (mimo lineárně elastických materiálů) - je výsledkem velmi vysoké povrchové energie a vysoké hodnoty hnací síly trhliny.
- Plastická deformace otupí čelo trhliny, kolem nekovových částic vznikají dutinky, ty se spojují a vzniká **tvárný lom**

- Keramika, sklo – lom není tvárný, jde o štěpné porušení, není zde patrná plastická deformace.
- U křehkých materiálů nevzniká zaoblení trhliny, dochází ke vzniku vysokého napětí na čele trhliny a porušení materiálu (vazeb mezi atomy), vzniká plochá štěpná rovina, napětí potřebné k lomu je mnohem nižší než u tvárných materiálů.
- Většina kovů má vysoké hodnoty lomové houževnatosti za normálních teplot, křehkými se stávají oceli při podchlazení.
- Při nízkých teplotách (pod tranzitní teplotou) i u kovů zkřehnutí – malá energie pro pohyb dislokací a roste mez kluzu, sníží se plastická zóna na čele a vzniká štěpný lom. Jde o **tranzitní lomové chování**

- Únava vzniká u materiálů, u nichž má napětí v časovém průběhu proměnlivé hodnoty.
- U většiny strojních součástí a konstrukcí se působící napětí mění buď cyklicky nebo nepravidelně.
- U pravidelného zatěžování (cyklické) lze rozlišit ve vztahu ke vznikající deformaci **měkký cyklus**, u něhož amplituda napětí zůstává prakticky konstantní a **tvrdý cyklus**, kdy konstantní zůstává amplituda deformace. Se vzrůstajícím počtem cyklů dochází v obou případech ke stabilizaci hysterezních křivek.
- Podíl pohlcené energie a hustoty deformační energie téhož cyklu je označován jako **koeficient vnitřního útlumu**, charakterizuje kinetiku hromadění únavového poškození.
- Cyklická deformační křivka je jednou z nejdůležitějších únavových charakteristik. Únavová životnost je dána zejména šířkou hysterezní smyčky.

- Poškození únavou se projeví náhle. Mikroskopicky je však možné pozorovat v povrchových vrstvách materiálu vznik podpovrchových mikrotrhlin a jejich spojování s přibývajícím počtem cyklů a následným vznikem **magistrální** trhliny.
- Mikrotrhliny se během cyklického zatěžování iniciují skluzovým dislokačním mechanismem a rychlost jejich šíření je rozhodující. V průběhu jejich šíření se *jedna z nich stane magistrální trhlinou*, která pak absorbuje větší část aplikované amplitudy deformace, šíří se rychleji než ostatní (ty se zastaví) a vede k *lomu materiálu*.
- Spolupůsobení časově proměnlivé složky napětí a koroze vyvolává *korozní únavu* materiálu. Pod určitou **prahovou hodnotou rozkmitu faktoru intenzity napětí** je závislost rychlosti šíření trhliny na faktoru intenzity napětí stejná za působení koroze i bez ní, avšak nad touto prahovou hodnotou se trhlina v korozním prostředí šíří mnohem rychleji.

- Tečení kovů - **creep**, je plastická deformace závislá na čase. Creep je výsledkem dlouhodobého působení napětí za zvýšených teplot.
- Klasická zkouška: Zkoušení materiálu se provádí dlouhodobým zatížením zkušební tyče při konstantním zatížení a teplotě a logaritmus doby do lomu je pro oblast působícího napětí přibližně lineární funkcí logaritmu působícího napětí.
- Hodnota napětí (MPa), při které dojde ke creepovému porušení po 10^5 hodinách u ocelí (případně po 10^4 hodinách u neželezných kovů a 10^3 hodinách u polymerů) se **označuje mez pevnosti při creepu** (u ocelí: $R_{mT} 10^5/T$). Při zkouškách se obvykle zjišťují hodnoty do 10^4 hod (417 dnů) a příslušné hodnoty pro delší doby se určí extrapolací.

- Podobně lze stanovit **mez tečení** – stanoví se ze závislosti doby do natečení určitého procenta creepové deformace ε na působícím napětí pro danou teplotu T a čas 10^a : $R_T \cdot 10^a / \varepsilon / T$ (při 1000hod. $a = 3$)
- U polymerů je kromě elastické vratné složky deformace patrná také viskózní složka. Při vysokých teplotách nad teplotou skelného přechodu elastická složka vymizí a polymer se chová jako newtonovská kapalina.

Radiační záření vyvolává změny ve struktuře materiálu a degradaci mechanických vlastností. Strukturu kovových materiálů ovlivňuje zejména **neutronové záření**. Záření α a záření β jsou eliminována volnými elektrony kovové vazby a na strukturu kovových materiálů mají malý vliv, záření γ proniká do hloubky, ale má na strukturu kovů jen malý vliv. Struktura polymerů a technické keramiky je silně degradována zářením α i zářením β , protože dochází k reakci s kovalentní vazbou u polymerů a iontovou vazbou u keramiky.

- Největší vliv na poškození konstrukčních ocelí v jaderné energetice má *pružný a nepružný rozptyl* neutronů na jádrech železa.
- Pokud je energie předaná neutronem dostatečně velká a srovnatelná s vazebnou energií atomů, dochází k vyražení atomu z jeho mřížkové polohy.
- Na dráze primárně vyraženého atomu vznikají vakance a v blízkém okolí se vytvoří kaskáda sekundárně vyražených atomů, ukončená intersticiálním atomem. Ke konci dráhy primárně vyraženého atomu dochází k rychlému předání zbylé energie primárně vyraženého atomu okolí a vytváří se **zóna intenzivního poškození**, charakteristická rychle natavenými a rychle ztuhými oblastmi, mnohdy s fázově přeměněnou strukturou, vznikají dislokační smyčky a kondenzací vakancí vznikají dutiny.
- Je to provázeno změnami mechanických vlastností materiálu, zejména radiačním zpevněním a radiačním zkřehnutím.

- Při vyšších teplotách neutronový tok urychluje tečení materiálu, dochází k **radiačnímu creepu**. Zvýšení rychlosti tečení při radiálním creepu je spojeno se zkrácením sekundárního stadia creepu a je úměrné integrálnímu neutronovému toku.
- Vznik vakancí za vyšších teplot se projevuje bobtnáním (swelling) - nárůstem objemu kovu v důsledku kolapsu vakancí ve vakantní dutiny. Tuhé roztoky jsou proti tomuto napadení odolnější než čisté kovy.
- Vady lze částečně odstranit **žiháním**, při němž dochází k zotavení radiálních poruch a k zlepšení plastických vlastností, prodlužuje se tím výrazně životnost materiálů.

- Pevnost v tahu těchto ocelí je nad 1500 MPa. Další požadavky: dostatečně dobrá plasticita, houževnatost a odolnost proti křehkému lomu. Zpevnění je dosahováno různými způsoby (intersticiální, substituční, precipitační, dislokační).

Příklady:

- Oceli s obsahem uhlíku 0,25% až 0,4% C, komplexně legované více přísadami (Cr, Mn, Si, Ni, Mo) s obsahem legujících prvků cca 6%. Po zakalení obsahují jehlicovitý martenzit s dislokační strukturou, dosahují pevnosti až 2000 MPa.
- Niklové martenzitické vytvrditelné oceli – obsahují do 0,03%C, 17% až 19%Ni, 8% až 13%Co, 3% až 5%Mo. Vysoká pevnost je dosahována ochlazením z kalicí teploty na vzduchu za vzniku martenzitu a precipitačním vytvrzením při teplotě až 500°C. Pro precipitační vytvrzení jsou nezbytné přísady titan, hliník nebo niob (cca do 1%). Využití: raketová technika, chladičství, stavba lodí.
- Vysocelegované chromniklové oceli TRIP (transformace indukovaná plasticitou) mají vysokou pevnost a výborné plastické vlastnosti, avšak nízkou mez kluzu.
- Tepelně-mechanicky zpracované nízko a středně legované podeutektoidní oceli (C do 0,43%, legury: Cr, Ni, Mo, Si, Mn, B)

- **Martenzitické oceli** obsahují Cr do 18% a uhlík až 1,5%, kalí se pro získání martenzitu. Jsou feromagnetické s mechanickými vlastnostmi podobnými uhlíkovým ocelím.
- **Feritické oceli** obsahují až 11 až 30% Cr, ferit se u nich po ztuhnutí dalším chladnutím již nemění. Jsou u nich potíže se zpracováním za studena.
- **Austenitické oceli** obsahují kromě chrómu zejména nikl, austenitickou strukturu zachovávají i za velmi nízkých teplot. Základní oceli 18%Cr, 9% Ni a kolem 0,08%C. Někdy se přisazují další slitinové prvky: Mo, Cu, Si, Ni, Ti, Nb, N, S, Se, P, Pb s cílem dosažení některých vlastností.
- **Austeniticko-feritické oceli** mají obsah C pod 0,12%, vyšší obsah chrómu (18 až 28%) a snížený obsah niklu (4 až 9%), jsou dobře svařitelné. Mohou být legované chromem, niklem, křemíkem, hliníkem (0,5 až 2,1%), manganu obsahují do 1 až 2%.

Cílem mikrolegování je vytvoření nových fází v ocelích (karbidů, nitridů, karbonitridů) a vytvoření jemnozrnné struktury umožňující následné tepelně mechanické zpracování. Zvyšuje se pevnost ocelí, feritické oceli dosahují až 760 MPa při současném nárůstu meze kluzu.

- Obsah stabilizujících prvků, které zajišťují jemnozrnnou strukturu, obsahující tvrdé a chemicky stabilní částice prvků Nb, Ti, V nebo Zr, je do 0,15%.

Vanad napomáhá vytvořit stabilní nitridy nebo karbonitridy, titan zpomaluje přeměnu austenitu a váže pevně dusík v podobě TiN, zabraňuje stárnutí oceli, zpomaluje rekrystalizaci a růstu zrna za vysokých teplot.

Karbidy a karbonitridy niobu se vylučují v ocelích v jemně disperzních fázích, stabilních i za vysokých teplot a významně zvyšují vlastnosti ocelí.

- Mikrolegováním se vyrábějí také hlubokotažné oceli pro tváření za studena, vyžadující co nejmenší poměr $R_e: R_m$. Oceli musí mít stejnoměrnou feritickou strukturu s minimálním množstvím volného Fe_3C .

- Žáropevné oceli odolávají dlouhodobému zatížení za vysokých teplot (creep). Hodnoty meze tečení a meze pevnosti při creepu musí odpovídat předepsané životnosti součástí. Mají vysoké R_m a R_e , dobrou tvárnost, odolnost proti únavě za tepla a odolnost proti křehkému porušení.
- Žáropevnost je určena žáropevností tuhých roztoků a zvyšuje se přísadami, zpevňujícími tuhý roztok (Cr, Si, Co) nebo vytvořením karbidů nebo nitridů Mo, W a Nb.

Používané oceli podle teplot při zatížení:

- do pracovních teplot 300°C až 450°C se užívají jemnozrné uhlíkové oceli s obsahem uhlíku do 0,25%,
- do teplot 500°C až 570°C nízkolegované žáropevné oceli (nízkolegované feriticko-perlitické oceli s přísadou Cr, Mo a V do 3%)
- pro teploty 620°C až 650°C oceli legované chrómem a malými přísadami molybdenu, wolframu a vanadu nebo austenitické oceli legované chrómem a niklem. Patří zde také speciální oceli s přísadami W, Ti, Nb, B a Mo.

- Hustota některých slitin je vyšší než odpovídá pákovému pravidlu.
- U slitin byla zjištěna výjimečná odolnost proti působení kyselin.

Tyto slitiny jsou označovány jako **intermetalika**. Jejich počet je větší než 25 000. Jde o slitiny, které se svou strukturou a vlastnostmi liší od jednotlivých složek a nelze jejich vlastnosti předpovědět pouhou interpolací. Většinou existují jen v úzkém oboru koncentrací, mají přesné chemické složení a mají atomy v mřížce uspořádány.

- Mezi neznámější intermetalika patří **amalgamy**.

- Intermetalika pro vysoké teploty : Nejdříve: pouze upravené austenitické nerezavějící oceli (Fe-Cr-Ni) s Al a Ti, vytvářející jemnou **intermetalickou fází Ni_3Al** . Následovalo: užití směrového tavení, kdy vznikající polykrystaly mají jednu přednostní orientaci a vlastnostmi se blíží monokrystalu, odstraňuje se tím problém praskání po hranicích zrn.
- **slitina Ni_3Al** - nejdůležitější intermetalikum pro vysoké teploty, má plošně centrovanou kubickou mřížku.
Mez kluzu této slitiny je 400MPa při teplotě cca 700°C a lze ji zvýšit přidáním příměsí hafnia a titanu.
U klasických slitin R_e s rostoucí teplotou klesá, zatímco u této slitiny R_e roste až do 600°C a teprve pak klesá, vysvětluje se to chováním dislokací v intermetaliku.
- Odvozené slitiny niklu s 16%Al, 8%Cr a 1,5%Mo a malým obsahem Zr a B se užívají ke konstrukci spalovacích turbín v letectví, výrobu řezných nástrojů odolných proti vysokým teplotám.

- **Slitina NiAl** má strukturu kubickou, prostorově centrovanou (hliníkem), má nižší měrnou hmotnost než Ni_3Al , 5x vyšší tepelnou vodivost a odolnost proti korozi, je křehká již za normálních teplot a plastická od cca 450°C . Křehkost způsobuje malá pohyblivost dislokací a praskání po hranicích zrn v důsledku anizotropie vlastností. Perspektivní pro zvýšení plasticity je použití malých množství příměsí galia, železa a molybdenu, což by umožnilo tento materiál používat.
- **Slitina TiAl** má plošně centrovanou kubickou strukturu (částečně tetragonální), velmi nízkou měrnou hmotnost (pod $4000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), vysokou tepelnou vodivost a odolnost proti korozi a opotřebení za vysokých teplot, poněkud sníženou plasticitu, je již používaná pro spalovací turbíny.
- Další perspektivní intermetalika: **FeAl , Fe_3Al , Ti_3Al , Zr_3Al , Al_3Ti , TiAl aj.**

- Slitiny s tvarovou pamětí se vyrábějí od roku 1963 (NITINOL)
- Pokud je součástka namáhána v martenzitickém stavu v tahu a tlaku, deformuje se v rozsahu cca 5% a vytvoří se pro dané zatížení nejvýhodnější varianta martenzitu, za touto mezí a při odlehčení se zorientovaný martenzit chová elasticky (jev pseudoelasticity).
- Při následném ohřevu se martenzit přemění znovu na austenit a tvar součástky se mění na původní a dochází k jevu tvarové paměti. Pokud se zorientovaný martenzit transformuje, mění se napětí s teplotou přibližně lineárně a vyvolané napětí může dosahovat vysokých hodnot, což se dá využít prakticky.

- Hlavní složku keramiky tvoří nekovové anorganické sloučeniny. Formuje se za sucha, obvykle lisováním prášku tvořeného čistými uměle připravenými sloučeninami za vysoké teploty.
- Vyrábějí se buď materiály s póry nebo materiály s minimem pórů.
- Problémem užití konstrukční keramiky je kolísavost jejich pevnostních vlastností. Souvisí to s defekty, které se v keramické matici mohou vyskytnout.
- Degradace vlastností za vysokých teplot je často způsobena vznikem sklovité fáze na hranicích zrn (zejména nebezpečné u keramiky z Si_3N_4). Sklovitá fáze může měknout při teplotách již od 900°C a snižovat creepovou pevnost materiálu.
- Je nezbytné dodržovat chemické složení keramiky velmi přesně - vyšší obsah některých přísad vede ke vzniku sklovitých fází.

- Oxidová keramika je tvořena nejčastěji z oxidu hlinitého (korundová keramika), chromitého, hořečnatého, zirkoničitého a oxidické sloučeniny $\text{LiAl}_2\text{SiO}_6$.
- Speciální postavení v rámci keramiky má zirkoničitá keramika, jejíž základ tvoří oxid zirkoničitý (ZrO_2).

Oxidová keramika může být :

- **jednofázová** nebo
- **vícefázová** s jemnou disperzí částic ZrO_2 nebo s karbidickou fází (TiC).

Dva způsoby využití ZrO_2 ve vícefázové keramice

- Jemně rozptýlený ZrO_2 absorbuje energii v oblasti koncentrace tahových napětí na čele trhlin a umožňuje ovládat fyzikální vlastnosti materiálu, zejména s ohledem na pracovní teplotu (částice expandují a uzavřou trhlinu na čele, zvýší se houževnatost).
- Při řízeném teplotním režimu se vydělí nestabilní částice ZrO_2 v matici ze stabilní formy ZrO_2 . Vzniká houževnatá zirkoničitá keramika, která se užívá např. pro výrobu nemagnetických nožů a nůžek.

- Karbidy, boridy, nitridy a silicidy, tvořící neoxidovou keramiku jsou perspektivní ve všech podobách keramiky, (včetně využití v kompozitech v podobě zpevňujících vláken).
- Mají vysokou teplotu tání (až 4000°C), vysokou vodivost blízkou kovům, některé i vysokou tvrdost za nejvyšších teplot.
- Jako nejvíce použitelná se jeví **nitridová keramika Si_3N_4** , která má malou hmotnost, vysokou pevnost, malou tepelnou roztažnost a i při vysokých teplotách nízký koeficient tření, hodí se např. na výrobu ložisek pro velké rotační rychlosti, která mají navíc poloviční hmotnost než ocelová.

Keramika na bázi Si_3N_4 je drahá. Vlivem kovalentní vazby je obtížné její zhutňování.

Principy keramického legování však umožnily vytvořit tuhé roztoky oxidů v mřížce Si_3N_4

- Neoxidová keramika Si_3N_4 ve spojení s Al_2O_3 případně s dalšími přísadami oxidů nebo nitridů se označuje **Sialon** (Si-Al-O-N) – jde o keramický kompozit (zpevnění např. tenkými destičkami nitridu boru). U sialonů lze řídit mikrostrukturu a vlastnosti.
- Další zvýšení houževnatosti a odolnosti proti tepelnému rázu přináší vícefázová neoxidová keramika, např. typu sialon + TiC (HfC, TiN).
- Stejně jako u oxidové keramiky se vývoj zaměřuje na vyztužení vlákny - i u neoxidové keramiky se počítá s využitím whiskerů jako zpevňujícího materiálu.
- Nové uplatnění je u karbidu křemíku, který je dnes velmi používaný, nachází uplatnění jako konstrukční materiál - již byl zpracován také do pěnové struktury a sendvičové podoby

- **Slinovaný karbid křemíku** (označení:SSiC – dosahuje se speciálním slinováním prášků SiC – dodáván jako Rocar S), je složen pouze z karbidu křemíku, z něhož se lisují polotovary, které se pak případně ještě mechanicky obrábějí. Vlastnosti materiál získává slinovacím výpalem, během něhož dochází k růstu krystalů z použitých prášků karbidu křemíku a ke smrštění, čímž se vytvoří pevné monolitické tělesodílů při výpalu nezaručuje dodržení tolerancí bez dodatečného obrábění.
- **Karbid křemíku infiltrovaný křemíkem** (SiSiC- dodáván pod názvem Rocar Si). Tváření výrobků z SiSiC keramiky se děje lisováním ze směsi karbidu křemíku a uhlíku a mechanickým opracováním.
 Následuje speciální silicizační proces, kdy se výrobek infiltruje roztaveným tekutým křemíkem - uhlík v součástce reaguje s křemíkem za vývoje energie na karbid křemíku. Dojde ke zpevnění zrn karbidu křemíku na třírozměrnou kostru, která materiálu dodává vynikající mechanické vlastnosti. Kovovým křemíkem se zaplní všechny póry kostry SiC, vzniká naprosto těsný nenasákavý materiál, nemusí se již obrábět.
- **Karbid křemíku vázaný reakcí - RBSiC** je infiltrovaný SiC směsí preceramic polymeru a přídatného materiálu – hliníku při teplotách 1000°C až1200°C.

- Cílem výroby keramických kompozitů je obecně zvýšení lomové houževnatosti, tím se zvyšuje i jejich pevnost v tahu.
- Zpevnění izometrickými částicemi, whiskery nebo vlákny vede k zvýšení lomové houževnatosti. Optimálních vlastností se dosahuje tehdy, nedochází-li k šíření trhlin z matrice do vláken a na narušení polohy vláken se před čelem trhliny spotřebuje značná energie. Nevýhodou whiskerů jako zpevňujícího materiálu je to, že se při obrábění rozpadávají. Kompozitní oxidová keramika zpevněná keramickými vlákny SiC, nitridu křemíku či jiných karbidů a nitridů, je tvrdá a tepelně odolná a odolná proti tepelným šokům.

Vláknové keramické kompozity mají vysokou pevnost a odolnost proti deformaci při velmi vysokých teplotách. Zlepšení houževnatosti keramiky lze dosáhnout tzv. metalizací keramiky pomocí některých oxidů vzácných zemin nebo tranzitivních kovů (Y, Zr, Hf).

- Přehled keramických kompozitů :
 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2$ kompozity, SiC částice / Si_3N_4 matrice, SiC whiskery/ Al_2O_3 matrice, SiC whiskery/ Si_3N_4 matrice, nekonečná vlákna/skelná matrice, carbon/carbon kompozity, SiC/SiC kompozity, oxid/oxid kompozity.

- Vývoj v oblasti řezné keramiky je zaměřen na úpravy a optimalizaci chemického složení, na dosažení lepšího zhutnění, ale i na zvyšování stability povrchových vrstev pomocí povrchových úprav
- Supertvrký řezný materiál je kubický nitrid boru (KBN, resp. CBN)
- Keramika na bázi nitridu křemíku Si_3N_4 , která je méně tepelně a rázově citlivá. Nitrid je v modifikaci α nebo β , obě modifikace mají hexagonální strukturu, ale liší se mřížkovými parametry.

V podobě povlakované řezné keramiky umožňuje dosahování velkých řezných rychlostí (až $800 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$) a v porovnání s povlakovanými slinutými karbidy má dvojnásobnou trvanlivost břitu.

- Vývoj **cermetů** - postupné rozšiřování do stávajících aplikačních oblastí slinutých karbidů a keramiky, obrábění bez chlazení, řezné rychlosti vysoké, nízká měrná hmotnost .

Nové: cermety s wolframovou maticí a funkčními složkami ZrC a HfC (10 až 30% funkční složky)

- **vlákna s hlavním uhlíkovým řetězcem:** uhlovodíky, halogenované uhlovodíky, nitrily, alkoholy
- vlákna s heterogenním hlavním řetězcem: dusíkatá (obsahují v hlavním řetězci také dusík: bílkoviny, polyamidy, polyuretany), bezdusíkatá (celulóza, polyestery)
- **anorganická vlákna:**
 - kovy a jejich slitiny,
 - nekovy (C, Si, B),
 - jednoduché sloučeniny** (keramická vlákna ZrO_2 , SiO_2 , Al_2O_3 , ThO_2 , BN, B_4C_3 , SiC),
 - skleněná vlákna,**
 - minerální vlákna** (křemičitany uhlíku, hořčíku a vápníku: asbest, čedič, láva, struska)

Hi-Tech vlákna jsou určena hlavně pro kompozitní materiály, jde o vlákna s vysokou tepelnou odolností, vlákna odolná proti agresivnímu prostředí, vlákna se speciálními užitnými vlastnostmi. Příklady:

- Aramidová (aromatický polyamid), polyamidová – uplatnění: letectví, armáda, kompozity, v brzd. destičkách, textil, dopravní pásy, pneumatikové kordy aj.

Aramidy: spojení nejméně 85% aramidových skupin dvěma aromatickými okruhy –

- **meta-aramidy** (m-aramidy): bod tání přes 400°C, odolné proti chemikáliím, pružné, užití v textilní výrobě (Nomex),
- **para-aramidy** (p-aramidy): mimořádná pevnost v tahu, nízká specifická hmotnost, nevýhody: méně odolné vůči světlu, nabíjení statickou elektřinou (Kevlar, Twaron)

- Skleněná vlákna – užití:

- Textilní výrobky ze skla (izolace, zpevnění)

- Kabely pro elektronický přenos dat

Sklo: odolné proti teplotě a chemikáliím, vysoká pevnost v tahu, nízký modul pružnosti. Obsahují vždy min. 50% SiO_2 .

Výroba: metoda **sol/gel** – z disperze (solu) se těkáním rozpouštědla tvoří gel, viskózní tak, že se chová jako pevná látka. Tepelným zpracováním a současným dloužením se vytváří skleněné vlákno v podobě příze, případně s mosazným nebo chromovým jádrem.

V kombinaci s aramidovými vlákny se z nich vyrábí tkaniny pro ochranné oděvy (svářeči, hutníci), užití v kompozitech (50% hmotnosti je skleněné vlákno).

- Nanokrystalické materiály jsou typickým příkladem aplikace fyzikálních poznatků ve vývoji nových materiálů .
- Jde o skupinu pevných látek, jejichž struktura se popisuje údaji v dimenzích blízkých meziatomovým vzdálenostem, nanometrům.
- Podle toho, v kolika rozměrech je velikost těchto krystalů, se materiály uvádějí jako jedno-, dvoj- nebo trojrozměrně nanokrystalické.
- Struktura se liší od krystalických i amorfních materiálů. Díky své struktuře zvyšují použitelný povrch – tvoří se vrstvy, trubičky, kuličky ..
- Zejména: povrchově aktivní látky- katalyzátory a sorbenty na bázi interkalovaných a povrchově modifikujících účinných látek

Jde o:

- tenkovrstevné materiály,
- jemná vlákna,
- krystaly, které mají rozměr omezený ve všech dimenzích.

- Pro všechny skupiny však platí, že při meziatomových vzdálenostech běžných v pevných látkách (cca 0,3 nm) je množství atomů ležících přímo na povrchu nebo těsně pod povrchem srovnatelné s počtem atomů, nacházejících se uvnitř krystalů. To je příčinou, proč se nanokrystalické materiály odlišují svými vlastnostmi od materiálů s klasickými rozměry.

- Nové vlastnosti a zcela nekonvenční využívání uhlíku je spojeno s poznáním vlastností klastrů – seskupení velkého počtu atomů. Uhlíkaté klastry se nazývají **fullereny**.
- Molekuly jsou tvořeny pravidelnými mnohostěny s dosti značným vnitřním prostorem, v němž se žádné atomy nevyskytují. V případě šedesátiatomového útvaru (C_{60}) jde o pravidelný komolý ikosaedr, jehož šedesát vrcholů ležících na kouli vytváří 32 stěn, z nichž 12 jsou pětiúhelníky a zbytek šestiúhelníky (přesně jako u fotbalového míče). Jedná se o novou, po grafitu a diamantu třetí, krystalickou formu uhlíku.
- Objev velkých uhlíkatých molekul otevírá novou oblast materiálů tvořených na bázi uhlíku a potvrzuje, že v oblasti organické chemie je možné dojít k unikátním objevům, jestliže to bylo možné u uhlíku, který je jedním z nejprozkoumanějších materiálů.
- Grafen - dvourozměrný grafit – jen 1 vrstva uhlíku velmi perspektivní materiál

- **Přírodní** materiály mají mnohé vlastnosti, které je předurčily pro využívání člověkem po celou dobu jeho existence. Dosud nebyly vždy využívány všechny možnosti, které přírodní materiály člověku nabízejí.
- S poznáním jejich vlastností dochází k novému uplatnění řady materiálů. Na základě přírodních surovin tak byly vyrobeny i jejich **syntetické** obdoby, vykazující speciální vlastnosti.
- Jílové minerály mají velkou schopnost přijímat do své vlastní krystalické struktury velké organické molekuly nebo komplexní ionty.
- v přírodních jílech jsou v mezivrstevním prostoru kationty kovů a proměnlivý obsah vody,
- v interkalovaných jílech je mezivrstevní prostor vyplněn molekulami hosta (interkalantu).

- Technologie interkalace (vsouvání) umožňuje do vhodné hostitelské struktury s dostatkem dutin (např. zeolitu, uhlíku) nebo vrstevnaté struktury (např. grafitu, fosforečnanů) vpravit atomy jiné struktury – hosta. Změnu vlastností lze usměrňovat, a to buď vhodnou kombinací hosta a hostitelské struktury, nebo kombinací hustoty a druhu hosta v dané hostitelské struktuře. Do hostitelské struktury lze vpravit molekuly (interkalant) při zvýšené teplotě, tlaku nebo také v mikrovlnném poli.
- Nejdůležitější jíl: **zeolit** je hydratovaný alumosilikát vápníku, sodíku nebo draslíku (vodnatý hlinitokřemičitan) se strukturou velkých dutin, které mohou být obsazeny velkými ionty a molekulami vody se značnou možností pohybu.
- Přírodní zeolity obsahují větší množství kationů kovů, umělé zeolity jsou vytvářeny z jednoho nebo dvou nosných kationů vytvářejících kostru.

Perspektivně využití:

fotonické nanostruktury s povrchovými plasmony – takový materiál bude citlivý na více látek současně, oproti dnešním povrchovým plasmonům.

Povrchový plasmon je jev, který může nastat při dopadu polarizovaného světla na rozhraní dielektrika a kovu. Využívá se např. k detekci znečištění vody určitou látkou.

- Zásady environmentální politiky: prevence, předběžná opatrnost, znečišťovatel platí.
- Dobrovolné uplatňování systému environmentálního managementu (ISO 14001, EMAS III).
- Zavádění EMS ve výrobních podnicích v návaznosti na systém řízení jakosti (ČSN EN ISO 9000, QS 9000 aj.), bezpečnosti práce (OHSAS 18001), EN ISO 16001 (energetický management).
- Preventivní strategie čistší produkce, monitoring a targeting, environmentální manažerské účetnictví, BAT, LCA, CSR
- Zákon č. 76/2002 Sb. o integrované prevenci a omezování znečištění a integrovaném registru znečišťování.

- Environmentální politika je koordinovaná činnost institucí a občanů, vládních a nevládních organizací, veřejné správy, obecní samosprávy a výrobních organizací, zaměřená na nastolování vztahů rovnováhy mezi lidskými činnostmi, uspokojováním potřeb současných a budoucích generací a schopností přírody se trvale obnovovat.

Je formou přizpůsobování společnosti měnícím se podmínkám vlastní existence.

- propojení základních oblastí života - ekonomické, sociální a životního prostředí (tři pilíře udržitelného rozvoje)
- dlouhodobá perspektiva - každé rozhodnutí je třeba zvažovat z hlediska dlouhodobých dopadů
- kapacita životního prostředí je omezená (zdroje surovin, látek a funkcí potřebných k životu, prostoru pro odpady a znečištění)
- předběžná opatrnost - poznání zákonitostí fungujících v životním prostředí je stále ještě na nízkém stupni, důsledky některých činností nejsou vždy známé
- prevence je mnohem efektivnější než následné řešení dopadů
- kvalita života - má rozměr materiální, společenský, etický, estetický, duchovní, kulturní a další, lidé mají přirozené právo na kvalitní život
- sociální spravedlnost - příležitosti i zodpovědnost by měly být děleny mezi země, regiony i mezi rozdílné sociální skupiny

Spojuje efektivnost výroby a má minimální dopad na životní prostředí a lidské zdraví.

Dobrovolné nástroje podniků:

- Integrovaný systém řízení (EMS)
- Čistší produkce
- Monitoring a targeting
- Environmentální manažerské účetnictví
- Nejlepší dostupné techniky (BAT) a benchmarking
- Posuzování životního cyklu (LCA)
- Společenská odpovědnost organizací

- Obecně EMS stanovuje politiku podniku v oblasti ŽP současně s aspekty na výrobu. Stanovuje postupy pro přidělování zdrojů, odpovědnosti apod.
- Principem je neustálé zlepšování podle zásady: plánuj- proved'- prověř- zlepší.
- Zavedení a certifikace EMS nemusí znamenat, že se podnik k životnímu prostředí chová lépe než ty podniky, které EMS nemají zavedeny, zaručuje však, že své nepříznivé dopady na životní prostředí postupně snižuje.
- Důvody pro zavedení EMS: zavedení pořádku v podniku, zavedení úplného souladu s právními požadavky, redukce provozních nákladů, úspora energie, surovin a dalších zdrojů, snížení rizika havárií, zvýšení podnikové důvěryhodnosti, zlepšení vztahů s veřejností a získání obchodně využitelné vizitky

- Technické normy řady ISO 14000, zejména technická norma EN ISO 14001 Systémy environmentálního managementu – Specifikace s návodem pro její využití. Norma má celosvětovou působnost.
- Nařízení Rady EU č.1836/93, známé pod zkratkou EMAS (Eco-Management and Audit Scheme), po jeho revizi v roce 2001 označované jako EMAS II a revizi v roce 2009 jako EMAS III. Toto nařízení je závazné jako celek pro vlády všech členských států EU.

- EMS je obvykle zaváděn ve výrobních podnicích v návaznosti na systém řízení jakosti (ČSN EN ISO 9000, QS 9000 aj.) a bezpečnosti práce (OHSAS 18001), perspektivně i EN ISO 16001 (energetický management).
- Toto spojení vede jak ke zvýšení kvality výrobků, tak ke snížení dopadů na životní prostředí. Pro výrobce to navíc znamená perspektivu snížení nákladů v důsledku optimalizace řízení, snížení spotřeby surovin a energie a také snížení poplatků za poškozování životního prostředí. Významná je i ta skutečnost, že většina podniků se zavedeným EMS požaduje totéž i od svých subdodavatelů, neboť za neetické se ve světě již začalo považovat přenášení zátěže životního prostředí na jiné subjekty.

- Definuje systém řízeného hospodaření s energiemi v souvislosti s normami ISO. Platí od roku 2010.

Cílem normy je pomoci organizacím při vytváření systémů řízení a procesů nezbytných pro zvyšování energetické účinnosti. To by mělo vést ke snižování nákladů a emisí skleníkových plynů prostřednictvím systémového přístupu k řízení spotřeby energie.

Norma je určena pro všechny druhy a velikosti organizací a bude členěna do kapitol, které připomínají strukturu obsaženou v normě ČSN EN ISO 14001. Je vhodné certifikaci podle EN 16001 spojit s certifikací podle EN 14001.

Monitoring a targeting

- Energetické řízení spotřeby surovin vedoucí ke snížení spotřeby surovin a energie, provádí se u jednotlivých nákladových středisek a umožňuje zvyšovat účinnost využívání energie a materiálových vstupů (ve výrobních procesech, budovách apod.)

Čistší produkce (Cleaner Production)

- Jde o preventivní opatření k zavádění efektivnější výroby, která jsou šetrnější k ŽP, zvyšují efektivnost a šetří zdroje. Hlavní součástí je analýza materiálových a energetických vstupů a odhalení nežádoucích neproduktivních výstupů.
- Čistší produkce je preventivní strategie vedoucí k snížení znečištění prostředí technologiemi průmyslových podniků a služeb. Je zaměřena na bezprostřední ovlivnění podnikového environmentálního konání a na ekonomickou efektivnost.

Nejlepší dostupné techniky (BAT) a benchmarking

- Využití technologických postupů a technologií, které vedou k maximálnímu možnému vlivu na ŽP jako celku za předpokladu, že BAT je realizováno za ekonomicky a technicky přijatelných podmínek.
- Nejlepší dostupnou technikou je míněna jak technologie, tak způsob, jakým je zařízení navrženo, vybudováno, provozováno a vyřazováno z činnosti. Dostupnost je dána realizací za ekonomicky a technicky přijatelných podmínek s ohledem na náklady a přednosti bez ohledu, zda je přístupná v daném státě.
- Benchmarking je metoda používaná při stanovení nejlepších řešení.

BREF (BAT Reference Dokument) - referenční dokumenty BAT. Doporučují nejlepší dostupné techniky v daném oboru.

Environmentální manažerské účetnictví

- Slouží k vyhodnocování údajů o nákladech a přínosech spojených s materiálovými toky a dopady na životní prostředí, které vede ke snižování negativních vlivů na při současném snižování nákladů.

Posuzování životního cyklu (LCA)

- provádí se podle norem ISO 14040 a 14044. Jde o hodnocení environmentálních aspektů a možných dopadů na ŽP prováděné v průběhu celého životního cyklu výrobku či služby

Společenská odpovědnost organizací (CSR)

- Přístup k podnikání, který zohledňuje i sociální a environmentální zájmy skupin, které podnikání ovlivňují nebo které jsou daným podnikáním ovlivňovány. Je důležitým nástrojem udržitelné spotřeby a výroby

- **Zákon O integrované prevenci a omezování znečištění a integrovaném registru znečišťování** vychází ze směrnice Rady EU 96/61/EC o integrované prevenci a omezování znečištění, označované IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control). Jeho smyslem je dosáhnout vysoké úrovně ochrany životního prostředí jako celku, neposuzovat odděleně dopad činnosti na jednotlivé složky životního prostředí, ale hledat optimální řešení.
- Účinnost tohoto zákona zvyšuje tlak na podniky v oblasti ochrany životního prostředí. Velké výrobní a zemědělské podniky, provozovatelé skládek, spaloven aj. musí získat ve stanovených lhůtách tzv. integrované povolení pro provoz zařízení.
- Integrovaná prevence a omezení znečištění (IPPC) je spojena s novými pravidly pro povolování činnosti podniků, pro vymezení požadavků na úroveň provozovaných zařízení a pro novou organizaci státní správy v oblasti životního prostředí.

- 25. 3. 2011 nabyl účinnosti zákon č. 77/2011 Sb., kterým se mění zákon č. 25/2008 Sb., o integrovaném registru znečišťování životního prostředí a integrovaném systému plnění ohlašovacích povinností v oblasti životního prostředí a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a další související zákony.
- Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 166/2006, kterým se zřizuje evropský registr úniků a přenosů znečišťujících látek. Je to evidence emisí a přenosů toxických látek z jednotlivých firem – známá jako **PRTR** (Polutant Release and Transfer Register).

- *Metodologické návody pro zavádění systémů managementu (Norma ČSN EN ISO 9001:2001 Systémy managementu jakosti - Požadavky, 2001, ČSNI; Norma ČSN EN ISO 1400 Systémy environmentálního managementu - Specifikace s návodem na jejich použití, 1997, 2005, ČSNI; Program Bezpečný podnik; OHSAS 18001)..*
- *Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 761/2001 o dobrovolné účasti organizací v systému řízení podniků a auditu z hlediska ochrany životního prostředí (EMAS II). a nařízení č. 1221/2009 jako EMAS III. (EMAS byl zaveden v r. 1993 (č. 1836/93))*
- *[http://www.cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf/\\$pid/MZPMSFGSJIYY](http://www.cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf/$pid/MZPMSFGSJIYY)*
- *Udržitelná výroba, MŽP ČR 2008, agentura CENIA*
- *http://www.vscht.cz/sil/keramika/Ceramic_Technology/SM-Lect-10-C.pdf*