

Materiály

- Proč se rozbije sklenice při pádu na dlažbu, ale ne na koberec? Dlažba – velké zrychlení tělesa (změna rychlosti probíhá jen na velmi malé dráze), proto působí obrovské síly; u pádu sklenice na koberec je brzdná dráha mnohem delší a zrychlení je pak mnohem menší. Jedná se vlastně o **deformační zónu**
- Podobné deformační zóny jsou např. u dálničních svodidel (váleček mezi svodidlem a sloupkem, viz obr.), u auta i jinde.



- **Tvrдост** – odolnost proti vtlačování cizího předmětu
- **Houževnatost** – souvisí s energií, kterou těleso dokáže absorbovat; tedy houževnatost souvisí s energií, kterou daný objem tělesa dokáže absorbovat, než se poruší; je opakem **křehkosti**
- Jiný pohled – houževnatost je schopnost materiálu zabránit šíření trhliny
- Obrovskou houževnatost má **guma** – proto se z ní dělají pneumatiky, silen-bloky atd.
- Sklo je velice tvrdé, ale křehké. Tj. je třeba velká síla, aby se sklo poškrábalo, stačí ale malý náraz, aby se rozbilo
- Kus železa – není tak tvrdý jako sklo, ale když na něj klepnu kladivem, tak se nerozbije, zatímco sklo ano. Proč? Protože železo se při nárazu trochu zdeformuje, ale sklo se nedokáže tolik zdeformovat; proto se síly u železa rozloží jakoby na větší plochu; sklo není plastické, nezdeformuje se tolik
- Železo je trochu **plastické** – trošku se poddá tlaku, změní nevratně svůj tvar, takže napětí nikde nepřekročí mez pevnosti a železo se nerozbije; to sklo nedokáže, proto se při nárazu lokálně tlak hodně zvětší, až nad mez pevnosti, a sklo praskne
- Při řezání skla se využívá mechanických napětí, která ve skle při výrobě vznikla. Proto se od diamantu nebo kolečka z tvrdokovu, kterým sklo řezeme, dobře šíří trhlina, podél které pak sklo zlomíme. U skla starého několik desítek let ale napětí už vymizela; takové sklo se řeže velmi obtížně, velmi neochotně se láme.

- Majzl (sekáč) a sbíječka – využívá křehkosti materiálů, koncentruje velkou sílu na malou plošku; u gumy nebo hlíny by to nefungovalo
- **Keramiky** jsou jedny z nejtvrdějších materiálů. Korund (Al_2O_3), karbid křemíku (SiC) a diamant (C) se používají jako abraziva – je možné s nimi řezat, brousit nebo leštit prakticky všechno.
- Zlato – nesmírně kujné a tažné – z 1 g lze vytáhnout drátek 2 km a vyklepat průsvitnou zelenavou fólii
- Izotropní a anizotropní materiály – např. dřevo, mikrotenová fólie (*pokus s jejím natahováním ve dvou různých směrech*)
- **Trhliny:**
 - Bez trhlin by materiály měly o řád větší pevnost, než mají
 - Jejich chování má zásadní vliv na pevnost materiálu
 - Na jejich okrajích se soustřeďuje napětí, a to tím více, čím je trhлина ostřejší; proto jsou trhliny nebezpečné a mají tendenci se dále šířit.
 - Natahujeme-li kus materiálu, je v okolí kruhové trhliny tahové napětí asi trojnásobné oproti místům, kde trhлина není, u ostré trhliny je to ale třeba i stonásobek
 - Je to velice dobře vidět u fólií typu celofánu nebo potahu bonboniér – je dost těžké trhlinu začít, pak se ale už šíří velmi snadno s použitím minimální síly. Když ale trhлина narazí např. na kruhový otvor, zastaví se.
 - **Šedá litina** – má grafit ve formě lupínků, které vlastně vytvářejí v železe ostré trhliny, proto je tato litina velmi křehká. Naopak **tvárná litina** má grafit ve formě kulových zrněk, proto má větší houževnatost
 - Když objevíme trhlinu v kotouči cirkulárky, je dobré na jejím konci navrtat otvor. Tím se zmenší napětí ve vrcholu trhliny, paradoxně se cirkulárka zpevní
 - Jak zvětšit houževnatost materiálu? Např. do křehkého polystyrenu přidat kapičky kaučuku (gumy), ta zamezí šíření trhlin; je ale nutné zajistit dobrou adhezi obou materiálů
 - *Pokus – fotoelasticimetrie* – zviditelnění mechanického napětí v modelu např. háku jeřábu vyrobeném z plexiskla. Modle je vložen mezi dva polarizační filtry, díky dvojlomnému efektu se objeví barevné skvrny.
- **Kompozitní materiály**
 - Často je výhodné kombinovat užitečné vlastnosti více materiálů – tzv. kompozitní materiály
 - Spojitá fáze kompozitu – **matrice**
 - Druhá fáze – většinou částice nebo vlákna
 - Lamináty – např. skleněná nebo uhlíková vlákna v polyesterové matici; vlákna se na povrchu chemicky upravují, aby byla zaručena dobrá adheze; pak je využita vysoká pevnost skla a zároveň je plast, popř. tření mezi maticí a vlákny využito k absorpci energie nárazu
 - Pozoruhodným příkladem kompozitu je **mořský led**: obsahuje krystalky soli, ty brání šíření trhlin; naproti tomu na jezeře se trhлина šíří stovky metrů. Eskymák klidně jede přes tenký mořský led se sáněmi, ale ne přes jezerní
 - Další příklady kompozitů: beton, železobeton, lamináty, pneumatika (guma + saze + ocel nebo provázky), ale i zub či lastura mořského měkkýše

- Lamináty mají obrovskou pevnost vzhledem ke své hmotnosti, lze ji charakterizovat pomocí tzv. *tržné délky*: ocel 14 km, epoxid + skleněná vlákna – 80 km, samotný epoxid – 3 km.

• Slitiny

- Mají často lepší vlastnosti než jednotlivé kovy
- Při tuhnutí se nechovají jako jedna složka, ale jeden kov začne tuhnout dříve; při rychlém tuhnutí se pak utvoří zrna jednoho kovu a kolem je více toho druhého.
- Nejznámější slitiny – mosaz (Cu + Zn), bronz (Cu + Sn + další), ocel (Fe + C + další), pájka (Sn + Pb), atd.
- Zlato ve špercích je skoro vždy slitina s mědí a stříbrem, jinak by bylo příliš měkké
- Nitinol – slitina s tvarovou pamětí

• Ocel

- Čisté železo je měkké, malý modul pružnosti v tahu ($E = 250 \text{ MPa}$), protože se dislokace mohou snadno šířit; nehodí se k praktickým účelům
- Ocel – navíc uhlík, který se do železa dostane z uhlí – E dosahuje maxima 850 MPa při 0.83% uhlíku
- Mangan – zvyšuje pevnost, oceli pro stavbu mostů, přidává se kolem 1%
- Chrom – navíc odolnost proti korozi (nerez)
- Nikl – přidává houževnatost

• Kalení

- Obecný princip: zablokování dislokací, zvětšení tvrdosti, ale i křehkosti
- Při kalení vzniká nerovnovážná metastabilní fáze, při opětovném zahřátí a pomalém ochlazení dojde k **popuštění** a systém se dostane zpět do rovnováhy
- Metastabilní fáze při kalení je podobná podchlazené vodě
- I diamant je metastabilní fáze, ale doba potřebná pro spontánní přechod na grafit je velmi dlouhá
- Zakalení okraje plátku pilky na železo – kalí se jen okraj, aby si vnitřek podržel houževnatost a plátek se nelámal
- Někdy k ochlazení stačí jen odvedení tepla dovnitř předmětu – např. při kalení laserem se ohřev provede na velmi krátkou dobu jen v povrchové vrstvě
- Velmi rychlým ochlazením dostaneme **kovové sklo** – atomy se nestihnou uspořádat do krystalové mřížky, vzniká amorfni materiál. Užití kovového skla je např. pro velmi silné permanentní magnety i třeba magnetické pásky jako ochrana knih a jiného zboží v obchodech

• Sklo

- Amorfni, není to vlastně ani pevná fáze, ale jen velmi viskózní kapalina
- Roztaví se nejprve tavidlo, v něm se rozpustí křemenný písek SiO_2
- Široké použití – mj. např. na optická vlákna
- Pro zvýšení indexu lomu a tím i jiskrnosti se přidává PbO , dostaneme olovnaté sklo
- $\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}, \text{MgO}$

- **Keramika:** (převzato částečně z

<http://www.zam.fme.vutbr.cz/vlach/6ms/prednasky/keramika.doc>

- Moduly pružnosti keramiky jsou větší než u kovů, což odráží velkou tuhost jednak iontové vazby jednoduchých oxidů a kovalentní vazby silikátů.
- Keramiky jsou jedny z nejtvrdějších materiálů. Korund (Al_2O_3), karbid křemíku (SiC) a diamant (C) se používají jako abraziva – je možné s nimi řezat, brousit nebo leštit prakticky všechno.
- V čistých kovech je modul pružnosti nejmenší (dislokace kazí pevnost), slitiny jsou na tom lépe (ve slitinách jsou dislokace částečně zablokované), čisté keramiky mají tento poměr největší a tedy mají pevnost nejbližší ideální pevnosti (nepohyblivé dislokace, nebo strašně málo kluzových systémů).
- Pokuta, kterou musíme platit, když vybereme materiál inherentně tvrdý (materiál s vysokým odporem proti pohybu dislokací v mřížce) je křehkost – jinak řečeno, lomová houževnatost je nízká.
- Plastická deformace ve špici trhliny, která se vyskytuje u kovů, odbourává onu špičku napětí zaoblením špice trhliny; energie absorbovaná v plastické zóně způsobí obtížnější šíření trhliny. V kořeni trhliny v keramice je plastická deformace velice omezená, absorbovaná energie je malá a tedy lomová houževnatost nízká. Výsledkem je, že keramika má houževnatost přibližně 15x menší než u kovových materiálů.
- Polykrystalická keramika se dělá z jemných prášků slinováním (sintrováním, spékáním) za vysokých teplot a tlaků nebo lisováním za studena prášků s pojivem a následným vypálením. Struktura je podobná kovu. Každé zrníčko je víceméně dokonalý krystal, jednotlivé krystaly se dotýkají na hranicích zrn.
- Nebezpečné jsou trhlinky, které mohou vznikat např. v důsledku různé tepelné roztažnosti. Současný vývoj ve výrobě konstrukční keramiky je zaměřen na redukci velikosti a počtu pórů, což by mělo umožnit vývoj keramiky s pevností vyšší, než je pevnost vysocepevných ocelí (řádově GPa)

Další témata:

- Proč je trubka pevnější než stejně dlouhá tyč, na kterou se použilo stejné množství materiálu?
- Jak funguje klenba, konstrukce mostů
- Jak jsou rozloženy síly při ohýbání tělesa