

**Co nového v přírodních vědách**

# Fyzikálně-mechanické vlastnosti materiálů

VLADISLAV NAVRÁTIL

Mechanické vlastnosti materiálů zajímají lidstvo již od nepaměti a příslušná vědní oblast patří tedy k nejstarším vědám. Vždyť na tvrdosti hrotů šípů a oštěpů, na pružnosti luků, houževnatosti vláken a mechanických a tepelných vlastnostech kožešin a látek závisela často existence nejen jedinců, ale i celých kmenů a národů.

Věda o mechanických vlastnostech materiálů se rozvíjela po tisíciletí empirickým způsobem. Technologické postupy výroby a úpravy materiálů byly přísně utajovány a předávány z otce na syna, z mistra na učedníka a málokdy byly zapsány do knih. Tak se mohlo stát, že mnohé z těchto postupů byly zapomenuty (např. technologie výroby damascénské oceli, mistrovských houslí nebo přesného opracování velkých kamenných kvádrů).

Empirický způsob výzkumu mechanických vlastností materiálů (zejména kovů) slavil největší úspěchy v 19. a 20. století, avšak již ke konci 20. století vyčerpal prakticky své možnosti. Spolu s rozvojem jiných oblastí fyziky (objev dislokací, elektronová mikroskopie, kosmický výzkum apod.) došlo k jejich aplikaci v oblasti mechaniky a metalurgie kovů a následně k novému kvalitativnímu skoku v materiálové technologii.

Výčet oblastí materiálového výzkumu, které zaznamenaly v posledních dvou desetiletích značný rozvoj, je poměrně rozsáhlý. Patří sem například nová kvalita klasických kovových materiálů, titan a jeho slitiny, kovová skla, kompozity, keramika, povlaky, superslitiny, nanokrystaly a nanotechnologie.

Dále se pokusím nastínit jenom některé z nich:

## **Nová kvalita klasických metalurgických technologií**

Fyzikální princip změny mechanických vlastností kovů a slitin je založen na tom, že vhodnými způsoby (tepelnou úpravou, příměsemi jiných prvků, změnou struktury apod.) ovlivňujeme pohyb dislokací – poruch, silně ovlivňujících většinu mechanických vlastností kovů.

Metallurgové a kováři doby bronzové i železné dosáhli v tomto směru velkých úspěchů, ale zdá se, že klasický způsob vytváření nových slitin pouhým sléváním kovů s následným tepelným zpracováním již asi nepřinese žádné kvalitativní zlepšení jejich mechanických vlastností. Nový kvalitativní skok by mohla v této oblasti přinést výroba materiálů v kosmickém prostoru, tj. bez rušivého vlivu gravitace.

Výzkumy posledního desetiletí však ukazují, že i v pozemských podmínkách lze ještě učinit významné pokroky ve zlepšení mechanických vlastností tradičních kovů (zejména ocelí), využijeme-li poznatků z jiných oblastí fyziky materiálů. Základním problémem je skutečnost, že některé látky nelze za běžných podmínek dokonale smísit tak, aby se částice jedné z nich staly efektivními překážkami pro pohyb dislokací. Jako příklad dvou takto obtížně mísitelných látek lze uvést systém Al + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (oxid hlinitý je lehký a vždy „vyplave“ na povrch). Přitom by součástky vyrobené z takové slitiny měly mnoho výhod, byly by lehké a přitom velmi pevné. Dokonalého smísení těchto látek lze dosáhnout pomocí moderní technologie zvané „ospray“, jejíž podstata není na rozdíl od provedení složitá: jemné kapičky roztaveného hliníku jsou v horkém proudu dusíku obalovány jemným práškem oxidu hlinitého a teprve potom tuhnou na vodou chlazeném terčíku. Z takto vyrobené „slitiny“ jsou již v některých zemích vyráběny mechanicky a tepelně namáhané součástky nízké hustoty zejména pro letecký a kosmický průmysl.

### Titan a jeho slitiny

Titan, stříbrolesklý kov s vynikajícími vlastnostmi, byl objeven v roce 1791 farářem z Cornwallu W. Gregorem. Čtyři roky po něm jej německý fyzik M.H. Klaproth nazval *titan* po Titánech, dětech Nebes a Země. Titan má na rozdíl od všech ostatních kovů téměř samé vynikající vlastnosti. Jeho hustota je blízká hustotě hliníku a pevnost je srovnatelná s pevností oceli (jeho slitiny s hliníkem a křemíkem mají nejvyšší poměr pevnosti ku hmotnosti). K vynikajícím vlastnostem titanu a jeho slitin patří i skutečnost, že jej živá tkáň lidského těla velmi dobře snáší, což úzce souvisí s jejich vysokou korozivzdorností.

Uvedené vynikající vlastnosti titanu jej předurčují k využití všude tam, kde jiné kovy selhávají. Někteří vědci jej z toho důvodu nazývají *kovem třetího tisíciletí*.

Titan a jeho slitiny jsou využívány již téměř půl století v kosmické technice a v leteckém průmyslu (motory a jiné speciální součástky), v průmyslu chemickém a v posledních desetiletích i v lékařství (umělé klouby a kosti).

Zajímavou vlastností slitiny *nitinol* (50% Ti, 50% Ni) je její tzv. *tvarová paměť* (shape memory). Ta spočívá v tom, že si součástka zhotovená

z této slitiny „pamatuje“ svůj tvar, který měla při teplotě  $T_1$ , a přestože jí dáme při teplotě  $T_2 \neq T_1$  jiný tvar, zaujme při návratu k teplotě  $T_1$  původní tvar, který měla při této teplotě (důvodem je tzv. martenzitická transformace slitiny). Jev tvarové paměti se začíná využívat v technice (tepelné motory, kosmická technika) a v lékařství.

Přes všechny vynikající vlastnosti titanu nedošlo zatím k jeho masivnímu využití v běžné praxi. Důvodem toho je, že je sice hojně rozšířeným prvkem v zemské kůře, ale je v ní značně rozptýlen (málokdy tvoří ložiska jako jiné kovy). Pokud však technologové zvládnou tuto jedinou nevýhodu titanu, bude pravděpodobně po době železné následovat doba titanová.

### Kompozitní materiály

Myšlenku vyrábět kompozitní materiály vnukla člověku pravděpodobně sama příroda. Vždyť stébla, kmeny, kosti a další živé systémy mají vynikající mechanické vlastnosti, prověřené miliony let jejich vývoje. Již samotný název napovídá, že se jedná o soustavu dvou nebo více látek s různými mechanickými vlastnostmi, z nichž jedna, tzv. *matrice* slouží k uložení druhé, většinou zpevňující *výztuže*. Typickým kompozitem, využívaným lidmi již delší dobu, je železobeton, kombinující křehkost a pevnost betonu s tažností a houževnatostí ocelových prutů v něm. Dále můžeme jmenovat sklolaminát, překližku, plněné polymery apod. Patří sem i tzv. damascénská ocel, podle pověsti vyráběná tak, že vykované ocelové plechy byly položeny na sebe a znovu několikrát kovány a nakonec speciálně zakaleny.

Současné perspektivní kompozitní materiály mají zpravidla buď kovovou, nebo nekovovou (plastovou) matici, někdy se používá i keramických materiálů. Mezi tzv. moderní kompozity řadíme materiály s dlouhými, velmi pevnými a lehkými vlákny, uloženými v plastové matici: některé vlastnosti kompozitů z nich dělají tzv. inteligentní materiály (smart materials), tj. materiály, které mají schopnost detekce např. deformací a poškození konstrukce. Jako vlákna kompozitních materiálů jsou užívána vlákna skleněná, uhlíková, aramidová, bórová, oxidová a karbidová. Jako matrice se užívá nejčastěji epoxidových pryskyřic, polyesterových a vinylesterových pryskyřic, fenolických a termoplastových polymerů. Mechanické i některé ostatní vlastnosti kompozitních materiálů lze v současné době „naprogramovat“ tak, aby byly použitelné v dané oblasti techniky (např. „neviditelné“ letadlo „stealth“, vyrobené převážně z kompozitního materiálu na bázi uhlíkových vláken).

## Keramika

Pod pojmem keramika chápeme širokou škálu látek, z nichž některé zná lidstvo již z prehistorické doby a jiné začíná využívat teprve v posledních desetiletích, či dokonce letech. Z chemického hlediska se jedná o oxidy, karbidy, nitridy, boridy, sulfidy, fluoridy apod. Technologie jejich výroby není už založena na pouhém tradičním vypalování v pecích, ale užívá se takových moderních technologických postupů, jako je vysokoteplotní slínování za vysokých tlaků, působení rázových vln a vibrací, ozařování neutrony a lasery, iontové implantace, elektroforézy, plazmochemických metod, kryogenických postupů apod.

Srovnáme-li vlastnosti keramických materiálů s kovy, docházíme k závěru, že na rozdíl od kujných kovů jsou keramické materiály pevné a často velmi odolné proti působení vysokých teplot. Jejich širokému využití jako náhrady za kovy však brání skutečnost, že jsou křehké. Příčinou jejich křehkosti je velmi malá pohyblivost dislokací (v keramikách jsou atomy mezi sebou nejčastěji vázány iontovými nebo kovalentními vazbami, a proto mají k dispozici jenom omezený počet skluzových systémů, tj. krystalických rovin, v nichž by se mohly dislokace pohybovat). Současná věda se snaží tyto příčiny omezeného pohybu dislokací odstranit cestou hledání vhodných příměsí (vytvoření plastické zóny před čelem trhliny) nebo technologickým zpracováním (zmenšováním rozměrů zrn, snižováním pórovitosti a odstraňováním sklené fáze).

V této oblasti bylo již dosaženo významných úspěchů, např. materiály na bázi  $ZrO_2$  a  $Si_3N_4$  se blíží svými vlastnostmi charakteristikám žárupevných ocelí a žárupevných niklových slitin s tím rozdílem, že jejich hustota je blízká hustotě hliníku. Takové keramické materiály jsou již používány k výrobě tepelně namáhaných součástí motorů v letectví, energetice, strojírenství a kosmické technologii.

## Kovová skla

Kovy jsou typickými zástupci látek krystalických, charakterizovaných tím, že určitý základní motiv se pravidelně opakuje v trojrozměrném prostoru. Protože *dislokace*, čarová porucha zodpovědná za plastickou deformaci, je typická pro krystalický stav látky, bylo by jistě velmi vítané, kdybychom byli schopni dislokace z kovů nějakým postupem odstranit. V principu je to sice možné, ale dosti náročné, technologicky i finančně. Navíc takto vyrobené monokrystaly mají jenom výjimečně technicky použitelné mechanické vlastnosti.

Druhou, levnější cestou k výrobě bezdislokačních materiálů je uchování jejich amorfní struktury, kterou měly v roztaveném stavu, i v pevné fázi („zamrznutí“ struktury). Ukazuje se, že za určitých okolností to je mož-

né. V případě čistých kovů (např. Cu a Fe) je však třeba, aby rychlost poklesu teploty byla řádu  $10^{10} \text{ K.s}^{-1}$ . Chceme-li to uskutečnit, musíme tenký proud tekutého kovu „rozcívňovat“ mezi dvěma rotujícími vyleštěnými válci chlazenými tekutým dusíkem na velmi tenký plíšek. Tak skutečně dosáhneme požadované rychlosti ochlazení a získané vzorky kovových skel mají tvar tenkých pásek s výbornými mechanickými vlastnostmi a zejména s vysokou odolností proti korozi.

Prudké ochlazení objemových součástek však není možné. Můžeme ale vytvořit vhodným postupem tenkou vrstvičku kovového skla pouze na povrchu součástky a tím ji učinit korozivzdornou. Cesta vede tím směrem, že pomocí laseru o značném výkonu vytvoříme na povrchu součástky velmi tenkou vrstvičku tekutého kovu, která se po přesunutí laseru do jiného místa prudce ochladí a tím se změní na kovové sklo. Praktické provedení pak předpokládá skenování celé součástky paprskem laseru.



R. Hamilton, Co vlastně dělá naše dnešní domovy tak odlišné, tak půvabné?, 1956