

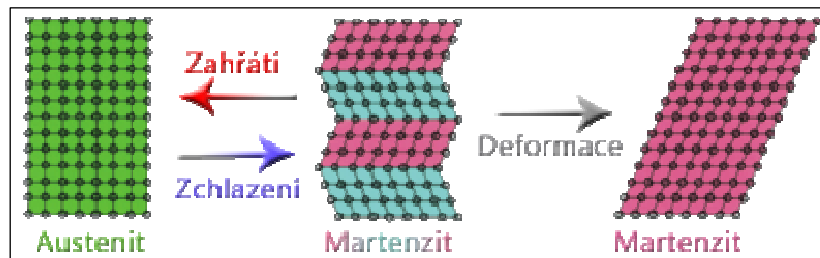
Slitiny s pamětí

Představte si situaci, kdy vám auto „naťukne“ neopatrný řidič. Jiný by klel, vy však postižené místo prostě a jednoduše zahřejete a za chvíli je karosérie jako nová... Myslíte, že to není možné? Teoreticky je – ovšem to auto by těžko někdo zaplatil. Existují materiály, které mají tzv. tvarovou paměť. Jestliže takový materiál zdeformujeme, po zahřátí nabude formy předešlé. Patří sem materiály různorodé – vybírat můžeme z polymerů, přes keramiku až po slitiny kovů. A právě těmto slitinám s tvarovou pamětí (angl. Shape Memory Alloys) se budeme věnovat.

Objev jevu tvarové paměti u některých slitin spadá na počátek 30. let 20. století, kdy švédský vědec Arne Olander pozoroval tvarovou paměť u slitiny zlato-kadmium. Jestliže byl tento materiál zastudena deformován, po ohřátí nabyl původního tvaru. Od té doby byla objevena celá skupina takových slitin. Nejvýznamější z nich, slitina niklu a titanu vyvíjená původně jako antikoroziní materiál, byla poprvé významně zkoumána počátkem 60. let v laboratoři amerického námořnictva W. Beuhlerem. Název *Nitinol* (*N*ickel *T*itanium *N*aval *O*rdnance *L*aboratory) skrývá složení slitiny i místo objevu. Jev tvarové paměti se využívá často v medicíně, strojírenství, kosmickém výzkumu, jednou z prvních aplikací byly od počátku 70. let i konstrukce tepelných motorů využívajících tvarové paměti klíčových součástí.

Slitiny s tvarovou pamětí (dále SMA) patří mezi tzv. intermetalika, tj. slitiny, které se strukturou a vlastnostmi liší od jednotlivých složek a jejich vlastnosti nelze jednoduše předpovědět. Počátky výzkumu intermetalik spadají do 18. století, v roce 1920 jich bylo známo asi 400, dnes 25 tisíc. Asi každý se setkal s dentálními amalgamy. Chemické chování rtuti v amalgamu je zcela jiné než u čistého prvku Hg (vliv difuze a meziatomových vazeb), a proto rtuť jako součást zubní výplně není nebezpečná.

Jak vysvětlit tvarovou paměť a jevy tvarové paměti? Ufff... a) Přibližně: Kovy a slitiny se skládají z krystalů, což není nic jiného než pravidelná zákonitá struktura skládající se z atomů. Při změně tvaru běžného tvárného kovového materiálu se atomy posunou; překročíme-li tzv. mez kluzu, narušíme meziatomové vazby, atomy se přemisťují a vzniká



trvalé přetvoření. Tento kluz nenastává při deformaci SMA. Krystaly mění strukturu bez narušení vazeb. Struktura není stabilní a při ohřevu se vrací do stabilnější původní struktury. Protože nebyly

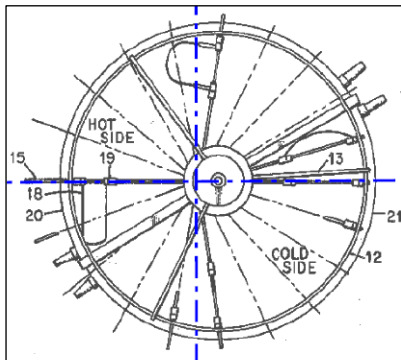
narušeny meziatomové vazby, vede to i k návratu do původního tvaru. SMA navíc při mechanickém namáhání vykazují i další velmi zajímavé jevy, jimiž se odlišují od běžných technických slitin. Tyto jevy se souhrnně nazývají jevy tvarové paměti. Kromě toho jsou velmi chemicky odolné.

b) Podrobněji: Fáze existující při vyšší teplotě má kubickou, vysoce symetrickou krystalovou mřížku a nazývá se austenit (podle Sira Austena, 1843-1902). Ochlazením, popř. působením mechanického napětí vzniká martenzit (podle Adolfa Martense, 1850-1914, který zkoumal kalení oceli; oba pojmy jsou důvěrně známé zejména odborníkům na metalurgii slitin železa). Martenzit není stabilní strukturou, není ani symetrický jako austenit, tuto strukturní přeměnu (martenzitickou transformaci) si můžeme představit jako změnu krychlí na kosé kvádry, při transformaci změnou teploty dokonce různě natočené vzhledem k původní krychlí. Namáháním se martenzit s nižší symetrií zorientuje jedním směrem, nejvýhodnějším pro dané napětí. Po zahřátí se tento martenzit vrátí vždy do jediné varianty austenitu (je-li materiálu při ohřevu bráněno, vyvine velkou sílu; napětí se mění přibližně lineárně s

teplotou). Materiál se snadno deformuje v rozsahu $\pm 5\%$. Za touto hranicí se zorientovaný martenzit chová pružně (tento jev se nazývá pseudoplasticita). Pokud namáháme součást v austenitické fázi (tj. při vyšší teplotě) beze změny teploty, transformuje austenit rovnou na nejvhodněji orientovaný martenzit. Deformace je plně vratná v poměrně velkém rozsahu (až 10 %, proto se jev jmenuje superelastická). Zajímavé je, že na rozdíl od např. ocelí nevzrůstá napětí s deformací. Pro SMA je charakteristické silně hysteretní chování, což znamená, že vlastnosti téhož materiálu při stejné teplotě se liší podle toho, zda přechází z austenitu do martenzitu, nebo naopak.



Využití SMA je velmi široké a tyto slitiny zatím zdaleka nevyčerpaly své možnosti. Jejich síla je mimo jiné v miniaturizaci – funkci vykonává krystalová mřížka. Nevýhodou je cena. Velkou odezvu našly SMA v lékařství, zde je navíc oceňována jejich výborná odolnost proti korozi: stenty – sítky ve tvaru trubiček rozšiřující cévy, mikrochirurgické nástroje, spojování zlomených kostí, katetry, zubní rovnátka (zub je tažen do optimální polohy stále stejnou silou) aj. V letectví se používá SMA k výrobě spojovacích elementů pro spoje nesvařitelných materiálů, případně trubek – u stůhaček F14 je hydraulické potrubí spojeno spojkami roztaženými v martenzitickém stavu, po ohřevu se spojky smrští a spolehlivě sevrou trubky. Cena nerozhoduje... Niklotitanové SMA si zaletěly až na Mars; na vozítku Sojourner otevírají a zavírají sklíčko čidla detektoru dopadajícího prachu. Porovnává se sluneční záření dopadající na čidlo přes zaprášené sklíčko a bez něho. Kuriózní, leč životy a hodnoty zachraňující aplikaci našly SMA v Austrálii: v případě hořících odpadků v odpadkových nádobách v pralese se automaticky uzavře hermetický poklop a oheň se zadusí.



První z celé řady konstrukcí výše zmíněných nitinolových tepelných motorů vynalezl Ridgway Banks z University of Kalifornia v r. 1973. Na fotografii je spolu s Banksem (vlevo) Hap Hagopian, technik a rovněž vynálezce, který vyrobil prototyp. Princip nitinolového Banksova motoru je na schématu – 20 nitinolových smyček je uloženo výstředně vzhledem k náboji rotoru, smyčky se na jedné straně ohřívají, na druhé ochlazují, čímž se střídavě smršťují a roztahují a pohánějí tak rotor.

Použito:

Materiály s tvarovou pamětí. Fyzikální ústav AV. [online]. [cit. 2007-02-15]. Dostupné na WWW: http://www.fzu.cz/departments/metals/sma/brana_cz/.

MUSOLFF, A. aj. *Shape Memory Alloys.* [online]. [cit. 2007-02-15]. Dostupné na WWW: <http://www.smaterial.com/SMA/sma.html>.

WAKJIRA, J. F. *The VT1 Shape Memory Alloy Heat Engine Design.* [online]. [cit. 2007-02-15]. Dostupné na WWW: <http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-02102001-172947/unrestricted/ETD.pdf>.

Josef Gruber

Publikováno ve Zpravodaji SPŠS, Plzeň v únoru 2007.