



Paměťové slitiny – pohony pro robotiku (1)

Michal Vašina, František Šolc

Článek se zabývá popisem kovů s tvarovou pamětí (Shape Memory Alloy), jejich vlastnostmi, funkcí a aplikací, především jako netradičního pohonu pro robotiku. Popisuje princip funkce tvarové paměti, způsoby jejího vyvolání a využití. Jako příklad kovu je uvedena slitina Nitinol, u které jsou udány některé její důležité fyzikální vlastnosti.

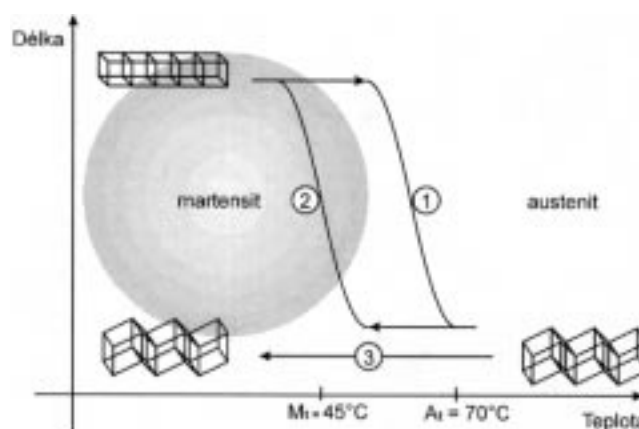
Historie

Za objevitele paměťových slitin (Shape Memory Alloy – SMA), u nás též známých jako kovy s tvarovou pamětí, je považován švédský fyzik Arne Olander. Ten si jako první v roce 1932 všimnul při svých pokusech se slitinou zlata (Au) a kadmia (Cd) zajímavého jevu. Vzniklý kov se za studena choval plasticky a mohl být deformován do různých tvarů. Po zahřátí se vrátil do svého původního tvaru, jaký měl před plastickou deformací. Tato schopnost, která je typická pro SMA, se nazývá tvarový paměťový efekt (Shape Memory Effect – SME). Vědci poprvé veřejně předvedli jev tvarové paměti na světové výstavě v Bruselu v roce 1958. Zde „motor“ SMA v podobě drátu z již zmíněné slitiny Au-Cd vykonával mechanickou práci, která spočívala v opětovném zvedání závaží. V roce 1961 byl díky výzkumníkům z U. S. Naval Ordnance Laboratory učiněn v oboru SMA a SME další významný objev. Při testování slitin niklu (Ni) a titanu (Ti) objevili paměťový efekt i u těchto slitin. Právě slitina niklu a titanu (dnes tzv. Nitinol) se ukázala jako levnější, jednodušší na práci a méně nebezpečná z hlediska zdraví, než slitina Au-Cd. Tyto skutečnosti znovu vzbudily zájem a výzkum v oblasti SME a jejího využití [2]. Výsledkem zájmu vědců, konstruktérů a firem byly v 70. letech první komerční výrobky využívající SMA. Nejprve to byla statická zařízení, jako spojky potrubí či elektrické konektory. Později se objevily aplikace dynamické, ve kterých začaly SMA plnit roli akčních členů. V tomto případě musí prvky SMA projít fází zahřívání, chlazení a deformace. Toho využívá například anglická firma Delta Metal SMA při návrhu pohonů pro regulaci s využitím okolní teploty jako řídicí veličiny. Konkrétně se jedná o automatické řízení otvírání a zavírání oken skleníku, ventily řídicí teplotu v budovách či o řízení ventilátorů v automobilech. Aplikacemi SMA se začaly zabývat i další renomované firmy jako Sharp (1982) a Matsushita Electric (1983). Vesměs jde o tzv. přímé regulátory, pracující na principu zapnuto-vypnuto, využívající k činnosti energii řízené soustavy. Další výzkum se zaměřil na možnosti využití SMA jako nepřímého regulátoru – pohonu. K ohřevu, a tím i k řízení SMA, začalo být používáno teplo externího zdroje, případně teplo vzniklé na ohmickém odporu samotného SMA při průchodu elektrickým proudem. V roce 1971 bylo navrženo a otestováno umělé srdce poháněné akčními členy SMA. Možnost řídit teplotu SMA pomocí ohmického odporu ukázali v roce 1983 japonští výzkumníci [1] a na základě toho navrhli využití SMA jako akční člen pro mikro-robotiku. Zkoumání možností, jak aplikovat a řídit pohony SMA v robotice, je aktuální i v současnosti.

Princip funkce SMA

SMA obecně řadíme do skupiny intermetalik. Do této skupiny patří slitiny dvou a více kovů, u nichž nejsme schopni na základě interpolace vlastností jednotlivých složek stanovit parametry výsledné směsi. Vlastnostmi, pro něž se tyto kovy stávají atraktivními, jsou například superplasticita, již zmínovaný SME, odolnost vůči kyselinám aj. Mechanický pohyb je u SMA způsoben změnami v krystalické struktuře kovu. Na tu má vliv několik faktorů. Z hle-

diska využití jako akčního členu nás nejvíce zajímá teplota T a vnější mechanické napětí σ . Změnou T nebo (dochází k tzv. fázové transformaci, při níž se mění struktura materiálu (obr. 1). Limitně rozeznáváme dvě fáze slitiny. S vysoce symetrickou krystalickou mřížkou – austenit (analogie se slitinami železa) a strukturu s menší symetrií (ortorombická, tetragonální krystalická mřížka) – martensit. Při martensitické transformaci může z austenitu vzniknout i několik variant martensitu, avšak transformace zpět probíhá do jediného austenitu. Díky třírozměrné krystalografické mřížce je martensitická transformace nesymetrická především ve vztahu tah – tlak.



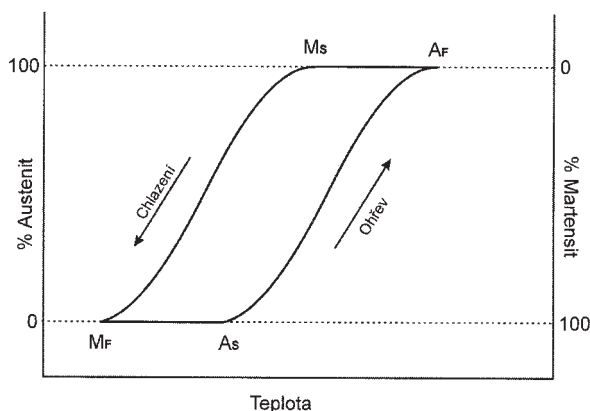
Obr.1 Změny v krystalické struktuře SMA

Krystalická struktura při teplotě nižší než M_s je v deformovatelném stavu (martensitu). V tomto stavu se délka elementu vyrobeného ze SMA může změnit až o 10 % v důsledku vnějšího namáhání. Jakmile kov zahřejeme na teplotu vyšší než A_s (křivka 1, obr. 1), krystalická struktura se mění do pevného, nedeformovatelného stavu (austenitu). Je-li teplota udržována okolo hodnoty A_s , zůstává element ve smrštěném stavu. Poklesne-li teplota pod hranici M_s , přejde materiál zpět do deformovatelného stavu. V případě, že na kov působí zotavovací síla, dojde k jeho natáhnutí (křivka 2, obr. 1), jinak zůstává ve smrštěném stavu (křivka 3, obr. 1). Je-li kov vystaven působení teploty mnohem vyšší než je A_s , může dojít k jeho degradaci, což znamená ztrátu SME (element zůstane trvale smrštěn).

Změna, ke které dochází v krystalické struktuře SMA během SME, však není termodynamicky reverzní proces. Díky tření a vzniku různých defektů ve struktuře dochází přímo v materiálu k energetickým ztrátám. Výsledkem je teplotní hystereze (obr. 2). Obdobný průběh má i závislost deformace na teplotě. Velikost hystereze SMA je dán jejich složením a procesem výroby.

Slitina NiTi

Nejvhodnějším dosud objeveným SMA pro inženýrské aplikace je slitina niklu a titanu (NiTi). Často se také setkáme s názvem Nitinol, kterým byl kov pojmenován svými objeviteli (Nickel-



Obr.2 Hysterezní smyčka vyskytující se u SMA

Titanium National Ordnance Laboratory). Nitinol vyniká nad ostatními SMA především některými svými charakteristickými vlastnostmi, jako jsou: možnost vyvolání SME procházejícím elektrickým proudem, stabilní transformační teploty, výborná odolnost vůči korozi, možnost opakovaného vyvolání SME, větší průtažnost a vysoký stupeň biokompatibility (tab. 1).

Nitinol je binární intermetalická slitina niklu a titanu. V tomto kově je obsaženo přibližně 50 % atomu niklu a 50 % atomu titanu. Metalurgické vlastnosti Nitinolu dovolují změnit jeho mechanické vlastnosti a teplotu, při níž dochází k fázové transformaci. Tato změna se provádí přidáním dalšího prvku do slitiny, popřípadě změnou poměru kovů ve slitině. Zvýší-li se množství niklu ve slitině NiTi o 1 %, sníží se teplota, při níž dochází k fázové transformaci, a naopak, vzroste mez průtažnosti v austenitu. Transformační teplotu snižuje i přidané železo, popř. chrom. Kombinací těchto a dalších prvků se teplota transformace může pohybovat v rozmezí -200 až 110 °C. Pro zmenšení hystereze a snížení deformační síly ve fázi martensitu se přidává měď.

Výroba a formování Nitinolu pro specifické účely je složitá záležitost. Titan je velmi reaktivní prvek. Z tohoto důvodu se tavení provádí v ochranné atmosféře. Často se tavení provádí pomocí plasmového oblouku, elektronovými paprsky nebo indukčně, ve vakuu. Pro tvarování ingotu NiTi se zpočátku používají standardní procesy zpracování za tepla i za studena. Během zpracování za studena kov rychle tvrdne a musí být často žíhán. Tvrzením a správným tepelným zpracováním se zlepšují parametry SMA. Při obrábě

vlastnost	Austenit	Martensit
teplota tání, °C		1300
hustota, g/cm ³		6,45
měrný odpor, μΩ·cm	přibliž. 100	přibliž. 70
tepelná vodivost, W/C/cm	18	8,5
odolnost vůči korozi	podobná nerezavějící oceli třídy 300 nebo slitinám Titanu	
youngův modul pružnosti, GPa	přibliž. 83	přibliž. 28 ÷ 41
mez průtažnosti, MPa	195 ÷ 690	70 ÷ 140
mez pevnosti v tahu, MPa		895
transformační teplota, °C		-200 ÷ 110
měrné skupenské teplo transformace, KJ/kg		167
pamatovatelná tvarová deformovatelnost		8,5 % maximum

Tab.1 Některé fyzikální vlastnosti Nitinolu

bění je vzhledem k vlastnostem Nitinolu problematické používání svařování a pájení na tvrdo a na měkko. Pro vytváření konkrétních tvarů se využívá broušení, stříhání a vrtání.

(Článek vznikl za podpory GAČR v rámci projektu 102/02/0782.)

Literatura

(vybrané tituly)

- [1] IKUTA, K., TSUKAMOTO, M., HIROSE, S.: Shape Memory Alloy Servo Actuator System with Electric Resistance Feedback and Application for Active Endoscope. Proc. of the 1988 IEEE – International Conference on Robotics and Automation. Vol. 1. Computer Society Press, Washington DC.
- [2] BAR-COHEN, Y.: Topics on Nondestructive Evaluation. Vol. 4. American Society for Nondestructive Testing. 2000. ISBN 1-57117-043-X

Pokračovanie v budúcom čísle.

Ing. Michal Vašina
doc. Ing. František Šolc, CSc.

Ústav automatizace a měřicí techniky
Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Vysoké učení technické v Brně
e-mail: vasinam@feec.vutbr.cz
solc@feec.vutbr.cz

26

