

# Slitiny s tvarovou pamětí

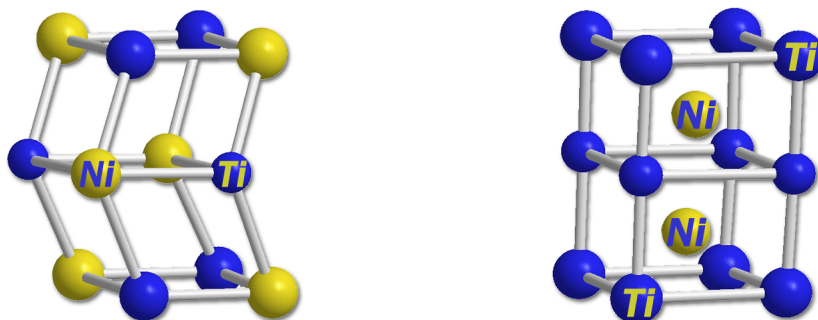
M. Odstrčil, T. Odstrčil  
FJFI - ČVUT, Břehová 7, 115 19 Praha 1  
michal@qmail.com, tom@cbox.cz

## Abstrakt

Výzkum slitin s tvarovou pamětí trvá již přes padesát let a za tu dobu bylo objeveno a prozkoumáno mnoho jejich zvláštních vlastností. Nejznámější je jev tvarové paměti, superelastická, pseudoplastická a další příbuzné jevy. Článek se dále zabývá popisem vnitřních procesů probíhajících při transformaci a jejich využití v nejrůznějších aplikacích.

## 1 Úvod

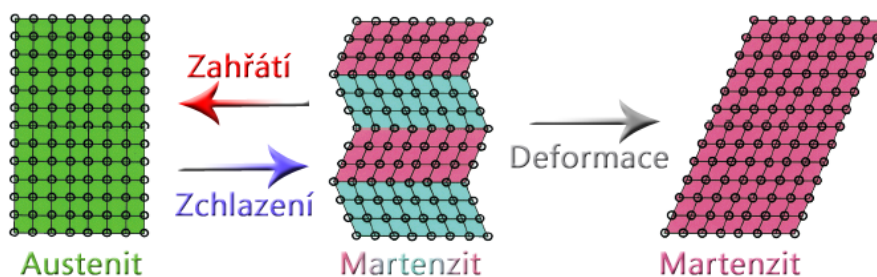
Pokud se zeptáte běžného člověka, jestli zná nějakou vlastnost, kterou by šlo zkoumat na kovech, asi se vám vysměje, protože už byly všechny kovy dávno objeveny a popsány. Opravdu na první pohled se zdá, že v metalurgii se už žádný zajímavý objev neudělá, ale pokud se o to začnete víc zajímat, zjistíte, neprozkoumaných věcí je víc než dost [1]. Mezi nejdůležitější patří zejména supravodivost (přestože vysokoteplotní supravodiče jsou spíše oxidy kovů) a *jevy tvarové paměti* [2].



Obrázek 1: Krystalové mřížky austenitu a martenzitu

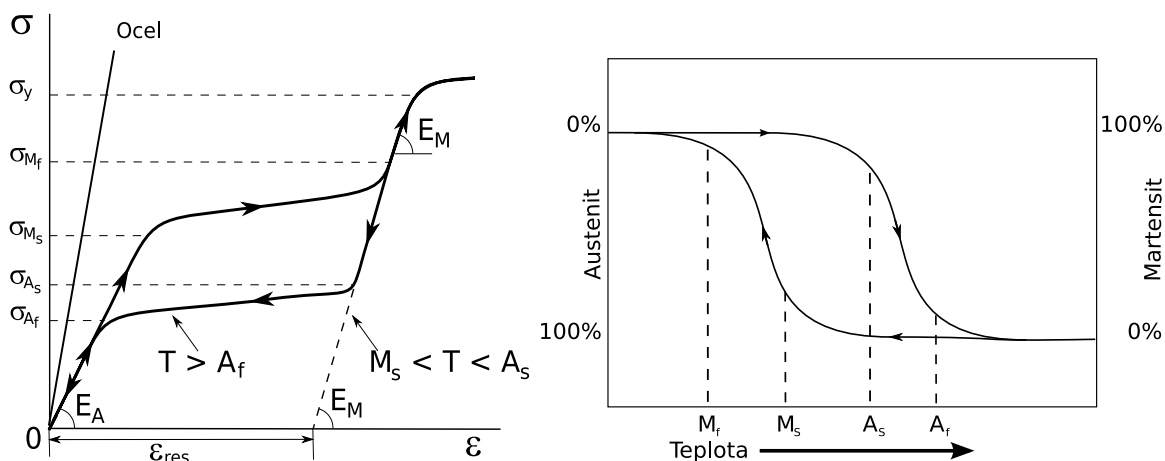
## 2 Tvarová paměť

Tvarová paměť je efekt pozorovatelný především u kovových slitin, ale podobný efekt byl nalezen u některých plastů. Poprvé byl objeven v roce 1951 u slitiny zlato-kadmium, AuCd. Vědci se o tento obor začali více zajímat teprve v roce 1963, kdy byl tento jev pozorován na slitině NiTi (*nitinol*). Paměťový efekt byl později objeven i v dalších slitinách: Cu<sub>3</sub>Al, Cu<sub>3</sub>Zn, Cu-Al-Ni, Cu-Al-Mn, Ni-Ti-Cu, Ni-Ti-Hf a mnoho dalších. Kovy s tvarovou pamětí se nazývají SMA, tzn. Shape Memory Alloys.



Obrázek 2: Schéma martenzitické transformace

Jev tvarové paměti je způsoben tím, že kov, u kterého se tato vlastnost vyskytuje, přechází při určité teplotě z jedné krystalické struktury do jiné. To je vyvoláno tím, že se slitina snaží udržet v energeticky nejvýhodnějším stavu, a proto se vždy usiluje přeorientovat, čímž vyvíjí sílu, do krystalické mřížky, která je za daných podmínek energeticky nejúspornější. Další zajímavou vlastností je elastická deformace u těchto slitin. Zatímco u běžných kovů elastická deformace nepřesahuje 1% (běžná ocel má 0,5%), u kovů s tvarovou pamětí může plně vratná deformace dosahovat až 15%.



Obrázek 3: (a) Závislost napětí na prodloužení u superelasticity (b) Relativní podíl martenzitu a austenitu ve slitině

## 2.1 Struktura materiálů s tvarovou pamětí

Vysvětlení doposud popsaných jevů jako tvarová paměť a superelasticitu je martenzitická transformace. Martenzitická transformace je bezdifúzní fázová transformace, to znamená, že při transformaci nedochází k přesunu látky na větší než je vzdálenost nejbližších atomů. Přestože posunutí atomů není nijak velké, projeví se tento přesun jako změna celkového tvaru slitiny. Tento jev se vyskytuje v pevných látkách a je podobný ferromagnetismu. Průběh martenzitické transformace je silně závislý na okolních podmínkách jako teplota, vnější síly a u některých slitin i magnetismus (např. NiMnGa).

Krystalická struktura, kterou látka zaujímá za nižších teplot, se nazývá martenzit. Struktura vznikající při vyšší teplotě se nazývá austenit.

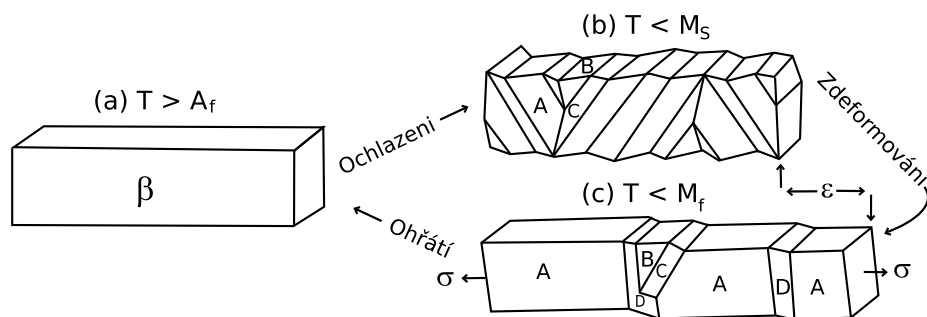
Austenit má kubickou krystalickou mřížku. Naopak martenzit má symetrii krystalické mřížky nižší. Přechod z austenitu do martenzitu vypadá, jako když se pokusíte původní krychli složit z kosých kvádrů, různě orientovaných k původní krychli (obr. 2).

Pokud na slitinu při transformaci nepůsobí žádné vnější síly, tak si výsledná „krychle“ zachová přibližně tvar i objem krychle v austenitu. Tlakem nebo tahem na takto vzniklý martenzit se všechny vrstvy přeorientují jedním směrem (obr. 4).

Teploty tohoto přechodu se měří různými způsoby. Nejpřesnější to je kalorimetricky, při transformaci se totiž vydává nebo spotřebovává energie a to lze přesně zaznamenat.

Další metody jsou změnou elektrického odporu nebo neutronovou difrakcí. Teploty se značí se takto:

- $M_s$ : začátek přeměny z austenitu do martenzitu při ochlazování
- $M_f$ : konec z austenitu do martenzitu při ochlazování
- $A_s$ : začátek přeměny z martenzitu do austenitu při zahřívání
- $A_f$ : konec z martenzitu do austenitu při zahřívání



Obrázek 4: Krystalografické schéma transformace

## 2.2 Vlastnosti ovlivněné fázovou transformací

Jak bylo napsáno v předchozí části textu, se změnou krystalické struktury se mění i fyzikální vlastnosti látek s tvarovou pamětí. Podstatná vlastnost SMA je silné hysterezní chování při přechodu z jedné fáze do druhé. Znamená to, že vlastnosti stejného materiálu během transformace za stejné teploty jsou různé, podle toho jestli materiál přechází z austenitu do martenzitu nebo naopak. Šířka teplotní hystereze se rovná  $M_s - A_s$ . Šířka může být v rozmezí  $1^\circ\text{C}$  až  $60^\circ\text{C}$  a závisí zejména na složení a typu slitiny. Na obrázku 3b je vidět relativní podíl martenzitu v celé slitině. Hysterezní chování se projevuje i při působení síly. Důsledkem toho je síla nutná pro stlačení či natažení SMA součástky vyšší než síla, kterou látka působí na své okolí po odtížení (platí pouze u superelasticity).

Další vlastností SMA je pseudoplasticita. Pokud se, při teplotě nižší než  $M_s$ , působí na SMA součástku silou, martenzit se snadno přetransformuje v rozmezí  $\pm 5\%$  a vytvoří při daném zatížení nejvýhodnější variantu (obr. 4). Přestože to vypadá velice podobně jako u běžných kovů, nedochází u SMA k pohybu skluzových dislokací, které způsobují nezvratné změny, ale pouze k pohybu fázových a vnitřních rozhraní typu dvojčat. Po zahřátí se SMA vrátí z jakéhokoli martenzitu zpět do jediné varianty austenitu a tím vzniká jev tvarové paměti.

Superelasticita se naopak vyskytuje při deformaci za teploty vyšší než  $A_f$ . V tom případě je součástka v austenitu a tlakem či tahem se přetransformuje do martenzitu, po

odtížení se součástka okamžitě vrací zpět do austenitu. Pružná (vratná) deformace může v tomto případě dosáhnout až zmíněných 15%. Znovu v tomto případě existuje hystereze, proto síla potřebná pro změnu tvaru je vyšší než síla vydávána součástkou při navracení do původní polohy. Množství technických aplikací využívá další zajímavou vlastnost superelastických součástek a tou je téměř konstantní úroveň napětí, kterou působí na své okolí. Síla, jíž součástka působí je téměř stejná ať je prodloužení 1% nebo 10% oproti běžným kovům, kde se síla zvedá lineárně (obr. 3a)

## 2.3 Využití jevu tvarové paměti

Využití jevu tvarové paměti je velmi široké a aplikace lze najít prakticky ve všech odvětvích. Například v lékařství se využívají superelastické stenty, které se lépe přizpůsobují lidským tkáním než klasické ocelové stenty. V letectví se SMA materiály používají například jako velmi odolné spojky potrubí v F-14. V domácnostech je lze najít například ve směšovacích vodovodních bateriích, míchají teplou a studenou vodu tak, aby byla dosažena požadovaná teplota vody. Aplikace jsou i v textilním průmyslu například košile, která se sama vlivem lidského tepla vyžehlí. Existují i klimatizace, které ke své regulaci používají dvoucestnou tvarovou paměť nebo kávovary, které regulují pomocí tvarové paměti teplotu mnohem přesněji než bimetalem a na druhou stranu levněji než elektronikou. Schopnost materiálů působit při různém prodloužení prakticky stejnou silou se využívá například v rovnátkách, které jsou pak mnohonásobně účinnější než klasická.

SMA materiály se už dostaly i do vesmíru pro jejich jednoduché a prakticky bezporuchové aplikace.

## 3 Závěr

Kovy s tvarovou pamětí se jeví jako vhodné náhrady mnoha dnes využívaných aplikací. Jejich výhodou je prakticky bezporuchovost, nižší cena než řešení pomocí elektroniky a se zmenšující velikostí se u nich dokonce zlepšují vlastnosti. Na druhou stranu je pár věcí, které jim zatím brání ve využívání. Je to například složitost zpracování, vyšší cena než klasická ocel, přestože ta se sériovou výrobou sníží, a mimo jiné i nedostatečná povědomost lidí o těchto kovech. Přesto se v budoucnu počítá s vyšším využitím těchto kovů.

## Reference

- [1] P. Šittner, V. Novák *Kovové slitiny s tvarovou pamětí* Technik 7, 2002, pp. 14-16
- [2] *Shape memory alloys* - MRS Bulletin 2, 2002
- [3] V. Novák, P. Šittner *Aplikace jevu tvarové paměti* Technik 10, 2002, pp. 32-33
- [4] M. Kocer, P. Sýkora: *Ne příliš stručný úvod do systému L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 2 $\epsilon$*
- [5] Oficiální stránka oddělení SMA AVČR <http://www.fzu.cz/departments/metals/sma>