

SHAPE MEMORY ALLOYS (SMA)

TVAROVÁ PAMĚŤ KOVŮ

Hurbánek R., Filípek J.

Ústav environmentální techniky, Agronomická fakulta, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika.

E-mail: hurbanek@flashfly.cz, filipek@mendelu.cz

ABSTRACT

We have created an interactive multimedia project that should explain the principles of shape memory alloys. This project includes both the animations of phase transformations during the original shape recovery and a captured video of a real alloy transformation. We used the animation software Macromedia Flash and an optical microscope equipped with the digital camera and capturing software to capture the video.

Key words: shape memory, SMA, NiTi, animation, video, transformation

ABSTRAKT

Vytvořili jsme interaktivní multimediální projekt, jehož úkolem je vysvětlit princip tvarové paměti kovů. Projekt obsahuje jednak animace transformací fází při obnovení původního tvaru kovu a jednak zaznamenané video transformace skutečné slitiny. Ke zpracování projektu jsme použili animační software Macromedia Flash a k zaznamenání videa optický mikroskop s digitální kamerou a zachytávacím software.

Klíčová slova: tvarová paměť, NiTi, animace, video, transformace

ÚVOD

Ačkoliv je efekt tvarové paměti kovů dnes běžně využíván v tisících aplikací a někdy se s ním i denně setkáváme, jen málo odborné veřejnosti ví, jakým způsobem tvarová paměť kovů funguje. V prezentaci na vědecké konferenci MendelNet'06 je zajímavou formou vysvětlen princip tohoto jevu v kovech. Projekt je založen nejen na teoretickém základu, ale je podložen i video ukázkami skutečných materiálů.

Projekt je zpracován v anglickém jazyce pro rozšíření vědomosti o tvarové paměti i za hranice České republiky.

MATERIÁL A METODIKA

Celý projekt je členěn do několika částí:

- Co znamenají „slitiny s tvarovou pamětí“ (shape memory alloys = SMA)
- Video ukázka efektu tvarové paměti

- Vlastnosti materiálů
- Historie
- Typy
- Jak pracuje tvarová paměť ve slitinách
 - Termo-elastická martenzitická transformace – krystalická struktura
 - Termo-elastická martenzitická transformace – video
 - Křivka přestupu tepla
 - Transformační teploty slitin s tvarovou pamětí
- Aplikace slitin s tvarovou pamětí

Co znamenají „slitiny s tvarovou pamětí“ (shape memory alloys = SMA)

Slitiny s tvarovou pamětí jsou kovy, které si “pamatují” svůj původní tvar, který po deformaci (max. cca 10 – 12 %) lze obnovit zahřátím nad určitou teplotu.

Kovy s tvarovou pamětí mohou mít dvě unikátní vlastnosti, a to pseudo-elasticitu a efekt tvarové paměti.

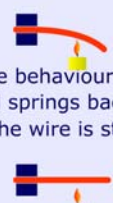
SHAPE MEMORY ALLOYS Created by Radek Hurbánek, hurbanek@flashfly.cz
in conjunction with Dr.Eng. Roumen Petrov, Ghent University

WHAT DOES SMA MEAN?

SMA (SHAPE MEMORY ALOYS) are:
*metals which can recover their original shape after deformation through heating
(deformation 10-12% at tension)*

shape memory effect = the original shape after deformation can be recovered by heating the material above a specific temperature (A_f)

pseudo-elasticity = rubber-like behaviour - as soon as the loading is decreased the material springs back to its original shape since the temperature of the wire is still above A_f



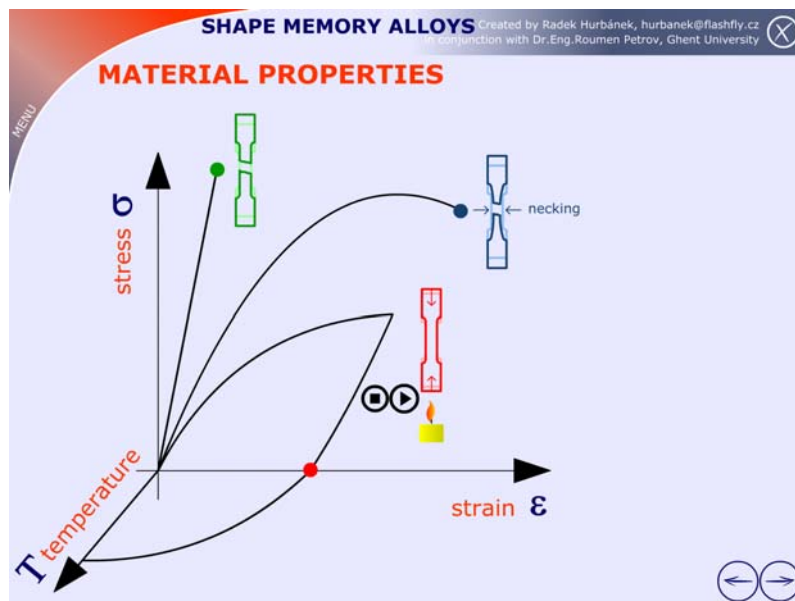
Video ukázka efektu tvarové paměti

Video ukázka zobrazuje drát z kovu s tvarovou pamětí, který je zchlazen, následně zdeformován a dále ohřát zapalovačem. Ohříváním drát získává zpět svůj původní tvar.

Vlastnosti materiálů

V grafu „napětí – prodloužení - teplota“ je zobrazeno chování tří materiálů:

- křehký, ale pevný
- houževnatý
- kov s tvarovou pamětí



Animovaný interaktivní graf zobrazuje rozdílné chování těchto materiálů při zatížení. Křehký, ale pevný materiál po zatížení bez viditelné deformace praskne. Houževnatý materiál se po zatížení podstatně zdeformuje a rovněž praskne. Materiál s tvarovou pamětí může být deformován až o 12 % a po odlehčení a zahřátí se opět vrátí do původního tvaru.

Historie

Arne Olander jako první pozoroval tyto neobvyklé vlastnosti v roce 1932 u slitiny zlata a kadmia. Avšak až do roku 1961 nebyly ve výzkumu v oblasti kovů s tvarovou pamětí zjištěny žádné výraznější poznatky. Obecně se slitiny niklu a titanu s tvarovou pamětí nazývají Nitinol. V roce 1961 byla u Nitinolu (zkratka pro Nickel Titanium Naval Ordnance Laboratory) náhodně objevena Williamem J. Buehlerem schopnost tvarové paměti. Od této doby je Nitinol běžně používán ve spoustě výrobků.

Typy

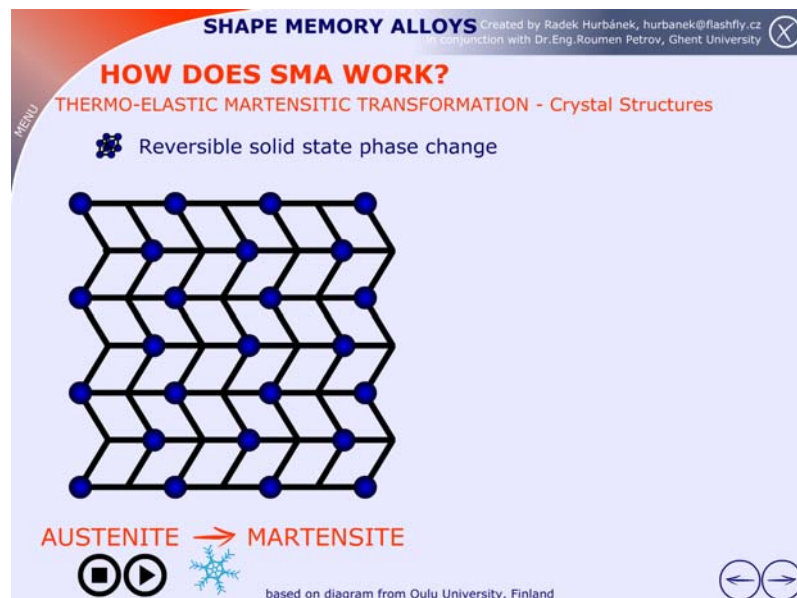
Nejúčinnější a nejpoužívanější slitinou s tvarovou pamětí je slitina NiTi (niklu a titanu), CuZnAl, CuAlNi a v poslední době i slitiny se železem (slitiny železa, manganu a

křemíku). Slitiny niklu a titanu vykazují sice nejvýraznější efekt tvarové paměti, ale jejich největší nevýhodou je vysoká cena. Proto se hledají náhrady.

Jak pracuje tvarová paměť ve slitinách

Termo-elastická martenzitická transformace – krystalická struktura

V kovech s tvarovou pamětí probíhá takzvaná termo-elastická martenzitická transformace. Tato transformace je znázorněna na animaci krystalické struktury, kde se po jejím spuštění působením síly deformuje měkký, lehce deformovatelný martenzit na deformovaný martenzit. Při následném ohřevu nad určitou teplotou se deformovaný martenzit transformuje na austenit, přičemž se obnovuje původní nedeformovaný tvar. Následným zchlazením se již bez vnějších tvarových změn transformuje austenit zpět na martenzit.

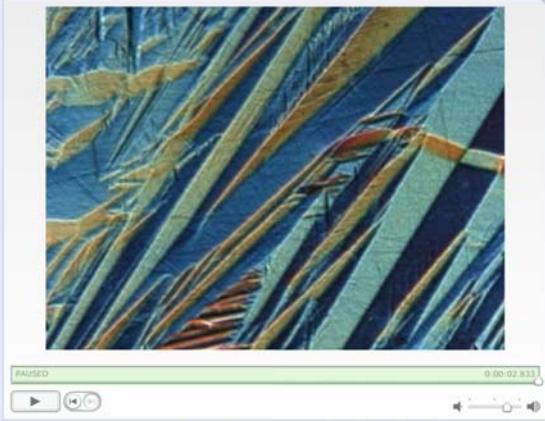


Termo-elastická martenzitická transformace – video

Optickým mikroskopem s digitální barevnou kamerou a s pomocí zachytávacího software se nám podařilo zaznamenat termo-elastickou martenzitickou transformaci do video souboru, který je zobrazen na dalším snímku projektu. Mikroskopem byla zaznamenána transformace ve slitině Cu-Zn-Mn. Ve video ukázce je zřetelná skutečná transformace martenzit → austenit → martenzit.

SHAPE MEMORY ALLOYS Created by Radek Hurbánek, hurbanek@flashfly.cz
in conjunction with Dr.Eng.Roumen Petrov, Ghent University

HOW DOES SMA WORK?
THERMO-ELASTIC MARTENSITIC TRANSFORMATION - movie



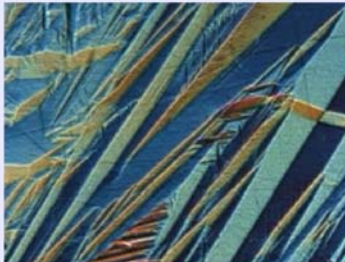
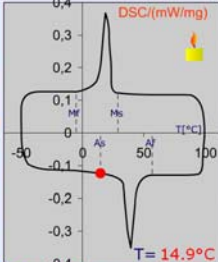
Radek Hurbánek, Dr.Eng.Roumen Petrov, Ghent University, Belgium

Křivka přestupu tepla

Tato křivka přestupu tepla byla zaznamenána při ohřevu a chlazení tohoto materiálu pomocí diferenciální skenovací kalorimetrie (DSC), která udává velikost dodávané energie versus teplota vzorku. V animaci jsou vzájemně propojeny jednak zachycené video, jednak DSC termogram a jednak animace krystalické struktury. Při sledování animace je možné zvyšovat a snižovat rychlost přehrávání a také použitím posuvníku přeskočit na určité místo animace. Červený bod, který se pohybuje po křivce, se zastavuje ve čtyřech polohách odpovídajícím teplotám M_s (martensite start), M_f (martensite finish), A_s (austenite start) a A_f (austenite finish). Tyto teploty jsou vysvětleny na následujícím snímku projektu.

SHAPE MEMORY ALLOYS Created by Radek Hurbánek, hurbanek@flashfly.cz
in conjunction with Dr.Eng.Roumen Petrov, Ghent University

HOW DOES SMA WORK?
THERMO-ELASTIC MARTENSITIC TRANSFORMATION - DSC HEAT FLOW CURVE

MARTENSITE

DSC heat flow curve calculated for the heating rate of 8°C/min.
(Units of S(T) = [mW/mg])
(DSC = differential scanning calorimetry)

Speed: 1

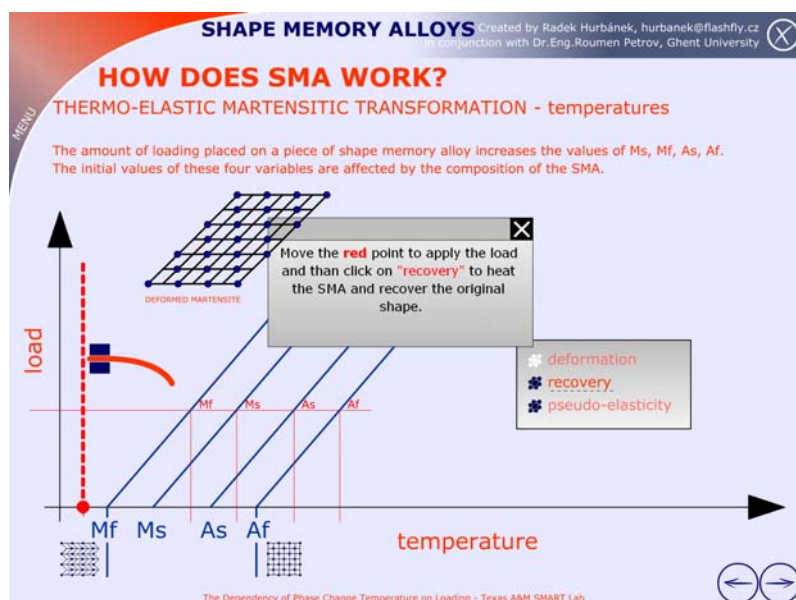
Transformační teploty slitin s tvarovou pamětí

Teploty, při kterých se fáze začínají a přestávají formovat, jsou zastoupeny těmito proměnnými:

- Ms (martensite start)
- Mf (martensite finish)
- As (austenite start)
- Af (austenite finish)

Velikost zatížení aplikovaného na slitinu s tvarovou pamětí tyto teploty zvyšuje. Pokud tedy deformujeme slitinu s tvarovou pamětí, teploty transformace se příslušně mění. V případě, že chceme obnovit původní tvar slitiny, musíme slitinu zahřát nad teplotu Af.

Způsob ovlivnění teplot deformací je opět vysvětlen na interaktivní animaci, kde se aplikace zatížení provádí posunováním červeného bodu v grafu „zatížení - teplota“.



Počáteční hodnoty těchto čtyř teplot jsou také značně ovlivněny kompozicí materiálu, tzn. jaké prvky a jejich procentuální množství je obsaženo ve slitině.

V grafu je také možná simulace pseudo-elasticity, která se projevuje u materiálů nacházejících se již před deformací v teplotě vyšší než je Af.

Aplikace slitin s tvarovou pamětí

V současné době jsou slitiny s tvarovou pamětí běžně používány v tisících aplikací a někdy se s nimi setkáváme v našem každodenním životě.

Lékařství

Kostní destičky

Destičky s otvory jsou protaženy a podchlazeny, následně přišroubovány na zlomeninu a působením tepla lidského těla se destičky stahují zpět do původního tvaru a tím pomáhají rychlejšímu zahojení zlomeniny.

Zubní rovnátka

Samovolné stahování rovnátek vyrobených z SMA nevyžaduje průběžné mechanické dotahování.

Obroučky brýlí ze super-elastické slitiny

Super-elastický materiál v teplotě okolí způsobuje obnovu původního tvaru okamžitě po vytažení zdeformovaných brýlí z kapsy.

Letectví

Pásky slitin s tvarovou pamětí manipulují s pohyblivou částí křídel letadla. Aplikací elektrického napětí se kov zahřívá a tím obnovuje svůj původní tvar. Složitá hydraulická soustava je nahrazena elektrickou kabeláží.

Některé další aplikace

Kovy s tvarovou pamětí mohou i zachraňovat životy svým použitím např. v bezpečnostních systémech proti opaření nebo v protipožárních systémech. Nitinol je využíván v robotice, jako náhrada za lidské svaly. Další běžnou aplikací je kostice v dámských podprsenkách, která může být vyrobena ze super-elastické slitiny.

SHAPE MEMORY ALLOYS Created by Radek Hurbánek, hurbanek@flashfly.cz
in cooperation with Dr. Eng. Roumen Petrov, Ghent University

SMA's APPLICATIONS

MEDICINE

- Surgical tools (bone plates)
- Teeth screw-jack
- Glasses frame (super-elasticity)

AIRCRAFT

- movement of wings flaps - SMA wires heated with an electric current (no hydraulic system)

SOME OTHER APPLICATIONS

- Anti-scalding devices, fire-sprinklers, robotics, underwire bra, ...

The infographic includes a 'MENU' button on the left, a close button (X) in the top right, and a back button (←) in the bottom right. It features illustrations of a bone with a plate, a tooth with a screw, a glasses frame, and an aircraft wing with SMA wires.

VÝSLEDKY A DISKUZE

Výsledkem našeho projektu je interaktivní animace, která srozumitelnou formou dokáže vysvětlit základní principy kovů s tvarovou pamětí. Animace je navíc doplněna videem transformace skutečné slitiny.

ZÁVĚR

Kovy s tvarovou pamětí si již našly důležité místo v našem prostředí a neustále se objevují jejich další aplikace. Nalezením vhodné levné substituce za drahý NiTiNol by se mohlo jejich využití dále rozšířit např. na vozidlové rámy a jiné části, které místo renovace jsou po deformaci nahrazovány novými díly. Kovy s tvarovou pamětí jsou ideální pro výrobu různých sponek, záslepek, spojek a svorek. Věříme, že náš projekt rozšíří znalosti veřejnosti v této oblasti.

LITERATURA

Shape Memory Alloys, [online] University of Cambridge <http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/2005/a23/a23.html>

Observation of Surface Relief due to Martensitic Transformation in a Shape Memory Alloy, [online] University of Alberta http://www.cs.ualberta.ca/~database/MEMS/sma_mems/sma.html

Petrov R., PhD Thesis: Shape memory alloys