

# Materiály s tvarovou pamětí

## Samostatná práce



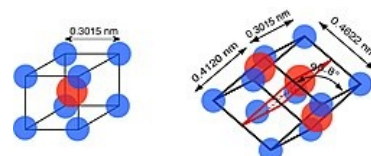
Tento článek je editován studenty 2. LF UK v rámci plnění jejich studijních povinností (seminární práce – vypracování zkuškových otázek z biofyziky). Ostatní uživatele prosíme, nezasahujte výrazněji do jeho tvorby až do doby, než bude práce odevzdána (s výjimkou malých editací – opravy překlepů, pomoci s formátováním apod.). Máte-li nějaké náměty či připomínky, uveďte je prosím v diskusi ([https://www.wikiskripta.eu/w/Diskuse:Materi%C3%A1ly\\_s\\_tvarovou\\_pam%C4%9Bt%C3%AD](https://www.wikiskripta.eu/w/Diskuse:Materi%C3%A1ly_s_tvarovou_pam%C4%9Bt%C3%AD)). V případě potřeby kontaktujte autory stránky – naleznete je v historii ([https://www.wikiskripta.eu/index.php?title=Materi%C3%A1ly\\_s\\_tvarovou\\_pam%C4%9Bt%C3%AD&action=history](https://www.wikiskripta.eu/index.php?title=Materi%C3%A1ly_s_tvarovou_pam%C4%9Bt%C3%AD&action=history)).

Stránka byla naposledy aktualizována v úterý 17. 12. 2019 v 21.35.

**Tvarová paměť** je specifická termodynamická charakteristika. Chladný vzorek materiálu je zdeformován tak, že podstatně změnil svůj tvar. Po zahřátí nad určitou charakteristickou teplotu si však vzorek „vzpomene“ na svůj původní tvar a samovolně se do něj navrátí. Při mechanickém namáhání navíc vykazují takové materiály i další atraktivní vlastnosti jako jsou **superelastická** a **pseudoplasticita**. V závislosti na teplotě může materiál existovat v několika formách vnitřního uspořádání. Forma, kterou má materiál při nižší teplotě, se nazývá **martenzit**, při vyšší **austenit**. Teplota, při níž dochází k přechodu mezi těmito dvěma formami, je specifická pro daný materiál a jeho složení.

## Historie

Tvarová paměť byla poprvé sledována u mosazi v roce 1939, od 60. let zájem o tuto oblast stoupá. V roce 1962 byla zkoumána ekvatomární slitina **Ni** a **Ti**, u níž byla objevená mimořádně výrazná tvarová paměť. K tomuto objevu dospěl **William J. Buehler** z **Naval Ordnance Laboratory** ve White Oak v Marylandu, USA. Podle složení a místa vzniku se tato slitina nazývá **Nitinol**. Mezi další materiály s tvarovou pamětí patří keramické materiály jako je oxid zirkoničitý ( $\text{ZrO}_2$ ), oxid hořečnatý ( $\text{MgO}$ ), oxid ceričitý ( $\text{CeO}_2$ ), dále také polyuretany a některé kovové slitiny jako například měď-hliník-nikl, měď-zinek-hliník, železo-mangan-křemík.



Formy austenitu a martenzitu Nitinolu

## Nitinol

Nitinol má díky své biokompatibilitě a mimořádným fyzikálním vlastnostem výhradní postavení zejména v medicíně. Mezi význačné vlastnosti Nitinolu patří **jednocestná a dvoucestná tvarová paměť**, **pseudoelastická** a **vysoká odolnost**.

### Tvarová paměť Nitinolu

Nitinol ve formě **martenzitu** vykazuje tzv. **cik-cak strukturu**, která je tvořená vazebnými páry mezi atomy v různých variantách. Jako martenzit je Nitinol kvůli nedifuzibilnímu přepárování relativně **měkky** a **snadno deformovatelný**. Ve formě **austenitu** má naopak **stabilní kubickou strukturu**, proto je v této formě **mechanicky odolný** a **tvrdý**. **Přechodová teplota** Nitinolu se pohybuje v rozsahu **-100 až 100 °C** podle poměru Ni a Ti a příměsí, proto lze v medicíně nastavit přechodovou teplotu na teplotu těla či mírně vyšší. **Vratná deformace** v případě **jednocestného procesu** (pružná deformace) dosahuje víc než **8 %**. V případě **dvoucestného procesu** je vratná deformace jen **1 %**, ale počet cyklů je prakticky neomezen bez následku mechanického poškození či fyzikálních změn. Této deformace je docíleno **opakovaným ohříváním a ochlazením** za současného zamezení vratné deformace do původního tvaru.

### Některé fyzikální a mechanické vlastnosti Nitinolu

hustota	6450 kg.m <sup>-3</sup>
teplota tání	1240–1310 °C
měrný elektrický odpor	800 nΩ.m
koeficient tepelné vodivosti	8,6–18 W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>
měrná tepelná kapacita	322 J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>
mez pevnosti v tahu	754–960 MPa
modul pružnosti (martenzit)	28 GPa
modul pružnosti (austenit)	75 GPa
mez pružnosti v tahu (martenzit)	100 MPa
mez pružnosti v tahu (austenit)	560 MPa

### Pseudoelastická

Je vykazována při mechanickém zatěžování a odlehčování za teploty **vyšší**, než je teplota pro vyvolání tvarové paměti. Materiál za těchto podmínek vykazuje klasické **elastické vlastnosti**, ale s výraznou **hysterezí**. Toto je dáno růstem přechodové teploty s mírou namáhání materiálu. Jakmile materiál přestane být namáhán, chová se jako **austenit** a navrací se do výchozího tvaru. Pseudoelastická Nitinolu se vyznačuje **značným rozsahem deformací** až 10 % a výraznou **fází**

**plató**, kdy při téměř konstantním namáhání nebo při konstantní reaktivní síle, lze dosáhnout značného rozsahu deformačních změn. Tím má Nitinol podobné vlastnosti jako některé biologické materiály (vlasy, kosti, šlachy), proto může být použit i jako jejich **náhrada**.

## Použití Nitinolu v medicíně

Jako jediný materiál s tvarovou pamětí se v medicíně používá Nitinol, jelikož je považován za **biotolerantní materiál** (je kuriózní, že přestože je nikl sám o sobě toxický, bylo prokázáno, že na povrchu Nitinolu vzniká ochranná vrstva oxidu titaničitého ( $\text{TiO}_2$ ), a tím je zaručena jeho biokompatibilita a i značná stálost a odolnost vůči korozi).

### Ortodoncie

V ortodoncii je využití Nitinolu nejrozšířenější a také má nejdelší historii. Nejčastěji je aplikován jako **drátky pro rovnání** špatného postavení zubů a zubních segmentů. Díky jeho efektu pseudoelasticity a široké hysterezi je zaručeno, že ve velkém rozsahu vratných deformací dovede ortodontický drát vyvinout přibližně stejný tlak na korigovaný segment zubního oblouku. Narozdíl od obdobných drátků z klasických materiálů (jako například nerezová ocel) není u drátku z Nitinolu nutné drátky neustále znovu dopružovat po posunutí zubního segmentu. Uplatnění Nitinolu je i u endodontických nástrojů, které jsou určeny k ošetřování zubních kanálků. Dále je Nitinol ve stomatologii aplikován v rámci **implantátu zubu** s nastavitelným sklonem vyčnívající části, nebo v rámci **nitinolové korunky**, která po nasazení a ohřátí dokonale obemkne pahýl či nastavbu.

### Ortopedie

V ortopedii se nejčastěji setkáváme s tvarovou pamětí v **konstrukcích osteosyntetických skobek**. Skobky se v měkké martenzitické formě roztáhnou, aby mohly být vzápětí nasazeny do předvrtaných otvorů v koncích frakturované kosti. Následným zvýšením teploty se samovolně stáhnou, čímž zafixují části zlomené kosti. Materiál skobek může být připraven dvěma způsoby. Teplota sevření může být dána teplotou těla nebo teplotou vyšší. Při použití teploty těla není třeba dalšího umělého ohřívání; u teploty vyšší než teplota těla, je možné přerušit ohřev - a tím pádem se vyhnout nebezpečí nepřiměřeného sevření a drcení kostí. Nitinol se užívá také v **trvalých implantátech** ve formě kroužků, které mohou být náhradou za poškozené meziobratlové ploténky. Nitinol s porezitou až 70 % má široké rozmezí elastické deformace, a proto může být použit jako **náhrada kostí**.

### Chirurgie

V chirurgii se k **označení a lokalizaci nádorové tkáně v prsu** používají nitinolové drátky. Tyto drátky jsou zaváděny do nádorů pod RTG pomocí jehly. Drátek zaujímá vlivem pseudoelasticity tvar háčku a je jím fixován v nádoru poté, co je vysunut z jehly. Chirurgické zákroky jsou poté přesnější a méně invazivní. Zaváděcí drátky stejného principu se používají u katetrů.

Nitinol se dále využívá v **miniinvazivní chirurgii** především na výrobu léčebných přípravků a speciálních nástrojů. Ty jsou ve stlačené či sbalené formě zaváděny do místa jejich aplikace, kde zaujmou požadovaný předdefinovaný tvar po vytlačení a ohřevu na tělesnou teplotu (toto je možné právě díky jejich tvarové paměti).

Příkladem aplikace jsou:

- samoexpandibilní stenty a stentgrafty;
- filtry k zachycení trombů;
- urologické „košíčky“ k vytahování kamínků;
- záplaty k uzavření otvorů v mezisířovém septu.

### Protetika

Nitinol nachází své uplatnění i v protetice, a to při **konstrukcích ovladačů náhrad končetin**. Pohyb protézy je zajišťován deformací ovladačů, která je řízena elektrickými impulzy na úrovni akčních potenciálů.

## Odkazy

### Literatura

- NAVRÁTIL, Leoš a Jozef ROSINA, et al. *Medicínská biofyzika*. 1. vydání. Praha : Grada, 2005. 524 s. ISBN 80-247-1152-4.
- SVOBODA, Emanuel, et al. *Přehled středoškolské fyziky*. 3. vydání. Praha : Prometheus, 2003. ISBN 80-7196-116-7.

### Externí odkazy

- http://jmmedical.com/resources/122/How-Does-Nitinol-Work%3F-All-About-Nitinol-Shape-Memory-and-Superelasticity.html
- http://web.stanford.edu/~richlin1/sma/sma.html
- https://www.hindawi.com/journals/jm/2011/501483/
- http://depts.washington.edu/matseed/mse\_resources/Webpage/Memory%20metals/applications\_for\_shape\_memory\_al.htm

#### Článek ke kontrole



Žádá se kontrola tohoto článku učitelem.

Navržený učitel: Jan Tomsa

