Modelování materiálů s tvarovou pamětí

Martin Mach*, Martin Malý**, Vojtěch Malý***, Jana Novotná****

*Gymnázium, Jírovcova 8, Č. Budějovice; **Gymnázium Českolipská, Praha 9; ***Gymnázium Jeseník; ****Gymnázium Brno, třída Kpt. Jaroše

**martin.maly@desineo.com

Abstrakt:

Materiály s tvarovou pamětí mají mnoho zcela netradičních vlastností. Toho se využívá v lékařství, vojenské technice a dokonce i v textilním průmyslu (samožehlicí košile). Naším cílem je seznámit se s matematickým modelem založeným na principu minimální potenciální energie a na základě numerických experimentů hlouběji pochopit chování těchto materiálů při deformaci.

1 Úvod

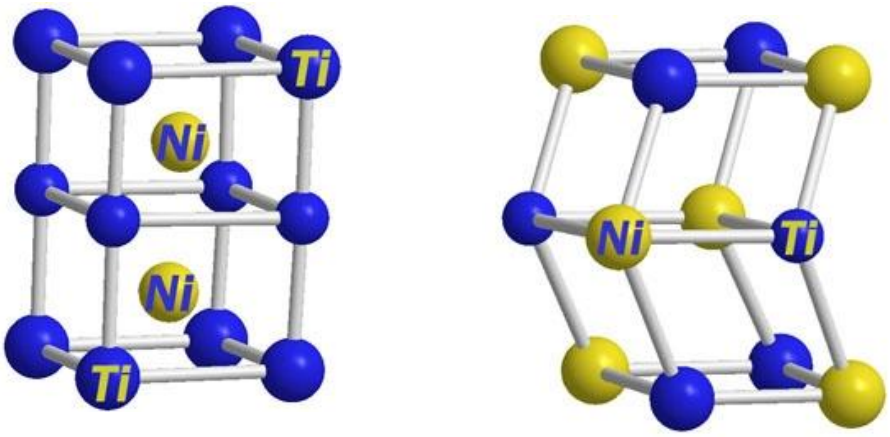
„Budeme potřebovat pouze svěrák a plamenomet!“ S těmito dvěma nástroji si vystačíme při demonstraci fázové přeměny materiálu s tvarovou pamětí. Co vlastně materiály s tvarovou pamětí jsou a jaké mají vlastnosti? V našem příspěvku vás s nimi seznámíme a zaměříme se na jejich matematickou modelaci.

2 Fyzikální podstata tvarové paměti

Materiály s tvarovou pamětí tvoří podskupinu elasto-plastických materiálů. Jedná se nejčastěji o slitiny kovů (Ni, Ti, Pt, Cu, Al…), jež se označují zkratkou SMA (z angl. Shape Memory Alloys), nebo polymery. Jejich jedinečnou vlastností je tvarová paměť. Předmět z takového materiálu můžeme zohýbat a podstatně zdeformovat, ale po zahřátí si „vzpomene“ na svůj původní tvar a samovolně se do něj navrátí.

Tento jev je založen na schopnosti látky přecházet mezi dvěma různými fázemi – austenit a martenzit – které se liší uspořádáním krystalické mřížky. Austenit je vysokoteplotní fáze se symetrickou (kubickou) krystalickou mřížkou, zatímco martenzit je nízkoteplotní fáze s krystalickou mřížkou s nižší symetrií.

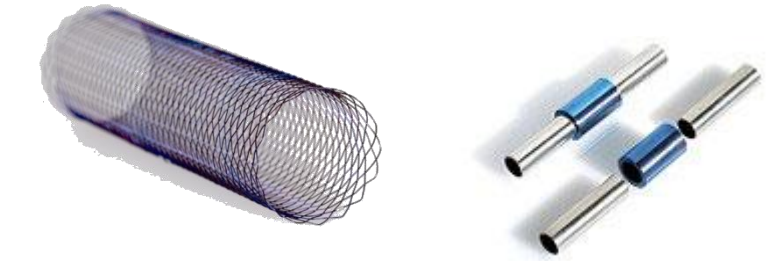
Fázová transformace může probíhat i za konstantní teploty, a to pouze vlivem mechanického napětí, a právě tento případ budeme uvažovat v našem matematickém modelu. Deformace spojená s fázovou transformací přitom může dosahovat až 10 %, přičemž zůstává po odtížení plně vratná. Tento jev nazýváme superelasticita. (Elastické deformace u běžných kovů jsou jen v rozsahu do 0,7 %.)



Krystalická struktura slitiny Ni-Ti: austenit (vlevo), martenzit (vpravo)

3 Využití SMA

Díky svým mimořádným vlastnostem (tvarová paměť, superelasticita,...) našly SMA uplatnění zejména v lékařství a technice. Jako příklad můžeme uvést stenty zabraňující ucpání cév nebo vysoce spolehlivé spojky potrubí. Ty se instalují v martenzitické fázi na těžko přístupná místa (křídla letadel) a po zahřátí se smrští přechodem do austenitické fáze. SMA byly použity i k výrobě košile, která se vlivem tělesné teploty sama „vyžehlí“, většímu komerčnímu využití SMA ale brání vysoká cena.



Vaskulární stent (vlevo) a spojky potrubí (vpravo)

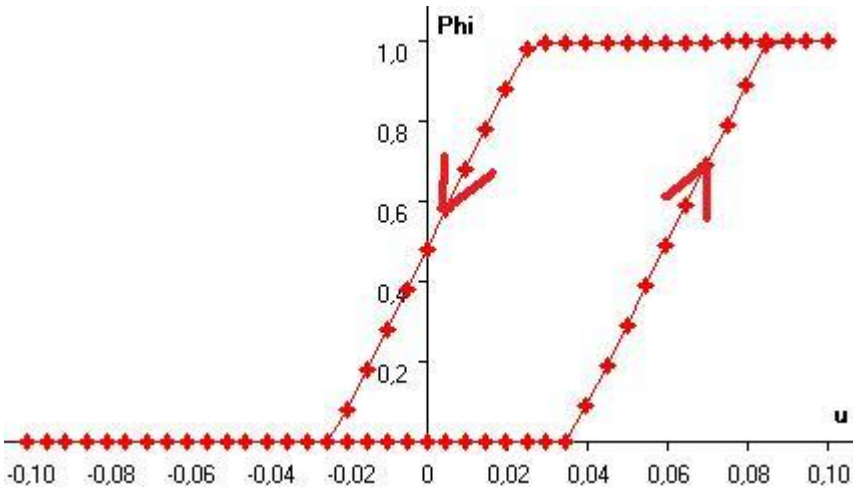
4 Matematické modelování

Matematické modelování slouží k předpovídání a lepšímu pochopení chování materiálů s tvarovou pamětí. Matematické modely jsou založeny na principu minima potenciální energie – při deformaci se soustava ustálí ve stavu s nejnižší možnou hladinou energie. Aby toho docílila, dochází buď k plastické deformaci, nebo ke změně fázového složení (poměr austenitu a martenzitu).

Energie vzorku z materiálu s tvarovou pamětí je přitom popsána nejen elastickou energií, ale také tzv. disipační energií spojenou se změnou objemového zlomku martenzitu. Můžeme si to představit, že materiál klade odpor proti změně fázového složení. Tato skutečnost nám do modelu zavádí závislost na předchozím stavu – tzv. hysterezi.

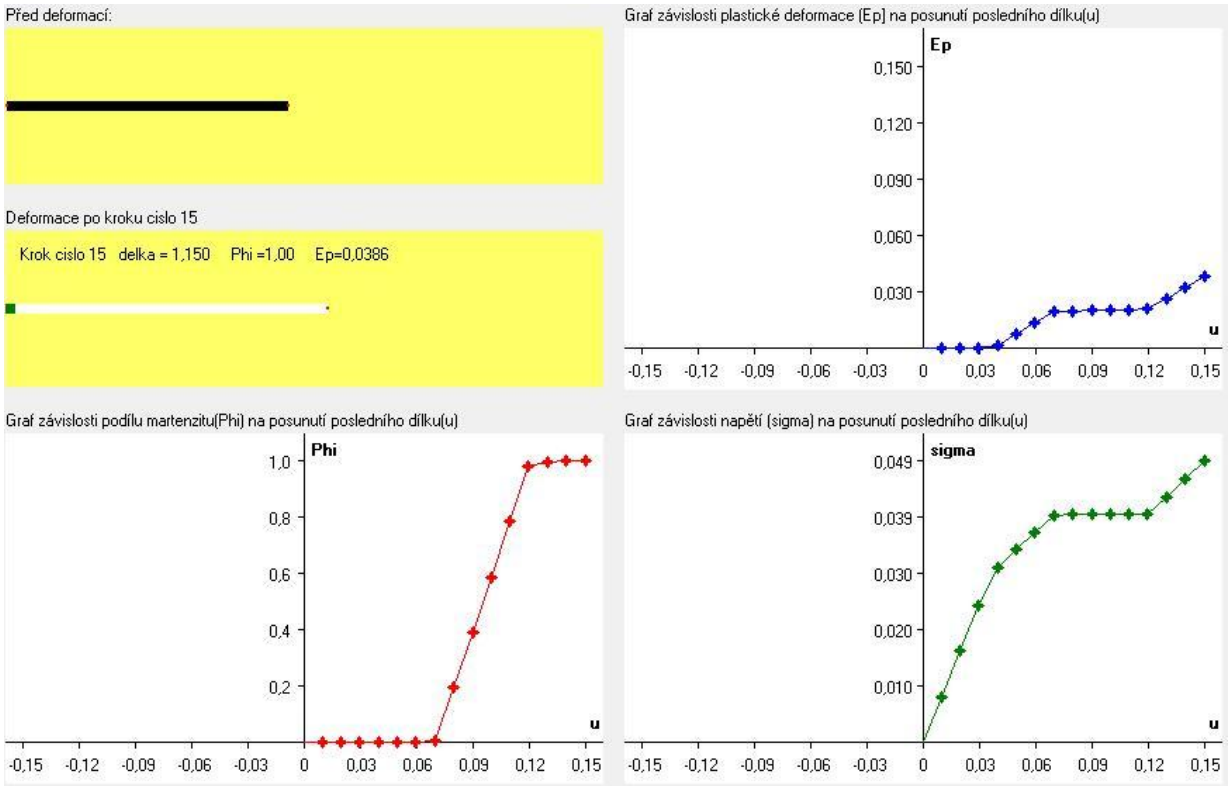
V rámci miniprojektu jsme pracovali s programem, který simuluje chování drátku při deformaci podél jedné ze souřadnicových os. Virtuálně natahujeme drátek o délce 1 metr až do určité maximální okrajové podmínky a sledujeme, jak se mění objemový zlomek, napětí a případně plastická deformace.

Vstupem do modelu jsou přitom určité materiálové koeficienty, které ovlivňují tvar řešení.



Graf závislosti objemového zlomku Phi na posunutí konce drátku u. (Phi = 0 → 100% austenit; Phi = 1 → 100% martenzit)

Na výše uvedeném grafu je dobře vidět hystereze – mezní hodnota posunutí pro přechod z austenitu na martenzit je jiná než při obráceném přechodu.



Výstup z programu, který uvažuje také plastickou deformaci, přičemž se ale uvažuje pouze natahování drátku.

Z grafů je patrné, že se drátek snaží minimalizovat svoji potenciální energii. Nejprve v něm pouze lineárně roste napětí podle Hookova zákona. Při natažení o 0,04 m se začne drátek plasticky deformovat, napětí roste s menším sklonem. Při natažení 0,07 m začne být energeticky výhodnější transformace do fáze martenzitu a napětí ani plastická deformace se během přeměny (u = 0,07 m až 0,12 m) nemění. Poté, co je drátek celý transformován v martenzit, začne se opět plasticky deformovat a napětí roste (ale opět s menším sklonem než při elastické deformaci na počátku).

5 Závěr

Při naší práci jsme se seznámili s materiály s tvarovou pamětí. Díky matematickému modelu jsme zjistili, na čem závisí chování materiálu, a na počítačové simulaci jsme se přesvědčili o vlivu materiálových konstant na tvar řešení.

SMA již našly četné využití a představují perspektivní technologie pro budoucnost.

Poděkování

Rádi bychom poděkovali našemu supervizorovi Bc. Martinu Vlčkovi za seznámení s tématem, konzultace a především za program na matematické modelování. Dále bychom chtěli poděkovat Ing. Hanušovi Seinerovi, Ph.D. z Akademie věd ČR za ukázku chování materiálu s tvarovou pamětí a FJFI ČVUT za organizaci a zázemí.

Reference:

[1] VLČEK, M.: *Bakalářská práce*. FJFI ČVUT Praha, 2009
[2] FYZIKÁLNÍ ÚSTAV AKADEMIE VĚD ČESKÉ REPUBLIKY: *http://department.fzu.cz/ofm/sma/brana_cz/index.php.*, 21.6.2011
[3] KRUŽÍK, M., ROUBÍČEK, T.: *Matematické a počítačové modelování aktivních materiálů,* Vesmír 88, 21, 2009/1