FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 1997, március 21-23

NIKKEL-TITÁN (NITI) ALAKEMLÉKEZŐ ÖTVÖZET ALKALMAZÁSA ROBOTKEZEK BEN

Kiss Attila

Az alakra emlékező hatás (Shape Memory Effect)

Az alakra emlékező fémötvözetek alakokat képesek megjegyezni és ezeket hőmérsékletváltozás hatására önállóan felvenni. A viselkedés oka a martenzites fázisátalakulás. Egy elsőrendű szerkezeti

1. ábra

fázisátalakulásról van itt szó, melynél a magas hőmérsékletű β fázis (ausztenit) diffúzió nélkül az alacsony hőmérsékletű α fázisba (martenzit) megy át. Az átalakulás koncentrációváltozás nélkül zajlik le és gyakran éles határfelületű lemezes- vagy lencse alakú kristallitok képzéséhez vezet [1].

Az átalakulás az M_s martenzit-starthőmérsékletnél kezdődik és az M_f finish hőmérsékletnél fejeződik be (1. ábra). Egy ΔT_h átalakulási histerézis után elkezdődik a visszaalakulás az A_s ausztenit-starthőmérsékletnél és az A_f ausztenit-finish hőmérsékletnél fejeződik be. Ha az emlékezés csak a hideg alakra vonatkozik, akkor egy-utas (one-

way), ha a hideg és a meleg alakot csupán hűtés-fűtés hatására változtatja az anyag, akkor két-utas (two-way) alakemlékezésről beszélünk.

A BME-GTT robotujj

A Budapesti Műszaki Egyetem Gépgyártástechnológia Tanszékén elkészítettünk egy NiTi-huzallal működtetett robotujjat, amelynek terhelhetőségét vákuumos granulátum-konzol növeli (lásd 2. ábra). A huzal egy-utas alakemlékezést mutat, ezért hideg

állapotának visszaállításához gumirugót alkalmazunk, amely egyben a hűtőfolyadék áramoltatásához szükséges csatornát is magában foglalja.

A huzal fűtésére áramgenerátort, hűtésére kényszerített levegőáramot használunk. A vákuumos granulátumkonzol az ujj terhelhetőségét nemcsak mintegy 30%-kal növeli, de azt tetszőleges pozícióban rögzíti és megtartja mindaddig, amíg a vákuumot ki nem kapcsoljuk [2].

Liang és Rogers modelljének alkalmazása a megfogóujj NiTi-aktuátorára

Az alakra emlékező ötvözetek viselkedésének leírására számos elmélet született (Fremond, Tanaka, Wang, Greenwood-Johnson, Magee, hogy csak néhányat említsünk), amelyekre Brinson [3] kimutatta, hogy egy huzalra közel azonos eredményt adnak, és ez a "közös" eredmény a kísérleti tapasztalatokkal is összhangban van. Ebben a dolgozatban Liang és Rogers egy dimenziós modelljét [4] alkalmazom a BME-GTT robotujj két dimenzióban elmozduló aktuátorára (továbbiakban SMA).

Az alkalmazott modell kormányzó egyenlete a következő:

$$\dot{\sigma} = E\dot{\varepsilon} + \Theta \dot{T} + \Omega \dot{\xi} \quad (1)$$

ahol E a Young-modulus, Q a termoelasztikus tenzor, W a fázistranszformációs tenzor. A változók: $\bar{\varepsilon}$, $\bar{\sigma}$ és T a Green-alakváltozás, a második Piola-Kirchoff feszültség és a hőmérséklet. A pont (") jelöli az idő szerinti deriválást. A x martenzit arány a fázistranszformáció tartományában kifejezhető a következő egyenletekkel:

Martenzites átalakulásra ($A \rightarrow M$)

$$\xi = \frac{1 - \xi_A}{2} \cos \left[a_M (T - M_f) + b_M \sigma \right] + \frac{1 + \xi_A}{2} \quad (2)$$

míg a fordított folyamatra ($M \rightarrow A$)

$$\xi = \frac{\xi_M}{2} \left\{ \cos \left[a_A (T - A_s) + b_A \sigma \right] + 1 \right\} \quad (3)$$

ahol a_A , a_M , anyagjellemzők és az átalakulási hőmérsékletek függvényei, b_A , b_M pedig feszültség hatás együtthatók, amelyek leírják, hogyan változnak az átalakulási hőmérsékletek a feszültséggel, x_A és x_M a kezdeti martenzites arány hűtésre ill. fűtésre.

Átalakítások után a következő alakban kapjuk a kormányzó egyenletet:

$$\sigma - \sigma_0 = \Omega' (\xi - \xi_0) + \Theta' (T - T_0) \quad (4)$$

ahol W' és Q' a módosított fázistranszformációs ill. a termoelasztikus tenzorok, amelyek a terhelések ismeretében számíthatóak W -ból és Q -ból.

Ha T növekszik, a huzal kiegyenesedik. Modellezzük az aktuátort a 3. ábra szerinti tartóként és tegyük fel, hogy csak tiszta hajlítás terheli. A felső szál nyomódik (rövidül), az alsó szál húzódik (megnyúlik). Miközben a tartó egyenesedik a melegítés hatására, ugyanez történik a gumirugóval is, amely így rugalmas deformációt szenved. Tegyük fel, hogy rugókarakterisztikája ($j=j(M)$) lineáris. Vajon milyen hajlítónyomatékkal terheli az SMA-tartót (és így milyen feszültséget ébreszt benne) az adott (φ, R) pozícióban?

3. ábra Az SMA és a gumirugó modellje

Mivel feltettük, hogy a rugót csak hajlítónyomaték terheli, a körív deformáltan is körív marad. Ha a hőmérséklet növekszik, az SMA egyre inkább egyenesedik, a gumirugót is viszi magával. Így a T növekedésével az egyenesedő gumirugó egyre nagyobb pozitív hajlítónyomatékot fejt ki az SMA-ra. Egy $(j_0, s_0) \rightarrow (j, s)$ átmenet esetén, ahol $s_0 < s$ és $j_0 > j$, a (4) egyenletbeli W' és Q' :

$$\Omega' = \frac{\Omega}{1 + \frac{EI_y}{E_r I_{yr}} \frac{s}{s + e \varphi_0}} \tag{5}$$

$$\Theta' = \frac{\Theta}{1 + \frac{EI_y}{E_r I_{yr}} \frac{s}{s + e \varphi_0}} \tag{6}$$

ahol E a huzal, E_r a gumirugó Young-modulusa, I_y a huzal, I_{yr} a gumirugó keresztmetszeti tényezője, s a semleges szál hossza, $e=r$ a szélső szál távolsága.

A munkaterhelés hatása

Tegyük fel, hogy a gumirugóval körülvelt SMA-aktuátort egy munkanyomaték is terheli! (Az egyszerűség kedvéért elhanyagoljuk a valóságban fellépő terhelés nyíró és húzó-nyomó hatásait.) Ekkor szobahőmérsékleten (a felfűtési folyamat megkezdése előtt) az aktuátor felső szálában ébredő s_0 feszültség:

$$\sigma_0 = \frac{ME}{I_y E + I_{yr} E_r} e \tag{7}$$

A tartó ívszöge szobahőmérsékleten és M terhelés hatására:

$$\varphi_{0m} = \frac{M(s + e \varphi_0)}{I_y E + I_{yr} E_r} + \varphi_0 \quad (8)$$

Így tetszőleges deformáció esetén (adott hőmérsékleten) a feszültségre adódik:

$$\sigma - \sigma_0 = \left(\varphi_{0m} - \varphi_0 \right) \frac{I_{yr} E_r}{s} \frac{e}{I_y} \quad (9)$$

Ezt az egyenletet (4)-el együtt használva meghatározható (az adott munkaterhelést is figyelembe véve) az adott hőmérsékleten a tartó j nyílásszöge, amelyből kiszámolhatóak a P(u,v) pont (lásd 3. ábra) koordinátái. Ha ismerjük az aktuátor hőmérséklet-idő függvényét, akkor az ujj pozíciója idő szerint változó függvényalakban adódik.

Összefoglalás

A dolgozatban röviden ismertettem a fémek egy speciális csoportjának, az alakra emlékező ötvözeteknek a működési elvét. Bemutattam a Budapesti Műszaki Egyetem Gépgyártástechnológia Tanszékén kifejlesztett robotujjat, amelynek működtető eleme egy NiTi alakemlékező ötvözetből készült huzal. Az ujj áramgenerátoros fűtés hatására kiegyenesedik, áramoltatott hideg levegő hatására visszagörbül. Egy granulátumokat tartalmazó konzol vákuum alatt képes az ujjat tetszőleges pozícióban megtartani. Liang és Rogers elméletét felhasználva bemutattam az ujj egy lehetséges működési modelljét, amelynek segítségével egy adott hajlító-terhelés esetére - ismerve a huzal hőmérséklet-idő görbét - bármely időpillanatban meghatározható az "ujjhegy" pozíciója.

A dolgozat a CP 940510 "ROBAS" Copernicus project támogatásával jött létre.

Irodalom

- [1] Dr. Prohászka János , Kristyákné Dr. Maróti Gizella (1988), Alakemlékező ötvözetek, *Kohászat* 121.évfolyam, 7.szám, pp. 290–301.
- [2] Kiss Attila (1994), SMA-aktuátoros, vákuumos granulátumkonzollal merevített megfogóujj, Budapesti Műszaki Egyetem, *Diplomaterv*
- [3] L.C. Brinson, M.S.Huang (1995), Simplifications and Comparisons of Shape Memory Alloy Constitutive Models
- [4] C. Liang, C.A. Rogers (1992), Design of Shape Memory Alloy Actuators, *Journal of Mechanical Design*, Vol. 114, pp. 223-230.

Kiss Attila okl. gépészmérnök, doktorandusz hallgató, Budapesti Műszaki Egyetem,
Gépgyártástechnológia Tanszék, H-1111 Budapest, Egry J. u. 1., Tel: (+36-1) 463-2123,
Fax: (+36-1) 463-3178, e-mail: kiss@next-lb.manuf.bme.hu