

ALAKEMLÉKEZŐ ÖTVÖZETEK

Az első alakemlékező ötvözet felfedezése 1932-ben történt (Arne Ölander – Au-Cd), azonban ezen anyagok kutatása és mélyebb tanulmányozása csak 1962-ben kezdődött meg. Buehler és társai ekkor fedezték fel a nikkeltitán, később Nitinolnak (*Nickel Titanium - Naval Ordnance Laboratory* alapján) elnevezett ötvözet különleges tulajdonságait, ami a mai napig a legismertebb alakemlékező ötvözet.

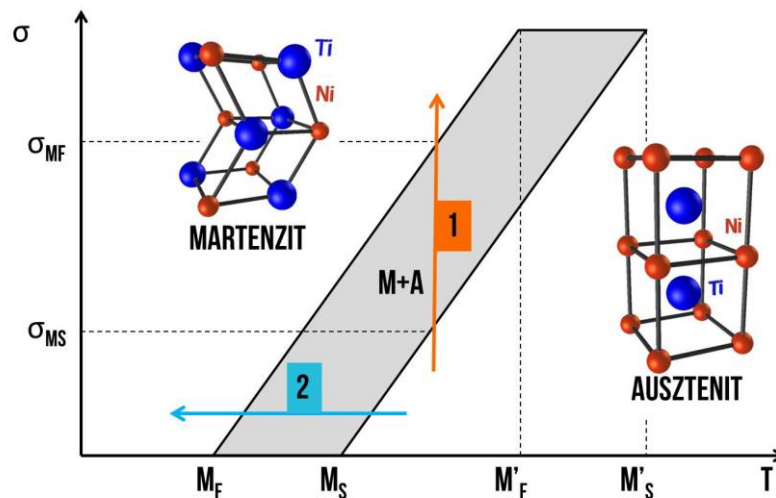
Az alakmemória a martenzites átalakulással szorosan kapcsolatban álló különleges tulajdonság, amely oda-vissza képes lejátszódni az anyagban hevítés-hűtés valamint fel- és leterheléskor egyaránt. A martenzites átalakulás egy rácstorzulással végbemenő, diffúzió nélküli fázisátalakulás, amelyben a nyírás dominál. Ez a martenzites átalakulás azonban nem összekeverendő az acélok esetében megfigyelhető átalakulással. A két átalakulás fő eltéréseit az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat: Martenzites átalakulás összehasonlítása acélok és alakemlékező ötvözetek esetén

Acél átalakulása	Alakemlékező ötvözet átalakulása
Nagyobb térfogat változás	Kisebb térfogat változás
Képlékeny alakváltozás az új fázis körül	Nincs képlékeny alakváltozás az új fázis körül
Kisebb rugalmas energia felhalmozódás	Nagyobb rugalmas energia felhalmozódás
Nagyobb látens-hő felszabadulás	Kisebb látens-hő felszabadulás

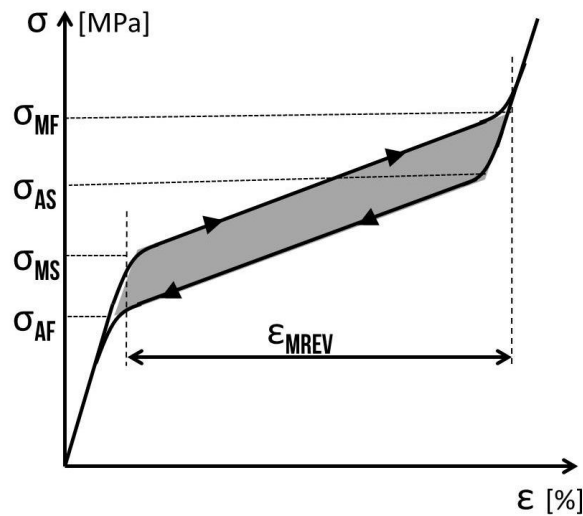
A kezdetben ausztenites állapotban lévő darabot, a kritikus hűtési sebességnél gyorsabb hűtéssel lehűtve tisztán martenzites átalakulást kapunk, melynek fő jellegzetessége, hogy nincs idő a diffúzióra. Emiatt az analógia miatt hívjuk az alakemlékező ötvözetek esetén a szövetelemeket úgy, mint az acélok esetén. A diffúziómentes átalakulás során ikersíkos martenzit keletkezik az ausztenitből.

Az alakemlékező anyagok termomechanikus tulajdonságait legjobban a fázisátalakulási állapotdiagram szemlélteti (1. ábra). Attól függően, hogy hogyan megy végbe az ausztenit-martenzit átalakulás eltérő alakváltozások jönnek létre.



1. ábra: a Nitinol ausztenit-martenzit fázisátalakulási állapotdiagram; M-martenzit, A-ausztenit, S index-átalakulás kezdete (start), F index-átalakulás vége (finish)

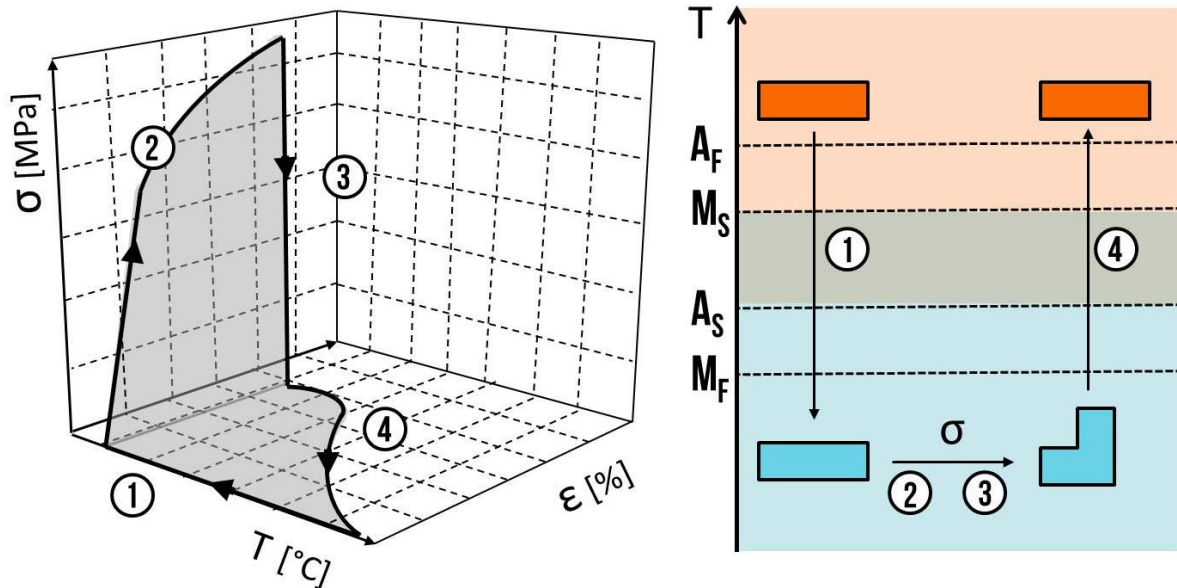
Szupertermoelaszticitásról beszélünk, amikor az ausztenit-martenzit átalakulás állandó hőmérsékleten a feszültség hatására (1. ábra, 1. nyíl), vagy állandó (nem nulla) feszültség mellett a hőmérséklet hatására megy végbe (1. ábra, 2. nyíl). Ez a tulajdonság az anyag több %-os reverzibilis alakváltozását jelenti. A két altípus közül az elsőt (1. ábra, 1. nyíl) *szuperrugalmasságnak* nevezik. Ez esetben az alakváltozás a σ_{MS} feszültségig rugalmas, a σ_{MS} és σ_{MF} közötti deformációt pedig az ikerképződéssel együtt járó ausztenit-martenzit átalakulás okozza (2. ábra). A σ_{MF} -nél nagyobb feszültség az anyag (amely már teljesen martenzites) képlékeny alakváltozását okozza. A leterhelési görbe hasonló alakú, mint a felterhelési, azonban hiszterézissel játszódik le. Az ϵ_{MREV} a maximális reverzibilis alakváltozás mértéke, amely egykristályoknál akár 10 %, polikristályoknál 3-8 % lehet.



2. ábra: Alakváltozási diagram

Egyutas alakmemóriáról beszélünk, ha akis hőmérsékleten ($T < M_F$) alakított anyagot az átalakulási hőmérséklete fölé hevítve az visszanyeri eredeti alakját. Ezen tulajdonság termomechanikus ciklusát a 3. ábra mutatja. Az ausztenites szerkezettel rendelkező anyagot lehűtjük az M_F hőmérséklet alá, amely ennek hatására átalakul martenzitessé (3. ábra 1). Ekkor alakítás hatására (3. ábra 2) a martenzites rács átrendeződik, a folyamat képlékeny alakváltozással jár (3. ábra 3). Az alakított anyagot A_F hőmérséklet fölé hevítve az anyag visszaalakul ausztenitessé és ezzel egy időben visszanyeri eredeti alakját (3. ábra 4). Az alakmemória alapvető lényege, hogy amíg az ausztenit többféleképpen át tud alakulni martenzitté, addig a martenzit csak egyféleképpen alakulhat át ausztenitté. Ez abból adódik, hogy a martenzites szerkezet kisebb szimmetriát mutat az ausztenitessel szemben.

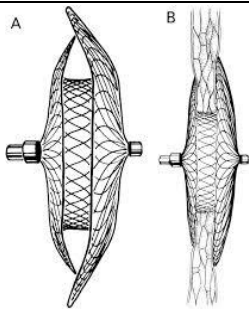
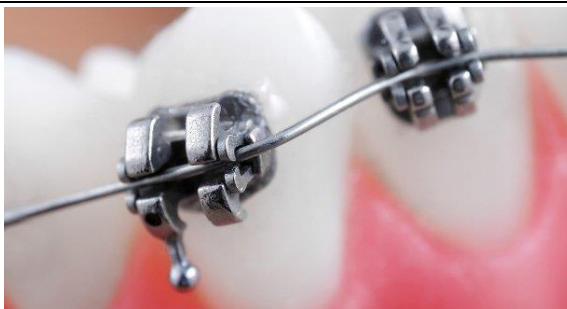
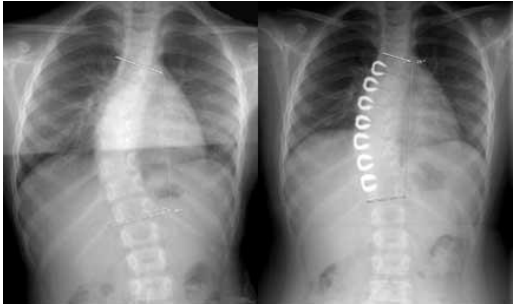

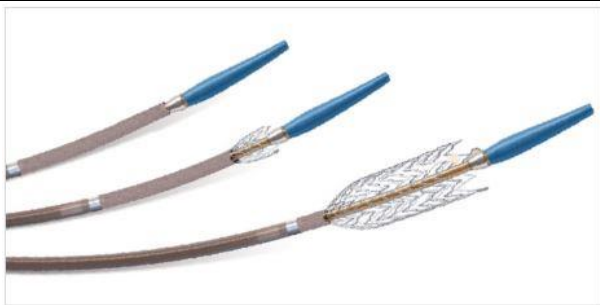
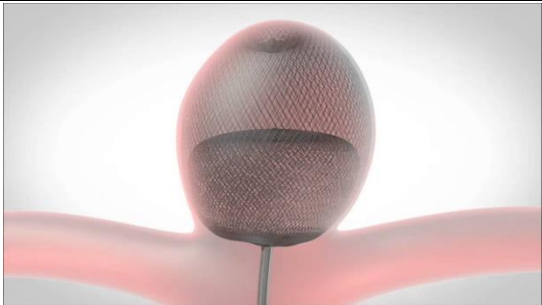
Betanítás során az ötvözetet rákényszerítik a sablonra, melynek során az anyag képlékeny alakváltozást szenved. Ezt követően hőkezelő kemence segítségével A_F hőmérséklet felett hőn tartják. A sablonon tartva gyorsan lehűtik (M_S hőmérséklet alá), és a kényszerek miatt a geometria megmarad és kialakul az ikersíkokkal teli martenzites kristályszerkezet. Majd már nem kell sablon, hogy az ausztenites állapotban a betanított alakot vegye fel.



3. ábra: Az egyutas alakmemória termomechanikus ciklusa

Az egyutas alakmemóriánál bemutatott ciklus valós esetben maradó alakváltozással jár. Ez a maradó martenzit és a diszlokációsűrűség növekedésével magyarázható. Több ciklust megismételve a maradó alakváltozások összegződnek, azonban egy idő után telítődnek. Ekkor mondják, hogy az anyagot betanították. Ez egy belső feszültségeloszlást hoz létre az anyagban, amely mindig ugyanazon martenzites átalakulási változatot biztosítja. Ezt nevezzük *kétutas alakmemóriának*.

Az alakemlékező ötvözeteket különleges tulajdonságaikat kihasználva számos helyen alkalmazhatjuk: robottechnikai aktuátorok, szemüvegkeretek, szuperrugalmas sztentek, fogászati gyökérfűrők, mikrocsipeszek, ortopédiai eszközök, biztonságtechnikai alkalmazások, sporteszközök (2. táblázat). Az alakemlékező ötvözetek egyik legfontosabb jellemezőjét, az átalakulási hőmérsékletet céljainknak megfelelően (adott korlátokon belül) „beállíthatjuk” a megfelelő hőkezelés alkalmazásával. Az aktuátorokhoz használt izomhuzalok (melyek a rajtuk átfolyó áram okozta melegedés miatt alakulnak át) átalakulási hőmérséklete leggyakrabban 45 vagy 90 °C. Az orvostechikai célra használt alakemlékező anyagok átalakulási hőmérsékletének ezzel szemben a testhőmérséklet alatt kell lenniük, mivel csak így biztosítható, hogy a szervezetben szuperrugalmas tulajdonsággal rendelkezzenek. Itt kiemelt szerepet kapnak az alakemlékező ötvözetből készült endovaszkuláris eszközök, amelyeket leginkább a periférán (pl. nyaki ütőérben, agyi erekben) alkalmaznak.

 <p>Pitvari szeptum defektus kezelése</p>	 <p>Fogszabályzó ívek</p>
 <p>Ortopédiai alkalmazás</p>	 <p>Vesekő eltávolítás</p>
 <p>Érszűkületek kezelése (Öntáguló sztentek)</p>	 <p>Aneurizmák kezelése (WEB eszközök)</p>

2. táblázat: Alakemlékező ötvözetek orvostechnikai alkalmazásai

Mérés ismertetése

A mérés célja, hogy közvetett módon meghatározzuk a martenzit és az ausztenit képződésének kezdetét jelző hőmérsékleteket. A közvetett módszer lényege, hogy a hőmérséklet szabályozására fűtőáramot (0 – 1 A) használunk, míg a kétutas alakmemóriával rendelkező huzal hosszváltozására a mutató szögelfordulásából következtetünk vissza.

A mérőberendezés tartalmaz:

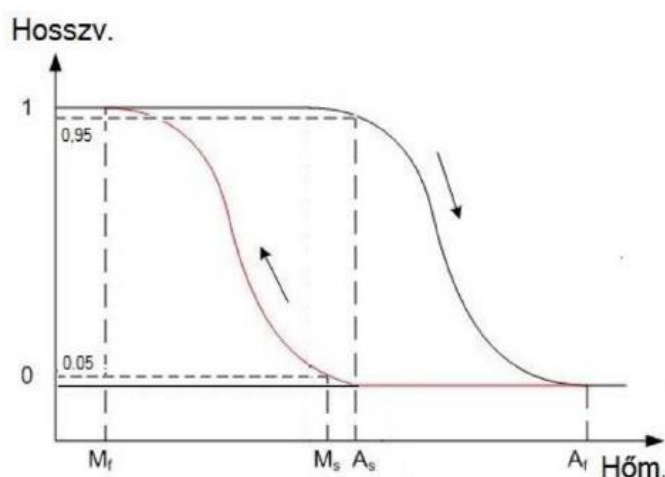
- Egy kétutas alakemlékező szálat, mely a mutatóhoz van rögzítve.
- Fűtőáramot szolgáltató tápegységet.

Mérés menete

A tápegység bekapcsolását követően két jelleggörbe pontjait kell kimérni. Az első az ötvözet hevítése (ausztenitesítés). Ezt a görbét az áramerősség tizedenkénti emelésével tudjuk felvenni. A másik a hűtési folyamat, azaz a martenzites szövetszerkezet kialakítása. Mindkét esetben 10-10 áramerősség-szögelfordulás értékpár alapján kell felvenni a görbéket. Fontos, hogy az áramerősség ne menjen 1 A fölé, mivel ez olyan nagy hőmérsékletet okozhat, hogy az ötvözet elfelejti a betanított alakot.

Mérés kiértékelése

A görbék illesztéséhez az úgynevezett Avrami-Johnson-Mehl közelítést alkalmazzuk. A görbe jellemző értékei: $f(x = -\infty) = 1$ (100%), míg $f(x = \infty) = 0$ (0%). A két helyettesítési érték között található az az áramerősség, melyeken a martenzites és ausztenites fázisátalakulás végbemegy. Ezek függvényértékei pedig a mutató szögelfordulását adják. Az így kapott görbepár képén megfigyelhető a hevítés és lehűtés folyamata között jelentkező hiszterézis, melyet a folyamat során disszipálódó energia eredményez. Az elméleti megközelítés során az átalakulás megkezdését jelző hőmérsékletet a felső (100%) és alsó (0%) egyenesekkel párhuzamosan húzott, 5% távolságra lévő egyenesek és a közelítő görbék metszéspontjai adják meg (4. ábra).



4. ábra Avrami – Johnson – Mehl közelítés

Ajánlott irodalom

J. Dobránszky, A. Magasdi: Az alaklélező ötvözetek alkalmazása, Jövők anyagai, 134 (2001) 411-418, http://www.att.bme.hu/~femtech/letoltes/dobranszky_magasdi.pdf

T. Duerig, A. Pelton, D. Stockel: An overview of nitinol medical applications, Materials Science and Engineering, A273-275 (1999) 149-160

Felhasznált képek forrásai

- <https://i.ytimg.com/vi/WjIFynwsKMo/maxresdefault.jpg>
- <https://eu-cs-site-storage-prod.s3.amazonaws.com/www-cirse-org/files/images/CIRSE%202014/Product%20Launches/terumo%20misago.JPG>
- <http://www.bostonscientific.com/en-US/medical-specialties/urology/products.html>
- https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQq6oWnVT6SutN_8096wj83bY0 QfXkyPCSOBYrsIV90jFi9u2Aa
- http://www.childrenshospital.org/~media/centers-and-services/programs/o_z/spinal-program/prepostop.ashx?h=255&w=413&la=en
- <https://merjmosolyogni.hu/wp-content/uploads/2015/11/fogszabalyzo-xilit.jpg>
- Wei Ming Huang: Shape Memory Polymers (SMPs) – Current Research and Future Applications
- M. Behl and A. Lendlein: materialstoday, 10 (2007), No.4, 20-28
- C.M. Yakacki et al.: Biomaterials 28, 2007, 2255-2263

Angol nyelvű összefoglaló diagram az alaklélező ötvözetek viselkedéséről, ahol a tengelyeken a hőmérséklet (temperature), a feszültség (stress) valamint az alakváltozás (strain) látható.

