

Formamemóriás anyagok, alakemlékező intelligens textíliák

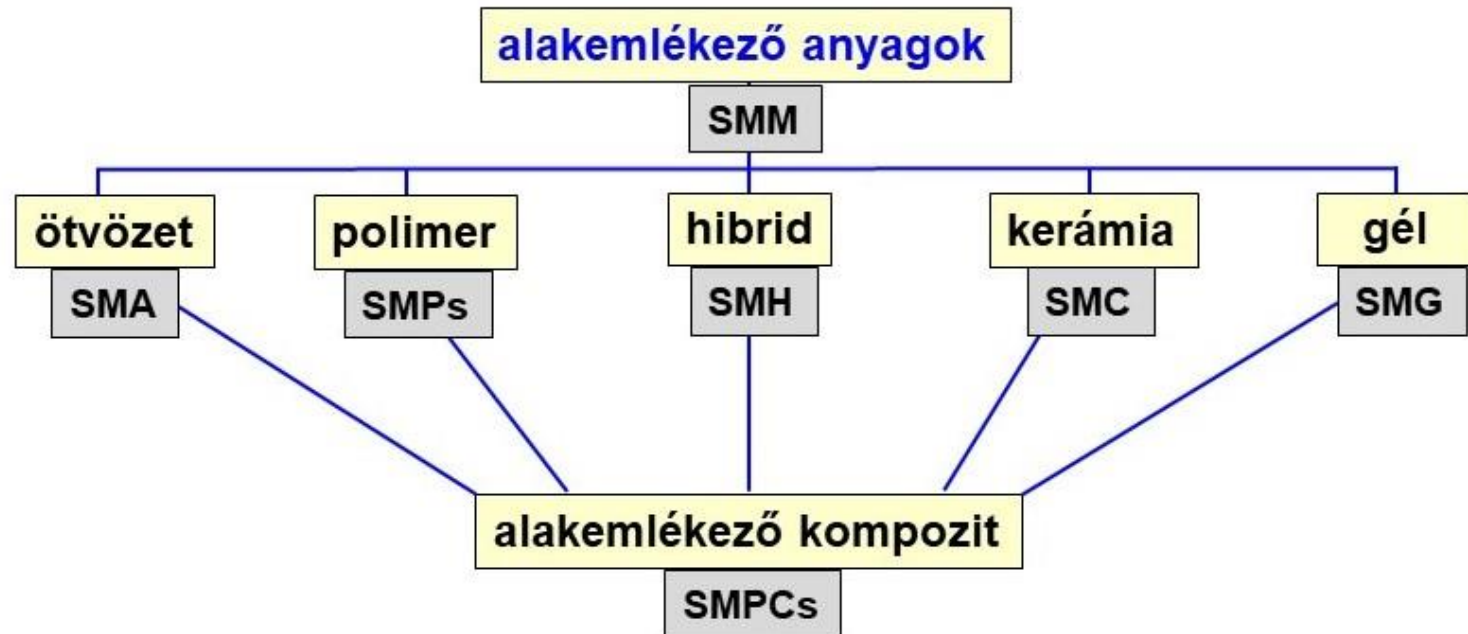
2022. október

összeállította:
Kutasi Csaba



Bevezetés

- az alakemlékező, ún. formamemóriás **intelligens anyagok** képesek megjegyezni és helyreállítani a programozott formát, a deformáció aktiváláskor és **külső inger** hatására
- az ilyen alkalmazások többek között megfelelő **ötvözetből** ill. **polimerből** állnak, ugyanakkor **hibrid**, **kerámia** és **gél** változatuk is ismert



Az alakemlékező anyagok csoportosítása

Az alakmemóriás ötvözet felfedezése

- először 1932-ben **Arne Olander** fedezte fel az **alakmemória hatást** egy **arany (Au)** és **kadmium (Cd)** tartalmú ötvözetben, **Vernon** volt az első, aki **1941-ben** bevezette az **alakmemória kifejezést**
- a **memóriaeffektus** alapjelenségéről később **Kurdjumov** és **Khandros (1949)**, ill. **Chang** és **Read (1951)** széles körben beszámolt
- **1960** körül - a **nikkel (Ni)** és **titán (Ti)** összetételű **ötvözetet (NiTi)** találta alkalmasnak **William J. Buehler** és **Frederick E. Wang** az Egyesült Államok haditengerészeti laboratóriumában; **Buehler** egy olyan **rakétaorrot** fejlesztett, amely **hővel-** és **ütéssel szemben** időálló (az **55 % nikkel** és **titán 45% titán** összetételű ötvözet felelt meg)
- **Frederick E. Wang** közreműködésével továbbfejlesztett anyagot **nitinolnak** (a mozaikszó eredete: **N**ikkel **T**itán-**N**aval **O**rdnance **L**aboratory) nevezték



William J. Buehler



Frederick E. Wang

Alakemlékező ötvözetből készült pálcával demonstratív kísérlet



alakemlékező ötvözetből készült pálcá



átmeneti rugalmas, hurkos alakváltoztatás



az egyenes pálcá folytonos bevezetése a hűtőtartályba



a hűtésre deformálódott pálcá kiemelése

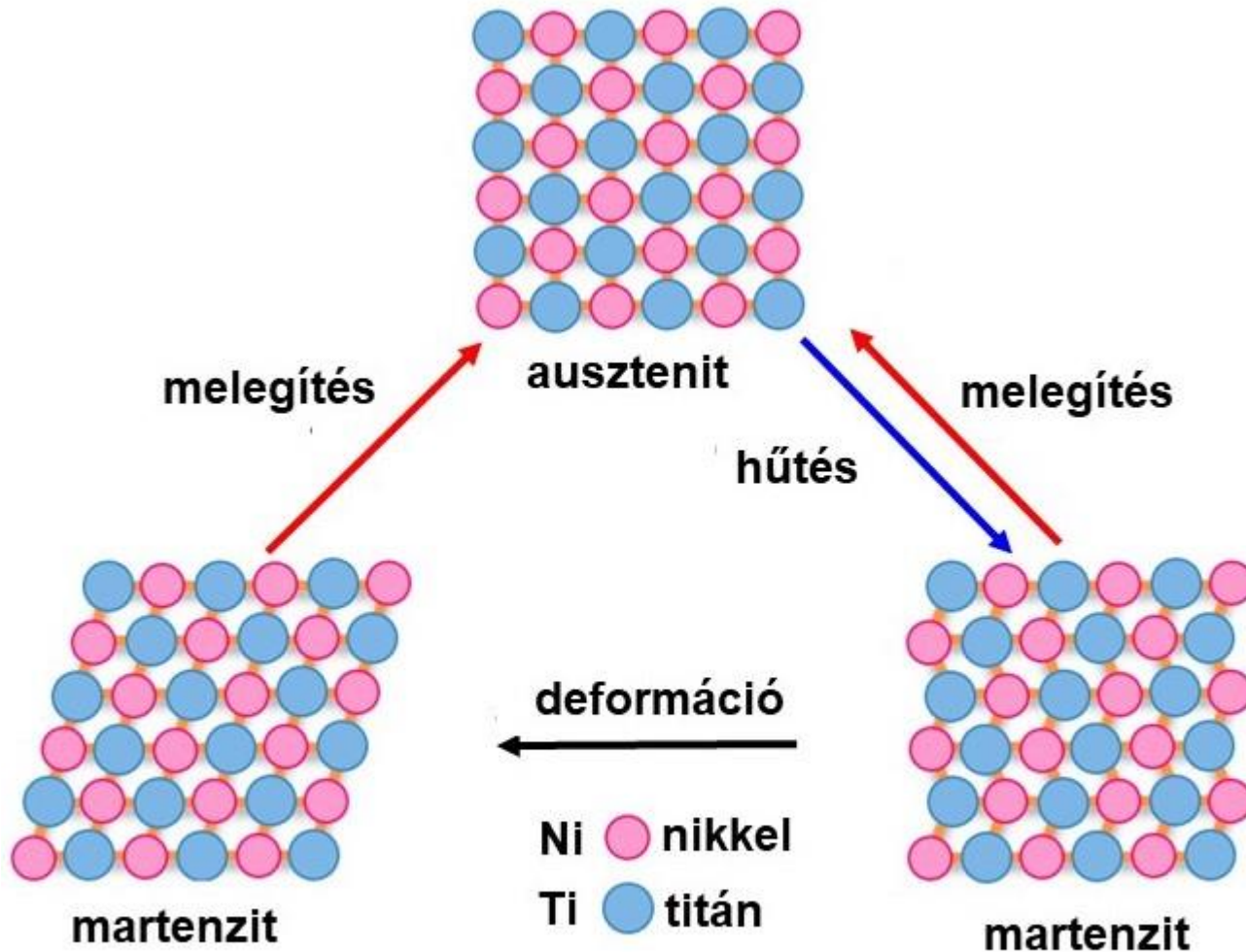


a deformálódott pálcá kezdődő visszaalakulása



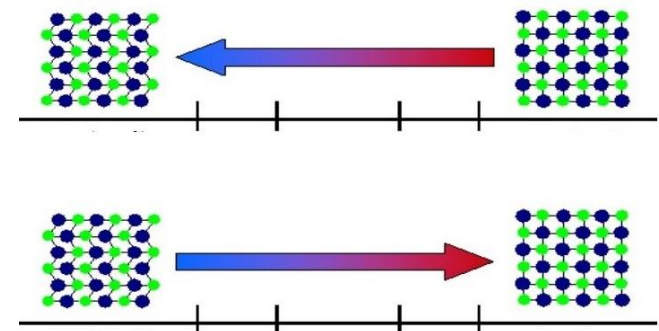
a pálcá közelítése teljes a visszaalakulás állapotába

A nitinol kristály-szerkezetei

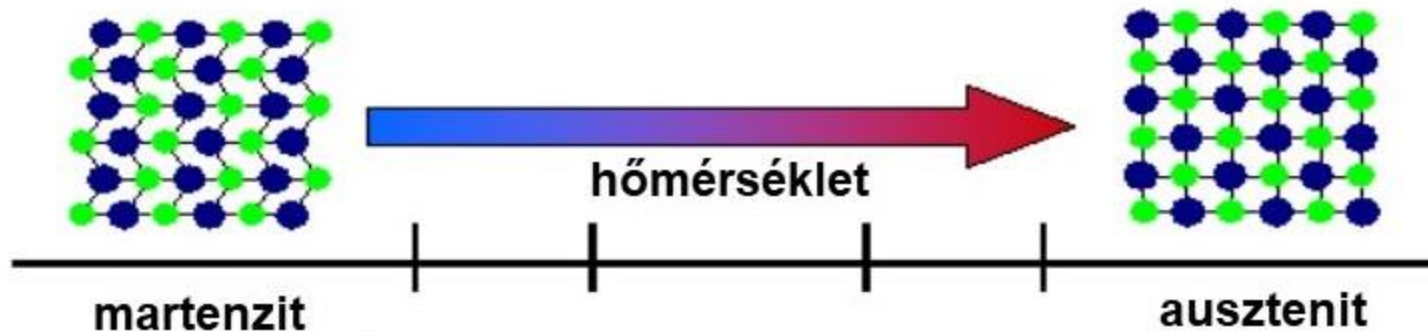
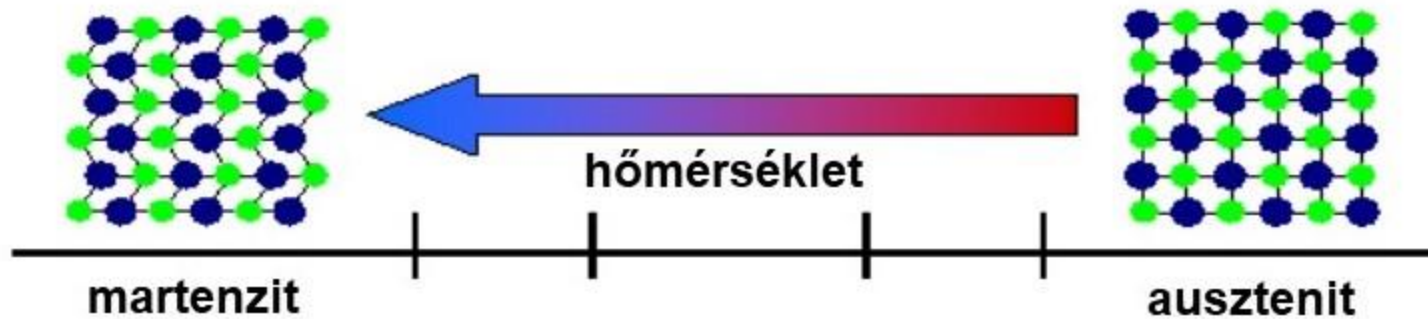


Alakmemóriás ötvözetek

- a hőmérséklet változásával, vagy külső mechanikai behatásra az anyag deformálódik vagy visszaáll az eredeti alakjára
- a szuperplaszticitás állapotában az anyag nagy visszanyerhetőséggel jellemezhető
- több ilyen ötvözetfajta ismert, azonban továbbra is a NiTi jelenleg a leggyakrabban használt változat
- az aktiválási hőmérséklet alatt az ötvözet könnyen deformálódik, az aktiválási hőmérsékleten az ötvözet sokkal merevebbé válik, erő kifejtéssel visszatér egy korábbi formájához
- az egyes alakban előforduló memóriaötvözetet martenzitnek és ausztenitnek nevezik, pl. a NiTi alacsony hőmérsékletű fázisa martenzit, magas hőmérsékletű az ausztenit (az ausztenit az alakemlékező anyag erősebb fázisa)
- az alakítás kritikus hőmérséklete fölé hevített ausztenit vissza fog térni ismét eredeti martenzit formájára
- az alakemlékező anyag egyutas változatnál az anyag maradó alakítását követően, ha hő éri, ismét visszanyeri az alakítás előtti formáját
- a kétutas alakmemória esetében viszont az anyag különböző hőmérsékleten más-más alakzatot vesz fel

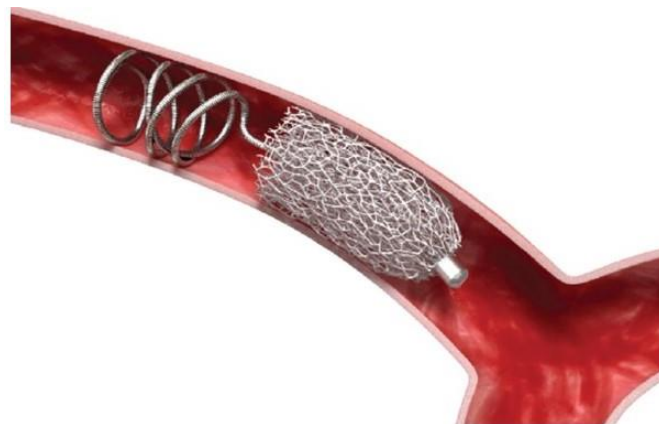


**Alakemlékező ötvözet hőmérséklet-indukált fázisátalakítása
mechanikai hatás nélkül**



Az alakmemóriás ötvözetek felhasználása

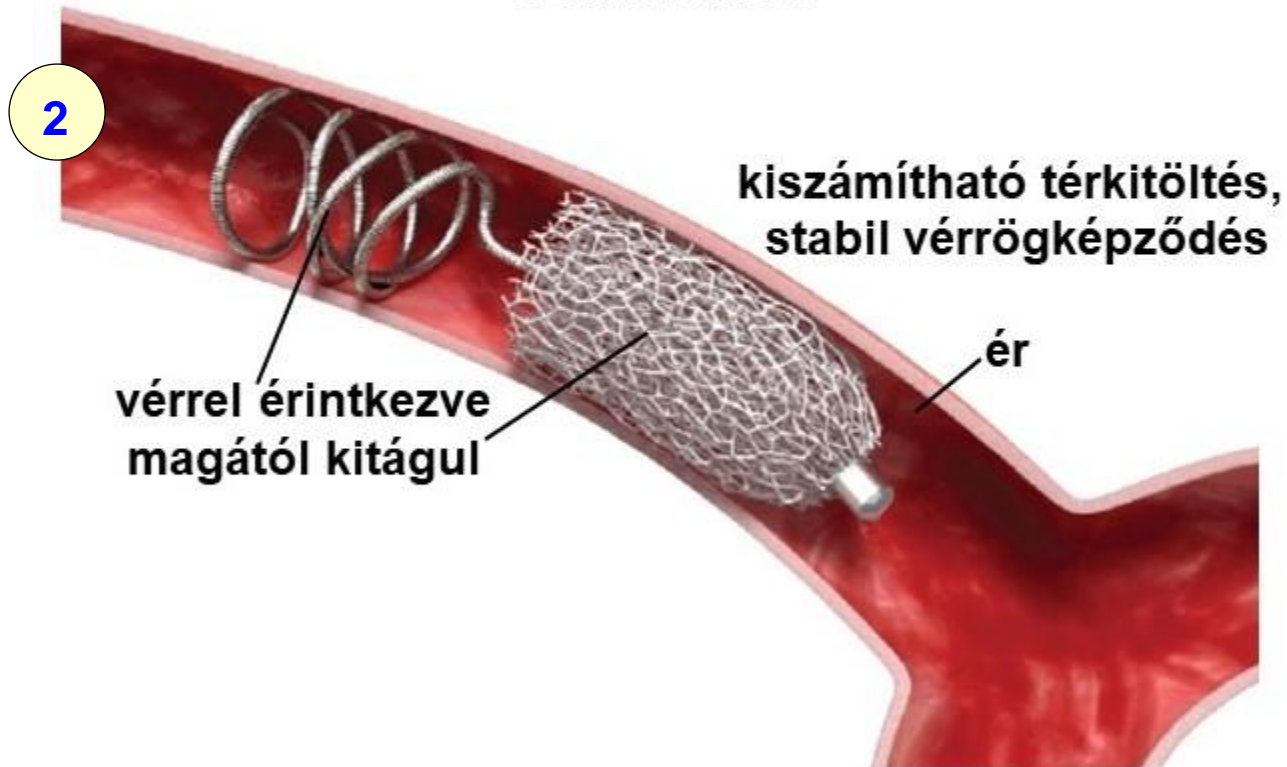
- az alakmemóriás ötvözeteket számos területen használják, többek között **robotikai, autó- és repülőgépipari-** ill. az **orvosbiológiai** (pl. ortopédia, neurológia, kardiológia és intervenciós radiológia; protézisek, sztentek, az ín csonthoz való rögzítéséhez implantátumok stb.) alkalmazások jellemzők
- **orvosi alkalmazás** pl. az **érembolizációban** előnyösen alkalmazható orvosbiológiai eszköz **progresszív gyógyulást** biztosít
- az alakemlékező **implantátumot másodlagos alakra préselve** lehet **katéterrel** bejuttatni az érbe
- a **vérrel** érintkezve a **tágult**, nagyobb **térfogatú eszköz** hatékonyan képes **kitölteni** az ér üreges részét, miközben **alacsony sugárirányú erővel** fejt ki **nyomást az érfalra**
- mivel a **vér lelassulva átáramlik** a **porózus** rendszeren, a véráramlás **pangása** miatt **vérrög** képződik, amely a **turbulencia csökkenése** miatt gyorsan **stabilizálódik**



Példa az alakemlékező orvosi eszközre



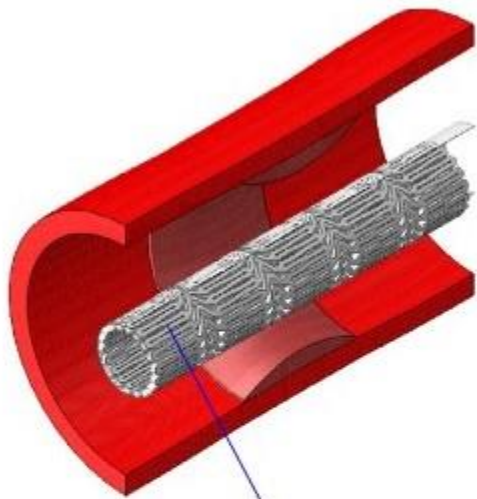
másodlagos alakra préselve a katéter
szállításához



Példa az alakemlékező orvosi sztentre

- a sztent egy hálós szerkezetű, általában fémből készült csőszerű eszköz, amely az érben elhelyezve a szűkületnél, ill. az elzáródásnál biztosítja a megfelelő mértékű vérszállítást
- a katéteres vizsgálat során akár azonnal beültethető az elváltozás helyén, az érfalba stabilan rögzített sztent nem képes elmozdulni, ugyanakkor ki sem vehető
- ma már léteznek olyan polimeranyagú sztentek is, amelyek néhány hónap után felszívódnak, amikor ez a gyógymód elegendő

meszesedés miatt szűkült artéria



katéterrel felhelyezett alakemlékező sztent



a.)



b.)

kétféle alakemlékező sztent tágító állapotban

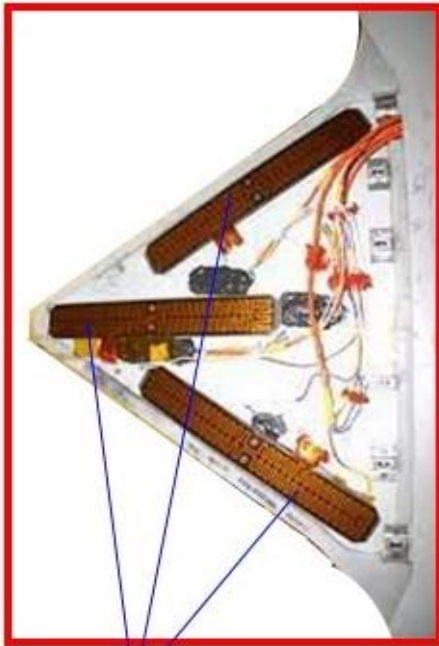
nitinol sztent

Az alakmemóriás ötvözetek további felhasználása

- a **robotikával** kapcsolatos fejlesztések pl. **biológiai ihletésű** és **humanoid megoldásokra** irányulnak, amelyeket olyan **problémák megoldására** használnak, amelyek kihívást jelentenek az ember számára
- ezek akár **víz alatt, levegőben** és **szárazföldön** képesek releváns **információkat** szolgáltatni az ember számára **nehezen hozzáférhető környezetekből** (így pl. szitakötő tizenhárom szabadságfokát biztosítva manőverezhet minden irányban az alakmemóriás anyagú elemekkel)
- az **autóiparban** számos helyen alkalmazzák az alakemlékező eszközöket, pl. modern **járművek tükörrendszerében** használhatók, ill. minden olyan helyen, ahol az **üzemi hőmérséklettartomány** és az **átalakulási hőmérséklet** igényének megfelelően erre mód nyílik



Változó geometriai helyzetű burkolatelem



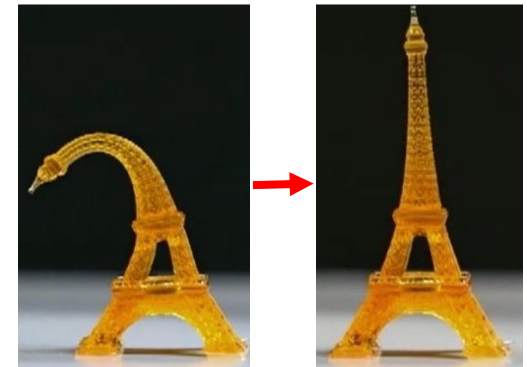
alakemlékező
aktuátorok



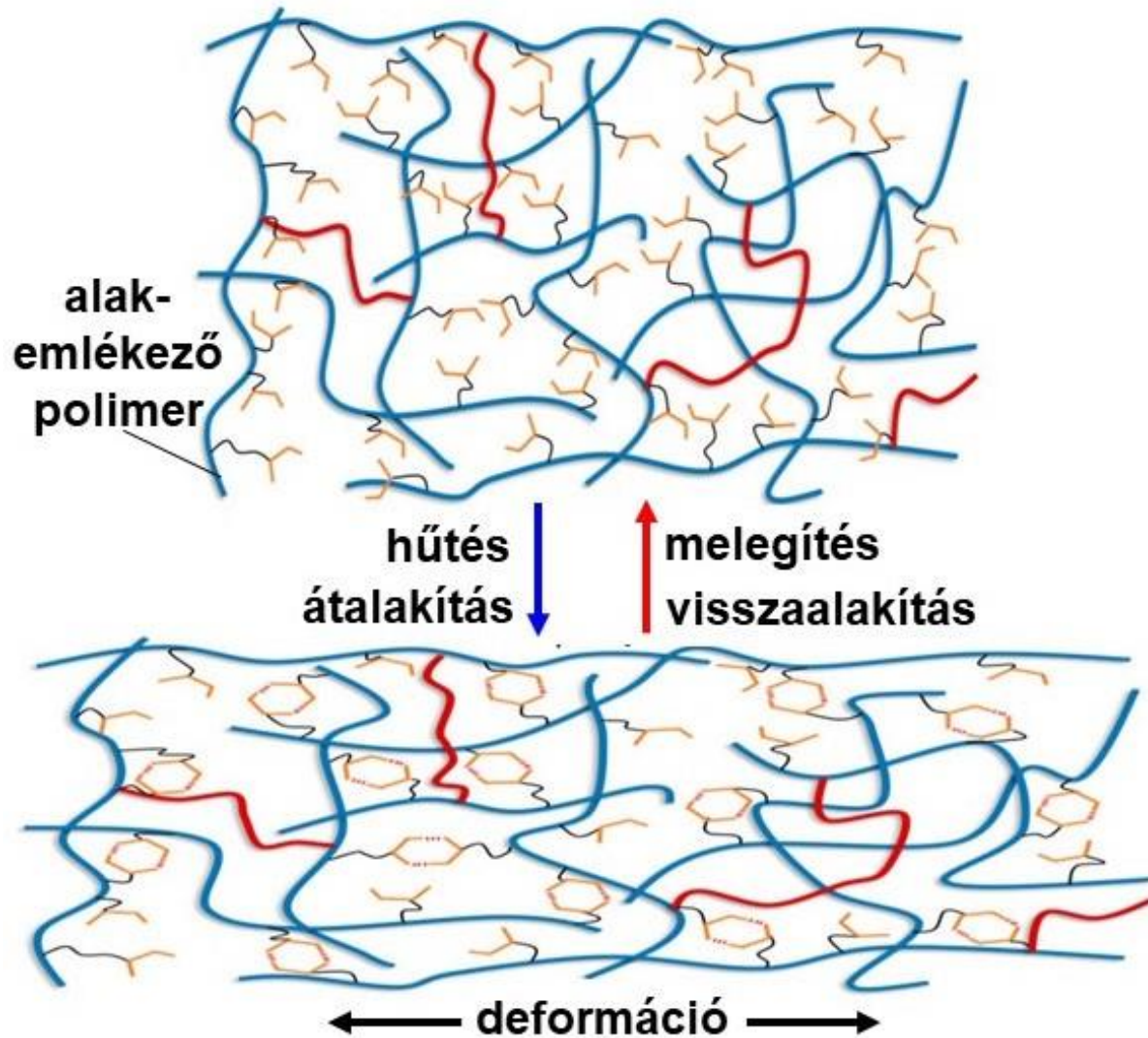
- a repülésben, pl. egy **változó geometriájú burkolatidom** a **sugarhajtómű** hátsó részén - ez képes **minimalizálni a zajt** a felszállás során-, valamint a **hidraulikus vezetékcsatlakozásban** használják

Alakmemóriás polimerek

- az alakemlékező képességű **polimereket** az ötvözetek után fedezték fel, először **Franciaországban** és a **Nippon Zeon Co.** **1984-ben** forgalmazta **Japánban**
- az alakmemóriás polimerek **képesek érzékelni és reagálni több külső ingerre**, nemcsak a **hőmérsékletre**, hanem egyes **vegyszerekre**, **pH-változásra** és **fényre**
- ezek a polimerek **különböző rugalmassággal** rendelkeznek, akár a **kemény üvegtől** a **puha gumiig** terjedően
- pl. ilyen a **polinorbornén**, **transz-poliizoprén**, **sztírol-butadién kopolimer**, **kristályos polietilén**, néhány **blokk kopolimer**, **etilén-vinil-acetát kopolimer**, **szegmentált poliuretán** stb.
- az alakmemóriás polimerek **két polimer komponensből** állnak, az **egyiknek magasabb az olvadáspontja** a másikénál



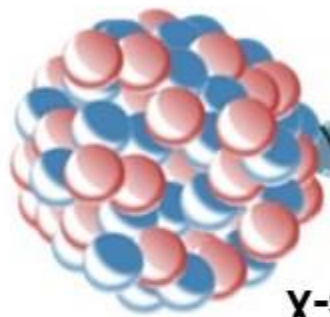
Alakemlékező polimer és átalakulása



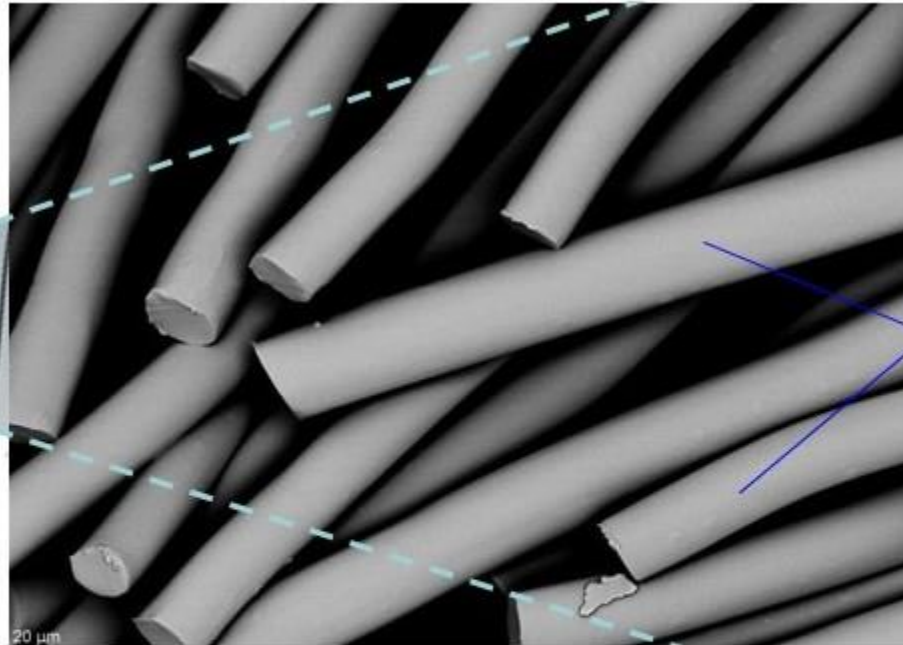
Alakemlékező szál előállítása

- a polietilén térhálósítása régebb óta alkalmazott eljárás, ezt a **gamma-sugárzással** is végzik
- ennek során a **gamma fotonok felszakítják** a láncmolekulák közötti ún. **hidrogén-kötéseket**, az így kialakult **szabad gyökök** pedig **egymással kapcsolódnak**
- a kristályos részek **megolvadásakor**, a felszabaduló **belső feszültségek** biztosítják a **programozott alakról az eredeti alakra** való visszaalakulást, ugyanakkor a **térháló-kötéspontok meggátolják** a polimer **ömlédekké** válását
- a kutatási vizsgálatok szerint a **mechanikai tulajdonságok** a besugárzás hatására **változóan** alakulnak; előfordult a **húzószilárdság növekedése** és a **szakadási nyúlás csökkenése**, vagy akár mind a **húzószilárdság**, mind a **szakadási nyúlás csökkenése**
- hazai kutatás-fejlesztés során a **szálak** alapanyaga az **extrúziós bevonatoláshoz** kifejlesztett **polietilén** volt
- a **250 °C-on** történő **szálképzést** követően a **gamma-sugárzást** Co_{60} -as izotóppal végezték, az **alakemlékezési** és **relaxációs** képességet dinamikus **mechanikai analizátoron** vizsgálták
- a szálakat a modellkísérlet során **100 °C-ra melegítették**, rövid ideig **hőn tartották**, ezután **5%-os nyújtást** alkalmaztak rajtuk; ezt **nyújtott állapotban 30 °C-ra** való **visszahűtés** követte

Formamemóriás polietilén-szál önerősített kompozitokhoz



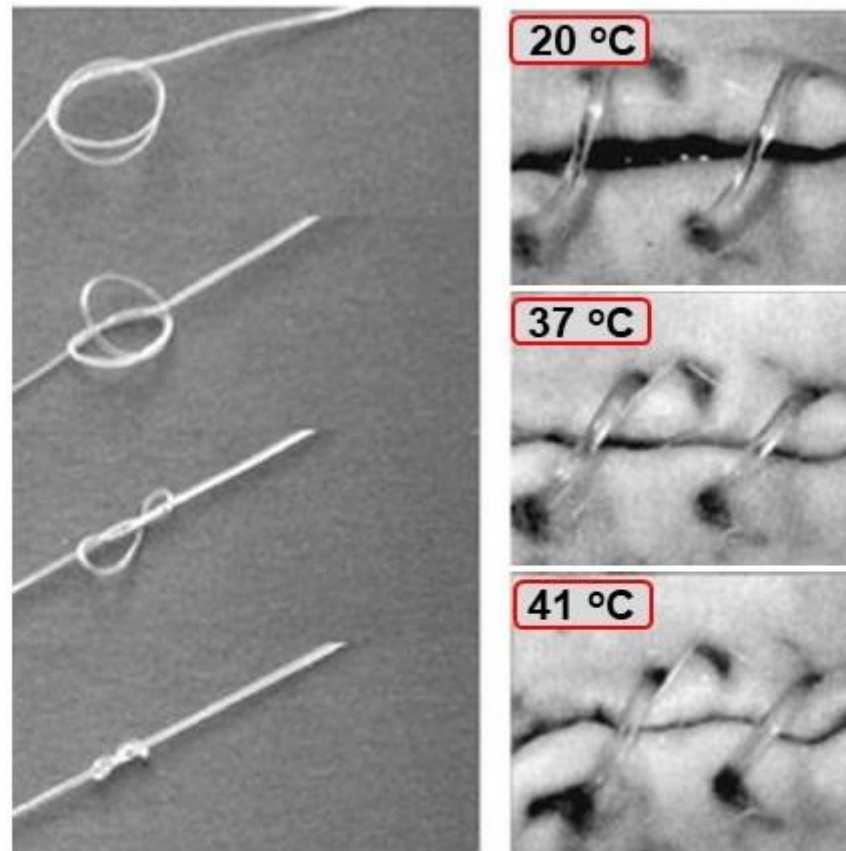
Co_{60}
 γ -sugárzás
2 kGy/óra
sugárdózissal



alakemlékező
polietilén szál

Gy → gray (gréj)

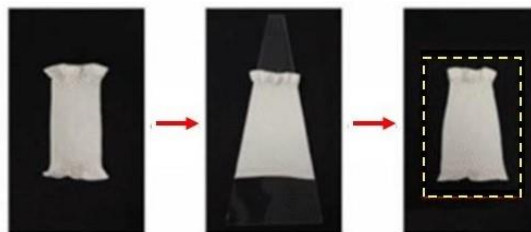
Biológiailag lebomló, alakmemóriás sebvarrófonal



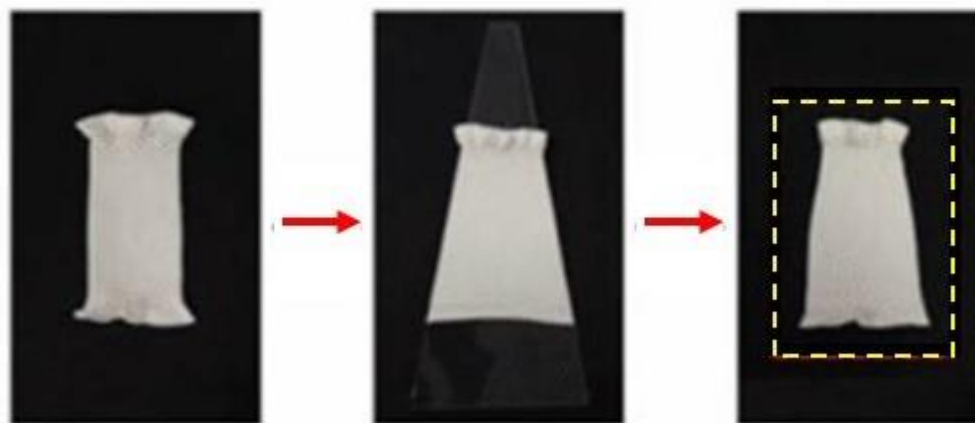
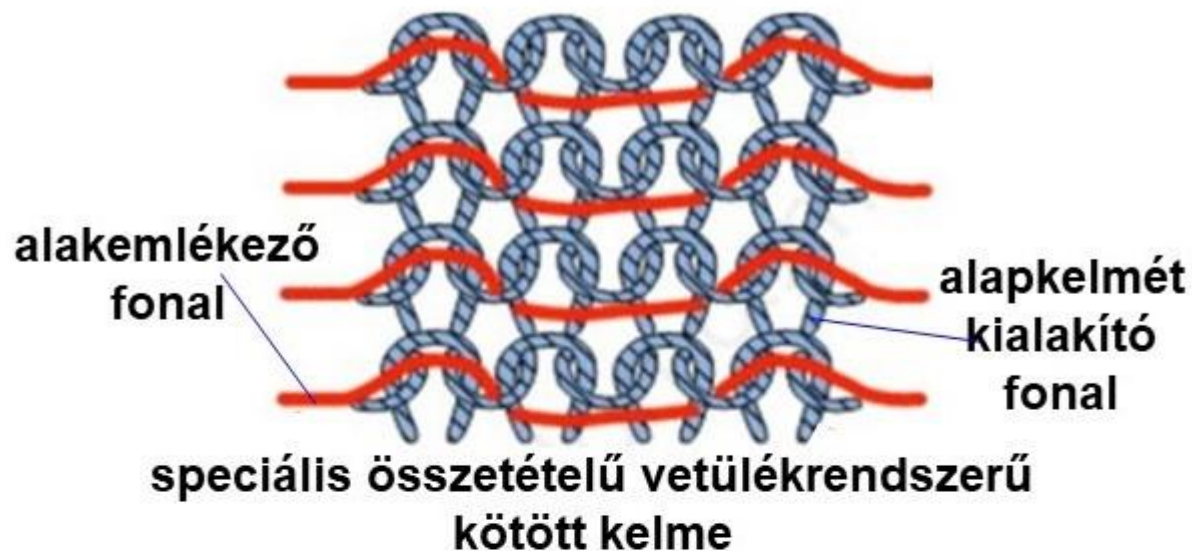
- a speciális **biológiailag lebomló alakmemóriájú polimerből** készült **sebészeti varratok** melegítésre (testhő) - az **alanyag** képessége révén - az ideiglenes formából **20 másodperc alatt** felveszik **eredeti alakjukat**

Formamemóriás ruházati- és lakástextil alkalmazások

- az alakmemóriás polimerek képesek rögzíteni az ideiglenesen programozott alakot, és külső ingerek hatására helyreállítani az eredeti formát
- ezt a képességet az intelligens textíliák fejlesztésére úgy is alkalmazzák, hogy ilyen részeket építenek be a kelmébe
- a hőre, fényre, pH-változásra, mágneses energiára, elektromos tér hatására és nedvességre reagáló anyagokkal ellátott textíliákban intelligens tulajdonságok fokozására ill. elérésére van mód (egyedi esztétikai megjelenés, a környezeti feltételek szélsőséges változásai elleni védelem stb.)
- az alakemlékező anyagok a textilekben való alkalmazásával meghatározó a hő- és nedvességszint változásaira való reagálóképesség is elérhető
- többek között egyedi ruhákban is használhatók, amelyek könnyen átalakulhatnak bőből szűk szabásúvá
- olyan kompressziós ruhadarabok létrehozására is alkalmasak, amelyek kezdetben bő szabásúak és könnyen felvehetők, amelyek később összezsugorodhatnak, és szorosan illeszkednek viselőjéhez



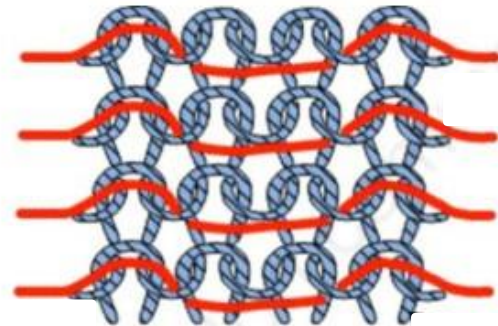
Az alakemlékező kelméből készült termék önmagát testre szabja



az alakemlékező kelméből készült
termék önmagát testre szabja

Alakemlékező anyagú intelligens ruházati termékek (1)

- az alakemlékező anyag által hő- és nedvességszabályozó intelligens légáteresztő ruha keresett komfortos termék; a vízgőzáteresztő képességet az emberi test hőmérsékletével szabályozza
- a formamemóriás anyagok molekuláris szabad térfogata jelentősen megnövekszik, ha a testhőmérséklet meghaladja az üvegesedési hőmérsékletet; így a vízgőz és a hő átadása az izzadságon keresztül megvalósulva kényelmes öltözéket biztosít
- a molekuláris szabad térfogat csökken, ha a testhőmérséklet az alakemlékező anyag üvegesedési hőmérséklete alá kerül, korlátozva a hőveszteséget és a nedvesség távozását
- rétegfelvitelt, laminálást is alkalmaznak az formamemóriás anyag textilbe juttatásához, a kelmeképzés során alkalmazott egyedi képességű fonal bevitele mellett



Ruházati komfortnövelés alakemlékező anyagokkal

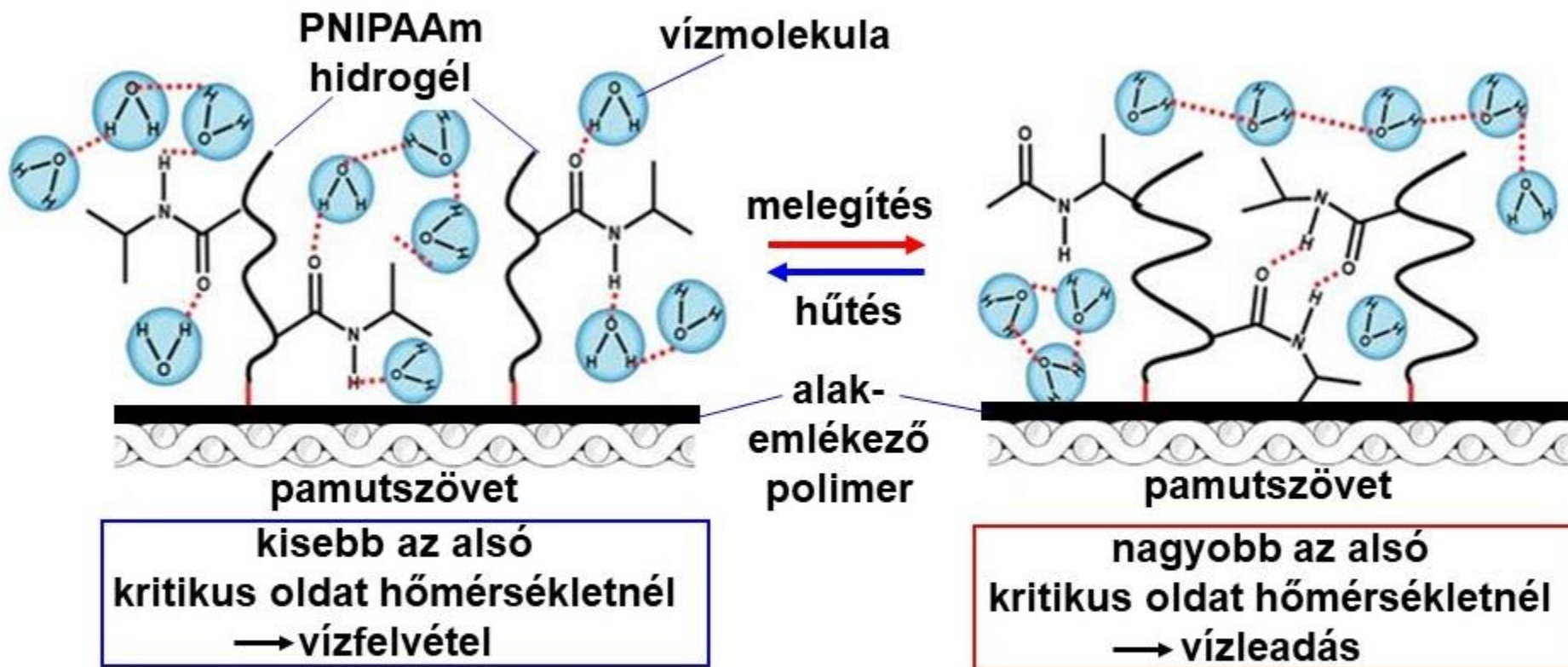
- a hőre reagáló **hidrogélek beépítése** is előfordul az intelligens **hő- és nedvességkezelés** érdekében
- **pamutszövetek** esetében **többfalú szén nanocsöveket** tartalmazó alakemlékező anyagot is felhasználnak **kis mennyiségben**, így pluszban **UV-védelem** is megvalósul
- a **formamemóriás membrán víz- és szélálló**, ill. igény szerint **légáteresztő**, működése a **termikus rezgésekre** vezethető vissza, amelyeket a polimer láncok **mikro Brown mozgása** hoz létre
- **alakemlékező poliuretán fóliát** is kifejlesztettek, ami a **ruharétegek közé laminálható**
- amennyiben a ruházat **külső rétegének hőmérséklete** számottevően **lecsökken** akkor a **ruharétegek közötti légrés** szélesebbé válik (növelve a hőszigetelő-képességet)



Pamutszövet intelligens nedvesedőképességének elérése alakemlékező kikészítő segédanyaggal (1)

- az intelligens nedvesíthetőség lényeges kritérium a ruházati termékeknél
- pl. a poli-N-izopropil-akrilamid (pl. PNIPAAm) - mint hidrogél - egy hőmérsékletre érzékeny térhálós polimer, amely vízben oldódik
- ugyanakkor, ha az oldatot a zavarosodási pontja fölé melegítik, az oldható hidratált állapotból oldhatatlan dehidratált állapotba kerül
- tekintve, hogy az emberi test hőmérsékletéhez közeli hőmérsékleten (32-34 °C-on) dehidratálódik, lehetővé teszi a hőmérséklet-érzékeny higroszkópos textíliák előállítását
- a PNIPAAm hidrogél bevonatú szövetek reverzibilis (megfordítható) duzzadást/zsugorodást (hidratáció/kiszáradás) és jó vízgőzáteresztő képességet mutatnak
- magasabb hőmérsékleten bekövetkezik a gél zsugorodása a hidrofób kölcsönhatások következtében
- ha a pamutszövet hidrofil felületét ilyen polimer réteggel fedik be, akkor képes a nedves környezetből az alsó kritikus oldat hőmérséklet alatti vizet elnyelni, ill. hőmérsékletváltozás hatására felszabadítani
- a bevonatos pamutszövet hőmérséklet kiváltotta reverzibilis és ismételhető változást mutat a nedvesíthetőségben

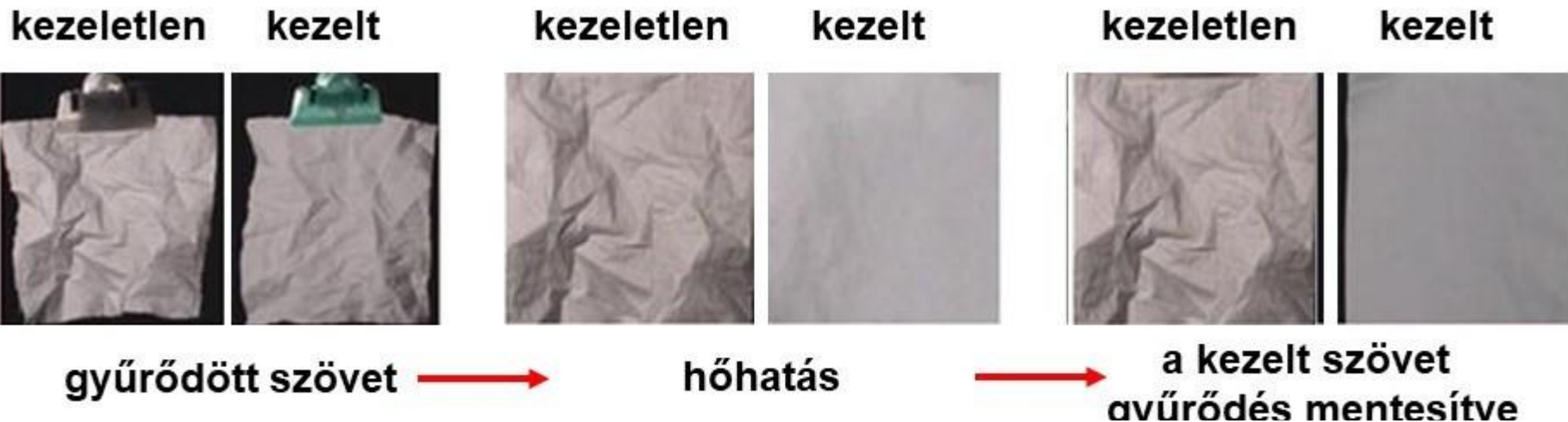
Pamutszövet intelligens nedvesedőképességének elérése alakemlékező kikészítő segédanyaggal (2)



Pamutszövet gyűrődésmentesítése funkcionalizált hidrogéllal

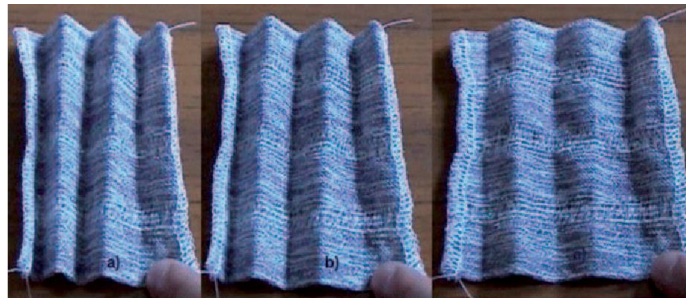
- a formamóriás anyaggal kezelt - egyébként gyűrődésre hajlamos - pamutszövetek gyűrődésfeloldódó képességgel rendelkeznek, miután a szálak felépítő láncmolekulák közötti hidrogénkötések nem szakadnak fel az alakváltoztató erők hatására
- így reaktív műgyanták alkalmazása nélkül elérhető a kedvező használati tulajdonság
- a pamutkelemék mellett a gyapjúsövetek méretállandósíthatók, mert a bevonat a pikkelyes szálfelületet lezárja, így elkerülhető a káros nemezelődés

pamutszövet minták



Egyéb alakemlékező lakástextil-, és ruházati termékek

- az intelligens ablakfüggönyök előállításához is alkalmazható az alakemlékező fonalak beszövése, a szerkezet nagyobb fény esetén zártabbá válik, az alakmemóriás anyagok a divattervezésnél is hasznosíthatók,
- a textilanyagba beépített vékony formamemóriás huzal a hőmérséklet növekedésével deformálódik, így pl. az ebből készített a szoknya felemelkedik és a textilalapú művirág bezáródik
- a melltartók kosárrészének alsó felében elhelyezett formázó fémíveinél a szuperelasztikus nitinol ötvözet alkalmazása jobb kényelmet nyújt, mint a hagyományos acélanyagúak
- az alakemlékező ingujjak megrövidülnek, ha a hőmérséklet emelkedik kifejlesztettek olyan párnát, amely a nyak és a váll testhőmérsékletének megfelelően alakítja a formát, miután a formamemóriás habok biztosítják a test kényelmét
- a védőruházatoknál az alakemlékező funkcionális felület a hőmérséklet növekedésével kitágulva növeli a belső légréteget, az ilyen öltözék pl. fokozottabban védi a tűzoltót az égési sérülésektől

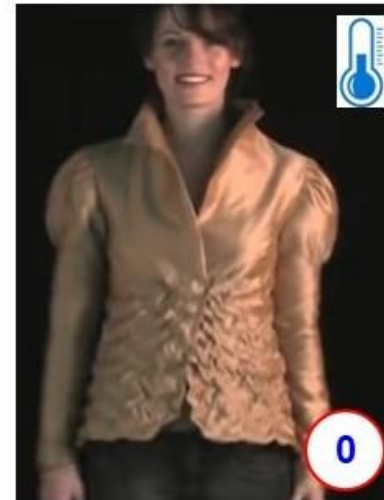


Alakemlékező ruházati termékek a divattervezésben



**a napsugárzás vagy az emberi test hőtermelésének hatására
következik be a változás**

Bohókás alakemlékező ruházati termékre példa



Alakemlékező úrruházat

- új generációs úrruházatot is kifejlesztettek alakemlékező anyagok alkalmazásával, ennek lényege az **aktív kompressziós öltözék**, amely a **hő hatására összehúzódik**, közvetlen követte az **alakformát, jól illeszkedve** a viselő testéhez
- a **klasszikus szkafanderekkel** lényegében egy **gázgömbben** van az úrhajós, amely minimális **létfontosságú nyomást** fejt ki a **légüres térben**; az **új fejlesztésű** ruházat **kényelmesebb** és **könnyebb**, nagyobb mozgásszabadságot biztosít
- ezt az új technológiát **katonai** és **sportruházatokra** is igyekeznek kiterjeszteni.



alakemlékező úrhajós ruházat

Felhasznált irodalom

https://en.wikipedia.org/wiki/Shape-memory_alloy

<https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=134>

http://www.pt.bme.hu/publikaciok/1374_open_04%20Tat%C3%A1r%20Bal%C3%A1zs.pdf

<https://www.intechopen.com/chapters/56078>

<https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=Shape-Memory+Applications+in+Textile+Design>

<https://www.technocrazed.com/biosuit-a-revolutionary-skin-tight-space-suit-for-astronauts-to-move-easily>

Köszönöm szíves figyelmüket!

