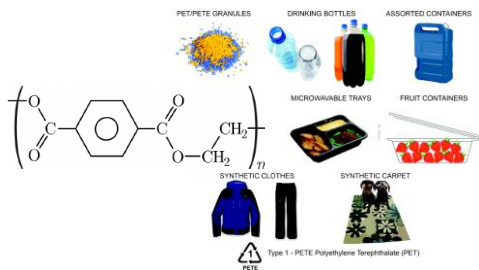


<http://dx.doi.org/10.3390/ma13030782>



<https://technologystudent.com/joints/pet1.html>

Poli(éter-éter-keton) (PEEK)



<https://zetarmold.com/peek-molding-process/>

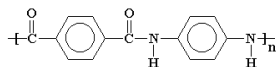


Főlánc felépítése



1783

1783



<https://shop.novia.hu/termek/170-g-m2-aramid-kevlar-szövet-savoly-120-cm/>



Szubsztituens mérete



1783

1783

Polimer	Ismétlődő egység	T_g (°C)
Polietilén	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	-120
Polipropilén	$-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-$	-10
Polisztirol	$-\text{CH}_2-\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}-$	100
Poli(vinil-karbazol)	$-\text{CH}_2-\underset{\text{N}(\text{C}_6\text{H}_5)_2}{\text{CH}}-$	208

Pukánszky B.: Műanyagok, BME Műanyag- és Gumiipari Tanszék, Budapest, 2003.



Intermolekuláris kölcsönhatások



1783

1783

Polimer	Ismétlődő egység	T_g (°C)
Polizobutilén	$-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-$	-65
Polipropilén	$-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-$	-10
Poli(vinilidén-klorid)	$-\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\overset{\text{Cl}}{\text{C}}}-$	-17
Poli(vinil-klorid)	$-\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}-$	80
Poli(akril-nitril)	$-\text{CH}_2-\underset{\text{CN}}{\text{CH}}-$	130

Pukánszky B.: Műanyagok, BME Műanyag- és Gumiipari Tanszék, Budapest, 2003.



Az üveges átmeneti hőmérséklet módosítása



Mathijssen D.: Developing a new front undertray for the Jaguar F-type. Reinforced Plastics, 60, 204-207 (2016)



T_g különböző poliamidok esetén



Poliamid 6 $[-\text{NH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CO}-]_n$

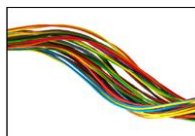
Poliamid 12 $[-\text{NH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CO}-]_n$

Poliamid típusa	T_g [°C]
PA 3	107
PA 6	51
PA 8	49
PA 10	42
PA 11	41
PA 12	40

<http://polymerdatabase.com/polymer%20classes/Polyamide%20type.html>



Az üveges átmeneti hőmérséklet módosítása



<https://www.otasurvivalschool.com/the-pipe-dream-project/>

A lágyítótartalom hatása

ATP

OK

⇒

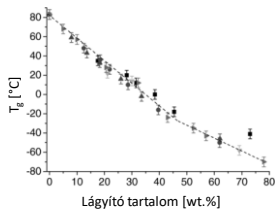
T_g

⇒

T_f

⇒

T_b

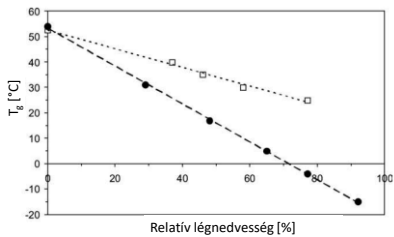


<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/marc.201600734>

A lágyítótartalom hatása

- PA 6
 $[-\text{NH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CO}-]_n$

□ PA 6.12
 $[-\text{NH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}-\text{CO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CO}-]_n$



Hatzigrigoriou N. B., Vouyiouka S. N., Joly C., Dole P., C. D. Papaspyrides C. D.:
 Temperature-humidity superposition in diffusion phenomena through polyamidic materials.
 Journal of Applied Polymer Science, 125, 2814-2823 (2012).

Molekulaszerkezet és tulajdonságok

RK (T_f<T_m)

OK

⇒

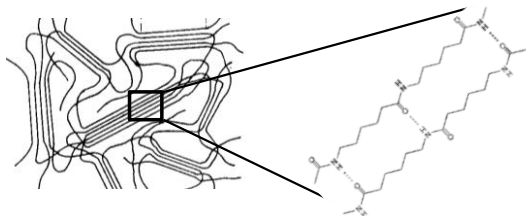
T_g

⇒

T_m

⇒

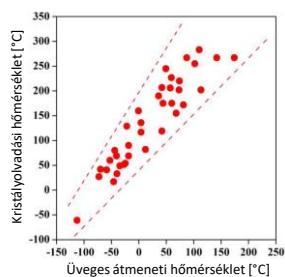
T_b



https://www.researchgate.net/publication/273657868_Development_of_a_Regeneration_Process_for_Nylon-6_and_Nylon-66_from_Felt_Wastes/figures?o=1

Molekulaszerkezet és tulajdonságok

RK ($T_f < T_m$) 0 K $\Rightarrow$ $T_g \Rightarrow T_m \Rightarrow T_b$



Pukánszky B.: Műanyagok, BME Műanyag- és Gumiipari Tanszék, Budapest, 2003.

Alakemlékező polimerek



<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC14671/>

Alakemlékező polimerek



<https://www.youtube.com/watch?v=vWIRcazeSnU>



Alakmélkező polimerek





<https://fejhallgatoszerviz.hu/sony-dr-ga100-headset-javitasa-kabelcsere/>
<https://img.casual.hu/shops/2824/images/item/wcsm13035-900s-s50-zsugorcso-vastagfalu-170095.jpg>



Szerkezet és átmeneti hőmérsékletek





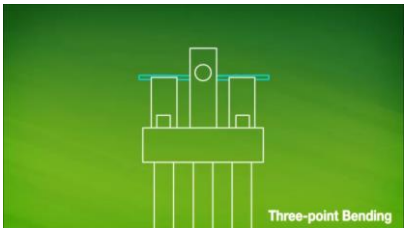
ATP	0 K	⇒	T _g	⇒	T _f	⇒	T _b
GTE	0 K	⇒	T _g	⇒	⇒	⇒	T _b
STD	0 K	⇒	⇒	⇒	T _g	⇒	T _b
RK (T _r <T _m)	0 K	⇒	T _g	⇒	T _m	⇒	T _b

<https://www.simtec-silicone.com/thermoplastics-and-liquid-silicone-rubber-lsr/>
<http://www.adhesiveandglue.com/elastomer.html>



DMA görbék

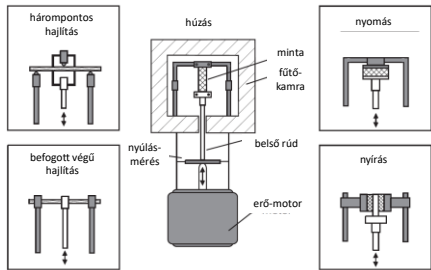






DMA görbék





G. W. Ehrenstein, G. Riedel, P. Trawiel: Thermal analysis of plastics, Carl Hanser Verlag, Munich, 2004



DMA görbék

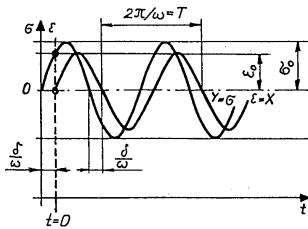


Gerjesztés:

$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \sin \omega t$

Válasz:

$\sigma(t) = \sigma_0 \sin(\omega t + \delta)$

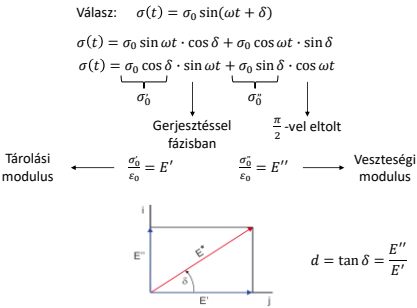


Bodor G.; Vas L.M.: Polimer anyagszerkezettan. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000.
 Grellmann W., Seidler S.: Polymer testing. Carl Hanser Verlag, Munich, 2013.



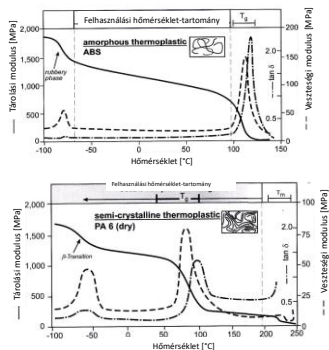
DMA görbék





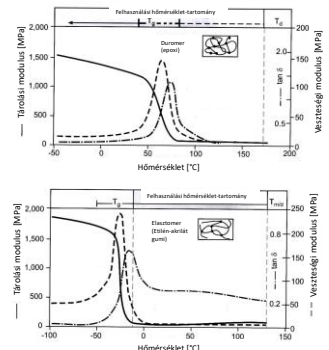
Bodor G.; Vas L.M.: Polimer anyagszerkezettan. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000.
 Grellmann W., Seidler S.: Polymer testing. Carl Hanser Verlag, Munich, 2013.

DMA görbék



Gottfried W. Ehrenstein: Polymeric Materials, Hanser, Munich, 2001

DMA görbék

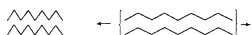


Gottfried W. Ehrenstein: Polymeric Materials, Hanser, Munich, 2001

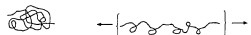
Alakemlékezés alapjai

Mikrodeformáció komponensek

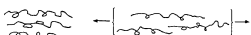
Energia rugalmas



Entrópiarugalmas



Energia disszipáló



Makrodeformáció komponensek

Pillanatnyi rugalmas (ϵ_{pr})
(Mech: reverzibilis)
(Td: reverzibilis)



Késleltetett rugalmas (ϵ_{kr})
(Mech: reverzibilis)
(Td: irreverzibilis)



Maradó (ϵ_m)
(Mech: irrev.)
(Td: irreverzibilis)

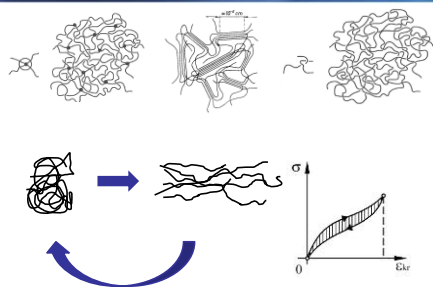


Bodor G.; Vas L.M.: Polimer anyagszerkezet. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000.



Alaklékezés alapjai



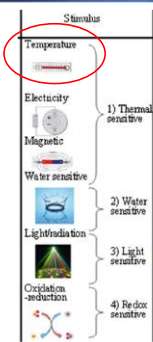


Gottfried W. Ehrenstein: Polymeric Materials, Hanser, Munich, 2001



Alaklékezést kiváltó ingerek



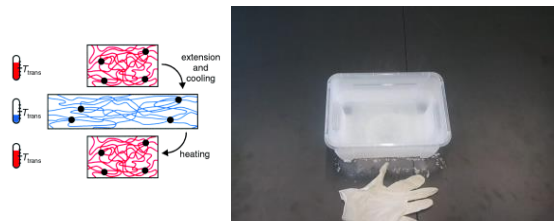


Hu J., Zhu Y., Huang H., Lu J.: Recent advances in shape-memory polymers: Structure, mechanism, functionality, modeling and applications. Progress in Polymer Science 37 (2012) 1720–1763.

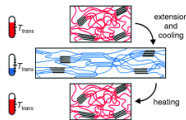


Polimerek alaklékező mechanizmusa molekuláris szinten

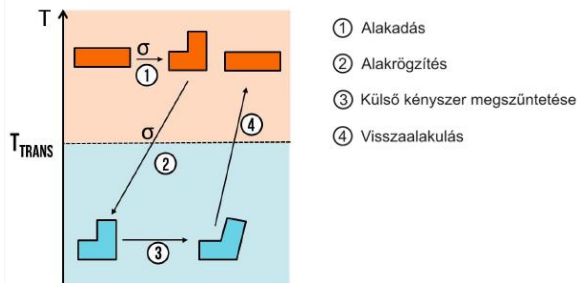




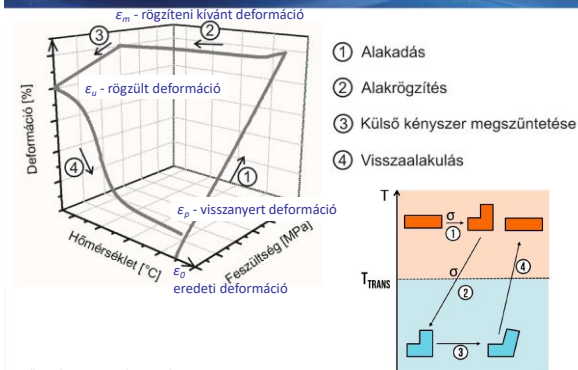
<http://image.slidesharecdn.com/presentation-124836241952-phpapp02/95/presentation-5-728.jpg?cb=1248345161>



<http://image.slidesharecdn.com/presentation-124836241952-phpapp02/95/presentation-5-728.jpg?cb=1248345161>



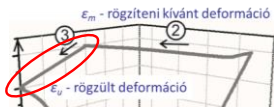
Fejős Márta – PhD értekezés



Fejős Márta – PhD értekezés

Az alaklékezés mennyiségi jellemzése

$$R_f = \frac{\epsilon_u}{\epsilon_m} \cdot 100$$



R_f - alakrögzítési tényező; ϵ_m - rögzíteni kívánt deformáció, ϵ_u - rögzült deformáció

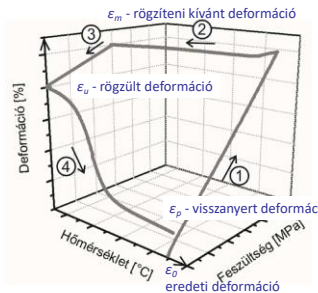
Fejős Márta – PhD értekezés

Az alaklékezés mennyiségi jellemzése

$$R_r = \frac{\epsilon_m - \epsilon_p}{\epsilon_m - \epsilon_0} \cdot 100$$

visszanyert

eredeti



R_r - visszaalakulási tényező

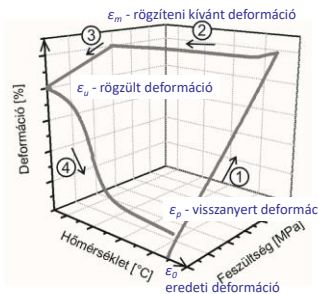
Fejős Márta – PhD értekezés

Az alaklékezés mennyiségi jellemzése

$$R_z = \frac{\epsilon_u - \epsilon_p}{\epsilon_m - \epsilon_0} \cdot 100$$

megvalósult

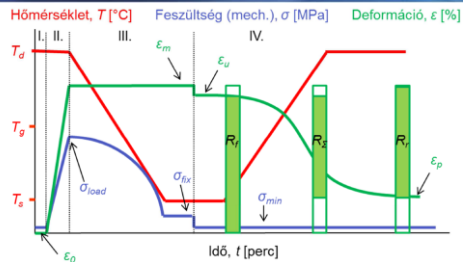
elméleti max.



R_z - összesített alaklékezési tényező

Fejős Márta – PhD értekezés

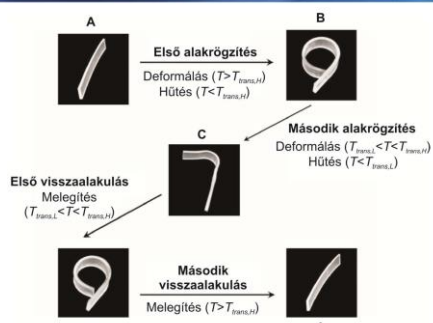
Egy alakemlékező vizsgálat mérési ciklusa



I. felfűtés és hőntartás, II. alakadás, III. alakrögzítés, IV. újramelegítés (szabad visszaalakulással), T_g tárolási hőmérséklet, T_d üveges átmeneti hőmérséklet, T_g alakadási hőmérséklet, σ_{min} visszaalakulási feszültség, σ_{load} alakadási feszültség, σ_{fix} alakrögzítési feszültség, ϵ_0 eredeti deformáció, ϵ_m rögzített deformáció, ϵ_u rögzült deformáció, ϵ_p visszanyert deformáció, R_f alakrögzítési tényező, R_r visszaalakulási tényező, R_z összesített alakemlékezési tényező.

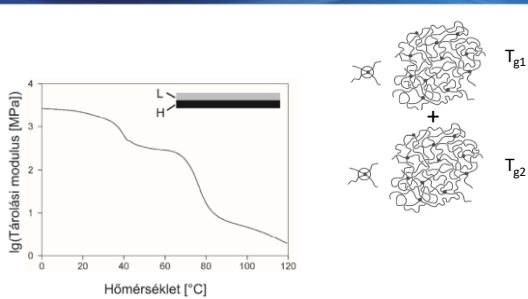
Fejős Márta – PhD értekezés

Két alakra emlékezés



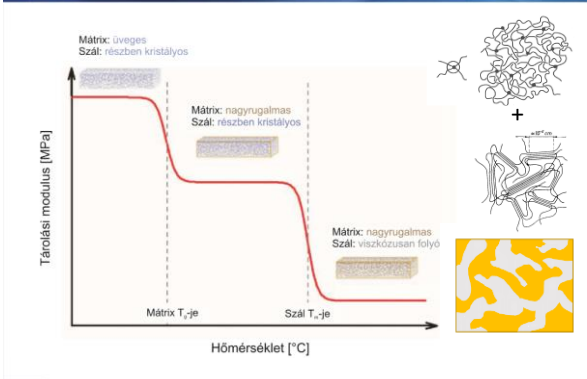
Xie T., Xiao X., Cheng Y.-T.: Revealing triple-shape memory effect by polymer bilayers. *Macromolecular Rapid Communications*, 30, 1823-1827 (2009).

Két alakra emlékezés

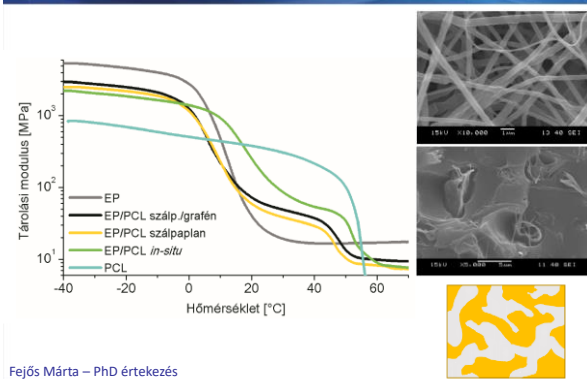


Xie T., Xiao X., Cheng Y.-T.: Revealing triple-shape memory effect by polymer bilayers. *Macromolecular Rapid Communications*, 30, 1823-1827 (2009).

Két alakra emlékezés

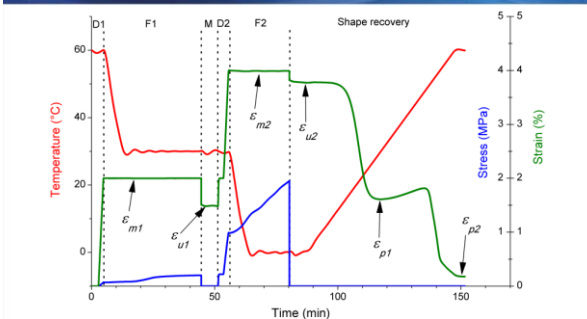


Két alakra emlékezés



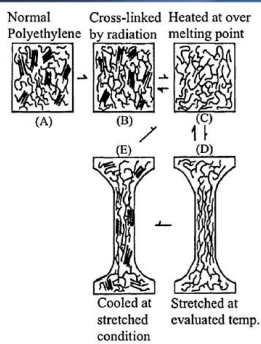
Fejős Márta – PhD értekezés

Két alakra emlékezés



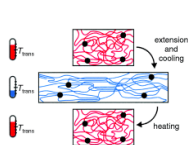
Fejős M., Molnár K., Karger-Kocsis J.: Epoxy/Polycaprolactone Systems with Triple-Shape Memory Effect: Electrospun Nanoweb with and without Graphene Versus Co-Continuous Morphology. *Materials*, 6 (2013) 4489-4504.

Két alakra emlékezés



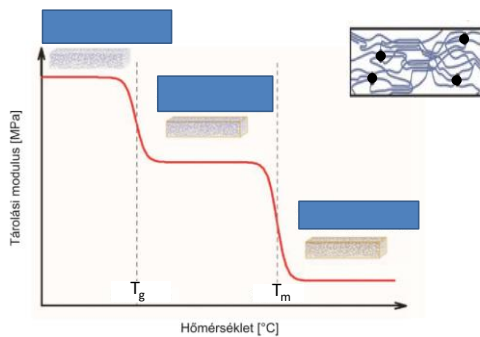
Ota S. Current status of irradiated heat-shrinkable tubing in Japan. Radiation Physics and Chemistry 1991;18:61-7.

Polimerek alakemlékező mechanizmusa molekuláris szinten



<http://image.slidesharecdn.com/presentation-124836241952-phapp02/95/presentation-5-728.jpg?cb=1248345161>

Két alakra emlékezés



Fejős Márta – PhD értekezés alapján

Behl M., Lendlein A.: Shape-memory polymers. Materials Today, 10 (2007) 20-28.

A gyapjú mint alaklélekező polimer

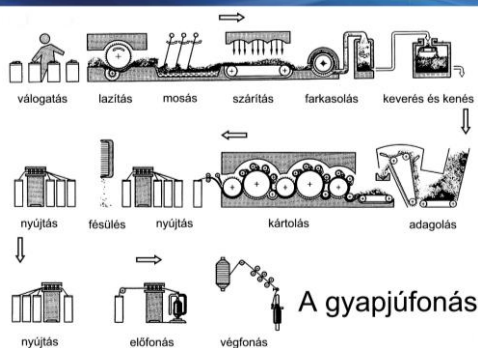


[http://www.behir.hu/sites/default/files/fiel
d/image/birka_0.jpg](http://www.behir.hu/sites/default/files/field/image/birka_0.jpg)



[http://www.hkrita.com/html/upload/1317008643
303_wool%20garment_U%20and%20treated.JPG](http://www.hkrita.com/html/upload/1317008643303_wool%20garment_U%20and%20treated.JPG)

A gyapjú mint alaklélekező polimer



[http://cms.sulinet.hu/get/d/2da382dc-2ae8-446a-a318-
279fe9a48fab/1/5/b/Large/nagy%C3%ADtott_390_gyapj%C3%BAfon%C3%A1s.jpg](http://cms.sulinet.hu/get/d/2da382dc-2ae8-446a-a318-279fe9a48fab/1/5/b/Large/nagy%C3%ADtott_390_gyapj%C3%BAfon%C3%A1s.jpg)

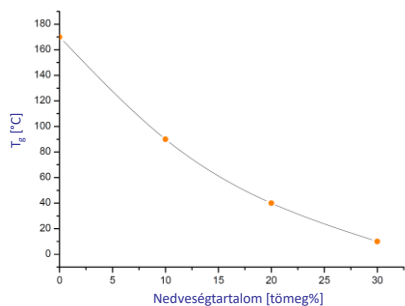
A gyapjú mint alaklélekező polimer



<http://s0.olcsobbat.hu/images/4f8c0f1bc28b7976520078f4-225x225-resize-transparent.png>
<http://plzcdn.com/>



A gyapjú mint alakemlékező polimer



Hu J., Dong Z.-E., Liu Y., Liu Y.: The Investigation about the shape memory behavior of wool, *Advances in Science and Technology*, 60 (2008) 1-10.



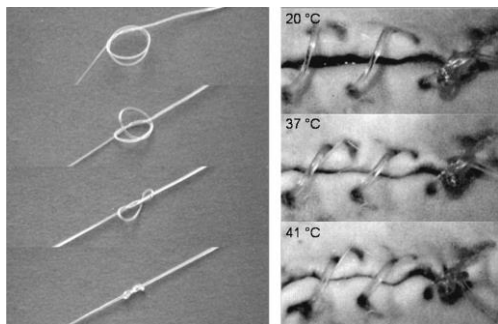
Egy reflektor ideiglenes (balra) és visszanyert (jobbra) alakjában



Leng J., Lan X., Liu Y., Du S.: Shape-memory polymers and their composites: Stimulus methods and applications. *Progress in Materials Science*, 56, 1077-1135 (2011).



Sebészeti varrat



<http://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2007/JM/B615954K>

