



ŞEKİL HAFIZALI ALAŞIMLAR Bu Malzemeler Unutmuyor!

Hayriye Yetiş [TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

Sinema dünyasının öne çıkan bilimkurgu filmlerinden biri, şüphesiz ki Transformers. Seri hâlinde yayınlanan filmin belki de en dikkat çekici sahnelerini, robotların anında şekil değiştirerek araçlara, uçaklara veya farklı nesnelere dönüştüğü, sonrasında ise tekrar eski hâllerine geldiği sahneler oluşturuyor. Böylesi bir durumun gerçek hayatta da mümkün olmasını sağlayacak bir teknoloji bulunuyor: “Akıllı” malzemeler!

Sıcaklık, ortamın asitlik derecesi (pH), basınç ya da manyetik alan gibi dış faktörlerin etkisiyle özellikleri amaca uygun biçimde kontrol edilebilen malzemeler akıllı malzemeler olarak adlandırılır. Çevresel koşullar değiştiğinde şekil ve boyut değiştirebilme, hasar gördüklerinde kendi kendilerini onarabilme gibi özelliklere sahip akıllı malzemeler, çeşitli sektörlerde geniş uygulama alanına sahip. Aynı zamanda günümüzde endüstriyel alanda artan tüketim ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik teknolojik gelişmeler sayesinde, bu malzemeler yeni özellikler ve uygulama alanları kazanmaya devam ediyor. Akıllı malzemeler arasında en yaygın kullanım alanına sahip olanlardan biri ise şekil hafızalı alaşımlar.

Alaşımlar iki veya daha fazla metalin ya da bir metal ve metal olmayan bir elementin genellikle eritilerek bir araya getirilmesiyle elde edilir. Paslanmaz çelik, pirinç ve bronz, günlük yaşantımızda sıklıkla karşımıza çıkan bazı alaşım örnekleridir. Şekil hafızalı alaşımların temel özelliği ise şekli değiştikten veya deforme olduktan sonra orijinal formuna dönebilen diğer bir ifadeyle orijinal şeklini “hatırlayabilen” akıllı malzemeler olmalarıdır. Bu durum malzemelerin süperelastiklik ve şekil hafızası özelliklerine sahip olması sayesinde gerçekleşir. Eğer bir malzeme belirli bir sıcaklığın üzerindeyken sıcaklık değişimi olmadan sadece uygulanan mekanik yükün yani gerilimin ortadan kalkmasıyla orijinal formunu kazanabiliyorsa süperelastik özelliktedir. Süperelastik özellikteki malzemeler neredeyse kauçuk benzeri bir davranış gösterir yani üzerine uygulanan gerilimin etkisiyle şekil değiştirdikten sonra orijinal şekline dönebilir. Düşük sıcaklıklarda deforme olan bir malzemenin belirli bir sıcaklığın üzerinde orijinal formuna dönmesi ise şekil hafızası özelliğine sahip olduğu anlamına gelir.

Alaşımlarda şekil hafızası etkisinin ilk olarak 1930’larda ortaya çıktığı biliniyor. İsveçli Kimyager Gustav Arne Ölander, 1932 yılında altın-kadmiyum alaşımının soğukken bükülebildiğini, ısıtıldığında ise orijinal şekline geri dönebildiğini gözlemledi.

1959 yılında ise ABD’de bulunan Deniz Kuvvetleri Mühimmat Laboratuvarı araştırmacılarından William J. Buehler nikel-titanyum alaşımında şekil hafızası etkisini keşfetti. Şekil hafızalı alaşımların öneminin anlaşılması ve endüstride pratik uygulamalarına geçiş ise 1960’lı yıllarda, daha önce keşfedilen şekil hafızalı alaşımlardan daha ucuz, kullanımı daha kolay ve biyouyumluluk özellikleri daha gelişmiş nikel-titanyum alaşımının nitinol olarak ticarileştirilmesiyle birlikte gerçekleşti. Sonrasında bu tür alaşımlar havacılık, inşaat ve sağlık gibi



birçok sektörde kullanılmaya başlandı. Örneğin geliştirilen nitinol gözlük çerçevelerinin üretiminde, dişilikte implantların ve ortodonti uygulamalarında kullanılan bileşenlerin üretildiği biyomalzemelerde ve daralan ya da tıkanan kalp damarlarında kan akışını normale döndürmek amacıyla kullanılan stentlerin üretiminde kullanılıyor.

Şekil Hafızalı Alaşımlar Şekillerini Nasıl “Hatırlar?”

Bir nesneye uygulanan kuvvet, nesnenin deforme olmasına yani şekil ve boyut değiştirmesine neden olur. Değişimin tam olarak nasıl olduğu ise nesnenin yapıldığı malzemeye bağlıdır. Alüminyumdan yapılmış gözlük çerçevesini eğip bükttükten sonra kendiliğinden

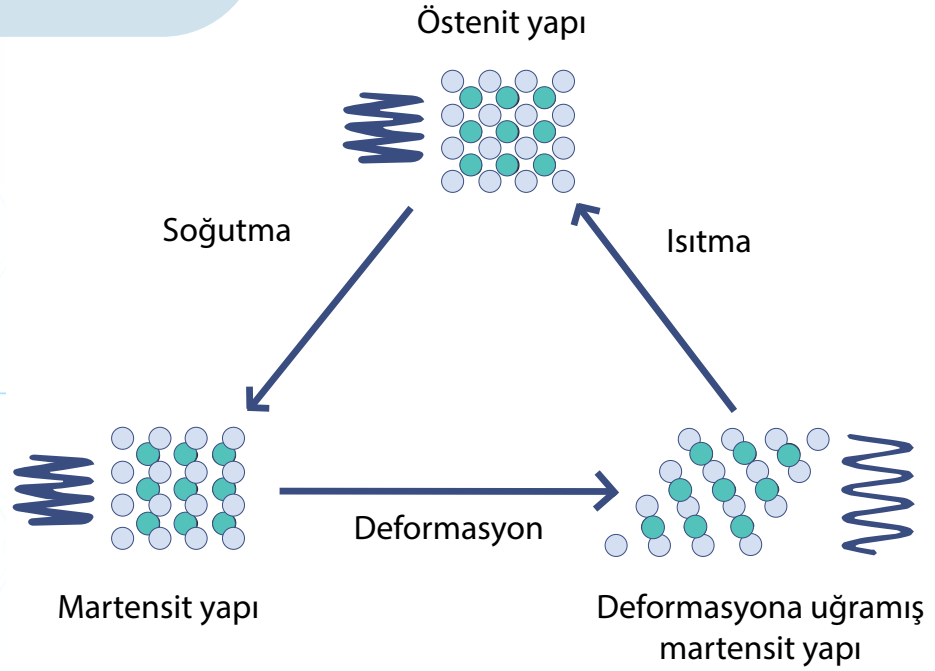
ilk hâline gelmesini bekleyemeyiz. Ancak şekil hafızalı alaşımlardan üretilen nesneler farklı davranır. Bu malzemelerin şekil değiştirebilme yeteneklerinin temelinde dönüşüm sıcaklığına bağlı olarak kristal yapılarında meydana gelen değişimler vardır.

Dönüşüm sıcaklığı olarak ifade edilen kritik bir sıcaklık değerinin altında ve üstünde farklı kristal yapıya sahip olmaları, şekil hafızalı alaşımların en temel ayırt edici özelliğidir.

Şekil hafızalı alaşımlar martensit ve östenit adı verilen iki farklı kristal yapıya sahip olabilir. Daha yüksek sıcaklıklarda östenit fazda bulunan şekil hafızalı alaşımlar bu fazdayken, atomlar kristal yapı içinde daha simetrik şekilde düzenlenir ve bu fazdayken malzeme daha serttir. Daha düşük sıcaklıklarda ise şekil hafızalı alaşımlar martensit yapıya geçer. Atomların kristal yapı içinde daha az simetrik düzenlendiği bu fazda, malzemeler daha yumuşak yapıdadır.

Martensit ve östenit yapılar arasındaki geçiş süreci katı hâl faz değişimi olarak adlandırılır ve bu süreç madde tamamen katı hâldeyken gerçekleşir. Düşük sıcaklıklarda yani martensit yapıda kolayca şekillendirilebilen malzeme, daha yüksek sıcaklıklarda yani östenit yapıda daha sert ve deforme olması zor bir hâl alır. Örneğin şekil hafızalı bir teli, düşük sıcaklıklarda eğip bükerek ona yeni şekiller kazandırmak mümkündür. Teli nasıl bükersen bükelim aynı sıcaklıklarda kaldığı sürece sıradan bir tel gibi yeni hâlini korur. Ancak eğer tel, dönüşüm

sıcaklığının üzerinde bir sıcaklığa ulaşırsa sağlanan ısı enerjisiyle telin kristal yapısı içindeki atomlar yeniden düzenlenerek ilk konumlarına geri döner ve tel orijinal şeklini alır. Sıcaklığı tekrar düştüğünde ise üzerine bir kuvvet uygulanmadığı müddetçe orijinal şeklini korumaya devam eder. Şekil hafızalı bu tel, sürekli olarak dönüşüm sıcaklığının üzerinde bir sıcaklığa sahip olursa uygulanan kuvvetin artmasıyla yine deformasyona uğrayabilir. Kuvvetin ortadan kalkması ile süperelastiklik özelliği sayesinde ilk şekline geri döner.



Şekil hafızalı alaşımlardan nitinolun makroskobik ölçekte (yay) ve atomik ölçekte (yeşil ve gri renkli bilyeler) martensit ve östenit yapıları arasındaki geçiş

Şekil Hafızalı Alaşımların Kullanım Alanları

Şekil hafızalı alaşımlar uzun yıllardır çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılıyor. Bu durumun nedeni plastiklerin, metallerin ve geleneksel alaşımların aksine şekil hafızalı alaşımların esnek yapıda, aşınmaya dayanıklı ve sterilize edilmesinin kolay olması. Aynı zamanda hafif yapıdaki ve çok yüksek sıcaklıklara

dayanabilen bu alaşımlar uzay roketleri ve sondaları ile uzay araçlarının tekerleklerinde yaygın olarak kullanılıyor. Örneğin, Hubble Uzay Teleskobu (HUT), uzayda görev yapacağı yörüngeye ulaştığında şekil hafızalı alaşımdan yapılmış kolları sayesinde güneş panelleri otomatik olarak serbest bırakıldı. Fırlatma sırasında, nispeten düşük sıcaklıktaki uzay mekiğine yerleştirilen teleskobun şekil hafızalı kolları içe doğru bükülmüş hâldeydi ve güneş panelleri güvenli bir şekilde katlanmıştı. Uzaya ulaşan teleskop, mekikten ayrıldıktan sonra ise Güneş ışınlarının etkisiyle ısındı ve teleskobun kollarının sıcaklığı, dönüşüm sıcaklığının üzerine ulaştı. Bu sayede orijinal şekline geri dönen kollar, güneş panellerinin açılmasını sağladı.

Nitinol özellikle sağlık sektöründe yaygın olarak kullanılıyor. Damar içine yerleştirilerek vücut ısıyla şekil değiştiren ve damardan geçen pıhtıları tutarak akciğere ulaşmasını engelleyen filtre, nitinolün uygulamalarından sadece biri. Bunun yanında nitinol, işlevinde bozulmalar ortaya çıkan eklemlere yerleştirilen implantlarda, tıbbi cihazların üretiminde ve çene kemiğinde yanlış yönlendirilmiş dişlerin doğru hizalanması amacıyla yapılan ortodontik tedavilerde kullanılıyor.

Sağlık sektöründe kullanılmaya başlandığı ilk zamanlarda, nikelin toksik etkisinin olabileceği ile ilgili şüpheler mevcuttu. Ancak zamanla nitinolün

özelliklerinin ve biyouyumluluğunun, nikelin ve titanyumun tek başına sahip oldukları özelliklerden farklı olduğu anlaşıldı. Alaşımın yüzeyiyle temas eden hücrelerin büyümesinde herhangi bir engelle karşılaşmadığını gösteren çok sayıda bilimsel çalışma mevcut. Aynı zamanda nitinole maruz kalan hücrelerin çoğalmasında şu ana kadar herhangi bir olumsuz etkisinin gözlemlenmemiş olması, nitinolün sağlık için zararlı olabilecek etkilerine dair şüpheleri ortadan kaldırıyor.

Şekil Hafızalı Alaşımlar ve Ötesi

Nitinol, en yaygın şekil hafızalı alaşım türlerinden biri olsa da günümüzde bakır, çinko ve alüminyumdan oluşan veya demir, manganez ve silisyumdan oluşan alaşımlar gibi başka pek çok şekil hafızalı alaşım türü var. Tüm bu çeşitleriyle birlikte şekil hafızalı alaşımlar, otomotiv sektöründen uzay araştırmalarına, sağlıktan robot teknolojilerine kadar farklı endüstrilerde yaygın olarak kullanılıyor. Malzeme bilimindeki gelişmelerle birlikte keşfedilen yeni özellikler, şekil hafızalı alaşımlara yeni kullanım alanları açmaya devam ediyor.

Diğer yandan şekil hafızası etkisi alaşımlarla sınırlı değil. Birkaç yıl önce Massachusetts Teknoloji Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği bölümünden Christopher Schuh ve meslektaşları



Nitinol telin farklı sıcaklıklarda şekil değiştirmesi

tarafından gerçekleştirilen ve bulguları *Nature* dergisinde yayımlanan bir araştırma, geliştirilen seramik bir malzemenin benzer özelliklere sahip olabileceğini gösterdi. Araştırmacılar şekil hafızalı bu seramik malzemenin, şekil hafızalı alaşımların kullanılabildiği sıcaklıkların çok daha üzerinde işlevini yerine getirdiğini ifade ediyor. Aynı zamanda üretilen bu malzeme, esnek yapıda olup sıradan seramikler gibi kırılgan değil. Bu durum malzemeye, geniş bir uygulama alanı sağlıyor.

Bazı şekil hafızalı alaşım türlerine kıyasla daha hafif, ucuz ve esnek yapıda olan şekil hafızalı polimerler ise malzeme biliminde önemli yere sahip bir diğer malzeme türü. Bu polimerler esnek yapılarıyla şekil hafızalı alaşımlardan üretilen malzemelere göre daha karmaşık geometrik yapıların tasarlanmasına imkân sağlayabiliyor. Kırışmayan akıllı kumaşlar, giyilebilir elektronik cihazlar, obezite tedavisine yönelik implantlar ise şekil hafızalı polimerlerin



Zoonar GmbH / SPL

Stentin farklı sıcaklıklarda şekil değiştirmesi

uygulama alanlarından sadece birkaçı. Malzeme biliminde yapılan araştırmalar, şu an bize imkânsız gibi gelen teknolojilerin ileride hayata geçmesini sağlayabilir. Bu alandaki ilerlemelerle beraber yeni özelliklere sahip malzemeler geliştirmek ve çeşitli endüstrilerde karşı karşıya kalınan karmaşık sorunlara yenilikçi çözümler getirmek, birçok alanda hayatı daha da kolaylaştırmaya devam edeceğe benziyor. ■

Kaynaklar

- <https://doi.org/10.1080/15376494.2024.2307471>
- <https://wire.uni-muenster.de/transformers-in-real-life-shape-memory-alloys-or-revolutionary-properties-in-science-and-the-game-changer-in-industry>
- <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/adma.202208517>
- <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1045389X231185458>
- <http://dx.doi.org/10.1117/12.861386>
- <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8835830/>
- <https://news.mit.edu/2022/shape-memory-material-ceramic-1005>

