

METAL KÖPÜKLER

Maddenin üç halinin, yeryüzü, deniz ve gökyüzünce tam olarak temsil edildiği düşünülür. Ancak, doğanın yaratılarında ve insanoğlunun yapıtlarındaki, gaz, sıvı ve katı bileşimlerinin zengin çeşitliliği, bizlere olasılıkların kısıtlı değil, sonsuz olduğunu gösteriyor. Son yıllarda, dikkatleri en çok çeken malzemelerden biri de, hafifliklerinin yanı sıra, serlikleri ve ezilmeye dayanıklı oluşları gibi özellikleriyle metal köpükler. Köpük kataloglarına görece yeni girmiş olan metal köpükler, birçok yeni uygulama alanında kendine yer edinmeye başladı.

Günümüzde katı hal fiziği, ufuklarını, tüm yoğunlaştırılmış maddelerle birlikte malzeme biliminin engin dünyasını da içine alacak biçimde genişletti. Fizikçiler, fiziksel kimyacılar ve endüstri mühendisleri, karışık hallerden çıkabilen kuraldışı özelliklere karşı eklettik bir ilgiyi paylaşıyorlar. Sözgelimi, kristal halde katı, sıvı ve gazlar-

dan oluşan dondurma, parçaların toplamından çok daha fazlasıdır. Aynı ayrı sunulduğunda, bu parçalar dondurmayla aynı besin değerlerini sağlayabilir; ancak, dondurma tüketirken alınan keyif de ortadan kalkar. Burada yapı, en az bileşim kadar önemli. Bu durum, termodinamik yasalarından çok, dondurmanın hazırlanmasında

gösterilen ustalığa bağlı. Bugün, karışık halli maddelerin yarı kararlı dünyasında, bilim, sanatla tanışıyor.

Karışık hollere duyulan ilginin kaynağı, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nden (ABD) malzembilimci Cyril Stanley Smith'in 1950'lerden kalma eseri "Yapının Peşinde"ye (a Search for Structure) dayanıyor.

Smith, özellikle malzeme biliminin prototiplerinden, "köpük" olarak adlandırılan sıvı-gaz sisteminin çekiciliğine kapılmıştı. Köpükler, genellikle düzensiz yapıdadır ve her örnek, kendi özel tarihçesinin ürünüdür. Öte yandan, içindeki düzenlemelerin de belli kuralları vardır. 19. yüzyılda, Belçikalı fizikçi Joseph Plateau'nun açıkladığı yüzey gerilimince belirlenen kurallara uyarlar. Bu kurallara göre, baloncukları birbirinden ayıran ince zarların yalnızca üçü, -Plateau kenarı olarak adlandırılan- bir çizgi üzerinde buluşabilir; bu çizgilerin yalnızca dördü bir noktada birleşebilir. Zarlar ve çizgiler, birbirine eşit açılarla, simetrik olarak buluşurlar. Bu kurallar, yalnızca sıvı sürtünmesinin sıfır olduğu sınırda kesin olarak gözlenebilir. Ancak, köpüklerin çoğunda sıvı sürtünmesi, kurallara büyük ölçüde uyumlarını sağlayacak ölçüde azdır.

Plateau'nun tanımladığı bu yapı, sıvı köpüklerin birçoğunda, dolayısıyla, sıvı köpüklerin dondurulmasıyla oluşan katı köpüklerin de çoğunda görülür. Günlük yaşamda karşımıza çıkan katı köpükler, minderlerde, ambalajlarda ve yalıtımda kullanılan poliüretan ve polisteren malzemelerdir. Başka birçok malzeme, örneğin cam da köpükleştirilebilir. Metaller de köpük olarak üretilebilir. Son yıllarda, köpük kataloglarına görece yeni girmiş olan metal köpükler, geleceği parlak uygulama alanları belirlendikçe, dikkatleri üzerine çekmeye başladı.

Hafif, Sert, Ezilmeye Dayanıklı...

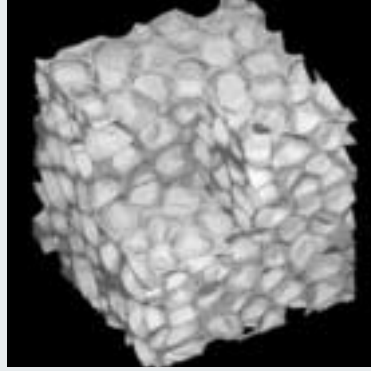
Bir metal köpük, genellikle dört yüzlü ve simetrik birleşme yerlerinde bulunan, ince ve donmuş Plateau kenarlarının oluşturduğu bir ağdır. Bir katı metal köpüğün görece yoğunluğu (toplam yoğunluğunun, içerdiği katı maddelerin toplam yoğunluğuna bölümü), genellikle % 15'ten azdır.

Bir panelin sertliği (bükülmeye karşı direnci), kalınlığının küpüyle malzemenin Young sabit değerinin çarpımına bağlı olarak değişir. Buna göre, yoğun, metal bir panel, kendisiyle aynı ağırlıkta, ancak beş katı daha kalın bir köpük panelle değiştirildiğinde, bükülme sertliği beş kat ar-

Metal Köpüklerin İzinde

Sıkıştırılmış toz köpükleştirme işleminin aşamalarını izlemek ve incelemek amacıyla kullanılan birçok gelişmiş fiziksel araç var. Gözenek çekirdeklerinin oluşumu, köpük oluşumu başlamadan su verilerek incelenebiliyor. Bir örnekteki gözenek boyu dağılımıysa, çok küçük açılı nötron saçılımıyla (ultrasmall-angle neutron scattering - USANS) ortalama olarak ölçülebilir. Örnekteki gözenekleri tek tek incelemek için tarama elektron mikroskopu kullanılıyor.

Öte yandan, hızla gelişen senkrotron x-ışını (çok güçlü x-ışınları) radyoskopi yöntemiyle, baloncukların gelişimi hücrede doğrudan izlenebiliyor. Örneğin, Grenoble'daki (Fransa) Avrupa Senkrotron Radyasyon Tesisi'ndeki bir deneyde,



içinden senkrotron x-ışını geçebilen ve suyla soğutulan alüminyum pencerelerle donatılmış bir ocakta köpükler oluşturulmuş. Elektronik bir detektör sistemiyle, 2-18 Hertz frekansları arasında, uzaysal çözünürlükleri 10-40 µm olan soğurma radyografileri çekilmiş.

Bu süreçte, seçilen örneklerin kalınlığı, ışının geldiği yönde yalnızca birkaç baloncuk çapı kadarsa, x-ışınları kullanılarak çok zengin görüntüler elde edilebilir. Köpük soğutulurken, x-ışını radyoskopisiyle katılaştırma süreci de göz-

lenebilir. Köpük akışını görüntüleyebilmek içinse, x-ışınlarını yalnızca zayıf olarak emen, ince titanyum folyodan yapılmış kalıplar kullanılabilir.

tar. Sertliğin ağırlığa oranı, genellikle yapı mühendisleri için önemli bir özelliktir.

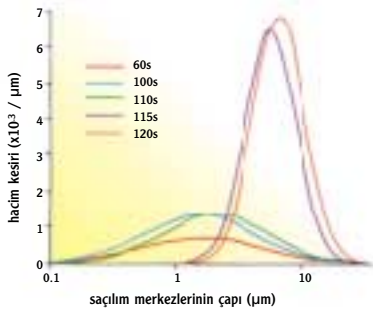
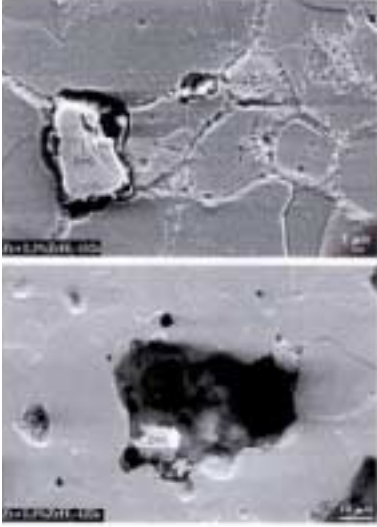
Metal köpüklerin bir başka yararı da, ağır yükler altındaki deformasyonu ilişkilidir. Büyük deformasyonlara maruz kaldığında ve ağ "kamburlaşmaya" başladığında, farklı türlerde katı köpükler, farklı davranışlar gösterir. Poliüretan bir yastıkta dayanaklar, "Euler kamburlaşması" olarak adlandırılan, esnek bir kirişin sıkıştırılmasına uğrar. (Bu, bir şerit metre iki ucundan sıkıştırıldığında gözlenen kamburlaşmanın aynısıdır). Yastık deforme olsa da, üzerindeki yük kalktığında gerçek yapısına döner ve malzeme zarar görmeden kalır. Bunun tam tersi olarak, metal köpükler geri dönülmeyecek biçimde zarar görür.



Katı ve sıvı köpükler gibi karışık halli maddelere, yalnızca laboratuvarlarda ve endüstriyel ortamlarda değil, doğada da rastlanır.

Köpüğün yapıldığı alaşımın türüne bağlı olarak, hücrelerde kırılmalar gerçekleşir, hücreler parçalanmazın biçim değiştirir, ya da daha karmaşık bir deformasyon gösterir. Sonuçta, her durumda da ağırlıklı olarak, doğrusal olmayan etkilerin rol oynadığı belli bir gerilme ortaya çıkar.

Köpüklerin çoğu, kritik sıkıştırma yükü altında, yüksek derecede bir sıkıştırmaya varılana kadar aşamalı olarak çöker. Bu süreç, büyük miktarda mekanik enerji emer. İşte, metal köpükleri çekici kılan ikinci önemli özellik de bu. Metal köpüklerin akış gerginliği, polimer köpüklere göre daha yüksektir. Metal köpüklerin araba teknolojisinde kullanılan metal biçimlendirme ve kaynak yöntemleriyle uyumluluğu da göz önüne alındığında, bugünkü metal köpük araştırmalarına duyulan ilginin nedenini anlamak güç değil. Metal köpüklerin bir bölümü için tasarlanan son, bir kazada ezilmek; modern araç tasarımlarında, yolcuların kazalarda zarar görmesini önlemek için kurban edilen ve çarpışmada çökmesi istenen parçalardan biri olmak. Aslında bu malzeme, yüksek verimli polisteren olarak da adlandırılabilir. Çünkü, örneğin bir santimetreküp alüminyum köpük, gerçek boyunun beşte birine incek kadar ezildiğinde, 10 joule'a kadar mekanik enerji emebilir.



Elektron mikroskopi görüntüleri, şişirici olarak zirkonyum hidrit kullanılarak köpükleştirilmiş çinkoda, gözenek oluşumunun başlangıcını gösteriyor. 110 saniye ısıtıldıktan sonra, ZrH_2 parçacıkları, ortaya çıkan hidrojen gazının oluşturduğu, halka biçimli bir boşlukla çevriliyor. Bundan on saniye sonra, boşluklar, gözle görülür ölçüde büyüyor. Şişirici parçacıklarının çoğu, baloncukların duvarlarında bulunuyor. Baloncuklar, hidrojen gazının metalden yayınına bağlı olarak, parçacıklar yokken de oluşabilir. Çok küçük açılı nötron saçılımıyla ölçülen gözenek sayısı dağılımları da, baloncuk büyümesinin bu görünümünü doğruluyor: Dağılımın fonksiyonu, kısa köpüklenme zamanları için 2 µm çevresinde toplanır, hızlı gözenek oluşumu başlamadan aşamalı olarak yüksek değerlere çıkar.

Çinko, başka metallere karşılaştırıldığında basit bir davranış gösterir; çünkü şişiricinin ayrışma sıcaklığıyla metalin erime noktası neredeyse aynıdır (yaklaşık 420 °C). Bu nedenle, gözenek oluşumu sıvı halde gerçekleşir, ve baloncuklar küresel biçimlidir.

Alüminyumun titanyum hidritle köpüklenmesinde, bu durum farklıdır: Gaz oluşumu, katı halde başlar; böylece başlangıçtaki gözeneklilik daha karmaşık bir morfolojiye sahip olur.

Bunu Gerçekleştirebilir miyiz?

Benjamin Sosnick, 1943 yılında, alüminyumu cıvayla birlikte köpükleştirmeyi denedi. Önce, Alüminyum ve cıva karışımını kapalı bir kaptaki yüksek basınç altında eritti. Basınç kaldırılınca, cıva, alüminyumun erime ısısında buharlaştı ve köpük oluştu.

1950'lerde, sıvı metallerin, önceden akışmazlıklarını artırıcı işlemden geçtiklerinde çok daha kolay köpükleştirilebileceğinin anlaşılmasıyla, daha tehlikesiz işlemler geliştirilmeye başlandı. Akışmazlığı artırma, erimiş kütleyi oksitleştirerek ya da oksit parçacıkları ekleyerek yapılabildi. 1950'lerin sonlarında, Madison-Wisconsin'deki Bjorksten Araştırma Laboratuvarlarından William Elliot ve Stuart Fiedler, ABD Donanması için bir alüminyum köpükleştirme işlemi geliştirdiler. Bunun ardından Bjorksten Araştırma Laboratuvarlarında, yaklaşık 10x20x0,25 santimetrelik paneller üretecek bir pilot fabrika kuruldu. Burada, arabalar için, ezilen tampon yapımı gibi, alüminyum köpüklerin olası kullanımları da araştırıldı. Ayrıca, kurşun ve çinko gibi başka metalleri köpükleştirme yöntemleri üzerine araştırmalar uzun yıllar boyunca sürdürüldü.

İlk yıllarda, metalleri köpükleştirmek için, günümüzde de kullanılan iki yöntem başvuruluyordu. Bunlardan birincisinde, köpük yaratmak için erimiş kütleye sürekli olarak gaz püskürtülür. İkinci yöntemdeyse, erimiş kütleye -plastik köpük endüstrisindeki şişirici maddelere ya da mayaya benzeyen- gaz çıkaran yakıtlar eklenir.

O yıllarda alüminyumun, köpük üretimi için çok uygun bir malzeme olduğu anlaşılıyordu. Örneğin, 1972 yılında, Ethyl şirketi, dikkate değer ölçüde yüksek kaliteli alüminyum köpük üreterek, değerlendirme yapması için Ford Motor Şirketi'ne vermişti. Ancak, metal köpük araştırmalarının başlangıcındaki bu girişimlerin hepsi de başarısızlıkla sonuçlandı. Şüphesiz, enerji kaynaklarının sınırsızlığı gibi görüldüğü o dönem, hafif malzemeler için uygun bir zaman değildi. Öte yandan, güvenlik ve gerikazanım gibi konular da, o yıllarda bugünkü kadar önemli görülüyordu. Belki, bu yeni malzemenin düzensiz doğası da kalite kontrolünde sorunlara yol açıyordu. Her ne nedenle olursa olsun, 1975 yılından sonra, metal köpük araştırmalarında hem heyecan, hem de araştırma geliştirme çalışmalarının sayısı azaldı.

1980'lerin sonundaysa, metal köpük araştırmaları tüm dünyada yeni-

den canlılık kazandı. Shinko Wire adlı şirketten Japon mühendisler, bugün "Alporas işlemi" olarak bilinen işleme yöntemini geliştirdiler. Norveç'teki Norsk Hydro ve Kanada'daki Alcan şirketleri, birbirlerinden ayrı olarak, parçacıkları stabilize edilmiş eriyikler için bir köpükleştirme işlemi geliştirdiler. 1990 yılında, Alman fizikçi Joachim Baumeister, 1950'lerin sonunda United Aircraft şirketinden (ABD) Benjamin Allen'in geliştirdiği sıkıştırılmış toz köpükleştirme işlemi yeniden keşfetti. İlk sıkıştırılan, daha sonra da yeniden eritilerek köpükleştirilen toz karışımlarının kullanıldığı bu yöntem, Almanya'daki Fraunhofer Enstitüsü'nde daha da geliştirildi. Tüm bu işlemler ve başka çeşitlemeler, sürekli geliştirilip iyileştirilerek günümüze kadar geldi.

Metal Köpükleştirmenin Fiziki

Sıkıştırılmış toz karışımlardan metal köpük elde etmek, her biri ayrı birer araştırma konusu olabilecek beş aşamadan oluşuyor.

Ham Karışımın Yapılması: Bunun için metal tozuyla, gaz çıkaran şişirici tozdan oluşan karışım sıkıştırılır. Yoğunluk, her bir şişirici parçacığının metalik odacıkta hapsolacağı kadar olmalı. Çıkan gazın, arta kalan gözeneklerden kaçmasına izin verilmemeli.

Gözenek Oluşumunun Başlangıcı: Isıtılma sırasında, ham karışımın içinde gaz oluşur ve gözeneklerin çekirdeğini oluşturur. Şişiricinin bozunduğu ve alaşımın eridiği sıcaklık değerlerine bağlı olarak, çekirdek oluşumu, katı, yarı katı ya da sıvı halde gerçekleşebilir.

Gözeneklerin Şişmesi: Bozunmakta olan şişiriciden sürekli çıkan gaz sayesinde, çekirdekler büyür ve bir araya gelerek köpüğü oluşturur. Sıcaklık, sulu sıvıların köpükleştirilmesinde genellikle sabit olduğu halde, burada sabit değildir; çünkü karışım ara vermeden ısıtılır.

Köpüklerin "İndirilmesi": Gözenekler şişirilirken, köpükler inmeye başlar. Yerçekiminin etkisiyle sıvının Plateau kenarlarından aşağı akması,

drenaja neden olur ve zarlar inceleşip kararsız hale gelirken baloncuklar birleşir.

Katılma: Kararsız durumdaki köpüğün çökmesini önlemek için, metalin doğru zamanlamayla ve hızla katılaştırılması gerekir. Hızlı soğutma, zarların biçimlerinin bozulmasına ya da hücre duvarlarında çatlaklar oluşmasına neden olabilir; özellikle de sıcaklık akışı düzgün değilse. Çökmeyi önlemek amacıyla, ısı çıkışını hızlandırmak gerekiyor. Bunun tek yoluysa, drenajı azaltmak; yani akışmazlığı artırmak. Zaten, ticari işlemlerde kullanılan katkı maddelerinin en önemli rolü, akışmazlığı artırmak. Bu katkıların genellikle, iyice dağıtılmış, sıvının içinde katı olarak kalan ve sıvıyı büyük oranda akışmaz kılan, oksitler ya da karpitler gibi metal olmayan parçalardan oluşuyor. Akışmazlığı artırmak için başvurulan bir başka yolsa, erimiş kütlede belli sıcaklıklarda "çamurumsu", yarı-katı özellikte olduğu alaşım kompozisyonlarını kullanmak. Bunlardan en çok tercih edilenler, alüminyum-silikon ya da alüminyum-magnezyum alaşımları. Katkıların, akışmazlığı artırmanın yanı sıra, çözülmemiş oksijenle birlikte kılcal aktif cisim rolü de oynadığı sanılıyor. Ancak, bu davranış henüz tam olarak anlaşılammış; bu nedenle, ince zarları, varsayımsal kılcal aktif cisimlerin dengelediği düşünülüyor.

Yerçekimine bağlı olarak gerçekleşen drenaj oluşumu, metal köpük yapımını zamana karşı girişilen bir mücadeleye haline sokabiliyor. Bu nedenle de, uzaydaki mikrogravite ortamı, metal köpük deneyleri için geleceği parlak, yeni bir boyut sunuyor. Daha şimdiden bazı parabolik uçuşlarda deneyler yapılmış; ancak, Avrupa Uzay Ajansı'nın desteklediği araştırmacılar, gelecekte bu deneyleri Uluslararası Uzay İstasyonu'nda gerçekleştirmeyi planlıyorlar.

Metal Köpüklerin Geleceği

Metal köpük araştırmalarının yeniden canlandığı dönemde, daha güvenilir ve daha homojen köpükler üretilmeye başlandı. Son gelişmelerden biri de, Avusturya'daki Light Metal



Alman araba yedek parça firması Wilhelm Karmann ve Berlin'deki Fraunhofer Enstitüsü'nün geliştirdiği alüminyum köpük sandviç parçalarından biri. İki alüminyum tabaka arasında köpükleşmiş alüminyum göbekten oluşan düz bir sandviç panel. Bu teknolojiye, herhangi bir katkı kullanmaksızın daha karmaşık şekiller de üretmek mümkün.

Competence Center ve Hütte Kleinreichenbach'tan Dietmar Leitmeier ve arkadaşlarının, seramik parçacıklarıyla dengelenmiş, çok düzgün, bir örnek alüminyum köpük yapılar üretmenin yeni bir yolunu bulmaları oldu. Araştırmacılar, bunun için yeni bir baloncuk üretme aygıtı geliştirdiler. Ürettikleri köpükleştirilmiş malzemenin ticari adı "Combal".

Günümüzde metal köpükler, bir çok yeni uygulama alanında kendine yer edinmeye başladı. Yeni çıkan bir tasarım rehberi, uygulamaları değerlendirmek için kapsamlı bir çerçeve sağlıyor. Son konferansların yayınları ve metalik formlarla ilgili yeni bir el kitabı, metal köpüklerin, otomotiv, uzay, denizcilik, demiryolu, inşaat, yapı mühendisliği ve tıp endüstrisi gibi alanlarda kullanılma olasılıklarını gözler önüne seriyor. Örneğin, sertlik-ağırlık oranı, titreşimi söndürme kapasitesi ve ateşe dayanıklılık özelliği nedeniyle, gemi yapımında, kapılar, ambar kapakları ya da duvarlarda, büyük alüminyum köpük panellerin kullanımı tercih edilebilir. Endüstriyel ortamlarda, dönen baskı rulolarında, makinelerdeki çabuk hareket eden platformlarda ya da çapraz kirişlerde, süredurumu ve titreşimi azaltmak için, metal köpükle doldurulmuş kolonlar ya da sandviç paneller, geleneksel yoğun metallerin yerini alabilir. Titanyumlu köpükler, titanyumun biyolojik malzemeyle

uyumluluğu ve köpüğün elastik özelliklerinin uygun gözeneklilik seçimiyle kemiklerin sabit değerine uyarlanabilmesi sayesinde, biyomedikal endüstrisinde, diş implantasyonlarında da kullanılabilir. Metal köpük araştırma-geliştirme çalışmalarının en etkin olduğu alansa otomotiv endüstrisi. Örneğin, Alman araba yedek parça firması Wilhelm Karmann ve Berlin'deki Fraunhofer Enstitüsü, ortaklaşa olarak bir köpük sandviç teknolojisi geliştirdi. Bu tür parçalar, hem hasara karşı toleranslı, hem de arabaların alüminyum çerçevesine eklenmeye uygun.

Metal köpükler bugün, sınama aşamasındaki prototipler arasındaki yerini çoktan almış durumda. Alüminyum köpük sandviç teknolojisi üzerine çalışmalar, bundan yaklaşık sekiz yıl önce başladı. Yeni bir teknolojinin laboratuvarında bir merak olarak ortaya çıkmasından, pazarlanabilir bir ürün haline gelmesinin genellikle yaklaşık 15 yıl aldığı düşünülürse, önümüzdeki birkaç yılda alüminyum köpük sandviçin de evrimini tamamlayacağı ortada. Bu gerçekleşmezse, endüstri ve bilimsel çevreler metal köpüklere olan ilgilerini bir kez daha yitirebilirler. Ancak, şimdilik metal köpüğün önündeki bütün yollar açık görünüyor.

Kaynak: John Banhart & Denis Weaire, "On the road again: Metal foams find favor". Physics Today, Temmuz 2002.

Çeviri: Aslı Zülâl