

## METALİK KÖPÜK MALZEMELERİN OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILMASI

*Ozan AVARISLI, Agah UĞUZ*

*Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi*

*Teknoloji ile paralel olarak gelişen otomotiv sektöründe malzeme bilimi önemli bir yer tutmaktadır. Üreticiler, daha hafif ancak daha mukavemetli konstrüksiyonlar elde etmek için maliyeti çok yüksek araştırmalar yapmaktadırlar. Bu durumun ışığında metalik köpük (hücreli) malzemeler önemli bir çözüm kaynağı olarak ön plana çıkmaktadır. İç yapının köpük şeklinde olması darbe yönünü dikkate almadan yüksek darbe enerjisini sönmemesini ve aynı zamanda hafifliği sağlamaktadır. Ayrıca metalik köpük malzemelerin çeşitli mekanik özellikleri polimerik köpük malzemelere kıyasla çok üstündür. Yüksek sıcaklık dayanımı ve yüksek sıcaklarda yapısını koruması buna örnek olarak verilebilir. Bu çalışmada, metalik köpük malzemelerin ana hatlarıyla fiziksel yapısı, mekanik özellikleri, kullanım alanları, üretim aşamaları ve otomotiv endüstrisindeki uygulamaları incelenmiştir.*

**Anahtar sözcükler :** *Metal köpük yapılar, alüminyum köpük malzemeler, hücreli metaller, otomotiv endüstrisi*

*Material science has an important role in technologically developing automotive industry. To obtain light as well as reinforced construction, manufacturers make very expensive researches. In this manner, metallic foam (cellular) materials can be used in many situations as a good solution to some problems. Foam type of inner structure, no matter where the impact comes from, provides damping of high impact energy and at the same time gives lightness of structure. Moreover mechanical properties of metallic foam materials are better than polymeric foam materials. High thermal durability can be given as an example. In this text, physical structure of metallic foam materials, mechanical properties, application areas, production steps and applications in automotive industry are researched.*

**Keywords :** *Metal foam structures, aluminum foam materials, cellular metals, automotive industry.*

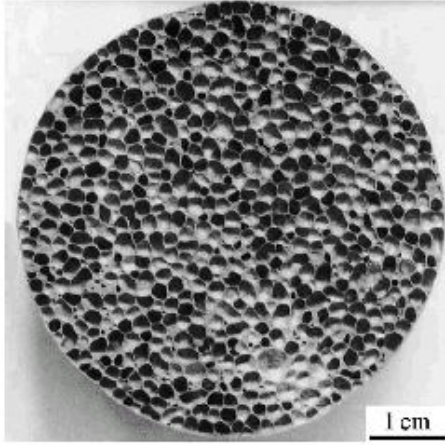
*17-18 Ekim 2003 tarihinde Bursa'da düzenlenen "VIII. Otomotiv ve Yan Sanayii Sempozyumu"nda bildiri olarak sunulmuştur.*

### METALİK KÖPÜK YAPILAR

Çok iyi bilinmektedir ki, gözenekli yapılar yalıtım, kaplama veya filtreleme işlemleri için kullanışlı malzemelerdir. Fakat yapısal uygulamalarda çok yararlı ve verimli olabileceğine inanılmaz. Yük taşıyan yapılarda (kirişler, metalik parçalar) bulunan poroziteyi azaltmak için binlerce bilimsel çalışma yapılmıştır. Buna ek olarak döküm, toz metalürjisi, kaynak ve kaplama işlemleri sonucunda üretilmiş parçalar üzerinde poroziteyi azaltma çalışmaları büyük bir hızla devam etmektedir. Bu

düşüncelerin ışığında yük taşıyan malzemelerin yapısında büyük gözeneklerin, hataların olmadığını kabul etmek oldukça zordur. Büyük doğal yapılar ise Şekil 1.'deki gibi gözenekli malzemelerdir ve binlerce yıldır bulunmaktadır.

Gözenekli ve köpük yapılar taşıyacakları yük dikkate alınarak seçilmelidir. Metal köpük yapılarla diğer malzemelerin köpük yapıları arasında mekanik özellikler açısından farklar vardır. Polimer malzemeler yeterli derecede rijit değildir ve seramik malzemeler de çok kırılabilir bir yapıya sahiptirler. Bu nedenle metalik köpük yapıları kullanmak doğru bir seçim olarak görülmektedir.[1,2]



*Alaşım Köpük Yapı. (Mikrofilm)*

<b>Metalik</b>	<b>Köpük</b>	<b>Yapıların</b>	<b>Özellikleri</b>
<p>Metalik köpük yapılar polimerik olanlarına kıyasla daha katı bir yapıya sahip, yüksek sıcaklıklarda iç yapısını daha iyi koruyabilen (stabil), sıcaklık direnci yüksek olan ve yüksek sıcaklıklarda toksit gaz oluşturmayan yapılardır. Tamamen geri çevrilebilen malzemeler olup çevreye herhangi bir zarar vermezler. En önemli avantajları ise ağırlıklarının düşük olmasıdır. Bunun yanında yönden bağımsız olarak darbe ve titreşim sönümleyebilmesi, elektromanyetik kalkan özelliği olumlu özellikleridir. Önemli termal özelliklerinden bahsederseniz, sırasıyla: ergime noktaları, özgül ısıları, ısı genleşme katsayıları, ısı iletimi ve yüzey geçirgenliği, ateş ve ısı şok dayanımlarıdır. Ergime noktaları aşağı yukarı o alaşımınkiyle aynıdır. Bununla birlikte malzeme yüzeyi çoğunlukla bir oksit tabaka ile kaplıdır. Bu tabaka sayesinde ergime noktası oldukça yüksektir. Bu tabaka yüzeydeki gözenek boyutlarını (çaplarını) düşürmesine rağmen gözenek sayısının artmasına sebep olur. Tabakanın kalınlaşması gözenekli yapıyı destekler ve ergime sıcaklığını üst değerlere çeker. Eğer malzeme yeterli bir zaman süresince havada ya da bir oksit banyosu içerisinde ısıtılırsa tabaka daha fazla kalınlaşır ve daha stabil bir hal alır. [2]</p>			

Özgül ısıları önemli ölçüde düşüktür. Bu özellikleri düşük ısı kapasitenin istendiği uygulamalarda en önemli malzeme olmalarını sağlar. Isıtma ve soğutma sistemleri buna iyi birer örnektirler. Isıl şok dayanımları normal bir iç yapıya sahip malzemeye kıyasla yüksek, ısı iletimi ise düşüktür.

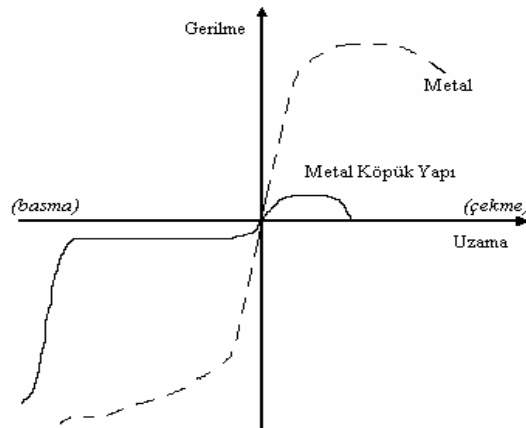
Tablo 1. 'de, çeşitli firmaların ürettiği Al köpük malzemelerin teknik özellikleri verilmiştir. Aşağıda verilen parametreler ise yapısal hassasiyet özelliği açısından dikkate alınmış ve önem derecesine göre sıralanmışlardır:[1]

*Tablo 1. Ticari Metalik Köpük Malzemelerin Bazı Özellikleri.*

Özellikler	Cymat	Alulight	Alporas	ERG	Inco
Malzeme	Al - SiC	Al	Al	Al	Ni
İzafi yoğunluk, $\rho / \rho_0$	0.02 - 0.2	0.1 - 0.35	0.08 - 0.1	0.05 - 0.1	0.03 - 0.04
Yapı	Kapalı Hücre	Kapalı Hücre	Kapalı Hücre	Açık Hücre	Açık Hücre
Young Modülü $E [MPa]$	0.02 - 2.0	1.7 - 12	0.4 - 1.0	0.06 - 0.3	0.4 - 1
Poisson Oranı, $\nu$	0.31 - 0.34	0.31 - 0.35	0.31 - 0.36	0.31 - 0.37	0.31 - 0.38
Basma Mukavemeti $\sigma_c [MPa]$	0.04 - 7.0	1.9 - 14.0	1.3 - 1.7	0.9 - 3.0	0.6 - 1.1
Çekme Mukavemeti $\sigma_T [MPa]$	0.05 - 8.5	2.2 - 30	1.6 - 1.9	1.9 - 3.5	1.0 - 2.4
Kırılma Tokluğu $K_{IC} [MPa.m^{1/2}]$	0.03 - 0.5	0.3 - 1.6	0.1 - 0.9	0.1 - 0.2	0.6 - 1.0
Isıl İletkenliği $q [W / m.K]$	0.3 - 10	3.0 - 35	3.5 - 4.5	6.0 - 11	0.2 - 0.3

- İç yapı özellikleri
- İzafi yoğunluk
- Gözenekli yapının tipi (açık ya da kapalı hücre)
- Kütle dağılımındaki düzensizlikler
- Hücre boyutu ve dağılımı
- Hücrelerin şekli ve anizotropisi
- Hücrelerin birbirleriyle olan bağlantısı
- Bükülmüş ya da kırılmış hücre duvarlarındaki hatalar

Hüresel malzemeler genellikle sünektir (Şekil 2). Grafiğe bakıldığında köpük yapı, katı metalik yapıda açık bir şekilde karşılaşılmayan bir lineer elastik bir davranış göstermektedir. Sertleşme kısmından sonra çekme gerilmesi tarafında maksimum gerilme küçük uzamalara karşılık gelir (genellikle %1-4). Katı metallerle kıyasla çok küçük miktarlardır.

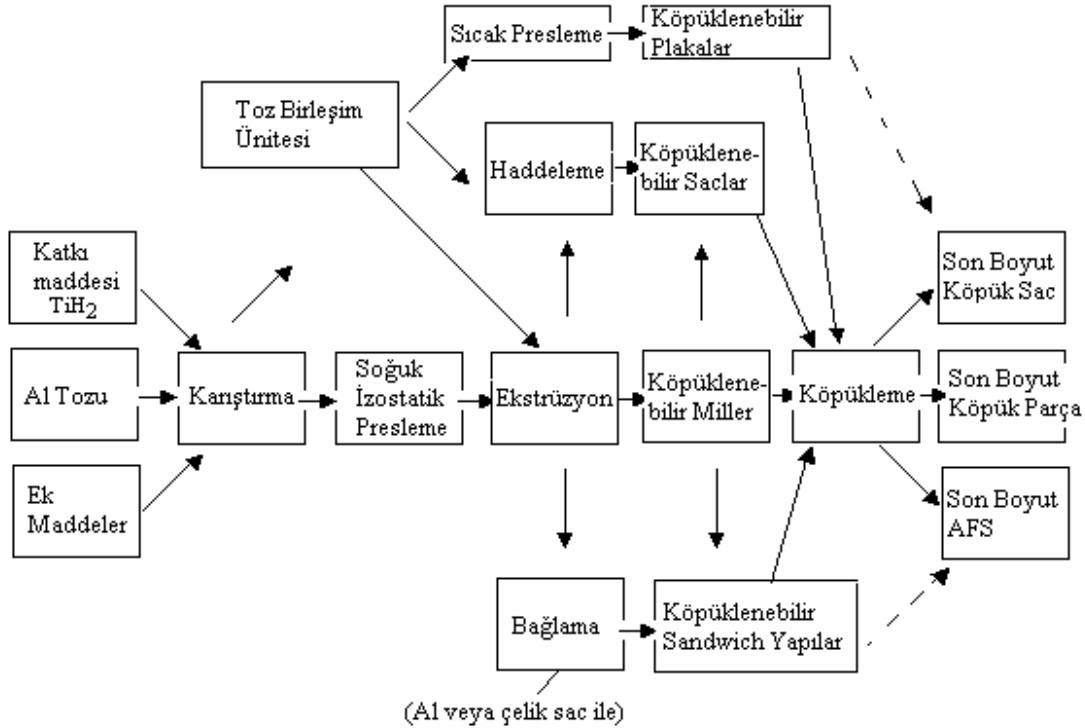


Şekil 2. Metal ve Metalik Köpük Yapının Gerilme - Uzama Davranışlarının Kıyaslanması

### Metalik Köpük Üretiminin Başlıca Temelleri

Hücre sel malzeme üretiminde birçok farklı yol bulunmaktadır. Geçmiş yıllardan beri popülaritesi artan ve şu anda da kullanılmakta olan bir yöntem mevcuttur. Bu yöntem "Toz Metalurjisi Tekniği" diye tanımlansa da, "Sıkılaştırılmış - Toz Köpükleme Tekniği" ismi daha uygundur.

Bu teknik alüminyumun veya alüminyum alaşım tozlarının uygun katkı maddesi (foaming agents) ile karıştırılmasını içermektedir. Toz karışımı sıcak presleme (HIP), ekstrüzyon ya da haddeleme yöntemleri ile sıkı bir yapı haline getirilir. Daha iyi haddeleme ve ekstrüzyon elde etmek amacıyla alternatif olarak toz karışımı soğuk da sıkıştırılabilir (Şekil 3.).



Şekil 3. Sıkılaştırılmış - Toz Köpükleme Tekniği ile Metalik Köpük Malzeme Üretimi

Tablo 2. Sıkılaştırılmış - Toz Köpükleme Metodunun Tipik Özellikleri

(Avantaj ve Dezavantajları).

Avantajlar	Sorunlar	Dezavantajlar
Sabit şekilli köpükleme yapılabilir	Gözenek yapısının düzensizliği	Toz maliyeti

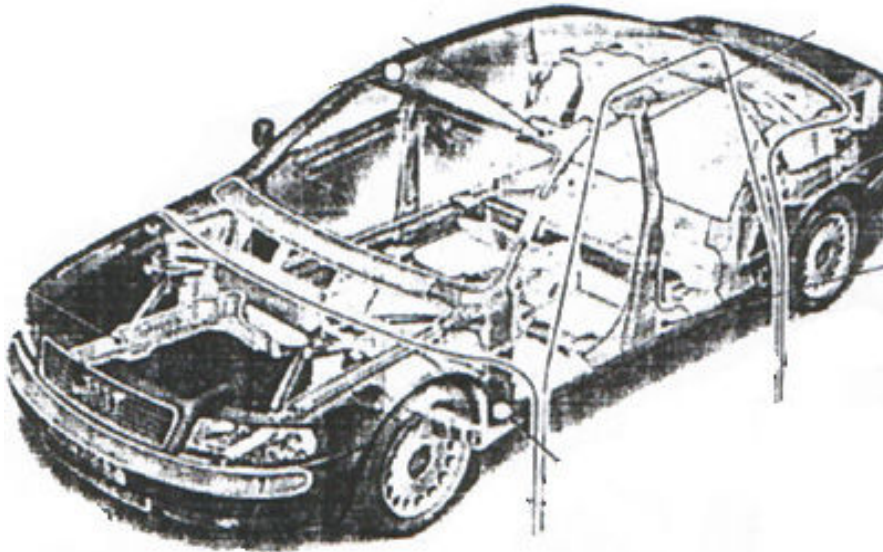
Kompozitler üretilebilir	Süreç Kontrol işlemini geliştirme zorunluluğu	Çok geniş hacme sahip parçalarda uygulamak zor
Paçalar bir metal yüzey ile kaplanır	(geçirgenliği olan) Deliklerin oluşumu	Kaplama süreci sonunda sızdırmazlık gerekir

Sıkılaştırılmış - Toz Köpükleme Tekniği'nin çeşitli avantajları ve dezavantajları Tablo 2.'de verilmiştir. (Tablonun ikinci kolonunda Al köpük malzeme üretimi sırasında karşılaşılan bazı sorunlara değinilmiştir).

## METALİK KÖPÜK MALZEMELERİN OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANIMI

Metalik Köpük malzemelerin maliyet ve kazanç ilişkisini, kullanım alanlarını dikkate alarak tanımlamak gerekir. Bir araba üretiminde, bu malzemeler yüksek maliyetli çözümleri (yüksek verimlilikle) getirirken, havacılık sektöründeki gelişmeler başka yollar üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Şu zamana kadar, otomotiv endüstrisinde birçok uygulamalar yapılmasına rağmen Al bazlı köpük malzemeler henüz seri üretimde kullanılmamıştır. Al malzemelerin kullanılan metotlar sonucunda çeşitli birleştirme, tolerans ve aşınma sorunları olması sebebiyle, çoğunlukla araçların gövdeleri demir esaslı malzemelerden yapılmaktadır. Bu nedenle Al köpük malzemeler maliyet bütçelerine katılmamaktadırlar.

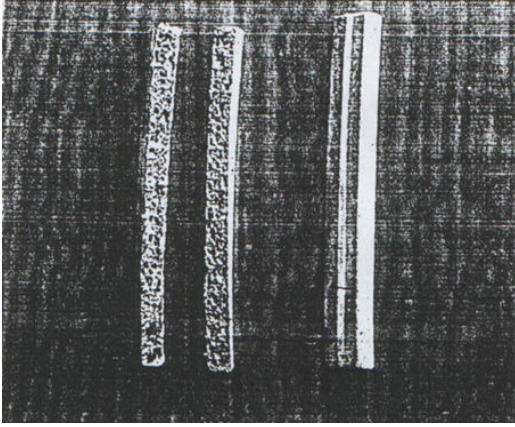


Şekil 4. Audi A8 Üzerinde Kullanılan Yapısal Köpük Malzemeler

Yalnızca taşıtlarda aşınmaya meyilli olan bölgelerde ya da alüminyum gövdelerin iç yapılarında kullanılmaktadır. Yüksek ısıl gerilmelere maruz kalan elemanlarda kompleks metalik köpük malzemeler kullanılırsa, ısıl kalkan görevi gören parçalar gibi, minimum kalınlık 8 mm 'in üzerinde olması gerekir. Bu nedenle (ağırlık sorunu sebebiyle) uygun yapılar değildirler. Akustik etkisine baktığımızda, etkileyici bir miktarda düşük maliyetlere sahip çeşitli organik yalıtım malzemelerle yarışacak durumdadır. Duruma farklı bir açıdan baktığımızda, plastik tabanlı metalik köpük yapılar araba üretiminde sayısız uygulamalarda bulunabilir. Audi A8 gövdesinde gösterildiği gibi (Şekil 4.) karoseri üzerinde birçok noktada yapısal köpük parçalar bulunmaktadır.

Kendine mahsus özelliklerinden dolayı metalik köpük malzemeler darbe enerjisini absorbe edici elemanlar olarak düşünülebilir. Köpük tipine (STKT ya da eriyik-tabanlı köpükler), alaşıma ve yoğunluğa bağlı olarak enerji absorbe etme davranışı belirli bir aralıkta değiştirilebilir. Bu özellik, metalik köpük yapıları arabalarda, kamyonlarda, trenlerde ve tramvaylarda çarpışma elemanı olarak kullanabileceğimiz bir aday malzeme yapar. [2,3]

Bu özelliklerinden dolayı araba üreticileri yaptıkları testlerle metalik köpük yapıları denemektedirler. Avusturyalı bir araba üreticisi, Steyr Daimler Puch, yaptığı bir testte A-kolonunda kullandığı orijinal absorbe elemanı yerine Şekil 5.'de görülen Al köpük absorbe elemanı kullanmış ve üst darbe testine tabi tutmuştur.

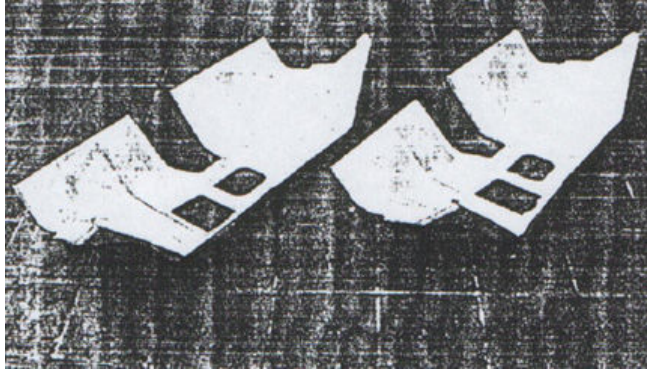


*Şekil 5. A Kolonu Absorbsiyon Elemanı*

Şekil 6. da absorbe edici köpük eleman görülebilir. Bazı yapısal parçalar, yapıların orta ya da ön panelleri, bu malzeme için yapılabilir uygulamalardır. 1995 yılında DaimlerChrysler tarafından yapılan birkaç prototip parça, araç orta paneli, Şekil 6. 'da görülmektedir. Bu bilgilere ek olarak Al köpük malzemelerin genel bir özet olarak kullanıldığı yerler ve ne amaçla kullanıldığı Tablo 3. 'de görülebilir.[1]

İlk ve en önde gelen düşünce olarak bakıldığında, hücresel malzemelerin taşıt teknolojisinde daha fazla kullanılabilmesi için malzeme kalitesinin artırılması gerekmektedir. Etkili bir maliyet tabanlı birleştirme metodu geliştirmek için, çelik paçalarda korozyona karşı yapılan koruma çalışmaları gibi, harcanacak çaba önemlidir. Daha ileri senelerde yapılacak çalışmalarla minimum

kalınlık ve üretim maliyetleri elde edilerek polimer bazlı çalışmalarla yarışabilecek duruma gelecektir.



Şekil 6. Al Köpük Malzemedan Yapılmış Ön Panel

Tablo 3. Uygulanabilir Al Köpük Malzeme Örnekleri

Prototip Parça (Al köpük malzeme)	Uygulama Alanı	Mekanik Özellik
Plakalar	Talaşlı imalat, mimari yapılar,	Ağırlık, tasarım
Silindirler, küpler	Yedek araba parçası	Darbe enerjisi absorpsiyonu
Tüp	Fiziksel araştırmalar	Fiziksel özellikler: iletkenlik, gözeneklilik
Maçalar, küpler ve conta	Dökümhanelerde, maça dökümlerinde	Döküm koşulları, ağırlık, enerji absorpsiyonu
Sıkı yapısal parçalar	Otomotiv endüstrisi, elektriksel uygulamalar, koruyucu kaplamalar	Rijitlik, Sönümlenme, ağırlık
Yapısal parçalar	Plakalar (otomotiv parçalarında) (DaimlerChrysler, Opel)	Rijitlik, Sönümlenme davranışı
Yapısal parçalar	Otomotiv parçaları (sunroof )	Rijitlik, ağırlık
Yapısal parçalar	Gemiler, sandallar, yatlar	Ağırlık
Sandviç yapılar	Taşımacılık, raylı taşıtlar	Rijitlik
Sıkı yapısal parçalar	Silahlar (kabza)	Ağırlık
Köpük malzeme ile doldurulmuş profiller	Motor bağlantıları (CRFiat), yapısal araba parçaları, raylı taşıtlar, uçaklar, yel değirmenleri	Çarpışma davranışı
Köpük malzeme ile doldurulmuş profiller	Takım tezgahlarında, inşaat endüstrisinde, robotlardaki destek elemanlarında	Sönümlenme özellikleri
Sıkı yapısal parçalar	Sanatsal uygulamalar, tasarım	Görünüm



*Şekil 7. Al Köpük Malzemedan Yapılmış Darbe Emici Parça*

## SONUÇ

Otomotiv endüstrisinde, pasif güvenlik sistemleri göz önüne alındığında en önemli unsur taşıt tasarımıdır. Çok önemli olan bu özellik tasarımcıları yeni yapısal çözümlere ve malzemelere yönlendirir. Bu bağlamda Al köpük yapılar hücre malzemelerin getirdiği olumlu özellikleri de bir araya katarak yeni bir malzeme sınıfı oluştururlar.

Günümüzün taşıtları deforme olabilen ve enerji absorbe edebilen parçalarla üretilmektedir. Bu parçalar yolcu kabininin korunması için çarpışma enerjisini absorbe ederler. Düşük hızlardaki (3-5 km/saat) çarpışmalar düşünüldüğünde, klasik üretim sonucunda elde edilmiş yapılar yeterlidir.

Bu hız değerleri aşıldığında taşıt karoserisi plastik deformasyona uğrar. Karoseri ile tampon arasına koyulacak, darbe ve çarpışma enerjisini emici, parçalar (Şekil 7). Hız sınırını 15 km/saat civarlarına çeker. Bir insan yürüyüşünün ortalama 6 km/saat olduğu düşünüldüğünde asıl dikkat edilecek parametre, yolcu güvenliği değil, taşıtın ucuz ve kolay tamir edilebilmesidir. Bu noktada köpük yapılar olumlu mekanik özellikleri sayesinde devreye girerler.[4]

Metalik köpük malzemelerin yakın gelecekte güncel hayatımıza gireceği ve hatta çok daha geliştirilerek savunma sanayiinde kullanılacağı kesindir. Yapılan araştırmalar ve bunların sonucunda elde edilen sonuçlar geleceğe ışık tutmaktadır.[4]

## KAYNAKÇA

1. Hans-Peter Degischer, Brigitte Kriszt, "Handbook of Cellular Metals", Wiley-vch, 2002
2. Yi Feng, Haiwu Zheng, Zhengang Zhu, Fangqiou Zu, "The Microstructure and electrical conductivity of aluminium alloy foams", Material Chemistry and Physics, 78 (2002) 196-201
3. Franz Miller, "Lightweight Construction", Fraunhofer Magazine, 1/2.2003
4. Antonio Fuganti, Lorenzo Lorenzi, Arve Gondsund Hanssen, Magnus Langseth, "Aluminium Foam for Automotive Applications", Advanced Engineering Materials, 2000, 2, No.4