IMSMATEC

The International Conference on Materials Science, Mechanical and Automotive Engineerings and Technology in **TURKEY**
24 th - 26 th JUN 2020

Proceedings

June 24-26, 2020

www.imsmatec.org



NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
2007

Editors
Prof. Dr. Bülent KURT
Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA
Doç. Dr. Zahide BAYER ÖZTÜRK
Dr. Nilüfer KÜÇÜKDEVECİ



BİLDİRİLER KİTABI

Bu kitapta yayınlanan bildirilerin aynen yayınlanması, yazarından ve editörden yazılı izin almak koşuluyla mümkündür. Alıntı için kaynak göstermek yeterlidir.

PROCEEDINGS

Publication of the communiques issued in this book is possible provided that written approval of the author and editor are taken. Given reference is sufficient for extraction.

Bu bildiri kitabı aşağıdaki adresten edinilebilir.
This notification book can be requested from address below.

CONFERENCE SECRETARY / KONFERANS SEKRETERİ

MSc. Eng. Yusuf KARACA

Technical Teach. Murat BAŞAR

Nevşehir Haci Bektas Veli University
Engineering-Architecture Faculty
Metalurgy and Material Engineering
2000 Evler Mah. Zübeyde Hanım Cad. 50300/Nevşehir/TÜRKİYE
Phone: +90 384 228 10 00 (15049)
+90 537 059 17 40
Fax: +90 384 228 10 37
Email: imsmatec@gmail.com

IMSMATEC'20 VİDEOKONFERANS PROGRAM

24 JUN 2020-24 HAZİRAN 2020	
10:00	**OPENING CEROMONY/AÇILIŞ TÖRENİ**
	İstiklal Marşı ve Saygı Duruşu/ National Anthem and Stance of Respect
	Sempozyum Başkanı Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA'nın Konuşması/ President of the Symposium Assoc. Dr. Speech by Cemal ÇARBOĞA
	Mühendislik /Mimarlık Fakültesi Dekanı Prof. Dr. Aslıhan KARATEPE' nin Konuşması/ Dean, Faculty of Engineering / Architecture Dr. Speech of Aslıhan KARATEPE
	Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Rektörü Prof. Dr. Semih AKTEKİN'in Konuşması/ Rector of Nevsehir Hacı Bektas Veli University Dr. Speech of Semih AKTEKİN
Session Chairman /Oturum Başkanı: Prof. Dr. Recai KUŞ	**HALL 1 / SALON 1**
10:20-10:40	**INVITED SPEAKER:** Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENOĞLU / *Low temperature nitriding of steels*
10:40-11:00	**INVITED SPEAKER:** Prof. Dr. Jamal FAJOUI / *Neutron and X-ray diffraction measurements to explore the influence of thermal, mechanical and thermomechanical loadings on the FCC retained phase of two phase HCP/FCC cobalt*
11:00-11:20	**INVITED SPEAKER:** Prof. Dr. Bülent BOSTAN / *Şekil Hafızalı Alaşımlar*
11:20-11:40	**INVITED SPEAKER:** Prof. Dr. Mohamed KCHAOU / *Performance of friction materials for automotive braking: challenge of the manufacturing process*
11:40-12:00	**INVITED SPEAKER:** Prof. Dr. Ping Xiao
12:00-13:00	**ÖĞLE ARASI/ LUNCH BREAK**
Session Chairman /Oturum Başkanı: Prof. Dr. Bülent KURT	**HALL 1 / SALON 1**
13:00-13:20	**DİZEL MOTORDA ENJEKTÖR PÜSKÜRTME AÇISI VE SİLİNDİR İÇİ DÖNGÜ ORANININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ** Öncel ÖNCÜOĞLU, Ferhat EKİN
13:20-13:40	**HYGROTHERMAL EFFECT ON THE STIFFNESS DEGRADATION OF CRACKED COMPOSITE LAMINATES WITH DIFFERENT OFF-AXIS ANGLES** Mohamed Khodjet-kesba, A. Benkhedda, E.A. Adda bedia, B. Boukert
13:40-14:00	**SHAPE-STABILIZED N-OCTADECANE/*x*-ALUMINA COMPOSITE PHASE CHANGE MATERIALS FOR THERMAL ENERGY STORAGE** Mehmet Selçuk Mert, Hatice Hande Mert
14:00-14:20	**YALIN ALTI SİGMA TEKNİĞİ VE SEKTÖREL UYGULAMASI** Cenk Akan, Levent Urtekin
14:20-14:40	**AL-B_4C-GRAFEN HİBRİT KOMPOZİTLERİN TOZ METALÜRJİSİ YÖNTEMİYLE ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU** Mahmut Can Şenel
14:40-15:00	**FABRICATION AND CHARACTERIZATION OF AL-AL2O3-GRAPHENE HYBRID COMPOSITES BY POWDER METALLURGY METHOD** Mahmut Can ŞENEL, Mevlüt GÜRBÜZ
15:00-15:20	**DENİZCİLİK SEKTÖRÜNDE KULLANILAN SANDVİÇ KOMPOZİT PANELLERDE OLUŞAN HASARLARIN VE ONARIM YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ** Mehmet Özer, T.Kerem Demircioğlu, Fatih Balıkoğlu, Can Çivi
Session Chairman /Oturum Başkanı: Assist Prof. Dr. Nilüfer KÜÇÜKDEVECİ	**HALL 2 / SALON 2**
13:00-13:20	**THE EFFECTS ON ENGINE PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSION PARAMETERS OF WASTE COOKING OIL - BIOETHANOL BLEND IN A DIESEL ENGINE AS FUEL** İlker Örs, Murat Ciniviz and Bahar Sayın Kul
13:20-13:40	**THE PLACE IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY OF METALLIC FOAM MATERIALS** Nuray BEKÖZ ÜLLEN, Gizem KARABULUT
13:40-14:00	**MAGNESIUM ALLOY APPLICATIONS IN AUTOMOTIVE STRUCTURES** Nuray BEKÖZ ÜLLEN, Gülben BABA
14:00-14:20	**FREN AŞINMA PARTİKÜLLERİNİN MİKRO YAPI ANALİZİ** Bekir GÜNEY
14:20-14:40	**DETERMINATION OF DESIGN PARAMETERS FOR HOMOGENEITY OF REFLECTORS USED IN AUTOMOTIVE LIGHTING FUNCTIONS** Hatice Özbek, Ahmet Rodoplu, Caner Çil
14:40-15:00	**OPTIMISATION OF A VEHICLE ENGINE HOOD HINGE**

THE PLACE IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY OF METALLIC FOAM MATERIALS

METALİK KÖPÜK MALZEMELERİN OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDEKİ YERİ

Nuray BEKÖZ ÜLLEN, Gizem KARABULUT
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye
E-mail: nbekoz@istanbul.edu.tr
E-mail: gizzemkarabulut@gmail.com

Özet

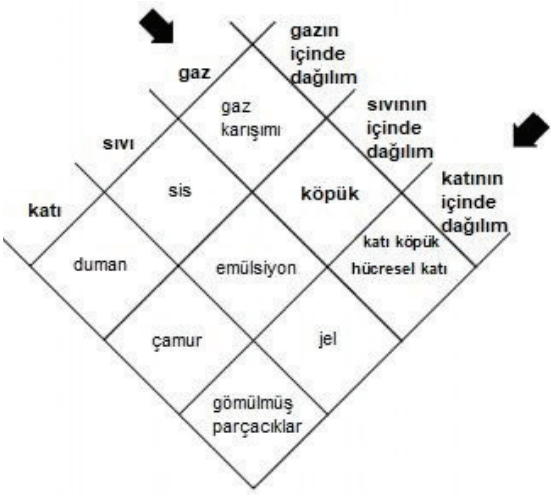
Metalik köpük yapılar rijitlik, hafiflik ve tokluk özelliklerini bir arada göstermesi sayesinde birçok yapısal ve işlevsel uygulamada tercih edilmektedir. Metalik köpükler başlıca kara, hava ve deniz ulaşım araçlarında, inşaat sektöründe, asansörlerde, zırh ürünlerinde ve biyomedikal uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu çalışmada otomotiv sektöründe kullanılan metalik köpükler ele alınmıştır. Otomotiv sektöründe metalik köpüklerin kullanımı sayesinde aracın ağırlığının düşürülmesinin yanında darbe dayanımı da sağlanmaktadır. Bu sayede yolcu güvenliği sağlanarak aynı zamanda harcanan yakıt miktarı düşürülebilir. Harcanan yakıt miktarının azaltılması çevresel ve ekonomik açıdan yarar sağlamaktadır. Otomotiv parçası olarak metalik köpüklerin; çarpışma ihtimalinin fazla olduğu bölgeler olan ön ve arka panellerde uygulama alanı bulunmaktadır. Bu bölgelerde geleneksel olarak kullanılan parçalar yerine metalik köpükler kullanıldığında ağırlıkta önemli bir azalma gerçekleşmektedir. Bu çalışmada yapılan son çalışmalar ışığında, metalik köpüklerin otomotiv sektöründeki yeri ve geleceği ele alınmıştır.
Anahtar kelimeler: metalik köpükler, otomotiv sektörü, hafiflik, darbe dayanımı, çevre dostu

Abstract

Metallic foam structures are preferred in many structural and functional applications due to rigidity, lightness and toughness. Metal foams are mainly used in land, air and sea transportation vehicles, construction industry, elevators, armor products, biomedical applications. In this study, metal foams in the automotive industry were researched. Thanks to the use of metallic foams in the automotive industry, impact resistance is provided besides reducing the weight of the vehicle. In this way, the amount of spent fuel can be reduced by providing passenger safety. Reducing the amount of spent fuel benefits environmentally and economically. Metallic foams as automotive parts; there are applications on the front and back panels, which are the regions where the possibility of collision is high. When using metallic foam instead of the traditionally used part in these regions, a significant reduction in weight occurs. In the light of recent studies in this study, metallic foams, its place in the automotive industry and its future location were discussed.
Keywords: metal foams, automotive industry, lightness, impact resistance, environmentally friendly

1. Giriş

Teknolojideki gelişmeler malzeme ve malzeme bilimindeki gelişmeleri de beraberinde getirmektedir. Hafif ve dayanıklı malzeme ihtiyacı oluşmasıyla gözenekli yapılar dikkat çekmiştir. Gözenekli yapıya sahip malzemelerin, düşük özgül ağırlıkla birlikte yüksek sertlik, yüksek termal iletkenlik, yüksek gaz geçirgenliği gibi birçok fiziksel ve mekanik özelliği birlikte gösterdiği bilinmektedir. Bu nedenle, gözenekli yapıya doğada da yapısal veya işlevsel amaçla sıklıkla rastlanmaktadır. Üretilen köpük yapılar polimerik, seramik, camsı, kompozit ve metalik olarak sınıflandırılmaktadır. Köpük genelde sıvı içerisinde oluşturulan gaz kabarcığı olarak tanımlanmaktadır. Şekil 1'de katı, sıvı veya gaz halindeki bir fazın katı, sıvı veya gaz halindeki diğer bir faz içinde dağılımı ile oluşturduğu yapılar görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi köpüksü yapılar, gaz fazın sıvı veya katı bir faz içinde dağılımı ile oluşmaktadır [1-2].



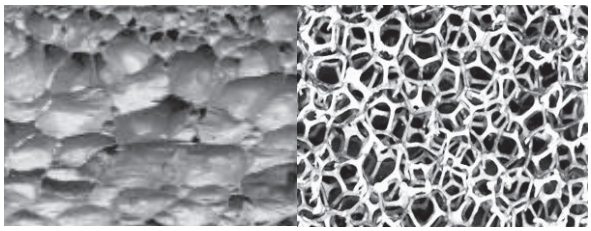
Şekil 1. Bir fazın diğer bir fazın içinde dağılımı sonucu oluşan yapılar [2]

Günlük hayatta birçok alanda köpük malzemeler ile karşılaşmaktayız. Polimer köpüksülerle tek kullanımlık bardaklardan otomobillerdeki hava yastıklarına kadar çeşitli uygulamalarda karşılaşırız. Seramik köpükler farklı filtre uygulamalarında ve katalizör olarak karşımıza çıkar. Bu yapılar yük taşıma uygulamaları için yeterli dayanıma sahip değildir. Seramik köpükler kırılgan yapıda olduğu için, polimerik köpükler yeterli rijitlik göstermediği ve yüksek sıcaklıklarda bozulmalara

uğradığı için yapısal uygulamalara uygun değildir. Yük taşıma uygulamalarında gereken mukavemeti sağlayabildiği için metalik köpükler tercih edilmektedir [2-4].

2. Metalik Köpük Malzemelere Genel Bakış

Metalik köpükler, gaz halindeki gözeneklerin yapılarına düzgün bir şekilde dağıtıldığı gözeneli katı maddelerdir. Hacimlerinin sadece %5-30'u metal, kalan kısmı ise havadır. Metalik köpüklerin hafiflik özelliğinin yanında darbe sönümleme, ses ve ısı yalıtımı, titreşim sönümleme gibi özellikleri de vardır [4-5]. Köpüksü malzemeler gözenek tiplerine göre; açık, kapalı ve karışık gözenekli malzemeler olarak ayrılabilirler. Kapalı gözenekli köpüksülerde gözenekler birbirlerinden izole halde her bir gözenek hücre duvarı ile birbirinden ayrılmış şekildedir. Açık gözenekli yapıda ise gözenekler birbirleriyle ve dış atmosferle bağlantılıdır. Gözenekler birbirine boyunlar vasıtasıyla bağlanmaktadır. Karışık gözenekli köpüksülerde de her iki gözenek tipi de bulunmaktadır. Gözenek tipi köpüksü malzemenin ısı iletkenliği, ses absorbsiyonu, geçirgenliği, mukavemeti, rijitliği gibi birçok özelliğini etkilemektedir. Kapalı gözenekli malzemeler, açık gözenekli olanlara göre nispeten daha yüksek mukavemet, rijitlik ve darbe dayanımına sahiptir. Kapalı gözenek yapısında bulunan gözenek duvarları deformasyon esnasında yapıyı rijitleştirir. Bu bakımdan kapalı gözenekli malzemeler, daha çok yük taşıma uygulamalarında, esneklik gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadır. Filtreler, katalizörler ve biyoreaktörler için gözenekli malzemeler açık gözenekli olmalıdır. Açık gözenek yapısının birbiriyle bağlantılı şekilde olması filtreler ve gaz dağıtımı gibi endüstriyel uygulamalar için önemlidir. Kapalı gözenekli malzemeler ise genellikle ses ve termal izolatörler veya düşük özgül ağırlıklı yapısal bileşenler için kullanılır [2,6]. Şekil 2'de sol görselde kapalı ve sağ görselde açık gözenekli yapının SEM görüntüleri verilmiştir [8].



Şekil 2. Kapalı ve açık gözenekli metalik yapılar [8]

Metalik köpüklerin özelliklerini incelediğimizde mekanik, termal, elektriksel, ses ve titreşim sönümleme özellikleri öne çıkmaktadır. Düşük yoğunluğa sahip gözenekli metaller mühendislik uygulamalarında iki açıdan önemlidir: ilk olarak göreceli olarak yüksek elastik modülü ve akma dayanımları sayesinde, dış yüzeyleri hacimli metalle kaplanmış oldukça hafif yapılar üretilebilmektedir. İkinci olarak ise sabit basma gerilimi etkisinde gösterdikleri yüksek yığılma özellikleri sayesinde yüksek enerji emme kapasitesine sahiptir. Çarpışma ve darbeye maruz kalan parçalarda güvenli olarak kullanımlarına olanak sağlar [7].

Gözenekli metaller yük taşıma uygulamalarında sık kullanıldığı için mekanik performanslarını belirleyen önemli özellikleri basma dayanımı ve elastik modülüdür. Gözenekli metaller çekme gerilmesi etkisinde kırılgan davrandıklarından bu malzemeler mekanik olarak basma kuvvetleri etkisindeki alanlarda kullanılmaktadırlar. Gözenekli metalin elastik davranışını gözenek yapısı ve geometrisi, açık ya da kapalı ve izotropik ya da anizotropik oluşu etkiler. Açık gözenekli metallerde, ana deformasyon mekanizması hücre kenarlarının bükülmesidir. Kapalı gözenekli metallerde ise kenarlar arasındaki hücre duvarları yapıyı güçlendirdiği için elastik modülü açık gözenekli metallere göre daha yüksektir [2,8]. Gözenekli metallerin erime noktası, özgül ısısı ve genleşme katsayıları yapıldıkları metal ile aynıdır. Gözenekli metallerin ısıl iletkenlikleri düşüktür. Açık gözenekli yapılar kapalı gözenekli yapılara nispeten daha yüksek iletkenliğe sahiptir. Kapalı gözenekli metallerin ısıl iletkenlikleri aynı metalin yoğun halinden 8-30 kat daha düşüktür, bu yüzden ısıya dayanım uygulamalarında kullanılır. Açık gözenekli yapılar ise ısı iletim uygulamalarında kullanılmaktadır [9-10]. Metalik köpüklerin elektrik iletkenlikleri gaz ile dolu olmasından dolayı gözenek içlerinin iletken olmaması sebebiyle yoğun hallerinden daha düşüktür. Açık gözenekli yapıya sahip metalik köpükler geniş, erişilebilir yüzey alanları elektrot uygulamaları için uygun hale getirir [9].

Hafiflik, mukavemet ve mekanik sertlik ile birlikte titreşim sönümleme metalik köpük yapıları ilgi çekici hale getiren bir birleşim oluşturmaktadır. Metalik köpükler, üretildikleri metalden daha yüksek mekanik sönümlemeye sahiptir ancak ses emilimi aynı şekilde değildir. Ses yutma, gelen bir ses dalgasının ne yansıtılması ne de iletilmesidir, enerji malzemeye emilir. Metalik köpüklerin cam yünü ve fiberglas kadar yüksek olmasa da yeterli derecede ses absorblama kapasiteleri mevcuttur [9-10].

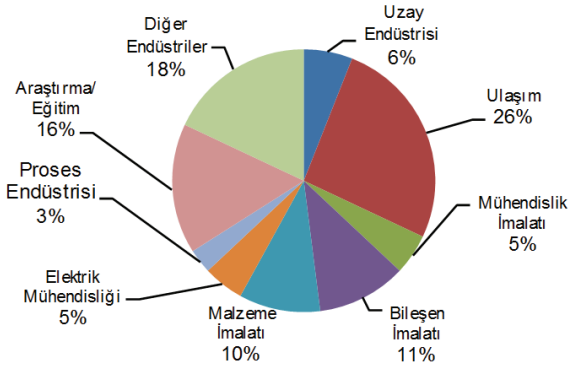
Gözenekli metaller uzun yıllardır üretilseler de daha düşük maliyet ve daha iyi performans sağlayan ürünler elde etmek için birçok üretim metodu geliştirilmiştir. Yöntemler metalin süreç başlangıcındaki fiziksel haline göre sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırmaya göre gözenekli metallerin üretim yöntemleri sıvı halden, katı halden, gaz halden ve iyon halinden olmak üzere ayrılabilir. Üretilecek gözenekli metale göre istenilen gözeneklilik miktarı, ticari olarak uygulanabilirliği, kolaylığı gibi etkenler göz önüne alınarak yöntem seçilebilir. Tablo 1'de metalik köpüklerin üretim yöntemleri, metalin süreç başlangıcındaki fiziksel durumuna göre elde edilen gözeneklilik ve ticari uygulanabilirliği de temel alınarak gruplandırılmıştır [2].

Farklı üretim yöntemleri ile farklı özelliklerdeki metalik köpükler elde etmek mümkündür. Metalik köpükler gösterdiği özellikler dolayısıyla birçok farklı alanda uygulanma fırsatı bulmuştur. Kullanım alanlarını gözenek yapısı, boyutu, dağılımı, kullanılan metal türü, mikro yapısı, şekil verme kabiliyeti gibi özellikler belirler. Gözenekli metal malzemelerin kullanım alanları yapısal ve işlevsel olarak iki gruba ayrılabilir. Yapısal kullanım alanları arasında otomotiv, inşaat ve demiryolu endüstrileri, spor ve gemi malzemeleri yapımı ve biyomedikal uygulamalar; işlevsel kullanım alanları arasında ise filtreleme, ısı dönüştürücü, soğutma makineleri, sıvı akış kontrolü, batarya elektrotları, susturucular gibi birçok uygulaması bulunmaktadır [1]. Son zamanlarda, Ulusal Fizik Laboratuvarı metalik köpüklerden potansiyel beklentiler hakkında

endüstrilerde ve araştırma kurumlarında bir araştırma yapmıştır. Araştırma, yakın gelecekte %32 civarında olan metalik köpüklerin uygulamalarının yaygın olarak Şekil 3'te gösterildiği gibi otomotiv ve havacılık endüstrilerine yönelik olacağını göstermiştir [11].

Tablo 1. Köpüksü metallerin üretim yöntemleri [2]

	Uretim Yöntemleri	Elde Edilen Gözeneklilik, % Üretilen Metaller	Ticari Uygulama
Sıvı	Gaz enjeksiyonu ile direkt köpürtme	80-97,5 Al, Zn	Var
	Köpürtücü ile direkt köpürtme	91-93 Al, Zn	Var
	Katı-gaz ötektik katılaşması	5-75 Ni, Cu, Al, Mg	Yok
	Toz peletleri eritme	60-90 Al, Zn, Pb	Var
	Polimer köpüksülere döküm	80-97 Al, Zn	Var
	Boşluk yapıcıların çevresine döküm	≤65 Al, Zn, Pb, Cu	Yok
	Spray şekillendirme	≤60 Çelik, Cu	Var
Katı	Metal tozlarının ve liflerin sinterlenmesi	20-80 Bronz, çelik	Var
	Gaz hapsetme	≤45 Ti	Yok
	Çamur köpüklendirme	≤93 Al	Yok
	Boşluk yapıcı kullanarak sinterleme	≤70 Ti, Al, Cu, Çelik	Yok
	İçi boş küreleri sinterleme	≤80 Çelik	Yok
	Metal tozu-bağlayıcı sinterleme	- Fe, Cu	Yok
	Reaksiyon destekli sinterleme	≤50 TiAl, FeAl	Yok
İyonik	Elektrokimyasal kaplama	92-95 Ni, Cu	Var
Gaz	Buhar biriktirme	93-97,5 Ni, Ni-Cr, Cu	Var

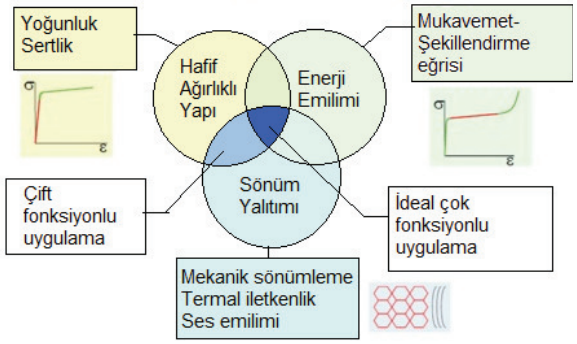


Şekil 3. Metal köpüklerin sektörel açıdan kullanımı [11]

Gözenekli metal malzemelerin üretimine yönelik çalışmalar ve üretimi alüminyum ve alaşımları, titanyum ve alaşımları, paslanmaz çelikler, bakır, kurşun, çinko ve nikel ve bunların alaşımları üzerine yoğunlaşmıştır. Bunların dışında tantal, kalay, tungsten, paladyum ve altın üzerine de çalışmalar bulunmaktadır [2].

3.Metalik Köpüklerin Otomotiv Sektöründe Yeri

Otomotiv sektöründe harcanan yakıt tüketim miktarının düşürülmesi, yolcu güvenliği ve konforunun sağlanması büyük önem taşır. Yakıt tüketiminin azaltılması çevresel ve ekonomik açıdan yarar sağlamaktadır. Yakıt tasarrufu için en önemli etken ise aracın ağırlığıdır. Otomobillerin uzunluklarının azaltılmasına dair çalışmalar da yürütülmektedir. Ancak bu azaltma, yolcu alanının küçülmesine neden olmaktadır. Bu nedenle, yolcu konforunu korumak için yeni kompakt motorlar kullanılmalı veya diğer yapıların azaltılması çalışılmaktadır. Bu, motor bölgesindeki ısı dağılımı ile ilgili yeni sorunlar yaratır, çünkü tüm parçalar çok yakındır veya kaza anında yolcu güvenliği açısından sorunlar oluşur. Aynı zamanda, otomobillerdeki akustik sorunları azaltma ihtiyacı, yeni ses emiciler için bir talebe yol açmıştır. Aracın ağırlığının düşürülmesi ve aynı zamanda darbeye dayanımının sağlanması, enerji sönümlemesi metalik köpüklerle mümkündür. Bu yüzden otomotivde kullanılan metalik köpükler hafif-ağırlıklı yapı için kullanılanlar, enerji sönümlemek için kullanılanlar ve darbe sönümlemek için kullanılanlar olarak üç ayrı sınıfta işlenebilir [1,9]. Şekil 4'te otomotiv endüstrisinde, üç uygulama alanında kullanılan metalik köpükleri özetlenmektedir. Burada daireler üç uygulama alanını, dıştaki kutularda o alandan sorumlu köpük özelliklerinin avantajını göstermektedir [5].



Şekil 4. Otomotiv alanında yapısal uygulamalar [5]

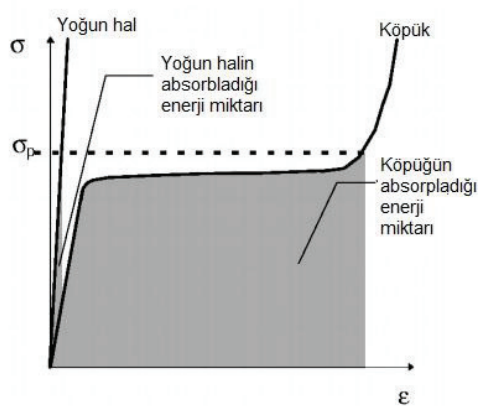
İdeal olan uygulama, hafif bir panel olarak görev yapan, çarpışma esnasında enerji emebilen ve ses veya ısı absorblayabilen fonksiyonlar taşıyan bir parça olacaktır. Bu çok işlevli uygulamaların elbette bulunması zordur. Genelde çift fonksiyonlu uygulamalar bulunmaktadır. Otomotiv uygulamalarında alüminyum köpükler daha çok tercih edilmektedir. Ultra hafif alüminyum köpükler otomotiv ve diğer uygulamalar için çekici kılan benzersiz mikro yapısal özellikler ve fiziksel özelliklere sahiptir [2,12]:

- Yüksek oranda homojen ve kapalı hücre gözenekliliğine sahiptirler.
- Köpüksü yapı %40-80 gibi geniş aralıklarda gözeneklilik içerebilir.
- Yüksek sertlik-ağırlık ve mukavemet-ağırlık oranlarına sahiptir
- Darbe ve çarpışma enerjilerini emebilme özelliği yüksektir.
- Titreşim sönümleme ve ses absorbsiyon özelliği iyidir.
- Alev almaya dayanıklılık ve ısı yalıtım özellikleri yüksektir.
- Geri dönüştürülebilir olması ekonomik ve çevre duyarlılığı açısında önemlidir.

Alüminyum köpük sandviç panellerin kullanımı otomotiv sektöründe geleneksel olarak kullanılan çelik ve alüminyum sac parçalar yerine geçtiğinde önemli ağırlık kayıpları gözlemlenmektedir. Aynı zamanda köpüklerin yoğun hallerine göre darbe dayanımı oldukça yüksektir. Tablo 2'de 1x2 m^2 büyüklüğünde bir panelin sertlik optimizasyonu verilmiştir. Referans noktası belirli sertlikte bir çelik levha alınarak alüminyum, karbon fiber takviyeli kompozit ve alüminyum köpük sandviç panel ile yer değiştirilmiştir. Şekil 5'te tamamen yoğun elastik bir katının tipik enerji emme davranışı gözenekli bir metal köpük ile karşılaştırılmıştır [12,13].

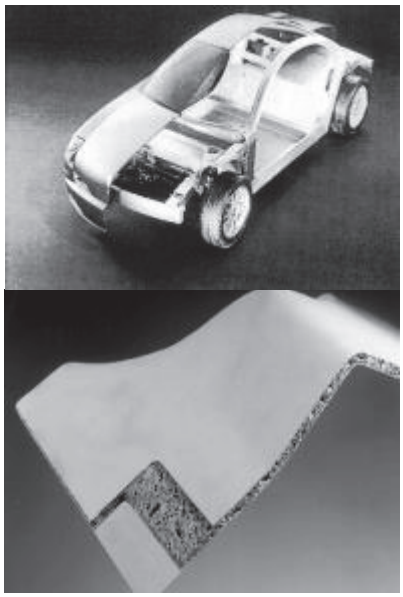
Tablo 2. 1x2 m^2 büyüklüğünde bir panelin sertlik optimizasyonu [13].

	Çelik	Alüminyum	Karbon Fiber Takviyeli Kompozit	Alüminyum Köpük Sandviç Panel
Yoğunluk (g/cm³)	7,8	6,67	1,8-2,0	0,8
Eş sertlik değeri için gerekli kalınlık (mm)	4,7	6,8	5,6	8,0
Ağırlık (kg)	73,3	36,6	17,0	12,8
Ağırlık kaybı [kg(%)]		-36,7(%50)	-56,3(%77)	-60,5(%83)
Maliyet [€]	73	109	510	128
Maliyet/1 kg ağırlık kaybı çeliğe göre [€]		1	7,7	0,9



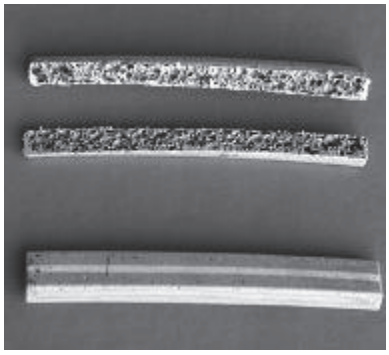
Şekil 5.Yoğun hal ve köpük yapısı için ani yüklemede absorbladığı enerji miktarı karşılaştırması [12]

Otomotiv endüstrisinde metalik köpük kullanımına yönelik birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda bazı parçalar için tercih edilmiş fakat hala tüm otomobillerde kullanımı söz konusu değildir. Bir Alman markası olan Karmann Car tarafından test edilen, araba modelinde 3-Boyutlu şekillendirilmiş alüminyum köpük parçalar kullanılmıştır. Biri ön bölme ve diğeri arka duvar için olmak üzere iki alüminyum köpük sandviç parça, çelik saclardan yapılmış geleneksel parçaların yerine konulmasıyla ağırlık %25 azaltılırken sertliğinde %700 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Şirket tarafından yapılan çalışmada otomobilde yapının yaklaşık %20 si üç boyutlu alüminyum köpük panellerden yapıldığında; bu yapıların kullanılması diğerlerine göre yaklaşık 60 kg ağırlık kaybı sağladığı ve bu sayede harcanan benzin miktarını kilometre başına 6,1 litre düşürdüğü gözlemlenmiştir [1,9].



Şekil 6. Karmann Car tarafından tasarlanan model ve kullanılan alüminyum köpük sandviç panel [9,12]

Avusturyalı araba üreticisi Steyr Daimler Puch firması A-direğindeki orijinal parça yerine alüminyum köpük kullanarak testler gerçekleştirmiştir. Ford binek otomobilinde alüminyum köpük ile takviyeli A-direği sadece ağırlıkta %3'lük bir artış ile çarpışma enerjisi emiliminde %30'luk bir iyileşme sağladığı gözlemlenmiştir [14].



Şekil 7. A-Direği absorblama parçası [14]

Şekil 8'de fotoğrafı verilen; Ferrari 360 ve 430 Spider modellerinde kapı eşiği yan çarpışma durumlarında çerçeveyi güçlendirmek ve sertliği arttırmak için alüminyum köpükle doldurulmuştur [15].

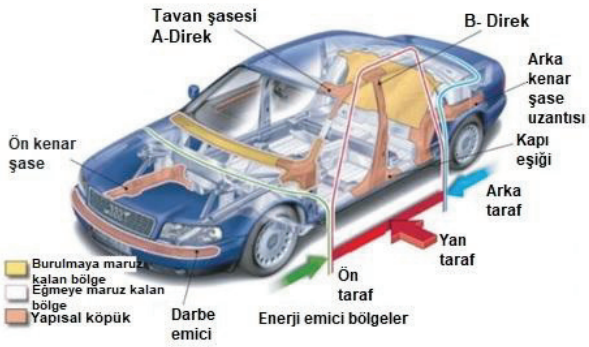


Şekil 8. Ferrari 360 ve 430 Spider modellerinde kullanılan Al köpük doldurulmuş parça [15]

Audi Q7 SUV modelinde alüminyum köpükten üretilmiş 7 gramlık küçük bir darbe absorblama elamanı kullanmaktadır. Şekil 9'da bu elemanın fotoğrafı verilmiştir. Şekil 10'da ki görselden görülebileceği gibi, A8 modelinde birçok metalik köpükten yapılmış parça kullanmaktadır [8,15].

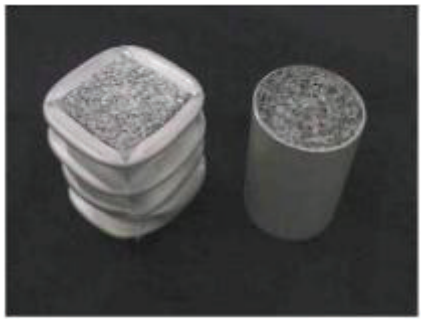


Şekil 9. Audi Q7 SUV modelinde kullanılan darbe sönümle elemanı [16]



Şekil 10. Audi A8 modelinde kullanılan yapısal köpük malzemeler [8]

Bir Avrupa ultra-hafif elektrikli araç geliştirme projesi olan Evolution'ın prototiplerinde Berlin Teknik Üniversitesi ve Pohltec Metalfoam tarafından geliştirilen alüminyum köpük paneller kullanılmaktadır. Çarpışma kutuları, alüminyum ekstrüzyon veya çelik bir dış yapının içerisine köpük çekirdek (göbek) malzemenin yerleştirilmesi ile oluşur. İçerisinde alüminyum köpük bulunan bu kutular (Şekil 11), içi boş çarpışma kutularına nazaran çok daha fazla enerji emebilirler [15].



Şekil 11. Çarpışma kutusu örnekleri [17]

Bir başka örnek olarak LKR (Avusturya) ve BMW tarafından alüminyum köpük metali kullanılarak montaj bloğu (Şekil 12) geliştirilmiştir [14].



Şekil 12. LKR ve BMW tarafından geliştirilmiş motor blok örneği, soldan sağa; boş döküm, alüminyum köpük içeren parça, kesit görüntüsü [17]

Aynı zamanda metalik köpükler işlevsel amaçla bazı otomobil parçalarında dizel modellerin benzin filtrasyonu ve akış kontrolü amacıyla kullanılmaktadır [18]. Şekil 13'te çeşitli akış önleyici parçalar görülmektedir.



Şekil 13. Akış kısıtlayıcı parçalar [18]

4. Metalik Köpüklerin Gelecekteki Yeri

Metalik köpüklerin gösterdiği ve geliştirilebilir özellikleri sayesinde köpük yapılar otomotiv endüstrisi için önemli bir konumdadır. Daha önce kullanıldığı yerlere ve özelliklerine bakarak potansiyel uygulama alanlarına örnekler verilebilir [12]:

- Güvenlik duvarları,
- Arka şase panelleri,

- Zemin panelleri,
- A ve B direği,
- Enerji sönümleyici tamponlar,
- Kapı eşiği,
- Ön çarpma rayları,
- Boşluk çerçeve bileşenleri,
- Silindir barlar,
- Askeri araçlarda patlama etkisi azaltma panelleri.

Metal köpüklerin potansiyel uygulamaları, köpüğün burkulmaya karşı dayanımı, darbe direncini ve yapının enerji emme kapasitesini arttırabileceği kısımlarda olabilir. Örneğin, kapı kirişleri ve yan raylar gibi otomotiv bileşenlerindeki boşlukların köpükle doldurulması, çarpışma kaynaklı hasarları ve yaralanmaları azaltabilir. Tablo 3'de verilen alüminyum köpük ilk örnek parçaların otomobil üzerinde uygulanabilir kısımlarında buna açıklık getirmektedir. Ayrıca alüminyum köpük kullanımının diğer önemli avantajları olan yüksek alev alma dayanımı, soğuk/sıcak hava ve neme karşı duyarsızlık ve geri dönüşüm özellikleri sayesinde potansiyel olarak düşünülebilir [12].

Tablo 3. Alüminyum köpük prototip parçaların otomobil üzerinde uygulanabilir kısımları [15]

Köpük Prototip Parça	Uygulama Alanı	Mekanik Özellik
Silindirler, küpler	Yedek araba parçası	Darbe enerjisi absorbsiyonu
Sıkı yapısal parçalar	Otomotiv endüstrisi	Rijitlik, Sönümleme, ağırlık
Yapısal parçalar	Plaka, sunroof	Rijitlik, Sönümleme
Köpük ile doldurulmuş profiller	Motor bağlantıları	Çarpışma davranışı

Kaynaklar

[1]Banhart, J., Manufacture, Characterisation and Application of Cellular Metals and Metal Foams, Progress in Materials Science, Vol 46, p. 559-632,2001.
[2]Beköz, N., Toz Metalurjisi Yöntemiyle Elde Edilen Demir Esaslı Köpüksü Metallerin Mikroyapısı ve Mekanik Özellikleri, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.
[3]Tunçer, N., Metalik Köpük Malzemelerin Üretimi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
[4]Güven, Ş.Y., Toz Metalurjisi ve Metalik Köpükler, Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi, Vol. 2, pp. 22-28, 2011.
[5]Bisht, A., Gangil B. and Patel V.K., Future of Metal Foam Materials in Automotive Industry, Automotive Tribology, Springer, Singapore,pp.51-61,2019.
[6] Ishizaki, K., Komarneni, S., Nanko, M., Introduction. In: Porous Materials. Materials Technology Series, vol 4. Springer, Boston, MA, 1998.
[7]Bor, Ş., Tahran, E., Esen, Z. , Kotan, G., Toz metalurjisi yöntemiyle köpüksü saf titanyum ve Ti6Al4V alaşım üretimi ve karakterizasyonu, TÜBİTAK Proje No: 104M121, 2007.
[8]YAVUZ, İ., Taşıtlarda Kullanılan Metal Köpüklerin Yapısal Özelliklerinin İyileştirilmesi, Doktora Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
[9]Ashby, M.F., Evans, A., Fleck, N.A., Gibson, L.J., Hutchinson, J.W., Wadley, H.N.G., Metal Foams: A Design Guide, Elsevier Science, Boston MA, 2000.
[10]Mutlu, İ., Toz Metalurjisi Yöntemiyle Elde Edilen Gözenekli Martensitik Paslanmaz Çeliğin Mikroyapısı ve Mekanik Özellikleri, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.
[11]Srivastava, V.C., Sahoo, K.L., Processing, stabilization and applications of metallic foams. Art of science, Materials Science-Poland, Vol. 25, No. 3,2007.
[12]Claar T.D., Yu C.J., Hall I., Banhart, J., Baumeister J., Seeliger W., Ultra-Lightweight Aluminum Foam Materials for Automotive Applications,2000.
[13] Banhart, J.; García-Moreno, F; Heim K; Seeliger, H.W, Light-weighting in transportation and defence using aluminium foam sandwich structures, International Symposium on Light Weighting for Defence, Aerospace and Transportation Indian Institute of Metals, November, 2017.
[14]Degischer, H.P., Kristz, B., Handbook of Cellular Metals: Production, Processing, Applications, 2002.
[15]García-Moreno, F., Commercial Applications of Metal Foams:Their Properties and Production, Materials, vol.9 ,pp. 85, 2016.
[16]https://havel-mf.com/branchen/automobilbau, (Erişim Tarihi: 26.03.2020).
[17]Banhart, J., .Aluminum Foams: On the Road to Real Applications, Cellular Solids, Vol 28, pp. 290-295,2003.
[18]http://www.mottcorp.com/sites/default/files/Automotive%20Industry%20Applications.pdf (Erişim Tarihi:26.03.2020)