

## Toz Metalurjisi ve Metalik Köpükler

Şevki Yılmaz GÜVEN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Isparta

**Özet :** Toz metalurjisi (T/M) metal veya seramik tozlarının üretimi ve bu tozların mekanik ve termik etkilerle birleştirilerek parça haline getirme işlemidir. Toz metalurjisi yöntemiyle parça üretimi günümüzde çok yaygın olarak kullanılmakta olup, giderek bilinen klasik üretim yöntemlerine alternatif olmaktadır. Tasarım mühendislerinin en çok önem verdikleri konuların başında, hafif ve yüksek dayanımlı malzemelerden konstrüksiyon elemanlarının üretilmesi ve imalat sanayine uygulanabilirliği gelmektedir. Son yıllarda bu amaçla, metalik köpükler üzerine yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Metalik Köpüklerin iç yapısının köpük (gözenek) şeklinde olması, bu tür malzemelere; mukavemetle birlikte hafiflik ve darbelere dayanım özelliği kazandırmaktadır. Gözenekler ayrıca, ısı yalıtım ve titreşim azaltma gibi özellikleri iyileştirmektedir. Bu gün için birçok metalden, metalik köpük üretimi yapılmaktadır. Metalik köpükler sünger gibi gözenekli yapıya sahiptir. Gözenekli yapı özel yöntemler ile elde edilmektedir. Metalik köpüklerden beklenen diğer özellikler; kolay işlenebilir olması, kaynak edilebilmesi, ucuz maliyet ve korozyona dayanımlı olmasıdır. Gözeneklerin boyutları da mekanik özelliklere etki etmektedir. Metalik köpük malzemelerin üretimleri; ergitilmiş kütleyle sürekli olarak gaz enjekte etme, ergitilmiş kütle içine kabarcık oluşturacak maddelerin ilave edilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Toz metalurjisi ile de metalik köpükler üretilmektedir. Metalik köpük malzemelerin kullanım alanları sırasıyla, otomotiv, inşaat, gemicilik, havacılık, demiryolu taşımacılığı, asansörler, zırh yapımı ve biyomalzemelerdir. Bu çalışmada, toz metalurjisi tekniği, metalik köpük malzemelerin üretim yöntemleri, özellikleri ve kullanım alanları son gelişmeler ışığında incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Toz metalurjisi, metalik köpükler, gözenek, sinterleme

## Powder Metallurgy and Metallic Foams

**Abstract :** Powder metallurgy is the method of forming parts from the powders of metal and ceramic. Powders combine with mechanical and thermal effects. Today, powder metallurgy has widely been used. Powder metallurgy is an alternative to the conventional forming method. Design engineers prefer light weight and high strength materials. These materials have been used as the construction elements in the manufacturing industry. For this purpose in recent years, intensive researches have been made on the metallic foam. The internal structure of metallic foams are porous. Pores distinguish the strength, lightness and the impact resistance properties to the metallic foams. Pores distinguish the thermal insulation and vibration reduction features. For today, metallic foam production has been produced from a lot of metal. Metallic foams have porous structure like a sponge. Porous structure is obtained by special methods. Other facilities of metallic foams are easy forming, welding, cheap cost and resistant to corrosion. Also, the size of the pores effect the mechanical properties. Production of metallic foam materials are made by injecting gas to the melted mass continuously. Another method is adding the substances to form bubbles into the melted mass. Also, metallic foams are produced by powder metallurgy. Metallic foam materials are used in automotive, construction, shipping, aviation, railway transport, elevators, armour made and in the field of biomaterials. In this study, the technique of powder metallurgy, production methods of metallic foam materials, properties and using areas are examined in the light of recent developments.

**Keywords:** Powder metallurgy, metallic foams, porosity, sintering.

### 1.Giriş

Toz metalurjisi (T/M), metal veya seramik tozların üretimi ile bu tozların mekanik ve termik etkilerle birleştirilerek parça haline getirilmesi işlemidir. Toz metalurjisi yöntemiyle parça üretimi günümüzde çok yaygın olarak kullanılmakta olup, giderek bilinen klasik üretim yöntemlerine alternatif olmaktadır. Toz metalurjisi sıvı fazda hiç çözünmeyen elementlerden mekanik alaşımlama ile yüksek dayanımlı parça üretimine imkan vermektedir. Toz olarak üretilen hemen hemen her çeşit metal ve alaşımları, toz metalurjisi yöntemi ile şekillendirmek mümkündür.

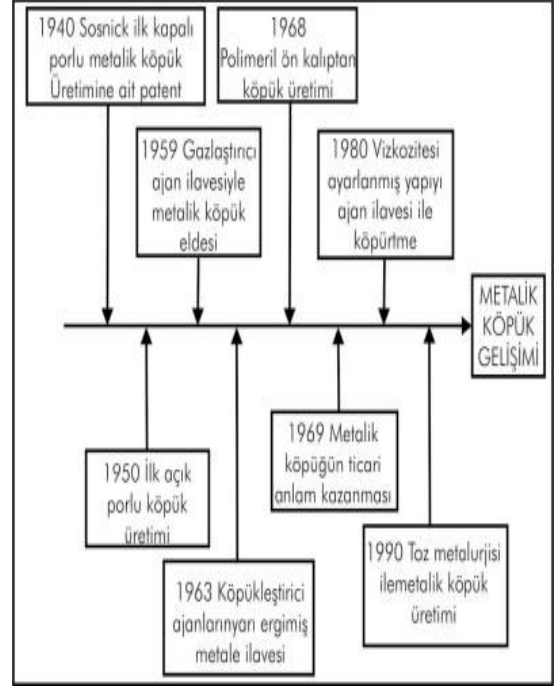
Örneğin, alaşımsız ve düşük alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, yüksek hız çelikleri, alüminyum, bakır bazlı alaşımlar (pirinç, bronz vs.), nikel ve kobalt esaslı süper alaşımlar (invar, kovar vb.), titanyum, manyetik alaşımlar, refrakter malzemeler ve sert madenler (tungsten karbür).

Toz Metalurjisi (T/M) işlemi ilk olarak geleneksel döküm, sıcak ve soğuk presleme ve talaş kaldırma üretim yöntemlerine alternatif olarak geliştirilmiştir. Toz Metalurjisi, tozların imalatı, tozların karakterize edilmesi ve kullanışlı parçalara dönüşümü çalışmalarını içerir.

Son yıllarda özellikle otomotiv endüstrisinde kullanılan parçaların bir bölümünün üretim tekniği tamamen T/M'ne dayanmaktadır. T/M ürünlerinin özellikleri; toz tanelerinin üretim yöntemine, toz şekli, boyutu, bileşimi, yağlayıcı tipi, pres basıncı, sinterleme sıcaklığı, sinterleme süresi, bitirme işlemleri ve benzeri gibi çok sayıda değişkenlere bağlıdır.

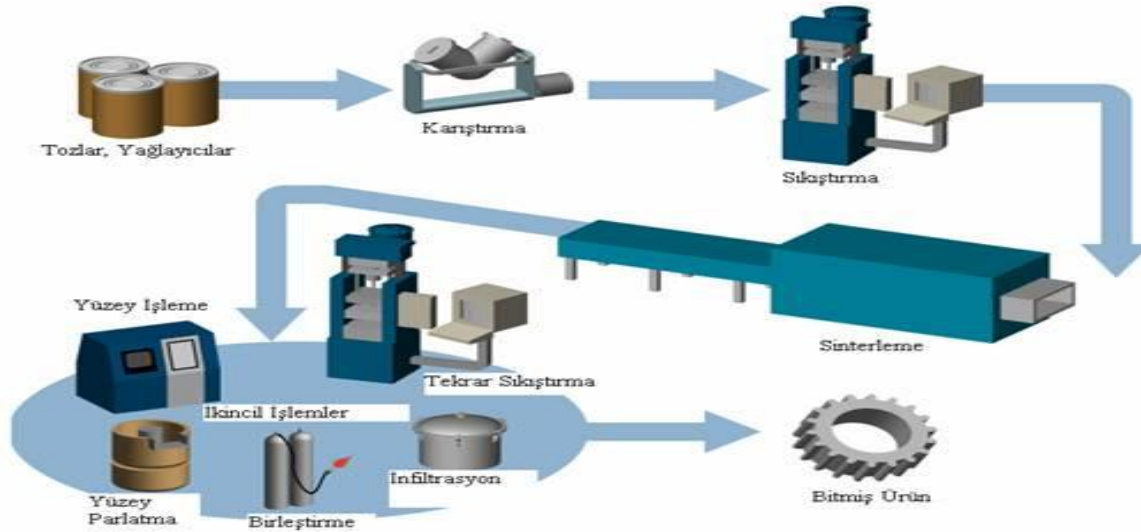
Dünyada son 10 yılda metalik köpüklerin üretimi ve karakterizasyonu üzerine yapılan araştırma-geliştirme faaliyetleri oldukça büyük oranda ivme kazanmıştır. Ülkemizde ise henüz endüstriyel ölçekli hiçbir uygulama olmamasına rağmen, köpük oluşum mekanizmalarını ve üretilen köpüklerin özelliklerini karakterize etme ve geliştirme amaçlı araştırma-

geliştirme faaliyetleri üniversitelerde yoğun olarak sürdürülmektedir. Tüm bu geliştirme-iyileştirme çalışmalarının sonucu olarak 20. yüzyılın son çeyreğinde dünyada birçok firma alüminyum köpük üretimine başlamıştır. Bunlardan en önde gelenlerinden biri Japonya'da Shinko Wire Company şirkettir. Bu şirket, 1986 yılından beri kalsiyum ilavesiyle viskozitesi artırılmış ergitilmiş metale,  $TiH_2$ 'nin direkt enjekte edilmesiyle üretilen metalik köpük üretimini, patentli (Alporas) olarak gerçekleştirmektedir. Aynı dönemde Norveç'teki Hydro ve Toronto'daki Cymat firmaları da ergitilmiş metale gazın direkt enjekte edilmesiyle sıvı fazdan köpük elde etme prosesini geliştirmişlerdir. Şekil 1 de görüleceği gibi, metalik köpüklerin kronolojik gelişimi verilmektedir (<http://www.metaldunyasi.com/tr/dergi.asp>).



Şekil 1. Metalik köpük kronolojik gelişimi

## 2. Toz Metalurjisi Tekniği



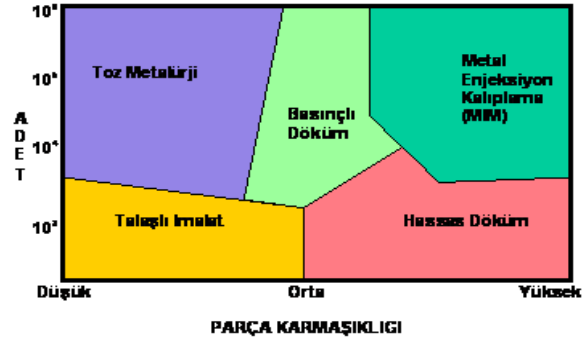
Şekil 2. Toz Metalurjisi tekniği ile parça üretim aşamaları (<http://mf.dpu.edu.tr/~runal/toz/powdermet.html>.)

Metal tozu üretimi, özel yöntemler ile gerçekleştirilmektedir. Toz üretim yöntemi; üretilen tozun boyutunu, şeklini, saflığını, mikro yapısını, maliyetini ve diğer özelliklerini belirler. Toz üretim yöntemleri, geniş bir şekilde literatürde verilmektedir (Saritaş, vd., 2007, Kurt, 2010). Toz metal parça üretiminde genellikle tozlar öncelikle soğuk sıkıştırma ile şekillendirilir ve sinterleme işleminden sonra bitirme işlemleri uygulanır (Şekil 2). Toz metalurjisi yöntemi ile tozların soğuk

şekillendirilmesi ve kalıptan çıkarılması sırasında metal tozları ile kalıp yüzeyi arasındaki sürtünmeyi azaltarak kalıp ömrünü artırmak amacıyla yağlayıcılar kullanılır. Malzemeye uygun yağlayıcılar ağırlık olarak % 0.5-2 oranlarında ilave edilerek karıştırılırlar. Bu süreçte tozların başarılı bir şekilde sıkıştırılarak şekillendirilmesi birinci basamaktır. Karışımı hazırlanan tozlar istenilen geometrideki kalıplarda preslenir. Presleme işlemi esnasında dağınık halde bulunan tozlar kalıp içerisinde,

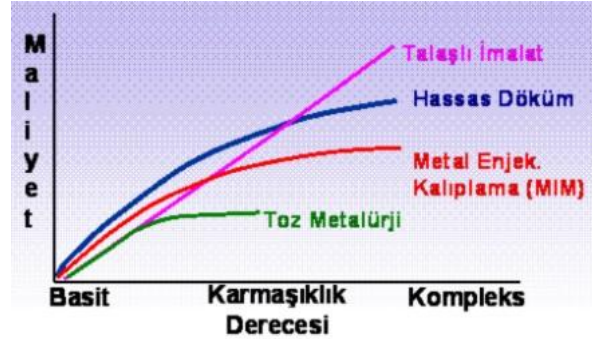
parçanın şeklini alır. Bu aşamada elde edilen parçalar düşük mukavemet değerine sahiptir. Bu mukavemet değerine ham mukavemet (green strength) denir. Ham mukavemet değeri, parçanın ancak şeklini koruyacak kadardır. Yani, parçanın kalıptan çıkartılıp sinterleme ortamına yerleştirilmesine olanak verecek değerdedir. Fakat bu değer parça üzerine uygulanacak yüksek değerlerdeki kuvvetleri taşımak için yeterli değildir. Kalıptan çıkartılan parçaların mukavemet değerlerini artırmak için parçalara sinterleme işlemi uygulanır. Sinterleme genellikle atomik ölçekte gerçekleşen, kütle taşınımı yoluyla katı parçacıklarının birbirine yoğun bir yapı oluşturacak şekilde bağlayan ısı işlemi veya süreçtir. Sinterlenecek malzeme tek çeşit saf metal veya seramik gibi bir malzemeden oluşuyorsa tek bileşenli sistem, birden çok malzemeden oluşuyorsa çok bileşenli sistem adını alır. Tek bileşenli sistemlerde sinterleme sıcaklığı malzemenin ergime sıcaklığının 0,8 katıdır. Çok bileşenli sistemlerde ise sinterleme sıcaklığı, bileşimde en düşük ergime sıcaklığına sahip malzemenin ergime sıcaklığının hemen altındadır. Ergime sıcaklığının altında yapılan sinterlemeye katı faz sinterlemesi, çok bileşenli sistemlerde ise bileşenlerden en az birinin ergime sıcaklığının üzerinde yapılan sinterlemeye ise sıvı faz sinterlemesi denir. Sinterleme sonrasında parçalar isteğe bağlı olarak bazı işlemlerden geçerek (infiltrasyon, birleştirme, tekrar sıkıştırma.) kullanıma hazır hale getirilirler. T/M küçük, karmaşık ve boyutsal hassasiyeti yüksek parçaların seri imalatına son derece uygundur. Belirli derecede porozite ( gözenek ) ve geçirgenlik elde edilir. T/M ile üretilen parçaların büyük bir kısmında elde edilen boyutsal hassasiyet ve yüzey kalitesi talaşlı işlem gibi ekstra operasyonlara olan gereksinimleri ortadan kaldırması ve malzeme kaybının çok az olması T/M yönteminin ekonomik bir üretim yöntemi olduğunun göstergesidir. Bazı metallerin ergime sıcaklığı çok yüksek olması ve bu sıcaklıklara ulaşamaması ( tungsten, molibden gibi ), bazı özelliklerin ancak T/M ile sağlanabilmesi ( kendi kendine yağlanan yataklar ), süper alaşım ve sert metaller gibi önemli malzemelerin bu yöntem ile üretilmesi toz metalurjisini zorunlu kılan başlıca sebeplerdir. Çok sayıda üretim söz konusu olduğunda en iyi uygulanabilen bir metot olması, boyut kontrolü ve şekil karmaşıklığı T/M yönteminin en bariz avantajlarıdır. T/M uygulama alanları oldukça geniştir. Tungsten lamba teli, diş dolguları, kendinden yağlamalı yataklar, otomotiv güç aktarma dişlileri, zırh delici mermiler, elektrik kontakları ve fırçaları, mıknatıslar, nükleer güç yakıtları elemanları, ortopedik protezler, iş makinesi parçaları, yüksek sıcaklık filtreleri, şarj edilebilir piller ve jet motoru parçalarının üretimi T/M kullanım alanlarına örnek olarak verilebilir. Metal tozlar boyalar, patlayıcılar, kaynak elektrotları, roket yakıtları, mürekkepler, sert lehim bileşikleri ve katalizörlerde kullanılmaktadır. T/M kullanım alanlarından bir tanesi de savunma sanayisidir. Ateş sanatı olarak bilinen piroteknik uygulamalar savunma sanayisi için oldukça önemlidir. Piroteknik reaksiyonlar çok yüksek sıcaklık oluşturduklarından aydınlatmaya yol açarlar. Piroteknikler havai fişek, işaret fişegi ve flaş tozu olarak kullanılırlar. Genellikle demir parçalarının üretiminde kullanılan T/M yöntemi otomotiv endüstrisinde oldukça

geniş bir kullanım alanına sahiptir. Düşük yoğunlukta parçalara ihtiyaç duyulduğu otomotiv endüstrisi T/M yöntemini daha hafif parça üretimine doğru yönlendirmektedir ( <http://mf.dpu.edu.tr/~runal/toz/powdermet.html>).



Şekil 3. Parça karmaşıklığı ve üretim miktarları açısından imalat teknolojilerinin optimum çalışma alanları (<http://www.turkcadcam.net/rapor/mim-1/index2.html>)

Şekil 3, parça karmaşıklığı ve üretim miktarları açısından imalat teknolojilerinin optimum çalışma alanlarını göstermektedir. Düşük ve orta karmaşıklık derecesine sahip parçaların 10.000 adet civarına kadarki üretimlerinde talaşlı imalat metodu avantajlı görünürken, bu tip parçalarda adedin yükselmesi durumunda ve malzeme mekanik özelliklerinin yeterli olması halinde toz metalurjisi üstünlük taşımaktadır.



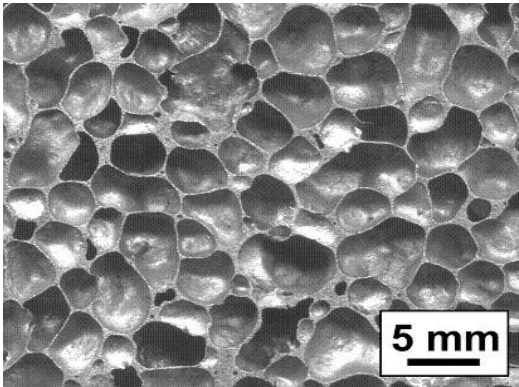
Şekil 4. Maliyet açısından imalat yöntemlerinin karşılaştırılması (<http://www.turkcadcam.net/rapor/mim-1/index2.html>)

Şekil 4 de, maliyet açısından bir değerlendirme yapıldığında da orta karmaşıklık derecelerine kadar sadece toz metalurjisi parçaların ucuz kalabildiği diğer teknolojilerin ise, pahalı olduğu görülmektedir. Ancak toz metalurjisi de, kompleks şekilli parçalara doğru gidildikçe parça formunu oluşturmada yetersiz kalması nedeniyle devre dışı kalmaktadır.

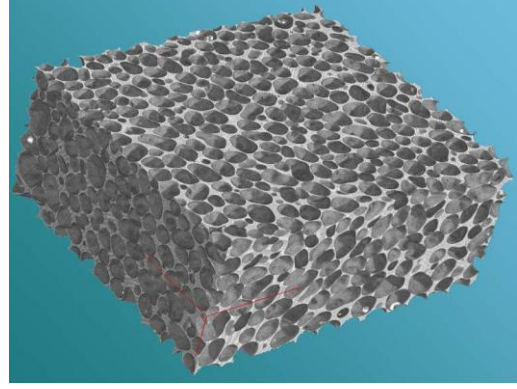
### 3. Metalik Köpükler

Günümüzde, hafif ve dayanıklı konstrüksiyonlara gereksinim giderek artmaktadır. Hem hafif hem de dayanıklı malzeme üretimi için son yıllarda yoğun çalışmalar yapıldığı bir araştırma konusu da metalik köpük üretimidir. Metalik levha köpük malzemelerin içyapısı, köpük şeklinde olup hafif olma özelliği yanında darbeleri sönmleme özelliği de taşımaktadır. Metalik köpükler %70 ile %90 oranında gözenekli yapıya sahip olduğundan düşük yoğunluğa sahiptir. Hafif olmasının yanında, ısı yalıtım, ses yalıtım ve titreşim sönmleme özellikleri de vardır. Mekanik özellikler, yüksek sıcaklık dayanımı ve yüksek sıcaklıklarda yapısını koruma özelliğinden dolayı da polimerlerden daha üstün özelliklere sahiptir. Nikel, titanyum, magnezyum, alüminyum gibi çok değişik metallere köpük üretilmektedir. Bu yüzden son yıllarda kara, hava ve deniz ulaşımında metalik parçaların yerini metalik köpük parçalar veya içi metalik köpük doldurulmuş parçalar almaya başlamıştır. T/M yöntemi otomotiv endüstrisinde oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Düşük yoğunlukta parçalara ihtiyaç duyulduğu otomotiv endüstrisi, T/M yöntemini daha hafif parça üretimine doğru yönlendirmektedir. Genellikle metal köpük üretiminde alüminyum kullanılmakla beraber nikel ve özellikle biyomedikal uygulamalar için titanyum ve tantal da kullanılmaktadır. Genel kullanım alanları olarak, hafif olma özelliğinin istendiği otomotiv sanayi, uzay sanayi, demiryolu araçları, savunma sanayi, yapı sektörü, v.b. sayılabilir.

Özellikle alüminyum köpüklerin yüksek enerji sönmleme yetenekleri ve göreceli uygun maliyetleri ile otomotiv sektöründe uygulama alanı bulabilecek malzemelerin başında olduğu söylenebilir. Bu yöntemle karmaşık köpük yapılar hassas bir şekilde üretilebilmektedir. Yöntem, alüminyum tozlarının köpürtücü metal hidrit ( $TiH_2$  vb.) tozlarıyla karıştırılıp, sıkıştırılması ile elde edilen ara ürünün, metalin erime sıcaklığı üzerinde ısıtılması ile kapalı hücre yapısına sahip köpük üretimine dayanır. Şekil 5 de alüminyum metalik köpük ve Şekil 6 da ise, AlMgCu metalik köpük fotoğrafları verilmektedir.



Şekil 5. Alüminyum metal köpük  
([http://www.ask.com/wiki/Aluminium\\_foam-](http://www.ask.com/wiki/Aluminium_foam-),  
<http://www.metalfoam.net/intro.html>)



Şekil 6. AlMgCu metalik köpük  
([http://www.ask.com/wiki/Aluminium\\_foam-](http://www.ask.com/wiki/Aluminium_foam-),  
<http://www.metalfoam.net/intro.html>)

### 4. Metalik Köpük Üretimi

Genellikle metal köpük üretiminde alüminyum kullanılmakla beraber nikel ve özellikle biyomedikal uygulamalar için titanyum ve tantal da kullanılmaktadır. Metal köpüklerin hacminin sadece %5 ile % 30'u metal, geri kalan kısmı havadır. Bu, malzemeye karakteristik özelliği olan düşük yoğunluğu verir.

Ayrıca özellikle alüminyum köpüklerin yüksek enerji sönmleme yetenekleri ve göreceli uygun maliyetleri ile otomotiv sektöründe uygulama alanı bulabilecek malzemelerin, başında geldiği söylenebilir. ([www.tanitim.boun.edu.tr//makina/malzeme\\_bilimi\\_ve\\_i\\_malat\\_teknolojileri\\_laboratuvari.html](http://www.tanitim.boun.edu.tr//makina/malzeme_bilimi_ve_i_malat_teknolojileri_laboratuvari.html))

İlk yıllarda, metalleri köpükleştirmek için, günümüzde de kullanılan iki yonteme başvurulmuştur. Bunlardan birincisi ergitme yontemi, ikincisi ise toz metalurjisi yontemidir. 1970'li yıllarda alüminyumun, köpük üretimi için çok uygun bir malzeme olduğu anlaşılmıştır.

Ergitme yontemi ile üç şekilde köpük üretilebilir. Ergitilmiş metal içerisinde dışarıdan gaz enjekte etmekle, ergitilmiş metal içerisinde gaz oluşturacak köpürtücü maddelerle veya ergitilmiş metal içerisinde önceden ilave edilmiş köpürtücü maddelerin belirli ortamlarda köpük oluşturmasıyla yapılabilir.

Ergitme ve döküm yontemi ile metalik köpük üretimi başlıca üç aşamada gerçekleşir. Birinci aşamada köpürtülecek metal veya alaşım ergiyik hale getirilir. İkinci aşamada gözenekli yapı oluşturmak için gaz veya köpürtücü madde ilave edilir. Üçüncü aşamada soğutma işlemi yapılarak ergitilmiş metal katı hale getirilir.

Ergitilmiş metal içerisinde gaz kabarcıkları oluşturularak yapılan köpük üretiminde, sıvının yüksek kaldırma kuvvetinden dolayı yüzeye hızlı kabarma eğiliminde olan gaz kabarcıklarıyla, metalik köpük şekli oluşmaktadır. Aşırı derecede yüksek viskozite, kabarcıkların düzeninin bastırılmasına neden olurken, aşırı derecede düşük

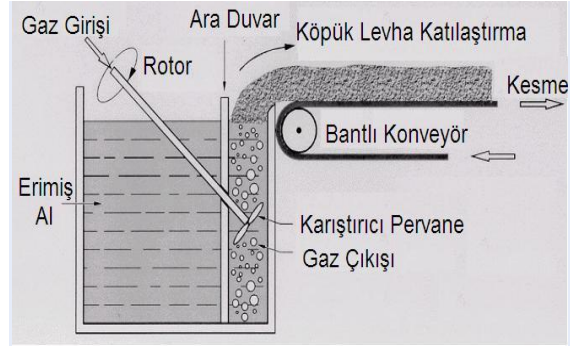


viskozite kabarcıkların hızlı yüzdürülmesine sebep olur. Bu yüzden köpürtme süresince ergitilmiş metalin viskozitesinin kontrolü çok önemlidir.

Metalik köpük üretiminde köpürtücü madde olarak genellikle zirkonyum hidrür veya titanyum di-hidrür kullanılır. Kalsiyum karbonat, kalsiyum hidrür, kalsiyum-magnezyum karbonat, kalsiyum sülfat, demir sülfat, kurşun karbonat, kurşun oksit ve sodyum nitrit gibi diğer alaşımlar ise bazı sıcaklık ve basınç şartları altında kullanılabilir. Köpürtücü maddenin, köpürüp köpürmeyeceği, arzu edilen yoğunlukta olup olmayacağı, köpürtücü maddenin ayrıştığı zaman serbest kalan gazın ayrışma oranına bağlıdır. Köpürtücü madde, köpürtülecek esas metal içinde kolayca dağılabilecek şekilde partikül, granül veya toz şeklinde olabilir.

Köpürtücü maddenin ayrışma sıcaklığı, köpürtülecek esas metalin ergime noktasına yakın sıcaklıklardır. Metalik köpüklerin üretimi, ergitilmiş metal içerisine doğrudan gaz, malzeme veya bileşik toz ilavesiyle mümkün olabilir ve bu oda sıcaklığında yapılır. Fakat gazın yayılması ve ayrışması yüksek sıcaklıkta meydana gelir. Katı köpürtme maddesi kullanıldığında, ergitilmiş metal içerisinde gazın homojen bir şekilde dağılmasıyla köpürtme mümkün olabilir. Köpürtücü olarak kullanılan  $TiH_2$  gibi maddeler belli sıcaklıkta ayrışarak  $H_2$  gazı açığa çıkar. Ayrışma sonucu oluşan  $H_2$  gazı, ergitilmiş metal içerisinde kabarcıklar oluşturur. Bu esnada yapılan katılaştırma sonucu kabarcıklar yapı içerisinde kalarak hücreli yapı meydana getirir. Shinko Wire Company şirketinde yapılan çalışmalarda alüminyum içerisine %1,6  $TiH_2$  ilave edilmiştir. Ergitme ve dikkatli karıştırmanın ardından  $680\text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklıkta 15 dakika bekletilmiştir. Bu sıcaklıkta hidrojen ayrışması meydana gelmiştir. Bu şekilde üretilen köpükte % 84 – 95 arasında gözenek ve yaklaşık 5 mm boyutlarında hücreler elde edildiği görülmüştür. (Yavuz ark., 2009)

Şekil 7 de, sıvı alüminyumdan köpük levha üretimi şematik olarak gösterilmektedir (Cymat SAF Production Process). Sıvı alüminyum veya alüminyum alaşımlarına gaz enjekte (hava, azot, argon) edilerek köpük oluşumu sağlanmaktadır. Gaz, titreşimli nozul ve dönen pervane ile homojen bir şekilde sıvı metale enjekte edilmektedir. Oluşan gaz kabarcıkları yüksek kaldırma hızı ile sıvı metali hızla yukarıya doğru kaldırmaktadır. Sıvı metale, ince tozlar (silisyum karbür, alüminyum oksit, ve magnezyum oksit) ilave edilerek akıcılığı artırılabilir. Daha sonra, katılaştıran köpük levha, istenilen uzunlukta kesilmek üzere bantlı konveyör ile taşınmaktadır.



Şekil 7. Gaz enjekte edilerek alüminyum köpük levha üretimi ( Banhart 2000)

Toz Metalurjisi (T/M) yöntemi, metal köpüklerin üretimi için en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir ve bu alanda yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Toz metalurjisi yöntemi ile metalik köpük üretiminde genel olarak, metal tozları ve köpürtücü madde tozları ( $TiH_2$ ,  $ZrH_2$ , veya  $CaCO_3$ ) homojen bir şekilde karıştırılır, soğuk preslenir ve yarı mamul elde edilir. Elde edilen yarı mamul yaklaşık  $400-500\text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklıkta haddelenir. Daha sonra alaşım kısmen sıvı hale dönüştürülür. Köpürtücü madde sıvı ile tepkimeye girerek gaz kabarcıkları oluşturur ve metal içerisinde köpük oluşumu gerçekleşir.

Toz metalurjisi yöntemi ile metalik köpük üretmede homojen karışımın yapılması, gözenek oluşumu, büyümesi, katılma gibi parametreler önemlidir. Bu yöntem ile metalik köpük üretimi çok dikkat istemektedir. Çünkü artan gözenek boyutları ve katılma esnasında gözeneklerin çökmesi, bozulması ve düzensiz katılma gibi hatalar, üretilen metalik köpüklerin kalitesiz olmasına sebep olabilir (Türk Toz Metalurjisi Derneği, 2008)

Toz metalurjisi yöntemi ile, bilinen basit köpük üretiminin yanı sıra, içi boş kalıp veya profil içerisinde köpürtme, küresel köpük ve sandviç köpük yapılabilmektedir. Bu üretilere ait örnekler Şekil 8 de verilmektedir.



a



b



c

Şekil 8. a) içi boş kalıp veya profil içerisinde köpürtme b) küresel köpük c) sandviç köpük (Türker, 2009)

İnce levha halinde üretim yapılabildiği gibi, çeşitli geometrik şekil ve formlarda da üretim yapılabilmektedir. Bunlara ilave olarak köpük malzemenin mekanik özelliklerini artırmak amacıyla parçacık takviyeli köpük üretimi de yapılmaktadır. T/M yönteminde metal tozları, köpürtücü madde (genelde  $TiH_2$ ) ile karıştırılır ve preslenir. Köpürtme işlemi esnasında sıcaklığın artmasıyla yapı içerisindeki köpürtücü madde ayrışır ve gaz çıkışına neden olur. Ayrışma  $TiH_2$ 'de yaklaşık  $400\text{ }^\circ\text{C}$  civarında görülür. Bu sıcaklık alüminyumun ergime derecesinin çok altındadır. Ayrışma işlemi esnasında yüksek sıcaklıktaki metalde genleşme diğer bir değişle köpürme meydana gelir. Bilindiği gibi ergitilmiş metal içerisine seramik parçacıkların ilave edilmesi, köpüğün yüzey gerilmesini ve sıvı metalin viskozitesini değiştirmektedir. Dolayısıyla ergitilmiş haldeki köpüğün kararlılığının bu özelliklere bağlı olarak geliştirilebildiği bilinmektedir. Bu nedenle Al esaslı malzemelere ağırlıklı olarak SiC,  $Al_2O_3$  ve çeşitli bor ihtiva eden parçacıklar ilave edilmektedir. Bu yöntemlerin kombinasyonu ile mükemmel enerji sönümlenmesi sağlamaktadır. (Yavuz ark., 2009)

## 5. Metalik Köpüklerin Kullanım Alanları

Kullanım alanları sırasıyla otomotiv, inşaat başta olmak üzere gemicilik, havacılık, biyomalzeme ve bunun gibi gelişen sektörlerdir. Alüminyum, magnezyum, titanyum gibi hafif konstrüksiyon metalleri, otomotiv endüstrisinde yakıt tasarrufu için, güvenlikten ödün vermeden gerekli hafif malzeme seçiminde önemli potansiyel kullanım alanına sahiptirler. Taşıtların ağırlığının düşürülmesi ile yakıt tüketimi de azalmaktadır. Düşük yoğunlukları ve düşük yüklerde nispeten yüksek deformasyon enerjisi emme özellikleri taşıtlar için ağırlığın azaltılması ve sağlamlığın

artırılması nedeniyle kapalı hücreli alüminyum köpüklere ilgi her geçen gün artmaktadır

Araçların motor kısmında, alüminyum köpük malzemeler ısı ve ses yalıtkanlığı özellikleri nedeniyle tercih edilmektedir. Yine otomobillerde ve trenlerde güvenliği artırmak amacıyla şase ve tampon arasına yerleştirilen çarpışma kutusunda, tampon ve kapılarda dolgu malzemesi olarak da kullanılmaktadır. Diğer önemli bir kullanım sahası da rijitlik/yoğunluk oranının önemli olduğu havacılık sektörüdür. Alüminyum köpükten üretilmiş plaka ve sandviç paneller özellikle çok pahalı olan bal-peteği yapılı kompozit malzemelere alternatif olarak kullanılabilir.

Denizcilik sektöründe de kullanılabilen alüminyum köpüğün bu sektöre sağladığı en büyük avantaj, düşük yoğunluğa bağlı hafiflik ve korozyon direncidir. Özellikle seri üretim yerine özel üretimin yaygın olduğu gemicilik sektöründe alüminyum köpük istenilen tüm spesifikasyonlara uygun olarak şekillendirilebilecek bir malzemedir. Alüminyumun en çok kullanıldığı diğer bir sektör olan inşaat sektöründe ise bina cephelerine giydirmeye amaçlı, ara bölme ve çatı kaplamalarında ise yalıtım amaçlı kullanılmaktadır. Ayrıca ses izolasyonu ve sönümlenmesi sayesinde viyadüklerde, otobanlarda ses emici bariyer olarak kullanılmasına başlanmıştır. Bu noktada, hareketli köprülerin ve prefabrik yapıların inşasında alüminyum köpük kullanımı sisteme oldukça avantajlı özellikler kazandırmaktadır.

Mikro-gözenekli ve kompakt ısı değiştiricilerde, elektronik aletlerin soğutulmasında, endüstriyel fırınlarda, hava soğutmalı kondansatörlerde, kimyasal elektronik reaktörler ve kütle transferi yöntemlerinde de alüminyum köpükler geniş oranda kullanılmaktadır (<http://www.metaldunyasi.com/tr/dergi.asp>.)

## 6. Taşıtlarda Kullanılan Metalik Köpükler

Alüminyum, magnezyum, titanyum gibi hafif konstrüksiyon metalleri, otomotiv endüstrisinde yakıt tasarrufu için gerekli hafif malzeme seçiminde önemli potansiyel kullanım alanına sahiptirler. Otomotiv endüstrisinde güvenlikten ödün vermeden, konfordan vazgeçmeden, büyük ve az yakıt tüketen otomobiller için hafif, fakat mukavemeti yüksek malzemelerin geliştirilmesi, otomobil üreticilerinin önemli problemi olmuştur.

Düşük yoğunlukları ve düşük yüklerde nispeten yüksek deformasyon enerjisi emme özellikleri taşıtlar için ağırlığın azaltılması ve sağlamlığın artırılması nedeniyle kapalı hücreli alüminyum köpüklere ilgi her geçen gün artmaktadır. Enerji absorbe özelliği ele alındığında, otomobil ve trenlerde çarpışma ihtimali yüksek bölgelerdeki maksimum çarpma enerjisi dağıtılarak deformasyonu kontrol etmek mümkün olabilir. Uygulamanın olabirliği ile çarpışma sırasında ön ve kenar bölgelerin korunması amaçlanır. Uygulama alanları arasında otomobillerde çarpışma esnasında oluşan darbe enerjisini emen yapılarda kapı, tampon ve benzeri

kısımlarda dolgu maddesi olarak kullanımı bulunmaktadır.

Kendine mahsus özelliklerinden dolayı metalik köpük malzemeler darbe enerjisini absorbe edici elemanlar olarak düşünülebilir. Köpük tipine (STKT ya da eriyik-tabanlı köpükler), alışıma 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 kullanılacak bir aday malzeme yapar. Metalik köpük malzemelerin yakın gelecekte güncel hayatımıza gireceği ve hatta çok daha geliştirilerek savunma sanayinde kullanılacağı günler yakın gözükmemektedir (Yavuz ark., 2009).

## 7. Sonuçlar

Tüm dünyada taşıt sayısı her geçen gün artmakta buna bağlı olarak ta trafik kazaları çoğalmaktadır. Kaza sonucunda ortaya büyük bir enerji çıkmaktadır. Taşıt içerisindeki yolcu ve sürücülerin en az yaralanma ile kurtulabilmesi için ortaya çıkan enerjinin kısa sürede absorbe edilmesi gerekmektedir. Metalik köpüklerin mekanik özelliklerinden dolayı taşıtlar üzerinde belirli bölgelerde darbe emici olarak kullanımı için araştırmalar devam etmektedir.

Metal köpükle doldurulmuş boru profiller, burkulma süresince düzgün şekilde deforme olması ve çok yüksek enerji absorbe etme özellikleri nedeniyle otomotiv endüstrisinde şase aksamında kullanılabilir. Aynı zamanda metalik köpüklerin yapısının gözenekli olması sebebiyle darbe absorbe etme özelliğinin yanı sıra ses absorbesi, filtreleme ve ısı yalıtımı gibi birçok önemli özellikleri vardır. Metal köpüklerin bahsedilen bu özelliklerinden dolayı otomotiv endüstrisinde tercih edilebilirler.

Metalik köpüklerin üstün mekanik özelliklerinden dolayı taşıtlarda; kapı direkleri, tampon gibi darbeye maruz kalan bölgelerde, ayrıca hafiflikleri sebebiyle kapı, panel gibi parçalarda kullanımı üzerine gelişmeye yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

Metalik köpük malzemelerin üretim maliyetinin fazla olması sebebiyle çalışmalar bu alanda da yoğunlaşmaktadır. Farklı üretim yöntemleri araştırılarak ve farklı katkı maddeleri katılarak üretim maliyetleri en aza düşürülmeye çalışılmaktadır.

Metalik köpük malzemelerin yakın zamanda güncel hayatımızda oldukça fazla yer alacağı ve hatta çok daha geliştirilerek savunma sanayisinde etkili kullanılması üzerine de çalışmalar devam etmektedir. Yapılan araştırmalar ve bunların sonucunda elde edilen sonuçlar metalik köpüklerin, geleceğin en önemli malzemelerinden biri olacağını göstermektedir (Yavuz ark., 2009)

## 8. Kaynaklar

- [1] Banhart, J., 2001. Manufacture, characterisation and application of cellular metals and metal foams, Progress in Materials Science 46 559–632.
- [2] Kurt, A., O., Yayın yılı, 2004-2010 [www.aokurt.sakarya.edu.tr/dersler/dersler.ht](http://www.aokurt.sakarya.edu.tr/dersler/dersler.ht) (Erişim Tarihi: 03.05.2011).
- [3] Sarıtaş, S., Türker, M., Durlu, N., 2007. Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri, Türk Toz Metalurjisi Deneği Yayınları: 05, Ankara, Türkiye, 59 s.
- [4] Türker, M., 2009. Toz Metalurjisi Yöntemi ile Alüminyum Köpük Üretimi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09) , Karabük Üniversitesi, Karabük, 1-6.
- [5] Yavuz, İ., Başpınar, S., M., Bayrakçeken, H., 2009. Metalik Köpük Malzemelerin Taşıtlarda Kullanımı, Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED) (3) , 43-51.
- [6] Türk Toz Metalurjisi Derneği, Haber Bülteni, Aralık 2008, Sayı: 34.
- [7] <http://www.metaldunyasi.com/tr/dergi.asp>, (Erişim Tarihi: 10.05.2011).
- [8] <http://mf.dpu.edu.tr/~runal/toz/powdermet.html>, (Erişim Tarihi : 10.05.2011).
- [9] <http://www.turkcadcam.net/rapor/mim-1/index2.html>, (Erişim Tarihi: 04.05.2011)
- [10] <http://www.ask.com/wiki/Aluminium> foam, University Center for Professional Studies, University of Split, Split, Croatia - Construction Engineering, Technical English, Seminar Paper 2009 (Erişim Tarihi : 06.05.2011).
- [11] <http://www.metalfoam.net/intro.html>, (Erişim Tarihi : 06.05.2011).
- [12] [http://www.tanitim.boun.edu.tr/.../makina.../malzeme\\_bilimi\\_ve\\_imalat\\_teknolojileri\\_laboratuvari.html](http://www.tanitim.boun.edu.tr/.../makina.../malzeme_bilimi_ve_imalat_teknolojileri_laboratuvari.html), (Erişim Tarihi : 02.05.2011).