

169399

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALÜMİNYUM METAL KÖPÜKLERİNİN DİFÜZYON
KAYNAĞI (TLP) DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Seda BİLHAN

Danışman: Yrd.Doç. Dr. Sermin OZAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2005

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALÜMİNYUM METAL KÖPÜKLERİNİN DİFÜZYON KAYNAĞI (TLP) DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Seda BİLHAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Bu tez, 02.09.2005 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği / ~~oyçokluğu~~ ile başarılı / ~~başarısız~~ olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Yrd.Doç. Dr. Sermin OZAN

Üye: Prof.Dr. M. Mustafa YILDIRIM

Üye: Yrd.Doç. Dr. Cebeli ÖZEK

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ~~04/09/2005~~ tarih ve ~~2005-30/9~~ sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanması esnasında, yardım ve desteklerini esirgemeyen başta danışman hocam Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim, Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü öğretim üyesi Sayın Yrd. Doç. Dr. Sermin Ozan'a; yol göstericiliği ile hepimizi yönlendiren, çok değerli büyüğüm ve hocam Sayın Prof. Doç. Dr. Nuri ORHAN'a; tezi Fen Bilimleri Enstitüsü'nce belirlenen esaslar çerçevesinde yazılıp, deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve yorumunda emeği geçen Metal Eğitimi Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. M. Mustafa YILDIRIM hocama teşekkürlerimi arz etmeyi bir borç bilirim.

Ayrıca; atölye çalışmalarında yardımcı olan Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü Araştırma Görevlisi Sayın Ulaş ÇAYDAŞ'a ve Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü'nde doktora eğitimi gören sayın Vedat Veli ÇAY'a çok teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİLLER LİSTESİ	IV
TABLolar LİSTESİ	V
ÖZET	VI
ABSTRACT	VII
1.GİRİŞ	1
2.KATI HAL KAYNAĞI	2
2.1.Difüzyon.....	2
2.2.Difüzyon Kaynağı.....	3
2.3.Difüzyon Kaynağına Etkileyen Faktörler.....	4
2.3.1.Kaynak Sıcaklığı.....	4
2.3.2.Yüzey Şartları.....	4
2.3.3.Kaynak Basıncı.....	5
2.3.4.Kaynak Süresi.....	5
2.3.5.Kaynak Ortamı (Atmosferi).....	6
2.3.6.Birleştirilecek Malzemelerin Mikroyapılarının ve Tane Boyutlarının difüzyon kaynağına etkileri.....	6
2.4.Difüzyon Kaynağına Uygulanan Malzemeler.....	7
2.5.Difüzyon Kaynağı Teknikleri.....	7
2.5.1.Difüzyon Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları.....	7
2.6.Difüzyon Kaynağı Uygulama Alanları.....	8
3.TOZ METALÜRJİSİ	9
3.1.Toz Metalürjisi İle Parça Üretimi.....	9
3.1.1.Talaşlı İmalat Gerektirmeyen Makine Parçaları.....	10
3.1.2.Sert Metaller.....	10
3.1.3.Takım Çelikleri.....	10
3.1.4.Sermetler.....	11
3.1.5.Kaynaklı Yataklar.....	11
3.1.6.Gözenekli Metal ve Filtreler.....	11
3.1.7.Sürtünme Elemanları.....	11
3.1.8.Elektrik ve Manyetik Uygulamalar.....	11
3.1.9. Diğer Uygulamalar.....	12
3.2. Toz Metalürjisi Üretim Aşamaları.....	12
3.2.1.Toz Hazırlama.....	12
3.2.2. Presleme.....	12

3.2.2.1.Metal Kalıplarda Presleme.....	13
3.2.2.2.İzostatik Presleme.....	13
3.2.2.3. Haddeleme.....	14
3.2.2.4.Ekstrüzyon.....	14
3.2.2.5.Sinterleme.....	14
3.2.2.5.1. Sinterleme Atmosferi.....	15
3.2.2.5.2.Sinterleme Fırınları.....	15
4. METAL KÖPÜKLERİ.....	16
4.1. Metal Köpük Üretim Yöntemleri.....	20
4.1.1. İnfiltrasyon Yöntemi.....	21
4.1.1.1.Tuz Kalıplarla Metal Köpük Üretimi.....	21
4.1.1.2. Plaster Kalıplarla Metal Köpük Üretimi.....	21
4.1.1.3. İnfiltrasyon Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları.....	22
4.1.2. Ergitme Yöntemiyle Metal Köpük Üretimi.....	22
4.1.2.1. Ergitme Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları.....	23
4.1.3.Köpüklendirici Etken Maddelerle Köpük Oluşturma Yöntemi.....	23
4.1.3.1. Alporas Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları.....	24
4.1.4.Formgrip Yöntemiyle Metal Köpük Üretimi.....	24
4.1.4.1. Formgrip Yönteminin Avantaj Ve Dezavantajları.....	24
4.1.5. Katı-Gaz-Ötektik Katılaşma Yöntemiyle Metal Köpük Üretimi.....	25
4.1.6.Toz Metalürjisi ile Köpük Üretme Yöntemiyle Metal Köpük Üretimi.....	25
4.1.6.1.Toz Metalürjisi Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları.....	26
4.2. Metalik Köpüklerinin Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı.....	27
5. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM KÖPÜKLERİ.....	29
5.1. Alüminyumun ve Özellikleri	29
5.2. Alüminyumun Mekanik Özellikleri ve Kullanım Alanları.....	29
5.3. Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynak Kabiliyeti.....	32
6. ALÜMİNYUM KÖPÜĞÜ.....	33
7.LİTERATÜR ÇALIŞMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	35
8.DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	36
8.1.GİRİŞ.....	36
8.2. Deneyde Kullanılan Malzemeler.....	36
8.3. Deneylerde Kullanılan Alüminyum Köpüğün Üretimi	36
8.4.Difüzyon Kaynağı.....	39
8.4.1. Difüzyon Kaynağı Aparatı.....	39
8.4.2.Numune Hazırlama.....	41

8.4.3.Difüzyonla Birleştirme.....	41
8.5.Metalografik İncelemeler.....	41
8.5.1.Kaynak Öncesi Metalografik İncelemeler.....	41
8.5.2. Kaynak Sonrası Metalografik İncelemeler.....	42
9.DENEY SONUÇLARI ve İNCELENMESİ.....	43
9.1. Metalografik İncelemeler.....	43
10.ALÜMİNYUM KÖPÜĞÜN DİFÜZYON KAYNAĞI.....	49
10.1.GİRİŞ.....	49
10.2.Difüzyon Kaynağıyla Birleştirilen Alüminyum köpüğün Optik Mikroskopi Analizi.....	49
10.3.Kaynak Numunelerine Uygulanan Bindirme-Kayma Testi.....	51
11.SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	52
KAYNAKLAR.....	53



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Yüzey kusurları.....	5
Şekil 3.1. Toz Metalürjisi İle Üretilen Parçaların İşlem Sırası.....	9
Şekil 3.2. İzostatik Presleme.....	13
Şekil 3.3. Haddelme.....	14
Şekil 4.1. Değişken Gözenek Boyutuna Sahip Alüminyum Alaşım Köpük Yapı (mikrofilm).....	18
Şekil 4.2. Metal ve Metalik Köpük Yapının Gerilme – Uzama Davranışlarının Kıyaslanması.....	19
Şekil 4.3. Toz Metalürjisi Yöntemi İle Metalik Köpük Malzeme Üretimi.....	20
Şekil 4.4. Tuz Kalıplarla Köpük Üretiminin Şematik Aşamaları	21
Şekil 4.5. Plaster Kalıpta Köpük Üretiminin Şematik Aşamaları	22
Şekil 4.6. Alcan Alüminyum Metal Köpük Üretiminin Şematik Gösterimi.....	22
Şekil 4.7. Alporas Alüminyum Metal Köpük Üretiminin Şematik Gösterimi.....	23
Şekil 4.8. Gasar, Yöntemi İle Üretilmiş Metal Köpüğü.....	25
Şekil 4.9. Fraunhofer Toz Metalürjisi Metal Köpük Üretiminin Şematik Gösterimi	26
Şekil 4.10. Audi A8 Üzerinde Kullanılan Yapısal Köpük Malzemeler.....	27
Şekil 4.11. Al Köpüğünden Yapılmış Ön Panel.....	28
Şekil 5.1. Alüminyum Kullanımının Sektör Bazında Dağılımı.....	29
Şekil 6.1. Alüminyum Köpük Malzemeden Yapılmış Darbe Emici Parça.....	33
Şekil 8.1. Al ve NaCl'un Karıştırılmasında Kullanılan Karıştırıcı.....	37
Şekil 8.2. Soğuk Presleme Kalıbı.....	38
Şekil 8.3. Soğuk Presleme Kalıbında Elde Edilen Numunelerin Fotoğraf Görünümü.....	38
Şekil 8.4. Difüzyon Kaynağı Aparatı.....	40
Şekil 8.5. Difüzyon Kaynağı Aparatının Şematik Görünümü.....	40
Şekil 8.6. Optik Mikroskopta İncelenen Numune Boyutu.....	42
Şekil 9.1. %90 Al - %10 NaCl Numunelerin Optik Fotoğrafı.....	43
Şekil 9.2. % 80 Al - % 20 NaCl Numunelerin Optik Fotoğrafı.....	44
Şekil 9.3. % 70 Al - % 30 NaCl Numunelerin Optik Fotoğrafı.....	45
Şekil 9.4. % 90 Al - % 10 NaCl Numunelerin SEM Fotoğrafları.....	46
Şekil 9.5. % 90 Al - % 10 NaCl Numunelerin EDS analiz grafiği.....	46
Şekil 9.6. % 80 Al - % 20 NaCl Numunelerin SEM Fotoğrafı.....	47
Şekil 9.7. % 80 Al - % 20 NaCl Numunelerin EDS analiz grafiği.....	47
Şekil 9.8. % 70 Al - % 30 NaCl Numunelerin SEM Fotoğrafı.....	48
Şekil 9.9. % 70 Al - % 30 NaCl Numunelerin EDS analiz grafiği.....	48
Şekil 10.1. Alüminyum Köpük Çiftinin Optik Fotoğrafı (a, b = %10'luk alüminyum köpüğü, c = birleşme bölgesi), (T = 600 °C, t = 20 dakika).....	49
Şekil 10.2. Alüminyum Köpük Çiftinin Optik Fotoğrafı (a, b = % 20'lik alüminyum köpüğü, c = birleşme bölgesi), T= 600 °C, t = 40 dakika).....	50
Şekil 10.3. Alüminyum Köpük Çiftinin Optik Fotoğrafı (a, b = %30'luk alüminyum köpüğü, c = birleşme bölgesi), (T= 600 °C, t = 60 dakika).....	50
Şekil 10.4. Al Köpük /A 1047 /Al Köpük Kaynak Çiftlerinin Bindirme-Kayma Test Sonuçları.....	51

TABLULAR LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 4.1. Metal Köpüklerinin Yapısal Olarak Sınıflandırılması.....	16
Tablo 4.2. Metal Köpüklerinin Genel Sınıflandırılması.....	17
Tablo 4.3. Ticari Metalik Köpük Malzemelerin Bazı Özellikleri.....	19
Tablo 5.1. Alüminyum Özelliklerine ve Malzeme Şekline Bağlı Olarak Ana Sektörlerde Kullanımı.....	30
Tablo 5.2. Alüminyumun Çeşitli Uygulamalarda Avantaj ve Dezavantajları.....	31
Tablo 5.3. Alüminyumun Mekanik Özellikleri.....	32
Tablo 6.1 Alüminyum Köpüklerinin Kullanım Alanları.....	34
Tablo 8.1. Alüminyum Tozun Kimyasal Bileşimi.....	36
Tablo 8.2. Üretilen Köpüklerin Karışım Oranları.....	37



Yüksek Lisans Tezi

ALÜMİNYUM METAL KÖPÜKLERİNİN DİFÜZYON KAYNAĞI DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Seda BİLHAN

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalürji Eğitimi Anabilim Dalı

2005, Sayfa : 57

Bu çalışmada, alüminyum tozu ve çözülebilir bir tuz kullanılarak toz metalurjisi tekniği ile alüminyum metal köpüğü, üretilmiştir. Bunun için alüminyum ve tuz tozu % 10, % 20, % 30 oranlarında mekanik olarak karıştırılmıştır. Karışım hidrolik preste 200 MPa'lık basınç altında sıkıştırılmıştır. Sıkıştırılan malzemeler fırında 630 °C sıcaklıkta sinterlenmiştir. Sinterlenen numuneler ılık su banyosunda yıkanarak, yapıdaki tuz eritilmiş ve yapı hücreli hale getirilmiştir.

Üretilen alüminyum metal köpüğünden 10x10 mm kesitindeki numuneler argon atmosferinde 3 MPa'lık basınçta, 600 °C sıcaklıkta, 20, 40, 60 dakikalık sürelerde ve A 1047 alüminyum ara tabaka kullanılarak difüzyon kaynağı ile birleştirilmiştir. Birleştirilen numunelerin iç yapısı, kaynak öncesi optik mikroskopi, SEM ve EDS analizleriyle, kaynak sonrası numunelerin yüzeyleri optik mikroskopi analizleriyle tespit edilmiş ve kaynaklı bağlantının mekanik dayanımı bindirme kayma testi ile belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Difüzyon kaynağı, toz metalürjisi, Al köpükleri, gözenekli malzemeler.

ABSTRACT
Master Thesis

THE INVESTIGATION OF DIFFUSION BONDING BEHAVIOUR OF ALUMINIUM
METAL FOAMS

Seda BILHAN

Firat University
Graduate School of Sciences
Department of Metallurgy Education
2005, Page : 57

In this study, to produce of an aluminium foam, a mixture from pure aluminium powders and a soluble salt which were joined by powder metallurgy techniques. In order to obtain an aluminium metal foam, aluminium and the salt powders were mechanically mixed in rates of 90:10, 80:20 and 70:30. The mixture was pressed under 200 MPa pressure by using a hydraulic press machine. The pressed materials were sintered in a metallurgical furnace at 630 °C. The sintered samples were washed in a warm-water bath and then the salt in sintered material was been dissolved, therefore the samples which had cell-structure were produced.

Samples which were obtained from the produced aluminium metal foam which had a dimension of 10x10 mm in cross-section were bonded by diffusion bonding techniques with use a 1047 interlayer aluminium material in argon gas atmosphere, under 3 Mpa pressure, 600 °C temperature and for 20, 40, 60 minutes working times. Microstructures of the bonded samples were determined by Optic Microscopy (OM), Scanning Electron Microscopy (SEM) and Electron Dispersion Structure (EDS) before and after the bonding process. In addition, mechanical resistance of diffusion bonded aluminium foam samples were determined by using of lap-shear mechanical test.

Key Words: Diffusion bonding, powder metallurgy, Al foams, porous materials.

1. GİRİŞ

Difüzyon kaynağı, daha çok katı halde benzer olmayan iki metali birleştirmek için kullanılan ileri bir kaynak yöntemidir. Yöntem, geleneksel kaynak yöntemleriyle birleştirilemeyen düşük karbonlu çeliklerden seramikler ve kompozitlere kadar geniş bir alanda malzemeleri birleştirmek için kullanılır.

Çağımızda teknolojinin hızla gelişmesi, sanayinin temel girdisi olan malzeme ve malzeme bilimindeki gelişmeleri de beraberinde getirmiştir. Yeryüzündeki hammadde kaynaklarının sınırlı olması ve bu malzemelerin fiziksel ve kimyasal açıdan yetersizliği, insanoğlunu yeni malzemeler geliştirme arayışına sürüklemektedir. Metal köpükleri; inşaat ve taşımacılık alanından, uzay gemilerinin yapısal kısımlarına kadar çok geniş bir alanda kullanılmaktadır ve bunların üretimi için mevcut bir çok yöntem vardır. Bu çalışmada metal tozlarının etken köpük yapıcı maddelerle sıkıştırma yöntemiyle (toz metalurjisi) köpük üretilmiştir.

Alüminyum köpüğü, son zamanlarda araştırmaların çoğunda yaygın olarak kullanılan bir metal köpüğüdür. Bunun sebebi; alüminyum köpüğünün düşük yoğunluk, düşük ergime sıcaklığı, yüksek korozyon direnci ve kolay işlenebilme özelliğine sahip olmasıdır. Araştırmaların büyük çoğunluğu alüminyum köpük üretimi ve özellikleri üzerinde durmuş, çok az bir kısmı da bu tür malzemelerin birleştirilmesi üzerine çalışma gerçekleştirmiştir. Deneysel çalışmaların çoğunluğunu iki grupta toplamak mümkündür. Bunlar; ergitme kaynak yöntemi ve katı hal kaynak yöntemidir.

Alüminyum alaşımlarının katı hal kaynak yöntemi ile birleştirmelerde bazı problemler mevcuttur. Bunların en önemlisi; bu alaşımların inatçı yüzey oksitleri yüzünden difüzyon kaynağı güç olmaktadır. Bununla beraber; birleşme bölgesinde yüksek sıcaklık ve büyük ölçekli deformasyon uygulanmasının, inatçı oksit tabakalarını kırdığı ve yüzey kaplama ya da ara tabaka kullanılması ile daha düşük basınç altında difüzyon kaynağı yapmanın kolaylaştığı tespit edilmiştir (Koçer, 1999).

Çalışma, 11 ana bölümden oluşmuştur. 1. bölümde konuya giriş yapılmıştır. 2. ve 3. bölümde, katı hal kaynağı ve toz metalurjisi hakkında literatür bilgileri verilmiştir. 4. , 5. ve 6. bölümde, genel olarak metal köpükleri ve alüminyum köpükleri hakkında literatür bilgileri yer almaktadır. 7. bölümde, literatür çalışmasının değerlendirilmesi 8. bölümde, deneysel çalışmada izlenen yöntemler üzerinde durulmuştur. 9. bölümde, deney sonuçları ve irdelenmesi yer almıştır. 10. bölümde, alüminyum köpüğünün difüzyon kaynağına yer verilmiştir. 11. bölümde, deney sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır.

2. KATI HAL KAYNAĞI

Katı hal kaynağı, benzer ya da farklı iki malzemenin, malzemelerin ergime sıcaklıkları altındaki bir sıcaklıkta, malzemelerde makroskopik plastik bir deformasyon meydana getirmeyen bir basınç uygulanarak birleştirilmesi yöntemlerinin genel adıdır.

Başlıca katı hal kaynak işlemleri şu şekilde sınıflandırılabilir:

1. Difüzyon kaynağı,
2. Ultrasonik kaynak,
3. Demirci (ocak) kaynağı,
4. Sürtünme kaynağı,
5. Yüksek frekans kaynağı,
6. Sürtünen elemanla birleştirme kaynağı,
7. Soğuk basınç kaynağı,
8. Döküm basınç kaynağı,
9. Gaz basınç kaynağı,
10. Elektrik ark basınç kaynağı,
11. Elektrik direnç kaynağı,
 - a. Direnç nokta kaynağı,
 - b. Direnç dikiş kaynağı,
 - c. Yakma alın kaynağı,
 - d. Direnç saplama kaynağı.

2.1. Difüzyon

Difüzyon, atomların serbest enerjilerini azaltıp daha kararlı duruma geçebilmek için bir konumdan başka bir konuma göç etmeleridir.

Malzeme içerisinde serbest enerjide yerel farklılıklar oluşturan faktörler; konsantrasyon farklılıkları, yüzey eğriliğindeki farklar, malzemede iç ve dış kuvvetler, sıcaklık farkı gibi etkilerle oluşan iç ve dış gerilme farkları şeklinde özetlenebilir. Bu farklılıkların hepsi malzemenin kimyasal potansiyelinde, yani mol başına serbest enerjisinde bir gradiyent oluşturur. Oluşan gradiyent atomlar arasındaki bağı koparacak seviyeye ulaşınca atom göçü başlar. Atomlar, yüksek enerjili bölgelerden, düşük enerjili bölgelere doğru yer değiştirirler.

Difüzyonu başlatmak için sisteme verilmesi gereken enerjiye, aktivasyon enerjisi denir. Difüzyon aktivasyon enerjisi (Q), bir atomun yer değiştirmesi için atomun enerjisinde meydana getirilmesi gereken değişim kadardır. Bu enerji değişimi, aslında, sistemin entalpisindeki değişime de eşittir ve etkisini, yayınan herhangi bir elementin difüzyon yeteneği ve hızını veren difüzyon katsayısı üzerinde gösterir. Aktivasyon enerjisi azaldıkça, atomların yayınmaları da o oranda kolaylaşır.

Difüzyon katsayısı D (m^2s^{-1}) olup,

$$D = D_0 \exp(-Q/RT)$$

2.1

denklemleri ile verilmektedir. Burada, T difüzyonun gerçekleştiği mutlak sıcaklık (K), Q difüzyona ait aktivasyon enerjisi (J/mol); R , universal gaz sabiti (J/mol) ve D_0 da malzemeye ait zamandan bağımsız parametreleri içeren difüzyon sabitidir.

2.1 no'lu denklemde görüldüğü gibi malzeme için difüzyonu etkileyen iki büyüklük vardır. Bunlar sıcaklık ve difüzyon aktivasyon enerjisidir. Difüzyon aktivasyon enerjisi, difüzyonun tipine göre farklı değerler almaktadır. Tane sınırları, serbest yüzeyler, arakesitler ve dislokasyonlar ile kusurlu bölgeler yüksek enerjili bölgeler oluşturdukları için, daha düşük aktivasyon enerjilerine gerek duyarlar. Malzemelerin maruz kaldığı metalurjik dönüşümler de bir anlamda düzensizlik meydana getirdikleri için, difüzyon aktivasyon enerjisini azaltır ve dolayısıyla difüzyonu hızlandırır.

2.2. Difüzyon Kaynağı

Difüzyon kaynağı; birleştirilmek üzere eşleşmiş iki yüzeyin, malzemelerin ergime sıcaklıkları altındaki bir sıcaklıkta, malzemelerde tesbit edilebilir plastik akmaya sebep olmayan bir basınç altında, katı hal difüzyonu yoluyla malzemeler arasında metalurjik bir bağ oluşuncaya kadar, malzemenin özelliklerini önemli ölçüde etkilemeyecek bir süre tutulmasıyla uygulanan kaynak yöntemidir. Malzemelerin ara yüzeylerinde uygulanan sıcaklıkla ergiyen bir ara tabaka kullanıldığı takdirde, buna "Sıvı faz difüzyon kaynağı" denir (Koçer, 1999).

Difüzyon kontrollü birleşme işlemini başlatabilmek için, iki yüzey artıklardan ve makro pürüzlülüklerden arındırılmış bir şekilde temas ettirilir. Bu temas, atomlar arasında bağ oluşumuna imkan verecek bir yakınlıkta olmalıdır. İlk bağ oluşuktan sonra, sıcaklık yardımıyla difüzyon başlar ve yüzeylerin ara kesitindeki boşluklar doldurulur.

Difüzyon kaynağı, basınç altında sinterlemeye benzer bir işlemdir. Dolayısıyla difüzyon kaynağı mekanizması şu şekilde genelleştirilebilir:

1. Yük altında plastik deformasyon,
2. Sürünme deformasyonu,
3. Difüzyon,
4. Yeniden kristalleşme ve tane sınırı göçü.

2.2.3. Difüzyon Kaynağını Etkileyen Faktörler

Difüzyon kaynağı aşağıdaki faktörlerin etkisi altındadır;

- a. Kaynak şartları: Sıcaklık, zaman, basınç, yüzey pürüzlülüğü ve çalışma ortamı (atmosfer).
- b. Birleştirilecek malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri: Mekanik özellikler, kristal yapı, tane boyutu, atom yarıçapı, yeniden kristalleşme sıcaklıkları ve yüzey enerjileri.
- c. Metalurjik özellikler: Farklı metal ya da malzeme çiftlerinin karşılıklı çözünürlüğü ve metallere arası bileşiklerin oluşumu.

2.3.1. Kaynak Sıcaklığı

Sıcaklık; deformasyona, oksit çözünürlüğüne, allotropik dönüşüme, yeniden kristalleşmeye, sürünme ve difüzyona ve işlemin kısa sürede oluşmasına etki ettiğinden en önemli parametredir. Aynı cins metallerin birleştirilmesinde işlem sıcaklığı, T_m (K) metalin ergime sıcaklığı olmak üzere:

$$T_k \approx (0,5-0,7) \cdot T_m$$

olarak alınır.

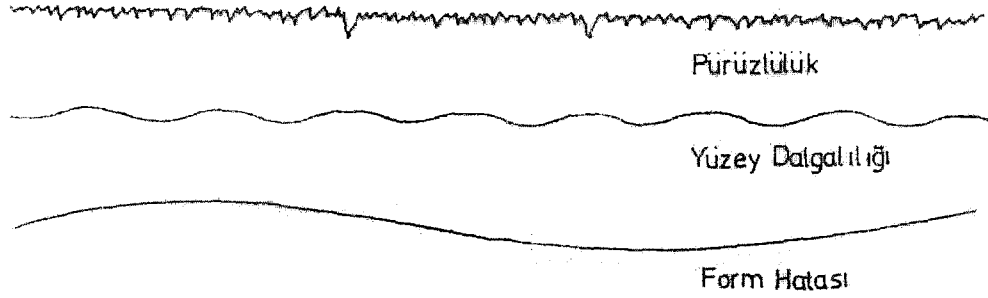
Difüzyon kaynağında kullanılan sıcaklık değeri, malzemelerin mutlak ergime sıcaklıklarından daha küçük olan sıcaklık değerleridir (Partridge, 1989). Bu sıcaklığın, mümkün olduğu kadar yüksek, sabit ve üniform olarak uygulanması gerekir (Salehi, 1990).

2.3.2. Yüzey Şartları

Kaynak yapılacak metallerin bağlantı yüzeylerinin durumu difüzyon kaynağını etkileyen faktörler arasındadır. Oksitler; organik filmler, organik yüzey kirleri ise kaynak işlemini olumsuz etkiler.

Oksit tabakaları birleşecek yüzeylerin temasını önleyip, birleşme esnasında difüzyon yoluyla sinterlemeye yol açarak, bağ oluşumunu geciktirir ve arakesitte tane sınırı difüzyonunu engelleyerek, boşluk kalmasına sebep olur.

Yüzey pürüzlülüğü de difüzyon kaynağını etkileyen faktörler arasındadır. Kaynak yapılacak numunelerin yüzey pürüzlülüğü ilk temastan sonra oluşacak boşluk şekli ve dolayısıyla yüzey difüzyonu için başlıca belirleyici faktördür. Yüzey difüzyonu doğrudan doğruya boşluğa kütle transferi sağlamasa da transfer olunan kütlenin boşluk etrafına dağılmasını düzenlemektedir.



Şekil 2.1. Yüzey kusurları

2.3.3. Kaynak Basıncı

Kaynak basıncı, difüzyon kaynağına şu şekilde etki eder:

1. Yüzey pürüzlerinin plastik akmasına yardımcı olur.
2. Çözülmesi mümkün olmayan yüzey oksitlerini metalin metalle temasını sağlamak için kırar ve temas alanını artırır.
3. Birleşecek yüzeyleri birbirine atomlar arası mesafede yaklaştırarak, atomlar arası çekim kuvvetlerinin faaliyete geçmesini sağlar.
4. Difüzyon için kimyasal potansiyel farkı meydana getirir.

Dubrovsky (1986), temas alanındaki deformasyon miktarı arttıkça difüzyon hızının arttığını belirtmektedir.

2.3.4. Kaynak Süresi

Kaynak süresi bağımlı bir işlem parametresi olup; sıcaklık, basınç ve birleşme türüne bağlıdır. Kaynak süresi, birkaç saniyeden birkaç saate kadar değişebilir. Süre, sıcaklık ve basınç artırılarak kısaltılabilmektedir. Kirli yüzeyler ve düşük sıcaklıklarla çalışması durumunda kaynak süresi uzamaktadır.

2.3.5. Kaynak Ortamı (Atmosferi)

Difüzyon kaynağında, kaynağın yapıldığı ortam da kaynak için önemlidir. Parça yüzeylerinde ve arakesitte oksidasyondan sakınmak için koruyucu bir atmosfer kullanılır. Bu koruyucu atmosfer ya vakum ya da soygaz atmosferidir.

Kaynak esnasında, soygaz olarak argon, helyum ve azot kullanılabilir. Soygazlarla atmosferik kontrol, ancak belli bir dereceye kadar yapılabildiğinden kararlı oksitlere sahip metallerde vakum kullanılmaktadır. Vakum ortamında 1.3×10^{-2} ile 1.3×10^{-5} Pa'lık basınçlar tercih edilmektedir. Birleştirilecek arayüzeyler oksitlenmeden korunduğu gibi, yüzeydeki yabancı maddelerde yüzeyden uzaklaştırılmaktadır. Vakum ortamında yapılan kaynaklı birleştirmeler, koruyucu gaz altında yapılan birleştirmelerden daha iyi dayanım sağlamaktadır.

2.3.6. Birleştirilecek Malzemelerin Mikroyapılarının ve Tane Boyutlarının Difüzyon Kaynağına Etkileri

Mikroyapı, tane boyutu, ara tabaka difüzyon kaynağına etki eden metalurjik faktörlerdir. Mikro yapılar taneli, küresel, lamelli ve tabaka tipi olmak üzere 4 gruba ayrılmaktadır. Bu mikro yapılar farkı sürünme hızlarına sahip olduğundan, difüzyon kaynağına uygunluk açısından da farklılıklar gösterir.

Difüzyon kaynağı için ideal yapının ince taneli olduğu bulunmuştur. Bu yapı süperplastik alaşımlarda mevcuttur. Tabaka şeklindeki taneler arttıkça, sürünme hızı azalmakta ve sonuçta arakesitte boşluklar kalmaktadır. Lamelli yapı (α/β) bölgesinde, diğer iki yapı ile karşılaştırıldığında daha düşük sürünme hızına sahiptir.

Haddelenmiş yapılar, difüzyon kaynağı esnasında, haddelenmiş yüzeyin birleşme yüzeyi olarak kullanılması halinde, plastik deformasyona karşı en yüksek dirence rastlanmıştır. Birleştirme yüzeyi olarak, hadde düzlemine dik doğrultudaki düzlemin seçilmesi halinde, en yüksek bağlantı mukavemeti elde edilmektedir.

Tane boyutunun hem kaynak esnasında, hem de kaynak sonrasında bağlantının mukavemeti açısından büyük önemi vardır. Tane boyutu küçülüp, tane sayısı arttıkça, boşlukların difüzyonla doldurulması kolaylaşmakta ve arakesitte boşluk kalması ihtimali azalmaktadır.

Malzemedeki kusur sayısı (baş kafes noktaları, tane sınırları, dislokasyonlar) arttıkça yüksek difüzyon kanalları artacağından difüzyon hızlanmaktadır. Mikroyapıdaki sert fazlar, çöktürler, empürüteler etraflarında bir gerilme gradiyenti oluşturarak difüzyonu kısmi olarak hızlandırabilir.

Dönüşüm sıcaklıkları (noktaları) da difüzyon aktivasyon enerjisini değiştirerek difüzyon hızına etki edebilmektedirler.

Difüzyon kaynağında, birleşme işlemini hızlandırmak, bağlantının mekanik özelliklerini geliştirmek veya birbirinden farklı metal-metal olmayan malzemelerin kaynağında karşılıklı difüzyon çifti oluşturmak için ara tabakalar kullanılmaktadır.

2.4. Difüzyon Kaynağı Uygulanan Malzemeler

Difüzyon kaynağı ile birbirinin aynı ya da farklı birçok malzeme birleştirilmektedir. En yaygın uygulama, titanyum alaşımlarından uçak parçaları yapımında görülmektedir. Son zamanlarda Ti-alüminidleri, alüminyum ve lityum içeren yüksek mukavemetli alaşımlar, nikel esaslı alaşımlar, metal-matrisli kompozitler difüzyon kaynağıyla birleştirilmektedir.

2.5. Difüzyon Kaynağı Teknikleri

Birleştirilen malzemeler arasında ilave ara tabaka kullanılıp kullanılmamasına göre difüzyon kaynağı;

1. Ara tabaka kullanılarak yapılan difüzyon lehimlemesi,
 - a. Tek ara tabaka kullanılan difüzyon lehimlemesi,
 - b. Birden çok ara tabaka kullanılan difüzyon lehimlemesi,
2. Ani sıvı faz kaynağı,
3. Direkt difüzyon kaynağı, olmak üzere üçe ayrılabilir.

Difüzyon kaynağı, uygulanma ortamına göre;

1. Koruyucu gaz atmosferinde difüzyon kaynağı.
2. Vakum altında difüzyon kaynağı, olmak üzere ikiye ayrılabilir (Zhang ve Nakagawa, 1987).

2.5.1. Difüzyon Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları

1. Farklı malzemelerde, homojen ve gerilmesiz bağlantılar oluşturur.
2. Ergitme kaynağı ile birleştirilemeyen malzemelerin birleştirilmesini sağlar.
3. Farklı yüzey geometrilerine sahip parçaların birleştirilmesini mümkün kılar.
4. Parçalardaki deformasyon çok küçük sınırlar içerisinde tutulabilir. Dolayısıyla pek çok uygulamada ikinci bir işlem gerekmez.
5. İşlem tam otomatik hale getirilebildiğinden kalifiye eleman ihtiyacı azalır.
6. Donanım maliyeti yüksektir.
7. Çok temiz ve hassas yüzey hazırlama ve koruyucu gaz atmosferi gerektirir.
8. Bazen çok uzun çalışma süreleri gerektirir.
9. Özel bir kaynak aparatı gerektirdiği için parça boyutları büyüdükçe maliyeti artar.

2.6. Difüzyon Kaynağının Uygulama Alanları

Difüzyon kaynağının uygulama alanları Őöyle sıralanabilir:

Havacılık ve uzay sanayi,

Nükleer sanayi,

Elektronik sanayi,

Savunma sanayi,

Genel mühendislik (Koçer, 1998).



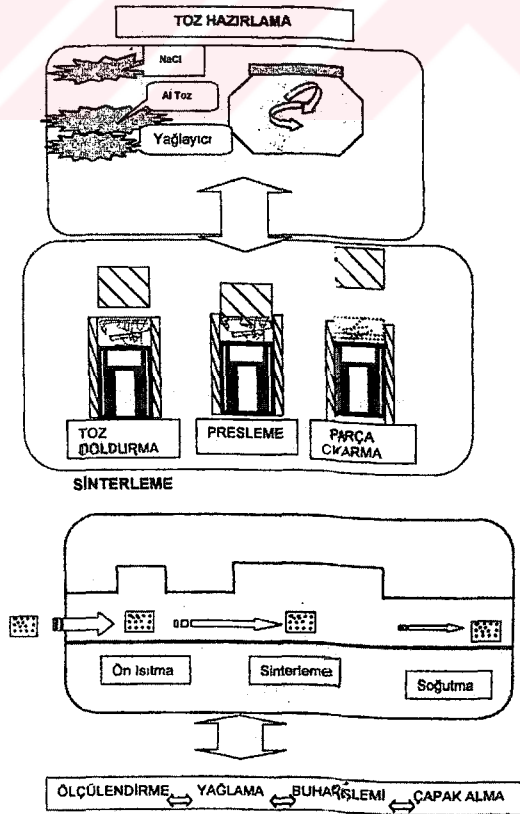
3. TOZ METALURJİSİ

Metal tozlarının belirli oranlarda karıştırılarak, oda sıcaklığında ya da yüksek sıcaklıklarda, hassas kalıplarda, istenilen teknik değerlere uygun basınçlarda sıkıştırılması (presleme) ve kontrollü atmosferlerde fırınlanması ile parça üretme yöntemidir. Parçalarda beklenen diğer özelliklere ulaşmak için sinterlemeden sonra kalibrasyon, çapak alma, yağlama ve ısıl işlemler de uygulanabilir (Kyung ve diğ., 2005).

Sinterlenmiş parçalar, sinterlemeden sonra kendilerinden istenen mekanik özelliklere ve yüzey kalitesine sahip olur ve ayrıca ilave bir işleme gerektirmez. Hammadde kullanımı % 100'e ulaşırken, imalat girdisi en düşük seviyede kalır. Parçalar, daha fazla mukavemet ve hassasiyet değerleri için, bir sonraki ısıl işlem ve kalibrasyon işlemine tabi tutulur.

3.1. Toz Metalurjisi İle Parça Üretimi

Makine, bilgisayar, elektroteknik ve uzay teknolojilerinin hızla gelişmesi malzeme biliminin gelişmesini de zorunlu hale getirmiştir. Mühendislik malzemelerinin kullanıldığı yerler farklı olduğundan, malzemelerden çok farklı özellikler istenmektedir. Dökümle yapılan üretimde ya istenilen özelliklere uygun malzemeler üretilmemekte ya da bunların üretimi çoğu kez problemlidir. Boyutları çok küçük parçalarla, metalik tozların değerlendirilmesinin gerektiği durumlarda, üretimde tercihen sinterleme metodu seçilmektedir.



Şekil 3.1. Toz metalurjisi ile üretilen parçaların işlem sırası

Toz metal üretim teknikleriyle üretilen malzemeler:

1. Talaşlı imalat gerektirmeyen makine parçaları,
2. Sert metallere,
3. Takım çelikleri,
4. Sermetler,
5. Gözenekli, yağlama gerektirmeyen kaymalı yataklar,
6. Gözenekli metal ve fitiller,
7. Sürtünme elemanları,
8. Elektrik ve manyetik özellikli malzemeler örnek olarak verilebilir.

3.1.1. Talaşlı İmalat Gerektirmeyen Makine Parçaları

Toz metalurjisi ile talaşlı imalat gerektirmeyen dayanıklı parçaların üretimi mümkün olmaktadır. Otomotiv sektöründe kullanılmakta olan küçük boyutlu parçaların üretimi, tozun preslenip sıkıştırılması ile başka işlem gerektirmeden son şekli verilerek, kolaylıkla gerçekleştirilmektedir. Toz metalurjisi ile üretilen parçalarda, malzeme tasarrufu % 100'e ulaşırken, bu parçaların tek işleme üretilmesi zaman ve enerjide de büyük tasarruf sağlamaktadır. Yakıt pompası elemanları, amortisör pistonu, zincir dişlileri, mandallar ve daha bir çok talaş kaldırmaksızın üretilen parçalar, en fazla kullanılan alanlardır (Uygur, 1979; Kurt 1994).

3.1.2. Sert Metaller

Ergime sıcaklığı yüksek karbürler ve birleştirici görevi üstlenen demir grubu bir metal veya metal alaşımı içeren mamullere, sert metal ya da sinterlenmiş karbür denir.

Sert metallere üretiminde kullanılan ham maddeler; volfram, titanyum, tantal, molibden, vanadyum, niyobyum karbürlerinin tozları ile bağlayıcı görevi üstlenen kobalt, nikel ve demir tozlarıdır (Ersümer, 1970).

3.1.3. Takım Çelikleri

Dökümle üretilen takım çeliklerinin, toz metalurjisi yöntemi ile üretilenlere göre toklukları ve ömürleri daha azdır. Yine bu çeliklerde karbürler belirli bölgelerde toplanıp irileşirken, toz metalurjisi ile üretilenlerde, karbürler ince ve homojen dağılımlıdır (Kurt, 1992; Uygur, 1979).

3.1.4. Sermetler

Sermet; seramik ve metallerin birleştirilmesi ile oluşturulan malzemedir. Çeşitli seramik fazları bir veya birçok metal-metal alaşımına bağlanarak oluşturulmaktadır (Kurt, 1992; Uygur, 1979).

3.1.5. Kaymalı Yataklar

Toz metalurjisinin önemli bölümünü oluşturan kaymalı yataklar, kendi kendini yağlama özelliğine sahiptir. Parçalar kullanılmadan önce yağ içerisinde kaynatılır ve içerisindeki gözenekler yağ deposu görevi üstlenir. Malzeme makine içerisinde çalışarak ısınmaya başladığı sırada, yağ yüzeye doğru hareket ederek çalışan aksamın yağlanmasını sağlar. Makinanın durması durumunda soğuyan yağ tekrar eski yerine döner. Kaymalı yatakların bir çoğu yatak ömrü boyunca yağlamaya devam eder.

3.1.6. Gözenekli Metal ve Fitiller

Fitil olarak bilinen malzemenin içeriği metal, organik maddeler ve kağıttır. Pratikte organik fitillerin kolay şekil değiştirmesi ve kağıt fitillerin zayıf olması nedeniyle, metalürjik toz fitilleri tercih edilir. Fitil imalatında kullanılan tozlar küresel ve oldukça iri tanelidir. Tane büyüklüğü, filtre edilecek maddelerin irilik derecesine bağlıdır. Fitillerdeki gözeneklilik miktarı, % 40-50 arasındadır (Smith, 2003).

3.1.7. Sürtünme Elemanları

Metal esaslı sürtünme elemanları; uçak, tank, iş makineleri ve büyük preslerin fren ve debriyaj balatası gibi kısımlarında kullanılır.

Isıyı iletici toz olarak Cu ve Sn, sürtünmeyi ayarlayıcı olarak silisyum karbür veya alümina kullanılır. Sürtünme katsayısının istenen değerlere ulaşması için Pb, Zn ve grafit tozları eklenir.

3.1.8. Elektrik ve Manyetik Uygulamalar

Bu grup, direnç kaynağı elektrodları, tungsten, molibden flamanlar, elektrik kontakt malzemeleri, metal-grafit fırçalar ve süper iletken mıknatısları içermektedir.

Oksit yayınıyla sertleştirilmiş bakır direnç kaynağı elektrotları, normal elektrotlara göre 65 kat daha uzun ömürlüdür. Çeşitli gümüş alaşımları, her türlü elektrik kontaktlarında kullanılmaktadır.

Tungsten ampul flamanlarının tek üretim yolu toz metalurjisi yöntemidir. Flamanın ömrünü uzatmak için, toryum oksit ve potasyum tozları katılarak tane büyümesi engellenir.

3.1.9. Diğer Uygulamalar

Manyetik toz yöntemi yüzeydeki ve yüzeye yakın noktalardaki çok ince çatlakların belirlenmesinde kullanılır. Yöntem, değişik geçirgenlikteki noktaların manyetik alan çizgilerinin yönlerinin değiştirmesi ve onları saptırması esasına dayanır. Çatlakların, gaz boşluklarının ve yabancı kalıntıların geçirgenlikleri kusursuz noktalara oranla daha azdır. Bundan faydalanarak kusurlu noktalar manyetik tozlar sayesinde belirlenir (Yıldırım ve diğ. 2001).

Birçok yakıt ve patlayıcı sistemde Al, Zr, Mg ve Ti gibi buharlaşma sıcaklığı yüksek metal tozları kullanılmaktadır. Metal tozları patlayıcılarda gaz oluşmasını engeller; roket yakıtlarında yüksek enerji verici, işaret fişeklerinde ise ışık oluşturucu olarak kullanılır.

Birçok metalik boya ve yıldızın üretiminde kullanılan metal tozları (bronz, bakır, alüminyum, nikel, çinko, gümüş) yine toz metal üretim yöntemleriyle üretilmiştir.

Sert yüzey kaplamalarda aşınmaya dayanıklı alaşım tozları kullanılmaktadır. Toz kullanımı yapıyı daha homojen yapmakta ve tozun ergitilmesi daha kolay olduğundan ana malzeme aşırı ısıya maruz kalmamaktadır. Bu alanda en fazla Co ve Ni esaslı alaşımların tozları tercih edilmektedir (Avner, 1994).

3.2. Toz Metalurjisi Üretim Aşamaları

3.2.1. Toz Hazırlama

Toz metalurjisinde kullanılan malzemeler, alaşımlar ve metalik toz karışımlarıdır. Kullanılan tozların hazırlanmasındaki yöntemler; mekanik, elektrolitik ve kimyasaldır. Farklı yöntemlerle üretilen tozların arasında tane büyüklüğü, tane şekli ve granülometrik düzen bakımından önemli farklar bulunduğu için, istenilen toz özellikleri sağlayabilecek üretim yöntemi seçilir (Ersümer, 1970).

1. Mekanik Yöntemler: Mekanik yöntemlerle toz üretimi dört şekilde yapılmaktadır. Bunlar; kaba ve ince öğütme, granülasyon ve atomizasyondur.
2. Elektroliz Yöntemi: Elektrometalürjik yöntemlerle toz üretimidir.
3. Kimyasal Yöntemler: Doğrudan indirgenme, karbonil yöntemi ve çökeltme gibi kimyasal tekniklerle toz üretimidir.
4. Atomizasyon Yöntemi: Gaz ve su atomizasyonu ile yapılan modern toz metal üretim yöntemleridir.

3.2.2. Presleme (Briketleme)

Teorik olarak düzlemsel ve temiz iki yüzeyin başlangıçta temasları sağlandığı takdirde, bu iki yüzeyin oda sıcaklığında birleşmeleri mümkündür. Metallerin yüzeyinde oksit tabakası bulunmasa bile, adhezyon kuvvetlerinin etkisinin görülebilmesi için yüzeyler arasındaki mesafenin çok küçük olması gerekir. Bu yüzden metal tozlarıyla parça üretmek için tozlar, üretimi istenen parçanın şeklini alacak şekilde biçimlendirmek, tozlar arasında bağ oluşturmak

ve istenen oranda gözeneklilik sağlamak amacı ile sıkıştırılır. Presleme ile parçaya sadece şekil verilmiş olur. Gerekli mukavemet, ancak sinterlemeden sonra elde edilir. Tozların şekillendirilmesinde kullanılan yöntemler, basınçsız yöntemler ve basınçlı yöntemler olmak üzere ikiye ayrılır.

Basınçsız yöntemlerde; toz ya bir kalıp içine doldurulur ve gevşek halde doğrudan sinterlenir, ya da çok ince küresel tozlar, bir akışkan taşıyıcı ile karıştırılıp döküm yoluyla şekillendirilir.

Hem soğuk ve hem de sıcak olarak yapılabilen basınçlı yöntemler; kalıpta presleme, izostatik presleme, haddeleme, ekstrüzyon ve metal enjeksiyon kalıplama gibi yöntemlerdir (Ersümer, 1970).

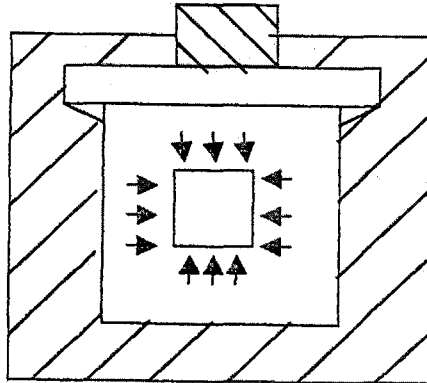
3.2.2.1. Metal Kalıplarda Presleme

Metal tozları şekillendirilecekleri kalıplara doldurulduklarında belirli bir yoğunluk alırlar. Bu görünür yoğunluk tozun şekline, tane büyüklüğüne, dağılımına ve katkı maddelerine bağlıdır. Basıncın uygulanması ile, birinci kademedede, tozlar yer değiştirerek daha yoğun bir paketleme oluşturur. Artan basınçla, ikinci kademedede, tozlarda önce elastik ve daha sonra da plastik şekil değişimi meydana gelir. Basıncın çok yüksek değerlerinde plastik deformasyona uğrayan tane sayısı artar. Üçüncü kademedede ise gevrek tozlar kırılarak küçük toz tanecikleri oluşturur ve gözenekleri doldurarak yoğunluğu artırır.

Homojen yoğunluk sağlamak ve sıkıştırılabilirliği artırmak için toza çinko stearat ve stearik asit gibi yağlayıcı maddeler ilave etmek gerekir. Karbonun problem oluşturmadığı durumlarda grafit katı yağlayıcı olarak kullanılabilir.

3.2.2.2. İzostatik Presleme

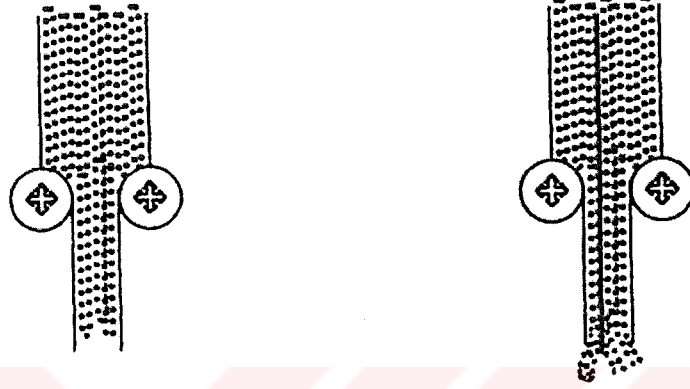
İzostatik preslemede, tozlar bir akışkan basıncıyla sıkıştırılır. Presleme genellikle bir yağ veya su içinde oda sıcaklığında HIP presleme işlemi (hot izostatik pressing) yapılır. Üretilecek parça şeklinde bir esnek kalıp hazırlanır, içi tozla doldurulur ve içerisindeki hava boşaltılıp gerekli sızdırmazlık sağlandıktan sonra basınç kazanına bırakılır.



Şekil 3.2. İzostatik Presleme

3.2.2.3. Haddelme

Metal tozlarının bir besleyici yardımı ile haddelerin arasında akıtılarak sıkıştırılıp, şekillendirilmesidir. Haddelenerek şekillendirilen parçalar, daha sonra sinterlenir (Kurt, 1992).



Şekil 3.3. Haddelme

3.2.2.4. Ekstrüzyon

Yöntemde tozlar kapalı bir kap içine doldurulduktan sonra, kabın havası vakumla alınır. Kap ısıtılarak ekstrüzyon yoluyla parça üretimi gerçekleştirilir. Ekstrüzyon sıcak ve soğuk olmak üzere iki şekilde gerçekleşir.

Soğuk ekstrüzyonda tozlara oda sıcaklığında basınç uygulanarak ekstrüzyon işlemi uygulanırken, tozlar arasında mekanik bağlar oluşturulup, parçalar daha sonra sinterlenerek şekillendirilir (Kurt, 1992).

Sıcak ekstrüzyonda metal tozlarının yüksek sıcaklıkta tam yoğunluğa ulaşması mümkündür. Önceden alaşımlanmış tozlar sıcak ekstrüzyonla üretilir. Bu yöntemle üretilmiş parçalarda sinterlemeye gerek yoktur. Yumuşak metallerin soğuk, sert metallerin ise sıcak ekstrüzyonla üretilmesi gerekir (Sarıtış, 1992).

3.2.2.5. Sinterleme

Sinterleme; sıkıştırılarak geometrik şekil verilmiş parçaya malzemenin ergime sıcaklığının altında ısıtılarak yapılan mukavemet kazandırma işlemidir. Sinterlemede preslenmiş parçalar kontrollü bir atmosfer ve yüksek sıcaklıkta, son özelliklerin elde edilmesi amacıyla ısıtılma işlemine tabi tutulur. Sıkıştırma ile şekillendirilen parçaların mukavemeti sinterleme ile elde edilir. Ham mukavemet, sinterleme mukavemetinin hemen hemen 100 katıdır. Sinterlemede toz taneleri arasında metalurjik bağ oluşur. Sinterleme sıcaklığı genellikle ergime sıcaklığının % 70-80'i arasındadır. Bazı refrakter malzemelerde sinterleme sıcaklığı ergime sıcaklığının % 90'na

kadar ulaşabilir. Sinterleme sıcaklığı ile sinterleme süresi arasında yakın bir ilişki vardır. İyi bir sinterleme derecesi için sinterleme süresi kısa ise sıcaklık artırılır, süre uzunsa, sıcaklık düşük değerlerde seçilir.

Sinterleme sırasında difüzyon sonucu toz partikülleri arasında metalik bir bağ oluşur. Farklı bileşimdeki tozların karıştırılması halinde difüzyonla metaller arası fazların ve katı çözümleri alaşımlarının oluşumu sağlanır.

3.2.2.5.1. Sinterleme Atmosferi

Sinterleme sırasında istenen mekanik özellikler oluşturan atmosferler;

1. Oksitleyici atmosferler: Hava, karbon dioksit (CO_2), su buharı;
2. Redükleyici atmosferler: Hidrojen, (CO), metan ve amonyak;
3. Pasif (nötr) atmosferler: Vakum, helyum, argon ve azot;
4. Karbürleyici atmosferler: Bazı durumlarda, tek bir gaz yerine bu gazların karışımları da kullanılabilir. Örneğin; bir CO ve CO_2 karışımı oksitleyici ve aynı zamanda redükleyici karakterdedir. Gaz karışımları, sinterleme sıcaklığına ve sinterlenecek malzemeye bağlı olarak seçilir.

3.2.2.5.2. Sinterleme Fırınları

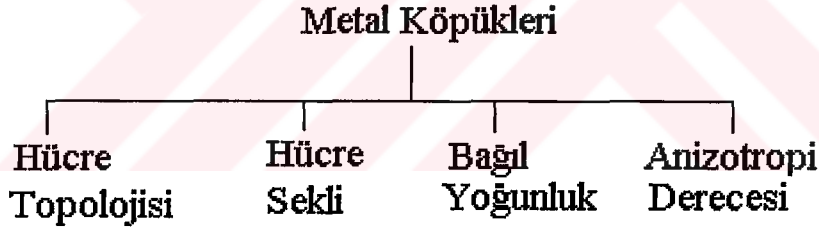
Sinterleme işleminde yaygın olarak kullanılan fırınlar, doğrudan beslemeli fırınlardır. Sinter fırınlarının tasarımında; sinterleme sıcaklığı, sinterleme atmosferi, üretim kapasitesi ve devamlılık faktörleri dikkate alınmaktadır.

4. METAL KÖPÜKLERİ

Metal köpükleri; yapısının % 75 ile % 90'ı gözeneklerden oluşmuş, rijit saf metal ya da alaşımlardır. Isıl davranışları, enerji absorbe etme yetenekleri, düşük yoğunlukları, yüksek kesme ve kırılma mukavemetleri ve düşük ağırlıklarından dolayı tercih edilen yeni bir malzeme grubudur (Gibson ve Ashby, 1988). Bu malzemeler gözenekli yapılarından dolayı bir çok özelliğe sahip olup, son yıllarda popüleritesi artan malzemeler haline gelmiştir. Yüksek oranda boşluk veya gözenek içeren metal köpükleri, günümüzde hem endüstriyel hem de bilimsel açıdan cazip bir konudur. Alüminyum, nikel, titanyum gibi elementlerden metal köpüğü üretilmekle beraber, araştırmaların çoğunda yaygın olarak alüminyum köpüğü kullanılmaktadır.

Metal köpüklerin genel olarak sınıflandırılması zordur. Bir metal köpüğü yapısal olarak hücre topolojisi, bağıl yoğunluk, hücre boyutu, hücre şekli ve anizotropi derecesine göre sınıflandırılır (Gibson ve Simone, 1997).

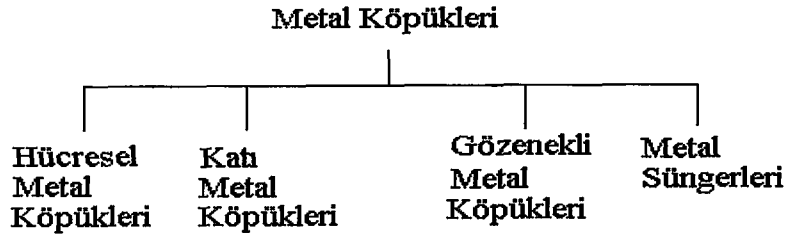
Tablo 4.1. Metal köpüklerinin yapısal olarak sınıflandırılması



Metal köpükleri genel olarak dört gruba ayrılır:

1. Hücresel metaller: Hücresel metallerde, metal belirli hücrelere bölünmüştür. Bu hücrelerin sınırları metaldir.
2. Gözenekli metal köpükler: Özel hücresel metal çeşididir. Gözenekler genellikle yuvarlaktır ve birbirinden ayrıdır.
3. Katı metal köpükler: Yapısında dağılmış küçük boyutlu gaz kabarcıkları bulduran sıvılara sıvı köpük denir. Sıvı metal köpük katılaşma noktasının altında bir sıcaklığa soğutulursa, katı metal köpük oluşur. Katı metal köpüğü, sıvı-metal köpüklerden meydana gelen özel bir hücresel metal köpüğüdür. Hücreler kapalı, yuvarlak ve çok düzlemlidir. Ayrıca hücreler ince filmlerle birbirinden ayrılmıştır.
4. Metal süngerler: Bir hücresel metal morfolojisidir. Metal süngerlerinde yüzey sürekli ağ şeklindeki metal süngerleriyle doldurulur. Genellikle boşluklar birbiriyle bağlantılıdır.

Tablo 4.2. Metal köpüklerinin genel sınıflandırılması



Metal köpükleri hücre şekillerine göre, kapalı hücreli ve açık hücreli olmak üzere iki gruba ayrılır.

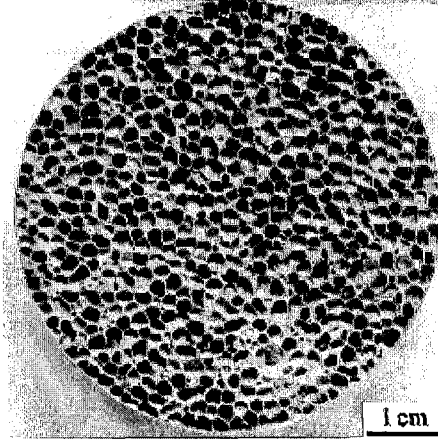
1. Açık hücreli köpükler: Ergimiş alüminyuma ön şekillendirme ile sıkıştırılmış sert tuz tanecikleri katılır, daha sonra tuz tanecikleri çözünerek açık hücreli gözenekleri oluşturur. Açık hücreli köpükler ısıl davranışlarından dolayı tercih edilir (Jiang ve diğ., 2005).
2. Kapalı hücreli köpükler: Yapısı sıradan bir süngerin yapısına benzer. Hücreler çoğunlukla eşit büyüklüğe sahiptir. Enerji absorbe etme yetenekleri yüksektir (Jiang ve diğ., 2005).

Düşük yoğunluk, yüksek korozyon direnci, düşük ergime noktası ve kolay işlenebilme özelliğinden dolayı alüminyum, metal köpüğü üretiminde en fazla kullanılan elementtir. Alüminyum köpüğü, özellikle alüminyum pulların yapımında kullanılmaktadır. Burada kullanılan alüminyum köpüğü genellikle toz metalürjisi yöntemi ile üretilmektedir (Akisanya ve diğ., 1997). Elde edilen alüminyum pullar, alüminyum levhayla birlikte birleştirilmekte ve sandviç şekilli bir yapı elde edilmektedir. Oluşan bu sandviç yapının yoğunluğu $0,6 \text{ g/cm}^3$ kadar düşüktür. Sandviç yapı, otomotiv endüstrisinde de yaygın olarak kullanılmaktadır

Enerji absorbe etme özelliğinden dolayı, alüminyum köpükleri son zamanlarda demiryolu araçlarında, özellikle çarpışma etkisi altındaki kısımlarda kullanılmaktadır .

Köpük malzemeyle alüminyum veya çelik destekler doldurulmakta, bu dolguyla dayanıklılık arttırılmaktadır. Köpük malzeme, deformasyon enerjisini absorbe ederek sıkıştırmayı zorlaştırır (Zhao ve diğ., 2004).

Gözenekli yapılar yalıtım, kaplama veya filtreleme işlemleri için kullanışlı malzemelerdir. Metal köpükleri ile diğer malzemelerin köpükleri arasında mekanik özellikler açısından farklar vardır. Polimer malzemeler yeterli derecede rijit değildir ve seramik malzemeler de çok kırılğan bir yapıya sahiptirler. Bu nedenle metalik köpük yapıları birçok alanda kullanmak doğru bir seçimdir.



Şekil 4.1. Değişken gözenek boyutuna sahip alüminyum alaşım köpük yapısı (Curran, 2005).

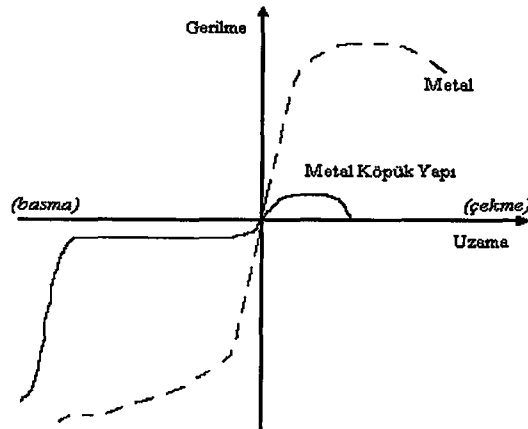
Metal köpükleri polimerik olanlarına oranla sert bir yapıya sahip, yüksek sıcaklıklarda iç yapısını daha iyi koruyabilen (stabil), ısı direnci yüksek ve yüksek ısılarda toksit gaz oluşturmayan yapılardır. Bu malzemeler, geri dönüşümlü olup çevreye herhangi bir zarar vermez. En önemli avantajları ise ağırlıklarının düşük olmasıdır. Yönden bağımsız olarak darbe ve titreşim sönümleyip, elektromanyetik kalkan özelliği gösterirler. Önemli ısı özellikleri ise; ergime noktaları, özgül ısıları, ısı genleşme katsayıları, ısı iletim yeteneği ve yüzey geçirgenliği, ateş ve ısı şok dayanımlarıdır. Köpüklerin yüzeyi çoğunlukla bir oksit tabakası ile kaplıdır. Bu tabaka sayesinde ergime noktası oldukça yüksektir. Bu tabaka yüzeydeki gözenek çaplarını düşürür. Tabakanın kalınlaşması gözenekli yapıyı destekler ve ergime sıcaklığını üst değerlere çeker. Eğer malzeme yeterli bir süre havada ya da bir oksit banyosu içerisinde ısıtılırsa tabaka daha fazla kalınlaşır ve daha stabil bir hal alır.

Metalik köpük malzemelerin özgül ısıları oldukça düşüktür. Bu yüzden düşük ısı kapasitenin istendiği uygulamalarda kullanılan en önemli malzeme grubudur. Isıtma ve soğutma sistemleri bu uygulamalara örnektir. Isıl şok dayanımları yüksek, ısı iletimleri ise düşüktür. Tablo 4.3'de, çeşitli firmaların ürettiği alüminyum köpük malzemelerin teknik özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.3. Ticari metalik köpük malzemelerin bazı özellikleri

Özellikler	Cymat	Alulight	Alporas	ERG	Inco
Malzeme	Al - SiC	Al	Al	Al	Ni
İzafi yoğunluk, ρ / ρ_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 ν	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

Metalik köpük malzemeler genellikle sünektir. Köpük malzemeler, katı metalik yapıda açık bir şekilde karşılaşılmayan lineer elastik bir davranış göstermektedir. Sertleşme kısmından sonra çekme gerilmesi tarafında maksimum gerilme genellikle % 1-4 gibi küçük uzamalara karşılık gelir.



Şekil 4.2. Metal ve metalik köpük yapının gerilme – uzama davranışlarının kıyaslanması.

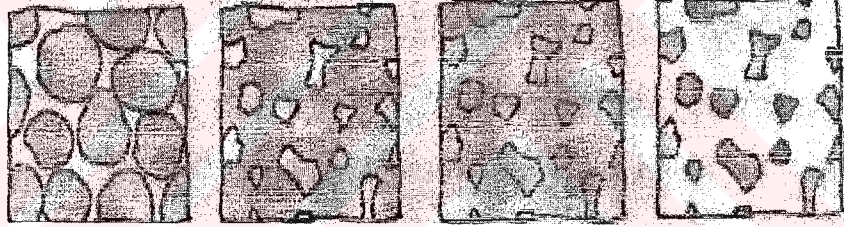
4.1.1. İnfiltrasyon Yöntemiyle Metal Köpük Üretimi

Gözenekli katı bir kalıba, ergimiş metal dökülür ve kalıbın içinde gözenekli bir yapı oluşur. Yöntemde tuz ve alçı kalıplar kullanılır. İyi bir kalıp kullanılırsa üniform açık hücreli köpükler üretilir. Pahalı ve karmaşık bir yöntemdir (Banhart ve diğ., 1999).

4.1.1.1. Tuz Kalıplarla Metal Köpük Üretimi

Yöntemde, grafit kaplı bir kalıba 4 mm genişliğindeki ham kaya tuzu taneleri doldurulur. Isıtma uygulanarak tanelerin erimesi sağlanır, tuz taneleri katı halde ön şekillenir. Bu işlemden sonra ergimiş alüminyum, bu kalıba dökülür. Kalıbın çalkalanmasıyla ergimiş alüminyumun tuz taneleri arasındaki boşluklara homojen olarak yayılması sağlanır. Metalin soğumasından sonra, kalıba su verilerek tuz suda çözündürülür (Davies ve Zhen, 1983). Böylece gözenekli bir metal köpüğü elde edilir.

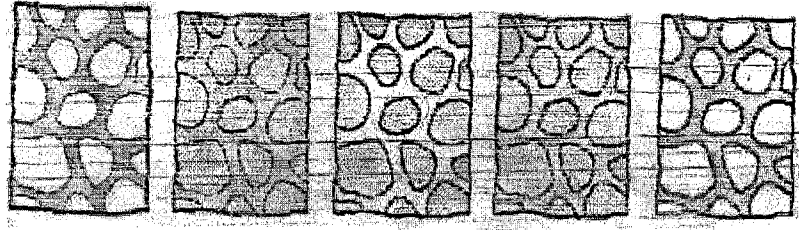
Yapılan son çalışmalarda ergimiş metal, vakum altında tuza ilave edilmektedir. Böylece 0,3 mm'lik gözeneğe sahip metal köpükleri üretilmektedir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Tuz kalıplarla köpük üretiminin şematik aşamaları (Curran, 2005)

4.1.1.2. Alçı (Plaster) Kalıplarla Metal Köpük Üretimi

Plaster kalıplar, genellikle, açık hücreli plaster köpüklerin üretiminde kullanılır. Plaster kalıplarla köpük üretiminde, başlangıç malzemesi, açık hücreli bir polimer köpüktür. Bu köpük eriyebilir bir plasterle doldurulur. Isıtıldıktan sonra polimer yanarak dar aralıklarda yok olur (Şekil 4.5). Ergimiş alüminyum, plaster içerisindeki aralıklara doldurulur ve plaster, açık-hücreli bir köpük oluşturmak için çözündürülür (Yu ve Banhart, 1997)



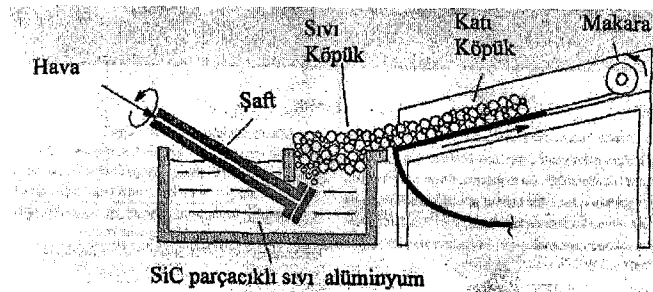
Şekil 4.5. Plaster kalıpta köpük üretiminin şematik aşamaları (Curran, 2005)

4.1.1.3. İnfiltrasyon Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları

1. Taneler kontrollü büyüdüğünden, yeniden şekillenme sırasında hücre boyutunu kontrol etmek kolaydır (Yu ve Banhart, 1997).
2. Yöntemde, kullanılan tuzun ergime sıcaklığının altında eriyen herhangi bir metal veya alaşım kullanılabilir. Yeterli viskoziteyi sağlamak için parçacık ilavesi gerekmez.
3. Kalıplar, gerekli son şekle ulaşmak için deforme edilir. İşlem sürekli değildir ve parça karmaşıktır. Bu sebepten dolayı pahalı bir yöntemdir.
4. Tuz ve alçı kalıpla üretilen köpüklerde, bu kalıplar giderilmeden önce makine ile işlemek zordur.

4.1.2. Ergitme Yöntemiyle Metal Köpük Üretimi (Alcan Yöntemi)

Metal köpük üretim yöntemleri arasında en ucuz yöntemdir. Burada ergimiş metal içerisine çeşitli gazlar enjekte edilerek köpük oluşturulur. Soğutma ve katılaşma esnasında gözenekler birleşir (Şekil 4.6). Bu yöntem ucuz ve nispeten kolay olmasına rağmen, bu yolla yüksek kaliteli köpük elde etmek zordur (Wood, 1997).



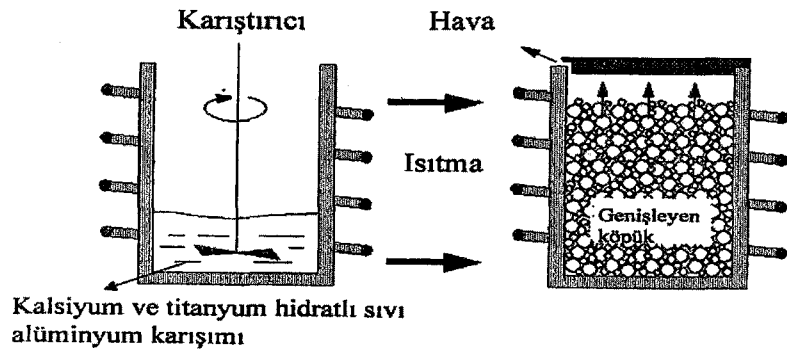
Şekil 4.6. Alcan alüminyum metal köpük üretiminin şematik gösterimi (Elbir ve diğer., 1999)

4.1.2.1. Ergitme Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları

1. Yöntemle büyük miktardaki köpük, sürekli olarak üretilebilmektedir.
2. Bu yöntemle üretilen köpüklerin yoğunluğu düşüktür. Bu yüzden bu köpükler, hücreli metal malzemelerden daha ucuzdur.
3. Üretim esnasında gözenek boyutlarını kontrol etmek zordur ve çoğunlukla gözenekler geniştir. Bu da mukavemetin düşmesine neden olur.
4. Yöntemle sadece yaklaşık 6 cm genişliğinde, köpük levhalar üretilir ve elde edilen köpüğün yüzeyi düzensizdir (Wood, 1997). Üretim sırasında, seramik parçacıklarla metali karıştırmak gerekir. Bu da bütün alaşımlara uygulanamaz.
5. Saf köpük üretiminde, ergimiş metale ilave maddeler koymadan soygazla üretim yapılır. Böylece ergimiş metalde kararlılığı sağlayan katkı maddelerinin gevreklik gibi yan etkileri ortadan kaldırılır (Yu ve Banhart, 1997).

4.1.3. Köpükendirici Etken Maddelerle Metal Köpük Üretimi (Alporas Yöntemi)

Yöntemde, ergimiş metale köpüklenmeyi sağlayan etken maddeler katılır. Isı, bu etkin maddelerinin bileşimini bozar ve açığa gaz çıkarır. İlk adımda 680 °C'de ergimiş alüminyuma hacminin yaklaşık % 1,5'u kadar kalsiyum metali ilave edilir. Bu karışım birkaç dakika karıştırılır. Kalsiyumun oluşturduğu CaO_2 , CaAl_2O_4 , Al_2Ca gibi kompleks bileşikler viskozitenin kararlılığını artırır ve sıvı metali inceltir. Viskozite istenilen değere ulaştıktan sonra genellikle % 1,6 oranında TiH_2 ilave edilir. Karıştırılan TiH_2 , sıcak viskoz sıvıda H_2 gazının serbest kalmasına neden olur. Akışkan yavaşça yayılmaya başlar ve köpüğün oluşturduğu kabı doldurur. Köpük oluşturma sabit bir basınçta meydana gelir. Alaşımın ergime noktasının altındaki soğumadan sonra, sıvı köpük katı alüminyum köpüğüne dönüşür ve daha sonraki işlemler için kalıbın dışına çıkartılır (Simone,1997). Bu yöntemle ait şematik resim Şekil 4.7' de verilmiştir.



Şekil 4.7. Alporas alüminyum metal köpük üretiminin şematik gösterimi (Elbir ve diğ., 1999)

4.1.3.1. Alporas Yöntemin Avantaj ve Dezavantajları

1. Bu yöntemle üretilen köpükler oldukça düzgün bir hücre yapısına sahip olup, homojendir.
2. Yapısındaki hücreler küçüktür, sadece birkaç tane büyük boşluğa rastlanabilir.
3. Üretimde kullanılan katkı maddeleri pahalı olup, toz karmaşık şekilli kalıpların içerisinde karıştırılmaz.

4.1.4. Formgrip Yöntemiyle Metal Köpük Üretimi

Kompozitler ve kaplama grupları için geliştirilmiş bir köpük oluşturma yöntemidir. Ergimiş metale doğrudan titanyum hidrür katılır ve karışım kısa bir süre karıştırılır. İnce bir oksit tabakası oluşmadan önce hidrür tozu ısıtılır; bu ergimiş metale karıştırıldığı zaman, oksit tabakası hidrürü koruyarak gaz oluşumunu geciktirir. Böylece aniden köpük oluşmaz. Hidrür ve alüminyum karışımı, daha sonra soğutulmuş olarak katılaştırılır.

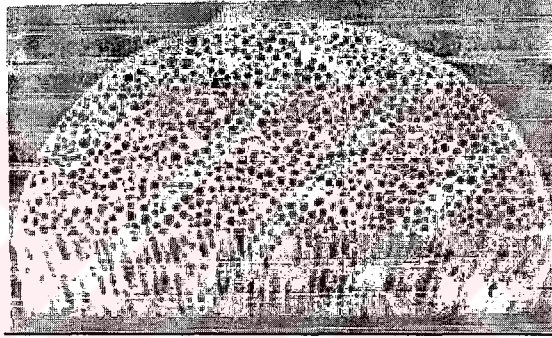
Köpük oluşumunun ikinci adımında, malzemenin bir kısmı bir kalıba konur ve alüminyum alaşımının ergime sıcaklığının üzerine ısıtılır. Hidrür derece derece köpük oluşturacak şekilde ayrılır. Kalıbı dolduran malzemeyi genişletir. Alüminyuma kararlılığı sağlayan parçacıklar üniform bir dağılım oluşturuncaya kadar katılıp karıştırıldığında, hidrürler hemen köpük oluşturmaz. Bu yüzden katılma süresi daha uzundur ve böylece homojen dağılımlı hücreler elde edilir.

4.1.4.1. Formgrip Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları

1. Üretim sırasında, hücre boyutu kontrol edilebilir, hücreler üniformdur ve hücre boyutu Alporas köpüğüne benzer.
2. Üretilen köpüklerin hücre boyutları Alporas köpüğünü andırır.
3. Metal köpüklerinin çoğunu makinede işlemek zor olduğundan, son şekilli dökümler üretilebilir.
4. İşlem çok karmaşık kalıplar kullanarak da yapılabilir.

4.1.5. Katı –Gaz Ötektik Katılaşma Yöntemiyle Metal Köpük Üretimi (Gasar Yöntemi)

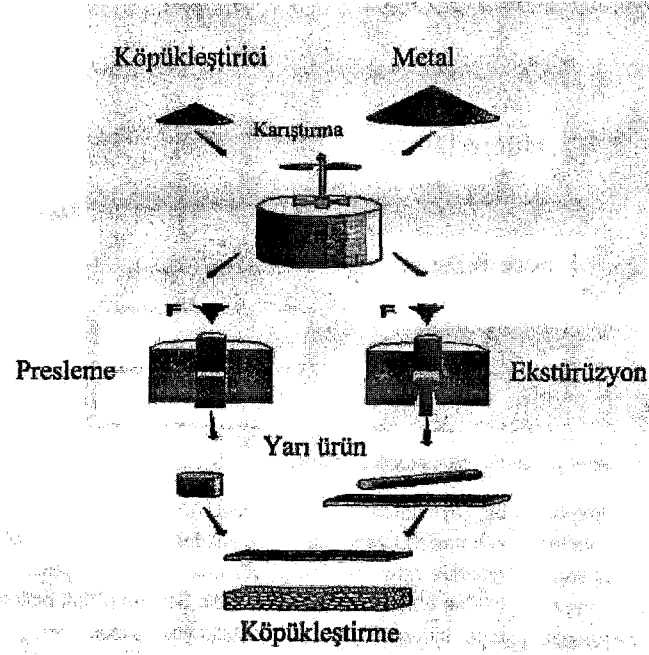
Bazı sıvı metaller, H_2 gazlı ötektik bir sistemde oluşur. Eğer bu metallere biri yüksek basınç altında ve H_2 atmosferinde ergitilirse (50 atmosferin üstü), hidrojenli homojen bir ergiyik elde edilir. Sıcaklık düşürüldüğünde de ergiyik çift fazlı homojen katı-gaz ötektik dönüşüme uğrar. Eğer sistemin bileşimi ötektik bileşime yakınsa belli bir sıcaklıkta segregasyon reaksiyonu oluşacaktır ve ergiyiğin katılaşmasının sonucu olarak gaz boşlukları çökecektir. Boşluk morfolojisini hidrojenin bileşimi, basınç, hareket eden ısının oranı ve yönü, ayrıca eriyiğin kimyasal kompozisyonu belirler (Shapovalov, 1993). Şekil 4.8’ de gasar yöntemi ile üretilmiş bir metal köpüğü görülmektedir.



Şekil 4.8. Gasar yöntemi ile üretilmiş metal köpüğü (Yu ve Banhart, 1997)

4.1.6. Toz Metalurjisi İle Köpük Üretme Yöntemiyle Metal Köpük Üretimi (Formgrip-Alulight Yöntemi)

Metal tozları ile köpük üretilen bir yöntemdir (Şekil 4.9). Öncelikle, metal tozları veya alaşım tozları ile köpük yapıcı toz malzemeler karıştırılır. Bu karışım belli bir yoğunluğa ulaşıncaya kadar sıkıştırılır. Kompaktlama sırasında köpük yapıcı etken maddenin önemli ölçüde metal matrise gömülmesine dikkat edilir. Kullanılan sıkıştırma metotları çok eksenli veya izostatik basma, toz haddeleme olabilir (Yu ve Banhart, 1997). Daha sonraki adım, matris malzemenin ergime noktasına yakın bir sıcaklıktaki ısı işlemidir. Bu adımda, yoğun metal matris içerisinde homojen olarak dağılmış köpük yapıcı toz malzemeler ayrışır ve oldukça gözenekli yapıyı oluşturmak için, mevcut malzemede eriyerek gaz kuvvetlerini serbest bırakır. Yöntemle Al, Sn, Zn, pirinç, Au vb. metal köpükleri üretilebilir (Eisenmann, 1998).



Şekil 4.9. Fraunhofer toz metalurjisi yöntemiyle metal köpük üretiminin şematik gösterimi (Elbir ve diğ., 1999)

4.1.6.1. Toz Metalurjisi Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları

1. Bu yöntemde, parçalar en son şekline yakın üretilebilmektedir. Dolayısıyla, ikincil işlemlere (döküm, kesme, şekillendirmeye) gerek kalmamaktadır.

Metal köpüklerinin endüstriyel kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bununla beraber malzemenin kullanım yerine göre uygun üretim yönteminin seçimi önemlidir. Üretim yöntemini seçerken dikkat edilmesi gereken noktalar şunlardır:

1. Filtrasyon ve geçirgenlik istenen yerlerde açık hücreli, yüksek dayanım/ağırlık gereken yerlerde kapalı hücreli metal köpükleri kullanılmalıdır.

2. Hücre boyutları kullanım amacına göre ayarlanmalıdır.

3. Tuz kalıplarla üretim ve plaster kalıpla üretim, ses ve ısı yalıtımı gereken büyük boyutlu parçaların üretimine uygun görünmektedir.

4. Büyük miktardaki üretimler için ergitme ya da Alcan yöntemi uygundur. Yalnız, elde edilen köpüğün mekanik özelliklerinden, dolayı yüksek dayanım gerektiren elemanların üretiminde kullanılmamalıdır. Ayrıca düzenli bir hücreli yapı içinde de bu yöntem uygun değildir.

5. Alporas yöntemi, hassas elemanların üretimine uygun, pahalı bir yöntemdir.

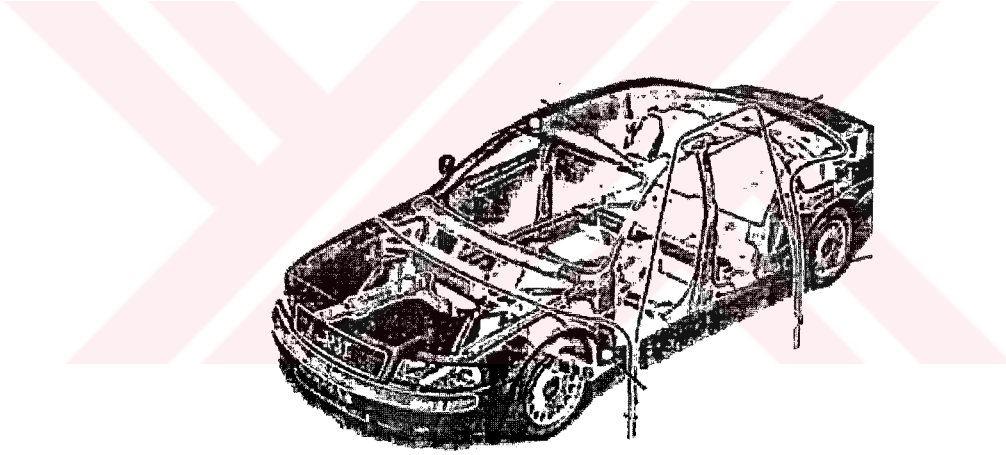
6. Formgrip yöntemiyle kompozitler, kaplamalar üretilmektedir ve iki parçalı, karmaşık şekilli parçaların üretimi için uygundur.

7. Katı-gaz ötektik yöntemi, hidrojenle ötektik yapan metallerde kullanılır. Sistem pahalı donanım gerektirir. Bu yöntemle geçirgen elemanların üretimi mümkündür.

8. Toz metalürjisi ile köpük üretimi kolay ve ucuz bir yöntemdir. Çok büyük olmayan elemanların üretiminde kullanılabilir.

4.2. Metal Köpüklerinin Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı

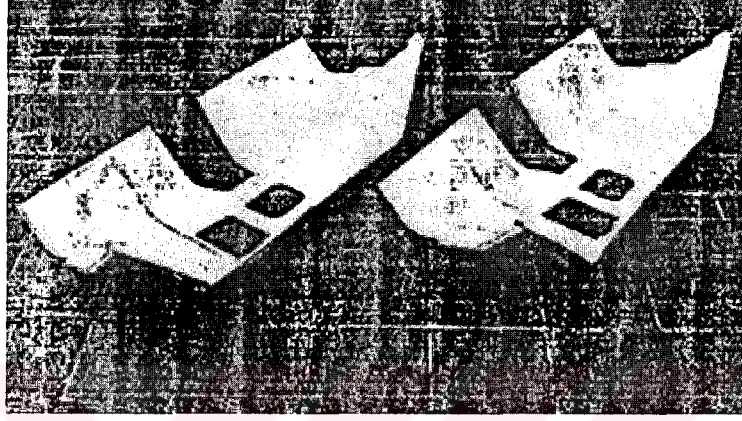
Otomotiv endüstrisinde birçok uygulamalar yapılmasına rağmen, alüminyum esaslı köpük malzemeler henüz seri üretimde kullanılmamıştır. Metal köpükleri; araba üretiminde, yüksek maliyetli çözümlerin üstün bir verimlilikle üretilmesini sağlar. Alüminyum oto parçalarında; çeşitli birleştirme, tolerans ve aşınma sorunlarını da beraberinde getirdiğinden, çoğunlukla araçların gövdeleri demir esaslı malzemelerden yapılmaktadır.



Şekil 4.10. Audi A8 üzerinde kullanılan yapısal köpük malzemeler

Köpük malzemeler, arabalarda aşınmaya eğimli olan bölgelerde ya da Al gövdelerin iç yapılarında kullanılmaktadır. Yüksek ısıl gerilmelere maruz kalan elemanlarda karmaşık metalik köpük malzemeler kullanıldığında, ısıl kalkan görevi gören parçalar gibi, minimum kalınlık 8 mm'in üzerinde olması gerekir. Bu da ağırlık açısından sorun yaratır. Plastik tabanlı metalik köpük yapılar araba üretiminde sayısız uygulamalarda kullanılabilir. Örneğin; Audi A8 gövdesinde karoseri üzerinde birçok noktada köpük malzeme bulunmaktadır (Şekil 4.10).

Metalik köpükler darbe enerjisini absorbe edici elemanlardır. Köpük tipine, alaşıma ve yoğunluğa bağlı olarak enerji absorbe etme davranışı belirli bir aralıkta değiştirilebilir. Bu özelliklerinden dolayı arabalarda, kamyonlarda, trenlerde ve tramvaylarda çarpışma elemanı olarak kullanılabilir. Şekil 4.11'de Daimler Chrysler tarafından yapılan birkaç prototip parça, araç orta paneli görülmektedir.



Şekil 4.11. Al köpüğünden yapılmış ön panel

5. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM KÖPÜKLERİ

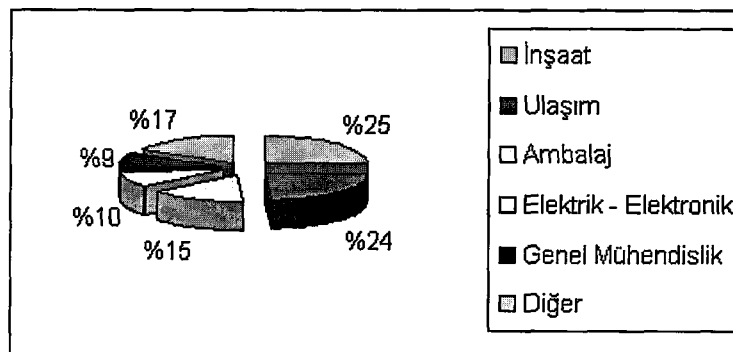
5.1. Alüminyum ve Özellikleri

Alüminyum gümüş beyazı renkte, dövülerek biçimlendirilebilir bir hafif metaldir. Teknikte demir ve bakırdan sonra kullanılma açısından üçüncü sırayı alır. Alüminyum cevherleri, yer kabuğunun yaklaşık % 7,5'ünü oluşturur, oksijen ve silisyumdan sonra en sık rastlanan elementtir. Alüminyum içeren cevherlerden saf alüminyumun elde edilmesi karmaşık ve maliyetli bir işlemdir. Bunun nedeni, alüminyumun doğada yalnızca oksit ve oksit karışımları şeklinde bulunması ve cevherlerin alüminyumlu oksitlerden daha kolay indirgenen diğer bir takım oksitleri içermesidir.

Alüminyum, $2,70 \text{ gr/cm}^3$ özgül ağırlığa sahip, alaşımlandırılarak değişik mekanik dayanım değerlerine ulaştırılabilen, hafif, yüzeyinde oluşan oksit tabakasından dolayı korozyon dayanımı yüksek bir elementtir. Isıl iletkenliği birçok metale göre daha yüksektir. Işığı, radyo dalgalarını ve kızılötesi ışınlarını yansıtma özelliğine sahip olup, kıvılcım oluşturmadığı için yakıcı atmosfer ve patlayıcı maddelerle birlikte güven içinde kullanılabilir. Dökümü kolay bir metaldir, bu nedenle karmaşık parçalar bile kolaylıkla dökülebilir. Alüminyuma çeşitli yüzey işlemleri uygulanarak değişik renk ve görünümde malzemeler elde edilebilir. Antioksid bir malzeme olmasından dolayı, gıda sektöründen ilaç sektörüne kadar birçok sektörde ambalaj maddesi olarak kullanılmaktadır.

5.1. Alüminyumun Mekanik Özellikleri ve Kullanım Alanları

Alüminyumun temel kullanım alanları ve kullanım nedenleri Şekil 5.1 ve Tablo 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Alüminyum kullanımının sektör bazında dağılımı

Tablo 5.1. Alüminyum özelliklerine ve malzeme şekline bağlı olarak ana sektörlerde kullanımı

Ana Sektörler	İlgili Temel Özellikler					Malzeme Şekli					
	Özgül Ağırlık	Elektriksel ve Isıl İletkenlik	Korozyon Dayanımı	Görünüm	Mekanik Dayanım	Döküm	Levha	İnce Folyo	Ekstrüzyon	Tel	Dövme
Ulaşım	***		**	**	**	••	••			••	
İnşaat	**		***	***	*		•		•••		
Ambalaj	**	*	***	***			••	•••	••		
Elektrik Mühendisliği	*	***	**		*	•		•	•	•••	•
Mekanik Mühendisliği	**		**		**	••	••		••	•	•
Tüketim Malzemeleri	**	**	**	**	*	•	•••	•	•	•	•
Kimyasallar	*	*	***		*		•••		••		
*** Zorunlu		** Önemli	* Yararlı	••• Yaygın	•• Genel	• Kullanılabilir					

Alüminyum kullanımının en yaygın olduğu sektörlerden biri ulaşım sektörüdür. Bu sektörde kullanılma nedeni, düşük özgül ağırlığı, hafifliği, korozyon dayanımı ve alaşımlarının mekanik dayanım özellikleridir.

İnşaat sektöründe ise, korozyon dayanımı ve görünüm ile birlikte düşük özgül ağırlık ve kısmen mekanik dayanım özellikleri önem taşır.

Ambalaj sektöründe ise antitoksit oluşu ile birlikte korozyon dayanımı kısmen de ısı ve elektriksel iletkenliği kullanılma nedenlerindedir.

Elektrik ve mekanik mühendisliği uygulamalarında da alüminyumun yaygın kullanım alanları vardır. Elektrik mühendisliği uygulamalarında, elektriksel ve ısı iletkenlik yanında başta korozyon dayanımı olmak üzere mekanik dayanım ve düşük özgül ağırlık; makine mühendisliği uygulamalarında ise mekanik dayanım, korozyon dayanımı ve düşük özgül ağırlık özellikleri geniş kullanım alanları yaratır. Alüminyum kullanımındaki avantaj ve dezavantajlar Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Alüminyumun çeşitli uygulamalarda avantaj ve dezavantajları

Uygulama	Avantajları	Dezavantajları
Elektriksel güç iletimi	<ul style="list-style-type: none">• Elektriksel iletkenlik• Korozyon dayanımı• Kolay bağlantı• Düşük özgül ağırlık• Maliyet	<ul style="list-style-type: none">• Mekanik dayanım
Taşıma araçları gövdeleri	<ul style="list-style-type: none">• Düşük özgül ağırlık• Korozyon dayanımı• Kolay montaj• Onarım ve kolaylığı	<ul style="list-style-type: none">• Maliyet
Kapı ve pencereler	<ul style="list-style-type: none">• Kolay fabrikasyon• Korozyon dayanımı• Modülerlik• Maliyet	
Jantlar	<ul style="list-style-type: none">• Düşük özgül ağırlık• Yüksek ısı iletkenlik• Görünüm• Korozyon dayanımı	<ul style="list-style-type: none">• Maliyet• Yetersiz mekanik dayanım
Otomobil gövdeleri	<ul style="list-style-type: none">• Görünüm• İşlenebilirlik• Kolay yeniden değerlendirme	<ul style="list-style-type: none">• Düşük darbe dayanımı
Yiyecek kapları	<ul style="list-style-type: none">• Antioksid oluşumu• Korozyon dayanımı• İşlenebilirlik• Kolay yeniden değerlendirme	<ul style="list-style-type: none">• Maliyet

Tablo 5.3 'de de Al'un mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 5.3. Alüminyumun Mekanik Özellikleri

Çekme Mukavemeti (σ_B)	40.....80 N/mm ²
Akma Sınırı (σ_S)	10.....30 N/mm ²
Sertlik (HB _{2,5})	120.....200 N/mm ²
Elastiklik Modülü (E)	72.10 ⁵ N/mm ²
Kayma Modülü (G)	27.10 ⁵ N/mm ²
Çentik Darbe Sünekliği (α_K)	100 J/cm ²
Kopma Uzaması (δ_S)	% 30.....38
Ergime Noktası	660 °C
Döğülme Sıcaklığı	25....450 °C
Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı	250.....300 °C
Yoğunluk (ρ)	2,7 kg/dm ³
Kristal Çeşidi	Kübik yüzey merkezli (KYM)

5.2. Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynak Kabiliyeti

Bu alaşımların difüzyon kaynağı, inatçı yüzey oksitleri yüzünden güçleşmektedir. Bununla beraber; birleşme bölgesinde yüksek sıcaklık ve büyük ölçekli deformasyon (örneğin, haddeleme ile birleştirmede) uygulamasının, inatçı oksit tabakalarını kırdığı ve yüzey kaplama (iyonik kaplama) ya da ara tabaka kullanılması ile daha düşük basınç altında difüzyon kaynağı yapmanın kolaylaştığı tespit edilmiştir. Salehi (1990), Stephen (1986), Barta (1964), Nieman (1985) [Partridge'den (1997)]. Öte yandan, süperplastik alüminyum alaşımlarının ve alüminyum metal matrisli kompozitlerin geliştirilmesi, yüksek mukavemetli difüzyon kaynağı ihtiyacını artırmaktadır (Partridge, 1997).

Alüminyum ile metalurjik olarak uyum göstermeyen bakır arasında da difüzyon kaynağı uygulanmıştır. Alüminyum ile bakırın difüzyon kaynağı ile 520 °C'lik sabit sıcaklık 15 dakikalık süre ve 0,25 ile 1,60 MPa'lık basınçlarla birleştirerek, en büyük problemin intermetalik bileşik ve iki metal arasında oluşan ara fazlar olduğunu tespit etmişlerdir.

6. ALÜMİNYUM KÖPÜĞÜ

Alüminyum köpükleri çeşitli mühendislik uygulamalarında kullanım alanları bulabilecek yeni bir gruptur. Hafifliğin ve mukavemetin birlikteliğini gerektiren otomobil, uçak, tren, asansör ve benzeri hareketli araçlar bu uygulamalara örnektir. Yapılarında homojen sayılabilecek gözeneklilik dağılımı ve boyutu içeren metal köpükleri, çok düşük $0.08-0.5 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğa sahiptir. Diğer önemli özellikleri ise, yüksek birim şekil değişim miktarlarda kırılmadan deforme olmaları ve yüksek miktarda enerji emme kapasitesine sahip olmalarıdır. Bu özellikler, metal köpüklerini hareketli taşıtlarda çarpışma esnasında darbe enerjisini emecek dolgu malzemesi olarak kullanılmaya aday yapmıştır. Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Otoyolu Trafik Emniyet Kurumu'na (National Highway Traffic Safety Administration) göre, kaza anında sürücülerin başlarını çarpmaları sonucunda, her yıl 2400 kişi ölmekte ve 60000 kişi yaralanmaktadır. Türkiye'de bu rakamların daha yüksek olduğunu tahmin etmek zor değildir. Metal köpüklerinin hareketli taşıtlarda kullanımı kaza esnasında can kaybını ve yaralanmaları azaltacaktır.

Metal köpüklerinin otomobil endüstrisinde emniyeti arttırıcı standart malzemeler olarak kullanımı, bu malzemelerin büyük oranda üretilmesini gerektirecektir.



Şekil 6.1. Alüminyum köpük malzemedен yapılmış darbe emici parça

Tablo 6. 1 Alüminyum köpüklerinin kullanım alanları

Prototip parça (Alüminyum köpük malzeme)	Kullanım alanı	Mekanik özellik
Plakalar	Talaşlı imalat, mimari yapılar	Ağırlık, tasarım
Silindirler, küpler	Yedek araba parçaları	Darbe enerjisi absorpsiyonu
Tüp	Fiziksel araştırmalar	İletkenlik, fiziksel özellikler, gözeneklilik
Maçalar, küpler ve conta	Dökümhaneler, maça dökümleri	Döküm koşulları, ağırlık, enerji absorpsiyonu
Sıkı yapısal parçalar	Otomotiv endüstrisi, elektriksel uygulamalar, koruyucu kaplamalar	Rijitlik, sönümlenme, ağırlık, görünüm
Yapısal parçalar	Otomotiv parçalarında plakalar (Daimler, Chrysler, Opel)	Rijitlik, sönümlenme davranışı
Yapısal parçalar	Otomotiv parçaları	Rijitlik, ağırlık
Yapısal parçalar	Gemiler, sandallar, yatlar	Ağırlık
Sandviç yapılar	Taşımacılık, raylı taşıtlar	Rijitlik
Sıkı yapısal parçalar	Sanatsal uygulamalar, tasarım	Görünüm
Köpük malzeme ile doldurulmuş profiller	Motor bağlantıları (CR Fiat), yapısal araba parçaları, raylı taşıtlar, uçaklar, yel değirmenleri	Çarpışma davranışı
Köpük malzeme ile doldurulmuş profiller	Takım tezgahlarında, inşaat endüstrisinde, robotlardaki destek elemanlarında	Sönümlenme

7. LİTERATÜR ÇALIŞMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Difüzyon kaynağı, ergitme kaynak yöntemi ile birleştirilmesi güç ya da olanaksız malzemelerin birleştirilmesinde elverişli bir katı hal kaynak yöntemidir.

Alüminyum ve alaşımlarının difüzyon kaynağı, yüzey oksitleri yüzünden oldukça zordur. Bununla beraber süperplastik alüminyum alaşımları, alüminyum köpüklerinin geliştirilmesi, yüksek mukavemetli birleştirmelere duyulan gereksinimi difüzyon kaynağına olan ihtiyacı arttırmaktadır.

Difüzyon kaynağı yöntemi ile, malzeme temas yüzeylerinin uygun bir şekilde hazırlanması ve malzemelerin ara tabaka kullanılarak metalurjik ve kimyasal uygunluklara dikkat edilmesi şartı ile, hemen hemen her türlü malzeme birleştirilmesidir (Koçer, 1998).

Alüminyum köpükleri; otomobil, uçak, tren, asansör vb. birçok alanda yaygın olarak kullanılmaya aday ve gelecekte çok daha fazla kullanılacağı varsayılan bir malzemedir. Klasik kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi zor ya da problemlili olan malzemelerin difüzyon kaynağı ile daha kolay kaynak edilebileceği düşünülmektedir.

Alüminyum köpüğünün toz metalurjisi yöntemi ile üretiminde ve ayrıca difüzyon kaynağı ile kaynağında karşılaşılabilecek problem ve değişimlere ışık tutabileceği düşünülerek, çalışmada hem alüminyum köpüğü üretilmiş hem de kaynağı yapılarak incelenmiştir.

Çalışmanın hem alüminyum köpüğü üretimi hem de alüminyum köpüklerinin difüzyon kaynağının daha iyi anlaşılmasına da katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

8.1. GİRİŞ

Çalışmada alüminyum metal köpüğü, alüminyum tozu ve sodyum klorür (NaCl) kullanılarak toz metalurjisi tekniği ile üretilmiştir. Bu üretim için alüminyum tozu ve sodyum klorür (NaCl) belli oranlarda mekanik olarak karıştırılmış, karışım hidrolik preste 200 MPa basınç altında sıkıştırılmıştır. Soğuk presleme sonrası numuneler 630 °C'de 2,5 saat süreyle sinterlenmiştir. Üretilen alüminyum metal köpüğü alınan 10x10 mm kesitindeki numunelere argon atmosferinde 600 °C'de, 3 MPa basınç altında ve 20, 40, 60 dakikalık sürelerde difüzyon kaynağı uygulanmıştır. Birleştirilen numunelerin iç yapısı optik mikroskopi ve SEM ile kaynak öncesi ve kaynak sonrası incelenmiştir.

Çalışmanın amacı, toz metalurjisi yöntemiyle üretilen alüminyum metal köpüğünün difüzyon kaynağı ile birleştirilebilirliğini araştırmaktır.

8.2. Deneyde Kullanılan Malzemeler

Deneylerde kullanılan alüminyum tozu İstanbul'da Akyoltaş Ltd.Şti'den; NaCl tozu Fırat Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü'nden temin edilmiştir. Difüzyon kaynağı için 800 µm kalınlığında A 1047 ara tabakası kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan Al tozunun kimyasal bileşimi Tablo 8.1 de verilmiştir.

Tablo 8.1. Alüminyum tozun kimyasal bileşimi

Element	Al	Fe	Si	Mn	Zn	Cu	Mg	Ni	Cr	Ti	Diğerleri
% Oranı	99,5	0,027	0,101	0,015	0,023	0,003	0,011	0,015	0,012	0,018	0,275

8.3. Deneylerde Kullanılan Alüminyum Köpüğün Üretimi

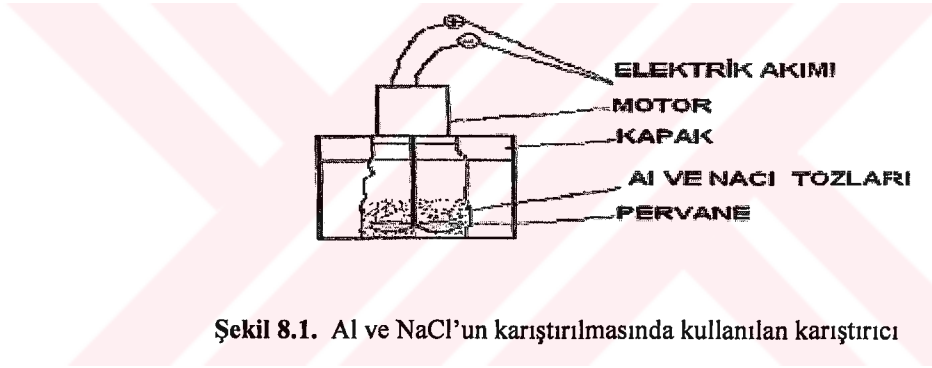
Toz metalurjisi yöntemi ile alüminyum köpük üretiminde Al ve NaCl tozu kullanılmıştır. Alüminyum tozları, 1-60 µm boyutunda su atomizasyonu yöntemiyle üretilmiştir.

Köpük üretimi için, tozlar Tablo 8.2'de belirtilen miktarlarda 10^{-4} hassasiyetteki SCALTEK marka hassas terazi ile tartılmıştır.

Tablo 8.2. Üretilen köpüklerin karışım oranları

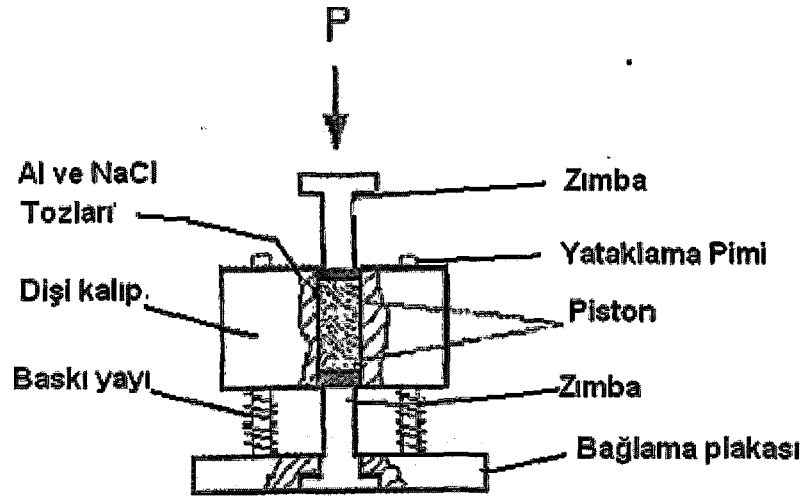
Al Miktarı (gr)	Yemek Tuzu Miktarı (gr)
90	10
80	20
70	30

Tartılan tozlar Şekil 8.1'deki karıştırıcı yardımıyla 30'ar dakika süreyle karıştırılarak karışımın homojen dağılımı sağlandı.



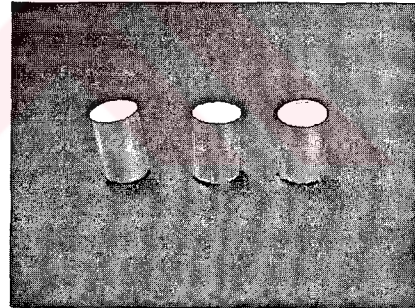
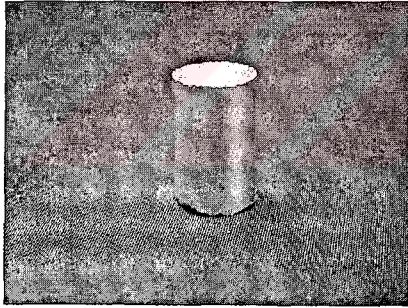
Şekil 8.1. Al ve NaCl'un karıştırılmasında kullanılan karıştırıcı

Toz karışımları Şekil 8.2'deki soğuk presleme kalıbında, Şahinler marka 50 tonluk hidrolik preste 200 MPa basınç altında sıkıştırıldı. Elde edilen numuneler Şekil 8.3'de gösterilmiştir. Soğuk presleme sonunda malzemeler atmosfer kontrollü fırında 630 °C'de 2,5 saat süreyle gözenekliliği maksimuma çıkarmak ve homojen bir köpük dağılımı sağlamak için sinterlendi. Sinterlenen numuneler fırından çıkarıldıktan sonra oda sıcaklığına soğuması beklenildi. Daha sonra numuneler su dolu bir kabın içine konularak NaCl'ün çözünmesi sağlandı. Böylece gözenekli yapılar elde edildi.



Şekil 8.2. Soğuk presleme kalıbı

Şekil 8.3.'de soğuk presleme kalıbından çıkan numunelerin fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 8.3. Soğuk presleme kalıbında elde edilen numunelerin fotoğraf görünümü

8.4. Difüzyon Kaynağı

8.4.1. Difüzyon Kaynağı Aparatı

Difüzyon kaynağı uygulamaları için, tasarımı araştırmacı Kurt (2005) tarafından yapılan bir difüzyon kaynağı aparatı kullanılmıştır (şekil 8.4 ve 8.5). Aparat, indüksiyonla ısıtma sistemine sahip olup, ısıtma bobinleri, koruyucu bir atmosfer oluşturmak amacıyla paslanmaz çelikten imal edilmiş bir tüp içerisine alınmıştır.

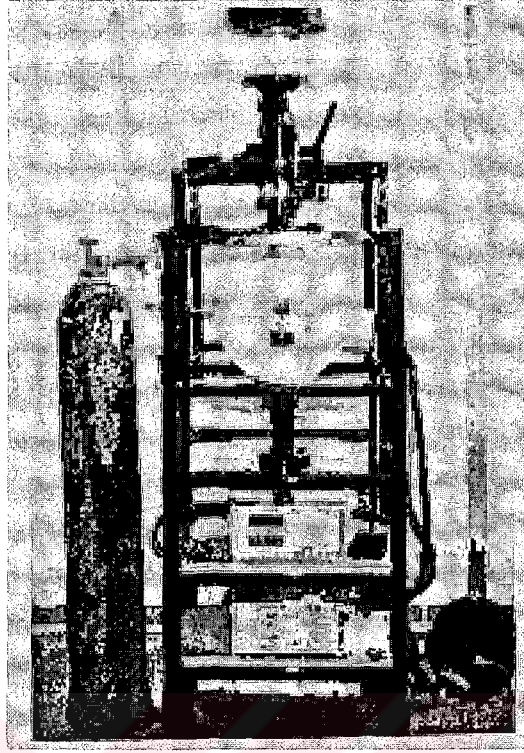
Kaynak odacığının ön tarafı, açıp kapama kolaylığı açısından tek noktadan cıvatalı olarak yapılmış ve sızdırmazlık için O-ring kullanılmıştır.

Isıtma sistemi için, tamamen deneylerde kullanılan numune boyutlarına uygun çapta indüksiyon bobini sarılmıştır. Sıcaklık ölçümü, yaklaşık 15 cm'lik bir mesafeye yerleştirilen 600-1200 °C'lik sıcaklık aralığını okuyabilen lazerli optik pirometreyle yapılmıştır.

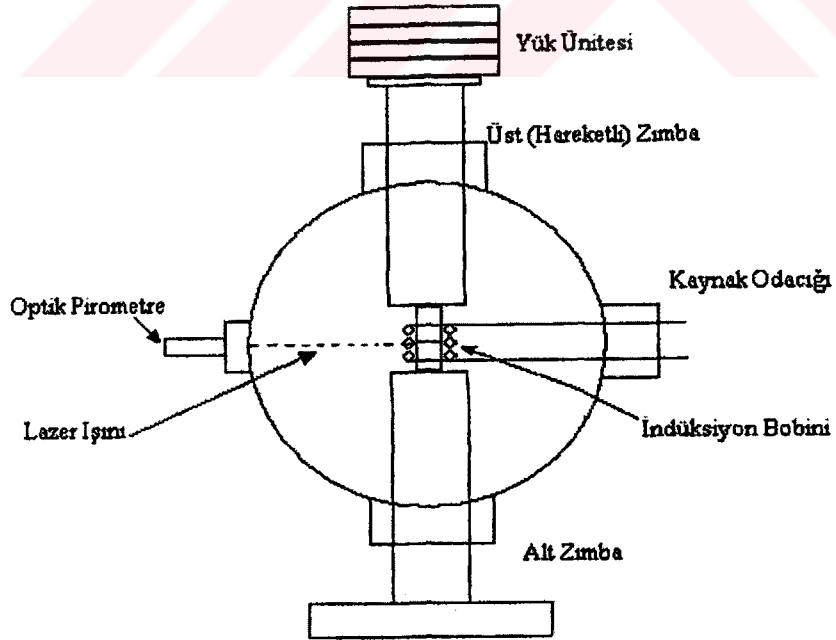
Numuneler üzerine uygulanan yük, sızdırmazlık açısından üç noktadan O-ring ile yataklanmış hareketli üst zımba ve numunenin tam ısıtma bobinlerinin ortasına gelecek şekilde dizayn edilmiş sabit alt zımba kullanılarak gerçekeştirilmiştir. Yükleme işlemi, üst zımba üzerine sabit ağırlıktaki yükleri yerleştirmek için yapılan yük ünitesiyle gerçekeştirilmiştir.

Kaynağın koruyucu atmosfer altında yapılması amacıyla kaynak odacığının üst bölgesinde küresel vana kullanılarak kontrol edilebilen gaz giriş ve çıkış vanaları yerleştirilmiştir. Ayrıca kaynak odasındaki gaz basıncını belirlemek amacıyla da üst kısma manometre takılmıştır.

Difüzyon kaynağı aparatında, uygun bir soğutma sistemine sahip 3.6 kW'lık maksimum güce sahip Ceia Power Cube 45 indüksiyon ısıtma sistemi kullanılmıştır.



Şekil 8.4. Difüzyon kaynağı aparatı (Kurt, 2005)



Şekil 8.5. Difüzyon kaynağı aparatının şematik görünümü (Kurt, 2005)

8.4.2. Numune Hazırlama

Numuneler, 10x10x10 mm'lik boyuta, struers Accutom 5 hassas numune kesme makinası kullanılarak getirilmiştir. Kesilen numunelerin birleştirilecek yüzeyleri en son 1200 mesh'lik zımparayla parlatılmıştır. Parlatılan yüzeyler, difüzyonla birleştirme öncesinde üzerine alkol dökülerek kurutulmuştur.

8.4.3. Difüzyonla Birleştirme

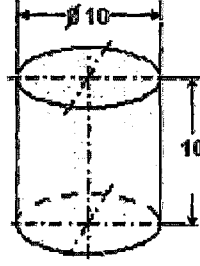
Numunelerin parlatılmış ve temizlenmiş yüzeyleri alın altına getirilerek ısıtma bobinlerinin ortasına yerleştirilmiş ve sonra yük ünitesine ağırlığı bilinen yükler elle konularak yükleme işlemi tamamlanmıştır. Numunelerin birleşme bölgesindeki sıcaklığının hassas bir şekilde ölçümü için optik pirometreden çıkan lazer ışını tam olarak birleşme bölgesine odaklanmıştır. Kaynak odacığının kapağı kapatılarak Ar gazı verilmiş ve ısıtma öncesinde gaz çıkış vanası birkaç defa açılıp kapatılarak içeride kalan havanın temizlenmesi sağlanmıştır.

Kaynak hücreesindeki gaz basıncı 2 atmosfere ulaşıldığında ısıtma işlemine başlanmıştır.

8.5. Metalografik İncelemeler

8.5.1. Kaynak Öncesi Metalografik İncelemeler

Kaynak için hazırlanan malzemelerden metalografik muayene ve tane karakterizasyonu için Şekil 8.6'deki boyutta numuneler hazırlanmıştır. Numunelerin incelenecek yüzeyleri sırasıyla 80-120-320-500-600-800-1000 ve 1200 mesh'lik zımparalardan geçirilerek parlatılmıştır. Parlatılan yüzeyler demir dışı malzemeler için kullanılan 1µm' luk elmas pasta ile parlatıldı ve % 2 HF, % 3 HNO₃, % 5 HCl ve % 90 H₂O ile dağlanmıştır (Geçkinli, 1989). Dağlanan numuneler, Diyarbakır Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarı'nda optik mikroskopta incelenmiştir ve Kırıkkale Üniversitesi Elektron Mikroskop Laboratuvarı'nda Jeol JSM-5600 marka Scanning Electron Microscope (SEM) ile yüzey fotoğrafları çekilmiştir. Ayrıca SEM ile mikroyapı üzerinde farklı bölgelerde Energy Dispersive Spectrography (EDS) analizleri alınmıştır.



Şekil 8.6. Optik mikroskopta incelenen numune boyutu

8.5.2. Kaynak Sonrası Metalografik İncelemeler

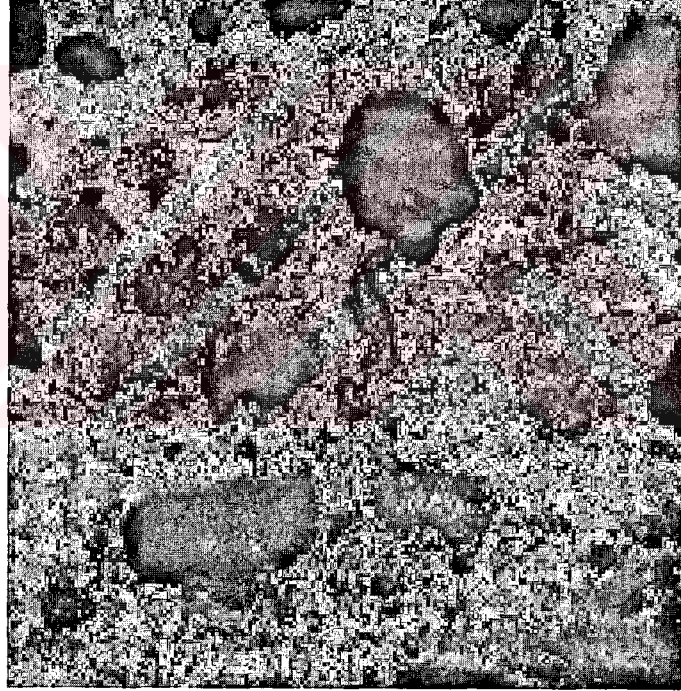
Difüzyon kaynağıyla birleştirilen kaynak numuneleri, kaynak sonrası bağlantı kalitesini tespit etmek için birleşme bölgesinde metalografik incelemeler yapıldı. Kesilen bu yüzeyler 80-120-320-500-600-800-1000 ve 1200 mesh'lik zımparalardan geçirildikten sonra demir dışı malzemeler için kullanılan $1\mu\text{m}$ ' luk elmas pasta ile parlatıldı. Numuneler daha sonra % 2 HF, % 3 HNO_3 , % 5 HCl ve % 90 H_2O ile dağlandı (Geçkinli, 1989). Dağlanan numuneler, Diyarbakır Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarında optik mikroskopta incelenmiş ve yine bu numunelerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve noktasal analiz (EDS) incelemeleri yapılmıştır .

9. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

9.1. Metalografik İncelemeler

Kaynak öncesi ve kaynak sonrası numunelerin mikro yapı, SEM fotoğrafları ve EDS analiz grafikleri sırasıyla Şekil 9.1, Şekil 9.2, Şekil 9.3, Şekil 9.4, Şekil 9.5, Şekil 9.6, Şekil 9.7, Şekil 9.8, Şekil 9.9'da verilmiştir. Fotoğraflarda da görüldüğü gibi farklı oranlarda üretilen numunelerde gözenek yapısına ulaşılmıştır.

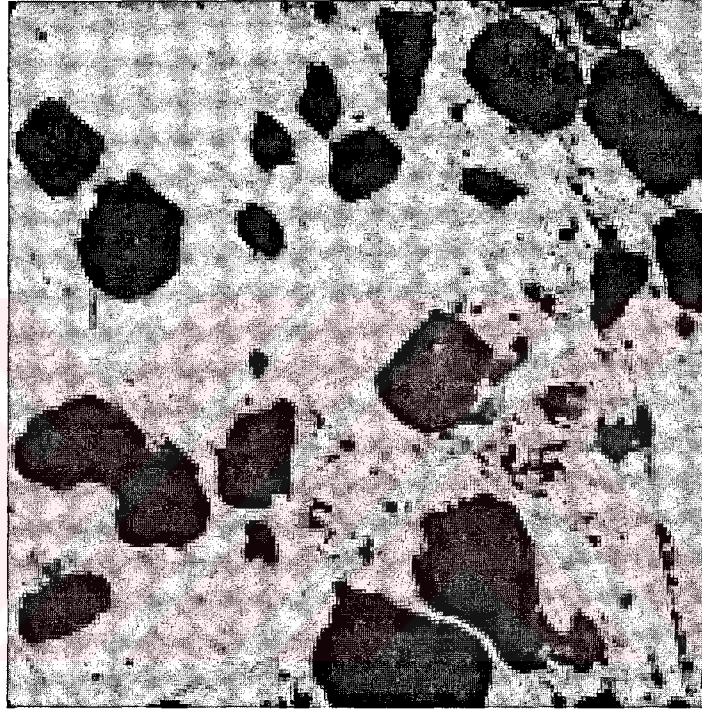
% 90 Al - % 10 NaCl oranlarında oluşan Alüminyum köpüğü 630 °C sıcaklıkta, 200 MPa basınç altında ve 2,5 saat süreyle sinterlenmesi sonucu oluşan köpüğün optik fotoğrafı Şekil 9.1'de verilmiştir.



Şekil 9.1 % 90 Al - % 10 NaCl numunelerin optik fotoğrafı

NaCl oranının düşük seçildiği numunelerde, Şekil 9.1'den görüldüğü gibi, iri gözenek sayısının az ve gelişigüzel dağıldığı, küçük gözeneklerin ise yüzeyin her yanında ve az çok dengeli olarak bulunduğu dikkati çekmektedir. Ayrıca bu köpükte gözenekler karıştırma yönünde bir oryantasyon göstermektedir.

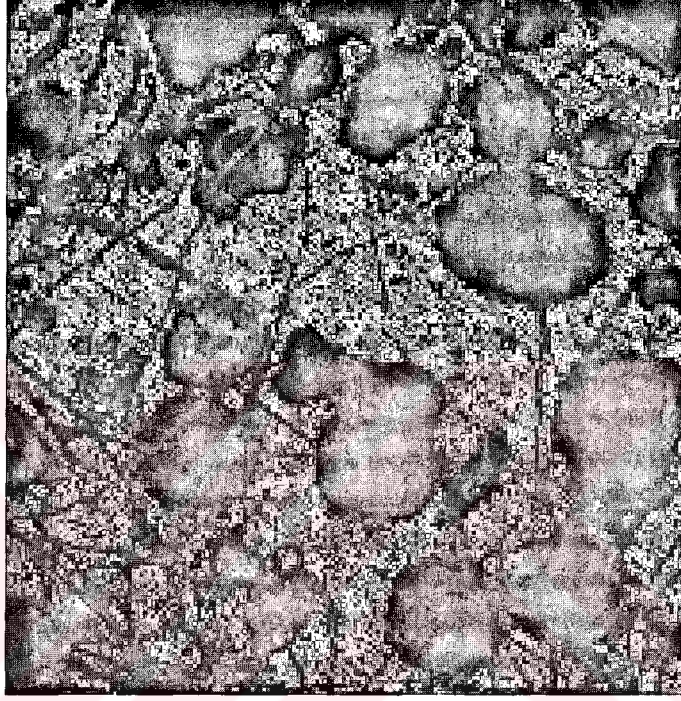
% 80 Al-% 20 NaCl oranlarında oluşan alüminyum köpüğü 630 °C sıcaklıkta, 200 MPa basınç altında ve 2,5 saat süreyle sinterlenmesi sonucu oluşan köpüğün optik fotoğrafı Şekil 9.2'de verilmiştir.



Şekil 9.2. % 80 Al - % 20 NaCl numunelerin optik fotoğrafı

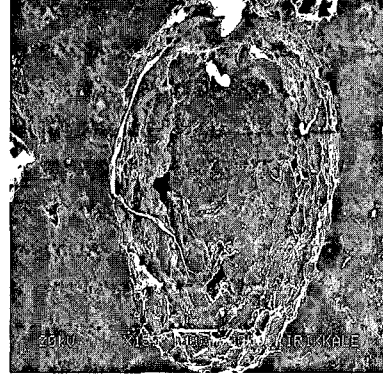
Köpük üretiminde alüminyum / tuz oranının tuz lehine değişmesiyle, iri gözenek sayısı çoğalmış ve bu gözenekler kesitte oldukça dengeli bir dağılım sergilemişlerdir. Bu köpükte de yine gözenekler karıştırma yönünde az çok oryantasyona sahiptir.

% 70 Al - % 30 NaCl oranlarında oluşan alüminyum köpüğü 630 °C sıcaklıkta, 200 MPa basınç altında ve 2,5 saat süreyle sinterlenmesi sonucu oluşan köpüğün optik fotoğrafı Şekil 9.3'de verilmiştir.

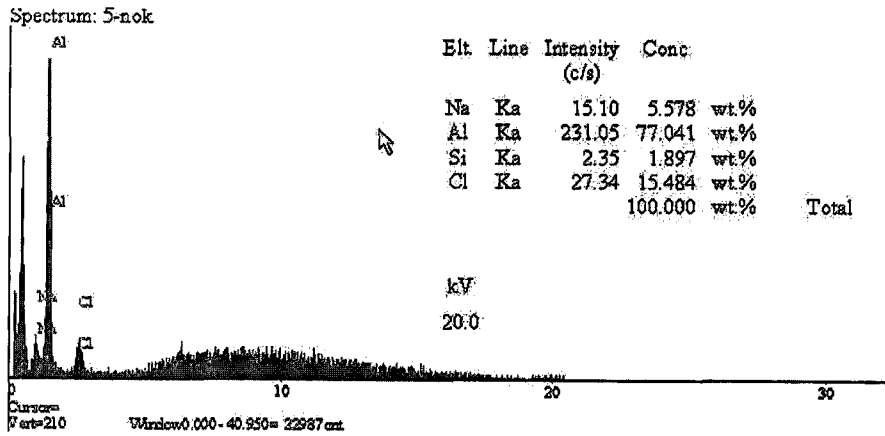
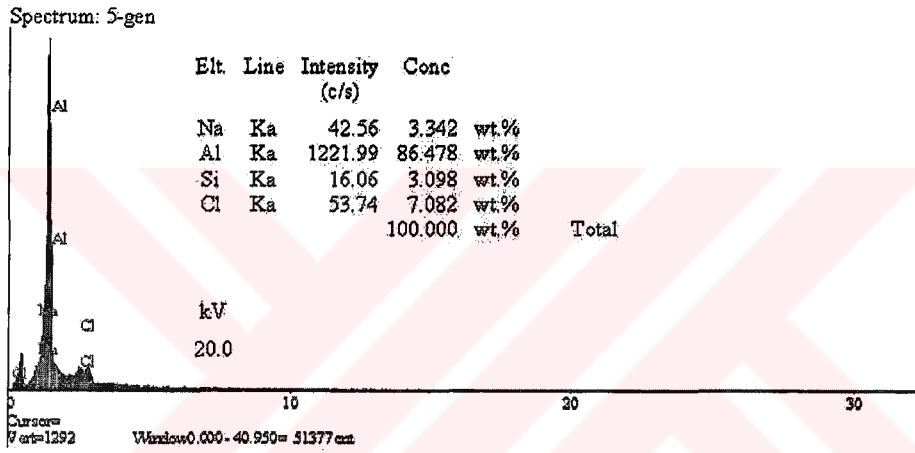


Şekil 9.3. % 70 Al - % 30 NaCl numunelerin optik fotoğrafı

NaCl oranının en üst düzeyde bulunduğu numunede oluşan köpüklerde küçük gözeneklerin tamamen az olduğu; büyük gözeneklerin ise, sayıca artmasının yanı sıra oldukça dengeli bir dağılım gösterdiği gözlenmektedir. Tuz katkısı yüksek seçilen köpükte yönlenmesi az, irilikleri birbirine yakın yuvarlağımsı gözenekler elde edilmiştir.

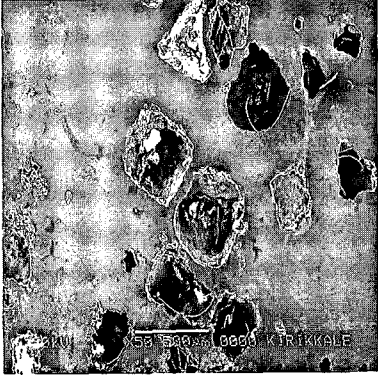


Şekil 9.4. % 90 Al - % 10 NaCl numunelerin SEM fotoğrafı

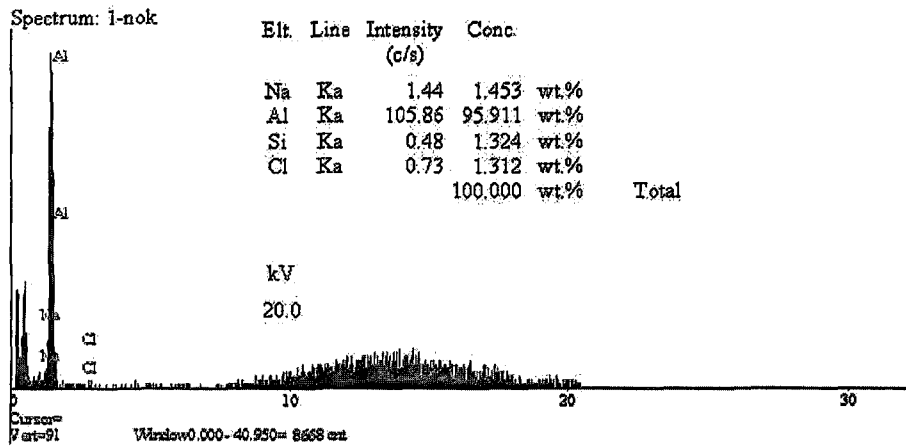
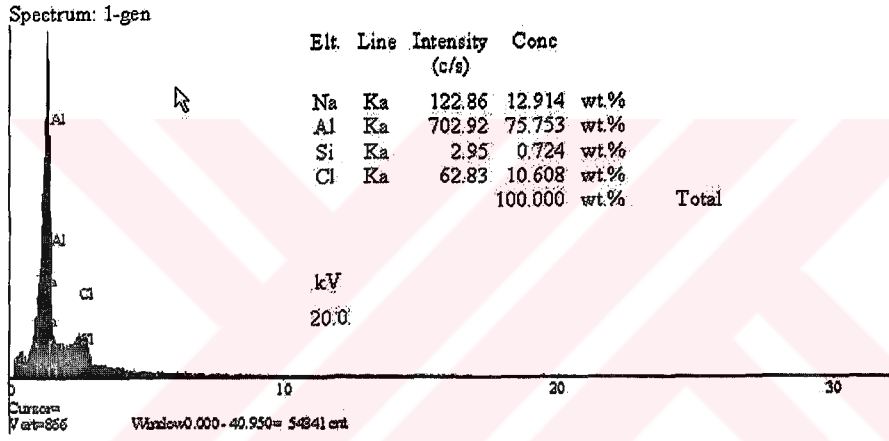


Şekil 9.5. % 90 Al - % 10 NaCl numunelerin EDS analiz grafiği

Matristen alınan SEM analizinden, matrisin alüminyumca oldukça zengin olduğu, dolayısı ile matris malzemesinin mukavemetinden fazla bir şey kaybetmediği söylenebilir. Gözeneklerdeki alüminyum içeriği matrise göre azalmış, tuz içeriği ise uygulanan yöntemle yapıdan tamamen uzaklaştırılmamıştır.

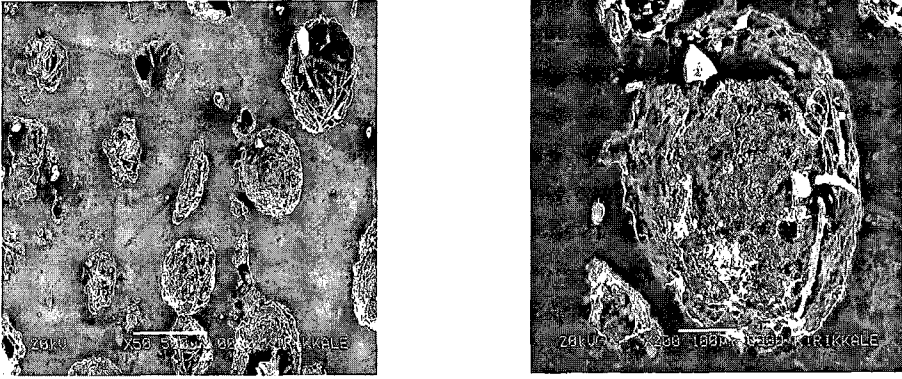


Şekil 9.6. % 80 Al - % 20 NaCl numunelerin SEM fotoğrafları

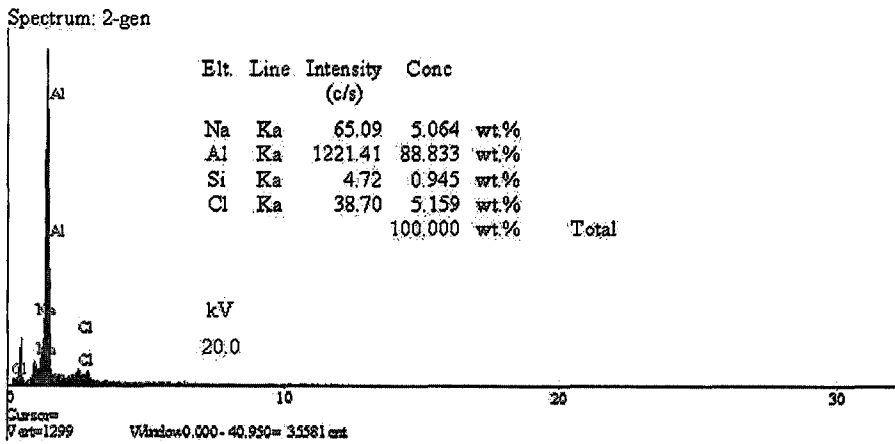
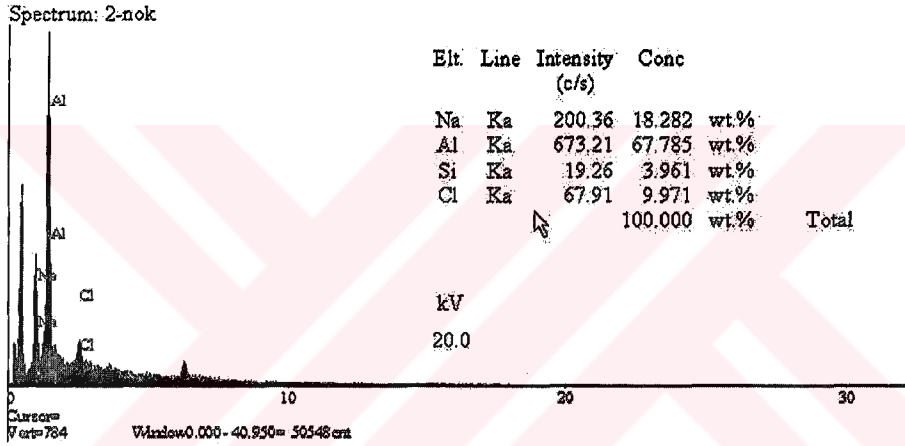


Şekil 9.7. % 80 Al - % 20 NaCl numunelerin EDS analiz grafiği

NaCl oranının artmasıyla, tuz tüm köpük kesitine daha çok ve dengeli yayılmış ve buna bağlı olarak matristeki ve gözeneklerdeki alüminyum oranları düşmüştür.



Şekil 9.8. % 70 Al - % 30 NaCl numunelerin SEM fotoğrafı



Şekil 9.9. % 70 Al - % 30 NaCl numunelerin EDS analiz grafiği

Tuz oranlarının en üst düzeyde bulunduğu durumlarda matris ve gözeneklerdeki alüminyum düşerken, tuz içeriği belirgin derecede artmaktadır.

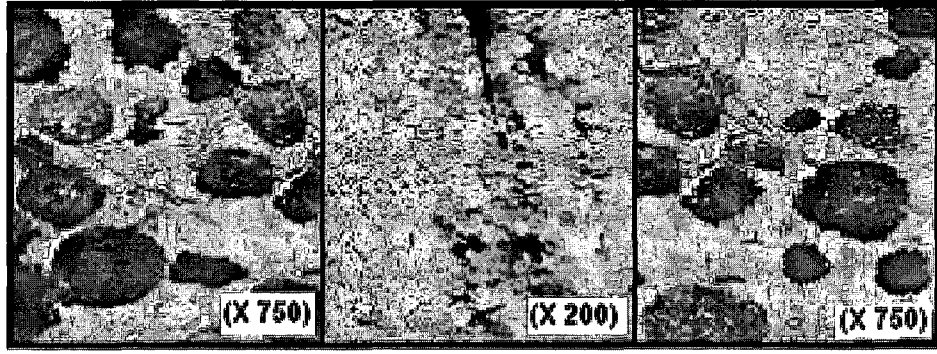
10. ALÜMİNYUM KÖPÜĞÜN DİFÜZYON KAYNAĞI

10.1. Giriş

10x10mm boyutunda hazırlanan silindirik şekilli alüminyum köpükler, 600 °C’de 20-40-60 dakikalık sürelerde difüzyon kaynağı tekniği kullanılarak birleştirilmiştir. Birleştirilen numuneler, optik mikroskopta ara malzeme ve kaynak şartları incelemelerine tabi tutulmuştur. Birleştirilen numunelerin mekanik dayanımını tespit etmek amacıyla bindirme-kayma testleri yapılmış ve kopma yüzeyleri incelenmiştir. Deneylerde ilk olarak % 10 tuz ve % 90 Al’dan oluşan köpük kullanılmıştır. Bunun nedeni difüzyon kaynağı için daha az gözeneklilik temas yüzeyi daha fazla bir yapının daha elverişli olacağı düşüncesidir. Sonraki deneylerde tuz oranı artırılmış ve farklı gözenek özellikli köpükler üretilerek, sonuçlar tuz oranı yüksek numunelerle karşılaştırılmıştır.

10.2. Difüzyon Kaynağıyla Birleştirilen Alüminyum Köpüğün Optik Mikroskopi Analizi

Alüminyum köpüğünün difüzyon kaynağı 600, 720, 820, 875 °C’lik sıcaklıklar, 3 MPa basınç ve 20, 40, 60 dakikalık sürelerde yapılmıştır. Alüminyumun ergime sıcaklığı 660 °C olduğundan ergime sıcaklığının üzerinde yapılan 720, 820, 875 °C’lik sıcaklıklarda kaynak yapılan köpüğün yapısında bozulmalar meydana getirdiği gözlenmiştir. Bundan dolayı difüzyon kaynağına seçilen bu sıcaklıklardan 600 °C’lik sıcaklık uygun görülmüştür. Şekil 10.1, Şekil 10.2, Şekil 10.3’de bu sıcaklık ve sürelerde yapılmış difüzyon kaynaklarının optik mikroskopi fotoğrafları görülmektedir.

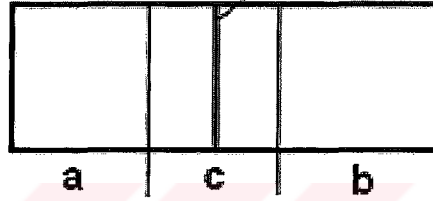


a

c

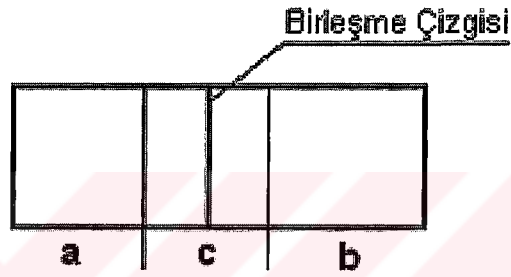
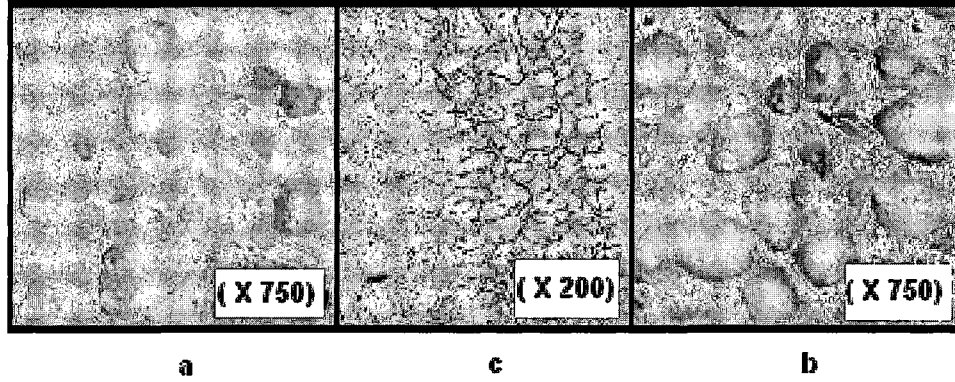
b

Birleşme Çizgisi



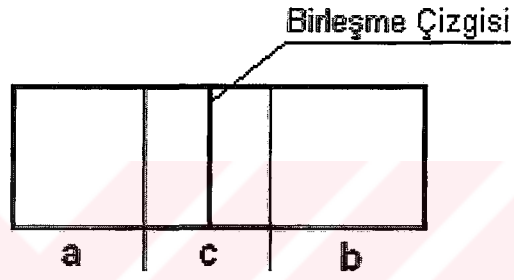
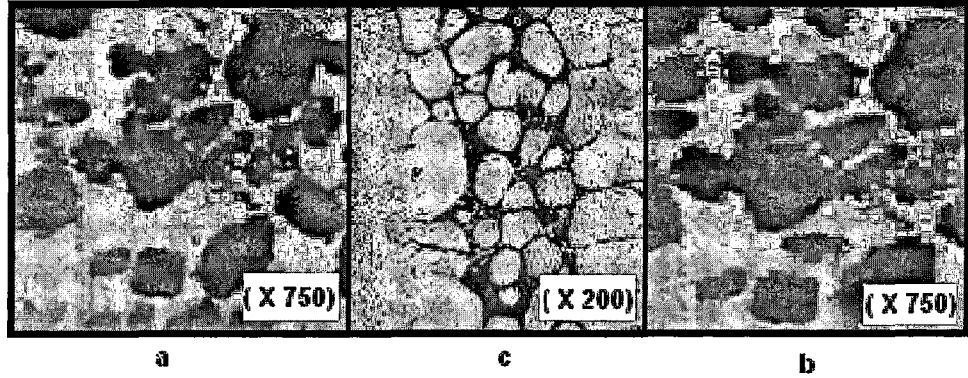
Şekil 10.1. Alüminyum köpük çiftinin optik fotoğrafı
(a,b: % 10' luk alüminyum köpüğü, c: Birleşme bölgesi)
(T = 600 °C ve t =20 dakika)

Şekil 10.1'de, % 10 tuz katkısıyla üretilen köpüklerde, tuz içeriğinin azlığına rağmen; deney süresinin kısa olması nedeniyle, aynı özellikteki iki köpük birbiriyle tam uyumlu bir şekilde birleşmemiştir. Ayrıca birleşme bölgesinde ve matriste uygulanan basınç etkisiyle gözenekliliğin azlığı dikkati çekmektedir.



Şekil 10.2. Alüminyum köpük çiftinin optik fotoğrafı
(a,b: % 20' lik Alüminyum köpüğü, c: Birleşme bölgesi)
(T = 600 °C ve t = 40 dakika)

Tuz içeriğinin artması ile köpüklerin birleşme bölgesinde alüminyum tanelerinin kırılıp arakesit boyunca biriktiği; ancak birleşme gerçekleşmesine karşın, yeterli mukavemette bir kaynağın tam olarak sağlanamadığı belirlenmiştir. Burada iyi bir birleşme için difüzyon süresi yetersiz kalmış olabilir.

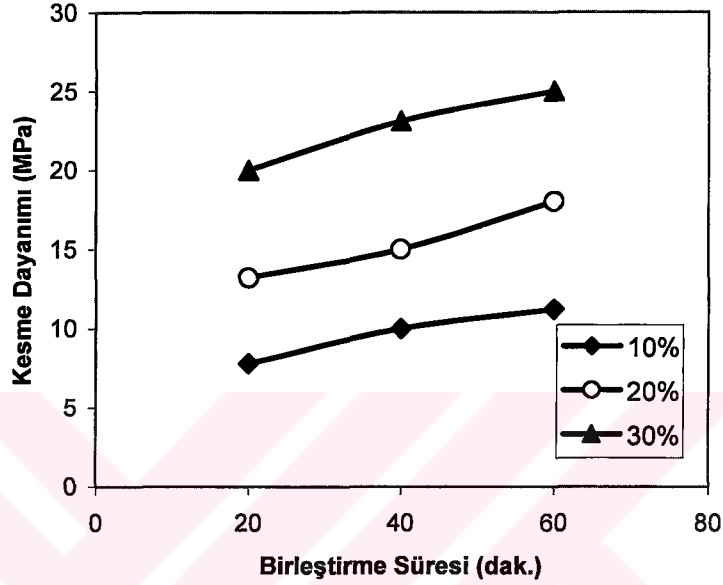


Şekil 10.3. Alüminyum köpük çiftinin optik fotoğrafı
(a,b: % 30' luk alüminyum köpüğü, c: Birleşme bölgesi)
(T = 600 °C ve t =60 dakika)

Tuz içeriğinin en üst düzeyde bulunduğu köpük numunelerinde birleşme bölgesinde ve köpüğün birleşme bölgesine yakın olduğu kısımlarda, alüminyum matris iyice kırılmış; taneler arasındaki bağ ise, gözenekli kısımda bulunan diğer numunelere göre daha yüksek olan alüminyum içeriğinden dolayı, diğer numunelere kıyasla, daha iyi bir bağ oluşturmaktadır. Burada kaynak yapısı oldukça dengeli bir dağılım sergilemektedir.

10.3. Kaynak Numunelerine Uygulanan Bindirme-Kayma Testi

Sabit sıcaklık ve farklı sürelerde difüzyon kaynağı yapılan alüminyum köpük çiftlerinin kesme kuvvetlerine karşı göstermiş oldukları dirençleri belirlemek amacıyla bindirme-kayma testleri yapılmıştır. Kaynaklı numunelere uygulanan bindirme-kayma test sonuçları Şekil 10.4'de görülmektedir.



Şekil 10.4. Al Köpük / A 1047 / Al köpük kaynak çiftlerinin bindirme-kayma test sonuçları.

Al köpük / A 1047 / Al Köpük kaynak çiftinde en yüksek direnç % 30 NaCl karışımı köpükte ve 60 dak. süre ile yapılan difüzyon kaynağı sonucunda elde edilmiştir. Bindirme-kayma test sonucu gözlemlendiğinde bu numune 25 MPa'lık bir kesme direncine karşılık göstermiştir. Bu numunenin mikroyapı fotoğrafından da anlaşılacağı gibi, bu numunede dengeli dağılımlı, pürüzsüz ve tam bir birleşme yüzeyi elde . Grafiklerden de görüldüğü gibi % 10, % 20 ve % 30'luk alüminyum köpük parçaların, artan birleşme sürelerine paralel olarak, kesme kuvvetlerine karşı gösterdikleri dayanımda da bir artış olmuştur. Kesme dayanımında görülen bu artışın nedeni, artan deney sürelerinde birleşmenin daha iyi olması ve birleşen ara tabakanın birleşme çizgisi boyunca homojen dağılımıdır. Ayrıca % 30 NaCl'li numunelerde taneler arasındaki gözeneklerde bulunan bağ uzantılarında alüminyum oranının yüksek olması, bu köpüklerin daha mukavemetli olmasını sağlamıştır.

11. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

% 10 NaCl - % 90 Al tozu ihtiva eden Al köpük malzeme çiftinin 600 °C sıcaklık, 3 Mpa basınç ve 20 dak. sürede yapılan kaynakta, süre yetersizliği nedeniyle, boşlukların tamamen giderilemediği, birleşmenin tam sağlanamadığı gözlenmektedir. Bu da, 20 dak. sürenin bu malzeme çiftinin 600 °C sıcaklık, 3 Mpa basınç kullanılarak yapılan difüzyon kaynağı için yeterli olmadığını düşündürmektedir (Şekil 10.1).

Optik fotoğraflardan % 20 NaCl - % 80 Al tozu ihtiva eden Al köpük malzeme çiftinin 600 °C sıcaklık, 3 Mpa basınç ve 40 dak. sürede yapılan kaynakta, birleşme sonrası arayüzeyde partiküllerin ezilmesi ve kırılması sonucu oluştuğu düşünülen bir ara yapı gözlenmektedir. Kaynak açısından incelendiğinde ara tabaka ve ana malzeme arasındaki çizgilerin hemen hemen tamamen kaybolduğu görülmektedir. Buradan kaynak açısından iyi bir birleşme elde edildiği düşünülebilir (Şekil 10.2).

% 30 tuz içeren malzeme çiftinin difüzyon kaynağı sonrası 60 dak. sürede yapılan kaynak ana malzeme ara tabaka arasındaki çizgilerin tamamen kaybolduğu, fakat bununla birlikte yapıdaki gözeneklerin de kaybolmayıp korunduğu görülmektedir.

Bindirme-kayma test sonuçlarına bakıldığında en yüksek kesme direncini % 30' luk ve 60 dak. süreyle difüzyon kaynağıyla birleştirilen numune sergilemiştir. Bu da diğer numunelere oranla difüzyon kaynağı açısından daha iyi bir birleşme elde edildiğini düşündürmektedir. Çünkü ara bölgede küçülen ve dengeli bir dağılım gösteren gözenekteki alüminyum içeriği bağ yeteneğini artırmıştır.

Yine her üç sıcaklıktaki kaynaklar incelendiğinde 20 dak.'da ara malzemelerin tanelerinin küçük olduğu, dengeli dağılmadığı ve katılma yönünde oryantasyon gösterdiği, 40 dak.'da tanelerin büyüdüğü ve 60 dak.'lık artan sürede yine tanelerin büyüdüğü iri gözeneklerin seçilen sıcaklık ve sürede ara kesitte dengeli bir bağın kurulduğu anlaşılmaktadır.

Ayrıca % 70 Al ve % 30 NaCl içeren numunede; 20 dak.'lık sürede ara malzemenin kalınlığı 800 µm iken 40 dak.'da bu mesafe 750 µm ve 60 dak.'da da 700 µm'a düşmüştür. Bunun nedeni, süre artışı ile birlikte daha çok bölgenin deformasyon etkileri altında kalması ve sürünmesidir.

KAYNAKLAR

1. Akisanya, A.R., 1997, "The Yield Behaviour of Metal Powders". *Int. J. Mech. Sci.* 39, 1215-1223.
2. Avner, S.H., 1994, *Introduction to Physical Metallurgy*, McGraw- Hill Book Company, 4. Ed., New York, 605-630.
3. Banhart, J., 1997, "Production Methods for Metallic Foams", *Fraunhofer USA Metal Foam Symposium*, J. Banhart ve H. Eifert Basımı, Stanton, Delaware, Ekim 7-8, Sayfa 3-11.
4. Banhart, J., (1999), *Europhys. News* 30 (1999) 17.
5. Banhart, J., Ashby, M.F., Fleck, N.A., 1999 "Metal Foams And Porous Metal Structures", MIT-Verlag, Bremen/Ger.
6. Baumeister, J., Schrader, H., (1990), "Method for Manufacturing Foamable Metal Bodies", U.S. Patent No:5, 151 (1990) 246.
7. Calvo, F.A., (1988), " Special Features of the Formation of the Diffusion Bonded Joints between Copper and Aluminum". *Journal of Material Science.* 28 (1988) 2273-2280.
8. Curran, D., 2005, "Metal Foams", www.msn.cam.ac.uk/mmc/people/dave/dave.html#alfoam internet adresi.
9. Dubrovsky, R., (1986), " Solid State Bonding of Copper- Iron Alloys Under Deformation ". *Advances in Welding Sci. And Tech. TWR 86. Proceed of an Int. Conf. on Trends In Welding Research.*
10. Davies, G. J., Zhen, S., 1983, "Review Metallic Foams: Their Production, Properties and Applications", *J. Mater. Sci.* 18 (1983) 1899-1911.
11. Elbir, S., Yılmaz, S., Güden, M., (1999), "Kapalı Hücreli Alüminyum Köpük Metallerin Üretim Metodları ve Mekanik Özellikleri", *Metalurji, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası*, Cilt: 23, Sayı: 120, 35-42.
12. Elliot J.C. US Patent 2 (1961) 983, 597.
13. Ersümer, A., 1970, "Toz Metalurjisi Sert Metal Sinterleme", İ.T.Ü. Yayınevi, İTÜ Kütüphanesi, Sayı: 800, İstanbul, 1-47.
14. Einsmann, M., 1998, "ASM Handbook, Metal Powder Technologies and Applications", Vol. 7, ASM International, Materials Park (USA), 1031-1042.
15. Giamei, A., 1997, "Aero-Engine aand naval Applications for Ultra-Lightweight Metals", *Fraunhofer USA Metal Foam Symposium*, Published by J. Banhart ve H. Eifert, Stanton/Delaware (USA), Sayfa 63-78.
16. Geçkinli, A.E., 1989, "Metalografi" İTÜ, Teknik Üniversite Matbaası, Sayı: 1391, İstanbul 131-137.
17. Gibson, J., Simone, A. E., 1997, "Aluminum Foams: Structure and Properties", *Ultralight Metal Structures, ARPA/ONR Workshop, Harvard University*, 18 Nisan 1997.

18. Gibson, L.J., Ashby, M.F., 1988, "Cellular Solids; Structures and Properties", Pergamon Press, Oxford, 132.
19. Güden, M., Hall, I. W., Yu, C-J., 1988, "Quasi-static and Dynamic Crushing of an Aluminum Closed-Cell Foam", Trans. Metall. Soc. Annual Meeting, Oct. 1988, Chicago/USA.
20. <http://www.foamex.com/auto/energy.html>.
21. Jiang, B., Zhao, N.Q., Shi, C.S., Du, X.W, Li, J.J., Man, H.C., 2005, Materials Letters 59 (2005) 3333-3336.
22. Koçer, S., Katı Hal Kaynak Yöntemleri 25-39. Doktora Semineri, Fırat Üniversitesi Elazığ, 1999.
23. Kurt, B., 2005, "Ti-6Al-4V Alaşımı İle Farklı Tip Paslanmaz Çeliklerin Difüzyon Kaynağı", Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2005.
24. Kyung, Ho M., S. P., Kim, D.G., Kim, Y.D., 2005, "Sintering Characteristic of Al₂O₃-Reinforced 2xxx Series Al Composite Powders", Journal of Alloys Compounds, 400 (2005) 1-2, 150-153.
25. Orhan, N., 1999, "A New Model for Diffusion Bonding and Its Application to Duplex Alloys", Material Science and Engineering A, 271 (1999) 1-2, 458-468.
26. Partridge, P.G., "Diffusion Bonding of Metals", Agard 168., Nato Yayını.Essex, 1989.
27. Prakash, O., Sang, H., Embury, J. D., 1985, " Structure and Properties of Al-Si Foam", Mater. Sci. Eng., A 199 (1985) 195-203.
28. Richardson, M. O. W., Nandra, D. S., 1995, "Load-Deflection Analyses of Shock Mitigating Polyurethane-Silicone Foams", Cellular Polymers, 445-462.
29. Salehi, M.T., 1990, "Isostatic Diffusion of Some Superplastic Alloys", Doktora Tezi. UMIST, Manchester /UK.
30. Sarıtaş, S., (1992), "Toz Üretim Teknikleri", Yüksek Lisans Ders Notları, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
31. Seitzberger, M., Rammerstorfer, F. G., Degischer, H. P., Gradinger, R., 1997, "Crushing of Axially Compressed Steel Tubes Filled with Aluminum Foam", Acta Mechanica, 125 (1997) 93-105.
32. Shapovalov, V. I., 1993, "Method for Manufacturing Porous Articles", US Patent No:5, 181, 549.
33. Simone A.E. Thesis, Mass. Inst. Technol. Cambridge, USA, 1997.
34. Smith, L. N., 2003, "A Knowledge-Based System for Powder Metallurgy Technology (Engineering Research Series), Published by Professional Engineering, New York / USA.
35. Sugimura, Y., Meyer, J., He, M. Y., Bart-Smith, H., Grenstedt, J., Evans, A. G., (1997), "On the Mechanical Performance of Closed Cell Al Alloy Foams", Acta Mater. Vol. 45, No. 12 (1997) 5425-5259.

36. Uygur, M. E., "Kaynak Metal Tozlarının Üretimi", ODTÜ Metalurji Mühendisliği Bölümü, Ankara, 1979.
37. Yildirim, M.M., Doğantan, Z.S., Çakan, A., Pakdil, M., 2001, "Metalik Malzemelerde Mekanik ve Tahribatsız Muayene Yöntemleri", MKÜ Yayınları, No: 12, Mustafa Kemal Üniversitesi Basımevi, Antakya, 4-26.
38. Yildirim, M.M., "Tel Çekiminde Yağlama ve Değerlendirilmesi" , 3. Denizli Sempozyumu, 25-31 Mart 1989, Bildiri kitabı, 12-22.
39. Yu, C. J., Eifert, H., Banhart, Baumeister, M., 1998, Metal Foams Advanced Materials and Processes 154 (1998) 45-47.
40. Yu, C-J., Banhart, J., 1997, "Mechanical Properties of Metallic Foams", Fraunhofer USA Metal Foam Symposium, Published by J. Banhart ve H. Eifert, Stanton/Delaware / USA, Oct. 7-8, 37-48.
41. Wu, C. L., Weeks, C. A., Sun, C. T., (1995) "Improving Honeycomb-Core Sandwich Structures for Impact Resistance", J. Advance Mater., 1995, 41-47.
42. Wood, J. T., 1997, "Production and Applications of Continuously Cast, Foamed Aluminum", Fraunhofer USA Metal Foam Symposium, Published by J. Banhart ve H. Eifert Stanton, Delaware/ USA, Oct. 7-8, 1997, 31-35.
43. Zhang, Y.C., Nakagawa, H., 1987, "Proposed of New Bonding Technique. Instantaneous Liquid Phase Bonding", Trans. of J.W.R. 1.16 (1987) 1, 17-29.
44. Zhao, C.Y., Lu, T. J., Hodson, H. P., 2004, "Thermal Radiation in Ultralight Metal Foams with Open Cells", International Journal of Heat and Mass Transfer, 47 (2004), 14-16, 2927-2939.