

**Al-Al₂O₃ KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ VE DİFÜZYON
KAYNAĞI İLE KAYNAKLANABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Ramazan SANDAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EYLÜL 2009
ANKARA**

Ramazan SANDAL tarafından hazırlanan Al-Al₂O₃ KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ VE DİFÜZYON KAYNAĞI İLE KAYNAKLANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Halil ARIK

.....

Tez Danışmanı, Metal Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metal Eğitim Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Adem KURT

.....

Metal Eğitimi A.B.D., Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Halil ARIK

.....

Metal Eğitimi A.B.D., Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

.....

Metal Eğitimi A.B.D., Karabük Üniversitesi

Tarih: 18/09/2009

Bu tez ile G. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nail ÜNSAL

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ramazan SANDAL

**Al-Al₂O₃ KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ VE DİFÜZYON
KAYNAĞI İLE KAYNAKLANABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Ramazan SANDAL

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Eylül 2009**

ÖZET

Bu çalışmada, alümina takviyeli, alüminyum matrisli kompozit malzeme üretilmiştir. Üretilen bu malzeme ile % 99,5 saflıkta alüminyum malzemenin difüzyon kaynak yöntemiyle kaynaklanabilirliği araştırılmıştır. Ağırlıkça % 10 oranında alümina (Al₂O₃) içeren alüminyum tozun karışımı, yüksek enerjili atritör içerisinde 2 saat süreyle mekanik alaşımlama (MA) işlemine tabi tutulmuştur. Mekanik alaşımlama işlemi sonrası tozlar, sabit presleme basıncında (500 MPa) preslenerek Ø10 x 15 mm boyutlarında blok numuneler üretilmiştir. Üretilen bütün numuneler 2 saat süreyle 650°C sıcaklıkta argon gazı ortamında, atmosfer kontrollü tüp fırında sinterlenmiştir. Üretilen blok numunelerin sinterleme öncesi yoğunluk ölçümü ile sinterleme sonrası yoğunluk ölçümleri yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Sinterlenmiş numuneler, % 99,5 saflıkta Alüminyum Ø10 x 15 mm boyutlarındaki blok numuneler ile 5 MPa yük altında 590 – 610 – 630 °C sıcaklıklarında, 30 – 60 – 90 dakika sürelerde difüzyon kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Difüzyon kaynak işlemi sonrasında birleştirilmiş numunelere kesme testi uygulanılmıştır. Alüminyum

malzeme, kompozit malzeme ve kaynaklı numunelerden elde edilen kesme testi değerleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca difüzyon kaynağı ile birleştirilen numunelerin kaynak bölgeleri optik mikroskopta incelenmiş, birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Bilim Kodu : 710.1.092

Anahtar Kelimeler : Toz Metallurjisi, difüzyon kaynağı, kompozit malzemeler

Sayfa Adedi : 90

Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Halil ARIK

**PRODUCTION OF Al-Al₂O₃ COMPOSITE MATERIAL AND
INVESTIGATION FOR WELDABILITY OF THIS MATERIAL BY
DIFFUSION WELDING
(M.Sc. Thesis)**

Ramazan SANDAL

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
September 2009**

ABSTRACT

The alumina consolidated composite material that contains aluminum matrix was produced in this work. Welding process of that produced material with 99,5 % purity aluminum material by diffusion welding method was investigated. The mixture of aluminum powder containing 10 % wt Alumina (Al₂O₃) was subjected to mechanical alloying process in the high-energy attritor for 2 hours. The powder was pressed at constant pressure (500 MPa) after the process of mechanical welding and the sample blocks were produced at the dimension of Ø10 x 15 mm. All produced samples were sintered in media surrounded by Argon gas in the atmosphere controlled tube furnace for 2 hours at 650 °C. The density of the produced block samples before and after sintering process is measured and compared. Those sintered samples were welded with the Ø10 x 15 mm dimensional 99.5 % purity aluminum blocks at 5 MPa 590 – 610 – 630 °C by diffusion welding method for 30 – 60 -90 minutes. The cutting test was applied to those blocks after the process of diffusion welding. The cutting test values obtained from the aluminum material,

composite material and welded samples were compared. Besides, the welding area of samples integrated by diffusion welding was viewed by optical microscope and compared with each other.

Science Code : 710.1.092

Key Words : Diffusion welding, composite, powder metallurgy

Page Number : 90

Adviser : Assoc. Prof. Dr. Halil ARIK

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım boyunca, çok fazla yardımı bulunan tez danışman hocam Doç. Dr. Halil ARIK hocama teşekkür ediyor, şükranlarımı sunuyorum. Tavsiyelerinden ve ilgisinden dolayı, güler yüzlü ve sıcak kanlı Prof. Dr. Adem KURT hocama, moral desteklerini esirgemeyen Doç. Dr. Yusuf ÖZÇATALBAŞ ve Yrd. Doç. Dr. Behçet GÜLENÇ hocalarıma teşekkür ediyorum. Deneysel çalışmalarım boyunca gerektiğinde yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Hanifi ÇİNİCİ ve doktora öğrencisi Ersin BAHÇECİ' ye teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ	1
2. ALÜMİNYUM VE ÖZELLİKLERİ	3
2.1. Alüminyumun Kimyasal Özellikleri	4
2.2. Alüminyumun Fiziksel Özellikleri.....	4
2.3. Alüminyum Tozları.....	5
2.4. Alüminyum Oksit	6
3. TOZ METALURJİSİ	8
3.1. Metal Tozların Üretimi	10
3.2. Toz Karakterizasyonu	11
3.2.1. Tozların dağılımı.....	12
3.2.2. Parçacık boyutu.....	12
3.2.3. Parçacık şekli	13
3.3. Metal Tozlarının Karıştırılması.....	14
3.3.1. Mekanik alaşımlama	15
3.3.2. Mekanik alaşımlama işlemi	16
3.3.3. Mekanik alaşımlama mekanizması.....	17
3.3.4. Mekanik alaşımlamanın avantajları	19
3.4. Presleme	21
3.5. Sıkıştırma Yöntemleri.....	23
3.5.1. Kalıpta sıkıştırma Yöntemleri.....	23

	Sayfa
3.6. Sinterleme	26
3.6.1. Sinterleme teorisi	29
4. KOMPOZİT MALZEMELER.....	31
4.1. Kompozit Malzemelerin Tarihsel Gelişimi.....	32
4.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	33
4.2.1. Polimer matrisli kompozitler (PMK)	34
4.2.2. Metal matrisli kompozitler (MMK)	34
4.2.3. Seramik matrisli kompozitler (SMK)	35
5. KATI HAL KAYNAK YÖNTEMLERİ	36
5.1. Difüzyon.....	37
5.1.1. Difüzyon mekanizmaları.....	41
5.1.2. Difüzyon kanunları.....	43
5.2. Difüzyon Kaynağı	46
5.2.1. Difüzyon kaynağı mekanizması	48
5.2.2. Difüzyon kaynağına etki eden faktörler.....	49
5.3. Birleştirilecek Malzemelerin Tane Boyutları ve Mikro Yapıları.....	55
5.4. Difüzyon Kaynağının Diğer Kaynak Metotlarıyla Karşılaştırılması	56
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	58
6.1. Karışım Tozların Hazırlanması	58
6.2. Karışım Tozların Karakterizasyonu	60
6.3. Tozların Preslenmesi.....	60
6.4. Preslenen Numunelerin Ham Yoğunluklarının Ölçülmesi	62
6.5. Sinterleme	63
6.6. Sinterlenmiş Numunelerin Yoğunluklarının Ölçülmesi.....	64
6.7. Sinterleme Sonrası Kompozit Numunenin Mikroyapı İncelemesi	64
6.8. Alüminyum Malzeme	64
6.9. Kaynak Numunelerinin Hazırlanması ve Difüzyon Kaynağı	65
6.10. Kesme Testi	66
6.11. Kaynak Bölgesinin Mikroyapı İncelemesi	67

	Sayfa
7. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	68
7.1. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları.....	70
7.2. Kesme Testi Sonuçları	70
7.3. Kaynak Bölgesinin Mikroyapı İncelemeleri.....	78
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	83
KAYNAKLAR	84
ÖZGEÇMİŞ	90

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.1. Karışım toz üretim parametreleri	59
Çizelge 6.2. Alüminyum malzemenin kimyasal bileşimi	64
Çizelge 7.1. Yoğunluk ölçüm sonuçlarındaki değişim grafiği.....	71
Çizelge 7.2. Kompozit ve alüminyum malzemenin kesme testi sonuçları.....	72

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Toz metal üretim safhaları şeması	10
Şekil 3.2. Parçacık şekilleri	13
Şekil 3.3. Olası parçacık şekilleri ve önerilen niteliksel tanımlayıcılar	14
Şekil 3.4. Atritör bilyeli değirmende şaft üzerindeki kolların dönme hareketinin şematik görünüşü	17
Şekil 3.5. Başlangıç tozları ve alaşımlamaya bağlı olarak deformasyon tavırları	18
Şekil 3.6. MA sırasında bilye-toz-bilye çarpışması	19
Şekil 3.7. Tozların sıkıştırılmasındaki işlem sırası	23
Şekil 3.8. Tek yönlü sıkıştırmada yoğunluk dağılımı	24
Şekil 3.9. Çift yönlü sıkıştırmada yoğunluk dağılımı ve çift yönlü kalıbın şematik gösterimi	24
Şekil 3.10. İzostatik presleme	25
Şekil 3.11. Vakum altında 1030 °C’de 30 dk sinterlenen 30 µm çaplı nikel kürelerde boyun oluşumunun SEM görüntüleri	28
Şekil 3.12. İki küresel parçacığın sinterleme profili	29
Şekil 3.13. Sinterleme basamaklarına göre gözenek yapısındaki değişim	29
Şekil 4.1. Kompozitlerin sınıflandırılması	33
Şekil 4.2. Takviye malzemesinin geometrisine göre metal matrisli kompozitlerin sınıflandırılması	34
Şekil 5.1. Serbest enerjinin durum değişimine bağlılığı	38
Şekil 5.2. Aktivasyon enerjisinin Arrhenius denklemi yardımıyla saptanması	39
Şekil 5.3. Alaşımların molar serbest enerji diyagramı	40
Şekil 5.4. Boşluk veya yer alan atom difüzyonu	41
Şekil 5.5. Arayer mekanizması	42
Şekil 5.6. Halka mekanizmasında atomların yer değiştirmesi	43
Şekil 5.7. 1. Fick kanunu ile ilgili büyüklükler	44
Şekil 5.8. Akının basit gösterimi	44

Şekil	Sayfa
Şekil 5.9. Kararsız difüzyon.....	45
Şekil 5.10. Difüzyon kaynağı mekanizması.....	49
Şekil 5.11. Sıcaklığın sürünme eğrisine etkisi	50
Şekil 5.12. Metal bir yüzeyin tabakalarının şematik kesiti	53
Şekil 5.13. Yüzey kusurları.....	53
Şekil 5.14. Yüzey gerilmesi ile pürüzlülük arasındaki sıcaklığa bağlı değişme	54
Şekil 6.1. Mekanik alaşımlama düzeneği.....	59
Şekil 6.2. Difüzyon kaynak numunesi.....	60
Şekil 6.3. Parçaların hazırlanmasında kullanılan kalıp ve zımba.....	62
Şekil 6.4. Sinterleme işleminde kullanılan fırın.....	63
Şekil 6.5. Difüzyon kaynak fırınının şematik olarak gösterimi	66
Şekil 6.6. Difüzyon kaynak işlemine hazır hale getirilmiş numuneler	66
Şekil 6.7. Kesme aparatı	67
Şekil 7.1. Yoğunluk ölçüm sonuçlarındaki değişim grafiği	70
Şekil 7.2. 5 MPa basınç altında, 30 dakika süreyle değişik sıcaklıklarda kaynatılan numunelerin kaynak bölgesi kesme testi sonuçları	72
Şekil 7.3. 5 MPa basınç altında, 60 dakika süreyle değişik sıcaklıklarda kaynatılan numunelerin kaynak bölgesi kesme testi sonuçları	73
Şekil 7.4. 5 MPa basınç altında, 90 dakika süreyle değişik sıcaklıklarda kaynatılan numunelerin kaynak bölgesi kesme testi sonuçları	73
Şekil 7.5. 30-60-90 Dakikalık sürelerde kaynaklanan numunelerin, artan sıcaklıkla birlikte kesilme mukavemetlerindeki değişim grafiği	74
Şekil 7.6. 5 MPa basınç altında, 590 °C sıcaklıkta, değişik sürelerde difüzyon kaynağı sonrası, kesme testi sonuçları.....	74
Şekil 7.7. 5 MPa basınç altında, 610 °C sıcaklıkta, değişik sürelerde difüzyon kaynağı sonrası, kesme testi sonuçları.....	75
Şekil 7.8. 5 MPa basınç altında, 630 °C sıcaklıkta, değişik sürelerde difüzyon kaynağı sonrası, kesme testi sonuçları.....	75

Şekil**Sayfa**

Şekil 7.9. 590-610-630 °C Sıcaklıklarda kaynaklanan numunelerin, artan süreyle birlikte kesilme mukavemetlerindeki değişim grafiği	76
--	----

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 7.1. Al tozlarının optik mikroskop fotoğrafları	68
Resim 7.2. Al ₂ O ₃ tozlarının optik mikroskop fotoğrafları.....	68
Resim 7.3. Alaşımlama sonrası karışım tozdaki kaynaklanma.....	69
Resim 7.4. 630 °C Sıcaklık - 90 dakika sürede kaynatılan numunenin kesme testi sonrası görünümü	78
Resim 7.5. 590 °C Sıcaklık - 90 dakika sürede kaynatılan numunenin kaynak ara yüzeyinin SEM görüntüler	79
Resim 7.6. 630 °C Sıcaklık - 90 dakika sürede kaynatılan numunenin kaynak ara yüzeyinin SEM görüntüler.	79
Resim 7.7. 590 °C Sıcaklık - 30 dakika sürede kompozit ve alüminyumun kaynak ara bölgesinin optik mikroskopta görünümü	80
Resim 7.8. 590 °C Sıcaklık - 60 dakika sürede kompozit ve alüminyumun kaynak ara bölgesinin optik mikroskopta görünümü	80
Resim 7.9. 590 °C Sıcaklık - 90 dakika sürede kompozit ve alüminyumun kaynak ara bölgesinin optik mikroskopta görünümü	80
Resim 7.10. 610 °C Sıcaklık - 30 dakika sürede kompozit ve alüminyumun kaynak ara bölgesinin optik mikroskopta görünümü	81
Resim 7.11. 610 °C Sıcaklık - 60 dakika sürede kompozit ve alüminyumun kaynak ara bölgesinin optik mikroskopta görünümü	81
Resim 7.12. 610 °C Sıcaklık - 90 dakika sürede kompozit ve alüminyumun kaynak ara bölgesinin optik mikroskopta görünümü	81
Resim 7.13. 630 °C Sıcaklık - 30 dakika sürede kompozit ve alüminyumun kaynak ara bölgesinin optik mikroskopta görünümü	82
Resim 7.14. 630 °C Sıcaklık - 60 dakika sürede kompozit ve alüminyumun kaynak ara bölgesinin optik mikroskopta görünümü	82
Resim 7.15. 630 °C Sıcaklık - 90 dakika sürede kompozit ve alüminyumun kaynak ara bölgesinin optik mikroskopta görünümü	82

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklama
CIP	Soğuk izostatik presleme
HIP	Sıcak izostatik presleme
HMK	Hacim merkezli kübik
MA	Mekanik alaşımlama
MMK	Metal matrisli kompozit
ODS	Oksit dağılımla güçlendirilmiş
PMK	Polimer matrisli kompozit
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
TM	Toz metallurjisi
YMK	Yüzey merkezli kübik

1. GİRİŞ

Teknoloji hızla ilerlemektedir. İlerleyen teknolojiyle birlikte yaşamdaki değişiklik bilimsel çalışmaları tetiklemektedir. Yaşam koşulları ile ihtiyaçlarda fazlalaşarak değişmektedir. Bu değişikliklerden ve ilerlemelerden en çok etkilenen bilimlerin biride malzeme bilimidir. Malzeme bilimi araştırmacıları her geçen gün teknolojik olarak daha iyiyi ve daha yeniyi aramaktadırlar. Kullanılan mevcut malzemeler birçok alanda tam olarak ihtiyaçları karşılayamamaktadır. Mevcut malzemelere göre daha üstün özellikleri olan malzemelere ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaçla kompozit malzemelerin araştırılması ve geliştirilerek üretilmesi hızlandırılmıştır.

Kompozit malzemeler, iki ya da daha fazla sayıdaki aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemedeki toplamak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemelerdir. Bir kompozit malzeme bünyesinde; çekirdek olarak adlandırılan takviye elemanı ve bunun etrafını çevreleyen matris malzemesi bulunmaktadır. İstenen şartlar yerine getirilir ve uygulanırsa, hafif alaşımlara yüksek sıcaklıklarda çalışabilecek özellikler kazandırmak, dayanımlarını arttırmak ve yoğunluklarını düşürmek mümkün olmaktadır [Aktaş, 2007].

Alüminyum günümüzde demir ve çelikten sonra en çok kullanılan genç bir metaldir. Son yıllarda alüminyumun imalatı kullanımı daha yaygın hale gelmiş ve çeliğe bir alternatif malzeme olarak görülmeye başlanmıştır. Alüminyum endüstrisi, yeni alaşımlar, teknolojik gelişmeler, üretim metotları, ürün tasarımı ve kalite kontrol için araştırma ve geliştirme çalışmalarına devam etmektedir [Uzun, 2007].

Toz Metalürjisi, "son şekle yakın üretim" süreçleri olarak sinterleme, sıcak presleme, sıcak izostatik presleme, toz metal enjeksiyonu, nano-parçacık teknikleri, mekanik alaşımlama gibi konularla sürekli büyüyen bir pazara hitap eden yüksek teknolojilerden birisidir [Tokdemir, 2007]. Toz metalürjisinin en önemli avantajlarından biri karmaşık şekilli parçaların üretimine elverişli olmasıdır. Bu

yöntem son şekle yakın boyutlarda parça üretimine uygun bir teknolojidir. Bunun yanında üretimden sonra da talaşlı işleme ve ısıtıl işleme elverişlidir. Ayrıca, ilave edilen tozlarla ve bazı ısıtıl işlemlerle talaşlı işleme ve mekanik özellikler iyileştirilir [Elektrikçi, 2007]. Toz metalurjisinin amacı; metal ve metalsel alaşımların tozlarını ergitmeden, basınç ve sıcaklık yardımıyla, dayanıklı cisimler haline getirmektir. Ergitme sıcaklığı yüksek olan metallerin üretiminde kolaylıklar sağlamaktadır. Ayrıca dökümdeki oksidasyon, segregasyon, gaz absorpsiyonu, yüksek yoğunluk farkından dolayı alaşım güçlükleri gibi birçok sorun, toz metalurjisi yönteminde ortadan otomatik olarak kalkmış olur [Yılmaz, 2006].

Difüzyon kaynağı bir katı hal kaynak yöntemidir. Malzemelerin ergime sıcaklığının altında bir sıcaklıkta gerçekleşen, katı hal difüzyon esasına dayanan bir yöntemdir. Difüzyon kaynağı ile yapılan birleştirmelerde, ana metaller ergitmeden birleştirme sağlandığı, ön ve son tavlama ihtiyacı duyulmadığı, bir kerede karmaşık şekilli birleştirmeler yapılabildiği, istenmeyen faz dönüşümlerinin engellendiği, seramik ve kompozitlerin metal ve diğer malzemelerle birleştirilmesi sağlanabildiği için bu yöntem üstün bir kaynak yöntemidir. İşte bu üstünlükleri neticesinde, özellikle uzay ve nükleer enerji alanında geniş çapta kullanılmaktadır [Atasoy, 2007].

2. ALÜMİNYUM VE ÖZELLİKLERİ

Alüminyum, yeryüzünde oksijen ve silisyum'dan sonra en çok bulunan üçüncü element olmasına rağmen, endüstriyel çapta üretimi 1886 yılında elektroliz yönteminin kullanılmaya başlanması ile gerçekleşmiştir.

Alüminyum, diğer çok kullanılan metaller olan demir, kurşun ve kalay gibi, doğada bileşikler halinde bulunur. Alüminyumu oksit halindeki bileşiğinden ilk ayıran ve elde eden kişi, 1807 yılında, Sir Humphrey Davy olmuştur. Daha sonra, Hans Christian Oersted, Frederick Wöhler ve Henri Sainte-Clairre Deville, alüminyum eldesinde yenilikler getirmişlerdir.

Alüminyum, yumuşak ve hafif bir metal olup mat gümüşümsü renktedir. Bu renk, havaya maruz kaldığında üzerinde oluşan ince oksit tabakasından ileri gelir. Alüminyum, zehirleyici ve manyetik değildir. Kıvılcım çıkarmaz. Saf alüminyumun çekme dayanımı yaklaşık 49 MPa iken alaşımlandırıldığında bu değer 700 MPa'a kadar çıkar. Yoğunluğu, çeliğin veya bakırın yaklaşık üçte biri kadardır. Kolaylıkla dövülebilir, makinede işlenebilir ve dökülebilir. Çok üstün korozyon özelliklerine sahip olması, üzerinde oluşan oksit tabakasının koruyucu olmasındandır.

Yerkabuğunda bol miktarda (%7,5 - 8,1) bulunmasına rağmen serbest halde çok nadir bulunur ve bu nedenle bir zamanlar altından bile daha kıymetli görülmüştür. Alüminyumun ticari olarak üretiminin tarihi 100 yıldan biraz fazladır.

Alüminyum ilk keşfedildiği yıllarda cevherinden ayrıştırılması çok zor olan bir metal idi. Alüminyum rafine edilmesi en zor metallerden biridir. Bunun nedeni, çok hızlı oksitlenmesi, oluşan bu oksit tabakasının çok kararlı oluşu ve demirdeki pasın aksine yüzeyden sıyrılmayışıdır.

2.1. Alüminyumun Kimyasal Özellikleri

Alüminyum soy olmayan metallerden olmasına rağmen, yüzeyinde çok ince fakat yoğun bir oksit tabakasının bulunması, onu kimyasal etkenlerden özellikle korozyona karşı çok iyi korumaktadır. Anotlama metodu ile yüzey dayanımı oldukça artırılabilir. Saf alüminyum beslenme ve gıda maddeleri endüstrisinde, büyük mutfak aletleri imalatında paketlenme amacıyla ve kimyasal maddeler için depo olarak kullanılmaktadır. Çeşitli alüminyum alaşımları da uygun ısıtım işlemleri ile alüminyum şartlarına, deniz suyuna ve diğer korozyon maddelerine karşı dayanıklı hale getirilir. Alüminyum hava şartlarına dayanıklı, düz çatı uygulamaları, gemi ve uçak imalatında kullanılır. Yüksek mukavemetli fakat atmosfer şartlarına karşı dayanıksız olan alaşımların kaplanması kullanılır [Erden, 2005].

2.2. Alüminyumun Fiziksel Özellikleri

Saf alüminyumun bazı fiziksel sabitleri aşağıda verilmiştir.

Atom ağırlığı	= 26,97 akb (atomik kütle birimi)
Yoğunluk	= 2,7 g / cm ³
Atom çapı	= 1,430 °A
Kafes sistem	= YMK
Buharlaşma ısısı	= 294,0 kJ/mol
Ergime sıcaklığı	= 660 °C
Erime ısısı	= 10,71 kJ/mol
Buharlaşma sıcaklığı	= 2327 °C
Özgül ısısı	= 0,214 cal / g
Isı iletme kabiliyeti	= 0,55 cal / °C.s.cm

Isı kapasitesi	= 24,2 (25 ⁰ C) J/(mol-K)
Lineer genleşme katsayısı	= 26,6 x10 ⁻⁶ /°C
Elastisite modülü	= 72200 N / mm ²
Elektrik öz direnci (20 °C’de)	= 0,0266 mm ² / m
Elektrik iletkenliği (20 °C’de)	= 37,6 m / mm ²
Görünüş	= Gümüşümsü

2.3. Alüminyum Tozları

Alüminyum tozları 1900'lü yılların başlarında pul ürünler olarak kullanılmıştır. Toz metallurjisi teknikleriyle yüksek mukavemetli, alaşımlı Al parçalarının üretimi ise 20.yy ortalarına rastlamaktadır. Al tozunun gerçek yoğunluğu ana metalin yoğunluğuna yakındır. Ancak görünür yoğunluğu 0,8-1,3 g/cm³ olup, bu değer verilen aralıkta boyut dağılımına bağlı olarak değişmektedir. Al'un oksijenle reaksiyona girmesi, toz yüzeyinde Al₂O₃ tabakası oluşturur. Al'un tozlarının yüzeyindeki bu ince oksit tabakası, tozların sinterlenmesinde olumsuz etkiye sahiptir. Oksit miktarı, toz boyutuna bağlı olarak, ağırlıkça % 0,1-1,0 arasında değişir. İnce tozlar, birim ağırlığa göre artan yüzey alanı sebebiyle, ağırlıkça en yüksek oksit yüzdesine sahiptir. Al tozları üzerindeki oksit tabakası kalınlığı, farklı atomizasyon şartlarında bile, göreceli olarak sabittir. Al, bu ince oksit tabakası sebebiyle havada kararlıdır. Bununla beraber, ince bölünmüş Al tozları kimyasal olarak reaktiftir. Al tozları, ergiyik haldeki metalden atomizasyon yöntemiyle değişik saflık derecelerinde üretilir. İşlem sırasında, açık havada kararlı olarak kalmasını sağlayan koruyucu ince bir oksit tabakası oluşturur. Al tozunun formu, incelmış, çomak şekilli ve yassı yüzeylidir. Yani uzunluğu diğer iki ölçüsüne göre çok büyüktür. Genelde Al tozları 50 ile 150 µm arasında değişir. Al tozunun katı roket yakıtlarında kullanımında ise bu boyut yine 10 µm'nin altına düşmektedir. Al tozlarının rengi

çeşitli parlaklık derecelerinde metalik beyazdır. Al tozlarının çok geniş bir kullanım alanı olmasına rağmen başlıcaları şunlardır:

1. Kaynak elektrotlarında oksijen giderici kaplama olarak,
2. Roketler için katı yakıt yapımında (boyutu 10 μm 'nin altındadır),
3. Yüksek sıcaklık dayanımına sahip parçaların N_2 altında sinterlenmesinde,
4. Sürtünmeli ortamlarda çalışan parçaların üretiminde (roketlerin sürtünen parçaları, fren ve kavramalar, fren balataları, vb),
5. Elmas taşlama disklerinde reçine ile karıştırılarak ve elmas takımlarda bağlayıcı olarak,
6. Amonyum nitrat gibi maddelerle birlikte patlayıcı karışımı imalinde,
7. Dökümhanelerde ve demir-çelik imalinde kullanılan ekzotermik karışımlarda oksit giderici (deoksidan madde) olarak (sıvı metalin içine kireç, soda veya başka bir maddeyle oksit giderici işlevi yapmak üzere püskürtülür),
8. Tren rayı gibi büyük parçaların kaynağında kullanılan termit kaynağında ve Cr, Mn, V gibi metaller için oksit önleyici olarak,
9. Fişek sanayinde diğer nitrat ve pekloratlarla birlikte renkli ve renksiz havai fişek yapımında ve yağ ve su bazlı aydınlatma ve işaret verme maddelerinde,
10. Duman oluşturuvcu karışımlarda,
11. Kimya sanayinde boya ve mürekkep üretiminde,
12. Organik kimya sektöründe metal olmayan bileşik hazırlamada indirgeyici olarak kullanılmaktadır.

2.4. Alüminyum Oksit

Alümina tozu, ileri teknoloji seramikleri arasında en büyük kullanım alanına sahip tozlardan biridir. Mukavemetinin ve erime sıcaklığının yüksek, elektrik iletkenliğinin ise düşük olmasından dolayı; elektrik yalıtkanlarında, kesici uçlarda, ısı motorları gibi birçok alanda kullanılmaktadır [Eserci, 2007].

Alümina (Al_2O_3); ticari üretimi ve sanayide kullanımı son yarım asırda büyük bir gelişme göstermiştir. Özellikle yüksek sıcaklık fırınlarında, kesici takım, yatak malzemesi, elektronik endüstrisinde, hava taşıtları imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır. Düşük sıcaklıklarda kimyasal maddelere ve mekanik zorlamalara karşı en dayanıklı refrakter malzemelerden biri olan alüminanın ergime sıcaklığı 2000°C ($\pm 30^\circ\text{C}$)'dır. Kullanımdaki sınırlama nispeten düşük ergime noktasından kaynaklanmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda flor gazı dışındaki bütün gazlara direnç gösterir, oksitleyici ve redükleyici atmosferde 1900°C 'ye kadar kullanılabilir. Saf alümina düşük sıcaklıklarda birkaç formda bulunur, ancak ortam şartları, zaman gibi değişkenlere bağlı olarak $750\text{-}1200^\circ\text{C}$ arasında α -alüminaya dönüşür [Engin, 2007]. Dünyada alümina üretiminin hemen tümü Bayer Prosesi ile gerçekleştirilmekte ve bu proseste hammadde olarak boksit cevheri kullanılmaktadır. Bayer Prosesi ile elde edilen alüminanın büyük bir kısmı da alüminyum üretiminde tüketilmektedir [Girgin, 1984].

Alümina, korund minareli şeklinde bulunur. Molar ağırlığı 101,94 ve yoğunluğu $3,986\text{g/cm}^3$ tür. Alümina çeşitli formlarda bulunur. Bu formlardan $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ en yoğun ve kararlı olanıdır. Du Pont tarafından üretilen ve ticari ismi FP olan α -alümina, ortalama $20\text{ }\mu\text{m}$ çapında sürekli olarak elde edilir. Bu çok kristalli elyaflar, % 99 saf alüminyum oksitten oluşur ve yaklaşık $900\text{-}1000^\circ\text{C}$ 'ye kadar dayanımını korur. Alüminyum oksidin diğer bir formu ise whisker'dir. Buda α -alüminanın çok küçük uzatılmış kristalimsi şekli olup düzgün bir düzeye sahiptir. Yaklaşık 1650°C sıcaklığa 2 saat süre ile dayanabilmektedir. Bu şartlar seramik sinterleme ve metal dökümü sağlamak için yeterlidir. Vista Kimyasal A.Ş. tarafından çapı $0,5\text{ }\mu\text{m}$ den $30\text{ }\mu\text{m}$ ye kadar boy/çap oranı 3 ile 10 olan whisker üretilmiştir [Aktaş, 2007].

3. TOZ METALURJİSİ

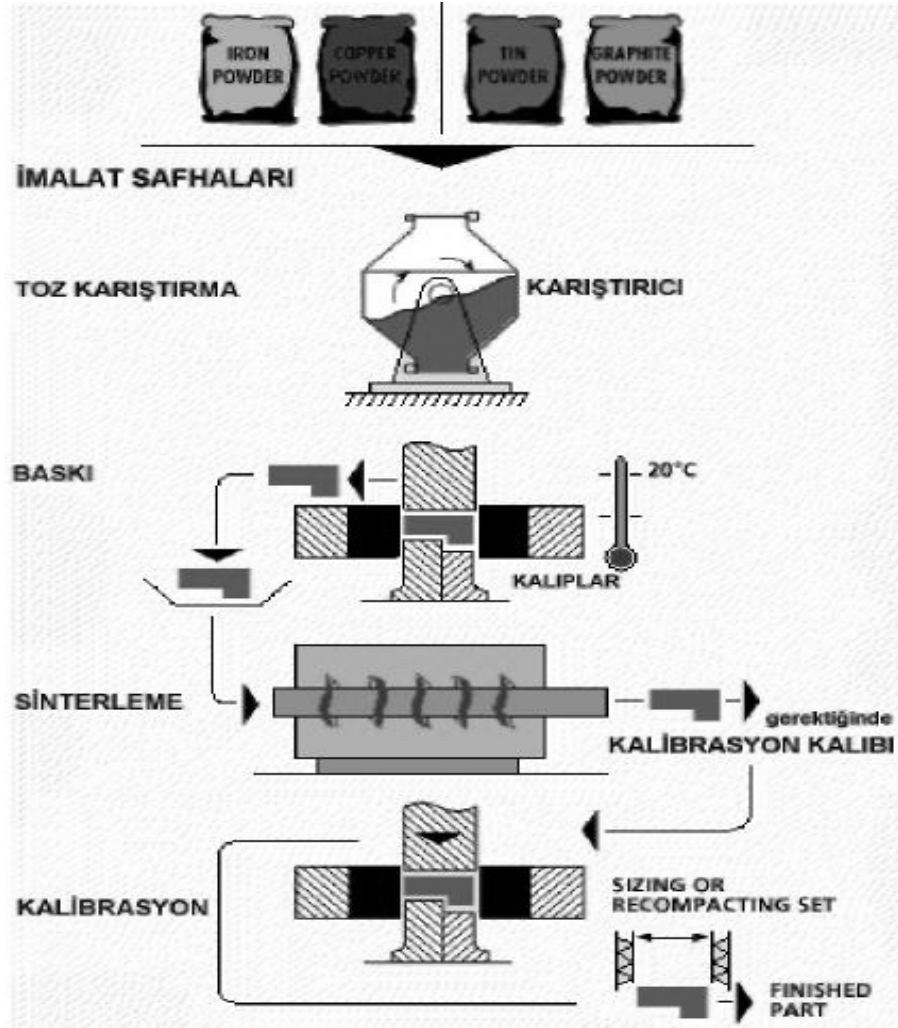
Toz metalurjisi; metal tozlarından kütsel malzememe ve şekillendirilmiş parça üretmenin bilim ve teknolojisidir. Toz metalurjisi tozların işlemiden geçirilerek yararlı mühendislik parçalarına dönüştürilmesi ile ilgilenir [German, 2007]. Geleneksel yöntemlerle üretilen geleneksel malzemelerden istenilen bütün özelliklerin birlikte kazanılması zor olduğu için, malzeme bilimciler günlük yaşantımızı kolaylaştıracak daha üstün özelliklere sahip ve daha ekonomik malzeme üretme arayışı içerisinde girmişlerdir. Belirli bir uygulama için malzemenin beklenen değişik fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikler, malzemeyi oluşturan bu özelliklere sahip bileşenler tarafından sağlanır. Bu nedenle gelişmiş malzemelere olan ihtiyaçların artmasına bağlı olarak, metal esaslı tozlar, günümüz koşullarında daha da önem kazanmaktadır [Ozan ve ark., 2006; Babayev, 2007].

Parçanın şekil ve boyutlarına uygun olarak metal esaslı tozları presleyip, 0.75-0.86 T_m (T_m : ergime sıcaklığı) sıcaklık aralığında vakum veya koruyucu gaz atmosferinde sinterlenmesi ile üretime toz metalurjisi adı verilir. Bu yöntemde, istenilen kimyasal kompozisyonu verecek şekilde karıştırılmış metal tozların, üretilecek parça şekli ve boyutlarına sahip, kalıplar içerisinde sıkıştırılarak şekillendirilmesi ve bu işlemi takip eden yüksek sıcaklıkta koruyucu atmosfer altında sinterlenmesi ile parçalar üretilmektedir. Bu yöntem döküm, talaşlı imalat ve plastik şekil verme, kaynak gibi imal usulleri arasında tarihsel olarak neredeyse en eski yöntem olan döküm yöntemi kadar eski; uygulama açısından ise bu yöntemlerden daha yenidir. Toz metalurjisi ile elde edilen parçalar gözenekli ve kompakt olmak üzere iki çeşittir. Son işlemiden sonra malzeme %10-30 arasında gözenek mevcutsa, buna gözenekli, %1-3 arasında gözenek varsa bu ürüne kompakt malzeme denilir [Bishop, 1998; Babayev, 2007].

Metal tozlarının boyutları mikron mertebesinde. Presleme işlemi oda sıcaklığında ve bazen de yüksek sıcaklıkta yapılır. Toz metalurjisi ile üretilen parçaların büyük bir kısmında elde edilen boyutsal hassasiyet ve yüzey kalitesi talaşlı işlem gibi ekstra

operasyonlara olan gereksinimi ortadan kaldırmaktadır. Uygun işlem adımları ile esnek, etkin, düşük maliyetli ve çevreye zararsız yöntemlerdir. TM parçaların avantajlı taraflarından biri de diğer üretim tekniklerinden daha kısa imalat çevrim süresi vardır, çünkü bazı işlem kademeleri uygulanmaksızın nihai ölçülerde, doğrudan yerine takılarak kullanmaya müsait parça üretimi mümkündür.

Ergime sıcaklığı yüksek olan metaller, TM ile kolaylıkla şekillendirilebilir. Döküm, gibi alışlagelmiş üretim tekniklerinde yaşanan oksidasyon, segregasyon, gaz absorpsiyonu ve yüksek yoğunluk farkından dolayı alaşım oluşturmama gibi birçok problem TM yöntemi ile kolaylıkla ortadan kaldırılabilir. Bir üretim yöntemi olmasının yanı sıra TM aynı zamanda önemli bir malzeme ve yarı mamul üretim yöntemidir (Şekil 3.1). TM, kompozit malzeme üretiminde de kullanılan yöntemlerinden biridir. Bu yolla alışlagelmiş malzemelerden daha farklı ve üstün özelliklerde malzeme üretmek mümkündür [Elektrikçi, 2007].



Şekil 3.1. Toz metal parça üretim safhaları şeması [Koç, 2006]

3.1. Metal Tozların Üretimi

Metal tozların üretiminde çeşitli yöntemler vardır. Tozların imalinde kullanılan yöntemler, tozlara ait bazı karakteristik özellikleri de tayin eder. Bu yöntemlerden bazıları şunlardır [German, 2007];

1. Mekanik yöntemler

- a) Talaşlı imalat
- b) Öğütme

- c) Diğer darbeli teknikler
- d) Alaşımlandırarak öğütme ve mekanik alaşımlama

2. Kimyasal yöntemler

- a) Katının gazla bozunması
- b) Isıl bozunma
- c) Sıvıdan çökeltme
- d) Gazdan çökeltme
- e) Katı- katı tepkimeli sentez

3. Atomizasyon yöntemi

- a) Gaz atomizasyon
- b) Su atomizasyon
- c) Santrifüj atomizasyon

4. Elektroliz yolu ile üretim

3.2. Toz Karakterizasyonu

Toz metalurjisi teknolojileri parçacıkların bir araya gelmesiyle oluşan tozlarla başlar. Parçacık tozun bölünmeyen en küçük birimi olarak tanımlanır. Toz işleme teknolojileri genellikle dumandan daha büyük 0,01 - 1 mikron, kumdan daha küçük 0,1 - 3 mm arasında olan küçük parçacıklarla ilgilenir. Kullanılan tozların çoğu, insan saçı çapı ölçüsündedir (25-200 mikron). Günümüzde SEM (Scanning Elektron Microscope) toz partiküllerinin incelenmesinde ve karakteristiklerinin anlaşılabilmesinde en yoğun kullanılan ve hassas sonuçlar alınabilen makinedir. Meydana gelen malzemenin karakteristikleri malzemeyi oluşturan tozların özellikleri ile doğrudan bağlantılı olduğundan toz parçaların; boyutları ve malzeme içerisindeki dağılımları, parçacıkların topaklanması, bileşim, homojenlik ve kirlilik, iç yapı, geometrik şekilleri ve buna bağlı olan boyutsal durumları, yüzey alanları,

tane arası sürtünme miktarı, birbirleri üzerinden akış ve birbirlerine karşı olan bulaşma oranları, oluşan parçanın bütün özelliklerini belirleyen parametrelerdir [German, 2007].

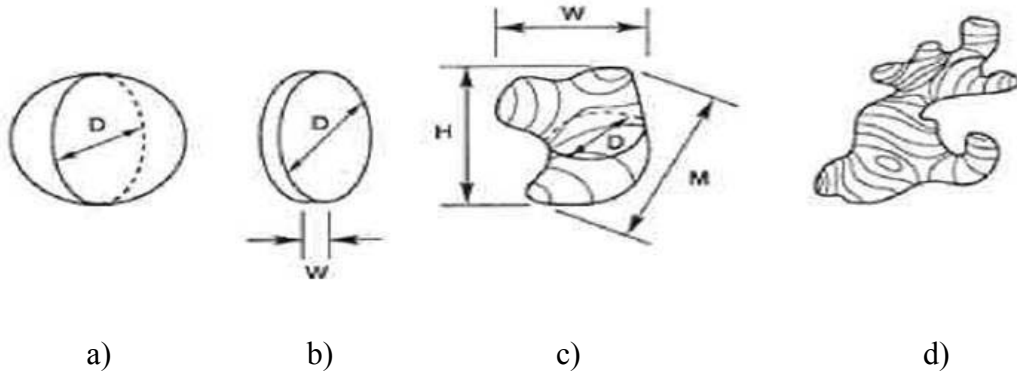
3.2.1. Tozların dağılımı

Toz karakteristiklerinin en temel basamağı örnekleme çalışmasıdır. Bu çalışma temel olarak toz metal parça üretimi için gerekli olan tozların üretilmesinden sonra genel özelliklerinin doğru bir şekilde belirlenmesi için gerekli olan en temel basamaktır. Çalışma yapılırken tozlardan alınan örneklerin mümkünse hareket halinde olduğu durumda alınmasında fayda vardır. Bu daha homojen yapıda tozların tamamının yapısını yansıtan örneklerin alınmasına yardımcı olacaktır. Eğer bu şekilde örnek alımı söz konusu değilse ve tozların duran konumundan örnekler alınacak ise örnekler farklı noktalardan belirli kurallara bağlı kalmaksızın rastgele alınmalıdır. Örnekleme sırasında tozların yüzey enerjileri dağılımı homojen yapıyı olumsuz yönde etkilemektedir [Elektrikçi, 2007].

3.2.2. Parçacık boyutu

Parçacık boyutu, parçacığın kararlı durumdaki ölçüleri olarak tanımlanabilmektedir. Parçacık boyutu ölçüm tekniği, ölçüm yapılırken alınan örnekleme noktalarına ve parçacığın şekline göre farklı şekillerde tanımlanabilmektedir. Çoğu parçacık boyut ölçüm makinesi tek bir geometrik parametre kullanır ve parçacıkların küresel olduğu varsayımından yola çıkar. Toz metalürjisinde parçacık boyutu, parçacık karakteristikleri arasında en önemlisi olarak sayılabilir. Boyutsal veriler bu bağlamda en anlamlı ve karşılaştırmada matematiksel yaklaşıma en yakın olan verilerdir. Parçacık boyutu; parçacığın geometrik hacmi, yüzey alanı, izdüşümü alanı, maksimum boyutu ve boyu, minimum kesit alanı parametrelerinden bir ya da bir kaç ile tanımlanabilir. Parçacık geometrisinin küresel olması durumu boyutsal tanımlamanın en kolay yapıldığı durum olarak sayılabilir. Bu durumda parçacığın sadece çapının verilmesi yeterli olacaktır. Eğer parçacık plaka veya pul şeklinde olur

ise tam bir tanımlama yapılabilmesi için en az iki temel ölçüye ihtiyaç vardır. Bunlar çap ve genişliktir. Parçacık şeklinin daha kuralsız bir geometriye sahip olması durumunda tanımlama için gerekli olan ölçü sayısı artmaktadır (Şekil 3.2). Kuralsız yuvarlak bir geometriye sahip parça için iz düşümü yüksekliği, maksimum boy, yatay genişlik, eşdeğer küresinin hacmi, eşdeğer yüzey alanının oluşturabileceği kürenin çapının ve buna benzer parametrelerin bilinmesi gerekmektedir. Parçacığın tamamen kuralsız bir şekle sahip olduğu durum boyutsal tanımlamanın en zor yapılabildiği durumdur [Elektrikçi, 2007].



Şekil 3.2. Parçacık şekilleri [German, 2007]

a) küre, b) pul, c) kuralsız yuvarlak, d) kuralsız geometri

3.2.3. Parçacık şekli

Parçacık şekli; paketlemeyi, akışı ve sıkıştırabilirliği etkiler, bir tozu üretmek için kullanılan şartların belirlenmesine yardımcı olur. Parçacık şeklinin ölçüleri, genellikle mikroskop görüntülerinden elde edilir. Basit bir tanımlayıcı ifade en büyük parçacık boyutunun en küçük parçacık boyutuna bölümü olarak tanımlanan boyut oranıdır. Parçacık şeklini sayısal olarak ifade etmek zor olduğundan şeklin bir anlam ifade etmesi için, nitelikle ilgili tanımlayıcılar sıkça kullanılır. Şekil 3.3 parçacık şekillerini ve uygun niteliksel tanımlamaları göstermektedir [German, 2007].



Şekil 3.3. Olası parçacık şekilleri ve önerilen niteliksel tanımlayıcılar [German, 2007]

3.3. Metal Tozlarının Karıştırılması

TM parça üretiminde genellikle parçanın homojen sıkıştırmasına, kalıptan çıkarılmasını katkıda bulunmak ve sinterleme süresince bu elementlerin difüzyon vasıtasıyla yeterli mukavemetini sağlamak için, metal tozun içerisindeki çeşitli bileşenlerin karıştırılması gereklidir. Yağlayıcılar, bağlayıcılar, grafit, işlenebilirlik iyileştirici ilaveler ve toz alaşım ilaveleri bu toz karışımına ilave edilerek karıştırılır. Böylece değişik boyut, şekil ve yoğunluktaki tozların homojen olarak karışmaları sağlanarak, nihai malzemenin performansı artırılır. Spesifik partikül boyutu kompozisyonunda bir tozun hazırlanmasındaki amaç, görünür yoğunluk, akıcılık, sıkıştırılabilirlik ve sinterlenebilirliği optimize etmektir. Farklı yöntemlerle üretilen toz bileşenlerinin ve farklı kimyasal kompozisyona sahip tozların karıştırılması sinterlenmiş alaşımlar ve kompozit malzemeler üretmek için yapılır. Bu durumda, bileşenlerin dağılımının kararlı ve tekdüze olduğunun garanti edilmesi oldukça önemlidir [Yılmaz, 2006].

Metalik tozlar, yağlayıcılar ve isteğe bağlı alaşım elementleri ile homojen bir karışım elde etmek için karıştırılırlar. Karışım içerisine genellikle, ağırlıkça %0,5 ile %1,5 arası yağlayıcı eklenir. Metalik stearat ve parafin en çok kullanılan yağlayıcılardır.

Yağlayıcı kullanımının amacı, toz taneleri arasındaki ve toz taneleri ile kalıp ve takım yüzeyleri arasındaki sürtünmeyi azaltmak olmakla birlikte tozların sıkıştırılması sırasında kolay kaymalarını sağlamaktır [Babayev, 2007].

İstenilen özelliklerde üretilen tozlar hassas terazide tartılarak daha sonra presleme işlemine geçilebilir veya istenilen oranlarda toz, karıştırma değirmenlerinde karıştırılarak karışım tozlar presleme işlemine hazır hale getirilir. Preslemeden önce seçilen metal tozları, dengeli homojen karışımı verecek şekilde karıştırılmalı ve bu karışım, kalıbın bütün bölgelerine dolacak akıcılıkta olmalıdır. Bunu başarmak için tozlar hassas bir şekilde tartılmalı, grafit gibi metal olmayan malzeme ile birlikte karıştırıcıya konulmalıdır. Karıştırma zamanı ve hızı, sonradan gelecek işlemlerdeki malzeme davranışlarına ve üretilen parçanın özelliklerine etki eder. Kalıp aşınmasını en aza indirmek ve presleme basıncını azaltmak için yağlayıcının bütün tanelerle temasta olabilecek şekilde karıştırılması gerekir. Tozların karıştırılması V veya Y tipi karıştırıcılar adıyla bilinen çift-koni karıştırıcılarda yapılır. Karıştırma işlemi, tozların tane boyutuna ve şekline göre toplanmasını önlerken, akış özelliğini ve görünür yoğunluğunu da değiştirir. Ayrıca taneciklerin nispeten kırılmasına, yuvarlaklaşmasına ve yüzey pürüzlülüğünün giderilmesine sebep olur [Tokdemir, 2007].

3.3.1. Mekanik alaşımlama

Mekanik alaşımlama (MA) ısı veya kimyasal işlemlere başvurmaksızın metallerin alaşımlanması işlemidir. Bu işlem asal bir atmosfer ortamında (Ar vb.) yoğun bir öğütme işlemi ile sürekli olarak plastik deformasyon, kırılma, soğuk kaynak ve yeniden kırılma ve kaynaklanma ile çok ince ve son derece homojen mikroyapılar üretilmesi işlemidir [Fındık, 2002].

Mekanik alaşımlama esas olarak uzay sektörünün gelişmesiyle aranılan özellikte malzeme üretimi için geliştirilmiştir. Metallerin yüksek sıcaklık ortamında mukavemetlerini geliştirmek için alaşıma takviye malzeme ilavesi ilk olarak 1910 yılında tungsten ile thoryum ilavesi yapılarak sağlanmıştır [Kılınç, 1999].

MA işlemi ile yakın ortam sıcaklıklarında çok homojen tozlar üretilebilir. MA yönteminde bir tozun ortalama boyutu, boyut dağılımı, şekli ve diğer nitelikleri işlem sırasında kontrol edilebilir. MA işlemi doğrudan kimyasal sentez yoluyla veya homojen bir dağılım (karıştırma) olmayan ingot metalürjisi yoluyla veya çok aktif elementlerinin alaşımlarının üretimi için bir avantaj sağlamaktadır. MA ile elde edilen çok ince tane mikroyapılar sebebiyle olağandışı özellikler ve bunların tipik sonuçları üretilebilir olduğu görülmüştür. MA küçük miktarlarda veya hızlı prototip için standart dışı bileşimler veya standart bileşimin hızlı bir şekilde üretilmesine müsaade eder [Erden, 2005].

Mekanik alaşımlama alışlagelmiş metotların aksine tamamen bir katı-hal işlemi olup sert refrakter oksit partiküllerinin yumuşak matris içerisinde homojen bir şekilde dağılımını sağlamakta ve Al, Ti gibi reaktif elementlerin alaşımında bulunmasına müsaade etmektedir. Alaşımlama için değirmene konan metal tozları yüksek hızda çarpışan bilyelerin arasında kalarak birbirine kaynamakta, kırılmakta ve tekrar kaynayarak refrakter oksit partiküllerinin matris içerisinde homojen dağılımı sağlanmaktadır. Bu malzemeler yüksek sıcaklık performansını artırmak için özellikle uzay sanayi ve gaz türbini uygulamaları için geliştirilmiş olmalarına rağmen oldukça yaygın bir kullanım alanı bulmuşlardır [Aktaş, 2007].

3.3.2. Mekanik alaşımlama işlemi

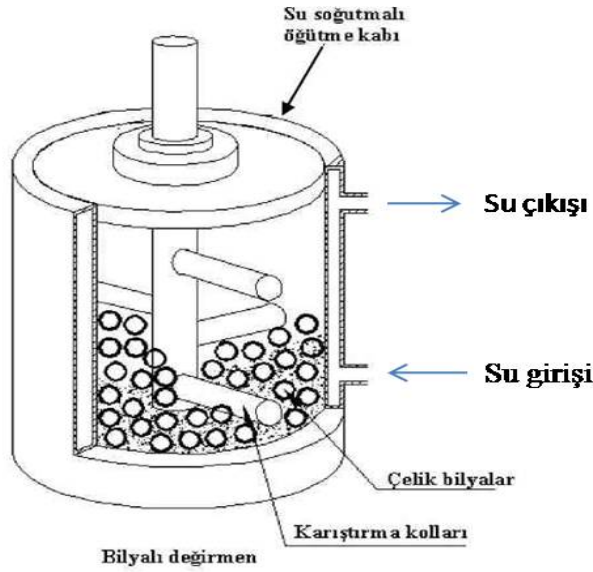
Mekanik alaşımlama işlemi, yüksek enerjili atritör kullanarak homojen dağılımlı oksit veya karbür içeren katı hal kompozit metal tozu üretim metodudur. Üretimi istenen alaşıma ait metal tozları Şekil 3.4’de görülen yüksek enerjili atritör içerisine bilyelerle birlikte konur. Bu tozlarda en az bir tanesi bağlayıcı olması bakımından yumuşak olmalı diğeri ise kırılğan metal veya metal dışı tozlar olmalıdır. Sert ve kırılğan tozlar matris içerisinde takviye elemanı olarak bulunmaktadır. Ayrıca reaktif elementlerden Al ve Ti ilave edilir. Bu partiküller elementel veya doğrudan oksit olarak katılır. Mekanik alaşımlama değirmeni genelde su soğutmalı ve öğütme

sırasında meydana gelecek oksitlenmeyi önlemek için, alaşımlama Ar, He, veya H gazı ortamında kullanılır [Erden, 2005].

Diğer öğütme tekniklerinden farklı olarak, soğuk kaynak ve kırılma arasındaki denge, parçacık boyutunu oldukça sabit tutar. Homojen ürün elde etmek için gerekli öğütme zamanı t , tahrik milinin dönme hızına (N) aşağıdaki şekilde bağlıdır;

$$t = C \frac{d^2}{N^{2/3}}$$

Burada d öğütücü bilye çapını ve C ise işlem detayları ile değişen deneysel bir sabiti ifade eder. Bilye çapı küçüldükçe öğütme zamanı azalır [German, 2007].



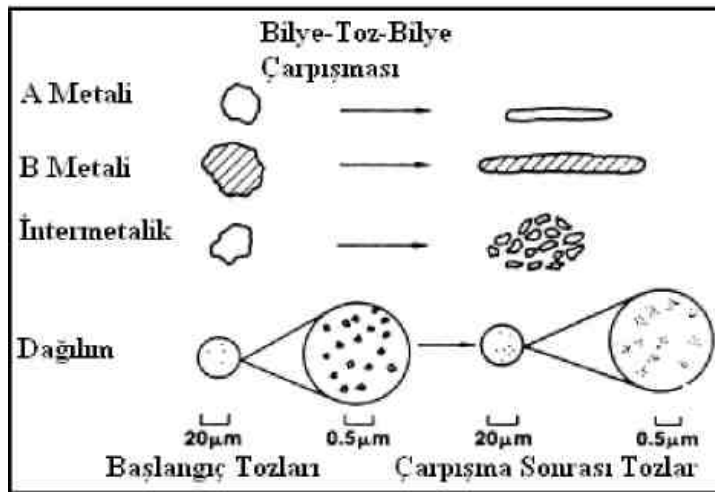
Şekil 3.4. Atritör bilyeli değirmende shaft üzerindeki kolların dönme hareketinin şematik görünüşü [Özkan, 2007]

3.3.3. Mekanik alaşımlama mekanizması

Mekanik alaşımlama, yüksek enerjili değirmen kullanılarak homojen dağılımlı oksit içeren metal toz üretim metodudur. Üretilmek istenen alaşıma ait metal tozları Şekil 3.5' de görülen yüksek enerjili atritör içerisine bilyelerle birlikte konur.

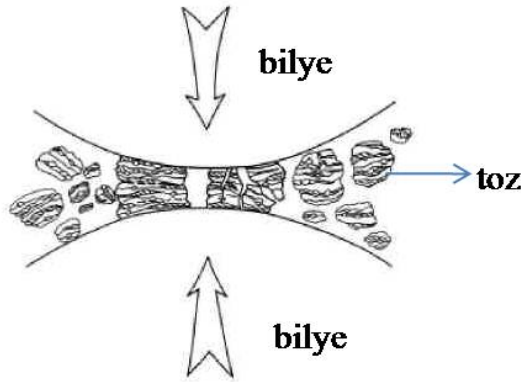
Bu tozlardan en az bir tanesi bağlayıcı olması bakımından yumuşak olmalı, diğeri ise sert oksit parçacıkları olmalıdır. Bunlar Fe ve Ni, bazlı malzemeler için yumuşak matris içerisinde takviye elemanı olarak bulunmaktadır. Ayrıca alaşımlama ortamına Al ve Ti gibi reaktif elementlerde ilave edilir. Bu reaktif elementler ya elementel olarak ya da direkt oksitler şeklinde katılır. Bunlar genelde Y_2O_3 veya Al_2O_3 partikülleridir [Kılınç 1999].

Oluşturulacak alaşım içerisinde metal ya da metal olmayan malzemelerin oranları belirlenir ve yüksek enerjili değirmene (değirmen tipi farklı olabilir) şarj edilir. Mekanik olarak alaşımlanacak tozlar ve onların deformasyon karakteristikleri şematik olarak Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Başlangıç tozları ve alaşımlamaya bağlı olarak deformasyon tavırları [Özkan, 2007]

Alaşımlama süresince tekrar eden kaynaklanma ve kırılma işlemi, değirmen hızı ile belirlenen oranda yapılır [Aybar, 2004]. Yüksek enerjili öğütme sırasında, bilyeler birbirine çarpar ve çarpmanın etkisi ile bilyeler arasında kalan tozlar ezilir ve aynı zamanda sert oksit partikülleri daha küçük parçalar halinde kırılarak yumuşak matris içerisine gömülür. Şekil 3.6’da bilyelerin çarpışması sonucu ezilen ve birbirine kaynayan tozlar görülmektedir [Aktaş, 2007].



Şekil 3.6. MA sırasında bilye-toz-bilye çarpışması [Güler, 2006]

İki çelik bilyenin çarpışmasıyla, bilyeler arasındaki kalan tozlar ezilir. Tipik olarak her çarpışma sırasında yaklaşık 0,2 mg'lık bir yığınla 1000 kadar toz tanesi ezilir. Darbenin etkisiyle toz parçacıklarında plastik deformasyon, çalışma sertleşmesi ve kırılma şeklinde devam eder. Toz taneciklerinin birbirlerine kaynaklanmasıyla yeni yüzeyler oluşur ve bu süreklilik tanecik boyutunda bir artışa neden olur. Çünkü öğütmenin başlangıcında toz yumuşaktır. Birbirleriyle kaynaklanma ve büyük tanecik oluşturma eğilimi yüksektir. Toz tanecik boyutları, başlangıç tozlarının yaklaşık üç katı kadar artar. Bu aşamada kompozit tozlar başlangıç bileşiminin değişik kombinasyonlarını içeren karakteristik bir yapıya sahip olur. Devam eden deformasyonla kolay kırılabilen incelmış tozlar parçalanır veya bir yorulma bozunmasıyla çalışma sertleşmesine ve kırılmaya uğrar. Bu aşamada kırılma eğilimi soğuk kaynaktan daha yüksektir. Öğütücü bilyelerinin devam eden darbe etkisiyle toz tane yapısı yavaş yavaş incelir. Buna rağmen parçacıkların boyutu aynı kalmaya devam eder. Sonuçta tabakalar arası boşluk azalır ve parçacık tabakaları artar [Özkan, 2007].

3.3.4. Mekanik alaşımlamanın avantajları

Mekanik alaşımlama yöntemi, deneysel ve üretim süreçleri olarak tüm ikili, üçlü ve çoklu sistemlere kolaylıkla uygulanabilmektedir. Bu yüzden MA tekniği üretim ve

ticari anlamda çeşitli avantajlar sunmaktadır. Bu avantajlar şu şekilde sıralanabilir [Bostan, 2003].

- Yüksek sıcaklık dayanımı birden fazla mekanizma ile oluşmaktadır. Y_2O_3 gibi refrakter oksit partiküllerinin matris içerisinde homojen dağılımı ile sürünme dayanımı artmakta, ikinci yeniden kristalleşme işlemi ile de oluşan iri ve uzun tane yapısı yüksek sıcaklıklarda tane sınırı kaymasını önleyerek dayanımı arttırmaktadır.
- Yapıda tamamen homojenlik elde edilebilir, böylece segregasyon problemi ortadan kaldırılır.
- Dış etkenlere karşı dayanıklı malzeme elde etmek mümkündür.
- Bir seferde fazla miktarda toz üretmek ve alaşımlamak mümkündür.
- Hassas toleranslar dahilinde malzemeler üretilebilir.
- Termomekanik işlem sırasında tane yapısının kontrolü ile değişik özellikte malzeme elde edilebilir .
- Mekanik alaşımlama işlemi, gelişmiş malzemelerin tasarlanmasını sağlayan birkaç yeni işleme tekniklerinden bir tanesidir.
- ODS malzemeler, türbin paletlerini üretmek için geliştirilen malzemelerdir. Bu malzemelerin üretimi, mekanik alaşımlama ile yeni malzeme üretiminde kullanılan özel bir metottur.
- Mekanik alaşımlama temelde katı malzemelerin bilyeli bir değirmende asal bir ortamda işlendiği bir toz metalurjisi tekniğidir, işlem içerisinde sıvılar bir kontrol elemanı olarak bulunabilirler.
- Mekanik alaşımlama işlemi bir katı hal difüzyon işlemi olmasından dolayı alaşımlar sıvı halde bulunmayan karışımlardan yapılabilirler.
- Yeni mikro yapılar kullanılarak aşırı kararlı alaşımlar üretilebilmektedir.
- Matris içerisine dağılmış oksit parçacıklarının yüksek sıcaklıkta kararlı olması gerekmektedir. MA metodu ile Y_2O_3 matrise genellikle parçacık olarak katılmakta ve bu da yeterli dayanımı sağlamaktadır.
- Oksit parçacıklarının diğer bir avantajı da toparlanma ve yeniden kristalleşmeyi

engellemesidir. Bu sayede oldukça iri uzun ve birbirine geçmiş taneler elde etmek mümkündür, iri tane yapısı, ikinci yeniden kristalleştirme işleminden sonra ortaya çıkmakta ve malzemenin yüksek sıcaklıkta tane sınırının kaymasını engellemektedir.

- Mekanik alaşımlama metodu ile elde edilen tozların yapısı tamamen homojen olarak elde edilebilir, böylece segregasyon problemi ortadan kaldırılmış olur.
- Diğer üretim metotlarının aksine termodinamik olarak, alaşımlamada kompozisyon sınırlaması yoktur. Böylece çok geniş ve alışılmışın dışındaki bileşimlerde malzeme üretmek mümkündür.
- Endüstriyel uygulamalar için karmaşık şekilli ve hassas toleranslar dahilinde malzeme üretimi mümkündür. 0,1 mm et kalınlığında sac levha ve 0,4 mm kalınlığında boru malzeme üretilebilmektedir.
- Fabrikasyonu kolaydır.
- Malzemelerin ve alaşımların, üretim maliyetlerini azaltarak direkt olarak üretilmesini sağlar.
- Performans / birim fiyat dikkate alındığında ucuz malzeme üretimini mümkün kılmaktadır [Bostan, 2003; Erden, 2005].

3.4. Presleme

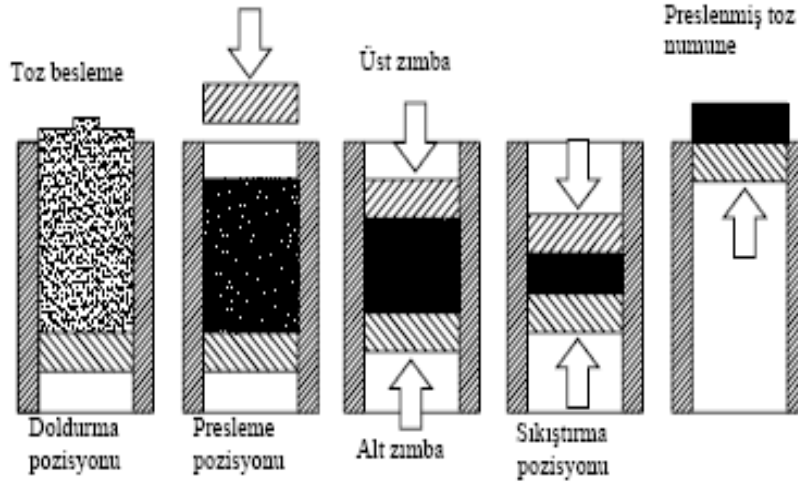
Presleme yöntemleri parçaya şeklini verir, fakat gerekli parça mukavemeti ancak sinterleme işleminden sonra oluşur. Preslenmiş mukavemet değerinin (ham mukavemet), parçanın taşınabilmesi için gerekli mukavemet değerinin üzerinde olması yeterlidir. Metal tozları kalıp içerisinde şekillendirildiklerinde tozun serbest olarak kalıp boşluğunu çok iyi ve tam olarak doldurması arzu edilirken, aynı zamanda kalıp içinde soğuk olarak preslendiğinde teorik yoğunluğa yaklaşılması arzu edilmektedir. Preslemede ulaşılan yoğunluk toz metalurjisi yöntemiyle imal edilen parçaların mekanik özelliklerini birinci derecede etkiler [Babayev, 2007].

Presleme işlemi bir kalıp içerisinde yapılır ve oluşturulan şekil, sinterleme ile istenen

mukavemete getirilir. Böylece bu uygulama, bir tozun şeklini, özelliklerini ve yapısını bitmiş bir ürüne dönüştürür. Ayrıca, mukavemet ve sertliği artırmak için su verme ve temperleme ile ürünlerdeki keskin kenarların yuvarlatılması gibi işlemler, diğer ürün bitirme operasyonlarıdır [Tokdemir, 2007]. Toz metal üretim yöntemi ile elde edilen malzemenin dayanımı presleme ve sinterleme sonrası yoğunluğu ile doğrudan ilgilidir. Sinterleme de esas olan istenilen yoğunluğun (çoğu zaman tam yoğunluk) ve dolayısıyla fiziksel dayanımın elde edilmesidir. İdeal yoğunluktaki amaç % 100 teorik yoğunluğa erişmektir. Presleme üç aşamada ele alınabilir;

- I. Presleme basıncının ilk uygulanmasından sonra partiküllerin yer değiştirmesi ve yeniden pozisyon belirlemesi gerçekleşir. Plastik şekil değiştirme yoktur. Kısmi olarak bazı partiküllerde mekaniksel kırılmalar olabilir. Bu aşamada partikül boyutu, toz boyut dağılımı, partikül şekli ve yüzey özellikleri ile partiküller arası sürtünme önemli rol oynar.
- II. Toz metalin preslenmesinin ikinci aşamasında elastik ve plastik deformasyon faktörleri baskındır. Bu aşamada partiküller arası soğuk şekillendirmeye bağlı bağlar oluşabilir. Ayrıca partiküllerin mekaniksel kilitlenmeleri ile partikül - partikül etkileşimleri bu aşamada önem kazanan durumlardır.
- III. Presleme basıncının arttığı son aşamasında toz partiküllerinin kırılması ve plastik deformasyon ile boşlukların doldurulması sağlanmış olur. Bu aşamada toz partikülleri arasında soğuk kaynak olabilir [Kurt, 1996].

Kalıbın iç yüzeyinde oluşan sürtünme, diğer bütün kuvvetlerden büyüktür. Bu kuvvet kalıbın merkezine doğru azalır. Bu sırada basınçtan dolayı toz parçacıkların yer değiştirmesi esnasında her toz parçacığı, üzerindeki basıncın tesiri ile direncin en az olduğu yöne dolayısıyla daha az yoğun bölgelere kaçma eğilimi gösterir. Böylece kısmen yanlara doğru, fakat daha çok kalıp merkezine doğru bir toz akışının da olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 3.7) [Bahçeci, 2006].



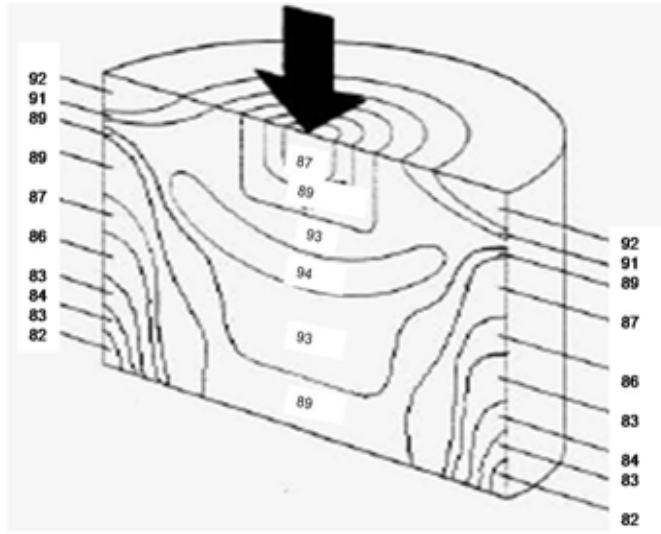
Şekil 3.7. Tozların sıkıştırılmasındaki işlem sırası [Bahçeci, 2006]

3.5. Sıkıştırma Yöntemleri

Tozların sıkıştırılmasında, kalıpta sıkıştırma, izostatik sıkıştırma, yüksek enerjili sıkıştırma, ekstrüzyon ile sıkıştırma ve titreşim ile sıkıştırma gibi değişik yöntemler kullanılır.

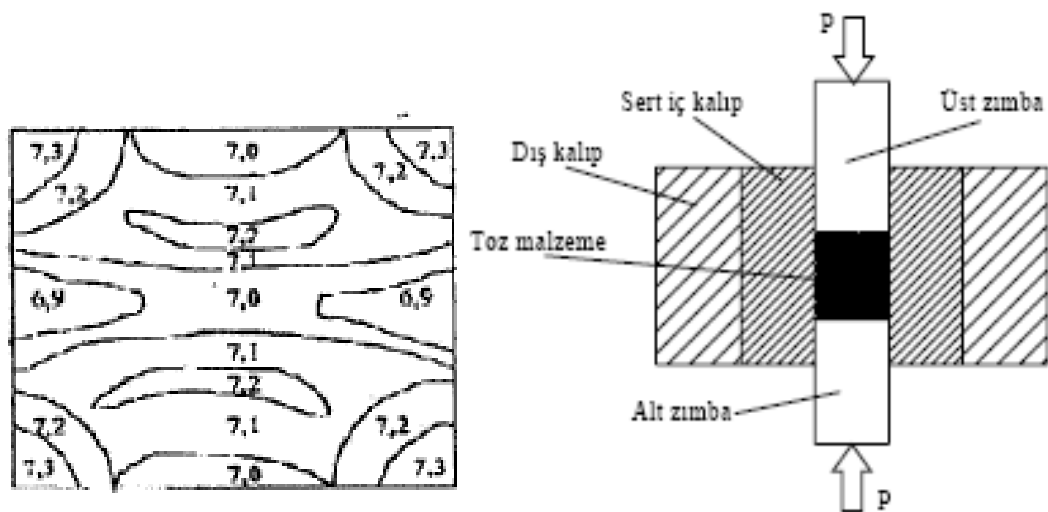
3.5.1. Kalıpta sıkıştırma

Basıncın tek veya çift yönlü olarak uygulandığı kalıpta sıkıştırma, en yaygın olarak kullanılan toz şekillendirme yöntemidir. Tek yönlü sıkıştırmada, toz üst zımbanın hareketi ile sabit olan alt zımbaya doğru sıkıştırılır. Bu yöntemde tozlar arası ve toz ile kalıp duvarı arasındaki sürtünme düzensiz bir basınç dağılımına neden olacağından, sıkıştırılan parçadaki yoğunluk homojen bir dağılım göstermez. Yoğunluk Şekil 3.8'de görüldüğü gibi hareketli zimba tarafında daha fazla ancak sabit zımbaya doğru gidildikçe azalmaktadır [Ekinci, 2007].



Şekil 3.8. Tek yönlü sıkıştırmada yoğunluk dağılımı [Mahmutoğlu 2006]

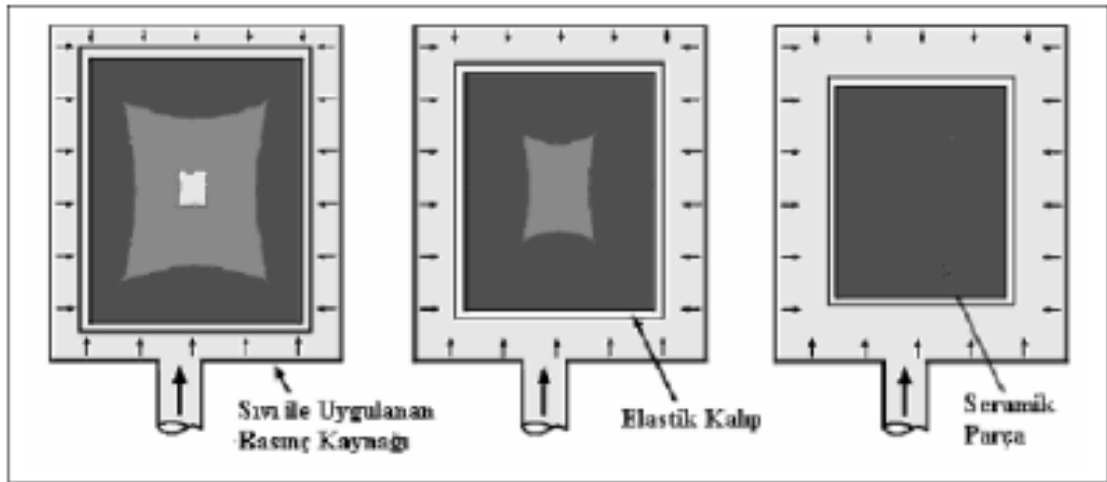
Şekil 3.9’ da gösterilen preslemede toz, birbirine zıt yönlü olarak hem alt, hemde üst zımba tarafından aynı anda sıkıştırılmaktadır. Her yönden eşit veya farklı miktarda hareket veya basınç uygulanır. Çift yönlü sıkıştırma ile kalıp içerisinde boydan boya dengeli bir sıkıştırma temin edilir. Bu yöntemde sıkıştırılan parçadaki yoğunluk dağılımı, tek yönlü sıkıştırma ile elde edilen parçaların yoğunluk dağılımından daha homojendir [Bahçeci, 2006].



Şekil 3.9. Çift yönlü sıkıştırmada yoğunluk dağılımı ve çift yönlü kalıbın kürelerde şematik gösterim [Bahçeci, 2006]

Soğuk İzostatik Presleme (CIP)

İzostatik presleme, tozların bir akışkan basıncıyla sıkıştırılmasıdır. Bilindiği gibi akışkanlarda, bir noktaya etki eden basınç, bütün yönlerde aynı değerde iletilir [Ekinci,2007]. Presleme genellikle bir yağ veya su içinde ve oda sıcaklığında CIP (Cold Isostatic Pressing) yapılır. Üretilcek parça şeklinde bir esnek kalıp hazırlanır içi tozla doldurulur ve içindeki hava boşaltılıp gerekli sızdırmazlık sağlandıktan sonra basınç kazanına bırakılır. İzostatik preslemede kalıp duvarı sürtünmeleri olmadığından ve basınç her yönde eşit olduğundan yoğunluk dağılımı ve mekanik özellikler izotropik özellik gösterir. Bu yöntemin dezavantajı, hassas boyutsal toleransı elde edilememesi ve yavaş olmasıdır (Şekil 3.10) [Koç, 2006].



Şekil 3.10. İzostatik presleme [Ferit, 2008]

Sıcak izostatik presleme (HIP)

Sıcak izostatik presleme (HIP) prensip olarak soğuk izostatik preslemeye (CIP) benzer. Tek fark, es eksenli uygulanan basınçla birlikte basınç kabının ısıtılarak tozların daha az kuvvetle ve daha yüksek yoğunlukta şekillendirilmesidir [Ferit, 2008].

Yüksek enerjili sıkıştırma

Bu yöntemde sıkıştırma, pnomatik, mekanik ve patlayıcı gibi basınç uygulama teknikleri kullanılarak çok yüksek bir basıncın, 50 μ s gibi kısa bir sürede uygulanması ile yapılır [Ekinci, 2007].

Ekstrüzyon yöntemi ile sıkıştırma

Uzunluğu genişliğinden fazla olan çubuk, profil veya tüp gibi seramik parçaların şekillendirilmesinde kullanılır. Seramik toz karışımına bağlayıcı eklenerek yapışkan bir hale getirilir, karışım iyice karıştırıldıktan sonra uygun şekildeki kalıptan ekstrüze edilir. Genellikle bağlayıcı miktarı %10 veya daha fazla olduğu için şekillendirme sonrası bağlayıcı giderme işlemi yapılır [Ferit, 2008]. Bu yöntemde üretilen parçaların yoğunluğu yüksektir. Ekstrüzyon öncesi tozlar ısıtılmış ise sinterlemeye gerek duyulmaz. Ekstrüzyon genellikle daha önce izostatik presleme ile yoğunlaştırılan toz metal parçalara uygulanır. Bu yöntem en çok takım çelikleri üretiminde kullanılır [Ekinci, 2007].

Titreşim ile sıkıştırma

Titreşim ile sıkıştırmada amaç, daha az bir basınçla, kalıpta şekillendirmeye eşdeğer bir yoğunluk elde etmektir. Bu yöntem ile sert bir kalıp içerisindeki toza basınç uygulanırken, aynı zamanda belli frekanslarda bir titreşim uygulanarak toz metal parça elde edilir. Burada uygulanan basınca göre uygun frekanslarda titreşim seçilmelidir [Ekinci, 2007].

3.6. Sinterleme

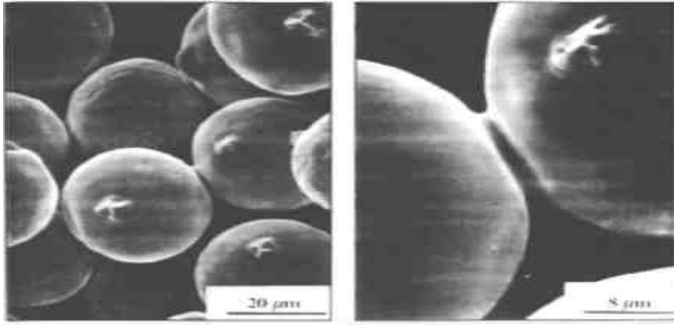
Kalıpta sıkıştırılmış toz kütleyi ergime sıcaklığının altında ısıtılarak difüzyon yolu ile kimyasal bağlanmasını sağlamak ve böylece gözenek miktarını düşürme işlemine tozların sinterlenmesi denir [Sümer, 2003]. Sinterleme işleminde preslenmiş parçalar kontrollü bir

atmosferde ve yüksek sıcaklıkta istenilen nihai özelliklerin elde edilmesi amacıyla ısı işleme tabi tutulurlar. Sıkıştırma ile şekillendirilen parçalarda toz şekline göre , küresel olmayan tozlarda mekanik kilitlenme ile mukavemet kazanır. İkinci olarak toz yüzeylerinde sürtünmeden dolayı soğuk olarak kaynak oluşur. Böylece ham mukavemet iki şekilde oluşur. Ham mukavemetteki amaç parçanın bozulmadan kalıptan çıkmasını sağlamaktır. Kullanıldığı yerdeki gerekli mukavemet sinterleme ile elde edilir. Sinterleme, sıkıştırılarak geometrik şekil verilmiş parçaya malzemenin ergime sıcaklığının altında ısıtılarak mukavemet kazandırma işlemidir. Bu sıcaklık malzemelerin çoğunda ergime sıcaklığının %70- %80 arasında olurken, bazı refrakter malzemelerde sinterleme sıcaklığı ergime sıcaklığının %90' na ulaşılabilir. Demir ve çelik malzemeler için 1100- 1200°C de, bronz için 800°C ideal sinterleme sıcaklığıdır. Sinterleme sıcaklığı ile sinterleme süresi arasında yakın bir ilişki vardır. Süre kısa tutulursa sıcaklık fazla alınır sıcaklık az tutulursa süre fazla alınır [Kurt, 1992; Somunkıran, 1999].

Sinterlemenin ana mekanizmaları yüzey ve hacim difüzyonudur. Difüzyon ile metalin yapışik gövdesi oluşur ve alaşım elementleri demir içerisine yayılırlar. Termodinamik kanunlar ile ifade edilen serbest enerjiyi en aza indiren kuvvet ile gözenek küreselleşmesi meydana gelir ve küçük gözenekler yok olurlar. Sinterlenmiş parçalar fırının soğutma bölgesinde koruyucu atmosfer içinde soğutulur. Termodinamiğe göre herhangi bir katı malzemenin ergime derecesinin altında kararlı durumu tek kristalli halidir. Bu durum sinterlemede pratik olarak mümkün değildir. Çünkü çoğu zaman sinterlenmiş bir parça kalıntı gözeneklerin bulunduğu çok kristal yapıdadır. İstenen dayanımın ve sertliğin elde edilebilmesi için yüksek yoğunlukta küçük ve homojen dağılımlı tane yapısına sahip parçalar elde edilmelidir [Tokdemir, 2007].

Toz parçacıklarının yüksek yüzey enerjileri aşılacak ya da ortadan kaldırılarak gerçekleşen sinterleme sonucu parçacıklar arasında tam ve mükemmel metalurjik bağlar oluşur ve bu suretle iç yapıdaki gözeneklilik sıfıra düşer. Hacim başına düşen yüzey enerjisi toz parçacık çapının tersi ile doğru orantılı olduğundan, küçük toz

parçacıkları büyüklere kıyasla daha kolay sinterlenir. Sinterleme hızına etki eden parçacık boyutunun yanı sıra başka faktörler de vardır. Metalik tozlarda kristal tane sınırları boyunca yayınma ve tane sınırlarının keskin yada yayvan oluşu da sinterlemeyi etkiler. Şekil 3.11' de sinterlemenin safhaları görülmektedir [Erden, 2005].

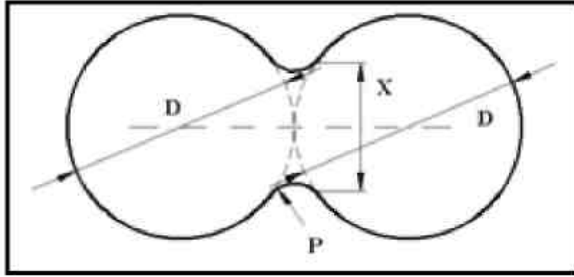


Şekil 3.11. Vakum altında 1030 °C'de 30 dk sinterlenen 30 µm çaplı nikel kürelerde boyun oluşumunun SEM görüntüleri [German,1997]

Sinterleme işleminde, toz taneciklerindeki boyutsal değişimler sonucunda toz özelliklerinde de değişimler oluşur. Preslenmiş toz parçalar sinterlendiğinde yüksek dayanım kazanırlar. Dayanımda ve diğer özelliklerde sinterleme sıcaklığının artmasıyla iyileşmeler görülür. Sinterleme işleminde, yüksek sıcaklıklarda parçacıklar birbirine kaynaklaşır. Katı hal atomik geçiş olaylarının görüldüğü sinterleme işlemi, ergime noktasının altındaki sıcaklıklarda uygulanmasına rağmen birçok durumda sıvı - faz oluşumu gerçekleşir. İçyapı boyutundaki kaynaklaşma, parçacıkların birbirine değdiği temas noktalarında yapışma boyunlarının büyümesi şeklinde oluşur. Bu şekildeki boyun büyümesi toz özelliklerinin değişmesine de neden olur. Sinterleme işlemi sırasında, nokta teması ile başlayan, ara parçacık bağının gelişmesi ile devam eden mekanizmaya çift - küre sinterleme modeli denilmektedir. Bu modelde, parçacık temasının sonucunda oluşan boyun büyümesiyle yeni bir tane sınırı oluşur [German, 1997].

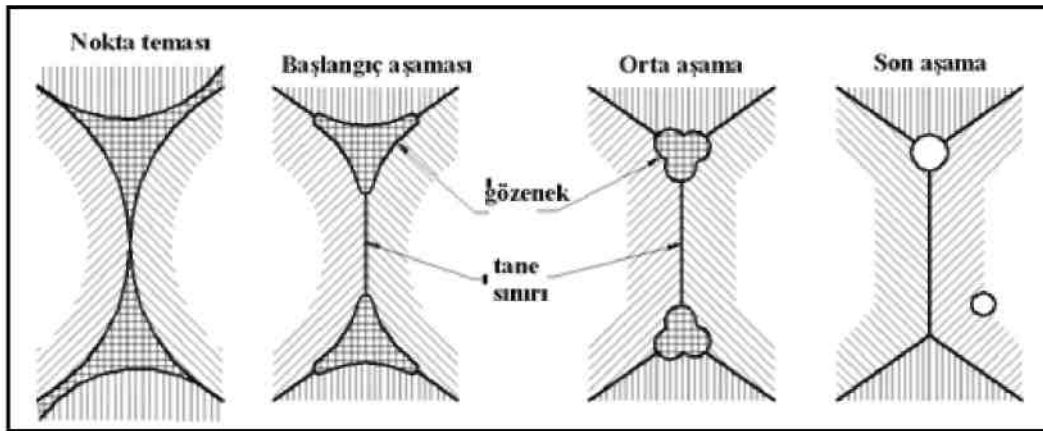
3.6.1. Sinterleme teorisi

Presleme işleminden sonra, küresel şekilli toz parçacıkları noktasal olarak temas halindedirler. Şekil 3.12’de iki küresel parçacığın sinterleme profili verilmiştir. Sinterleme işlemi sırasında, temas eden parçacıklar arasındaki bağlar kuvvetlenir ve kaynaklaşmalar oluşur. Sinterleme işleminde, parçacıklarda önce bir boyun büyümesi ve ilerleyen sinterleme zamanı ile gözeneklerde büzülme olur. Daha sonra, gözenek kanalları kapanarak kapalı gözenek şekline dönüşürler. Şekil 3.13’de sinterleme işlemi sırasında parçacıklar arasındaki bağlarda ve gözeneklerdeki değişimler şematik olarak gösterilmiştir [Kurt, 1992; Akoral, 2003; Özkan, 2007].



Şekil 3.12. İki küresel parçacığın sinterleme profili

(X =boyun çapı, D =küre/parçacık çapı, P =boyun yarıçapı)



Şekil 3.13. Sinterleme basamaklarına göre gözenek yapısındaki değişim

Toz k t lelerinde, sahip oldukları büyük yüzeylerden dolayı yüzey enerjisi bulunur. Bununla birlikte, bu enerji çok fazla değildir. Sinterleme sırasında tozların birbiriyle bağlanması ve toz yüzeylerinin düzelmesiyle yüzey alanları azalır ve böylece yüzey enerjisi de azalır [ zkan, 2007].

Sinterleme mekanizmasının etkin olabilmesinde en önemli etken preslenecek ve sinterlenecek tozların yüzeyinde oksit veya sinterlemeyi olumsuz etkileyecek tabakaların oluşmamasıdır. Eğer oksit tabakaları oluşmuşsa ve presleme sırasında kırılmamışsa sinterleme hiç olmaz ya da çok verimsiz gerçekleşir [Aktaş, 2007].

4. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemeler; iki ya da daha fazla sayıdaki, aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemedeki toplamak amacıyla, makro-düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemelerdir [Şahin, 2000]. İki malzeme, orijinal malzemelerde elde edilemeyen bir özellik kombinasyonu elde etmek için birleştirildiğinde, kompozitler üretilir [Erden, 2005].

Kompozit malzeme, temel olarak birbiri içerisinde çözünmeyen ve birbirinden farklı şekil ve/veya malzeme kompozisyonuna sahip iki veya daha fazla bileşenin karışımından veya birleşmesinden oluşan bir malzeme sistemidir. Kompozit malzemeler, doğrudan doğruya istenilen maksatta kullanılmayan en az iki ayrı malzemedeki belli olan bir özelliği elde edebilmek için, bu malzemelerin belli şartlar altında ve belli bir oranda fiziksel olarak birleştirilmesiyle elde edilirler. Bir kompozit malzeme genelde düşük modül ve dayanıma sahip reçine veya metalik matriks ana fazı ile bunun içinde dağılmış daha az oranda kullanılan tali fazı olan takviye elemanından oluşmaktadır. Ancak, moleküler ve atomik düzeyde birleştirilen malzemeler alaşımlar mikroskopik olarak homojen olduklarından kompozit malzeme olarak sınıflandırılmaz [Şahin, 2000].

Kompozit malzemelerde, bileşenlerinin en iyi özelliklerinin bir malzemedeki toplanması önemli avantaj meydana getirir [Atmaca, 2006]. Kompozit malzemeyi meydana getiren bileşenlerin her biri kimyasal olarak birbirinden farklıdır. Kompozit malzemeleri meydana getiren bileşenler birbiri içinde çözülme ve kompozit malzeme üretimi ile malzemelerin bazı özellikleri geliştirilebilmektedir. Bu özellikler;

- Dayanım
- Korozyon direnci
- Aşınma direnci
- Elektrik iletkenliği (elektriksel direnç)
- Isıl iletkenlik
- Akustik iletkenlik

- Ses tutuculuğu (yutuculuğu)
- Mekanik dayanım
- Çarpma dayanım
- Çekme
- Eğilme
- Kırılma tokluğu
- Basınç
- Rijitlik
- Yorulma ömrü
- Sıcaklığa bağlı davranışı
- Isı yalıtımı
- Ses yalıtımı
- Ağırlık
- Görünüm'dür.

Kompozit malzemelerin geleneksel malzemelere göre üstünlükleri ise; dizayn estetiği, küçük üretim alanı, ürünlerdeki kıymet artışı gibi üstün özelliklerdir. Kompozit malzemelerin diğer malzemelere oranla daha pahalı olmaları, dezavantajlarından biridir [Özdemir, 2006].

Kompozit malzemelerin daha yüksek dayanım ve modüle sahip olması makine elemanının ağırlığının azalması demektir. Bu durum bütün hareket eden parçalarda, özellikle taşıma araçlarında çok önemli bir faktördür çünkü ağırlıkta azalmalar enerji tasarrufuna ve verimliliğin artmasına yol açmaktadır [Şahin, 2000].

4.1. Kompozit Malzemelerin Tarihsel Gelişimi

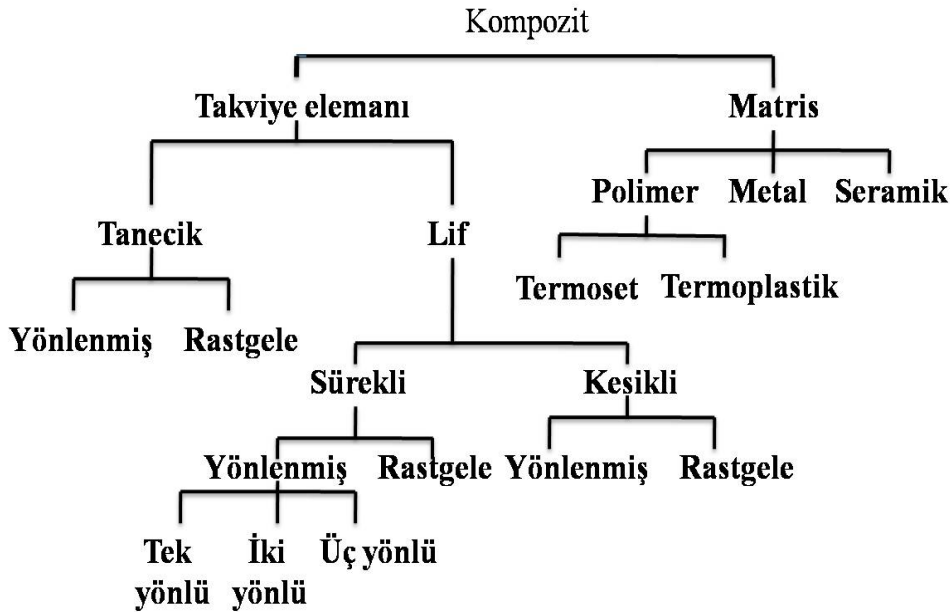
Ağaç, kemik, diş gibi doğal kompozit malzemelerin dışında, insan üretimi olan kompozit malzemelerin tarihte bilinen ilk kullanımına, bundan yaklaşık 3000 yıl önce, Mısır'da rastlanmıştır. Söz konusu malzeme, duvar yapımında kullanılmak için saman ile takviye edilen kil tuğlalardır [Toptan, 2006]. Lamelli metal kompozitlerin bilinen ilk kullanımının ise, Gize'deki Büyük Piramit'te 1837'de bulunan lamelli

çeliğe dayanarak, M.Ö. 2750 yılına kadar geri götürülebileceği öne sürülmektedir. Bunun dışında da, tarihte, Çin, Tayland, Endonezya, Almanya, İngiltere, Belçika, Fransa ve İran'da bulunan çeşitli kompozit yapıları malzemeler mevcuttur [Wadsworth ve Lesuer, 1999].

II. Dünya savaşı esnasında mevcut konvansiyonel malzemeler tek başına teknoloji karşısında belli ihtiyaçlara cevap veremez hale gelmesi ile, araştırmalar başlamış ve o zamandan beri de bu malzemelerin üretimi ve mekanik özellikleri üzerine araştırma ve geliştirme faaliyetleri genişleyerek devam etmektedir. Bu gelişmeler için tahrik edici güç malzemelerde yüksek dayanım yoğunluk ve yüksek elastik modülü yoğunluk oranı elde etmek olmuştur. Özellikle, sivil ve askeri uçaklarda son 25 yıldan beri ileri kompozit malzemeler kullanılmaktadır [Şahin, 2000].

4.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozitler farklı yaklaşımlarla kendi içlerinde gruplandırılabilir, ancak bunlardan en yaygın kullanılabildiği Şekil 4.1'de gösterilen takviye malzemesi ve matris türüne göre yapılanıdır [Demircioğlu, 2006].



Şekil 4.1. Kompozitlerin sınıflandırılması [Demircioğlu, 2006]

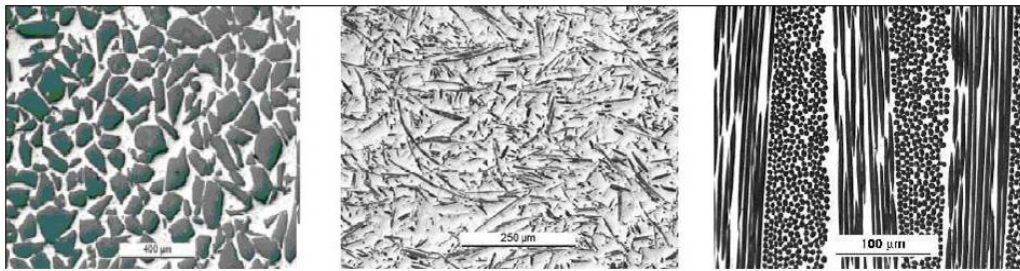
4.2.1. Polimer matrisli kompozitler (PMK)

Polimerler, metal ve seramiklere göre daha karmaşıktırlar. Matris malzemesi olarak kullanılan polimerler, düşük maliyetli ve nispeten kolay çalışılabilir malzemeler olmakla birlikte, bu malzemelerin düşük elastiklik modülü ve düşük kullanım sıcaklıklarına sahip olmaları, kullanım alanlarını sınırlamaktadır. PMK'lerde, matris yapısı termoset veya termoplastik polimerlerden oluşur. Kullanılan takviye malzemelerinin başlıcaları ise, cam fiber, kevlar fiber, bor ve karbon fiberlerdir. PMK'lerin üretiminde en çok kullanılan yöntemler, elle sıvama, tel sarma, kese kalıplama işlemi, pultrüzyon metodu, sıvı akış tekniği, takviyeli reaksiyon, enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon ve termo oluşum yöntemleridir [Toptan, 2006].

Polimer kompozitlerin en önemli özellikleri yüksek özgül mukavemet ve özgül elastisite molekülüdür, dolayısıyla diğer malzemelere bu yönden üstün durumdadır [Erden, 2005].

4.2.2. Metal matrisli kompozitler (MMK)

Metal matrisli kompozitler genelde iki bileşenden meydana gelmektedir. Bunlardan biri metal matriks diğeri ise takviye malzemesidir. Genelde matriks bir metal veya metal alaşımıdır [Özdemir, 2006].



a)

b)

c)

Şekil 4.2. Takviye malzemesinin geometrisine göre metal matrisli kompozitler
a) partikül takviyeli, b) kısa fiber takviyeli, c) sürekli fiber takviyeli
[Akdoğan ve Görener, 2008]

Seramiklerin yüksek elastik modülü ve metallerin yüksek süreklilik özelliklerini bir araya getiren MMK'ler, havacılık, askeri endüstri ve otomotiv endüstrisi gibi alanlarda kullanılmaktadır [Toptan, 20006].

MMK'lerin mekanik özelliklerini metal matrisin cinsi, takviye malzemesinin cinsi, boyutu, boyut dağılımı, miktarı, üniform dağılımı, kompozitin üretim yöntemi ve işlem parametreleri, mikro yapı içinde oluşan fazlar, matris ile katkının uyumluluğu, ek olarak termomekanik ve ısı işleme tabi tutulması gibi birçok etken MMK'lerin özelliklerinin belirlenmesinde rol oynar (Şekil4.2) [Aktaş, 2007].

4.2.3. Seramik matrisli kompozitler (SMK)

Seramik malzemeler, yüksek sıcaklıklarda dahi yüksek elastik özellikler göstermeleri, kimyasal olarak inert olmaları ve düşük yoğunluğa sahip olmaları gibi üstün özelliklerin yanında, çok sert ve kırılındırlar. Bunun yanında, düşük termal şok direnci ve tokluğa sahiptirler. Seramik malzemelerin, seramik fiberler ile takviye edilmesi durumunda, mukavemet yükselmekte, tokluk, monolitik seramiklere oranla 20 kata kadar artırılabilir. SMK'lerin tokluk değerlerinin artmasındaki en önemli etken, kullanılan takviye malzemesinin çatlak ilerlemesini engellemesi veya geciktirmesidir. Oluşan çatlak, takviye malzemesi ile karşılaştığında, yön değiştirmekte ve ilerlemesi durmaktadır [Toptan, 2006].

Seramik matris kompozitler yüksek sıcaklık ve kritik gerilme uygulamalarının yanı sıra kesici takım olarak sert metal alaşımlarının kesilmesinde de kullanılırlar. Seramik matrisli kompozit elde etmek amacıyla yapısal ve fonksiyonel nitelikli yüksek teknoloji seramikleri kullanılmaktadır. Başlıcaları Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 , B_4C , CbN, TiC, TiB, TiN, AlN' dir. Bu bileşikler değişik yapılarda olup amaca göre bir yada bir kaç bir arada kullanılarak SMK ler elde edilir. Sandviç zırhlılar, çeşitli askeri amaçlı parçaların imali ile uzay araçları bu ürünlerin başlıca kullanım yerleridir [Engin, 2007].

5. KATI HAL KAYNAK YÖNTEMLERİ

Bu güne kadar değişik birçok kaynak metodu geliştirilmiştir. Bunlar; (a) Ergitme kaynağı, (b) Lehimleme, (c) Katı hal kaynağı olmak üzere üç ana grupta toplanabilir [Meahara, 1989].

Katı hal kaynak yöntemi; aynı veya farklı iki malzemenin, uygun basınç ve sıcaklık altında, malzemelerde ergime ve makroskobik şekil değişikliği olmayacak şekilde birleştirilmesi işlemlerinin genel adıdır.

Günümüzde, ileri teknolojinin uygulandığı gelişmiş makine elemanlarının kaynaklı birleştirmelerinde faz dönüşümleri ve plastik deformasyon istenmeyen durumlardır. Bu olumsuzlukları gidermek, ancak malzemelerin mekanik ve metalurjik özelliklerini etkilemeyecek kadar düşük sıcaklıklarda yapılan birleştirme işlemleri ile mümkündür. Örneğin: metal matrisli kompozitlerle seramiklerin, metal bir malzeme ile metal olmayan bir malzemenin birleştirilmeleri birçok durumda gerekli olmaktadır. Ayrıca birçok otomobilin motor parçalarında seramiklerle metaller bir arada birleştirilmiş şekilde kullanılmaktadır. Bu örneklerde de olduğu gibi malzemelerin düşük sıcaklıklarda birleştirilmeleri dizayn ve konstrüksiyon açısından gereklilik arz etmektedir. Sözü edilen malzemelerin ergitmeli kaynak yöntemleri ile birleştirmek zor ve bazen imkânsızdır. Bu tekniklerin uygulanması, yüksek bilgi ve teknoloji gerektiren katı hal kaynak teknikleri ile mümkündür. Ergitmesiz kaynak yönteminde metalik malzemeler ergitilmeden, malzemelerin ergime sıcaklıklarının altında bir sıcaklıkta malzeme katı haldeyken birleşme sağlanmaktadır [Çakır, 2007].

Katı hal kaynak yöntemlerinde, birleşme elde edebilmek için malzeme yüzeylerinin atomik derecede birbirlerine yaklaştırılmaları gerekir. Bu atomik teması elde etmenin çeşitli yolları olmakla birlikte bütün bu yöntemlerde esas olan, malzeme temas yüzeylerini deforme edecek bir basınç uygulamaktır.

Başlıca katı hal kaynak yöntemleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

1. Yüksek sıcaklık katı hal kaynağı

- a) Difüzyon kaynağı
- b) Sürtünme kaynağı
- c) Ultrasonik kaynak
- d) Patlamalı kaynak
- e) Sürtünme karıştırma kaynağı
- f) Yüksek frekans kaynağı

2. Soğuk basınç kaynağı

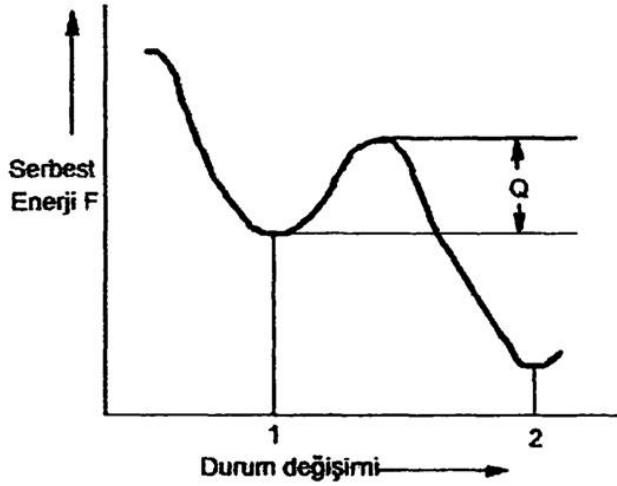
Katı hal kaynak yöntemlerinden difüzyon kaynağı, son zamanlarda, özellikle uzay endüstrisindeki metal birleştirmelerinde, diğer kaynak yöntemlerini gölgede bırakmış durumdadır [Yıldırım, 2001; İpekoğlu, 2003; Bilhan, 2005].

5.1. Difüzyon

Atomların, moleküllerin ve iyonların sıcaklığa bağlı olarak yer değiştirmeleri sonucu meydana gelen kütle akışı difüzyon (yayınma) olarak adlandırılır [Erden, 2005]. Difüzyon, moleküllerin rast gele hareketinin meydana getirdiği, kendiliğinden oluşan yayılma, dağılma ya da madde hareketidir. Atomlar yüksek konsantrasyonda bulundukları bir bölgeden konsantrasyonlarının daha düşük olduğu bir bölgeye göç ederler [Bilgin, 2007].

En hızlı difüzyon gazlarda meydana gelir. Difüzyon, sıvı ve katılarda daha yavaş olur. Difüzyon katılarda, atomların titreşimleri ve etraflarındaki boş noktalara sıçraması ile meydana gelir. Elektrik ve magnetik atomlar gibi değişik tipte kuvvetlerin varlığı molekül hareketlerini etkileyebilir. Difüzyon, sıcaklıkla doğru

orantılı olarak artar. Sıcaklık arttıkça moleküllerin hareket alanı artar ve difüzyon için gerekli olan moleküllerin yer değişim hızı artar [Fidan, 2006].



Şekil 5.1. Serbest enerjinin durum değişimine bağlılığı [Taşkın, 2000]

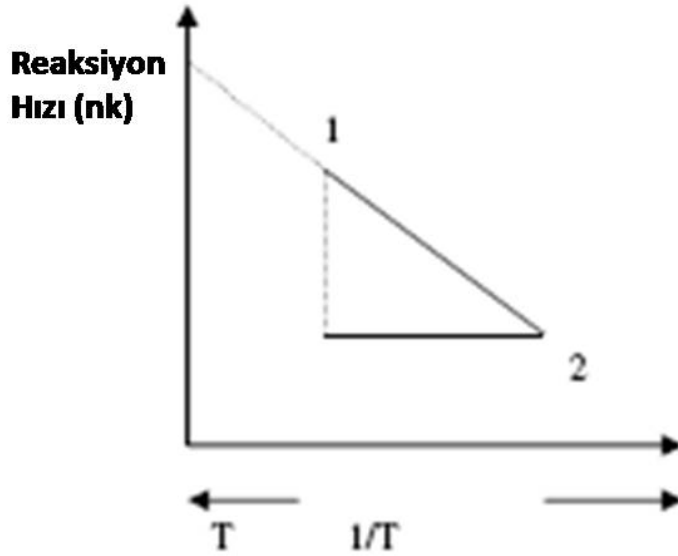
Difüzyon bir parçacık hareketidir ve difüzyon sıcaklıkla doğru orantılı olarak artar. Sıcaklık arttıkça atomların hareket alanı artar ve difüzyon için gerekli olan atomların yer değişim hızı artar. Katılarda martenzitik faz dönüşümleri dışında diğer bütün durum değişmelerinde dönüşümler difüzyon esaslıdır. Bu dönüşümler kademeli olarak ve sistemin serbest enerjisinin azalması ile devam eder.

Şekil 5.1'de serbest enerjinin durum değişimine bağlılığı görülmektedir. Kararlı denge durumuna varıldığında serbest enerji en alt seviyeye ulaşır (2. Durum). Şekil 5.2'de 1 numara ile gösterilen durum, yarı kararlı durum olarak adlandırılır. 1. durumdan 2. Duruma geçiş için sisteme Q aktivasyon enerjisinin verilmesi zorunludur. Ancak o zaman serbest enerji azalma göstererek 2. duruma ulaşabilir. Burada Q enerjisine aktivasyon enerjisi adı verilir [Taşkın, 2000; Atasoy, 2007].

Bu enerji:

- a) Sıcaklık artması.
- b) Pekleşme oluşturacak şekil değişimi.
- c) Elektrik ve manyetik alanlar yardımıyla sağlanabilir.

Atomlar ve boş yerlerin yer değıştirme hızına “k” dersek, “k” değeri Arrhenius denklemi ile tanımlanır. Eş 5.1’ de Arrhenius denklemi verilmiştir [Atasoy, 2007].



Sekil 5.2. Aktivasyon Enerjisinin Arrhenius Denklemi Yardımıyla Saptanması [Buytoz, 1999]

$$k = D_0 \cdot e^{-\frac{Q}{RT}} \quad (5.1)$$

D_0 = Malzemeye bağlı difüzyon sabiti,

Q =Aktivasyon enerjisi,

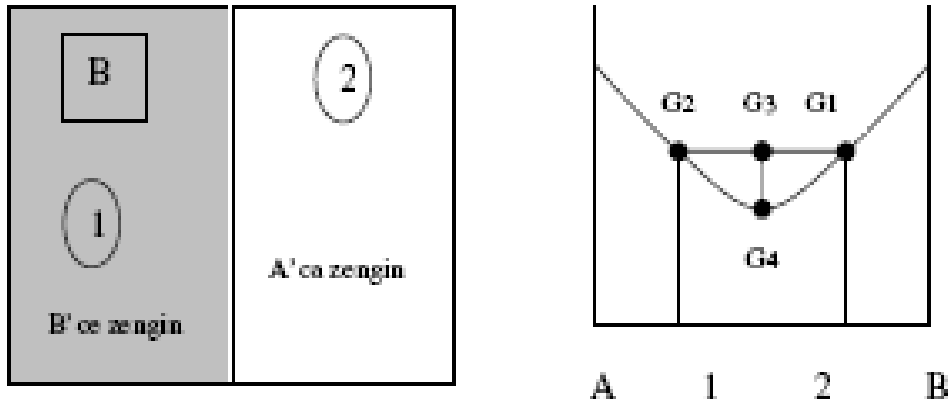
R =Gaz sabiti,

T =Mutlak sıcaklık şeklinde ifade edilir [Buytoz, 1999].

(k) değeri, artan sıcaklıkla sürekli artar, mutlak sıfır sıcaklığında ise sıfır olur. Atomların ve boş yerlerin yer değıştirmelerine ısıl aktivite adı verilir. Toparlanma, yeniden kristalleşme, sürünme ve difüzyon birer ısıl aktivitedir [Taşkın, 2000].

Bir malzemenin sıcaklığı arttığı zaman, difüzyon katsayısı ve atomların akısı da artar. Yüksek sıcaklıklarda atomların difüzyonu için sağlanan enerji, atomların aktivasyon enerji engelini aşmasını ve daha kolaylıkla yeni kafes yerlerine hareket etmesini sağlar. Düşük sıcaklıklarda, genellikle malzemenin mutlak ergime sıcaklığının yaklaşık 0,4 kat altında difüzyon çok yavaştır ve etkili olmayabilir [Askeland, 1998].

Difüzyon, sonuçta atomların yoğunluk düzensizliğinin yok olduğu bir süreçtir. Gaz ve sıvıların katılar içinde difüzyonu da gözlenir. Özellikle kaynakçılıkta büyük önemi olan hidrojen ve azot difüzyonu buna örnek olarak gösterilebilir. Difüzyonun meydana gelme sebebi, Gibbs serbest enerjisini azaltma isteğidir. Şekil 5.3'de bu duruma bir örnek verilmiştir [Atasoy, 2007].



Şekil 5.3. Alaşımların molar serbest enerji diyagramı [Atasoy, 2007]

B'ce zengin molar serbest enerji G_1

A'ca zengin molar serbest enerji G_2

Başlangıçtaki toplam serbest enerji G_3

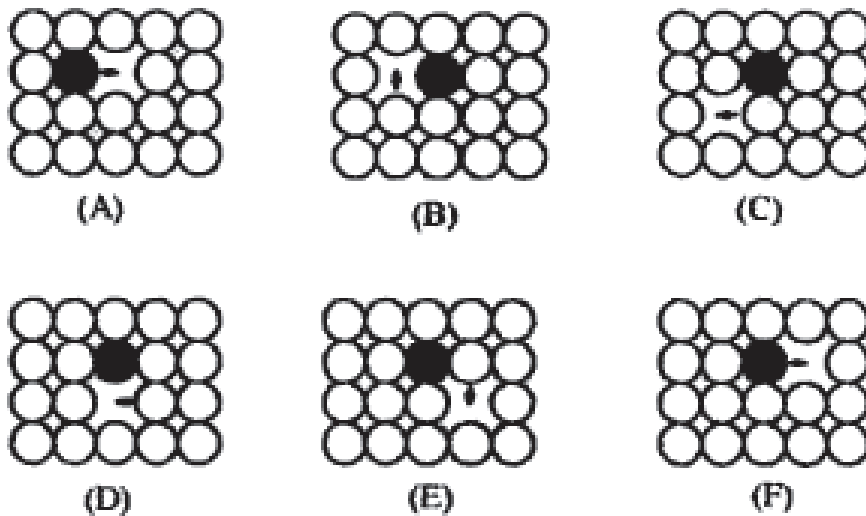
Şekil 5.3' de görüldüğü gibi konsantrasyon farkını azaltmak için difüzyon başlarsa serbest enerji G_4 'e doğru azalır. Yani homojen bir alaşımın serbest enerjisi haline gelir. Bu durumda yüksek konsantrasyonlu kısımdan düşük konsantrasyonlu kısma yayılan A ve B atomları serbest enerjide bir düşüş meydana getirirler [Taşkın, 2000].

Difüzyon, kimyasal potansiyeli yüksek olan bölgeden kimyasal potansiyeli düşük olan bölgeye doğru meydana gelir. Yalnız bu durum özel şartlar altında doğrudur. Bu sebeple difüzyon meydana getiren ana ilke olarak kimyasal potansiyel göz önüne alınır. Kimyasal potansiyel her yerde aynı olunca difüzyon durur [Atasoy, 2007].

5.1.1. Difüzyon mekanizmaları

İkame Difüzyonu

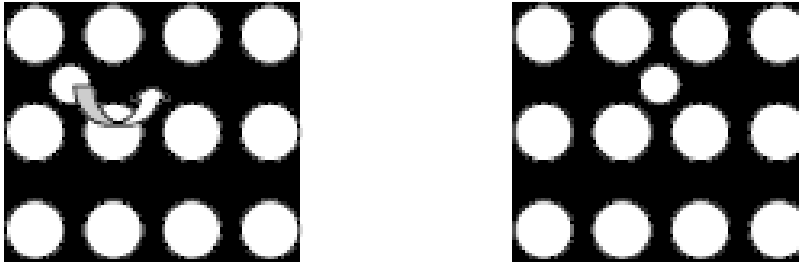
İkame difüzyonunda atom, ancak komşu kafes noktalarından birinin boş olması halinde sıçrayabilir. İkame difüzyonunun en basit hali, saf metaldeki atomların tabi difüzyonudur. İkame (yer alan) atomları, çoğu kez bir boşluk mekanizması ile difüze olurken, daha küçük çaptaki ara yer atomları, daha büyük atomlar arasında zorlanarak ilerler. Normal olarak, bir yer alan atomunun hareketi, komşuları tarafından sınırlandırılmıştır ve atom bir başka kafes noktasına hareket edemez. Bununla beraber, bir komşu nokta boş ise, Şekil 5.4’de gösterildiği gibi, atom bu boşluğa atlayabilir [Bilgin, 2007].



Şekil 5.4. Boşluk veya yer alan atom difüzyonu [Taşkın, 2000]

Arayer difüzyonu

Bu mekanizmada çözünen bir malzemenin atomları, içerisinde çözüldüğü diğer malzemenin atomlarından çok küçük (yaklaşık % 40) ise çözüldüğü atomlar arasındaki ara yer noktalarından birini doldururlar. Mekanizmanın gerçekleşmesi için boşluklara gerek yoktur. Bu mekanizmada matris atomları yer değiştirmezler (Şekil 5.6).



O: Matris atomu, A

o: Ara yer atomu, B

Şekil 5.5. Ara yer mekanizması [Erden, 2005]

Fe, Cr, Ni, Mn, W, Ti gibi geçiş elementleri B, C, H, N gibi atom yarıçapı küçük elementlerle ara yer katı çözeltisi oluştururlar. Malzemelerde ara yer noktaları, kübik kafesin köşeleri arasındaki mesafenin ortasıdır. Bunlar oktahedral noktalar olarak bilinir [Erden, 2005].

Halka Mekanizması

Metallerde en yaygın olarak boşluk ve ara yer difüzyon mekanizmaları görüldüğü halde, nadiren de olsa karşılaşılan diğer bir difüzyon mekanizması ise, halka difüzyonudur. Kristal yapı içerisinde birbirlerine temas halinde halka oluşturan atomların, aynı anda ve aynı yönde hareket etmeleri suretiyle birbirlerinin yerini almaları ve yeni konumlarına geçebilmeleridir. Şekil 5.7'de halka mekanizması modeli gösterilmiştir [Atasoy, 2007].



Sekil 5.6. Halka mekanizmasında atomların yer değiştirmesi (● Ara yer atomu ,O komşu kafes atomlar) [Atasoy, 2007]

5.1.2. Difüzyon kanunları

I.Fick kanunu

Konsantrasyon farkları atomların belirli yönde hareket etmelerine neden olur. Bu olay matematiksel olarak I. Fick kanunu ile ifade edilebilmektedir.

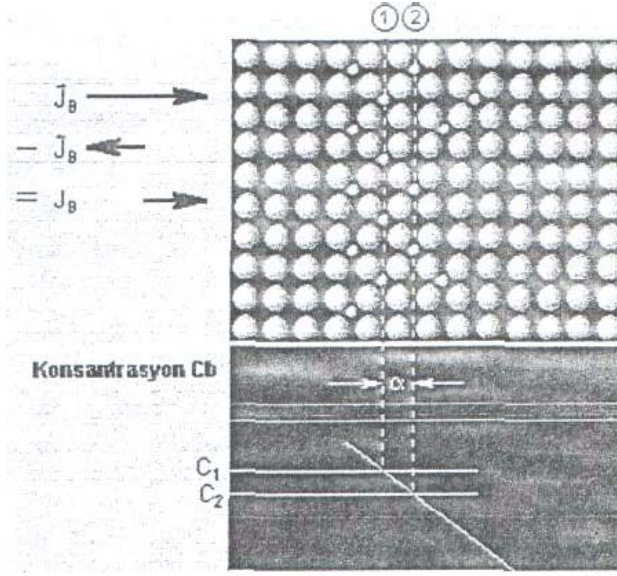
$$J_a = -D(\Delta c/\Delta x) \quad (5.2)$$

J_a : A atomlarının akışı ($m^2 s^{-1}$)

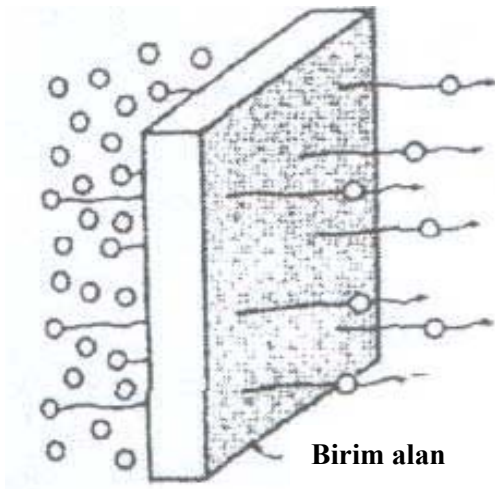
D : Difüzyon katsayısı (m^2/s)

$\Delta c/\Delta x$: Konsantrasyon gradyanı ($m^{-3}m^{-1}$)

Konsantrasyon gradyanı malzeme kompozisyonunun uzaklık ile nasıl değiştiğini gösterir; $\Delta c, \Delta x$ uzaklığındaki konsantrasyon farkıdır (Şekil 5.8). Akı difüzyon sırasında birim zamanda birim alandan geçen atom sayısıdır [Erden, 2005].



Şekil 5.7. 1. Fick kanunu ile ilgili büyüklükler



Şekil 5.8. Akının basit gösterimi

II.Fick kanunu

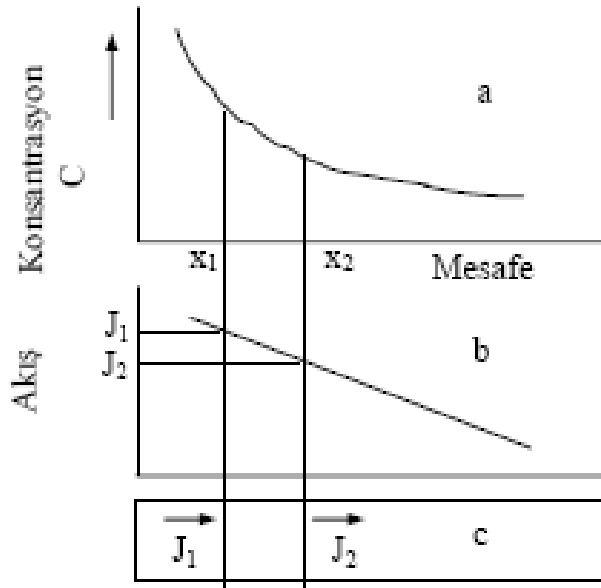
Eğer bir yayınma olayında kararlı bir durum mevcut değilse, örneğin konsantrasyon zamanla değişiyorsa II. Fick kanunu geçerlidir. Kararlı olmayan bir yayınmayı ifade eden II. Fick kanunu, I.Fick kanunu'nun türevi alınarak çıkarılır [Çelik, 1996].

$$dc/dt = D(d^2c/dx^2) \quad (5.3)$$

Bu denklemin çözümü bazı sınır değerlere bağlıdır ve bu da;

$$(C_s - C_x) / (C_s - C_o) = \text{erf} (x/2 (Dt)^{1/2}) \quad (5.4)$$

şeklinde ifade edilir. Burada ; C_s : yüzeydeki konsantrasyon, C_x : yüzeyden veya arakesitten x kadar mesafedeki bir noktanın yoğunluğu, C_o : difüzyon çiftinden birinin ilk yoğunluğu, x : C_x ' in ölçüldüğü noktanın yüzeye olan uzaklığı; D : ortak difüzyon katsayısı t : difüzyon süresi , erf hata fonksiyonudur. Denklemin fiziksel anlamına göre yayılım olayı başlangıçta çok hızlıdır. Zamanla konsantrasyon gradyanı azaldığından hız düşer ve tam homojen yapı için sonsuz süreye gerek vardır. Difüzyonda konsantrasyon mesafe eğrileri Şekil 5.10'da gösterildiği gibidir [Kurt, 1996].



Şekil 5.9 Kararsız difüzyon a) konsantrasyonun mesafe ile değişimi, b) akış miktarının mesafeyle değişimi, c) birim hacme giren (J_1) ve çıkan (J_2) akış miktarı

II. Fick Kanunu aşağıdaki uygulama alanlarına sahiptir:

- a) Çeliğın karbürlenmesi (Sementasyon)
- b) Çeliğın dekarbürizasyonu
- c) Kaynak ve lehimleme
- d) Galvanizasyon

5.2. Difüzyon Kaynağı

Katı hal kaynak yöntemi olan difüzyon kaynağının çok eski bir geçmişı ve yaygın bir kullanım alanı vardır. Difüzyon kaynağı; birleştirilmek üzere eşleştirilmiş iki yüzeyin, malzemelerin ergime sıcaklıkları altındaki bir sıcaklıkta, plastik akmaya sebep olmayacak bir basınçta, katı hal difüzyonu yoluyla malzemeler arasında metalurjik bir bağ oluşuncaya kadar, malzemelerin özelliklerini önemli ölçüde etkilemeyecek bir süre tutulmasıyla uygulanan bir kaynak yöntemidir [Erden, 2005].

Burada meydana gelen birleşme temas yüzeylerine uygulanan yüksek sıcaklıklardaki basınç sayesinde sağlanır. Bu işlem ideal olarak makroskobik deformasyona, ergimeye veya parçaların karşılıklı hareketine yol açmaz. Burada katı dolgu metali kullanarak veya kullanmadan birleştirilen parçaların temas yüzeyleri arasında difüzyon oluşturulur. Birleşmenin temel mekanizmasını katı hal difüzyonu oluşturmaktır. Eğer malzemelerin ara yüzeylerinde uygulanan sıcaklıkla eriyen bir tabaka kullanılmışsa, bu halde sıvı faz difüzyonu kaynağı meydana gelir [Kurt, 1996].

Kristal yapıya sahip malzemelerin atomları arasındaki çekim kuvveti, kohezyon kuvvetini meydana getirir. Normal olarak her bir atom, kristal içinde üzerine etki eden kuvvetlerin bileşkesinin sıfır olduğu dengeli durumda bulunur. Katı malzemeler, dış kuvvetlerin etkisi altında kalırsa, atomların dengeli durumları bozulur. Malzeme kristallerindeki atomlarda, dış kuvvetin etkisiyle bir kuvvet oluşur.

Bunun sonucu olarak atomlar arasında çekim kuvveti, atomların birbirinden uzaklaşma miktarları ile orantılı olarak büyü [Kurt, 1996].

Farklı iki katının yüzeyleri arasında oluşan çekim kuvvetine ise adhezyon kuvveti denir. Aynı anda farklı iki katının bir araya getirilmesi, yüzeyler arasında bağ oluştururken, aynı cins katı yüzeyler arasında kohezyon, farklı cins yüzeyler arasında adhezyon birleşmeyi sağlar. Kohezyon ve adhezyon işi serbest yüzey enerjisinin bir fonksiyonudur. Ayrıca iki gevrek malzeme veya bir gevrek bir sünek malzemedan oluşan bir bağlantı için adhezyon işi, bağlantı kuvvetinin bir ölçüsüdür. Adhezyon ve kohezyon kuvvetlerinin meydana gelebilmesi için, bağlantı uygulanacak malzeme yüzeylerinin atomlar arası bağın oluşabileceği bir yakınlıkta birbirlerine yakınlştırılmaları gerekir [Babayev, 2007].

Adhezyon ve kohezyon kuvvetlerinin teşekkülü yani malzeme yüzeyleri arasında birleşmenin sağlanması için, malzeme yüzeylerinin atomlar arası bağın oluşabileceği yakınlıkta birbirlerine yakınlştırılmaları gerekir. İki malzemenin difüzyonla bileştirilmesinde, birleştirmenin davranışını önemli ölçüde etkileyen diğer bir kuvvet de, kimyasal yapısına bağlı olmaksızın, moleküller arasında etki eden Van der Waals kuvvetleridir. Van der Waals kuvvetleri, gres, su buharı, gaz gibi metal yüzeyindeki yabancı moleküllerin absorbesinin başlıca sebebidir. Malzemenin yüzeyleri temas ettirildiğinde Van der Waals kuvvetleri birleşmeyi sağlayan önemli unsurlardan biridir. Difüzyon kontrollü birleşme işlemini başlatabilmek için, iki yüzey artıklarından ve makro pürüzlülüklerden arındırılmış bir şekilde temas haline getirilmelidir. Bu temas, atomlar arasında bağ oluşumuna imkan verecek bir yakınlıkta olmalıdır. İlk bağ oluşuktan sonra, sıcaklık yardımıyla difüzyon başlar ve yüzeylerin ara kesitteki boşlukları doldurulur [Bilgin, 2007].

Kısaca ifade etmek gerekirse; difüzyon kontrollü birleşme işlemini başlatabilmek için; iki yüzeyin, artıklardan ve makro pürüzlülüklerden arındırılmış bir şekilde, temas haline getirilmeleri gereklidir. Bu temas, atomlar arasında bağ oluşumuna

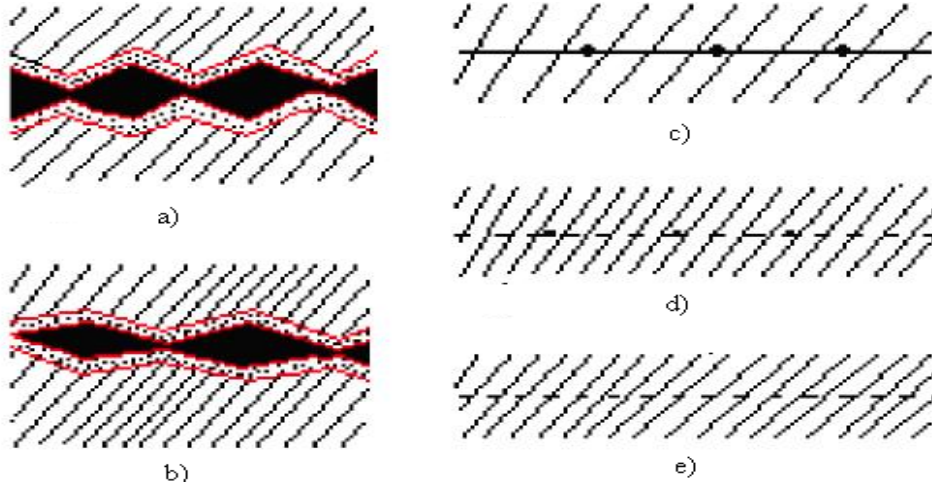
imkân verecek bir yakınlıkta olmalıdır. İlk bağ oluştuktan sonra, sıcaklık yardımıyla difüzyon başlar ve yüzeylerin ara kesitindeki boşluklar doldurulur [Dikbaş, 2005].

5.2.1. Difüzyon kaynağı mekanizması

Günümüze kadar difüzyon kaynağı hakkında bir çok mekanizma ileri sürülmüştür. Şimdiye kadar açıklanan mekanizmaların ortak noktaları ışığında difüzyon kaynağı mekanizmasını aşağıdaki şekilde genelleştirmek mümkündür [Kurt, 1996; Erden, 2005].

1. Yük altında plastik deformasyon
2. Sürünme deformasyonu
3. Difüzyon
4. Yeniden kristalleşme ve tane sınır gücü

Difüzyon kaynağı uygulamasında, özellikle farklı metal veya alaşımların birleştirilmelerinde, ekseriya bir ara tabaka kullanılır. Ara tabakalar kaynak alanındaki heterojenliği minimuma indirir ve birleşmenin oluşumunu kolaylaştırır. Metal folyo veya kaplama şeklindeki ara tabakalar kullanılarak, püskürtme veya elektrolit kaplama ile kaynak için gerekli sıcaklık, basınç ve zaman değerlerini azaltmak mümkün olmaktadır [Kurt, 1996; Dikbaş, 2005; Bilgin, 2007].



Şekil 5.10. Difüzyon kaynağı mekanizması: a) ilk nokta teması ve oksit tabakası, b) plastik deformasyon ve sürünme sonrası, daha ince bir oksit tabakası ve geniş boşluklar, c) nihai sürünme ve akma sonrası, d) yüzey ve hacim difüzyonu ile boşlukların doldurulması, e) tamamlanmış kaynak [Kurt, 1996; Bilgin, 2007]

5.2.2. Difüzyon kaynağına etki eden faktörler

Sıcaklık, zaman, basınç, yüzey pürüzlülüğü, kaynak atmosferi gibi kaynak şartlarının, tane boyutu, kristal yapı, atom yarıçapı, yeniden kristalleşme sıcaklıkları, yüzey enerjileri gibi parametreler ve farklı ya da aynı cins malzeme olma gibi metallurjik özellikler difüzyon kaynağını önemli ölçüde etkilemektedir. Artan sıcaklıkla malzemelerin akma gerilmeleri azaldığından, plastik deformasyon ve yüzey pürüzlerinin sürünmesi kolaylaşır (Şekil 5.10). Böylece hem birleştirilecek malzemelerde temas alanı artar ve hem de yüksek sıcaklıktan dolayı atomların hareketi kolaylaşır [Babayev, 2007; Erden, 2005]. Aynı cins metallerin birleştirilmesinde işlem sıcaklığı metalin ergime sıcaklığının 0.5-0.7 katı olarak alınır. Ayrıca yöntemde sıcaklık kadar ısıtma ve soğutma hızları da önemlidir [Atasoy, 2007].

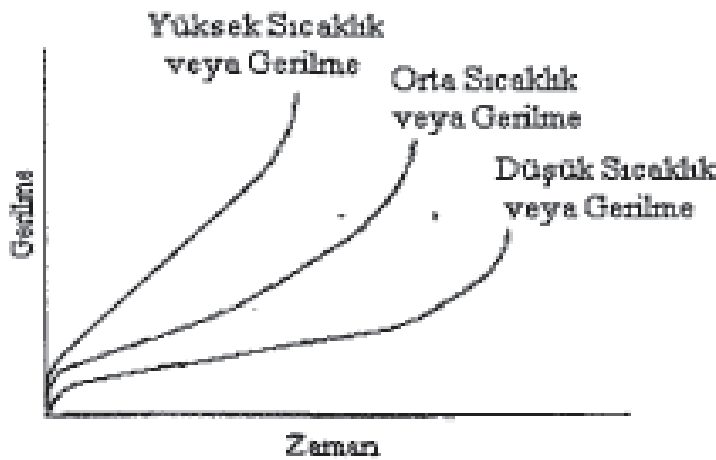
Kaynak Sıcaklığı

Difüzyon kaynağında sıcaklık, deformasyon oksit çözünürlüğü, allotropik dönüşüm yeniden kristalleşme, sürünme difüzyon en önemli kaynak parametreleridir. Aynı cins metallerin birleşmesinde işlem sıcaklığı T_k ve metalin ergime sıcaklığı T_m olarak adlandırılırsa;

$$T_k = (0.5-0.7)T_m \text{ alınır [Atasoy, 2007]}$$

Difüzyon kaynağında sıcaklık kadar ısıtma ve soğutma hızı da önemlidir. Endüstriyel çalışma için $50\text{ }^{\circ}\text{C/dak}$ ısıtma hızı olumlu sonuçlar verirken farklı metallerin birleştirilmesinde doğrusal ısı genleşme katsayılarına bağlı olarak 15°C/dak bir maksimum ısıtma hızı önerilmektedir [Buytoz, 1999].

Sıcaklık arttıkça ana malzemelerin akma gerilmeleri azalır. Böylece hem ilk plastik deformasyon hem de yüzey pürüzlerinin şekil değiştirmesi kolaylaşır. Dolayısıyla kaynak için gerekli temas alanını elde etme süresi kısalır. Şekil 5.11’ de uygulanan basınç ve sıcaklığın sürünme eğrisine tesiri görülmektedir [Kurt, 1996; Atasoy, 2007].



Şekil 5.11. Sıcaklığın Sürünme Eğrisine Etkisi [Kurt, 1996]

Difüzyon parametreleri ve sürünme doğrudan sıcaklığa bağlıdır. Artan sıcaklıkla malzemelerin akma mukavemeti değerleri azaldığından, hem ilk plastik deformasyon ve hem de yüzey pürüzlerinin sürünmesi kolaylaşır. Kaynak sıcaklığının yükselmesi genellikle katı hal birleşme süreci içerisinde aşağıda sıralanan olaylara yardımcı olur [Kurt, 1996; Babayev, 2007].

- Yüzey pürüzleri deformasyonunun kolaylaşmasına ve daha iyi metal-metal teması sayesinde daha yüksek sıcaklıklarda düşük akma dayanımlarına,
- Artan difüzyona,
- Yüzeyi yabancı maddelerden arındırmaya,
- Yüzey üzerinde oksit tabakasını dağıtma eğiliminin yükselmesine.

Kaynak basıncı

Difüzyon kaynağında basınç, iki yüzey arasında teması ve difüzyon işlemini başlatmak üzere kimyasal bir potansiyel farkı üretmek için gereklidir. Yüzey oksitlerini kırmadan temas başlatmak mümkün değildir. Kaynak esnasında uygulanması gereken basınç, difüzyon kaynağına aşağıdaki şekillerde tesir eder [Kurt, 1996; Erden, 2005].

- Çözülmesi mümkün olmayan yüzey oksitlerini kırar ve metalin metale temas alanını artırır.
- Birleşecek yüzeylerin birbirlerine atomlar arası mesafede yaklaştırarak, atomlar arası çekim kuvvetini faaliyete geçirir.
- Difüzyon için kimyasal potansiyel farkı meydana getirir.
- Yüzey pürüzlerinin plastik akmasına yardım eder.

Uygulanan basıncın olumsuz tesirlere sebep olmaması için aşağıdaki hususlara da dikkat etmek gerekir [Bilgin, 2007].

- Uygulanacak basınç, yüzey pürüzlerinin sürünme hızı ve plastik deformasyonunu arttıracak kadar büyük; kaynak edilecek parçaların

makroskopik deformasyonuna yol açmayacak kadar küçük seçilir.

- Kaynak basıncı, birleştirilecek parçaların plastik hacim deformasyonunu en aza indirmek için, akma gerilmesinin belirgin şekilde altında tutulur.
- Uygulanacak basınç izostatiktir. Basıncın uygulama hızının, kaynak deformasyonu veya mukavemeti üzerinde önemli herhangi bir etkisi yoktur [Dikbaş, 2005].

Kaynak basıncı her malzeme için farklılık gösterir [Kurt, 1996].

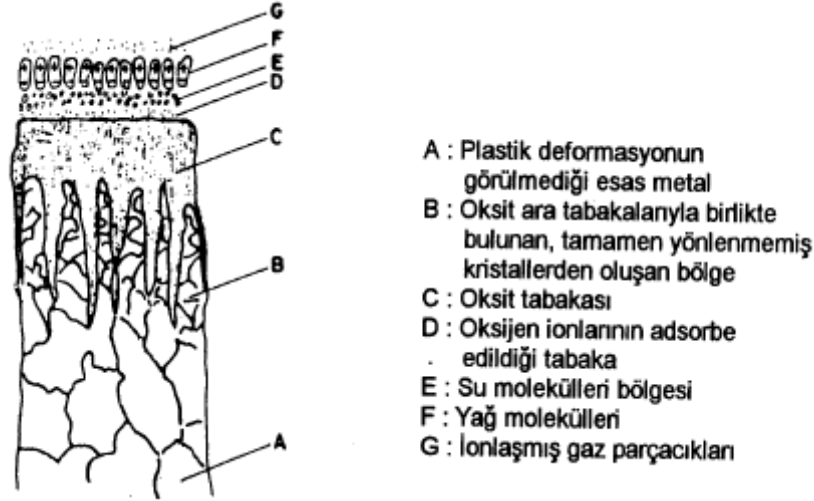
Kaynak süresi

Kaynak süresi genellikle ara yüzeydeki difüzyonu engellemeyecek şekilde karşılıklı kimyasal bağların meydana gelmesini sağlayacak şekilde seçilir. Birleştirilecek yüzeylerin temizliği kaynak süresini etkiler. Eğer birleştirilecek yüzeyler kirli ve sıcaklık düşük ise kaynak süresi uzamaktadır. Kaynak sıcaklığı $T_{ka} = (0,5 \div 0,8)T_m$ alındığında kaynak süresi 100 dakikaya kadar uzayabilmektedir [Babayev, 2007]. Süre bağımlı bir işlem parametresi olup; sıcaklık, basınç ve birleşme türü ile ilişkilidir. Her malzeme ya da malzeme çifti için gerekli süre bir kaç saniyeden, birkaç saate kadar değişebilir. Kaynak süresi, sıcaklık ve basınç artırılarak kısaltılabilmektedir. Kirli yüzeyler ve düşük sıcaklıklarla çalışılması halinde, süre uzamaktadır. Sabit basınç ve sıcaklıkta birleşme süresini uzatmanın, bağlantı mukavemetini bir noktaya kadar artırdığı görülmüştür.

Bağlantı mukavemeti ile kaynak süresi arasındaki ilişki, aslında bu kadar basit değildir. Metaller arası bileşiklerin meydana gelmesi, tane büyümesi; özellikle süper plastik şekillenme performansı ve bağlantı mukavemeti, süre uzadıkça olumsuz bir şekilde gelişmektedir. Metalurjik tesirlerin birleşme süresi üzerinde fazla etkili olmadığı tespit edilmiştir. Endüstriyel uygulamalarda birleşme süresini kısa tutmak, ekonomiklik açısından önemlidir [Bilgin, 2007].

Bir metal yüzeyinde, özenli bir çalışma ile hazırlanmış olsa da, çeşitli yabancı maddeler bulunmaktadır. Bu maddelerin yüzey tabakalarındaki bulunuşları Şekil 5.12' de şematik olarak gösterilmiştir. A bölgesi plastik deformasyonun görülmediği ana metali temsil etmektedir. B, oksit tabakalarıyla birlikte bulunan,

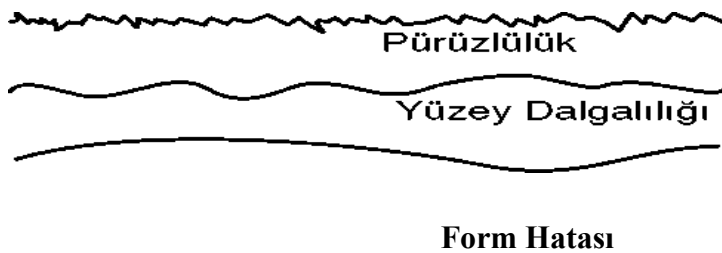
tamamen yönlenmemiş kristallerden oluşan bölgeyi, C ise oksit tabakasını göstermektedir. D, oksijen iyonlarının absorbe edildiği tabaka, E su molekülleri tabakası, F yağ molekülleri ve G iyonlaşmış toz parçacıklarıdır [Atasoy, 2007].



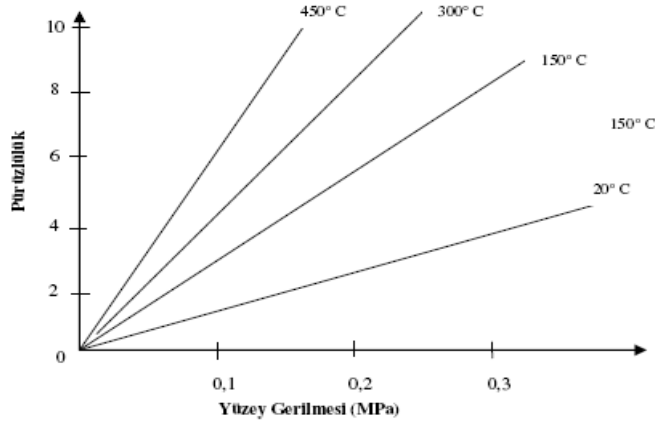
Şekil 5.12. Metal bir yüzeyin tabakalarının şematik kesiti

(+) ve (-) işaretleri, tabakaların karakteristik kutuplarını vermektedir. Metal yüzeylerindeki yabancı madde filmleri kaldığında davranışları değişik olmaktadır, inorganik filmler kırılırlar, organik filmler ise birleştirme sırasında yer değiştirirler ve sıvaşma eğilimindedirler [Atasoy, 2007].

Yüzey pürüzleri 1. safha sonundaki kalıntı gözeneklerin başlıca sebebidir. Pürüzlülük, sıcaklık ve deformasyonla artar. Yine süper plastik deformasyon sırasında, yüzey pürüzlüğü artarak, tane sınırı hareketine katılmaktadır. Şekil 5.13 ve 5.14'de sırasıyla, yüzey kusurlarını ve pürüzlülüğün sıcaklıkla değişimini göstermektedir [Bilgin, 2007].



Şekil 5.13. Yüzey kusurları



Şekil 5.14. Yüzey gerilmesi ile pürüzlülük arasındaki sıcaklığa bağlı değişme [Atasoy, 2007]

Kaynak ortamı

Difüzyon kaynağında parça yüzeyleri ve ara kesitte oluşacak oksidasyonu önlemek için koruyucu bir atmosfer altında kaynak işlemini gerçekleştirmek gerekir. Bu amaçla ya vakum altında ya da bir soy gaz atmosferinde kaynak işlemi gerçekleştirilir. Kararsız ya da oksijen çözünürlüğü yüksek oksitlere sahip metallerle, normal atmosferde de tatminkâr bir bağlantı elde edilmektedir [Bilgin, 2007; Erden, 2005].

Soy gaz olarak argon, azot ve helyum gazlarından herhangi birisi kullanılabilir. Oksijen miktarını en aza indirmeye yardım eden hidrojenin de redükleyici bir atmosfer ortamı olduğu düşünülebilir. Ancak hidrojen, titanyum, zirkonyum, kolombiyum ve tantal alaşımlarında hidrat oluşturması dikkat edilmesi gereken önemli bir husustur [Dikbaş, 2005].

Soy gazlar atmosferdeki oksijenin tesirini belli bir dereceye kadar azalttığından, kararlı oksitlere sahip metallerde vakum kullanılmaktadır, $1,3 \times 10^{-3}$ Pa' dan daha fazla bir vakum oksit filmlerinin çözünmesini sağlayabilmekte ise de uygulamada $1,3 \times 10^{-2}$ ile $1,3 \times 10^{-5}$ Pa' lık basınçlar altında difüzyon kaynağı yapılmaktadır [Erden, 2005].

5.3. Birleştirilecek Malzemelerin Tane Boyutları ve Mikro Yapıları

Difüzyon kaynağına tesir eden birçok yapı vardır. Bunlar, mikro yapı, tane boyutu ve ilave metal (ara tabaka) kullanılması şeklinde sınıflandırılabilir. Çift fazlı (α/β) titanyum alaşımları üzerinde yapılan araştırmalar farklı mikro yapıların, farklı sürünme hızına sahip olduğunu göstermiştir. Bu yapılar:

1. İnce taneli küre,
2. Lamelli,
3. Tabaka tipi olmak üzere üç grupta incelenir.

Difüzyon kaynağı için en ideal yapının ince taneli yapı olduğu tespit edilmiştir. Bu yapı süperplastik alaşımlarda mevcuttur. Tabaka tipi yapıda tane sayısı arttıkça sürünme hızı azalmakta ve sonuçta ara kesitte boşluklar kalmaktadır. Lamelli yapı diğer iki yapı ile karşılaştırıldığında, daha düşük sürünme hızına sahip olduğu görülür. İki fazlı alaşımlar için, iki fazın oranı difüze olabilme ve sertlik üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yüksek difüzyon hızına sahip fazın, düşük sürünme hızına sahip faza oranı, sıcaklığın tesiriyle arttıkça bağ oluşumu olumlu yönde etkilenmektedir.

Colva 1988, alüminyum ve bakır difüzyon kaynağı üzerinde çalışmış, katı halde birbirini içinde tamamen çözülmeyen bu metalleri, bilhassa intermetalik bileşiklerin ve ara fazın oluşması açısından inceleyerek başlangıçtaki mikro yapının, bu tür istenmeyen yapıların meydana gelmesinde etkili olduğunu göstermiştir [Taşkın, 2000].

Tane boyutunun hem kaynak esnasında, hem de kaynak sonrasında bağlantı mukavemeti açısından büyük önemi vardır. Kaynağın ilk aşamalarında boşluklar daha çok tane sınırıyla kesişir. Dolayısıyla boşluğu önlemek için birden çok tane sınırı etki eder. Atomlar bu tane sınırlarından boşluğa difüze olarak onu küçültürler.

Tane boyutu küçölüp, tane sayısı arttıkça, boşlukların difüzyonla doldurulması kolaylaşmakta ve ara kesitte kalması ihtimali azalmaktadır. Difüzyon kaynağında birleşme işlemini hızlandırmak, bağlantının mekanik özelliklerini geliştirmek veya birbirinden farklı metal, metal olmayan (seramik, cam, kompozit v.b.) malzemelerin kaynağında karşılıklı difüzyon oluşturmak için ara malzeme kullanılır.

Genel olarak ilave (ara) malzemenin kaynaktaki faydaları şunlardır [Erden, 2005];

- Mekanik bağ oluşturmak için ana metalde çözünme,
- Birbirinden farklı malzemelerin birleştirilmesi halinde intermetalik fazların oluşumunu önlemek,
- Ön ısıtma esnasında, yüksek sıcaklıklarda birleştirilecek yüzeyleri oksidasyona karşı korumak,
- Elektro-kaplama veya iyon kaplama ile malzemenin difüzyon özelliklerini geliştirmek,
- Düşük akma gerilmeli malzemelerde ya da sıvılar ihtiva eden bölgeler oluşturarak, oksit filmlerinin bozulmasını sağlamak,
- Ara kesit boşluklarında, geçici sıvı fazlar oluşturarak yüzey pürüzlerinin olumsuz tesirlerini en aza indirmektedir.

5.4. Difüzyon Kaynağının Diğer Kaynak Metotlarıyla Karşılaştırılması

Difüzyon kaynağı diğer geleneksel kaynak usulleriyle karşılaştırılırsa, başlıca şu faktörler göze çarpmaktadır [Kurt, 1996; Bilgin, 2007].

- Ergitme kaynağında görülen deformasyonlar, ön ve son tavlama ihtiyaçları, bu teknikte görülmez.
- Bu teknikle, metalurjik açıdan uyumsuz birbirinden tamamen farklı iki metal ya da bir metalle, metal olmayan bir malzeme birleştirilebilir.
- Birleşme süresi, bağlantı alanından bağımsızdır. Dolayısıyla, bir kerede geniş alanlı ya da karmaşık şekilli bağlantılar birleştirilebilmektedir

- Uzay ortamında birleştirmeye olanak sağlamaktadır.
- Birleştirme esnasında, ana malzemelerde istenmeyen metalurjik yapıların oluşma ihtimali düşüktür.
- Seramik ve kompozitlerin, metal ve diğer malzemelerle birleştirilmesinde, günümüzde en verimli ve en etkili yoldur.

Diğer katı hal kaynak teknikleriyle karşılaştırıldığında ise, başlıca şu farklar vardır [Kurt, 1996].

- Difüzyon kaynağı, esas itibarı ile, difüzyon kontrollü bir tekniktir.
- Seramiklerin kaynak tekniğini belirleyen en önemli faktör, bu malzemelerin gevrekliğidir. Bu ise, kaynakta deformasyon kullanmanın mümkün olmadığı anlamına gelir. Dolayısıyla, seramiklerin kaynağında difüzyon kaynağı mümkün tek metottur.

Difüzyon kaynağının bazı dezavantajları da vardır [Koçer, 1998]. Bunlar:

- Uygulanması özel ortam ve aparat gerektirmesi,
- Bu sebeple pahalı bir teknik olmasıdır.

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada Al matrisli ve Al_2O_3 takviyeli kompozit malzeme üretilmiş ve üretilen bu malzemenin saf Al blok parçaya kaynaklanabilirliği araştırılmıştır. Kompozit üretiminde matris malzemesi olarak ECKART Dorn firmasından temin edilen “ECKA Alüminyum AS 91/S” kodlu % 99,5 saflıkta ve gaz atomizasyon yöntemi ile üretilmiş, ortalama toz tane boyutu $56,95 \mu m$ olan Al tozu kullanılmıştır. Takviye elamanı olarak ise %99,52 saflıkta ve $25 \mu m$ altı toz tane boyutunda Al_2O_3 tozu kullanılmıştır. Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen kompozit malzemeler difüzyon kaynağı yöntemiyle, % 99,56 saflıkta Alüminyum blok malzemelere kaynaklanmıştır.

Bu çalışmada kullanılan tozların tartımı, birbiri içerisinde karıştırılması, üretilen karışım tozların preslenmesi, sinterlenmesi, yoğunluk ölçümleri, metalografi çalışmaları, mikro yapı incelemeleri, ve difüzyon kaynağı uygulamaları G.Ü.T.E.F. Metal Eğitimi Bölümü Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Kaynatılan numunelerin kesme testleri ise bir kesme aparatı yardımı ile Yapı Eğitimi Bölümü mekanik test laboratuvarında yapılmıştır.

6.1. Karışım Tozların Hazırlanması

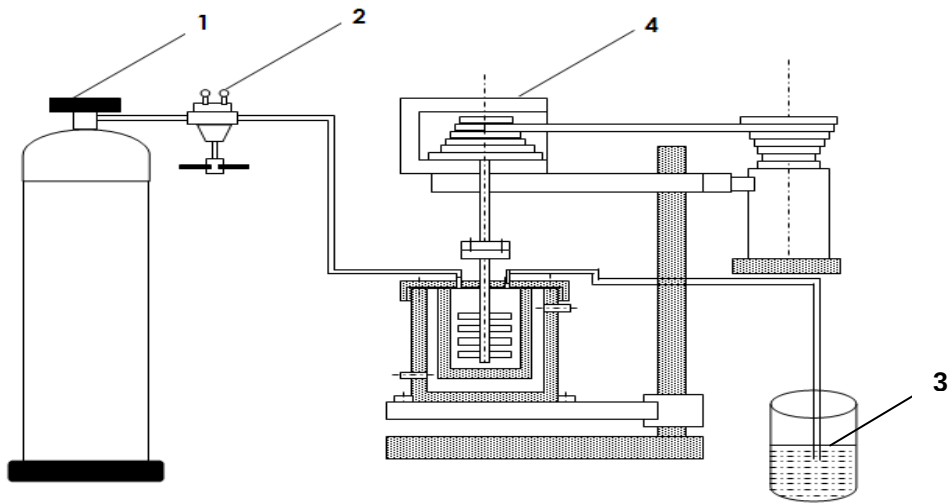
Alüminyum matrisli, alümina takviyeli kompozit malzeme üretimi için ilk olarak alüminyum tozları ile alümina tozlarının birbiri içerisinde homojen olarak dağılımını sağlamak üzere mekanik alaşımlama donanımı kullanılmıştır. Mekanik alaşımlama işlemi, yüksek enerjili SZEĞVARI marka atritörde yapılmıştır.

Karıştırma için $1200 cm^3$ hacmindeki atritör silindir içerisine, $10 mm$ çapında $400 gr$ çelik bilye doldurulmuştur. Daha sonra $50 gr$ karışım toz ve alaşımlama süresince alüminyum tozlarının, silindir iç yüzeylerine ve silindir içerisindeki bilyelere sıvanmasını önlemek amacıyla ağırlıkça % 1 oranında Zn-Stearat yağlayıcı katılmıştır. Karıştırma süresince alüminyumun oksitlenmesini önlemek için atritör silindir içerisinden sürekli olarak yüksek saflıkta argon gazı geçirilmek suretiyle

ortam inert hale getirilmiştir. Karıştırma boyunca atritör silindirin sıcaklık artışını önlemek amacıyla etrafındaki su soğutma sistemiyle devamlı olarak soğutulmuştur. Hazırlanan karışım tozlar 2 saat süreyle, 450 dev/dk'lık devir ile dönen atritör içerisinde karıştırma işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 6.1). Her karıştırma işleminde, 50 gr kompozit malzeme tozu elde edilmiş ve toplam olarak 350 gr karışım toz üretilmiştir. Çizelge 6.1' de mekanik alaşımlama donanımındaki karıştırma parametreleri verilmiştir.

Çizelge 6.1. Karışım toz üretim parametreleri

Karışım Malzeme	% 90 Al + % 10 Al ₂ O ₃
Karışım Toz Miktarı	50 gr
Bilye Miktarı	400 gr
Bilye Çapı	10 mm
Karışım Toz / Bilye Oranı	1 / 8
Karıştırma Süresi	2 saat
Koruyucu Ortam	Argon
Karıştırma Hızı	450 dev/ dak
Yağlayıcı Türü	Çinko Stearat
Yağlayıcı Oranı (Ağırlıkça)	% 1



Şekil 6.1. Mekanik alaşımlama düzeneği

1) argon tüpü 2) manometre 3) su kabı 4) alaşımlama değirmeni

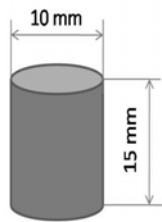
6.2. Karışım Tozun Karakterizasyonu

Karıştırma öncesi Al ve Al_2O_3 tozların, karıştırma sonrası ise karışım tozun toz tane şeklini belirlemek üzere hazırlanan numunelerin değişik büyültmelerde Prior marka optik mikroskopta fotoğrafları çekilmiştir. Toz numuneler öncelikle soğuk gömme ile metalografi için hazırlanmış daha sonrada sırasıyla 240, 500, 800, 1000 ve 1200 zımpara ile zımparalanmıştır. Son olarak ise numune yüzeyleri $1\ \mu\text{m}$ Al_2O_3 pasta sürülmüş, parlatma diskinde parlatılmış, yüzeyler metalografik inceleme için hazır hale getirilmiştir.

Optik mikroskopta yapılan çalışma ile tozların mekanik alaşımlama donanımındaki karıştırılmasıyla karışım öncesi orijinal parçacık morfolojilerindeki değişim ortaya konmuştur. Ayrıca karışım tozların G.Ü. Müh. Mim. Fak. Makine Mühendisliği Bölümünde bulunan Malvern Mastersizer E Ver 1.2b, cihazı ile toz tane boyutu ölçümü yapılmıştır. Bu ölçümlerle karıştırma işlemine bağlı olarak karışım tozların toz tane boyutundaki değişimlere bakılmıştır.

6.3. Tozların Preslenmesi

Karıştırma işlemi sonrası elde edilen karışım tozlar, gerçekleştirilmek istenen difüzyon kaynağı için gerekli boyutlarda blok parça olarak preslenmiştir (Şekil 6.2).



Şekil 6.2. Difüzyon kaynak numunesi

Difüzyon kaynağı için hazırlanan bu numunelerin preslenmesi, tek yönlü aksenal kalıpta 800 MPa presleme basıncı ve 1,5 mm/dak yükleme hızında gerçekleştirilmiştir. Presleme işlemi Şekil 6.3’de görülen tek yönlü aksenal kalıpta yapılmıştır. Kalıp iç yüzeyleri ile alt ve üst zımba yüzeyleri Zn-Sterat + etil alkol

karışımı ile yağlanmıştır. Bunun nedeni ise kalıp içerisindeki karışım toz ile kalıp yüzeyleri arasındaki sürtünmeyi azaltarak kalıp yüzeylerinin aşınmasını engellemek ve numunelerin kalıptan çıkmasını kolaylaştırmaktır. Bu şekilde preslenen numunelerin yüzey kalitesi de iyileştirilmiş olmaktadır.

Boy, 15 mm ve çapı 10 mm olan kaynak numunesi için kalıp içerisine konacak karışım toz miktarı hassas terazide 3,320 gr olarak hesaplanmıştır. Kaynak numunesi için gerekli karışım toz miktarının hesabı:

$$\text{Numunenin hacmi: } \pi r^2 \times h = (3,14 \times 25) \times 15 = 117,75 \text{ mm}^3 = 1,1775 \text{ cm}^3$$

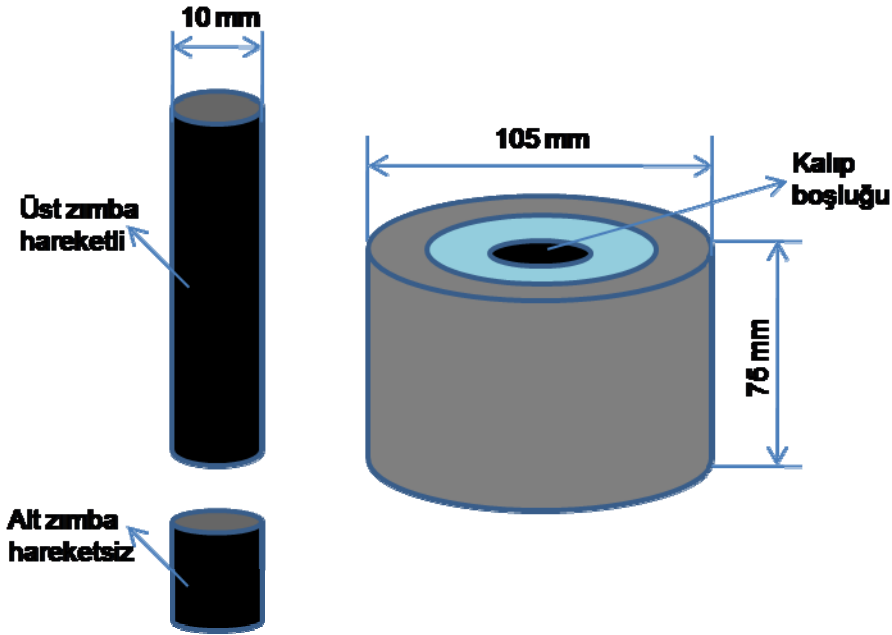
%10 Alümina - %90 Alüminyum karışımı olduğuna göre,

$$\text{Alüminyum özkütlesi : } 2,70 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Alümina özkütlesi : } 3,97 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Karışım tozun ortalama yoğunluğu: } (2,70 \times 0,90) + (3,97 \times 0,10) = 2,82 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Kalıba konacak karışım tozun ağırlığı: } 1,1775 \times 2,82 = 3,319 \text{ g}$$



Şekil 6.3. Parçaların hazırlanmasında kullanılan kalıp ve zımba

6.4. Preslenen Numunelerin Ham Yoğunluklarının Ölçülmesi

Numunelerin presleme sonrası ham yoğunluk değerleri 0,0001 g hassasiyetteki üzerinde yoğunluk kiti bulunan sartoryus marka hassas terazide ölçülmüştür. Yoğunluk ölçme işlemi numunelerden 3 adet alınarak, yoğunlukları ölçülmüş ve ortalama değerleri alınmıştır. Ve bu ölçüm sonucunda ortalama ham yoğunluk; 2,635 g/cm³ olarak hesaplanmıştır. Presleme sonrasında blok numunelerde %93 ham yoğunluk elde edilmiştir.

Yoğunluk kitiyle ham yoğunluk ölçme

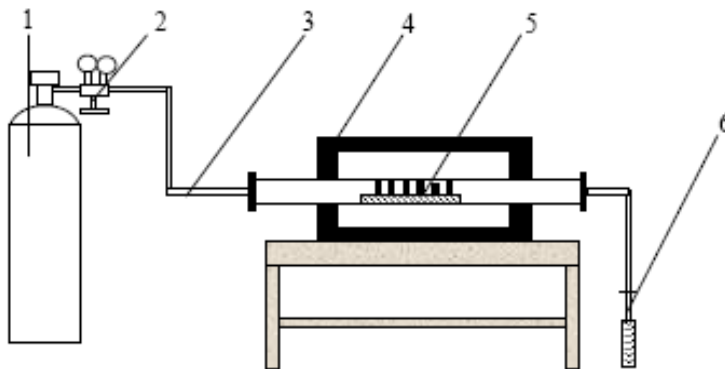
- Numunenin havadaki ağırlığı ölçülerek (W)
- Darası alınır (Numune üst kefedeki iken).
- Numune su içindeki alt kefeye konarak tartılır (G)
- Havadaki ağırlık sudaki ağırlığına bölünür ve suyun sıcaklığına göre kataloğtan alınan katsayı (Rho) ile çarpılarak numunenin yoğunluğu bulunur.

- Bulunan yoğunluk değeri teorik yoğunluğa bölünerek gerçek yoğunluk bulunur.

$$Yoğ = W/G \times \text{Rho}(\text{g/cm}^3)$$

6.5. Sinterleme

Ham yoğunluk ölçümleri sonrası numuneler PROTHERM FURNACES marka atmosfer kontrollü tüp fırında 2 saat süre ile argon gazı ortamında 650 °C’ de sinterlenmiştir. Sinterlemenin temel amacı, blok parçalardaki partiküller arası atomik yayınlamayla kimyasal bağlanmayı gerçekleştirmek ve böylece blok parçada hedeflenen mukavemet ve yoğunluğa ulaşmaktır. Sinterleme koruyucu gaz ortamında yapılmıştır. Bunun nedeni sinterleme esnasında numunelerin oksitlenmesini önlemektir. Yapılan sinterlemenin bir başka amacı ise blok numunelerdeki kullanılan yağlayıcıyı (Zn- stearat) ortamdan buharlaştırarak uzaklaştırmaktır. Blok numuneler grafit bir kayık içerisinde, fırın oda sıcaklığında iken fırının merkezine yerleştirilmiştir. Daha sonra fırın 5 °C/ dk ısınma hızı ile sinterleme sıcaklığına çıkarılmış ve bu sıcaklıkta 2 saat süreyle bekletilmiştir. Sinterleme sonrasında fırın oda sıcaklığına kadar 5 °C/ dk’ lık soğuma hızında kontrollü olarak soğutulmuştur (Şekil 6.4).



Şekil 6.4. Sinterleme işleminde kullanılan fırın. 1) argon tüpü, 2) manometre, 3) gaz taşıyıcı hortumlar, 4) fırın gövdesi, 5) numuneler, 6) gaz çıkış kontrol kabı [Erden, 2005]

6.6. Sinterlenmiş Numunelerin Yoğunluklarının Ölçülmesi

Sinterleme sonrası yoğunluk ölçüm işlemleri, ham yoğunluk ölçüm işleminde olduğu gibi 3 adet numune hassas terazide ölçülmüş ortalamaları alınmıştır. Sinterleme sonrası yoğunluk ölçümünde, yoğunluk; 2,741 g/cm³ olarak ölçülmüştür. Sinterleme sonrası yoğunluk ölçüm işlemleri ile, blok parçaların sinterleme öncesi ham yoğunluklarındaki değişimler karşılaştırılmıştır. Sinterleme sonrası yoğunluk % 97 ye çıkmıştır ve sinterleme sonrası % 4' lük bir artış meydana gelmiştir.

6.7. Sinterleme Sonrası Kompozit Numunenin Mikroyapı İncelemesi

Sinterlemeye bağlı olarak, blok numunelerin iç yapılarındaki sinterleşmeyi ve mikroyapıyı görebilmek için metalografi çalışması yapılmıştır. Sinterlenen blok numunelere optik incelemeler için soğuk (polyester) gömme yapılmıştır. Toz numunelerin optik mikroskop çalışmalarında olduğu gibi aynı şekilde işlemlerden geçirilerek, numunelerin optik mikroskopta değişik büyütmelede fotoğrafları çekilmiştir.

6.8. Alüminyum Malzeme

Kimyasal kompozisyonu Çizelge 6.2'de verilen difüzyon kaynağı çalışmalarında 10 mm çapında 15 mm boyunda alüminyum malzeme, yüzeyleri hassas olacak şekilde doksan derece kesilmiş ve kaynak için hazırlanmıştır.

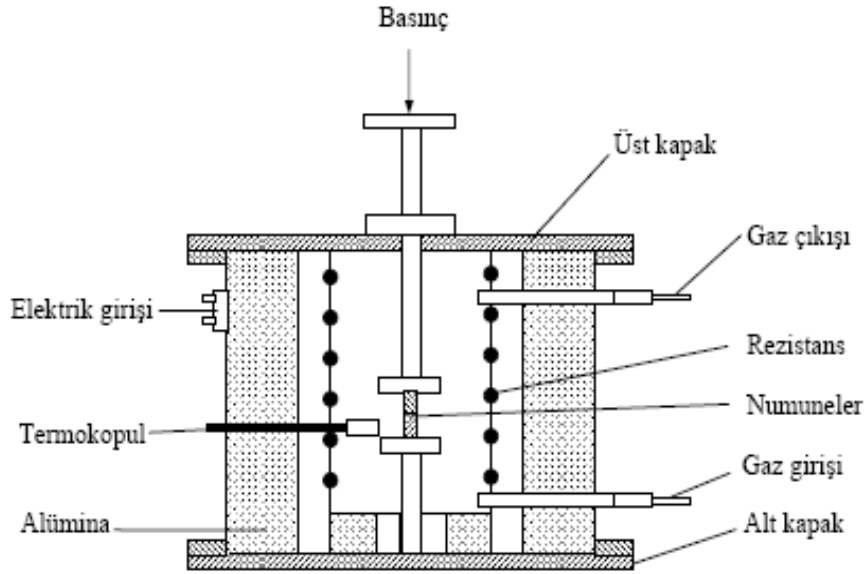
Çizelge 6.2. Alüminyum malzemenin kimyasal bileşimi

Ağırlıkça % Element Miktarı							
Si	Fe	Cu	Mn	Ti	Zn	Mg	Al
0,10	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	99,50

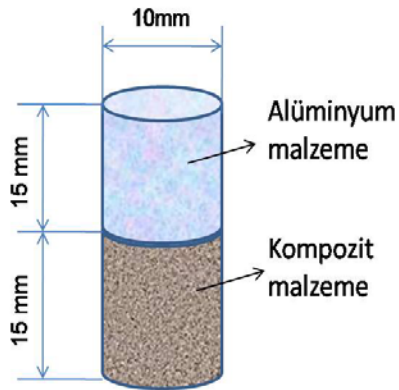
6.9. Kaynak Numunelerinin Hazırlanması ve Difüzyon Kaynağı

Difüzyon kaynağında numunenin yüzey kalitesi önemli bir parametre olduğu için, bu çalışmada numune yüzeyleri hassas bir şekilde zımparalanarak kaynağa hazır hale getirilmiştir. Numunelerin birbirine kaynak yapılacak yüzeyleri, sırasıyla 240, 500, 800, 1000, 1200 zımpara ile zımparalanmıştır. Daha sonra alkol ile temizlenmiş, kurutma makinesinde kurutulmuş ve zaman geçirmeden difüzyon fırını içerisine yerleştirilmiştir. Difüzyon kaynak işlemi başlamadan önce kaynak ortamının yüksek saflıkta argon gazı ile dolması sağlanmıştır. Bunun için fırını ısıtmaya başlamadan önce ortama 5 dakika süreyle koruyucu gaz gönderilerek kaynak ortamı inert hale getirildi. Daha sonrada kaynak süresince ortamdaki argon gazı geçişi devam ettirilmiştir. Kaynak süresi sona erdiğinde mevcut yük altında ortam sıcaklığı 100 °C'ye gelene kadar ortamdaki gaz geçişi devam etmiştir (Şekil 6.5).

Difüzyon kaynağının basınç, sıcaklık ve zaman parametrelerinden basınç bu çalışmada sabit tutulmuştur. Sıcaklık ve zaman değiştirilmiştir. Kaynak işlemlerinde basınç 5 MPa, kaynak sıcaklığı 590°C, 610 °C ve 630 °C, kaynak süreleri ise 30, 60 ve 90 dakika uygulanmıştır.



Şekil 6.5. Difüzyon kaynak fırınının şematik olarak gösterimi [Erden, 2005]

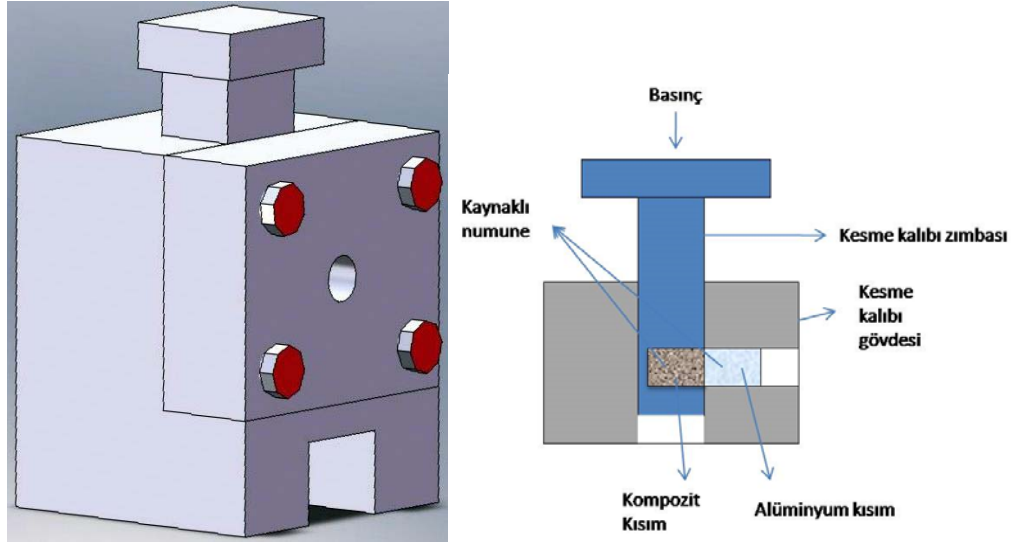


Şekil 6.6. Difüzyon kaynak işlemine hazır hale getirilmiş numuneler

6.10. Kesme Testi

Difüzyon kaynak işlemi tamamlandıktan sonra, o her farklı numuneden 3 adet hazırlanmış kaynaklı numune kesme testine tabi tutulmuştur (Şekil 6.6). Bu kesme

testi, kesme kalıbı kullanarak, preste gerçekleştirilmiştir. Difüzyon kaynağı gerçekleştirilen numuneler, bir kesme aparatı ile (Şekil 6.7) G.Ü.T.E.F. Yapı Eğitimi Bölümü laboratuvarında yapılmıştır. Önce ana malzeme kesilmiş daha sonra kaynak numunesi kaynaklı birleştirme yerinden kesilmiştir.



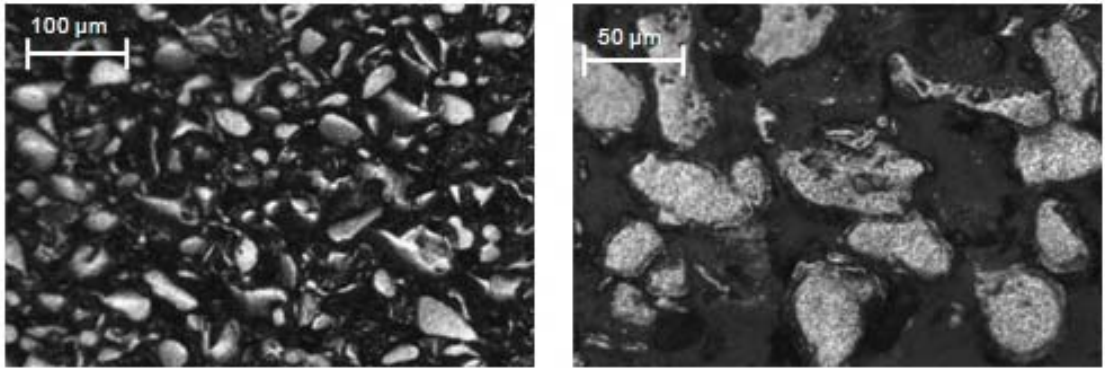
Şekil 6.7. Kesme aparatı

6.11. Kaynak Bölgesinin Mikroyapı İncelemesi

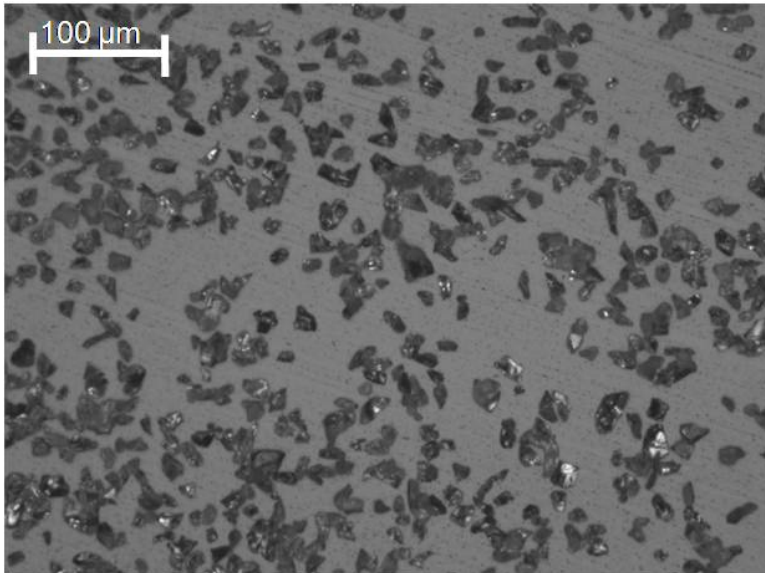
Kesme testi sonuçlarını yorumlayabilmek için her sıcaklık ve sürede kaynatılan 9 adet numunenin kaynak bölgesi üzerinden metalografi çalışması yapılmıştır. Öncelikle numuneler soğuk gömmeye alınmıştır. Daha sonra numuneler 240-1200 aralığında zımparalarda zımparalandıktan sonra parlatma keçesinde $1\ \mu\text{m}$ Al_2O_3 ile parlatılmıştır. Metalografi için hazırlanmış numunelerin yüzeylerinden değişik büyütmelerde (50, 100, 200) optik mikroskopta fotoğraflar çekilerek numunelerin kaynak ara yüzeyleri incelenmiştir.

7. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Kompozit malzeme üretiminde kullanılan saf alüminyumun mekanik alaşımlama öncesi optik mikroskop ile yapılan metalografik incelemeleriyle elde edilen değişik büyütmelerdeki fotoğraflar çekilmiştir (Resim 7.1). Atomizasyon yöntemiyle üretilen alüminyum tozun parçacık şeklinin tam küresel olmadığı görülmektedir. Takviye elamanı olarak kullanılan alüminanın toz parçacık şekli ise keskin köşeli bir geometrik şekle sahip olduğu görülmektedir (Resim 7.2).

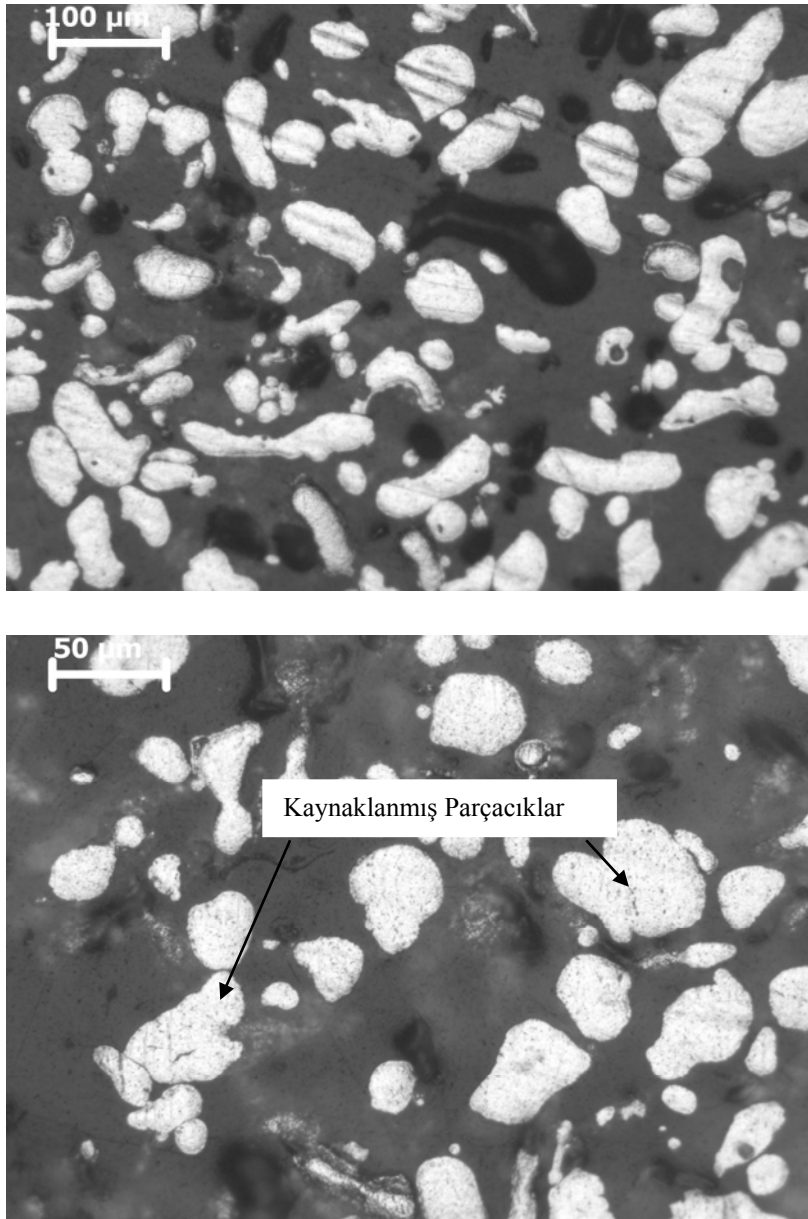


Resim 7.1. Al tozlarının optik mikroskop fotoğrafları



Resim 7.2. Al₂O₃ tozlarının optik mikroskop fotoğrafları

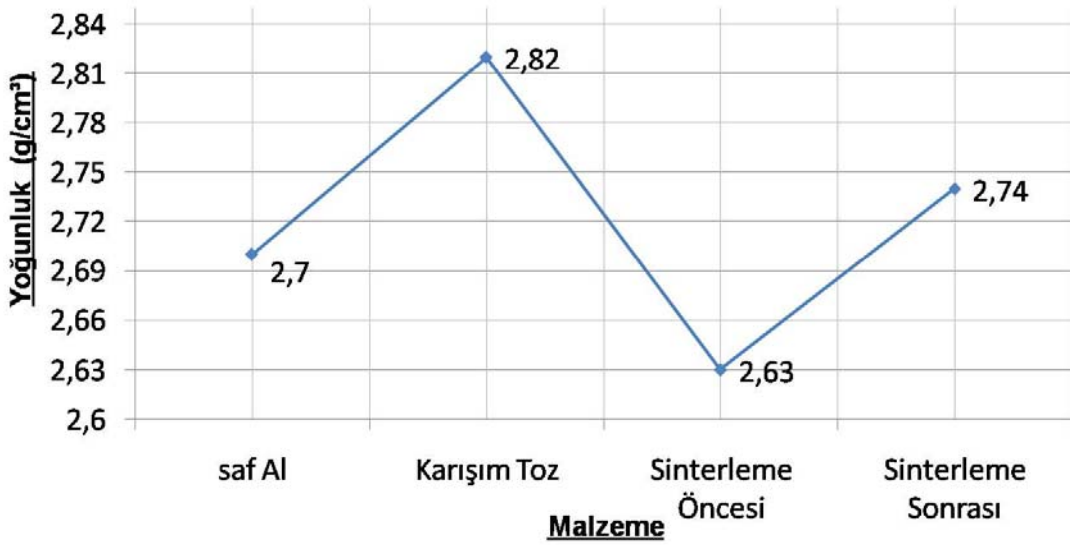
Karışım tozun mekanik alaşımlama sonrası toz tane boyutu ortalama değeri 73,38 μm olarak ölçülmüştür. Bu sonuç alüminyum toz parçacıklarının deforme olduğunu ve kısmen birbirine kaynaklanarak boyutlarında ciddi bir artış olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda toz tane şekilleri küreselden biraz daha ayrılarak çubuksu görünüme geçmiştir (Resim 7.3).



Resim 7.3. Alaşımlama sonrası karışım tozdaki kaynaklanma

7.1. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları

Presleme sonrası kompozit malzemenin ham yoğunluk değeri $2,635 \text{ g/cm}^3$ olarak ölçülmüştür. Bu değer karışım tozun ortalama teorik yoğunluğuna ($2,82 \text{ g/cm}^3$) karşılık % 93'lük bir yoğunluğu ifade etmektedir. Sinterleme sonrası yoğunluk ise $2,741 \text{ gr/cm}^3$ olarak ölçülmüş ve bu sonuç % 97' lik bir yoğunluğa karşılık gelir. Sonuçlardan da anlaşıldığı üzere sinterleme ile kompozit numunede % 4'lük bir yoğunluk artışı sağlanmıştır (Şekil 7.1). Bu artışın sebebi sinterleme esnasında, her bir toz parçacığının birbirine temas noktasında difüzyon yolu ile kimyasal bağlanmanın meydana geldiğini göstermektedir. Kuşkusuz bu sinterleşmeye mekanik alaşımlama ile her bir toz parçacığına yüklenen iç enerji artışı da olumlu katkı sağlamıştır.



Şekil 7.1. Yoğunluk ölçüm sonuçlarındaki değişim grafiği

7.2. Kesme Testi Sonuçları

Kesme testi uygulanan numuneler saf Al, kompozit ve kaynaklı numuneler olmak üzere üç gruptur. Önce saf Al' in, sonra üretilen kompozit malzemenin (% 90 Al + %10 Al_2O_3), son olarak ta kaynağı yapılan numunelerin kaynak bölgesinden olmak üzere, her uygulama 3 adet numune üzerinden gerçekleştirilmiş ve ortalama değerleri kesilme mukavemeti alınmıştır.

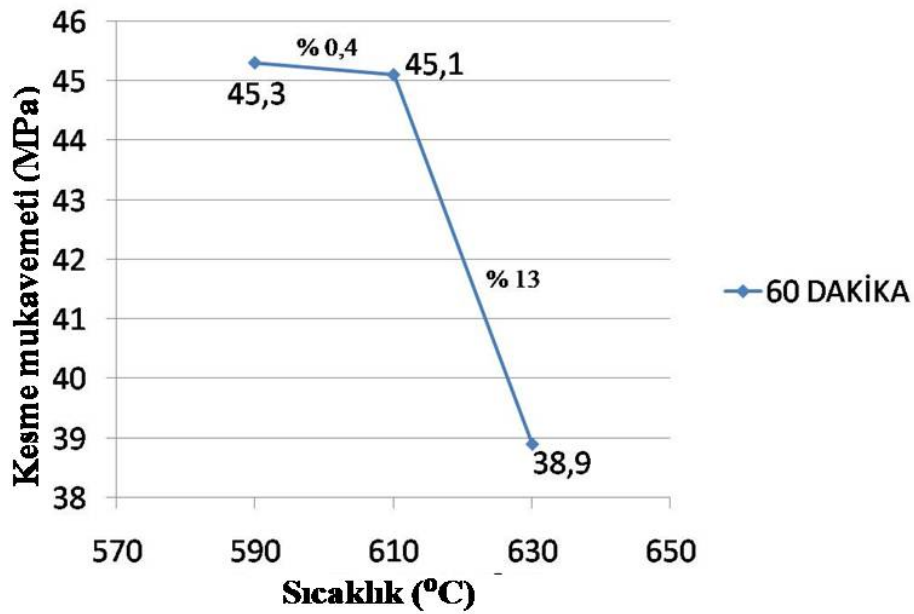
Çizelge 7.1. Kompozit ve alüminyum malzemenin kesme testi sonuçları

Malzeme	Kesilme Mukavameti (MPa)
Kompozit	50
Alüminyum	121

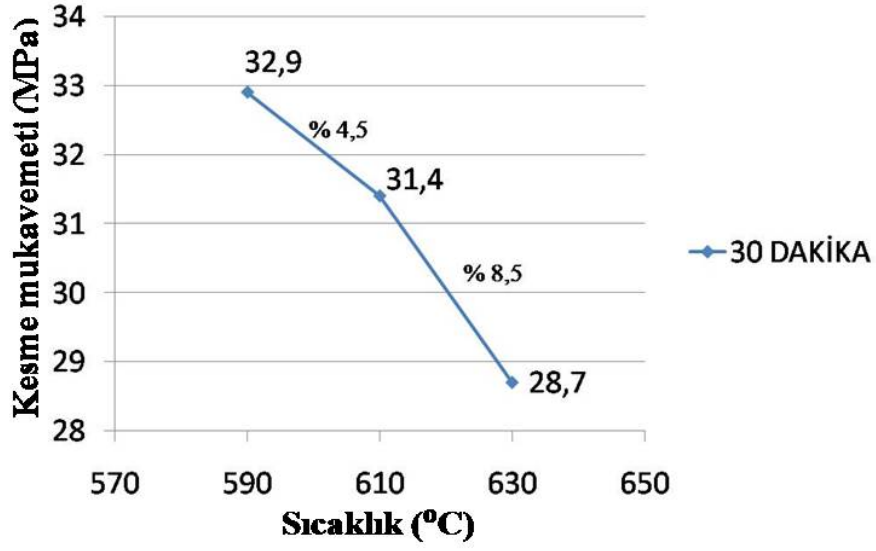
Kesme anında presin uyguladığı yük artmakta ve belli bir aşamada numune tamamen kesilmemesine rağmen presin kesme için uyguladığı yük azalmakta ve bir süre sonra pres yük uygulamayı kesmektedir. Bunun nedeni tıpkı çekme numunelerindeki maksimum çekme sonrası görülen durumdur. İlk başta numunenin bütün kesiti kesilmeye karşı direnç gösterirken numune bir miktar kesildiğinde kesit küçülmekte ve yük artmaksızın plastik deformasyonla numune kesilmeye devam etmektedir. Kesme testi uygulamalarında öncelikle kompozit malzemenin kesilme direncine bakıldı. Bunun nedeni kaynak bölgelerinin kesilme direncini daha iyi yorumlayabilmek içindi. Çünkü literatürdeki benzer çalışmalara [Erden, 2005; Taşkın ve Çalığüllü, 2008; Babayev, 2007; Bilgin, 2007] baktığımızda kaynaklı ara yüzeylerde ana malzemenin %70–80 kadar kesilme direnci iyi sonuç olarak değerlendirilmektedir. Yapılan kesme testlerinde her üç numune için elde edilen kesilme değerlerinin ortalamaları Çizelge 7.1 ve 7.2’de verilmiştir. Aynı zamanda değişik parametrelere göre elde edilen kesilme değerleri grafikler halinde de gösterilmektedir (Şekil7.2-7.9).

Çizelge 7.2. Kaynaklı numunelerin kesme test sonuçları

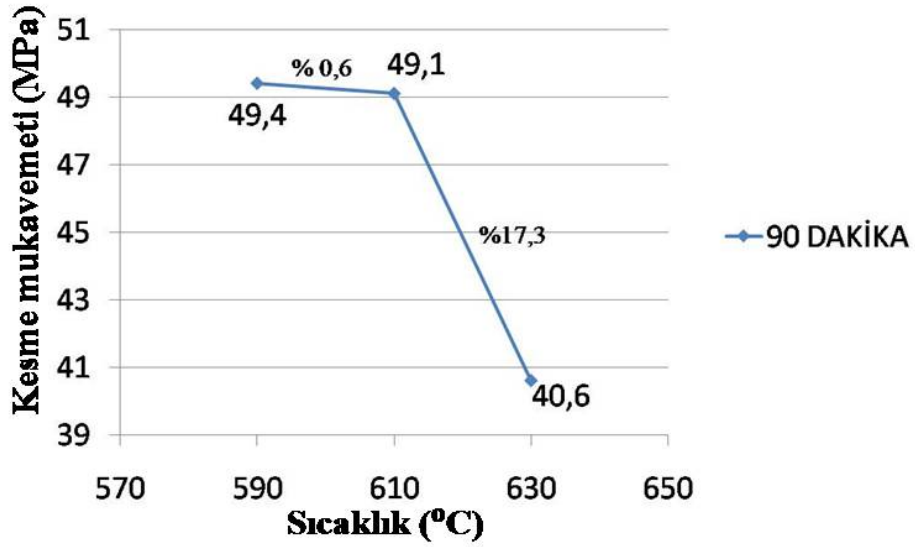
Deney Sıcaklığı (°C)	Kaynak süresi (Dakika)	Kaynak Basıncı MPa	Ortalama Kesme Mukavemeti (MPa)
590	30	5	32,9
590	60	5	45,3
590	90	5	49,4
610	30	5	31,4
610	60	5	45,1
610	90	5	49,1
630	30	5	28,7
630	60	5	38,9
630	90	5	40,6



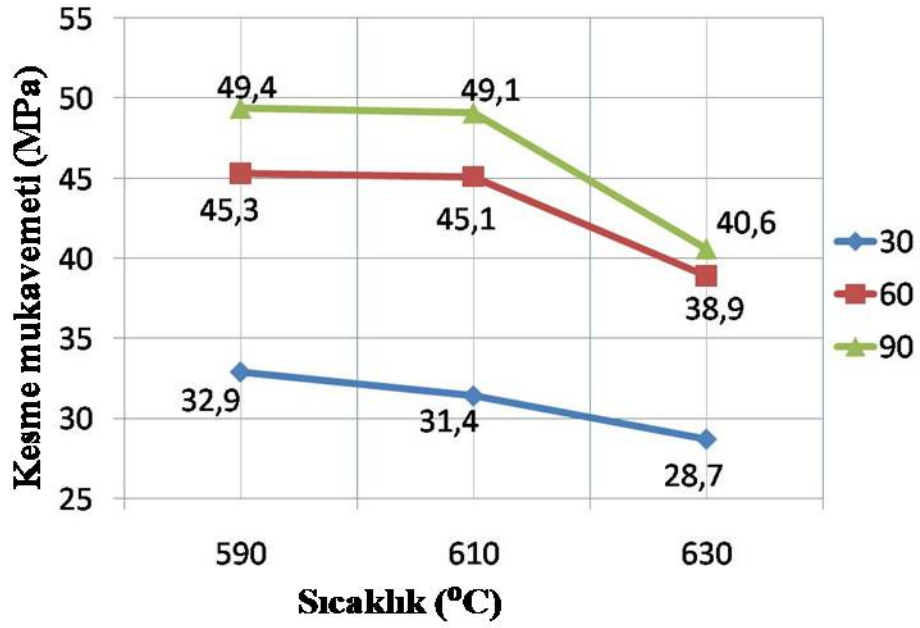
Şekil 7.2. 5 MPa basınç altında, 30 dakika süreyle değişik sıcaklıklarda kaynatılan numunelerin kaynak bölgesi kesme testi sonuçları



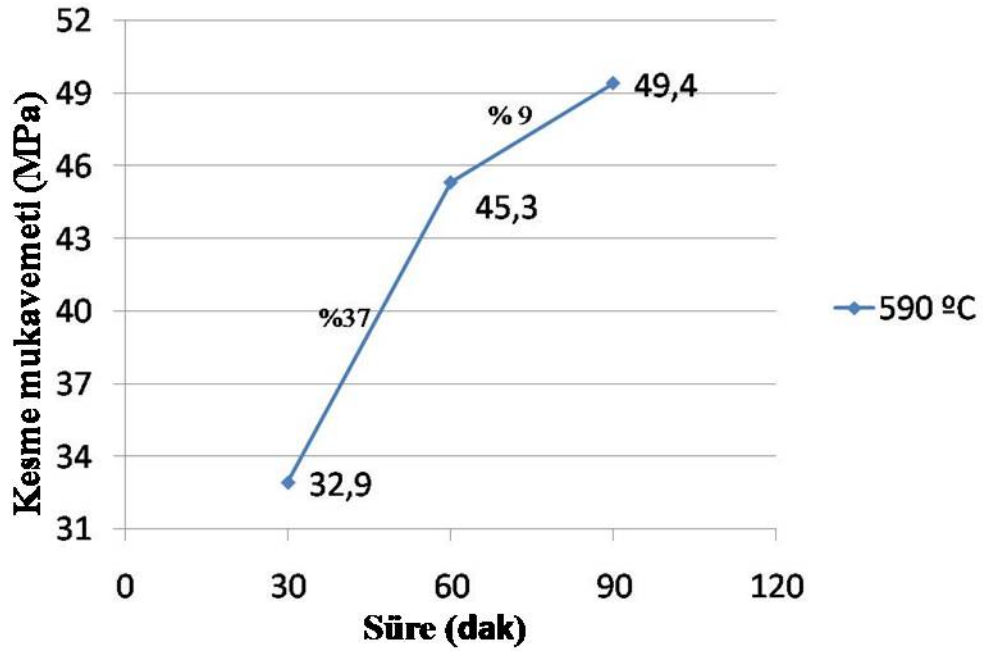
Şekil 7.3. 5 MPa basınç altında, 60 dakika süreyle değişik sıcaklıklarda kaynatılan numunelerin kaynak bölgesi kesme testi sonuçları



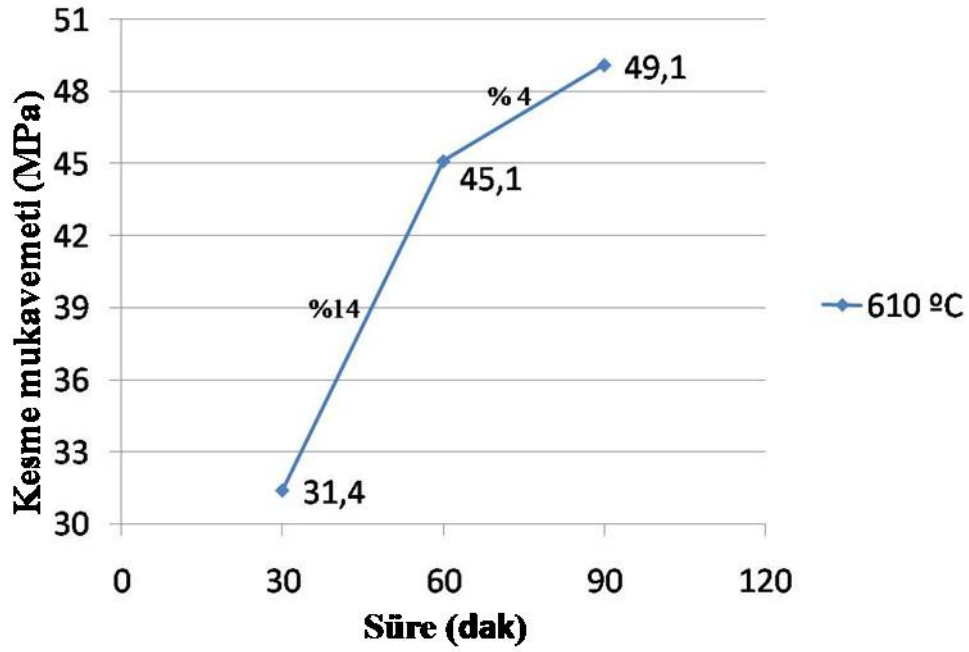
Şekil 7.4. 5 MPa basınç altında, 90 dakika süreyle değişik sıcaklıklarda kaynatılan numunelerin kaynak bölgesi kesme testi sonuçları



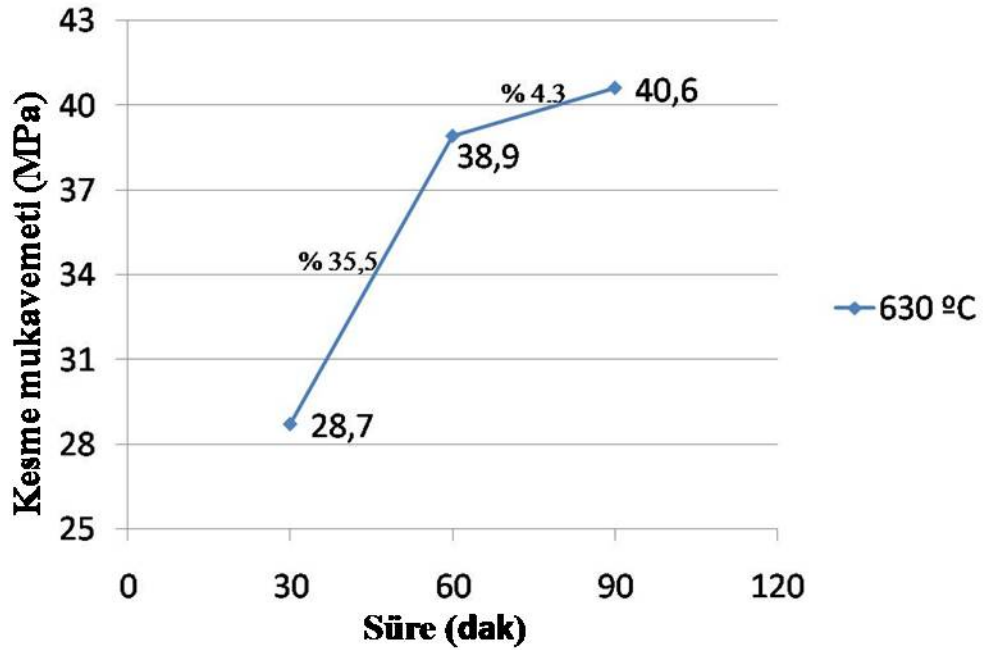
Şekil 7.5. 30-60-90 Dakikalık sürelerde kaynaklanan numunelerin, artan sıcaklıkla birlikte kesilme mukavemetlerindeki değişim grafiği



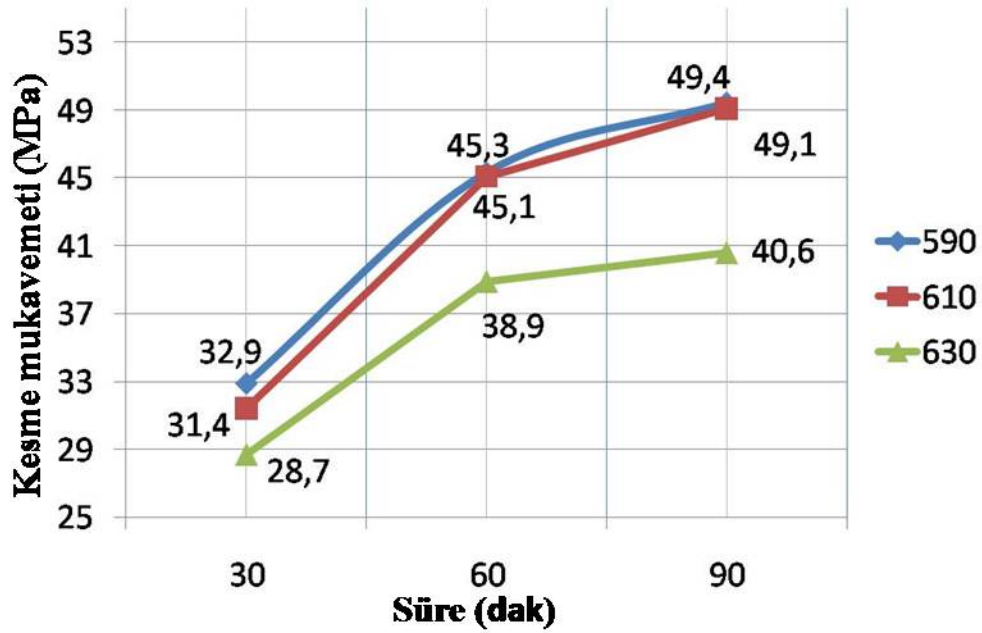
Şekil 7.6. 5 MPa basınç altında, 590 °C sıcaklıkta, değişik sürelerde difüzyon kaynağı sonrası, kesme testi sonuçları



Şekil 7.7. 5 MPa basınç altında, 610 °C sıcaklıkta, değişik sürelerde difüzyon kaynağı sonrası, kesme testi sonuçları



Şekil 7.8. 5 MPa basınç altında, 630 °C sıcaklıkta, değişik sürelerde difüzyon kaynağı sonrası, kesme testi sonuçları



Şekil 7.9. 590-610-630 °C Sıcaklıklarda kaynaklanan numunelerin, artan süreyle birlikte kesilme mukavemetlerindeki değişim grafiği

Şekil 7.2; 30 dakika süreyle değişik sıcaklıklarda yapılan difüzyon kaynaklarında kaynak süresi değişmezken sıcaklıktaki artışa bağlı olarak numunelerin kesilme mukavemet değerleri ciddi olarak düşmektedir. 590 °C’de 30 dakika süreyle yapılan kaynaklı numunenin kesilme mukavemeti ana kompozit malzemenin yaklaşık % 66’sı kadardır. Oysa bu değer 610 ve 630 °C’ lik kaynak süreleri için sırayla % 63 ve % 57 olarak bulunmuştur.

Şekil 7.3’ e bakıldığında ise 60 dakika süreyle değişik sıcaklıklarda yapılan kaynak numunelerinin tamamında 30 dakikalık uygulamalara göre ciddi artışlar meydana gelmiştir. Özellikle 590 °C’de kaynak yapılan numunelerin ortalama kesilme mukavemet değeri 45,3 MPa bulunmuştur. Bu sonuç ana kompozitin yaklaşık % 91’lik kesilme mukavemet değerine karşılık gelmektedir. Bu çok ciddi bir artış olup, diğer sıcaklıklarda yapılan kaynak numuneleri de benzer mukavemet artışları göstermiştir.

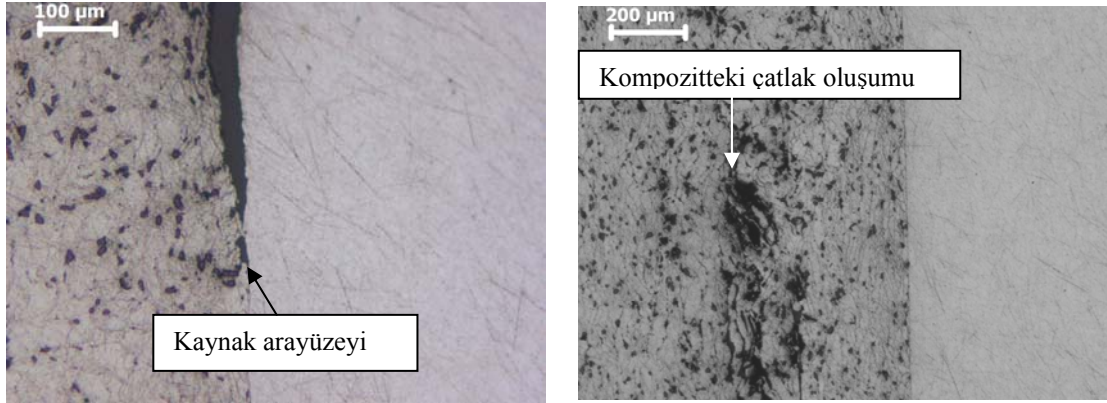
Şekil 7.4’ de bakıldığında ise 90 dakikalık sürede değişik sıcaklıklarla kaynatılan numunelerin tamamı, diğer 30 ve 60 dakika sürelerle göre kesilme mukavemetlerinde artış devam etmiştir. 590 °C’ de kaynatılan numunelerin ortalama kesilme mukavemet değeri 49,4 MPa, 610 °C’ de 49,1 MPa, 630 °C’ ise 40,6 MPa olarak bulunmuştur. Bu değerlerin diğer sürelerde yapılan kaynakların kesilme mukavemet sonuçlarına göre çok daha yüksek olduğu görülmektedir.

90 dakika süreyle 590 ve 610 °C sıcaklıklarda kaynak yapılan numunelerde kompozit malzemenin kesilme mukavemetine yakın değerler elde edilmiştir. Bütün bu sonuçlar kaynatılan numunelerde bütün sıcaklıklarda geçerli olmak üzere kaynak süresindeki artışla birlikte kaynak bölgesi kesilme mukavemet değerlerinin arttığını göstermektedir.

Yapılan kaynaklarda diğer değişken kaynak sıcaklığı olup, kaynak uygulamaları 590, 610 ve 630 °C sıcaklıklarda yapılmıştır. Literatürdeki benzer çalışmalara [Ay ve Otmanbölük., 1997; Çelik ve Ay, 1999] bakıldığında özellikle 610 ve 630 °C sıcaklıklar yüksek görünmekte. Benzer çalışmalarda genellikle 550–560–570 °C gibi kaynak sıcaklıklarında kaynak yapılmış durumda. Bu çalışmada ise 30 dakika süre, 5 Mpa yük altında ve 570 °C’de yapılan kaynak uygulamaları iyi sonuçlar vermemiştir. Bunun üzerine 590 °C ve üzeri sıcaklıklarda kaynak uygulamaları gerçekleştirilmiştir. En yüksek kaynak kesilme mukavemet değerleri 590 °C’de kaynatılan numunelerde görülürken 610 °C’de yapılan kaynaklı numunelerin kesilme test sonuçları küçük düşüşlerle 590 °C’deki sonuçlara yakın çıkmıştır.

Oysa 630 °C’de gerçekleştirilen kaynakların kesilme mukavemet değerlerinde 610 °C’ye göre 30 dakika süreli kaynaklarda % 8,5 ; 60 dakika süreli kaynaklarda % 13’lük ve 90 dakika süreli kaynaklarda %17,31’lik kesilme mukavemet değerleri düşüşleri gerçekleşmiştir. Bu düşüşler çok yüksek olup bir miktar literatürle çelişiyor görülmektedir. Çünkü literatürde artan sıcaklıkla birlikte difüzyonunda arttığı söylenmektedir. Kaynak ara yüzeyinde yapılan metalografi çalışmaları özellikle 90 dakika süreyle 630 °C’de yapılan kaynaklarda daha iyi kaynaklanma olduğunu,

kesme anında kaynak ara yüzeyinin, kompozit malzemenin kesilme direncinden daha fazla bir mukavemet gösterdiğinde, kesilmenin kaynak ara yüzeyi yerine kompozit üzerinden gerçekleştiğini göstermektedir (Resim 7.4).

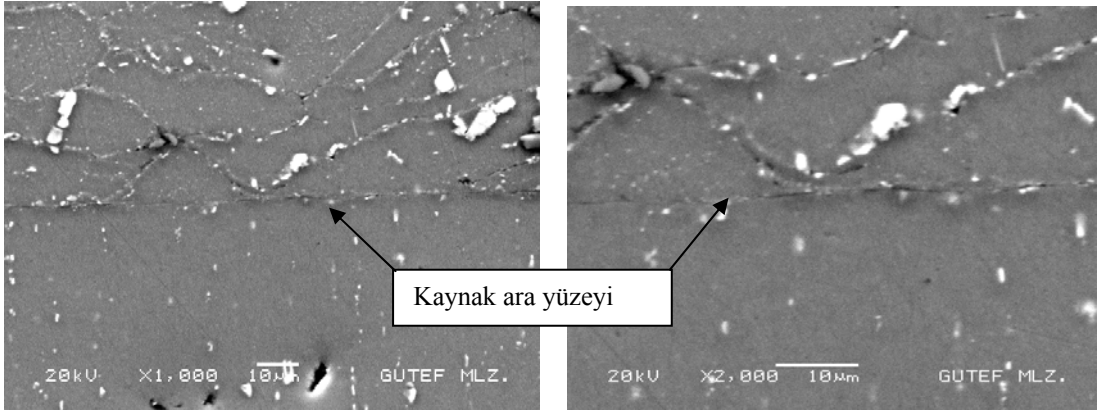


Resim 7.4. 630 °C Sıcaklık - 90 dakika sürede kaynatılan numunenin kesme testi sonrası görünümü

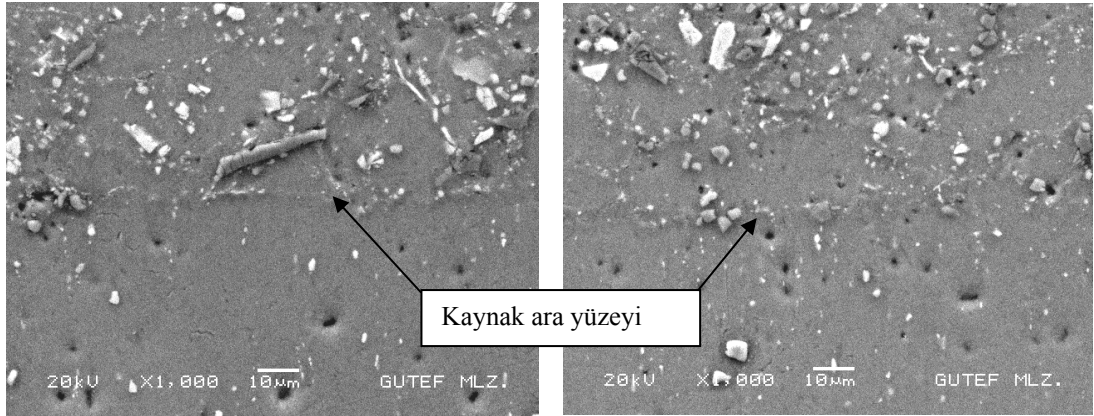
Ayrıca 630 °C’de kaynak yapılan numunelerin bazılarında ve alüminyum kısmında numunelerin bir miktar deforme oldukları gözlemlendi. Bu bakımdan bu çalışmada kullanılan malzemeler için 630 °C sıcaklığın uygun bir sıcaklık olmadığını rahatlıkla söyleyebiliriz.

7.3. Kaynak Bölgesinin Mikroyapı İncelemeleri

Difüzyon kaynağı sonrasında numunelerin kaynak bölgeleri optik ve elektron mikroskopta incelenmiş, fotoğrafları çekilerek aşağıda verilmiştir. Numunelerdeki kaynaklanma ile birleşme ara yüzeyleri, sıcaklık ve kaynak süresine göre değişiklik göstermektedir. Kaynak ara yüzeylerindeki belirginlik, kaynaklanma ve difüzyonla ters orantılı olarak kendini göstermektedir. Difüzyonun artmasıyla, kaynaklanma artmış ve buna ters orantılı olarak kaynak ara yüzeyinin belirginliği azalmıştır (Resim 7.5-7.6).

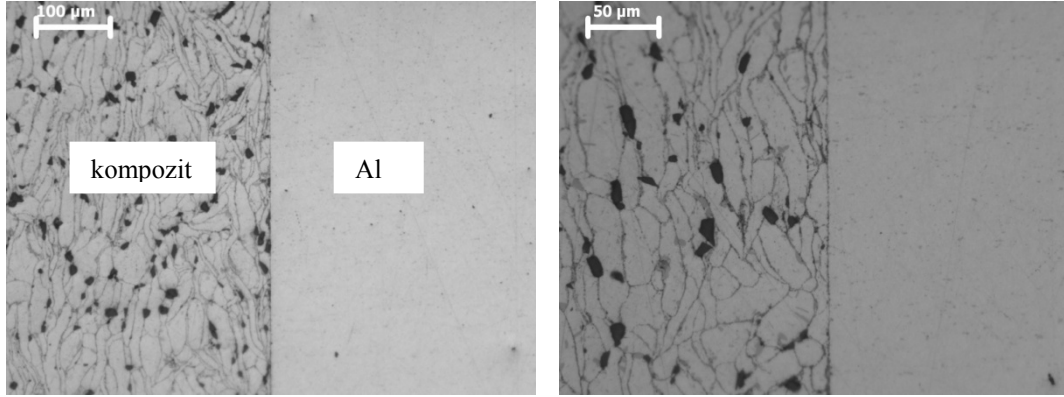


Resim 7.5. 590 °C Sıcaklık - 90 dakika sürede kaynatılan numunenin kaynak ara yüzeyinin SEM görüntüleri

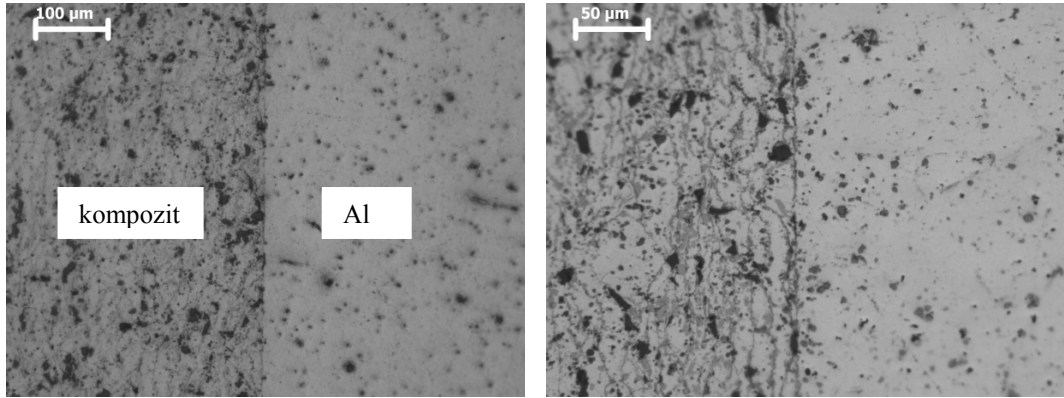


Resim 7.6. 630 °C Sıcaklık - 90 dakika sürede kaynatılan numunenin kaynak ara yüzeyinin SEM görüntüleri

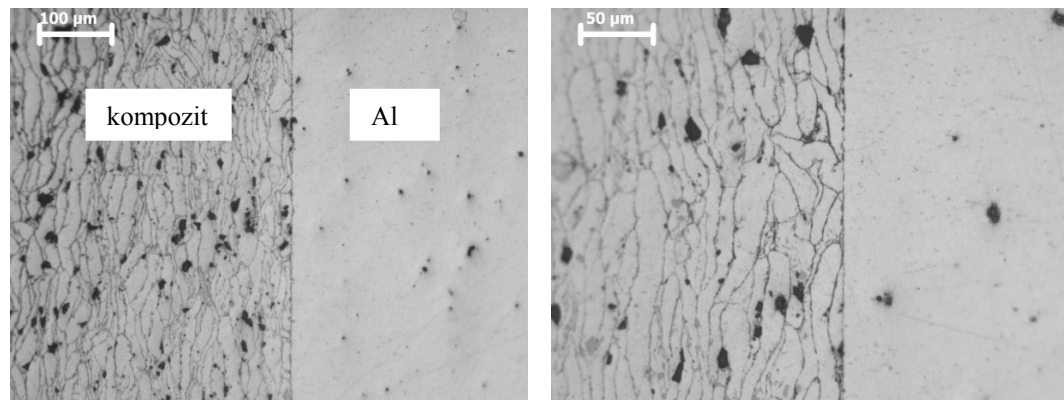
Her üç kaynak sıcaklığında da kaynak süresinin artması, kaynak ara yüzeylerindeki belirginliği azaltmıştır. Bunun nedeni olarak, süre ile difüzyonun arttığı, difüzyonun artmasıyla da kaynaklanmanın arttığı ve kaynak ara yüzey belirginliğinin azaldığı görülmüştür. Kaynak sıcaklığının kaynak ara yüzeyi üzerindeki etkisini de fotoğraflarda görebilmekteyiz. Kaynak sıcaklığının artması, kaynak süresinin artması gibi kaynak ara yüzey belirginliğini azaltmıştır (Resim 7.4 - 7.15).



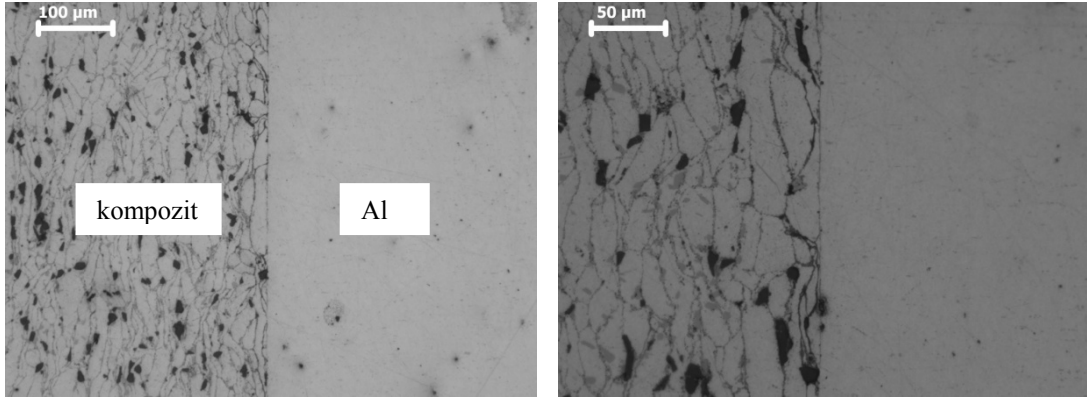
Resim 7.7. 590 °C Sıcaklık - 30 dakika sürede kompozit ve alüminyumun kaynak ara bölgesinin optik mikroskopta görünümü



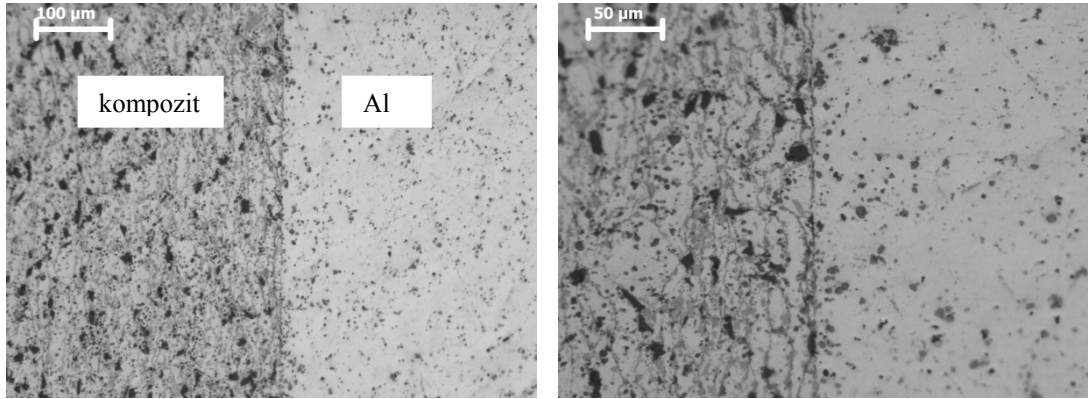
Resim 7.8. 590 °C Sıcaklık - 60 dakika sürede kompozit ve alüminyumun kaynak ara bölgesinin optik mikroskopta görünümü



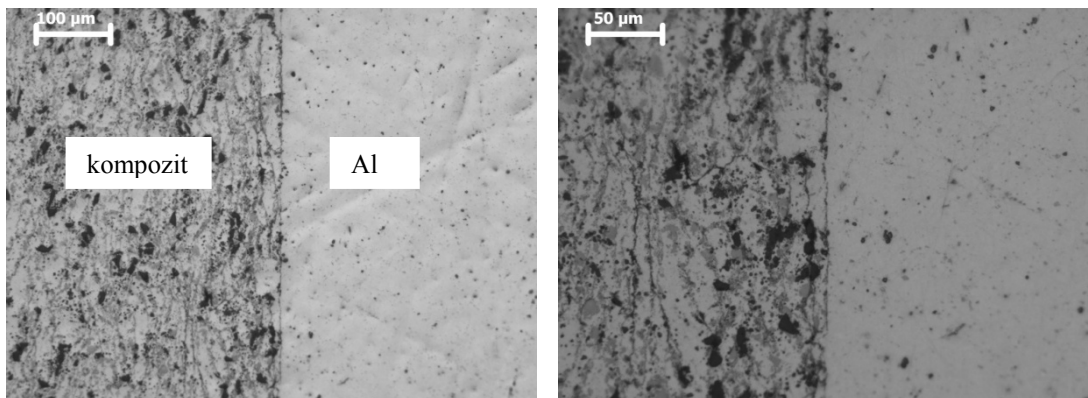
Resim 7.9. 590 °C Sıcaklık - 90 dakika sürede kompozit ve alüminyumun kaynak ara bölgesinin optik mikroskopta görünümü



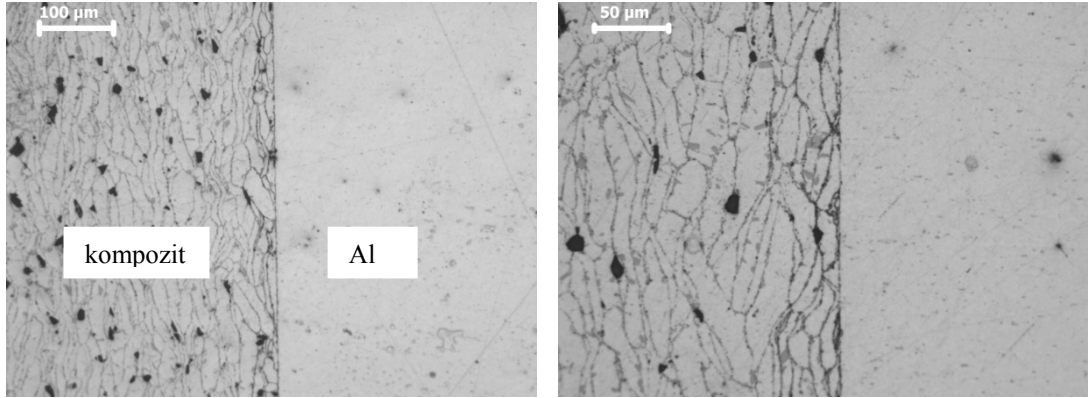
Resim 7.10. 610 °C Sıcaklık - 30 dakika sürede kompozit ve alüminyumun kaynak ara bölgesinin optik mikroskopta görünümü



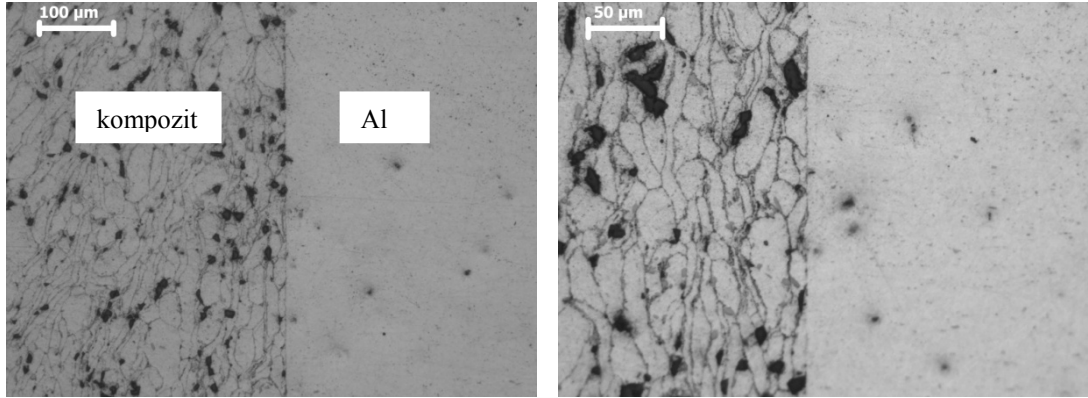
Resim 7.11. 610 °C Sıcaklık - 60 dakika sürede kompozit ve alüminyumun kaynak ara bölgesinin optik mikroskopta görünümü



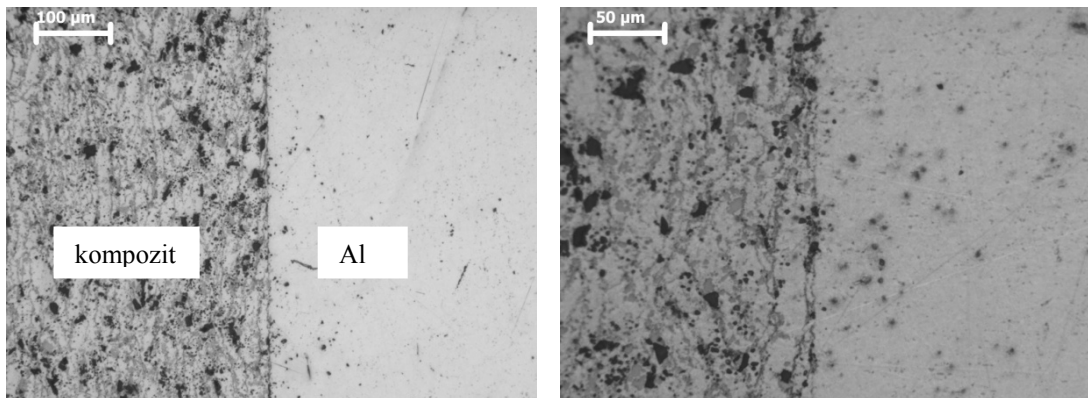
Resim 7.12. 610 °C Sıcaklık - 90 dakika sürede kompozit ve alüminyumun kaynak ara bölgesinin optik mikroskopta görünümü



Resim 7.13. 630 °C Sıcaklık - 30 dakika sürede kompozit ve alüminyumun kaynak ara bölgesinin optik mikroskopta görünümü



Resim 7.14. 630 °C Sıcaklık - 60 dakika sürede kompozit ve alüminyumun kaynak ara bölgesinin optik mikroskopta görünümü



Resim 7.15. 630 °C Sıcaklık - 90 dakika sürede kompozit ve alüminyumun kaynak ara bölgesinin optik mikroskopta görünümü

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada, Al esaslı Al_2O_3 içeren kompozit malzeme üretimi ve bu malzemenin saf Al malzemeye difüzyon kaynağı ile kaynaklanabilirliği konusunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Her üç kaynak sıcaklığında, artan kaynak süresiyle birlikte, kaynaklı numunelerin kesilme mukavemetinin arttığı görülmektedir.

Kaynaklanan numunelerde, üç kaynak sıcaklığında da kaynak süresinin artmasıyla kaynak ara yüzelerindeki belirginliğin azaldığı görülmüştür. Bunun nedeni olarak ta, süre ile difüzyonun doğru orantılı olarak arttığı, difüzyonun artmasıyla da kaynak ara yüzelerinin belirginliğinin azaldığı görülmüştür.

Numunelerin kesme testleri sonucu en yüksek değer $590\text{ }^{\circ}\text{C}$ 90 dakika süre ile kaynatılan numunede elde edilmiştir. Daha yüksek sıcaklıklarda kaynatılan numunelerin kesme testlerinde kaynak bölgesi yerine kompozit üzerinden kesilme eğilimi göstermiş bu durum mukavemet düşüşlerine sebep olmuştur.

Her üç süre içinde kendi içinde kaynak sıcaklığı artarken kaynaklı numunenin kesilme mukavemetinin düştüğü görülmektedir.

Bundan sonra bu malzemelerle yapılan difüzyon kaynağı çalışmalarında süre sabit basınç ve sıcaklık değişken olarak, çalışmalar yapılabilir.

Kaynak mukavemet değerlerini tespit için kesme testi yerine çekme testi uygulanabilir.

KAYNAKLAR

- Akarol, E., “Toz Metalurjisi yöntemi ile Al-SiC üretimi ve işlenebilirliğinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa, 7-23 (2003).
- Akdoğan, A., Görener, A., "AlSi7Mg₂ matrisli SiC partikül takviyeli kompozit malzemelerin korozyon davranışlarının incelenmesi", *Machinery-MakinaTek*, 125: 64-74 (2008).
- Aktaş, H., “Alüminyum matrisli Al₂O₃ parçacık takviyeli kompozitlerin mekanik alaşımlama yöntemiyle üretimi ve kuru aşınma davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 4-8 (2007).
- Askeland, D.R., “Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri”, Çeviri editörü, Mehmet Erdoğan, *Nobel Yayınları*, Ankara, 1: 76-93 (1998).
- Atasoy, E., “Titanyum ve düşük karbonlu çelik çiftinin arabağlayıcı kullanılarak difüzyon kaynağı ile birleştirilebilirliğinin araştırılması”, Bilim Uzmanlığı Tezi, *Zonguldak Kara Elmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 3-46 (2007).
- Atık, E., Meriç, C., Yavuz, N., “Demir esaslı T/M malzemelerin borlanması”, 3. *Uluslararası Toz Metalurjisi Konferansı*, Ankara, 1048-1053 (2002).
- Atmaca, A., “Çelik fiber takviyeli alüminyum metal matriksli kompozit plakaların elastro- plastik gerilme analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 24-30 (2006).
- Aybar, K., “Mekanik alaşımlandırma yöntemi ile hazırlanan Mg₅₀Ni₅₀ alaşımının amorfizasyon ve kristalizasyon özelliklerine işlem parametrelerinin etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 17-20 (2004).
- Ay, İ., Çelik, S., Otmanbölük, N., “Difüzyon kaynak aparatı ve koruyucu gaz (argon) atmosferi altında bir uygulama”, 7. *Denizli Malzeme Sempozyumu*, Denizli, 2-4 (1997).
- Aydın, M., “Gözenekli seramik malzeme ile paslanmaz çeliğin difüzyon kaynak yöntemiyle birleştirilmesi”, *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.*, 23 (3): 595- 599 (2008).
- Babayev, Y., “Bir kompresör gövdesi imalatının toz metalurjisi ve difüzyon kaynağı yöntemleri uygulanarak optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 33-52 (2007).

- Bağcı, C., “Mekanik alaşımlama ile üretilen Al-Al₄C₃ kompozit malzeme presleme basıncı ve sinterleme sıcaklığının mekanik özellikler üzerine etkisinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 5-8 (2002).
- Bahçeci, E., “Al matrisli α -Si₃N₃ takviyeli kompozit malzeme üretimi ve işlenebilirliğinin karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 4-32 (2006).
- Bishop, D.P., “Diffusion-based microalloying via reaction sintering”, Ph.D. Thesis, **Dalhousie University**, Nova Scotia, 10-42 (1998).
- Bilgin, B., “Ti-6Al-4V/304l malzeme çiftinin bakır ara tabaka kullanılarak difüzyon kaynağı ile birleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 28-39 (2007).
- Bilhan, S., “Alüminyum metal köpüklerinin difüzyon kaynağı (TLP) davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 2-15 (2005).
- Bostan, B., “Alüminyum-karbon tozlarından mekanik alaşımlama ve sonrası işlemlerle Al₄C₃ Sentezlenmesi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 5-19 (1999).
- Buytoz, S., “Alüminyum matrisli Al₂O₃ takviyeli kompozit malzemelerin katı hal birleştirme teknikleri ile kaynak edilebilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 3-35 (1999).
- Çakır, M., “Toz metal alüminyum malzemelerin sürtünme karıştırma kaynağı ile kaynaklanabilirliği”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 22-29 (2007).
- Çelik, S., “Koruyucu gaz altında saf alüminyum ve bakırın difüzyon kaynağı şartlarının belirlenmesi”, Doktora Tezi, **Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Balıkesir, 25-41 (1996).
- Çelik, S., Ay, İ., “Koruyucu gaz altında difüzyon kaynağı ve uygulaması”, **Tr, J. of Engineering and Environmental Science**, 23: 63-70 (1999).
- Demircioğlu, G., “Kısa cam elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemelerde elyaf boyutunun etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 3-19 (2006).
- Dikbaş, H., “Toz metalurjisi (TM) ile üretilmiş Ni-Ti alaşımlarının difüzyon kaynak yöntemiyle birleştirilebilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 30-44 (2005).

Ekinci, Ş.V., “Alümina takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzeme üretimi ve mekanik özelliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 17-28 (2007).

Elektrikçi, O., “Tig kaynağı ile birleştirilmiş demir esaslı T/M malzemelerin kaynak bölgesinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Manisa, 4-44 (2007).

Engin, Ç., “Değişik oranlarda SiC içeren alüminyum matrisli kompozitlerin birleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 3-10 (2007).

Erden, İ.O., “Alüminyum silisyumnitrür kompozit malzemenin difüzyon kaynağı ile kaynaklanabilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 33-37 (2005).

Eserci, D., “Alümina, zirkonya ve alümina-zirkonya kompozit malzeme üretimi, karakterizasyonu ve etkin difüzyon sabitinin bulunması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 3-8 (2007).

Ferit, I., “TiO₂ katkısının alüminanın sinterlenme davranışına etkisinin incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, 17-21 (2008).

Fındık, T., “Mekanik alaşımlama değirmeninde öğütülmüş 17-4 çökelti sertleştirilmiş paslanmaz çelik tozların karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 4-14 (2002).

Fidan, L., ”Saf alüminyum ve saf bakırın difüzyon kaynağında ara fazların oluşumu ve etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Balıkesir, 8-27 (2006).

German, R.M., “Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri”, Çeviri editörleri, Sarıtaş, S., Türker, M., Durlu, N., **T. T. M. D. Yayınları**, 05, Ankara, 2-11, 15-41, 59-65 (2007).

Girgin, İ., “Boksit dışı kaynaklardan alümina üretimi”, **Madencilik**, 23 (3): 1-5 (1984).

Güler, Ö., “Oksit takviyeli bakır kompozitin mekanik alaşımlama yöntemi ile üretilmesi ve elektriksel özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 3-8 (2006).

İpekoğlu, G., ”Difüzyon Kaynaklı TiAl alaşımlarının içyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Antakya, 1-34 (2003).

Kılınç, Y., “Demir bazlı süper alaşımların mekanik alaşımlama metodu ile üretilmesi ve özelliklerin araştırılması”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 5-18 (1999).

Koç, V., “Toz metalurjisi teknolojisi ile üretilen bir paslanmaz çelikte katkı elemanlarının aşınma direncine etkileri”, Doktora Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 18-21 (2006).

Koçer, S., “Yüksek krom nikel alaşımlı paslanmaz çelin alaşımsız düşük karbonlu çelik ile difüzyon kaynağının araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 2-29 (1998).

Kurt, A., “Toz metal bronz yatak malzemelerinin özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 5-29 (1992).

Kurt, A., “Toz metalden üretilmiş bronz yatağın düşük karbonlu çeliğe difüzyon kaynağı ile birleştirilmesi”, Doktora Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 34-56 (1996).

Mahmutoğlu, S.H., “Toz metalurjisi yöntemiyle yüzeyine karbür takviye edilmiş düşük karbonlu çeliklerin üretimi ve mikro yapısı”, Yüksek Lisans Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 3-13 (2006).

Meahara, Y., Komizo, Y., Langdon, T.G., “Principles of superplastic diffusion bonding”, **Materials Science and Technology**, 669 (4): 669-674 (1989).

Ozan, S., Çalığülü, U., Taşkin, M., Gür, A.K., Dikbaş, H., Çay, V.V., “Sıcak presleme yöntemiyle imal edilmiş sicp takviyeli alüminyum esaslı kompozitlerin difüzyon kaynağında sıcaklığın birleşme üzerindeki etkisinin incelenmesi”, **11. Denizli Malzeme Sempozyumu**, Denizli, 233-236 (2006).

Önel, K., “Süreksiz SiC katkılı alüminyum matrisli kompozitler”, **Metallurji Dergisi**, Ankara, 46-53 (1995).

Özdemir, T., “Bor karbür esaslı seramik metal kompozitlerinin ultrases dalga hız metodu ile ortalama tanecik boyutlarının tayini”, Yüksek Lisans Tezi, **Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Afyon, 25-28 (2006).

Özkan, S., “Alüminyum matrisli SiC parçacık takviyeli kompozitlerin mekanik alaşımlama yöntemiyle üretimi ve kuru aşınma davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 17-21 (2007).

Özkan, S., “Alüminyum matrisli SiC parçacık takviyeli kompozitlerin mekanik alaşımlama yöntemiyle üretimi ve kuru aşınma davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 20-34 (2007).

Porter, D.A., Easterling, K.E., “Phase Transformation in Metals and Alloys”, **2. Ed., Chapman and Hall Co.**, London, 25-40 (1993).

Schwartz, M.M., "Composite Materials Handbook", *McGraw-Hill Book Company*, Newyork, 52- 68 (1984).

Sümer, M., "Mekanik alaşımlama ile üretilen fe-fe₃ kompozit malzemede mekanik özelliklerin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 13-21 (2003).

Şahin Y., Murphy, S., "Friction and wear behaviour of unidirectional boron fibre-reinforced aluminium alloy", *7 th. International Machine Design and Production Conference*, 333-342, Ankara, 11-13 (1996).

Şahin, Y., "Kompozit Malzemelere Giriş", *Gazi Kitabevi*, Ankara, 1-3,7-15 (2000).

Somunkıran, İ., "Demir esaslı molibden, nikel, bakır katkılı toz metal alaşımlarının mekanik özelliklerine bakır oranının etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 23-30 (1999).

Taşkın, M., "Yüksek karbonlu çeliklerin süperplastik halde difüzyon kaynağı ile birleştirilebilirliğinin araştırılması", Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 36-48 (2000).

Tokdemir, M., "Lazer kaynağı ile birleştirilmiş demir esaslı T/M malzemelerin kaynak bölgesinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi", Doktora Tezi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa, 7-23 (2007).

Taşkın, M., Kejanlı, H., Fırat, E.H., Çalgülü, U., "T/M Yöntemiyle üretilmiş Ni-Ti-Cu alaşımlarının TLP difüzyon kaynağında Ni ve Cu folyo arasındaki mikrosertlik değerlerinin istatistikî olarak incelenmesi", *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, 20 (2): 379-388 (2008).

Toptan, F., "Alüminyum matrisli B₄C takviyeli kompozitlerin döküm yöntemi ile üretimi", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2-65 (2006).

Uzun, M.B., "Sürtünme kaynak makinasının imalatı ve kullanılabilirliği", Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 1-6 (2007).

Wadsworth, J., Lesuer, D.R., "Ancient and modern laminated composites - from the great pyramid of gizeh to Y2K", *International Metallographic Society Conference*, Cincinnati, 3-13 (1999).

Yıldırım, B.Z., "Difüzyon kaynağının demir dışı hafif malzemelere uygulanması", Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 1-36 (2001).

Yılmaz, N., “Demir esaslı toz metal malzemelerin talaşlı islenebilirliği”, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 41-73 (2006).

Yılmaz, O., “Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen kesici uçların proses, yapı ve mekanik özellik ilişkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-4 (2006).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SANDAL, Ramazan
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 01.07.1981 Mersin
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 506 285 97 81
e-mail : sandalramazan@yahoo.com

Eğitim Derece

Yüksek lisans

Lisans

Lise

Eğitim Birimi

Gazi Üniversitesi/Metal Eğitim

Gazi Üniversitesi/Metal Eğitim

Atatürk Endüstri Meslek Lisesi

Mezuniyet tarihi

2009

2006

1998

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Yüzme, Fotoğraf, Kitap