

**TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN Al-SiC_p KOMPOZİTLERİN
DİFÜZYON KAYNAK KABİLİYETLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Hamza KÜÇÜKKARA

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metal Eğitimi Anabilim Dalında
Bilim Uzmanlığı Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

KARABÜK

Haziran 2008

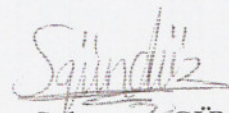
KABUL:

Hamza KÜÇÜKKARA tarafından hazırlanan "TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN Al-SiC_p KOMPOZİTLERİN DİFÜZYON KAYNAK KABİLİYETLERİNİN ARAŞTIRILMASI" başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalında Bilim Uzmanlığı Tezi olarak oybirliğiyle (veya oyçokluğuyla) kabul edilmiştir. 29/08/2008

<u>Unvanı, Adı SOYADI</u>		<u>İmzası</u>
Başkan : Doç. Dr. Nizamettin KAHRAMAN	(KBÜ)	
Üye : Doç. Dr. Mustafa ACARER	(KBÜ)	
Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa AYDIN	(DPÜ)	

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım 19/09/2008


Doç. Dr. Süleyman GÜNDÜZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

İmzası
Hamza KÜÇÜKKARA

ÖZET

Bilim Uzmanlığı Tezi

TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN Al-SiC_p KOMPOZİTLERİN DİFÜZYON KAYNAK KABİLİYETLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Hamza KÜÇÜKKARA

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metal Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mustafa ACARER

Haziran 2008, 79 sayfa

Bu çalışmada toz metalurjisi (TM) yöntemiyle Al-SiC_p kompozit üretilmiş ve üretilen numuneler difüzyon kaynak yöntemiyle 6063 Al alaşımı ile birleştirilmiştir. Al-SiC_p kompozit üretimi için 45µm boyutunda Al tozu ile 23 µm boyutunda SiC_p tozları kullanılmıştır. Bu amaçla ağırlıkça %95, %90, %80 ve %60 Alüminyum tozu ile %5, %10, %20 ve %40SiC_p tozları önce preslenmiş daha sonra argon atmosferinde sinterlenmiştir.

Al-SiC_p-6063 Al alaşımının difüzyon kaynak işlemi argon atmosferinde 600 °C'de 3,5 saat ve 2 MPa basınç uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Kaynak işleminden sonra numuneler mikroyapı incelemelerine ve mekanik testlere tabi tutulmuştur. Mikroyapı incelemesi optik mikroskop, SEM ve EDS analizini içerirken, mekanik test karakterizasyonu da mikrosertlik ölçümü ve kesme-makaslama testlerini içermektedir. Ayrıca hem TM ile üretilen numuneler hem de difüzyon kaynağı ile birleştirilmiş numuneler NaCl solüsyonunda Gamry PC4/300mA korozyon cihazında korozyon testine tabii tutulmuştur.

ÖZET(devam ediyor)

Deney sonuçlarında genel olarak, kompozitin homojen bir karışıma sahip olduğu, SiC_p artışıyla sertliğin arttığı ve SiC_p artışıyla kesme-makaslama mukavemetinin azaldığı görülmüştür. Korozyon testi sonuçları ise SiC_p artışıyla korozyon direncinin arttığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Toz metalurjisi, difüzyon kaynağı, metal matrisli kompozit

Bilim Kodu: 626.20.01

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE INVESTIGATION OF THE DIFFUSION WELDING CAPABILITY OF THE Al-SiC_p COMPOSITES PRODUCED THROUGH POWDER METALLURGY METHOD

Hamza KÜÇÜKKARA

**Karabük University
Institute of Physical Sciences
Department of Metal Education**

Thesis Advisor: Ass. Prof. Mustafa ACARER

June, 2008, 79 pages

In this study, Al-SiC_p composites were produced through powder metallurgy (PM) method and the samples produced were combined through diffusion welding method with 6063 Al composite. In order to produce Al-SiC_p composite, 45µm Al powder and 23 µm SiC_p powders were used. For that end, according to their weights 60%, 80%, 90% and 95% Aluminium powder and 5%, 10%, 20%, 40% SiC_p powders were first moulded and then they were sintered in argon atmosphere.

Diffusion welding process of the Al-SiC_p-6063 Al composite was realized by applying 2 MPa pressure, in 600 °C in argon atmosphere for 3,5 hours. After the welding process, the samples were exposed to micro structure examinations and to mechanic tests. While the micro structure examination involved optic microscope, SEM and EDS analyses; mechanic test characterization involved micro hardness measure and cutting- shearing tests. In addition,

ABSTRACT (continued)

both the samples produced through PM and the samples combined through diffusion welding were exposed to corrosion test in NaCl solution in Gamry PC4/300mA corrosion device.

In general, the experiment results showed that the composite had a homogeneous mixture; the hardness increased through the increase in SiC_p and the cutting-shearing strength decreased through the increase in SiC_p . The results of the corrosion test showed that the corrosion resistance increased through increase in SiC_p .

Key words: Powder metallurgy, diffusion welding, composite with metal matrix

Science Code : 626.60.01

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen danışman hocam sayın Doç. Dr. Mustafa ACARER'e teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Deneysel çalışmalarım sırasında değerli tecrübe ve desteklerinden dolayı Doç. Dr. Nizamettin Kahraman'a, Yrd. Dç. Dr. Yunus TÜREN'e ve Yrd. Dç. Dr. Hayrettin AHLATÇI'ya teşekkür ederim. Laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen araştırma görevlisi arkadaşlarıma, ayrıca çalışmalarım esnasında her türlü desteklerini esirgemeyen başta Metal Eğitimi Anabilim Dalı Başkanı sayın Prof Dr. Ercan CANDAN olmak üzere bütün bölüm hocalarıma ayrı ayrı teşekkürlerimi arz ederim.

Çalışmalarımda yardımlarından dolayı Endüstri Meslek Lisesi Makine Teknolojisi Teknisyeni Mevlüt EVGİN beye teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak her türlü destek ve yardımı esirgemeyen değerli eşim Ayşe KÜÇÜKKARA' ya teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
AKADEMİK VE ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI.....	iii
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	ix
İÇİNDEKİLER.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xix
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 KOMPOZİT MALZEMELER.....	3
2.1 KOMPOZİT MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI.....	4
2.1.1 Matris Malzemesine Göre Kompozitler.....	4
2.1.1.1 Polimer Matrisli Kompozitler.....	4
2.1.1.2 Seramik Matrisli Kompozitler.....	4
2.1.1.3 Metal Matrisli Kompozitler.....	4
2.1.2 Takviye Malzemesine Göre Kompozitler.....	5
2.1.2.1 Partikül Takviyeli Kompozitler.....	5
2.1.2.2 Fiber Takviyeli Kompozitler.....	6
2.1.2.3 Tabakalı Kompozitler.....	6
2.2 METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLER.....	7
2.2.1 Metal Matrisli Kompozitlerde Kullanılan Matris Malzemeleri.....	9
2.2.1.1 Al, Al Alaşımları ve Al Tozları.....	10
2.2.2 Metal Matrisli Kompozitlerde Kullanılan Takviye Elemanları.....	12
2.2.3 Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri.....	14
2.2.3.1 Toz Metalurjisi Tekniği ile MMK Üretimi.....	15
2.2.4 Metal Matrisli Kompozitlerin Uygulama Alanları.....	16

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 3 DİFÜZYON KAYNAĞI	21
3.1 KATILARDA DİFÜZYON	25
3.2 DİFÜZYONDA ATOMİK MEKANİZMALAR.....	27
3.2.1 Yer Alan Difüzyonu.....	27
3.2.2 Ara Yer Difüzyonu.....	28
3.3 DİFÜZYON KAYNAĞINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER.....	29
3.3.1 Kaynak Sıcaklığı	30
3.3.2 Kaynak Süresi	31
3.3.3 Kaynak Basıncı	32
3.3.4 Diğer Faktörler	33
3.3.4.1 Yüzey Şartları	33
3.3.4.2 Kaynak Ortamı (Atmosferi)	35
3.3.4.3 Birleştirilecek Malzemelerin Mikro Yapıları ve Tane Boyutları.....	36
3.4 DİFÜZYON KAYNAĞI TEKNİKLERİ.....	38
3.5 DİFÜZYON KAYNAĞI UYGULAMA ALANLARI.....	38
BÖLÜM 4 KOROZYON.....	41
4.1 KOROZYON ÇEŞİTLERİ	41
4.1.1 Üniform Korozyon (Genel Korozyon).....	41
4.1.2 Çukur Korozyon.....	41
4.1.3 Galvanik Korozyon	42
4.1.4 Çatlak Korozyonu	42
4.1.5 Kabuk Altı Korozyon.....	42
4.1.6 Filiform Korozyon	42
4.1.7 Seçimli Korozyon.....	42
4.1.8 Taneler Arası Korozyon.....	43
4.1.9 Erozyonlu Korozyon	43
4.1.10 Aşınmalı Korozyon	43
4.1.11 Stres Korozyonu.....	43
4.1.12 Yorulmalı Korozyon	43
4.1.13 Kaçak Akım Korozyonu	44
4.1.14 Mikrobiyolojik Korozyon	44

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
4.2 ALÜMİNYUM ESASLI METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN KOROZYONU.....	44
BÖLÜM 5 DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	47
5.1 DENEYDE KULLANILAN MALZEMELER.....	47
5.2. TOZ METALURJİSİ İLE METAL MATRİSLİ KOMPOZİT ÜRETİMİ.....	47
5.3 DİFÜZYON KAYNAĞI İLE AL-SİC _p /AL (6063) ÜRETİMİ.....	49
5.4 MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİN KAREKTERİZASYONU1.....	51
5.4.1 Mikroyapı.....	51
5.4.2 Mekanik Testler.....	51
5.4.2.1 Sertlik.....	51
5.4.2.2 Kesme Makaslama.....	52
5.4.2.3 Korozyon Deneyleri.....	53
BÖLÜM 6 DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	55
6.1 MİKROYAPI KAREKTERİZASYONU.....	55
6.1.1 Kompozit Malzemelerin Mikroyapı İncelemeleri.....	55
6.1.2 Kaynaklı Birleştirmenin Mikroyapı İncelemeleri.....	58
6.2 MEKANİK TEST SONUÇLARININ KAREKTERİZASYONU.....	66
6.2.1 Mikro Sertlik Test Sonuçları.....	66
6.2.2 Kesme Makaslama Testi Sonuçları.....	68
6.3 KOROZYON DENEY SONUÇLARI.....	69
6.3.1 Açık Devre Potansiyel Ölçüm Sonuçları.....	69
6.3.2 Potansiyodinamik Polarizasyon Test Sonuçları.....	70
BÖLÜM 7 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	73
7.1 SONUÇLAR.....	73
7.2 ÖNERİLER.....	74
KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	79

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Parçacık takviyeli metal matrisli kompozitin şematik yapısı.....	5
2.2 Fiber takviyeli kompozit malzemelerin farklı morfolojileri	6
2.3 Tabakalı bir kompozit yapısı.....	7
2.4 Takviye malzemesinin geometrisine göre metal matrisli kompozitler	8
2.5 TM yöntemi ile kompozit malzeme üretim aşamaları	15
3.1 Difüzyon kaynağı mekanizması	25
3.2 Serbest enerjinin durum değişimine bağlılığı (Q Aktivasyon Enerjisi).....	25
3.3 Aktivasyon enerjisinin Arrhenius denklemi yardımıyla saptanması.....	26
3.4 Konsantrasyon gradyeninin şematik gösterimi	27
3.5 Kübik yüzey merkezli bir kafeste atomun boş bir konuma hareketi.....	28
3.6 Ara yer atomu yer değiştirmesi ve aktivasyon enerjisi değişimi	29
3.7 Sıcaklık ve uygulanan basıncın sürünme eğrisine etkisi.....	30
3.8 Sıcaklığın birleşme alanı üzerindeki etkisi.....	31
3.9 Bağlantının kayma mukavemeti ile kaynak süresi arasındaki ilişki	32
3.10 Yüzey kusurları	34
3.11 Yüzey deformasyonu ile pürüzlülük arasında sıcaklığa bağlı değişme	34
3.12 Bir malzemenin yüzeyindeki katmanlar.....	35
3.13 Ara tabaka kullanmanın kaynak bölgesine etkisi.....	37
4.1 Alüminyum malzeme ile imalat çeliğinin karşılaştırmalı atmosferlerde korozyon durumu	45
5.1 Al-SiC _p toz karışımı numunelerin üretildiği kalıp	47
5.2 Numunelerin basıldığı pres	48
5.3 Al-SiC _p toz karışımından preslenerek üretilmiş bir numune	48
5.4 Sinter işleminin yapıldığı atmosfer kontrollü yatay tüp fırın.....	49
5.5 Difüzyon kaynak seti.....	50
5.6 Difüzyon kaynak fırınının şematik görünümü	50
5.7 Kaynak işlemi için hazırlanan numunelerin şematik görünümü.....	51
5.8 Kesme makaslamanın yapıldığı test cihazı	52

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
5.9 Kesme makaslama testi aparatı ve numune konumunun şematik görünüşü	52
5.10 Korozyon deneylerinde kullanılan çalışma elektrodu	53
5.11 Potansiyostatik yöntemle çalışan statik korozyon deneyi düzeneği.....	53
6.1 %5 SiC _p içeren kaynaklı bağlantının optik mikroskop fotoğrafı.....	56
6.2 %10 SiC _p içeren Al-SiC _p MMK parçaların mikroyapısı	56
6.3 % 20 SiC _p içeren Al-SiC _p MMK parçaların mikroyapısı.....	57
6.4 % 40 SiC _p içeren Al-SiC _p MMK parçaların mikroyapısı.....	57
6.5 %5 SiC _p içeren kaynaklı bağlantının optik mikroskop fotoğrafı.....	58
6.5 (a) %5 SiC _p içeren kaynaklı bağlantının ara yüzeyinden alınan SEM fotoğrafı	59
6.5 (b) %5 SiC _p içeren kaynaklı bağlantının SEM fotoğrafındaki 2 ve 3 numaralı bölgeden alınan EDS analizleri	59
6.6 %10 SiC _p içeren kaynaklı bağlantının optik mikroskop fotoğrafı	60
6.6(a) %10 SiC _p içeren kaynaklı bağlantının ara yüzeyinden alınan SEM fotoğrafı	61
6.6(b) %10 SiC _p içeren kaynaklı bağlantının SEM fotoğrafındaki 2 ve 3 numaralı bölgeden alınan EDS analizleri	61
6.7 %20 SiC _p içeren kaynaklı bağlantının optik mikroskop fotoğrafı	62
6.7(a)) %20 SiC _p içeren kaynaklı bağlantının ara yüzeyinden alınan SEM fotoğrafı.....	63
6.7(b)) %20 SiC _p içeren kaynaklı bağlantının SEM fotoğrafındaki 2 ve 3 numaralı bölgeden alınan EDS analizleri	63
6.8 %40 SiC _p içeren kaynaklı bağlantının optik mikroskop fotoğrafı	64
6.8(a) %40 SiC _p içeren kaynaklı bağlantının ara yüzeyinden alınan SEM fotoğrafı	65
6.8(b) %40 SiC _p içeren kaynaklı bağlantının SEM fotoğrafındaki 2 ve 3 numaralı bölgeden alınan EDS analizleri	65
6.9 Kompozit numunelerin sertlik ölçüm sonuçları	66
6.10 %5 SiC _p içeren kaynaklı bağlantının mikrosertlik test sonuçları	67
6.11 %10 SiC _p içeren kaynaklı bağlantının mikrosertlik test sonuçları	67
6.12 %20 SiC _p içeren kaynaklı bağlantının mikrosertlik test sonuçları	67
6.13 %40 SiC _p içeren kaynaklı bağlantının mikrosertlik test sonuçları	68
6.14 Kaynaklı bağlantıların mikrosertlik test sonuçları	68
6.15 Kesme makaslama test sonuçları.....	69

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
6.16 Orijinal 6063 Al alaşımı, saf Al ve %5, 10, 20 ve 40 SiC _p içeren Al-SiC _p kompozitlerin zamana karşı potansiyel eğrileri	70
6.17 Orijinal 6063 Al alaşımı, saf Al ve %5, 10, 20 ve 40 SiC _p içeren Al-SiC _p Kompozitlerin potansiyodinamik polarazasyon eğrileri.....	71
6.18 Korozyon potansiyeli (E _{kor}) eğrisi.....	72
6.19 Korozyon akım yoğunluğu (I _{kor}) eğrisi	72
6.20 Korozyon hızı (CR) eğrisi	72

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Bazı MMK malzemelerin mekanik özellikleri.....	9
2.2 Saf Alüminyumun özellikleri.....	11
2.3 Kompozitlerde kullanılan bazı takviye elemanlarının özellikleri	12
2.4 SiC tozunun bazı özellikleri	13
2.5 Otomotiv endüstrisinde MMK'lerin uygulamaları	18
2.6 Uzay ve uçak endüstrisinde MMK'lerin uygulamaları	19
2.7 Demiryolu, elektrik-elektronik, spor, kâğıt ve diğer endüstrilerde MMK'lerin uygulamaları.....	20
3.1 Difüzyon kaynak yöntemine uygun metal çiftleri ve ara tabaka malzemeleri	39
3.2 Metal çiftleri için difüzyon kaynak parametreleri.....	40
4.1 Alüminyum ve bazı alaşımlarının farklı korozyon ortamlarındaki durumları	44

SİMGELER VE KISALTMALAR

Al	:Alüminyum
Cu	:Bakır
CR	:Korozyon hızı
D	:Difüzyon katsayısı
E_{kor}	:Korozyon potansiyeli
HCl	:Hidroklorik asit
I_{kor}	:Korozyon akımı
MMK	:Metal matrisli kompozit
MPa	:Mega paskal
NaCl	:Sodyum Klörür
Q	:Aktivasyon enerjisi
R	:Gaz sabiti
SEM	:Taramalı elektron mikroskobu
SiC _p	:Silisyumkarbür
TM	:Toz metalurjisi
T _m	:Metalin ergime-katılaşma sıcaklığı
μm	:Mikron metre

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Malzeme bilimi teknolojik gelişmeler doğrultusunda hızla gelişmektedir. Teknolojinin hammaddesi olan malzeme üretimi konusunda malzeme bilimciler çalışmaktadır. Bu kapsamda üstün özelliklere sahip ve ekonomik malzeme üretimi konusunda yapılan çalışmalar sonucunda kompozit malzemeler üretilmiştir.

Kompozit malzemeler, şekil ve kimyasal bileşimleri farklı ve birbiri içerisinde pratik olarak çözünemeyen iki veya daha fazla sayıda makro bileşenin kombinasyonundan oluşan malzemeler şeklinde tanımlanabilir (Aydın 2005).

Elektronik uygulamalarında ısı dağıtım levha ve hücrelerinin ısıl iletkenlik, ısıl genleşme ve rijitlikle uyumlu kombinasyonuna sahip olması istenmektedir. Alüminyum silisyum karbür ($Al-SiC_p$) kompozitinden yapılan ısı değiştiriciler, termal genleşme katsayısı değeri ve yüksek ısıl iletkenlik özelliklerinden dolayı oldukça rağbet görmektedir. Ayrıca, taşınabilir aygıtlar, uçak, uzay ve diğer ağırlık hassasiyetinin önemli olduğu uygulamalarda $Al-SiC_p$ 'den yapılmış ısı dağıtıcıları oldukça cazip bir malzemedir (US-6668912).

Robotik ve otomasyon endüstrisinde yaygın olarak kullanılan robot kolları (end effector) $Al-SiC_p$ metal matris kompozitinden yapılmıştır. Paslanmaz çelik, molibden, grafit kompozit ve seramik gibi geleneksel robot kolu (end effector) malzemelerine göre daha yüksek rijitlik ve daha yüksek dayanım sergilemektedir (URL-1).

Kompozit malzeme üretiminde matris ve takviye elemanının seçimi, birbirine uyumlu olmaları ve iyi karıştırılmaları oldukça önemlidir. Kompozit malzemelerde kullanılan matrisler, polimerlerden (termosetler ve termoplastikler) metallere ve seramiklerden oluşmaktadır. Dolayısıyla kompozit malzemeler kendi içinde polimer bazlı (matrisi polimer olan) kompozitler, metal bazlı (matrisi metal olan) kompozitler ve seramik bazlı (matrisi seramik olan) kompozitler olarak sınıflandırılmaktadır.

Metal Matrisli Kompozit (MMK)lerde matris malzemesi olarak hafif metaller ve alaşımları kullanılmaktadır. Genellikle Al, Ti, Mg, Ni ve Zn matris malzemesi olarak kullanılmaktadır. Al ve alaşımları Ti ve Mg yaygın olarak kullanılmaktadır. Al ve alaşımları hafif, ısı ve elektrik iletkenliğinin iyi olması, yüksek korozyon direnci ve kolay şekillendirilebilmesi nedeniyle metal matrisli kompozit üretiminde çok yaygın olarak kullanılmaktadır (Akorall 2003).

Kompozit malzeme üretiminde matris kadar takviye elemanı da önemlidir. Takviye elemanı ile matris malzemesinin uyumu kompozitin fiziksel ve mekaniksel karakterini etkiler. Kompozit üretiminde kullanılan takviye elemanları; parçacıklar, sürekli ve süreksiz fiberler, wiskerler ve benzerleridir. SiC parçacıkları aşındırıcı özelliğe sahip, sert ve keskin köşelidirler. Ancak kırılğandırılar. SiC parçacıkları diğer takviye elemanlarına göre ekonomik, yüksek oksidasyon direncine sahip ve yüksek sıcaklıklara mukavemetlidirler (Buytoz 1999).

Toz Metalurjisi (TM) ile üretim yönteminde matris malzemesi ile takviye elemanı istenilen oranlarda karıştırılıp istenilen şekli oluşturmak için kalıp içerisine konulur ve preslenir. Presleme işlemi hem soğuk hem de sıcak olarak yapılabilir. Presleme işleminden sonra elde edilen parçalar sinterlenerek işlem tamamlanır (Akorall 2003).

Diğer malzemelerde olduğu gibi kompozit malzemelerin de kaynaklı birleştirilmelerine ihtiyaç duyulmuştur. Bu nedenle farklı kaynak yöntemiyle kompozit malzemelerin birleştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Eğritmeli kaynak yöntemleriyle kompozit malzemelerin kaynağı oldukça zordur. Kaynak sırasında ergiyik sıvı matris ile takviye parçacığının karıştırılması zordur. Ayrıca soğuma esnasında segregasyonlar ve parçacık dibe çökmesi gibi sorunlar olmaktadır. (Aydın 2005). Bu gibi nedenlerden dolayı kompozit malzemelerin kaynağında katı hal kaynak yöntemlerinden olan difüzyon kaynağı tercih edilmektedir. Yüksek sıcaklıklara çıkılmadığı için malzemede istenmeyen mikro ve makro dönüşümler meydana gelmemektedir.

Bu çalışmada, TM yöntemiyle farklı oranlarda SiC_p içeren Al-SiC_p metal matrisli kompozit üretilmiştir. Üretilen numuneler katı hal birleştirme yöntemlerinden difüzyon kaynağı ile birleştirilmiştir. Elde edilen kaynaklı birleştirmenin mikroyapı mekanik özellikleri ve korozyon davranışları incelenerek sonuçların değerlendirilmesi çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

BÖLÜM 2

KOMPOZİT MALZEMELER

Mühendislik malzemeleri genellikle, metaller, seramikler ve plastikler olmak üzere üç gruba ayrılır. Bunların yanında şekil ve kimyasal bileşimleri farklı ve birbirleri içerisinde pratik olarak çözünmeyen iki veya daha fazla sayıda makro bileşenin kombinasyonundan oluşan malzemeler de vardır. Bu malzemelere kompozit malzeme adı verilmektedir (Buytoz 1999).

Kompozit malzemeler kendisini meydana getiren matris ve takviye elemanlarının en iyi özelliklerini bir araya getiren, yeni ve üstün özelliklere sahip malzemelerdir. Kompozit malzeme üretiminde aşağıdaki özelliklerden bir veya birkaçının kazandırılması amaçlanır.

- Mukavemet,
- Yorulma dayanımı,
- Aşınma direnci,
- Korozyon direnci,
- Kırılma tokluğu,
- Yüksek sıcaklık performansı,
- Isı İletkenliği,
- Isıl direnç,
- Akustik iletkenlik,
- Fiyat,
- Estetik görünüş,
- İmalat kolaylığı (Buytoz 1999).

2.1 KOMPOZİT MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI

Kompozit malzemeler, matris ve takviye malzemesine göre iki grupta toplanmaktadır. Bunlar:

2.1.1 Matris malzemesine göre kompozit malzemeler,

2.1.2 Takviye malzemesine göre kompozit malzemelerdir.

2.1.1 Matris Malzemesine Göre Kompozitler

Matris malzemesine göre kompozit malzemeler genel olarak anayapının fiziksel ve kimyasal yapısına göre polimer matrisli, seramik matrisli ve metal matrisli kompozitler olmak üzere sınıflandırılırlar (Bedir 2006).

2.1.1.1 Polimer Matrisli Kompozitler

Matris malzemesi olarak kullanılan polimerler ucuz ve kolaylıkla çalışılabilir malzemelerdir. Diğer yönden düşük elastik modüle ve düşük kullanım sıcaklığına sahiptirler. Termoset ve termoplastikler olarak iki gruba ayrılan polimerler genellikle sürekli fiber takviyeli olarak kullanılırlar. Bunlardan en önemli olanları sürekli fiberlerle takviye edilen polyster ve epoksi reçine matrisleridir. Epoksi reçine matrisli kompozitlerin en önemli kullanım alanı havacılık uygulamalarıdır (Hiçyılmaz 1999).

2.1.1.2 Seramik Matrisli Kompozitler

Seramik matrisli kompozit malzemeler genellikle yüksek sıcaklıkta çalışması gereken parçalar için kullanılırlar. Sert ve kırılğan malzemeler olan seramik malzemeler, çok düşük kopma uzaması gösterirler, düşük tokluğa sahiptirler ve termal şoklara karşı dayanıksızdırlar. Buna karşılık çok yüksek elastiklik modülüne, düşük yoğunluğa ve çok yüksek çalışma sıcaklıklarına sahiptirler (Görener 2007).

2.1.1.3 Metal Matrisli Kompozitler

Metal malzemelerin iyi süneklik ve tokluk özelliklerinin, seramik malzemelerin yüksek mukavemet ve yüksek elastiklik modülü özelliklerinin bir araya getirilmesiyle oluşan MMK malzemeler, yüksek elastiklik modülü ve mukavemet, düşük yoğunluk, yüksek aşınma direnci

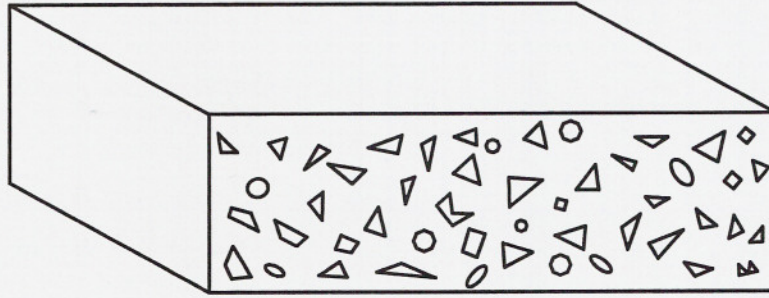
ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilme gibi önemli özelliklere sahiptirler. Bu özelliklerinden dolayı havacılık, savunma sanayi ve otomotiv gibi birçok alanda kullanım alanı bulmuşlardır (Görener 2007). Metal matrisli kompozitler hakkında detaylı bilgiler bölüm 2.2’de verilmiştir.

2.1.2 Takviye Malzemesine Göre Kompozitler

Takviye malzemesine göre kompozit malzemeler partikül takviyeli, fiber takviyeli ve tabakalı kompozitler olmak üzere üç grupta incelenebilirler.

2.1.2.1 Partikül Takviyeli Kompozitler

Bu tip kompozitler tek veya iki boyutlu makroskobik parçaların veya sıfır boyutlu olarak kabul edilen mikroskobik parçacıkların matris ile oluşturdukları malzemelerdir (Akorall 2003). Şekil 2.1.’de parçacık takviyeli MMK’in şematik yapısı verilmiştir.



Şekil 2.1 Parçacık takviyeli metal matrisli kompozitin şematik yapısı (Sur 2002).

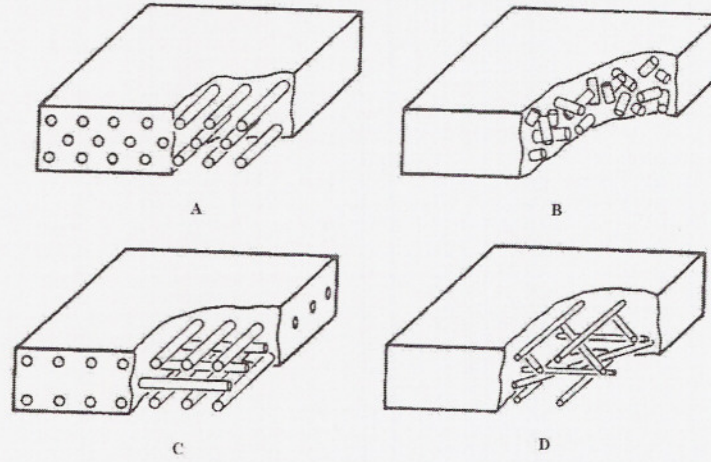
Parçacık takviyeli MMK’lerde, sert olan takviye elemanı homojen olarak dağılmış ve daha yumuşak olan bir matris malzemesi ile kuşatılmıştır. Matris malzemesi metal olup takviye elemanı SiC_p ve Al_2O_3 gibi sert parçacıklardır. Pratikte en çok kullanılan parçacıklar Al_2O_3 ve SiC_p ’den oluşan seramiklerdir. Takviye elemanının boyutları birbirleriyle hemen hemen eşittir. Parçacık takviyeli kompozit malzemeler genellikle aşınma dayanımı gerektiren uygulamalarda tercih edilirler.

Parçacık takviyeli kompozitlerin diğer kompozitlerden önemli farkı, takviye elemanı artışına bağlı olarak yapı içerisinde oluşan porozite gibi hataların, haddeleme, ekstrüzyon gibi ikinci bir işlemle giderilebilmesi yani ikinci bir işlemle yapının daha iyi özellikler kazanabilmesidir.

2.1.2.2 Fiber Takviyeli Kompozitler

Fiber takviyeli kompozit malzemeler, sünek matris malzemesi içerisinde, mukavemeti ve elastiklik modülü yüksek fiberlerin ilave edilmesiyle oluşturulurlar. Yük taşıma kapasitesinin önemli olduğu durumlarda sıklıkla kullanılan fiber takviyeli kompozit malzemelerde, matris malzemesi kompozite uygulanan yükü fiberlere aktarır. Bu sayede yüksek mukavemete sahip fiber yükün büyük bölümünü taşıyabilmektedir (Görener 2007).

Fiberler, kompozit malzeme içerisinde tek yönlü şekilde ya da yönlendirilmiş olarak bulunabilmektedirler. Fiberler genel olarak, malzemeye uygulanacak yüklerin doğrultusunda konumlandırılırlar. Bunların yanı sıra fiberler örgü yapı şeklinde de kullanılmaktadır. Özellikle, uzay ve havacılık sektörlerinde ihtiyaç duyulan yüksek mukavemet, rijitlik ve hafiflik gibi özelliklere sahip fiber takviyeli kompozit malzemeler, bu sektörler için vazgeçilemez bir malzeme grubudur (Görener 2007). Şekil 2.2’de fiber takviyeli kompozit malzemelerin farklı morfolojileri gösterilmiştir.

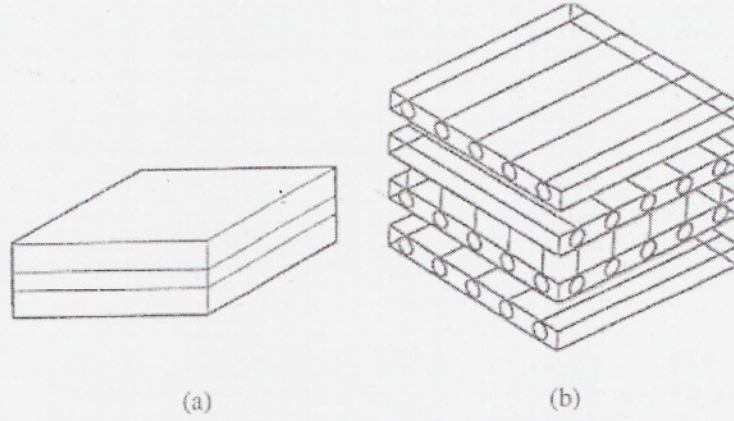


Şekil 2.2 Fiber takviyeli kompozit malzemelerin farklı morfolojileri, A) Sürekli tek yönlü fiberler, B) Kesikli fiberler, C) 90° Açılı çift doğrultuda yerleştirilmiş fiberler, D) Rasgele düzlemsel yönlendirilmiş fiberler (Görener 2007).

2.1.2.3 Tabakalı Kompozitler

Farklı özelliklerdeki tabakaların üst üste veya yan yana getirilmesiyle oluşturulan tabakalı kompozit malzemeler, tasarlanan tabakaların yapısına bağlı olarak aşınma direnci, korozyon dayanımı, yük taşıma kapasitesi gibi özelliklerin istendiği alanlarda kullanılabilmektedirler.

Tabakalar, farklı malzemelerden oluşabileceği gibi farklı türde ve şekillerde takviye içeren kompozit malzemelerden de oluşabilmektedir. Kullanım amacına göre değişik şekillerde tasarlanabilen tabakalı kompozit malzemelerin uygulama alanlarına örnek olarak askeri ekipmanlar ve hafif zırhlar verilebilir (Görener 2007). Şekil 2.3’de tabakalı kompozite örnek gösterilmiştir.

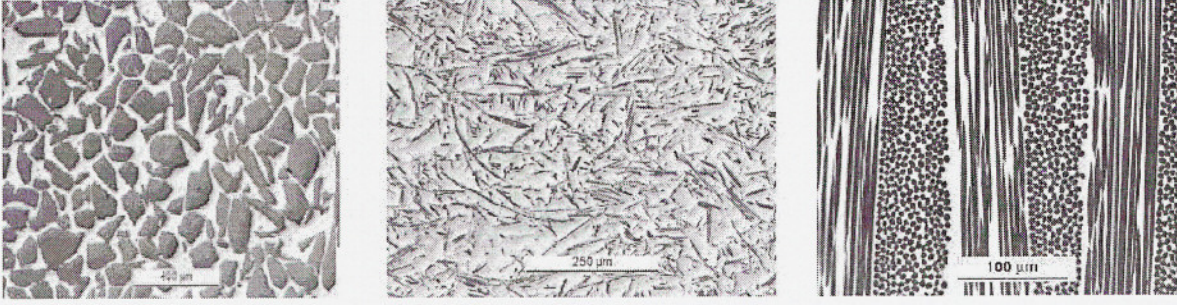


Şekil 2.3 Tabakalı bir kompozit yapısı a) İzotropik yapı b) Ortotropik yapı (Şahin 2000).

2.2 METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLER (MMK)

MMK malzemeler, istenen ve gerekli özellikleri sağlamak üzere en az biri metal olan iki veya daha fazla farklı malzemenin sistematik bileşimiyle elde edilen yeni malzemelerdir. MMK malzemeler tek bileşenli alaşımlarla elde edilemeyen özellikleri sağlamak üzere, bir metal matris içinde sürekli veya kısa fiber, whisker veya partikül şeklinde takviye fazı içerirler. Günümüz şartlarında üretilebilen MMK malzemeler üç gruba ayrılmaktadır. Şekil 2.4’ de takviye malzemesinin geometrisine göre MMK’ler gösterilmiştir.

- Elastiklik modülünün, belli oranlarda da mukavemetin artmasıyla sonuçlanan, bağlayıcı matris içine partikül şeklinde takviye malzemesinin ilavesi ile oluşturulan partikül takviyeli MMK’ler,
- Partikül takviyeli MMK’lere göre daha büyük yük iletimi yeteneğine sahip, yüksek dayanımlı whisker veya kısa takviyeli MMK’ler,
- Fiberin yüksek performanslı tüm özelliklerini taşıyan sürekli fiber esaslı; MMK’ler.



Şekil 2.4 Takviye malzemesinin geometrisine göre metal matrisli kompozitler, a- partikül takviyeli, b- kısa fiber takviyeli, c- sürekli fiber takviyeli (Görener 2007).

Belirtilen kompozit sistemlerinin her birinin de ayrı ayrı üstünlükleri ve zayıflıkları söz konusudur. Örneğin, partikül esaslı MMK'ler düşük maliyetlerinin yanı sıra, rijitlikte dikkate değer gelişme ve hemen hemen izotropik özellikler gösterir. Ancak mukavemetteki gelişme sınırlıdır. Ayrıca kopmadaki şekil değişiminin ve kırılma tokluğunun düşük olması bu kompozitlerin zayıf yönüdür. Whisker veya kısa fiber katkılı MMK'ler, partikül esaslılara oranla daha pahalı, fakat daha mukavemettir. Sürekli fiber katkılı MMK'ler elastiklik modülü ve mukavemetin en iyi kombinasyonunu vermelerine karşın bu kompozitlerin özellikleri anizotropiktir ve asıl zayıflıkları, kullanılan fiberlerin ve kompozit üretim maliyetlerinin oldukça yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

Belli bir uygulama alanında kullanılmak üzere en uygun kompoziti elde edebilmek için MMK'in bileşenleri hakkında tam ve ayrıntılı bilgiye sahip olmak gerekmektedir. Takviye elemanının; cinsi, şekli, boyutu, dağılımı, yüzey özellikleri, kimyasal kompozisyonu, dağılım miktarı ve homojenliği gibi özgün ve yapısal özellikleri çok önemlidir. Bunun yanı sıra, metal matrisin de nitelikleri dikkate alınmalıdır. Matris, takviye fazını bir arada tutmaya yarayan bağlayıcı gibi davranır ve asıl işlevi katkı fazına yükü iletmektir. Takviye fazı ile matris alaşımının kimyasal olarak uyumluluğu da önemli bir konudur.

Sürekli fiberler, MMK'lere yüksek elastiklik modülü ve dayanım kazandırır, fakat anizotropik özellik gösterirler. İlk geliştirilen MMK'ler, bor fiberleriyle güçlendirilmiş alüminyum alaşımlarıdır. Bu karma malzemelerde kullanılan bor fiberleri, wolfram telden altlık üzerine bor kimyasal buharının yığılmasıyla elde edilmektedir. Çizelge 2.1'de Bor ve SiC_p takviyelerle güçlendirilmiş bazı alüminyum MMK malzemelerin mekanik özelliklerini verilmektedir. Hacimce %51 bor katmakla, 6061 alüminyum alaşımının çekme dayanımı 310 MPa'dan 1417 MPa'a, çekme modülü ise 69000 MPa'dan 231000 MPa'a yükselmektedir.

Al-Bor karma malzemelerinin uygulama alanına örnek olarak uzay mekiğinin gövde yapı elemanlarını verilebilir.

Partiküllerle güçlendirilmiş MMK malzemeler ise izotropik özellik gösterirler. Örnek olarak, alüminyuma yaklaşık 3 ile 20 µm çapında düzensiz şekilli alümina ve silisyum karbür partikülleri katılarak üretilen düşük maliyetli alüminyum MMK malzemeler gösterilebilir. Çizelge 2.1'den görülebileceği gibi %20 SiC_p katmakla alüminyum alaşımının çekme dayanımı 310 MPa'dan 496 MPa'a, elastisite modülü ise 69000 MPa'dan 103000 MPa'a yükseltilebilmektedir. Genellikle toz metalurjisi ve döküm yönetimi ile üretilen bu kompozitler, otomobil parçalarında kullanılmaktadır (Görener 2007).

Çizelge 2.1 Bazı MMK malzemelerin mekanik özellikleri (Görener 2007).

Metal Matrisli Kompozit Malzeme	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastiklik Modülü (GPa)	Kopmadaki Uzama Miktarı (%)
<u>Sürekli fiberli</u> (fiber yönündeki özellikleri)			
Al 2024-T6 (%45 Bor)	1458	220	0.810
Al 6061-T6 (%51 Bor)	1417	231	0.735
Al 6061-T6 (%47 SiC _p)	1462	204	0.89
<u>Süreksiz fiberli</u>			
Al 2124-T6 (%20 SiC _p)	650	127	2.4
Al 6061-T6 (%20 SiC _p)	480	115	5
<u>Partikül takviyeli</u>			
Al 2124-F (%20 SiC _p)	552	103	7.0
Al 6061-F (%20 SiC _p)	496	103	5,5
<u>Güçlendirilmemiş</u>			
Al 2124-F	455	71	9
Al 6061-F	310	68,9	12

2.2.1 MMK'lerde Kullanılan Matris Malzemeleri

MMK'ler için matris malzemesi olarak genellikle hafif metaller tercih edilmektedir. Matris malzemesi olarak MMK malzemelerde, alüminyum ve alaşımları ilk sırayı almaktadırlar. Bu alaşımların tercih edilmesinin nedeni düşük yoğunluk, düşük ergime sıcaklığına sahip olmaları ve birçok seramik takviye elemanını kolay ıslatabilmeleridir. Alüminyum saf olarak kullanılabildiği gibi alaşım olarak ta kullanılabilmektedir. Yüksek aşınma dayanımı ve düşük

sürtünme değerleri için Al-Si alaşımları, düşük yoğunluk ve yüksek termal iletkenlik için Al-Mg ve Al-Cu alaşımları matris alaşımı olarak kullanılabilir (Görener vd. 2007; Şahin 200).

Yüksek performanslı kompozit malzeme üretimi için matris malzemesi, takviye fiberleri veya partikülleri iyi ıslatabilmeli, iyi bir ara yüzey bağı oluşturmalı, mümkün olan en düşük basınç ve sıcaklıkta hızlı şekilde katılma yapabilmelidir. Ayrıca üretim esnasında veya bundan sonraki işlemler esnasında, matris ve takviye elemanı arasında diğer kimyasal etkileşimler olmamalı ve matris kararlı kalmalıdır (Şahin 2000).

MMK'lerde, matris malzemesi olarak genellikle Al, Ti, Mg, Ni, Cu, Co ve Ni gibi metaller ve alaşımları kullanılır (Aydın, 2006). Fakat bunlardan sadece Al, Ti ve Mg alaşımları yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.2.1.1 Al, Al Alaşımları ve Al Tozları

Demir içerikli malzemeler dışında, alüminyum ve alaşımları en yaygın olarak kullanılan matris malzemesidir. Alüminyum, hafif olması, ısı ve elektriği iyi iletmesi, korozyon direncinin yüksek olması ve kolay şekillendirilmesi nedeniyle MMK üretiminde yaygın olarak kullanılan bir matris malzemesidir. Çizelge 2.2'de saf alüminyumun önemli özellikleri verilmiştir.

Özellikle parçacık takviyeli metal matrisli kompozit (MMK) parça üretiminde toz metalurjisi (TM) yöntemi kullanıldığında toz alüminyum, matris malzemesi olarak kullanılmaktadır. Al tozları ergiyik metalden atomizasyon yöntemiyle değişik saflık derecelerinde üretilir. Genellikle Al tozlarının boyutları 50–150 µm arasında değişmektedir.

Al tozlarının çok geniş bir kullanım alanı vardır.

Bunlardan bazıları şunlardır:

- Kaynak elektrotlarında oksijen giderici olarak,
- Roketler için katı yakıt yapımında (boyutu 10 µm'nin altında)
- Yüksek sıcaklık dayanımına sahip parçaların N₂ altında sinterlenmesinde,

- Sürtünmeli ortamlarda çalışan parçaların üretiminde (Roketlerin sürtünen parçaları, fren ve kavramalar, fren balataları),
- Elmas taşlama disklerinde reçine ile karıştırılarak ve elmas takımlarda bağlayıcı olarak,
- Amonyum nitrat gibi maddelerle birlikte patlayıcı karışım imalatında,
- Dökümhanelerde ve demir çelik sanayinde çelik üretiminde kullanılan ekzotermik karışımlarda oksit giderici (deoksidant madde) olarak,
- Tren rayı gibi büyük parçaların kaynağında kullanılan termit kaynağında ve Cr, Mn, V, gibi metaller için oksit önleyici olarak,
- Fişek sanayinde diğer nitrat ve pekloratlarla birlikte renkli ve renksiz havai fişek yapımında ve yağ ve su bazlı aydınlatma ve işaret verme maddelerinde,
- Duman oluşturucu karışımlarda,
- Kimya sanayinde boya ve mürekkep yapımında,
- Organik kimya sanayinde metal olmayan bileşik hazırlamada indirgeyici olarak kullanılmaktadır (Akorall 2003).

Çizelge 2.2 Saf alüminyumun özellikleri (Şahin 2000).

Özellik	Değer
Atom Numarası	13
Atom Ağırlığı (g/mol)	26.981
Atom Yarıçapı (°A)	1.82
Kristal Yapısı	YMK
Yoğunluk (g/cm ³) (20 °C'de)	2.6989
Ergime Sıcaklığı (°C)	660.37
Kaynama Sıcaklığı (°C)	2467
Özgül Isısı (JK ⁻¹ /g)	0.90
Isı İletkenliği (WK ⁻¹ /cm)	2.37
Lineer Genleşme Katsayısı (10 ⁻⁶ /K)	23.86
Elastisite Modülü (MPa)	62100–69000
Elektrik Öz Direnci (mm ² /m) (20 °C'de)	0.0266
Elektrik İletkenliği (mΩ ⁻¹ /mm ²)	37.6
Sertliği (HB)	16–23
Çekme Dayanımı (MPa)	89.7–165.6

2.2.2 MMK'lerde Kullanılan Takviye Elemanları

Metal matrisli kompozit malzemeler üretilirken; takviye elemanının seçimi, üretim tekniği, üretim esnasında takviye elemanının matris tarafından ıslatılabilmesi, takviye elemanlarının yapısal özellikleri, kompozit malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirler. Bu nedenle takviye elemanının doğru seçilmesi ve özelliklerinin iyi bilinmesi gerekir. Kullanım yerine bağlı olmakla birlikte metal matrisli bir kompozitte, genel olarak takviye elemanından beklenen temel özellikler şunlardır:

- Yüksek modül ve dayanım,
- Düşük yoğunluk,
- Matris ile kimyasal uyumluluk,
- Üretim kolaylığı,
- Yüksek sıcaklıkta dayanımını muhafaza etmesi,
- Ekonomik olması.

Üretilecek kompozitin yapısal bir uygulamada kullanımı durumunda düşük yoğunluğa, yüksek modül ve mukavemete sahip takviye elemanına gereksinimi vardır. MMK malzemelerde en çok kullanılan takviye elemanları Al_2O_3 , SiC, Bor, TiC ve karbondur (Şahin 2000; ASM Handbook 2002). MMK'lerde, en yaygın olarak kullanılan seramik takviye elemanları Çizelge 2.3' de gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 Kompozitlerde kullanılan bazı takviye elemanlarının özellikleri (Akorall 2003).

Fiber tipi	Çap (μm)	Yoğunluk (g/cm^3)	Elastik Modül (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
Saffil (δ -Alümina)	3	3.3	300000	2000
FP (α -Alümina)	20	3.95	380000	1700
SiC	13	3.2	390000	2000
Bor	100–200	2.6	390000	3400
SiC Kaplı Bor	100–200	2.6	400000	2900
Yüksek Dayanımlı Karbon	6.8	1.8	235000	2600

MMK üretiminde genellikle kullanılan takviye elemanları bor, silisyum karbür, alümina ve karbondur.

Bor hafif metallere birisidir. Bor fiber, karbon veya tungsten çekirdek üzerine kaplama yapılarak elde edilmektedir. Üretim maliyetinin yüksek olmasına rağmen uzay sanayinde ve savaş uçaklarında bor-alüminyum olarak kullanılırlar. Yüksek dayanım, yüksek elastiklik modülü ve düşük yoğunluğa sahiptirler. Bor fiberler bazı metallere, örneğin ergimiş alüminyumla hızla reaksiyona girer ve 480⁰ C'den daha yüksek sıcaklıklarda mekanik özelliklerini kaybeder. Bu nedenlerle silisyum karbür (SiC) fiberler, silisyum karbür partiküller (SiC_p) ve silisyum karbür whiskerler (SiC_w) geliştirilmiştir.

Silisyum karbür takviye elemanlarının oksidasyon direnci, yüksek sıcaklıklarda mukavemet ve rijitliğini koruma özelliği bor fiberlerden daha iyidir. Ergimiş alüminyumun SiC takviye elemanları üzerindeki etkisi de bor fiberlere göre çok düşüktür. Diğer bir üstünlüğü de bor fiberden daha ekonomik olmasıdır. Partikül ve whisker tipinde SiC takviyeleri ile üretilen metal matrisli kompozit malzemelere, ekstrüzyon, haddeleme gibi plastik şekil verme işlemleri yapılabilmesi de önemli bir avantaj teşkil eder (Görener 2007). Çizelge 2.4'de SiC_p tozunun bazı özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.4 SiC_p tozunun bazı önemli özellikleri (Akorall 2003).

Özellik	Değer
Yoğunluk (g/cm ³)	3.2
Ergime Sıcaklığı (°C)	2500
Isıl İletkenlik (100 °C)	0.048
Isıl Genleşme Katsayısı (10 ⁻⁶ /°C)	5
Elastisite Modülü (10 ³ MPa)	414
Basma Mukavemeti (MPa)	2000
Sertlik (HV)	3000

Metal matrisli kompozitlerde ana hedef, düşük yoğunluklu ve yüksek dayanımlı malzemeler elde etmektir. Bu özellikler genelde yapı içine katılan seramik faz ile sağlanır. Alüminanın sahip olduğu yüksek sıcaklık dayanımı, yüksek modül ve rijitlik, takviye elemanı olarak

kullanılmasının en önemli nedenlerindendir. Alüminanın takviye elemanı olarak en yaygın kullanıldığı matris malzemesi alüminyum ve alaşımlarıdır. Al_2O_3 , SiC ile karşılaştırıldığında daha düşük modül ve dayanıma, daha yüksek yoğunluğa sahiptir. Fakat Al_2O_3 maliyet açısından, SiC'e göre daha avantajlıdır.

Karbon fiberlerin yoğunluğu düşük, çekme dayanımı ve elastiklik modülü yüksektir. Bu da spesifik dayanım ve spesifik modül değerlerinin çok yüksek olması anlamına gelir. Yüksek sıcaklıklara dayanabilen karbon fiberlerin özellikleri, üretimindeki son işlemin sıcaklığına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Karbon fiberlerde ham madde olarak poli-akro-nitril (PAN), Selüloz (Rayon) ve Zift (Pitch) kullanılır. Isıl genleşme katsayısı oldukça düşük olan karbon fiberler, yaklaşık $1500\text{ }^{\circ}C$ 'ye kadar mekanik özelliklerini korurlar. $2000\text{ }^{\circ}C$ 'den sonra karbon fiberde sürünme başlar. Karbon fiberler azot atmosferinde kararlı olmasına rağmen $450\text{ }^{\circ}C$ üzerinde havada artan oranda oksitlenirler. Oldukça fazla türde karbon fiber olduğu göz önüne alınırsa, değişik fiber tiplerine bağlı olarak oksidasyona uğrama oranının da farklılık gösterdiği söylenebilir. SiC ve B_4C kaplamalar karbon fiberlerin oksidasyona karşı direncini artırır (Görener 2007).

2.2.3 MMK'lerin Üretim Yöntemleri

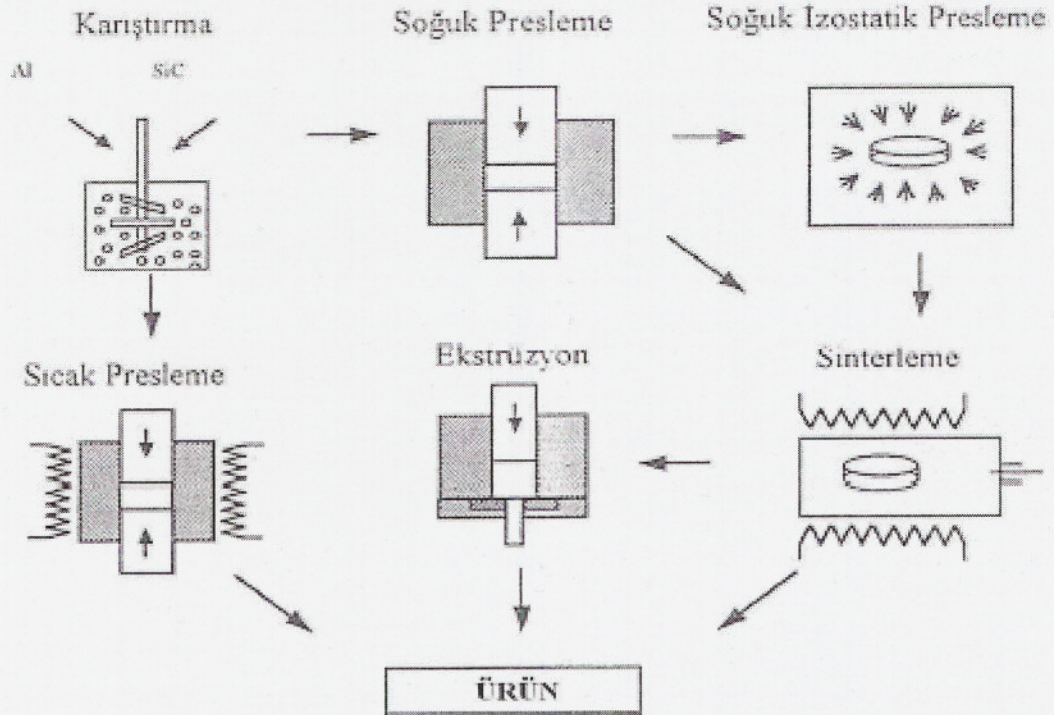
MMK üretim yöntemi; üretilecek parçanın şekline, fiziksel ve mekanik özelliklerine ve takviye elemanı ile matrise göre belirlenir. Üretim yöntemlerini; katı faz üretim yöntemleri, sıvı faz üretim yöntemleri ve sıvı ve katı faz üretim yöntemlerinin bir fonksiyonu olarak reaksiyon (in-situ) üretim yöntemi olarak sıralayabiliriz. Katı faz üretim yöntemleri olarak toz metalurjisi, ekstrüzyon, difüzyonla bağlanma sayılabilir. Sıvı faz üretim yöntemleri olarak ise sıvı metal infiltrasyon, sıkıştırma döküm, basınçlı döküm, XD (reaksiyon) yöntemi ve sıvı karıştırma yöntemi sayılabilir. Her üretim yönteminin kendine özgü avantaj ve dezavantajları vardır. Bu nedenle üretim yönteminin seçiminde aşağıdaki parametrelere göre değerlendirme yapılarak yöntem belirlenir:

- Çalışma sıcaklığı aralığı,
- Takviye malzemesi seçimi,
- Matris ve takviye elemanının uyumu,
- Matris ve takviye elemanının ek işlem gereksinimi,

- Matris ve takviye elemanı arasında oluşabilecek reaksiyonlar,
- Elde edilecek üründen istenilen boyut tamlığı,
- Takviyenin matris içinde dağılımının homojen olması,
- Matris-takviye ara yüzey bağının tam olarak sağlanabilmesi (Görener 2007).

2.2.3.1 Toz Metalurjisi Tekniği ile MMK Üretimi

Metal matrisli kompozit üretiminde en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde toz halindeki metal matris malzemesi ile takviye elemanı karıştırılıp istenilen şekli oluşturmak için kalıp içine konulur ve preslenir. Presleme aşamasından sonra sinterleme işlemi yapılır. Gerekirse tekrar preslenerek işlem tamamlanır. Presleme ve sinterlemenin ayrı ayrı yapıldığı yöntem gerekli yoğunluk elde edilemediği için günümüzde tercih edilmez. Bunun yerine sıcak presler (HP) kullanılmaktadır. Bu yöntemde tozlar karıştırıldıktan sonra sıcak preslenir. Yani hem sıkıştırma hem de sinterleme yapılmış olur. Toz metalurjisi (TM) üretim aşamaları genel olarak Şekil 2.5’de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.5 TM yöntemi ile kompozit malzeme üretim aşamaları (Görener 2007).

TM yöntemi özellikle parçacık takviyeli kompozit üretiminde tercih edilmesinin nedenlerini şu şekilde sıralayabiliriz;

- TM ile üretimde düşük sıcaklık kullanıldığı için matris ve takviye elemanı arasında etkileşim en az seviyede olmaktadır. Bunun sonucu olarak ara yüzey reaksiyonları minimum seviyede olduğu için mekanik özelliklerde azalma olmaz.
- TM yöntemi ile diğer yöntemlerle üretimi mümkün olmayan parçaların üretimi mümkün olmaktadır.
- TM yönteminde takviye elemanının matris içinde homojen olarak dağılması mümkün olmaktadır. Özellikle sızı faz üretim yöntemlerine homojen dağılım elde etmek oldukça güçtür.
- TM yönteminde takviye elemanının kontrolü mümkün olduğu için yapının kontrolü de mümkün olmaktadır. Çünkü yapı içinde takviye elemanının boyutları ile kompozitin mekanik özellikleri arasında doğrudan ilişki vardır.

Bu metodunda avantajlarının yanında bir takım dezavantajları bulunmaktadır. Kısa fiberle üretim işleminde karıştırma sırasında kısa fiberler kırılabilmektedir. Büyük parçaların üretiminde yüksek basınca ihtiyaç duyulması maliyeti arttırmaktadır. Bunlara ek olarak tozla üretim yaparken temizlik son derece önemlidir. Aksi halde ortama karışacak yabancı maddeler yapının özelliklerine olumsuz yönde etki edecektir (Görener 2007).

2.2.4 MMK'lerin Uygulama Alanları

İleri malzemeler dediğimiz kompozitler özellikle askeri ve sivil uçaklarda kullanılmaktadır. Bu alanda kullanılan kompozitlerde öncelikle cam, bor, karbon ve aramid elyaflar kullanılmış, daha sonraları ise silisyum karbür ve alüminyum oksit takviye elemanları kullanılmaktadır. Uçak kanat panelleri SiCw takviyeli alüminyum matrisli kompozitten üretilmiş ve % 20–40 arasında hafiflik sağlanmıştır. Ayrıca uçak çerçevelerinin yapımında benzer avantajlar sağlamaktadır. Bunun yanında kompresör diskleri, pervaneler, vanalar, jet motoru rotorları vb. elemanlar başarı ile üretilebilmektedir. MMK'lerin uygulama alanları ise uzay sanayinin yanında otomotiv sanayidir. Toyota tarafından geliştirilen seramik takviyeli dizel motor pistonları MMK'lerin kullanımında

ilk büyük başarıdır. Bu pistonlar sıkıştırma döküm tekniği ile üretilmiştir. Makine tasarımı, spor malzemeleri ve eğlence malzemelerinin yanında sağlam ve hafif olmaları ayrıca yorulma dirençlerinin iyi olması nedeniyle otomobil buji kolları yapımında kullanılmaktadır. Otomotiv sanayinde fren mesafesi ve fren sesinin azaltılması için, %15–30 SiC_p takviyeli alüminyum döküm alaşım malzemesi ile ağırlığı azaltılmış fren rotorunun kullanılması düşünülmüştür. Lotus, Elise serisi parçacık takviyeli alüminyum MMK fren disklerini kullanmıştır. %20 Al₂O₃ parçacık takviyeli Durakon 6061 Al MMK'den yapılan şaft milleri hem ağırlığı hem de şaft milinin dinamik dengesini artırmak için kullanılmıştır (Akorall 2003). Çizelge 2.5'de otomotiv, Çizelge 2.6.'da uzay ve uçak, Çizelge 2.7.'de demiryolu, elektrik-elektronik, spor, kağıt ve diğer endüstrilerde MMK'lerin çeşitli uygulama alanları gösterilmiştir.

Çizelge 2.5 Otomotiv endüstrisinde MMK'lerin uygulamaları (Akorall 2003).

Sistem	Ürün	Seramik/matris	Başlıca özellikler
Motor	Piston segman yuvası (Dizel Motor)	Al ₂ O ₃ /Al	Aşınma direnci
"	Piston başı (Dizel motor)	SiC wisker/Al	Yüksek sıcaklık çekme direnci ve yorulma direnci
"	Motor bloğu	Al ₂ O ₃ +C/Al	Aşınma ve plastik akış direnci, rijitlik ve aşınma direnci
"	Kavrama kolu	SiC _p /Al	Azalan ağırlık, yüksek rijitlik ve aşınma direnci
"	Valf	C/Al	Yüksek sıcaklık, yorulma, sürünme, aşınma direnci
"	Piston pimi	Al ₂ O ₃	Özel rijitlik, sürünme, aşınma
"	Silindir gömleği	Al ₂ O ₃ +C/Al	Aşınma ve plastik akış direnci, ağırlık azalması
"	Krank mili kasnağı	Paslanmaz çelik fiber/Al	Sürünme
"	Krank kolu	Al ₂ O ₃ +C/Al	Çekme direnci
Süspansiyon	Gergi kolu (payanda)	SiC _p /Al	Sönümleme
"	Amortisör silindiri	SiC _p /Al	Aşınma direnci, ağırlık azalması, ısı yayılımı
Transmisyon	Vites Değiştirme çatalı	SiC _p /Al	Aşınma direnci, ağırlık azalması,
"	Tahrik mili	Al ₂ O ₃ /Al	Artan rijitlik (elastikiyet), yorulma
"	Dişliler	SiC _p /Al	Aşınma direnci, ağırlık azalması
Muhafaza	Dişli kutusu yatağı	SiC _p /Al	Aşınma direnci
"	Diferansiyel yatağı	SiC _p /Al	Aşınma direnci, ağırlık azalması
"	Pompalar	SiC _p /Al	Aşınma direnci, ağırlık azalması
Fren	Fren disk rotoru	SiC _p /Al	Aşınma direnci, ağırlık azalması
"	Kalibre (çap ölçer)	SiC _p /Al	Aşınma direnci, ağırlık azalması

Çizelge 2.6 Uzay ve uçak endüstrisinde MMK'lerin uygulamaları (Akorall 2003).

Ürün	Seramik/Matris	Başlıca özellikler
Jet motoru fan kanatları	Bor, Borsik/Ti, SiC _p /Süperalaşım	Yüksek sıcaklık, aşınma direnci, yorulma, sürünme, ağırlık azalması
Helikopter dişli kutusu	Al ₂ O ₃ /Mg	Aşınma direnci, ağırlık azalması
Uzay ve uydu yapı tüpleri	C/Al, Mg	Rijitlik azalması
Zemin giriş saplamaları	SiC _p /Al	Ağırlık azalması
Helikopter kanat kovanı	SiC _p /Al	Aşınma direnci, ağırlık azalması
Kanatçık mekanizma yatağı	C/Al	Aşınma direnci, ağırlık azalması
Füze mekanizma ekipmanı	Al ₂ O ₃ /Fe	Rijitlik azalması
Kramayer ekipmanı	SiC _p /Al	Rijitlik, elektrik iletkenliği
Roket motorları	Paslanmaz çelik/ Ni alaşımları	
Uçak konstrüksiyonu	Be veya Ti kaplı Be/ Ti alaşımları	
Helikopter pervane shaftı	Be şeritler/Al,Ti	
Süpersonik uçak tahrik roketleri	Mo/Ti veya Ti alaşımları	
Jet motorları	W/W-Ni-Fe alaşımları	
"	W-%1 ThO ₂ /Süper alaşımları	
Havacılık ve Nükleer Endüstrileri	SiC _p /Be, W, Mo, Fe, Co, Ni, Cr, Si, Cu, Ti	
Havacılık endüstrisi	Karbür kaplı C/Ni alaşımları	
"	Ti borid kaplı C/Al, Cu, Sn,Pb, Ag, Zn, Mg	
"	B+paslanmaz çelik, borsik+Mo fiberleri/Al,Ti	Yüksek mukavemetli sünek ve gevrek fiber kombinasyonu
"	Al ₂ O ₃ -SiO ₂ /Al, Al-Zn	
"	Nb, Ta, W karbürler/ Ni-Co veya Fe-Cr	
Uzay yapıları, motor bileşenleri	Al ₂ O ₃ SiC Al-oksinitrit/ Al-Cu alaşımları	
Uzay yapıları, motor bileşenleri	Al ₂ O ₃ /Al-Li alaşımları	

Çizelge 2.7 Demiryolu, elektrik-elektronik, spor, kağıt ve diğer endüstrilerde MMK'lerin uygulamaları (Akorol 2003).

Endüstri	Ürün	Seramik/matris	Başlıca özellikler
Demiryolu	Fren disk rotoru	SiC _p /Al	Aşınma direnci, ağırlık azalması
Elektrik/elektronik	Multiçip modül	SiC _p /Al	Yüksek ısı iletimi, ağırlık azalması
"	Termal genleşme ara desteği	C/Al	Termal genleşme
"	Soğutma plakaları	Bor/Al	Yüksek ısı iletimi, ağırlık azalması
"	Pil yatakları, yatak malzemeleri, ses izolatörleri	Cam fiberler/Pb	
Spor	Golf malzemeleri	SiC _p /Al	Aşınma direnci, hafiflik
"	Bisiklet kadranı	SiC _p veya Al ₂ O ₃ /Al	Rijitlik, hafiflik, yorulma direnci
Kağıt	Giyotin bıçağı	Al ₂ O ₃ /Fe	Aşınma direnci
"	Ön işlem kabuk soyma dişleri	Al ₂ O ₃ /Fe	Aşınma direnci
Aşındırıcılar		SiC _w /Al	
Kesici takımlar		B/Cu-Ti-Sn	
Yatak malzemesi		C/Bronz	
Süper iletkenler		Nb ipliği/Ni,Cu,Ag	
Türbin	Türbin kanatları	SiC kaplı B/Al	
"	Türbin kanat ve bıçakları için yüksek mukavemet ve yüksek sıcaklık malzemeleri, roket nozulları	%0.01–30 serbset karbon içeren SiC _p /Co, Cr ve Mo alaşımları	
"	Türbin fan kanatları basınç kazanları, elektrik fırçaları, araçların kalkan zırhı	C/Mg alaşımları, Cu	

BÖLÜM 3

DİFÜZYON KAYNAĞI

Difüzyon kaynağı, birleştirilmek üzere eşleşmiş iki yüzeyin, malzemelerin ergime sıcaklıkları altındaki bir sıcaklıkta, malzemelerde makroskobik plastik deformasyon oluşturmayan bir basınç altında, katı hal difüzyonu yoluyla malzemeler arasında metalurjik bir bağ oluşuncaya kadar, malzemenin özelliklerini önemli ölçüde etkilemeyecek kadar bir sürede tutulmasıyla yapılan bir işlemdir(Çalığülü, 2006).

Difüzyon kaynağı, benzer olmayan metal ve alaşımlarında, kaynak sonrası birleşme bölgesinde kırılğan metaller arası faz oluşumu nedeniyle malzemelerin dayanımlarının azalması durumunda tercih edilmektedir (Kahraman 2003, Yılmaz 1999, Rosen et al, 1986). Özellikle uçak ve uzay teknolojisinin gelişmesi ile bu alanda kullanılan alternatif malzemelerin, örneğin kompozit (karma) malzemelerin, malzeme kombinasyonlarının, bilinen inorganik malzemelerin ve ileri teknoloji ürünü malzemelerin birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun yanında nükleer santrallerde, harp sanayinde, kesici kalem uçlarının ve sondaj matkap uçlarının imalinde ve pratikte ergitme kaynak yöntemleriyle birleştirme yapıldığında problem olan ya da birleşmeleri mümkün olmayan farklı malzeme çiftlerinin birleştirilmesinde uygulanmaktadır (Taşgetiren vd, 2000).

Difüzyon bir konsantrasyon gradyeninden doğar; yani atomlar yüksek konsantrasyonda buldukları bir bölgeden konsantrasyonları daha düşük olduğu bir bölgeye göç ederler. İki bölge arasındaki konsantrasyon farkı ne kadar büyük olursa, atomlar yüksek konsantrasyonlu bölgeden düşük konsantrasyonlu bölgeye o kadar hızla difüze olurlar (Buytoz 1999).

Difüzyon; sıcaklık, basınç ve konsantrasyon farkı ile doğrudan orantılı olarak artar. Sıcaklık yükseldikçe, moleküllerin hareket alanı büyür ve dolayısıyla difüzyon için gerekli olan moleküllerin değişim hızı da artar.

Difüzyon kaynağında ara yüzeydeki ilk bağlantılar atomlar arasındaki çekimle oluşur. Aynı kristal yapıya sahip katı bir malzemenin atomları arasındaki çekim, kohezyon kuvvetlerini doğurur. Normal olarak her bir atom, üzerine tesir eden kuvvetin sıfır olduğu bir pozisyonu işgal eder. Ne var ki, katı malzeme, harici kuvvetlerin etkisiyle gerildiği zaman; atomlar denge pozisyonunu terk ederler ve kristalin içinde, dış kuvvet tarafından dengelenen bir gerilme meydana getirirler. Atomlar arasındaki çekim kuvveti, birbirlerinden uzaklaşma dereceleri ile orantılı olarak artar, bir maksimumdan geçer ve sonra azalır (Buytoz 1999).

Farklı iki katının yüzeyleri arasındaki çekim ise adhezyon olarak adlandırılır. Aynı ya da farklı iki katının bir araya getirilmesi, yüzeyler arasında bağ oluştururken; aynı cins katı yüzeyler arasında kohezyon kuvvetlerinden dolayı kohezyon, farklı cins yüzeyler arasında da adhezyon kuvvetlerinden dolayı adhezyon işi yapmış olur. Kohezyon ve adhezyon işi serbest yüzey enerjisinin bir fonksiyonudur. Ayrıca iki gevrek malzeme ya da bir gevrek bir sünek malzemeden oluşan bir bağlantı için adhezyon işi, bağlantı mukavemetinin bir ölçüsüdür (Güleç vd, 1993).

Adhezyon ve kohezyon kuvvetlerinin teşekkülü, yani malzeme yüzeyleri arasında birleşmenin sağlanması için, malzeme yüzeylerinin atomlar arası bağın oluşabileceği kadar birbirine yaklaştırılması gerekir.

İki malzemenin difüzyonla birleştirilmesinde, birleştirmenin davranışını önemli ölçüde etkileyen bir diğer kuvvet de, malzemelerin 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 absorpsiyonunun baş sebebidir. Öte yandan metalik malzemelerin yüzeyleri temas ettirildiğinde, Van der Waals kuvvetleri, birleşmeyi sağlayan önemli unsurlardan birisi olmaktadır (Buytoz 1999).

Difüzyon kontrollü birleştirme işlemini başlatabilmek için, iki yüzey artıklardan 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 kesitindeki boşluklar doldurulur.

Difüzyon kaynağının modellenmesi konusunda da pratik uygulamalarla uyum sağlayan çalışmalar yapılmış ve sonuçları aşağıda verilmiştir (Güleç vd, 1993).

Difüzyon kaynağı ile ilgili ilk teorik yaklaşım Kinzel (1944) tarafından sunulmuştur. Daha sonra Gerken ve Owezarski (1965) üç safhalı bir mekanizma ileri sürmüşlerdir. Sonraki yıllarda Shwartz, King ve Owezarki (1980) birbirilerinkiyle aynı olan bir model sunarak, kendi modellerinin son safhalarıyla, Gerken ve Owezarki modelinin ilk safhalarını birleştirmişlerdir. Bu modele göre ilk safhada, birleştirilecek yüzeylerin basınç altında ilk teması ve sürünme meydana getirmektir. Bağlantı arakesiti de esas itibarıyla, tane sınırı olarak tanımlanmıştır. İkinci safhada, birinci safhada yok edilemeyen arakesit boşlukları difüzyon yoluyla yok edilmekte ve arakesit tane sınırları daha düşük bir enerji seviyesine, yani arakesit düzlemi dışına göçmektedirler. Buradaki hakim mekanizma tane sınırı difüzyonudur. Son safha ise tane içindeki boşlukların hacim difüzyonu ile doldurulmasıdır (Kahraman 2005).

Johnson (1985), bu mekanizmaya, başlangıçtaki temasa ulaşmak için uzaklaştırılması gereken oksit filmleri ve diğer yüzey tabakaları açısından yaklaşmıştır. Bartle, Hrivnak ve Hauser, (Johnson'dan 1985), ilk safhada birleşmeye yardım eden başlıca faktörün deformasyon mekanizması olduğunu ileri süren bir model kurmuşlardır. Hauser büyük deformasyonların var olduğu yerde, birleşme mekanizması bir enerji engeli teorisinin izah etmesi gerektiğini düşünmüştür. Artan sıcaklık, basınç ve başlangıçtaki plastik deformasyon bu enerji engelini aşmaya yardım etmektedir. Daha sonraki safhalarda difüzyon işlemleri yani sürünme ve boşlukların doldurulması hakim faktörler olmaktadır (Çalığülü 2005).

Egan (1980), saf titanyum ve bakır üzerinde tabii difüzyon kaynağını incelemiş ve altı safhalı bir mekanizma ileri sürmüştür. Bu mekanizmaya göre;1.safhada, sıcaklık altında ve yüzey pürüzlerinin teması esnasında metal oksitler çözünmekte ve arakesitin her iki tarafında yeniden kristalleşmiş ince bir tabaka meydana gelmektedir. Enerji engelini kıran bu tabakadır. 2. safhada, daha kalın bir tabaka yeniden kristalleşmektedir. 3. safhada, ana metal yeniden kristalleşirken, daha alt tabaka kristalleri yok edilir. 4. safhada, arakesitteki daha önceki kristalleşen taneler yok olurken, küçük fakat görülebilen boşluklar oluşur. 5. safhada, arakesitteki boşlukların sayıları azalırken, boyutları büyür. 6. safhada, orijinal arakesit düzleminde tane sınırı göçü ve tane büyümesi başlar (Çalığülü 2005)

Derby ve Wallach, (1982); difüzyon kaynağını, basınç altında sinterlemeye benzer bir işlem olarak incelemişlerdir. Buna bağlı olarak da şu mekanizmaları sunmuşlardır:

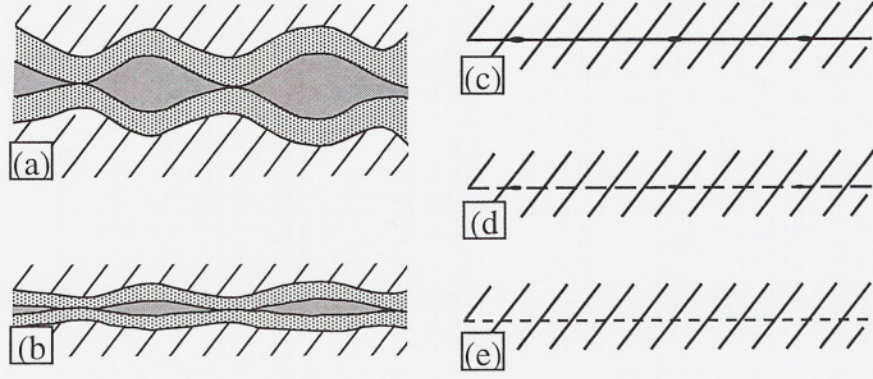
- Yüzeyden kaynaklanan mekanizmalar: Arakesitteki boşluk yüzeyinden, boşluk uzunluğu boyunca yüzey ve hacim difüzyonunun gerçekleşmesi. Burada önemli faktör, bir ara yüzey boşluğunun yüzey pürüzlülük oranıdır.
- Arakesitteki yüzeylerden kaynaklanan mekanizmalar: Birleşme hattı boyunca kimyasal konsantrasyon farkının etkin olduğu, tane sınırı hacim difüzyonu.
- Uygulanan basınçtan kaynaklanan akma ve sürünmenin yol açtığı plastik deformasyon.
- Sıvı faz kütle transferi: Gibbs-Thomson etkisi, yani yüzey pürüzlülüğü nedeniyle bölgesel farklılıklardan doğan basınç farkı.

Difüzyon kaynağı mekanizması ile ilgili model sunan yazarlar başlangıç safhasında plastik deformasyonun, yüzeylerin büyük bir kısmı temas ettiğinde ise yüzeyden kaynaklanan ve ara yüzey mekanizmalarının etkili olduğu konusunda fikir birliği içindedirler. Sıvı faz kütle transferi ise ancak yüksek sıcaklıklarda çalışıldığı zaman söz konusudur (Kahraman 2005)

Şimdiye kadar açıklanan mekanizmaların ortak noktaları ışığında difüzyon kaynağı mekanizmasını aşağıdaki şekilde genelleştirmek mümkündür;

- Yük altında plastik deformasyon
- Sürünme deformasyonu
- Difüzyon
- Yeniden kristalleşme ve tane sınırı göçü (Buytoz 1999).

Şekil 3.1’de difüzyon kaynağı mekanizmaları şematik olarak gösterilmiştir.

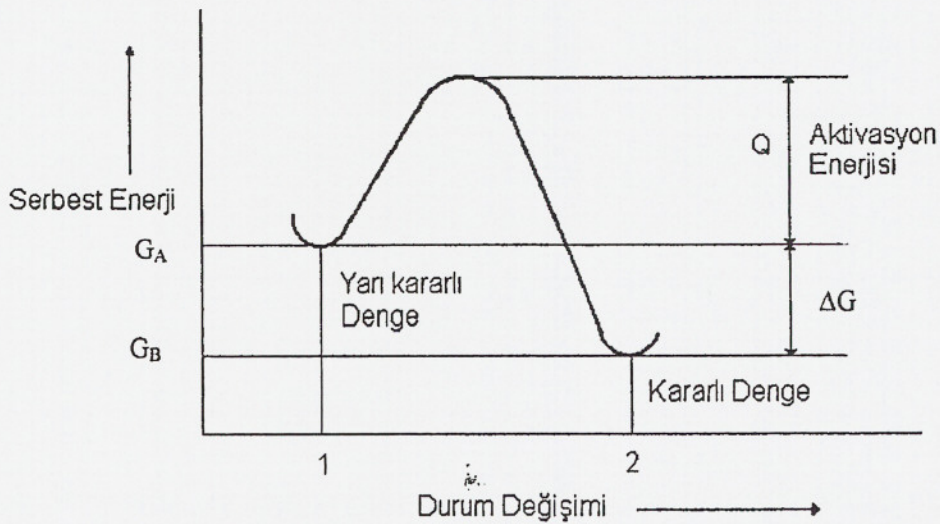


Şekil 3.1 Difüzyon Kaynağı Mekanizması

- Yüzeyler arasında ilk noktasal temas ve kalın bir oksit tabakası varlığı,
- Plastik deformasyon ve sürünme sonrası, daha ince bir oksit tabakası ve geniş boşluklar,
- Akma ve sürünme sonrası, boşluk kalıntısı ve çok ince bir oksit tabakası,
- Yüzey ve hacim difüzyonu sonrası, oksit tabakasının tamamen yok olması; küçük ve az sayıda boşluk kalıntıları,
- Tamamlanmış kaynak (Atasoy, 2007).

3.1 KATILARDA DİFÜZYON

Katılarda martenzitik faz dönüşümleri dışındaki, diğer bütün durum değişimlerinde dönüşümler, difüzyon esaslıdır. Bu dönüşümler kademeli olarak ve sistemin serbest enerjisinin azalması ile devam eder. Kararlı duruma varıldığında serbest enerji en alt seviyeye ulaşır. Şekil 3.2’de serbest enerjinin durum değişimine bağlılığı görülmektedir.

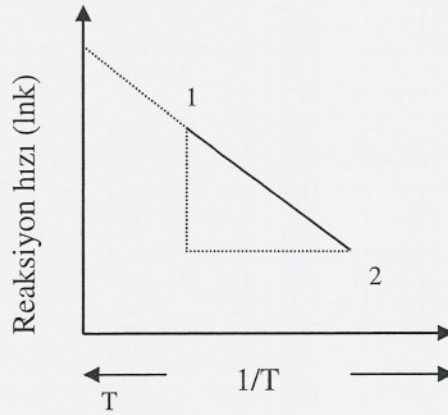


Şekil 3.2 Serbest enerjinin durum değişimine bağlılığı (Q Aktivasyon Enerjisi) (Buytoz 1999).

Şekil 3.2.'de 1 numara ile gösterilen durum, yarı kararlı durum olarak adlandırılır. Birinci durumdan 2. duruma geçiş için sisteme Q aktivasyon enerjisinin verilmesi zorunludur. Ancak o zaman serbest enerji azalma göstererek 2. duruma ulaşılabilir. Burada Q enerjisine aktivasyon enerjisi adı verilmektedir. Bu enerji;

- Sıcaklığın artması,
- Pekleşme oluşturacak şekil değişimi,
- Elektrik ve manyetik alanlar yardımıyla sağlanabilir (Yıldırım 2001).

Atomlar ve boş yerlerin yer değiştirme hızına "k" dersek, "k" değeri Arrhenius denklemi ile tanımlanır. Şekil 3.3.'de Aktivasyon enerjisinin Arrhenius denklemi yardımıyla saptanması gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Aktivasyon enerjisinin Arrhenius denklemi yardımıyla saptanması (Buytoz 1999).

Atomların yer değiştirme hızını aşağıdaki denklem yardımıyla bulabiliriz;

$$k = D_0 \cdot \exp(-Q/R.T)$$

Bu denklemde;

D_0 : Malzemeye Bağlı Sabit,

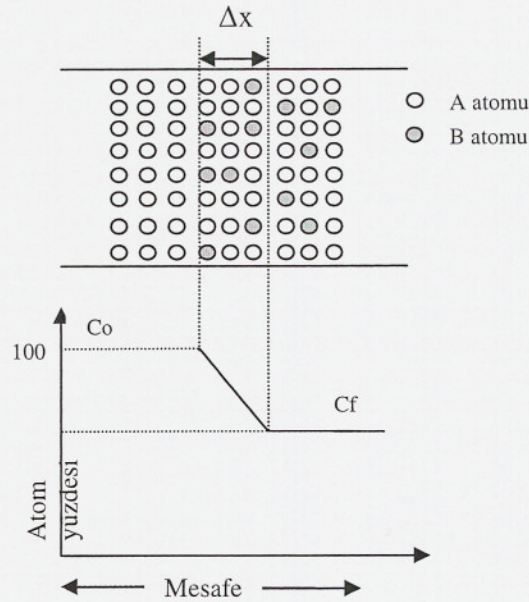
Q : Aktivasyon Enerjisi,

R : Gaz Sabiti,

T : Mutlak Sıcaklık olarak ifade edilir.

k değeri, artan sıcaklıkla sürekli artar. Mutlak sıfır sıcaklığında ise sıfır olur. Atomların ve boş yerlerin yer değiştirmelerine ısı aktivite adı verilir. Toparlanma, yeniden kristalleşme, sürünme ve difüzyon birer ısı aktivitesidir (Buytoz 1999).

Difüze olan cismin yoğunluğunun farklı noktalarda değişik olması halinde, yüksek yoğunluklu noktadan, düşük yoğunluklu noktaya doğru başlar ve konsantrasyon her yerde aynı oluncaya kadar devam eder. Difüzyon hızı herhangi bir nokta ve yönde, yoğunluk gradyenine bağlı olur. Bu nedenle, difüzyon katsayısı, herhangi bir kesit alandan akan toplam kütle, bu kesite dik yöndeki mesafeyle, yoğunluk değişiminin oranı olarak tanımlanabilir. Şekil 3.4'de konsantrasyon gradyeni şematik olarak gösterilmiştir.



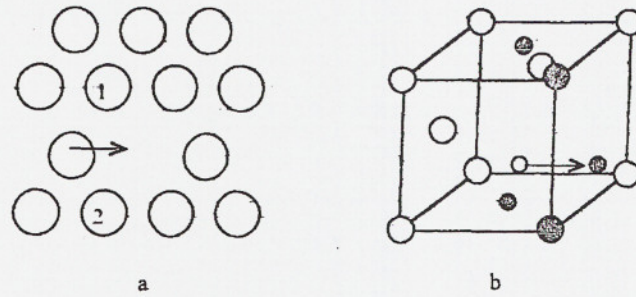
Şekil 3.4 Konsantrasyon gradyeninin şematik gösterimi (Buytoz 1999).

3.2 DİFÜZYONDA ATOMİK MEKANİZMALAR

3.2.1 Yer Alan Difüzyonu

Seyreltik ara yer alaşımlarındaki difüzyon nispeten basittir. Çünkü difüze olan atomlar hareket etmelerine mani olan engelleri aşacak enerjiyi buldukları anda, sıçrayabilecekleri boşluklarla kuşatılmışlardır. Yer alan difüzyonunda, atom ancak komşu kafes noktalarından birinin boş olması halinde sıçrayabilir. Yer alan difüzyonunun en basit hali, saf metaldeki atomların doğal difüzyonudur.

Yer alan atomları, genellikle bir boşluk mekanizması ile difüze olurken, daha küçük çaptaki ara yer atomları, daha büyük çaplı atomlar arasında zorlanarak ilerlerler. Normal olarak, bir yer alan atomunun hareketi, komşuları tarafından sınırlandırılmıştır ve atom başka kafes noktasına hareket edemez. Bununla beraber, bir komşu nokta boş ise Şekil 3.5.a' da gösterildiği gibi, atom bu boşluğa atlayabilir. Şekil 3.5.b'de atlamanın meydana gelebilmesi, siyah olarak gösterilen atomların, göç eden atomun alanından geçmesini sağlayacak yeterli titreşim enerjisini elde etme ihtimaline bağlı olmaktadır. Bir atomun katı içerisinde göç edebilme oranı boşluk konsantrasyonu ile ilgilidir (Buytoz 1999).



Şekil 3.5 Kübik Yüzey merkezli bir kafeste atomun boş bir konuma hareketi (Buytoz 1999).

- Bir (kapalı) sık paket düzlemi
- Atlama meydana gelmeden önce yer değiştirmesi gereken dört atomlu (siyah renkle) gösterilen bir kafes birimi

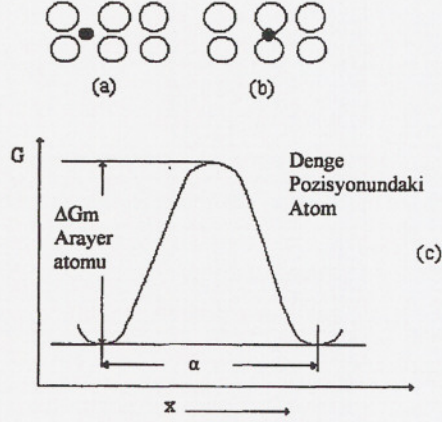
Yer alan difüzyonunun olabilmesi için:

- Atom çapları farkının %15'ten küçük olması,
- Malzemelerin aynı kristal kafes sistemine sahip olması,
- Elektronegativite farkının küçük olması,
- Valans elektronlarının eşit olması gereklidir (Yıldırım 2001).

3.2.2 Ara Yer Difüzyonu

Çözünen bir atomun çapı, içinde çözüldüğü atomunkinden küçük ise, kafesteki ara yerleri işgal eder. Fe, Cr, Ni, Mn, W, Ti, gibi geçiş elementleri B, C, H, N ve F gibi atom yarıçapı küçük (ana matristeki atom çapının yaklaşık 0.15'i kadar) elementlerle ara yer katı çözeltilisi oluşturur. Malzemelerde ara yer noktaları, kübik kafesin köşeleri arasındaki mesafenin ortasıdır. Bunlara oktahedral noktalar denir.

Ara yer atomlarının yoğunluğu genellikle düşüktür. Dolayısıyla mevcut ara yer noktalarının az bir kısmını işgal ederler. Yani bir ara yer atomu boşluk noktaları ile kuşatılmış olup ısı enerjisinin, deformasyon enerjisi engelini aşmaya izin verdiği oranda başka bir pozisyona atlar. İşte ara yer atomlarının kafes örgüsü içindeki başka bir ara yer noktasına göçü şeklinde gerçekleşen difüzyona ara yer difüzyonu denir (Buytoz 1999). Bir ara yer atomunun difüzyonuna ait resim ve serbest enerji değişimi Şekil 3.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Ara yer atomu yer değiştirmesi ve aktivasyon enerjisi değişimi (Buytoz 1999).

- Denge pozisyonunda,
- Maksimum kafes distorsiyonunda,
- Ara yer pozisyonununun bir fark pozisyonu olarak, kafesin serbest enerjisindeki değişim

3.3 DİFÜZYON KAYNAĞINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Difüzyon kaynağı uygun bir atmosferde (genellikle vakum veya koruyucu gaz), uygun sıcaklık ve basınçta katı halde malzemelerin birleştirilmeleri olarak tanımlanabilir. Difüzyon kaynağı şartları malzemenin cinsine göre değişebilir (Çelik 1999). Aşağıda difüzyon kaynağına etki eden faktörler verilmiştir. Bunlar:

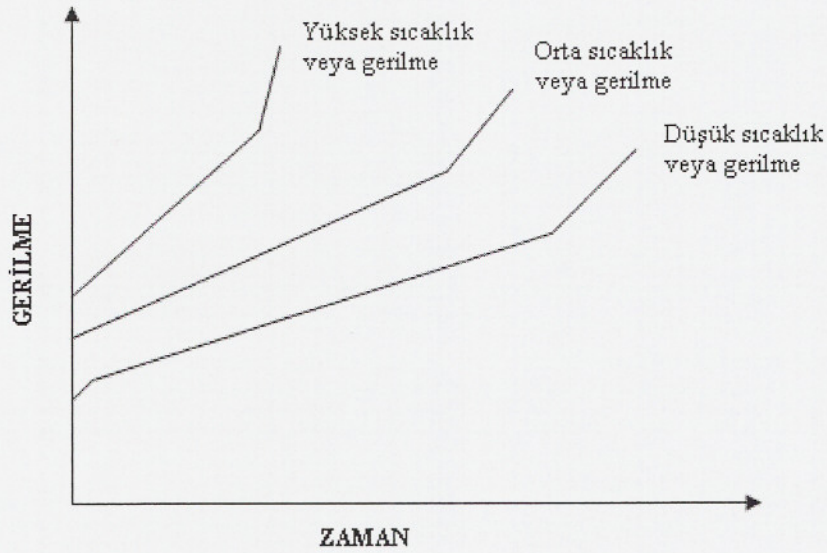
- Kaynak Sıcaklığı
- Kaynak Süresi
- Kaynak Basıncı
- Diğer Faktörler
 - Yüzey Şartları
 - Kaynak Ortamı (Atmosferi)
 - Birleştirilecek Malzemelerin Mikro Yapıları ve Tane Boyutları

3.3.1 Kaynak Sıcaklığı

Difüzyon kaynağında sıcaklık (deformasyona, oksit çözünürlüğüne, allotropik dönüşüme, yeniden kristalleşmeye, sürünme, difüzyon ve işlem süresine etkili olduğu için) en önemli kaynak parametresidir. Aynı cins metallerin birleştirilmesinde işlem sıcaklığı 05–08 Tm (metalin ergime/katılma sıcaklığı) olarak alınır. Gereğinden yüksek sıcaklıklar tane irileşmesine ve dayanımın düşmesine neden olur (Güleç 1993).

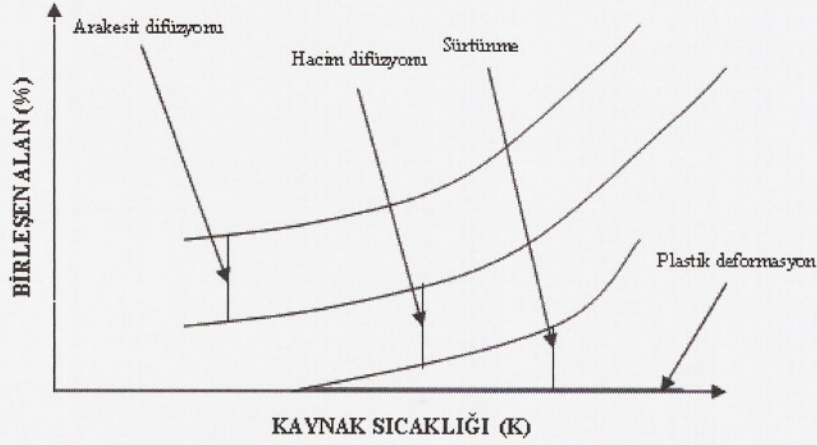
Difüzyon kaynağında ısıtma ve soğutma sıcaklıkları önemlidir. Endüstriyel çalışmalar için 50 °C/dakika'lık ısıtma hızı olumlu sonuç verirken, farklı metallerin birleştirilmesinde lineer ısı genleşme katsayılarına bağlı olarak 15 °C/dakika'lık maksimum ısıtma hızı önerilmektedir.

Sıcaklık arttıkça ana malzemenin akma gerilmeleri azalır. Böylece hem ilk plastik deformasyon, hem de yüzey pürüzlülüklerinin sürünmesi kolaylaşır. Dolayısıyla kaynak için gerekli temas alanı elde etme süresi kısalmır (Buytoz 1999). Şekil 3.7.'de uygulanan basınç ve sıcaklığın sürünme eğrisine etkisi görülmektedir.



Şekil 3.7 Sıcaklık ve uygulanan basıncın sürünme eğrisine etkisi (Atasoy 2007).

Pratikte, difüzyon kaynağında uygulanan sıcaklığın değeri, malzemenin mutlak ergime sıcaklığından daha küçük olan sıcaklık değeridir. Bu sıcaklığın mümkün olduğu kadar yüksek, sabit ve homojen olarak uygulanması gerekir. Sıcaklığın temas alanındaki birleşen alan üzerindeki etkisi Şekil 3.8.'de görülmektedir.



Şekil 3.8 Sıcaklığın birleşme alanı üzerindeki etkisi (Atasoy 2007).

3.3.2 Kaynak Süresi

Difüzyon kaynağında önemli parametrelerden birisi de kaynak süresidir. Kaynak süresi, sıcaklık ve basınca bağlı olup, sıcaklık ve basınç artırılarak süre kısaltılabilir. Birçok durumda süre minimum seçilir. Bu ekonomik şartlar bakımından önemlidir. Kaynak işlemi için yeterli zaman, yüzeylerde karşılıklı temas sağlanarak atomların hareketine yetecek ve bu aşamada tutularak birleşmenin sağlanabildiği süre kadardır.

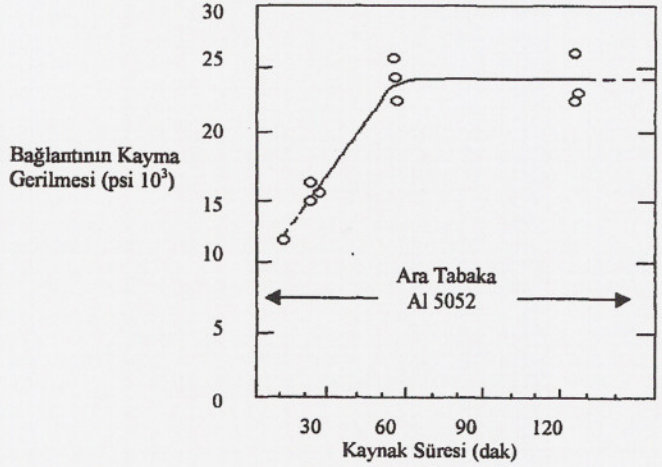
Ayrıca birleşme yüzeylerindeki kir ve oksitler kaynak süresini arttırır. kaynak sıcaklığı 0.5-0.8 Tm değerleri seçildiğinde, yüzey hazırlığı, malzeme özellikleri, atmosfer ve diğer faktörlere bağlı olarak kaynak süresi değişmekte olup, ortalama 100 dakika veya daha uzun süreler olabilir (Aydın 2003).

Difüzyon zamanı sıcaklıkla yakından ilişkili olup, difüzyon kontrollü birçok reaksiyon, zamanla değişmektedir. Difüzyon mesafesi X, difüzyon işlemi sırasında ortalama nüfuz eden atom mesafesidir. Bunu aşağıdaki şekilde ifade edebiliriz;

$$X = C \cdot (D \cdot t)^{1/2}$$

Burada; X:Difüzyon mesafesi t:Zaman (sn)
D:Difüzyon katsayısı C: Sabit

Bu ifadeden anlaşılacağı gibi difüzyon reaksiyonları zamanın karekökü ile ilerler. Bu da zamanın difüzyondaki etkisini göstermektedir. Sabit basınç ve sıcaklıkta birleştirme süresini artırmanın, bağlantı mukavemetini bir noktaya kadar arttırabileceği belirtilmiştir (Aydın 2003). Şekil 3.9.'da sabit basınç ve sıcaklıkta birleştirme süresini uzatmanın, bağlantı mukavemetini bir noktaya kadar arttırdığını görmekteyiz.



Şekil 3.9 Bağlantının kayma mukavemeti ile kaynak süresi arasındaki ilişki (Buytoz 1999).

3.3.3 Kaynak Basıncı

Difüzyon kaynağında basınç, iki yüzey arasında teması ve difüzyon işlemini başlatmak üzere kimyasal bir potansiyel farkı üretmek için yeterlidir. Yüzey oksitlerini kırmadan teması başlatmak mümkün değildir.

Kaynak esnasında uyulması gereken basınç, difüzyon kaynağına aşağıdaki şekilde etki eder;

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

Tüm bunların yanında uygulanan basıncın olumsuz tesirlere sebep olmaması için bazı hususların dikkate alınması gereklidir. Bu hususlar:

- Kaynak basıncı birleştirilecek parçaların plastik hacim deformasyonuna en aza indirmek için, akma gerilmelerinin altında tutulur,
- Uygulanacak basınç izostatiktir,
- Uygulanacak basınç, yüzey pürüzlerinin sürünme hızı ve plastik deformasyonu artıracak kadar büyük, kaynak edilecek parçaların makroskobik deformasyonuna yol açmayacak kadar düşük seçilmelidir (Güleç vd, 1993).

3.3.4 Diğer Faktörler

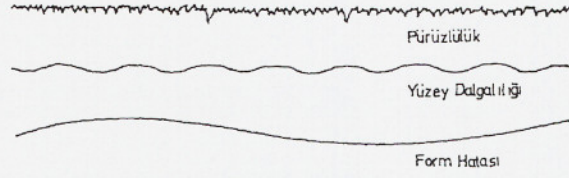
3.3.4.1 Yüzey Şartları

Bir metal yüzeyinde çeşitli yabancı maddeler bulunmaktadır. Kaynak yapılacak metallerin bağlantı yüzeylerinin yeteri kadar kir ve oksit atıklarından temizlenmesi gerekir. Birleşme yüzeylerinde oksit oluşumunu sağlayan gazlar giderilmelidir. Bu nedenle kaynak işlemi vakum ya da koruyucu gaz altında yapılmalıdır. Oksit gibi organik filmler, mekanik olarak kırıldıkları için genelde kaynak işlemine engel olmazlar. Hareketli organik yüzey kirleri ise kaynak işlemine büyük engel yaratırlar (Bilgin 2007).

Difüzyon kaynağının kalitesine tesir eden yüzey şartlarını genele olarak şöyle sıralayabiliriz;

- a)Yüzey pürüzlülüğü,
- b)Yüzey filmleri,
- c)Yüzey artıkları

Pürüzlülük yüzeyler arasında tam temasa ulaşmak için gereken süreyi etkiler. Pratikte bir metal, yükseklik ve dalga boyu küçük olan yüzey pürüzlülüğüne sahiptir. Difüzyon kaynağında, özellikle uzun dalga boyundaki pürüzler önemlidir. Çünkü difüzyon kaynağının kendisi sıcaklık ve mesafeye bağlı olduğundan, boşlukların yok edilmesi için, hem çok yönlü basınç uygulaması hem de uzun zaman gerekecektir. Haddelenmiş halde, bilhassa ince levhalar, iyi bir yüzeye sahip olma açısından avantajlıdır (Bilgin 2007). Şekil 3.10 ve Şekil 3.11 sırasıyla, yüzey kusurları ve yüzey pürüzlülüğünün sıcaklıkla değişimini göstermektedir.

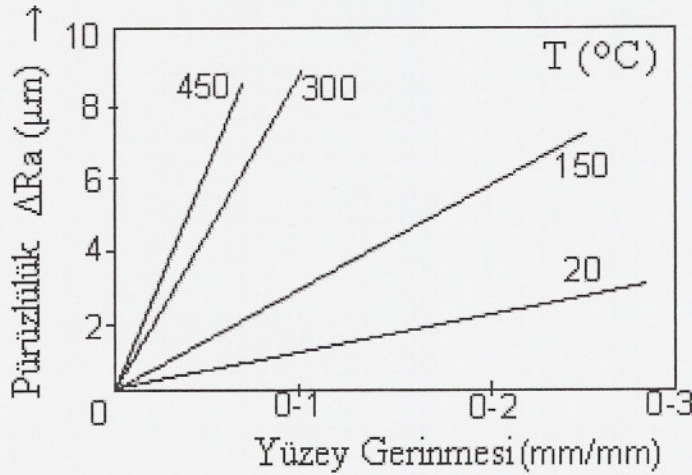


Şekil 3.10 Yüzey kusurları (Bilgin 2007).

Yüzey artıkları, hemen hemen bütün yüzeylerde, değişik şekillerde mevcuttur. Bunlar iki gruba ayrılabilir:

- Normalde oldukça kırılğan olan oksit filmleri
- Yağ, gres, toz gibi organik ya da inorganik tabakalar

Oksit filmleri, yaklaşık 10-20 atom seviyesinde bir derinliğe nüfuz eden tabakalardır. Bütün sıcaklık değerlerinde H_2O , CO_2 , ve SO_2 gibi gazlar, oksit film kalınlığını artırmaktadır. Oksit tabakaları birleşecek yüzeylerin temasını önleyip, birleşme esnasında difüzyon yoluyla sinterlenmeye yok açarak, bağ teşekkülünü geciktirir ve arakesitte tane sınırı difüzyonunu engelleyerek, boşluk kalmasına sebep olur. Oluşması muhtemel, makro, mikro ve başlangıç teması boşluklarının oluşması oksit filmleri sonucudur (Bilgin 2007).

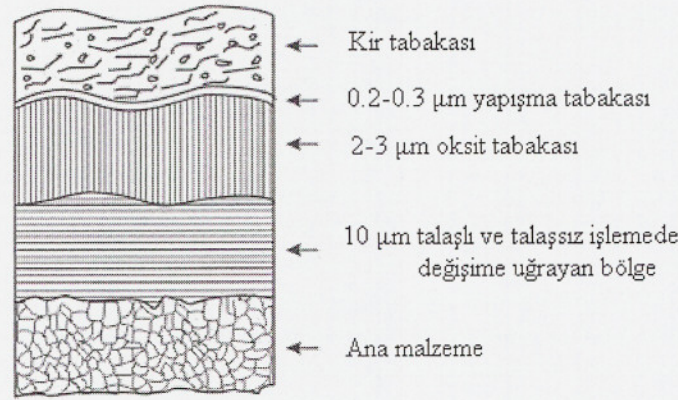


Şekil 3.11 Yüzey deformasyonu ile pürüzlülük arasında sıcaklığa bağlı değişim (Bilgin 2007).

Yüksek sıcaklıklarda $<0.5 T_m$, (T_m : Mutlak ergime sıcaklığı) birçok metal oksidi (Cu, Ti, Zr, Nb, Ta ve Mo gibi elementlerin oksitleri), ana metal içinde çözünür ya da dağılır (Ag_2O gibi).

Dolayısıyla bağlantıya zarar vermez. Al_2O_3 gibi oksitlerle, nitrür ve karbür filmleri ise metaller arası bağ oluşumuna engel olurlar.

Yağ, gres, toz hatta parmak izi gibi atıklar, aşağı yukarı oksit filmleriyle aynı etkiye sahiptirler. Dolayısıyla kaynaktan önce yüzeyden uzaklaştırılmaları gerekir. Oksit filmlerinin kaldırılması için, kimyasal dağlama ve asitle temizleme yöntemleri kullanılır. Diğer atıklar, yıkama, $300^{\circ}C$ 'ye kadar sıcaklıkta kurutmaya uzaklaştırılabilir. Şekil 3.12.'de bir malzemenin yüzeyindeki katmanlar gösterilmiştir.



Şekil 3.12 Bir malzemenin yüzeyindeki katmanlar (Bilgin 2007).

3.3.4.2 Kaynak Ortamı (Atmosferi)

Difüzyon kaynağında parça yüzeylerini 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.

Soy gaz olarak argon, azot ve helyum kullanılabilir. Oksijen miktarını en aza indirmeye yardım eden hidrojen de redükleyici olarak kullanılabilir. Ancak hidrojen, titanyum, zirkonyum, hafniyum, kolombiyum ve tantal alaşımlarında hidrat oluşturduğundan dikkat edilmesi gereken bir husustur.

Soy gazlar atmosferdeki oksijenin tesirini belirli bir dereceye kadar azalttığından kararlı oksitlere sahip metallere vakum kullanılmalıdır. 1.3×10^{-3} Pa'dan daha fazla bir vakum oksit filmlerinin çözülmesini sağlayabilmekte ise de uygulamada 1.3×10^{-2} ile 1.3×10^{-5} Pa'lık

basınçlar kullanılmaktadır. Vakum altında yapılan kaynaklı birleştirmeler, vakum çok yüksek olmasa bile, yeterince saf olmayan asal gazların koruyuculuğu altında yapılan birleştirmelerden deha iyi dayanım sağlamaktadır (Buytoz 1999).

3.3.4.3 Birleştirilecek Malzemelerin Mikroyapıları ve Tane Boyutları

Difüzyon kaynağına tesir eden değişik faktörler vardır. Bu faktörler mikroyapı, tane boyutu ve ilave metal (ara tabaka) kullanılması şeklinde sınıflandırılabilir. Çift fazlı titanyum alaşımları üzerinde yapılan araştırmalar farklı mikroyapıların farklı sürünme hızına sahip olduklarını göstermiştir. Bu yapılar:

1. İnce taneli küre
2. Lamelli
3. Tabakalı tip olmak üzere üç grupta incelenir.

Difüzyon kaynağı için en ideal yapının ince taneli yapı olduğu tespit edilmiştir. Bu yapı süper plastik alaşımlarda mevcuttur. Tabaka şeklinde taneler arttıkça sürünme hızı azalmakta ve sonuçta ara kesitte boşluklar kalmaktadır. Lamelli yapı diğer iki yapı ile karşılaştırıldığında, daha yüksek 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 oluşumunu olumlu yönde etkilemektedir (Çalığülü 2005).

Calvo alüminyum ve bakırın difüzyon kaynağı üzerinde çalışmış, katı halde birbiri içinde tamamen çözünmeyen bu metalleri, bilhassa, intermetalik bileşiklerin ve ara fazların oluşması açısından inceleyerek başlangıçtaki mikroyapının, bu tür istenmeyen yapıların meydana gelmesinde etkili olduğunu göstermiştir (Çalığülü 2005).

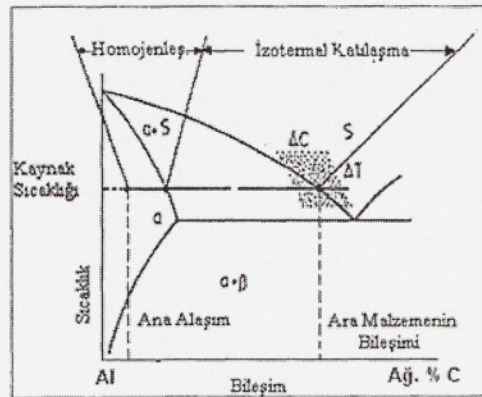
Tane boyutunun hem kaynak esnasında, hem de kaynak sonrasında bağlantının mukavemeti açısından büyük önemi vardır. Kaynağın ilk safhalarında boşluklar daha çok tane sınıрыyla kesişir. Dolayısıyla boşluğu önlemek için birden çok tane sınırı etki eder. Atomlar bu tane sınırlarından boşluğa difüze olarak onu küçültürler. Tane boyutu küçülüp, tane sayısı arttıkça, boşlukların difüzyonla doldurulması kolaylaşmakta ve arakesitte kalması ihtimali azalmaktadır.

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

Ara tabaka malzemesinin fonksiyonlarını şöyle özetleyebiliriz:

- Metalik bir bağ oluşturmak için ana metalde çözünmek,
- Birbirinden farklı malzemelerin birleştirilmesi halinde intermetalik fazların oluşumunu engellemek,
- Ön ısıtma esnasında, yüksek sıcaklıklarda, birleştirilecek yüzeyleri oksitlenmeye karşı korumak,
- Elektro-kaplama, buharlaşma veya iyon kaplama ile malzemelerin difüzyon özelliğini geliştirmek,
- Düşük akma gerilmeli malzeme ya da sıvılar ihtiva eden bölgeler oluşturarak, oksit filmlerini en aza indirmek,
- Ara kesit boşluklarında, geçici sıvı fazlar oluşturarak, yüzey pürüzlerinin olumsuz tesirlerini en aza indirmek (Çalığülü 2005).

Kullanılacak ara tabakanın ergime sıcaklığının ana metale göre daha düşük olması ve ana metalde çözünebilir olması istenir. Ara tabaka kullanmanın kaynak bölgesine etkisi Şekil 3.13.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.13 Ara tabaka kullanmanın kaynak bölgesine etkisi (Çalığülü 2005).

3.4 DİFÜZYON KAYNAĞI TEKNİKLERİ

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

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

Difüzyon kaynağı, uygulanma ortamına göre;

- Koruyucu gaz atmosferinde difüzyon kaynağı,
- Vakum altında difüzyon kaynağı olmak üzere ikiye ayrılabilir (Buytoz 1999).

3.5 DİFÜZYON KAYNAĞI UYGULAMA ALANLARI

Difüzyon kaynağının uygulama alanlarını ana başlıklar altında şöyle sıralayabiliriz:

- Havacılık ve uzay sanayi,
- Nükleer sanayi,
- Elektronik sanayi,
- Savunma sanayi, genel mühendislik (Çalığülü 2005)

Difüzyon kaynağının özel avantaj sunduğu bağlantı türleri:

- Difüzyon kaynağıyla, bir defada birleştirilmesi mümkün olmayan karmaşık şekilli ve içi boş yapı elemanları birleştirilebilmektedir,
- Difüzyon kaynağı, havacılık sanayinde daha ucuz, daha verimli, daha hafif parçaların üretimini mümkün kılar.
- Dökümlerde karmaşık maçalardan, dövmede girinti açılardan doğan problemlerin üstesinden gelmede difüzyon kaynağı kullanılmaktadır.

- Nükleer endüstride çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Battelle, sıcak-izostatik difüzyon kaynağını küçük UO_2 levhacıklarıyla düz plaka yakıt elemanları üretiminde kullanmıştır. Bu elemanlar da Westinghouse Bettis basınçlı su reaktörlerinde ikinci çekirdek olarak kullanılmıştır (Buytoz 1999).

Günümüzde birbirinin aynı ya da farklı birçok malzeme difüzyon kaynak yöntemi ile birleştirilebilmektedir. En yaygın ve başarılı uygulama titanyum ve alaşımlarından uçak parçaları yapımında görülmektedir. Son zamanlarda Ti-alüminidleri, yüksek mukavemetli Al-alaşımları (Al-Li gibi), Ni esaslı alaşımlar, metal matrisli kompozitler difüzyon kaynağıyla birleştirilmiştir. Çizelge 3.1’de difüzyon kaynak yöntemine uygun metal çiftleri ve ara tabaka malzemeleri, Çizelge 3.2’de ise metal çiftleri için difüzyon kaynağı işlem parametreleri verilmiştir.

Çizelge 3.1 Difüzyon kaynak yöntemine uygun metal çiftleri ve ara tabaka malzemeleri (Buytoz 1999).

METAL I	ARA TABAKA	METAL II
Molibden	Titanyum	Molibden
Mo-%0.5 Ti	Titanyum	Mo-%0.5 Ti
Tungusten	Niobyum	Tungusten
Niobyum	Zirkonyum	Niobyum
Yüksek Alaşımlı Çelik	Berilyum	Yüksek Alaşımlı Çelik
Yüksek Alaşımlı Çelik	Niobyum-Berilyum	Yüksek Alaşımlı Çelik
Titanyum	Molibden	Bakır
Titanyum	Niobyum	Bakır
Molibden	Nikel	Yüksek Alaşımlı Çelik
Berilyum	Ag-Cu	Bakır
Alüminyum	Bakır	Kovar

Çizelge 3.2 Metal çiftleri için difüzyon kaynak parametreleri (Aydın 2003).

Metal I	Metal II	Ara Tabaka	Sıcaklık ©	Basınç (Pa)	Zaman (dk)
Bakır	Molibden	-	900	7,35	10
Bakır	Çelik	-	900	4,9	10
Bakır	Nikel	-	900	14,7	20
Bakır	Bakır	-	800–850	4,9–6,9	15–20
Titanyum	Nikel	-	800	9,8	10
Titanyum	Bakır	Molibden	950	4,9	30
Titanyum	Bakır	Niobyum	950	4,9	30
Titanyum	Bakır	-	800	4,9	30
Molibden	Molibden	Titanyum	915	6–6,8	20
Molibden	Çelik	-	1200	4,9	10
Tungusten	Tungusten	Niobyum	925	6–6,8	20
Tantalyum	Tantalyum	Zirkonyum	870	-	-
Niobyum	Niobyum	Zirkonyum	870	-	-
Zirkaloy-2	Zirkaloy-2	Bakır	1040	20,6	30–120
Çelik	Alüminyum	Bakır	550	4,9	30
Berilyum	Berilyum	63-Ag-27	800	-	30
Bakır	Bakır	Cu-10-In	-	-	-
Kovar	Kovar	-	1000–1110	10,6–24,5	20–25
Çelik	D.demir	-	850–950	14,7	7
Çelik	Alüminyum	-	500	7,35	30

BÖLÜM 4

KOROZYON

Korozyon, malzemelerin içinde buldukları ortamın etkisiyle, kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonlar sonucunda fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinde değişmelerin meydana gelmesidir (Tamirci 2008).

4.1 KOROZYON ÇEŞİTLERİ

Değişik ortamlarda oluşan korozyon olayları birbirinden oldukça farklıdır. Pratik olarak birbirinden ayırt edilebilen korozyon türleri aşağıda verilmiştir.

4.1.1 Üniform Korozyon (Genel Korozyon)

Metal yüzeylerinin her noktasında aynı hızla yürüyen korozyon çeşididir. Normal olarak korozyon olayının bu şekilde yürümesi beklenir. Üniform korozyonu sonucu metal kalınlığı her noktada aynı derecede kalır.

4.1.2 Çukur Korozyonu

Metal yüzeyinin bazı noktalarında çukur oluşturarak meydana gelen korozyon türüdür. Bu tip korozyon olayında anot ve katot bölgeleri birbirinden kesin şekilde ayrılmıştır. Anot, yüzeyin herhangi bir noktasında açılan çukurun içindeki dar bir bölge, katot ise çukurun çevresindeki çok geniş bir alandır. Korozyon sonucunda çukur gittikçe büyüyerek metalin o noktasından kısa sürede delinmesine neden olur. Bu nedenle çukur tipi korozyon çok tehlikeli bir korozyon türü olarak kabul edilir.

4.1.3 Galvanik Korozyon

İki farklı metalin bağlantısından ileri gelen bir korozyon çeşididir. Metallerden daha soy olanı katot, daha aktif olanı ise anot olur. Böylece bir korozyon hücresi meydana gelir. Bu hücrede yalnız anot olan metal korozyona uğrar.

4.1.4 Çatlak Korozyonu

Metal yüzeyinde bulunan çatlak, aralık veya cep gibi çözeltinin durgun halde kaldığı bölgelere oksijen transferi gerçekleşir. Bunun sonucu olarak bu bölgeler anot, çatlağın çevresindeki metal yüzeyleri katot olur. Çatlak korozyonu yalnız metal yüzeylerinde bulunan bir çatlakta değil, metal olmayan bir malzeme ile metal yüzeyi arasında da meydana gelebilir.

4.1.5 Kabuk Altı Korozyonu

Metal yüzeyinde korozyon ürünlerinin oluşturduğu veya başka bir nedenle oluşan bir kabuk (birikinti) altında meydana gelen korozyona kabuk altı korozyonu denir. Bu korozyon kabuk altının rutubetli olmasından ve yeteri kadar oksijen alamamasından kaynaklanır. Çünkü kabuk altında sıvı hareketi yoktur. Bu durum çatlak korozyonuna benzer bir ortam oluşturur. Kabuğun altı anot, kabuk çevresi ise katot olur.

4.1.6 Filiform Korozyonu

Metal yüzeyinde bulunan boya veya kaplama tabakası altında yürüyen bir korozyon olayıdır. Filiform korozyonu, çatlak korozyonunun bir türü olarak kabul edilebilir.

4.1.7 Seçimli Korozyon

Bir alaşım içinde bulunan elementlerden birinin korozyona uğrayarak uzaklaşması sonucu oluşan korozyon olayıdır. Bu tip korozyona en iyi örnek, pirinç alaşımında bulunan çinkonun bakırdan önce korozyona uğramasıdır.

4.1.8 Taneler Arası Korozyon

Bir metalin kristal yapısında tanelerin sınır çizgisi boyunca meydana gelen korozyona taneler arası korozyon denir. Taneler arası korozyonun en tipik örneği paslanmaz çeliklerde görülür.

4.1.9 Erozyonlu Korozyon

Korozif çözeltilerin metal yüzeyinden hızla akması halinde, korozyon olayı yanında erozyon da meydana gelir. Bu durum korozyon hızının da artmasına neden olur. Bunun nedeni, oluşan korozyon ürünlerinin akışkan tarafından sürüklenerek götürülmesidir. Erozyonlu korozyon olayı daha çok hareketli akışkanların bulunduğu ekipmanlarda, (borular, dirsekler, valfler vb.) söz konusu olabilir.

4.1.10 Aşınmalı Korozyon

Birbiri üzerinde kayan iki yüzeyin aşınması ile birlikte yürüyen korozyon olaylarına aşınmalı korozyon denir. Aşınmalı korozyon daha çok metallerin yığın halinde uzun mesafelere taşınmaları sırasında ve gevşek bağlantı yapılmış elemanlar arasında görülür.

4.1.11 Stres Korozyonu

Korozif ortamda bulunan bir metal aynı zamanda statik bir gerilme altında ise, metalin çatlayarak kırılması, korozyonun başlaması için uygun bir ortam oluşur. Normal halde korozyon ürünleri metal yüzeyinde koruyucu bir kabuk oluşturduğu halde, stres altında iken kabuk oluşturmaz. Bunun sonucu olarak korozyon hızla devam ederek metalin o bölgede çatlamasına neden olur.

4.1.12 Yorulmalı Korozyon

Periyodik olarak yükleme-boşaltma şeklinde etkiyen dinamik bir stres altında bulunan bir metal zamanla yorulur. Yorulmuş halde bulunan metal, normalden daha küçük gerilmelerin etkisiyle çatlayabilir. Yorulma ve korozyonun birlikte etkisi metalin kısa sürede çatlamasına neden olur.

4.1.13 Kaçak Akım Korozyonu

Doğru akım ile çalışan raylı taşıt araçları, doğru akım taşıyan yüksek voltajlı elektrik hatları ve kaynak makineleri zemin içine kaçak akım yayarlar. Bu kaçak akımlar çevrede bulunan metalik yapılara girerek korozyona neden olurlar.

4.1.14 Mikrobiyolojik Korozyon

MIC (mikrobiyolojik etkiden kaynaklanan korozyon veya mikrobiyolojik korozyon), mikroplar, bakteriler ve mantarlar tarafından başlatılan veya hızlandırılan korozyondur. Mikrobiyolojik korozyon, normal korozyon olaylarından farklı yapıda olmayıp, bazı mikro canlıların korozyonun reaksiyon hızını artırması şeklinde kendini gösterir.

4.2 ALÜMİNYUM ESASLI METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN KOROZYONU

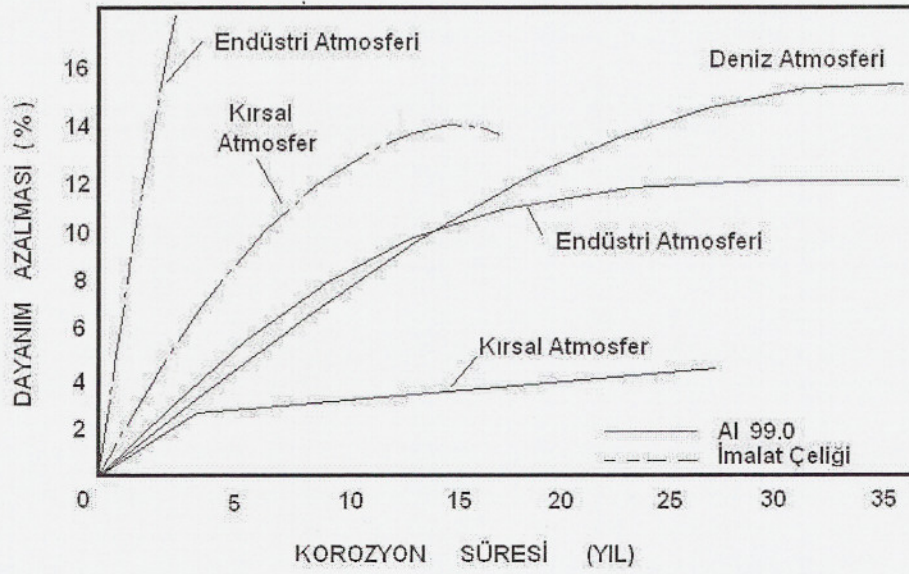
Düşük özgül ağırlık, elektrik ve ısıyı iyi iletibilme, yeterli sayılabilecek mekanik dayanım ve iyi plastik şekillendirme kabiliyetine sahip olan alüminyum, değişik korozif ortamlarda kullanılabilir. Özellikle korozyon dayanımının arandığı durumlarda, alüminyumun saflığının %99,5'in altında olmaması gereklidir (Görener 2007). Çizelge 4.1'de bazı alüminyum alaşımlarının farklı korozyon ortamlarındaki durumları gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Alüminyum ve bazı alaşımlarının farklı korozyon ortamlarındaki durumları (Görener 2007).

Korozif Ortam	Al (%99,5)	AlMg	AlCuMg	Kullanım Yeri
Asetilen (kuru)	1		2-3	Basınçlı Tüp
Amonyak (kuru, sıvı)	1-2	1-2		Soğutma
Etan	1	1		Basınçlı Tüp
Endüstri Atmosferi	2-3	2-3	3	İnşaat-Taşıt
Deniz Atmosferi	1-2	1	3-5	Gemi İnşaatı
Benzol	1	1	1	Kap. Aparat
Benzin	1	1	1-3	Otomotiv
Destile su	1-2	1-2		Kimya
Freon	1	1		Soğutma
Buz	1	1	2	Soğutma
Deniz Suyu	2-3	1-2	3-5	Gemi

Alüminyumun birçok korozif ortama karşı gösterdiği direnç, mevcut koşullara bağlı olarak yüzeyinde oluşan, amorf veya kristalin alüminyum oksit tabakasından dolayıdır. Atmosferde oluşan yüzey filmi daha çok amorfudur, su ve su buharı içerisinde ise daha çok kristalin yapıda yüzey film oluşur. Oluşan tabaka ne kadar homojen ise, aynı koşullarda korozyon dayanımı da o kadar iyidir.

Alüminyum malzemeler, atmosfer içerisinde korozyona karşı oldukça dayanıklıdır. Şekil 4.1'de alüminyum malzeme ile imalat çeliğinin karşılaştırmalı korozyon durumu gösterilmektedir.



Şekil 4.1 Alüminyum malzeme ile imalat çeliğinin karşılaştırmalı atmosferlerde korozyon durumu (Görener 2007).

Alüminyum, yüksek elektronegatif potansiyelli bir metaldir. Normal denge gerilimi $-1,67V$ 'tur. Buna rağmen, alüminyumun dış hava şartlarına, bir çok zayıf asit çözeltilerine, çoğu nötr çözeltilere ve suya karşı oldukça yüksek korozyon dayanımı vardır. Sadece atmosferdeki veya suda çözünmüş oksijen değil, suyun kendisi bile alüminyumun bir pasivatörüdür. Alüminyum pasif duruma geçtiğinde elektrot potansiyeli, normal denge potansiyelinden $1 V$ daha fazla pozitifdir. Örneğin; $0,5 N NaCl$ çözeltisinde alüminyumun potansiyeli $-0,57 V$ 'dur. Pasif durumdaki alüminyumun yüzeyi, duruma bağlı olarak kalınlıkta $50-1000 \text{ \AA}$ arasında değişen kalınlıklarda koruyucu bir film tabakasıyla kaplıdır. Kuru havaya maruz bırakılan alüminyum, $150-200 \text{ \AA}$ yüzey film kalınlığına sahiptir. Alüminyumdaki koruyucu filmler, atmosferik karakterli olup, oksitleyici olmayan kuvvetli asitlerde ve alkalilerde çözünür.

Alüminyumun aktif hale geçmesi, yüzeyini cıva ya da cıvalı tuz çözeltisiyle silmekle mümkün olabilmektedir. Böylesi bir durumda alüminyum, havada ve nötr çözeltilerde kararsızdır ve hidrojen serbestisiyle saf suda bile hızlı bir şekilde çözünür. Alüminyumun kendi kendine pasivasyona olan hassasiyeti, bu metali pek çok nötr ve zayıf asidik çözeltilere karşı dayanıklı kılar. Bundan dolayı alüminyum, oksitleyici asitlerin etkisi altında bile kararludur (Görener 2007)

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

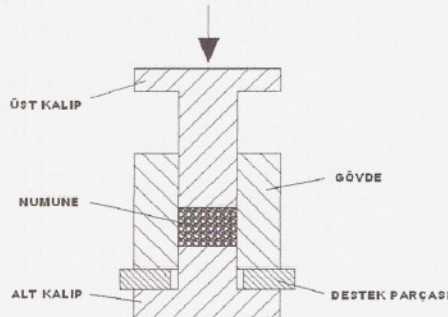
5.1 DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER

Al-SiC_p esaslı kompozit malzemelerin difüzyon kaynak kabiliyetinin incelenmesi amacıyla yapılan deneysel çalışmalarda, ağırlıkça %5, %10, %20 ve %40 oranlarında SiC_p partikül içeren alüminyum matrisli kompozit malzemeden TM yöntemiyle elde edilmiş numuneler kullanılmıştır. Matris malzemesi olarak yoğunluğu 2.7 gr/cm³, tane büyüklüğü ortalama 45±5 µm olan Al tozu ve takviye elemanı olarak ise yoğunluğu 2.3 gr/cm³ tane büyüklüğü ortalama 23±3 µm olan SiC_p tozu kullanılmıştır.

5.2 TOZ METALURJİSİ İLE METAL MATRİSLİ KOMPOZİT ÜRETİMİ

Kompozit malzeme üretiminde kullanılan tozlar Sartorius marka 0.001 g hassasiyetli terazide 10'ar gram olacak şekilde tartılmıştır. Homojen bir yapı elde edilmesi için tozlar karıştırılarak preslenmeye hazır hale getirilmiştir.

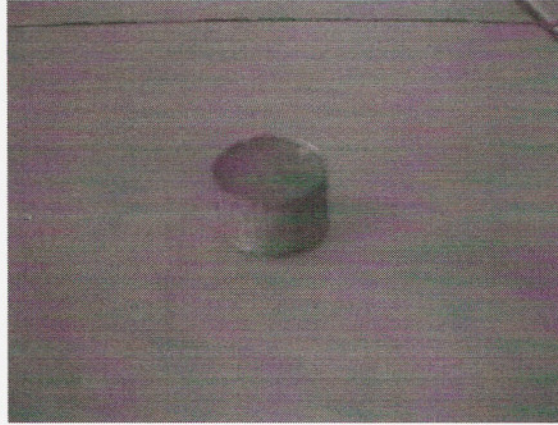
Elde edilen Al-SiC_p toz karışımı, hidrolik pres ile 370 MPa basınç altında 30 sn tutularak basılmıştır. Al-SiC_p MMK üretiminde kullanılan kalıp Şekil 5.1.'de, Şekil 5.2.'de basma işleminde kullanılan 50 Ton kapasiteli Hidroliksan Marka H tipi pres görülmektedir. Elde edilen 12x14 mm ölçülerinde numune Şekil 5.3.'de görülmektedir.



Şekil 5.1 Al-SiC_p toz karışımı numunelerin üretildiği kalıp.

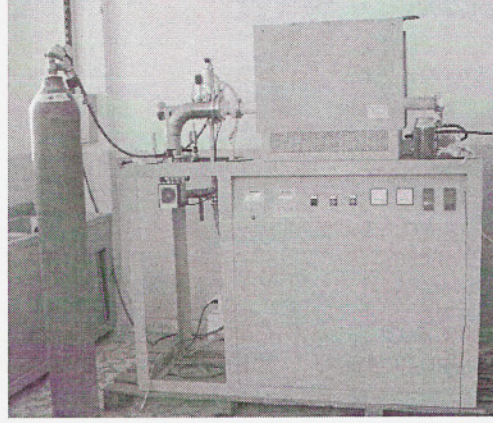


Şekil 5.2 Al-SiC_p toz karışımının basıldığı pres.



Şekil 5.3 Al-SiC_p toz karışımından preslenerek üretilmiş bir numune.

Üretilen numunelerin sinterleme işlemi Şekil 5.4'de verilen Alcatel marka ACT 200 model fırında argon atmosferi ortamında yapılmıştır. Fırın önce vakumlama yapılarak içeride bulunan ve istenmeyen oksijen vb gazlardan arındırılmıştır. Daha sonra ortamdaki sürekli argon gazı geçirilmek suretiyle sinter atmosferi oluşturulmuştur. Numuneler 6 °C / dk ısıtma hızında 645 °C 'ye kadar ısıtılmış ve bu sıcaklıkta 3 saat bekletilmiştir. Soğutma işlemi ise yine kontrollü olarak 10 °C/dk soğuma hızında yapılmıştır.

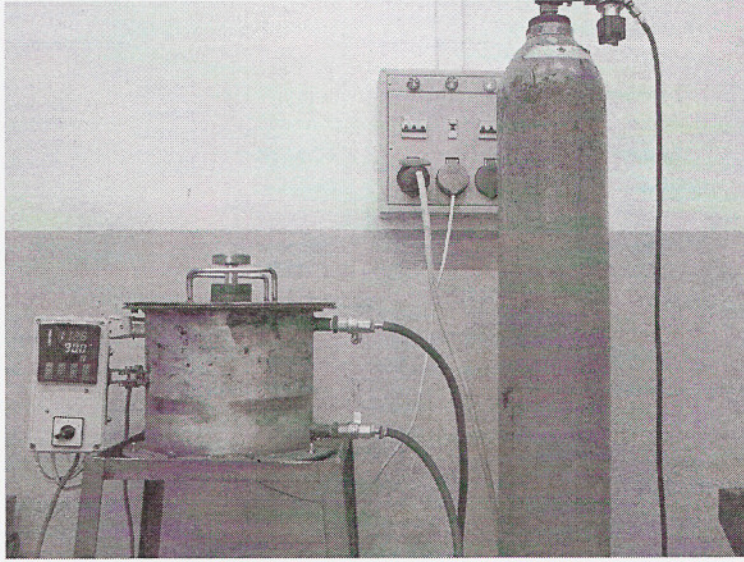


Şekil 5.4 Sinter işleminin yapıldığı atmosfer kontrollü yatay tüp fırın.

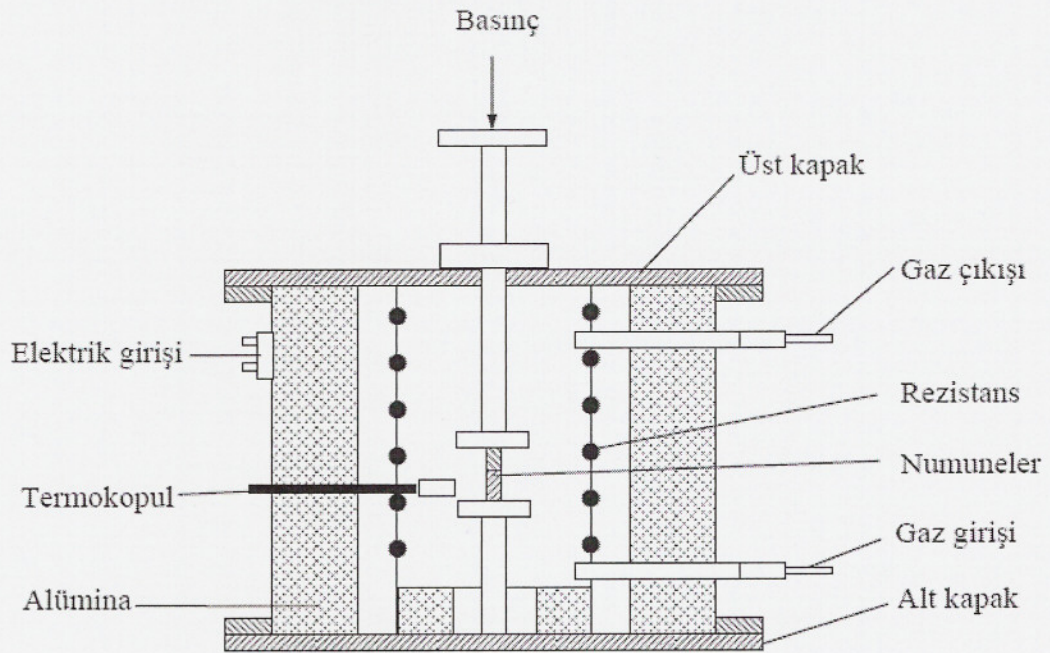
5.3 DİFÜZYON KAYNAĞI İLE AL-SİC_p/AL (6063) ÜRETİMİ

Toz metalurjisi yöntemiyle elde edilen numuneler difüzyon kaynağı için hazırlanmıştır. Bu amaçla temas edecek yüzeyler sırasıyla 400, 600, 800, meşlik zımpara ile zımparalanmıştır. 6063 Al malzeme ise 12 mm boyutunda kesilmiş ve aynı sırayla zımparalanmıştır. Hazırlanan numuneler birbiriyle temas ettirilip zaman geçirmeden difüzyon kaynak fırınına yerleştirilmiştir. Kaynak işlemlerinde herhangi bir ara tabaka kullanılmamıştır. Difüzyon kaynak işlemi argon atmosferi altında TR 2002 02710 Y patentli cihaz ile yapılmıştır. Numunelere sırasıyla 1, 2, 3 MPa basınç ve 550, 580, 600 ve 610 °C sıcaklıklarda pilot çalışmalar yapılmıştır. Kaynak işleminden sonra 300–400 °C sıcaklığa kadar fırın içerisinde bekletilen numuneler fırın açılarak serbest soğumaya bırakılmıştır. Yapılan pilot çalışmalar sonunda 2 MPa basınç ve 600°C sıcaklık altında ve 3,5 saat süre ile bekletilen numunelerde en az deformasyon ile birleşmenin sağlandığı tespit edilmiştir. Deney çalışmaları elde edilen bu değerler dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

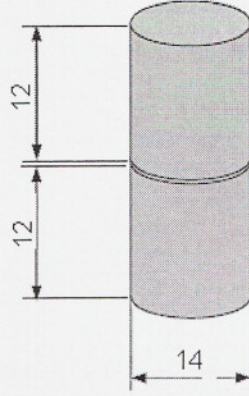
Şekil 5.5.'de kullanılan difüzyon kaynak seti, Şekil 5.6'da difüzyon kaynak cihazının şematik görünümü görülmektedir. Şekil 5.7'de kaynak işlemi için hazırlanan numunenin şematik resmi verilmiştir.



Şekil 5.5 Difüzyon kaynak seti.



Şekil 5.6 Difüzyon kaynak fırınının şematik görünümü (Aydın 2003).



Şekil 5.7 Kaynak işlemi için hazırlanan numunelerin şematik görünümü.

5.4 MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİN KAREKTERİZASYONU

5.4.1 Mikroyapı

Difüzyon kaynağıyla birleştirilmiş numuneler, birleştirme ara yüzeyine dik olarak kesilmiş ve 600, 800, 1000 ve 1200 meşlik SiC zımpara ile zımparalanmıştır. Daha sonra 3 μm alümina pasta içeren keçe üzerinde parlatılarak hazırlanan numunelerin mikroyapı görüntüleri Nikon Epiphot 200 model optik mikroskop kullanılarak çekilmiştir. Yukarıda anlatılan işlemler TM yöntemiyle üretilen parçalara da aynen uygulanmıştır. Hem T/M yöntemiyle üretilen hem de difüzyon kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerin optik görüntüleri alınmıştır. Ayrıca difüzyon kaynak yöntemi ile elde edilen bağlantıların taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri ve birleşme bölgelerinin analizleri alınmıştır. SEM ve EDS çalışmaları G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümünde yer alan JEOL 6060 LV marka taramalı elektron mikroskobunda (SEM) yapılmıştır.

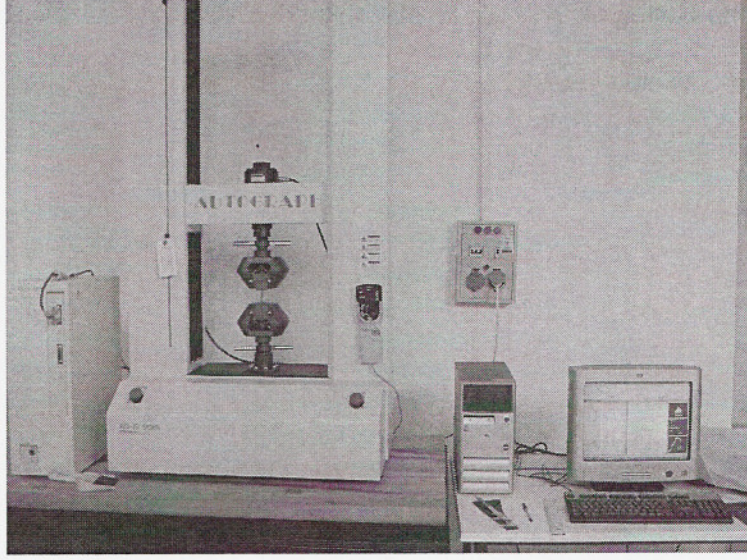
5.4.2 Mekanik Testler

5.4.2.1 Sertlik

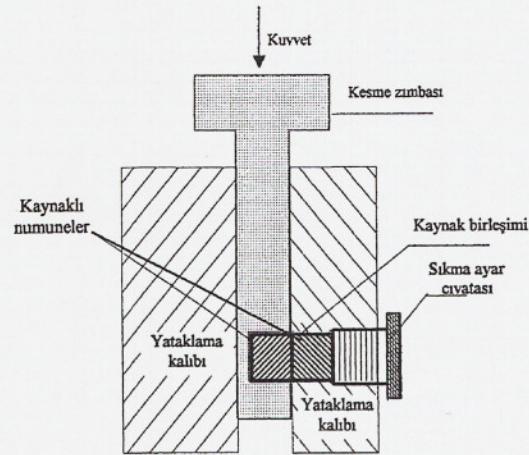
Metalografik olarak hazırlanan numune yüzeylerinden ve kesitlerinden yapılan mikrosertlik ölçümleri, Shimadzu marka HMV-2 model mikro sertlik cihazında Vickers ucu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bunun için 1000 gr yük uygulanmıştır. Her bir numune için kaynak birleşme ara yüzeyinden her iki tarafa 3 adet sertlik ölçüm yapılarak ortalaması alınmıştır.

5.4.2.2 Kesme Makaslama

Difüzyon kaynağı ile birleştirilen parçalar 10 tonluk SHIMADZU marka çekme cihazında kesme-makaslama testine tabi tutulmuştur. Test esnasında kesme hızı 0.5 mm/dk ve kesme mesafesi 40 mm olarak seçilmiştir. Şekil 5.8’de kesme makaslama testinin yapıldığı test cihazı ve Şekil 5.9’da da kesme makaslama testi aparatı şematik olarak verilmiştir.



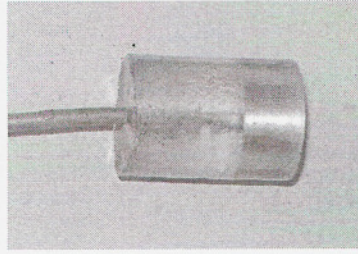
Şekil 5.8 Kesme-makaslamanın yapıldığı test cihazı.



Şekil 5.9 Kesme makaslama testi aparatı ve numune konumunun şematik görünüşü (Aydın 2003)

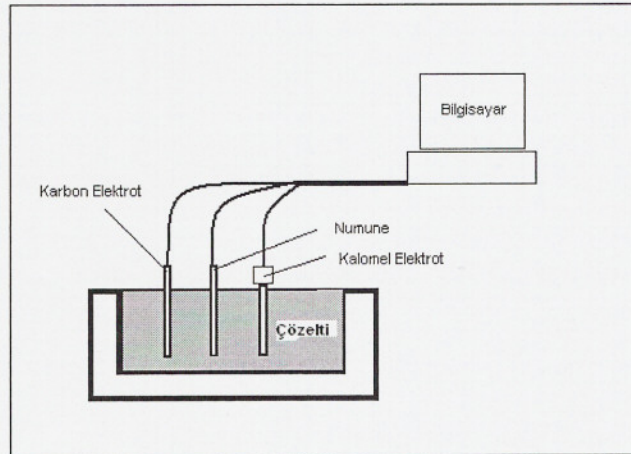
5.4.2.3 Korozyon Deneyleri

Korozyon deney numuneleri (çalışma elektrodu) Şekil 5.10'da görüldüğü gibi iletkenliği sağlayabilmek amacıyla arka yüzeyine 1.5 mm çapında 300 mm uzunluğunda bakır tel lehimlenmiş ve yalnızca elektrolit ile temasta olan yüzeyleri açıkta kalacak şekilde reçine ile kaplanmıştır. Numunelerin yüzeyleri standart metalografik yöntemle parlatılmıştır. Korozyon deneyine başlamadan önce numuneler saf suda 5 dakika ultrasonik olarak temizlenmiş ve ardından alkol ile durulanarak kurutulmuştur.



Şekil 5.10 Korozyon deneylerinde kullanılan çalışma elektrodu

Korozyon deneyleri, DC105 korozyon analiz yazılımına sahip bilgisayar kontrollü Gamry marka PC4/300mA potansiyostat/galvanostat kullanılmıştır. Deney hücresi olarak 400 ml beher kap kullanılmıştır. Deney hücresi içerisine, çalışma elektrotu olarak deney numuneleri, karşı elektrot görevini yapan 6 mm çapında karbon elektrot ve referans elektrot olarak da doygun kalomel elektrot (SCE) yerleştirilmiştir. Çalışma elektrotu ile karbon elektrot yüzeyleri karşılıklı gelecek şekilde belirli uzaklıkta, referans elektrot ise çalışma elektrotuna olabildiğince yakın yerleştirilmiştir. Korozyon deney düzeneği Şekil 5.11'de görülmektedir.



Şekil 5.11 Potansiyostatik yöntemle çalışan statik korozyon deney düzeneği

Deniz suyu içerisinde veya tuzlu su içeren ortamlarda çalışacak Al-MMK malzemelerin korozyon davranışlarının incelenmesi amaçlandığından deneyde kullanılacak korozif ortam olarak % 3,5 NaCl çözeltisi olarak seçilmiştir (Görener 2007).

Korozyon deneylerinin tümünde, öncelikle sistemden akım geçirmeksizin, %3,5 NaCl+1 HCl çözeltisi olan elektrolit içine çalışma elektrotunun ve referans elektrotunun daldırılmasından itibaren ikisi arasındaki korozyon potansiyellerinin mV olarak değişimi ilk 45 dk süreyle, zamana karşı ölçülmüştür. Denge potansiyeline (E_{kor}) ulaştıktan sonra potansiyodinamik polarizasyon eğrileri -1.00'dan +2.50 V'a kadar 1 mVs^{-1} tarama aralığında katodikten anodik yöne doğru potansiyeli tarayarak çizilmiştir. Tafel eğrilerinden korozyon potansiyeli (E_{kor}) korozyon akım yoğunluğu (I_{kor}) ve korozyon hızı (CR) hesaplanmıştır.

BÖLÜM 6

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Toz metalurjisi yöntemiyle %5, %10, %20 ve %40 SiC_p ilave edilerek üretilen Al-SiC_p MMK numuneler ile 6063 Al malzeme, pilot çalışmalarda elde edilen 2 MPa basınç, 600°C sıcaklık 3,5 saat süre ve argon atmosferinde difüzyon kaynağı ile güvenle birleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirmelere mikroyapı incelemesi, kesme-makaslama testi, sertlik ölçüm testi ve korozyon testi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

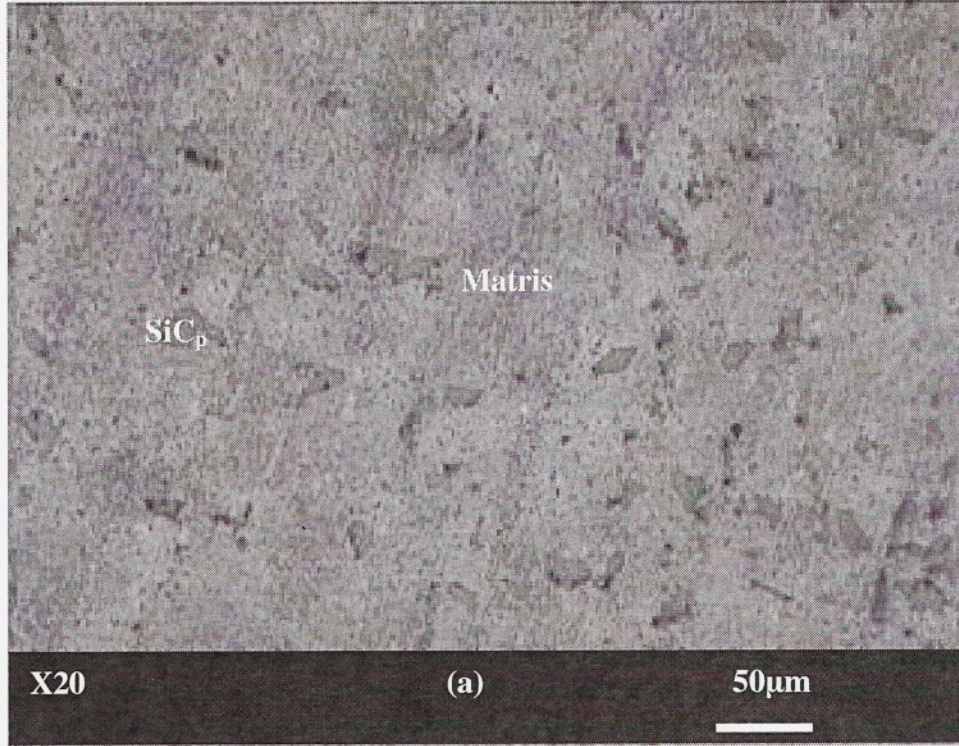
6.1 MİKROYAPI KAREKTERİZASYONU

Matris malzemesi olarak %99,9 saflıkta Al kullanılmış, %5 SiC_p, %10SiC_p, %20SiC_p ve %40 SiC_p takviye elemanı kullanılarak üretilen numuneler difüzyon kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Üretimi yapılan malzemelerin ve kaynaklı bağlantıların ara yüzeylerinin mikroyapıları incelenerek içyapıları belirlenmeye çalışılmıştır.

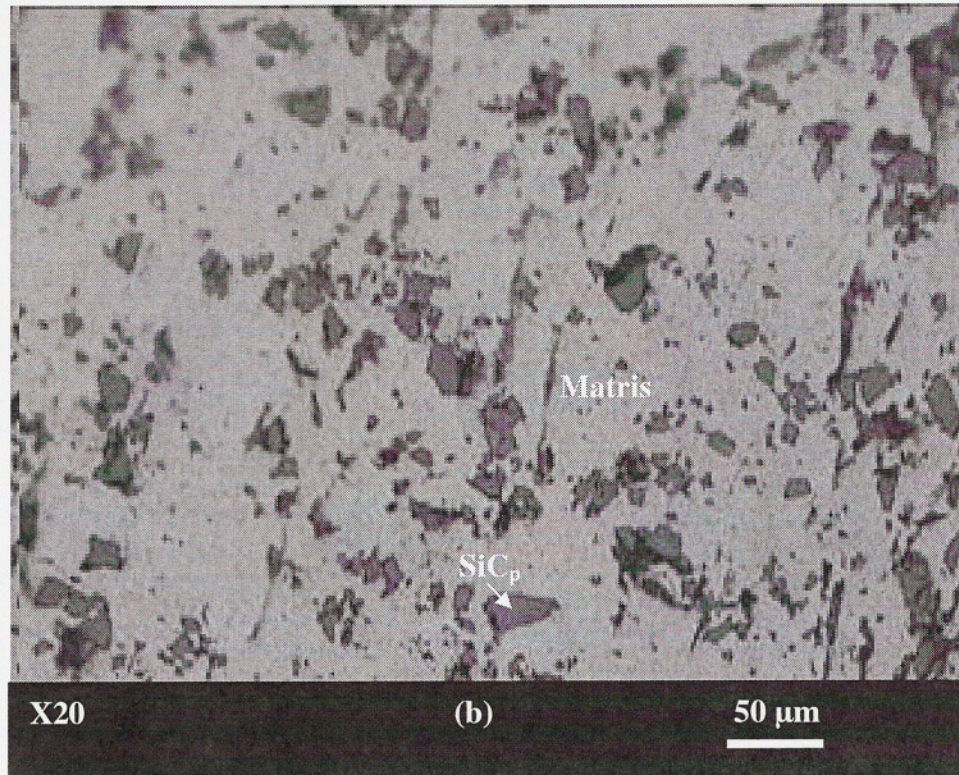
6.1.1 Kompozit malzemelerin mikroyapı incelemeleri

Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen %5, 10, 20 ve 40 SiC_p içeren Al-SiC_p MMK parçaların mikroyapıları sırasıyla Şekil 6.1, 6.2, 6.3 ve 6.4'de gösterilmiştir.

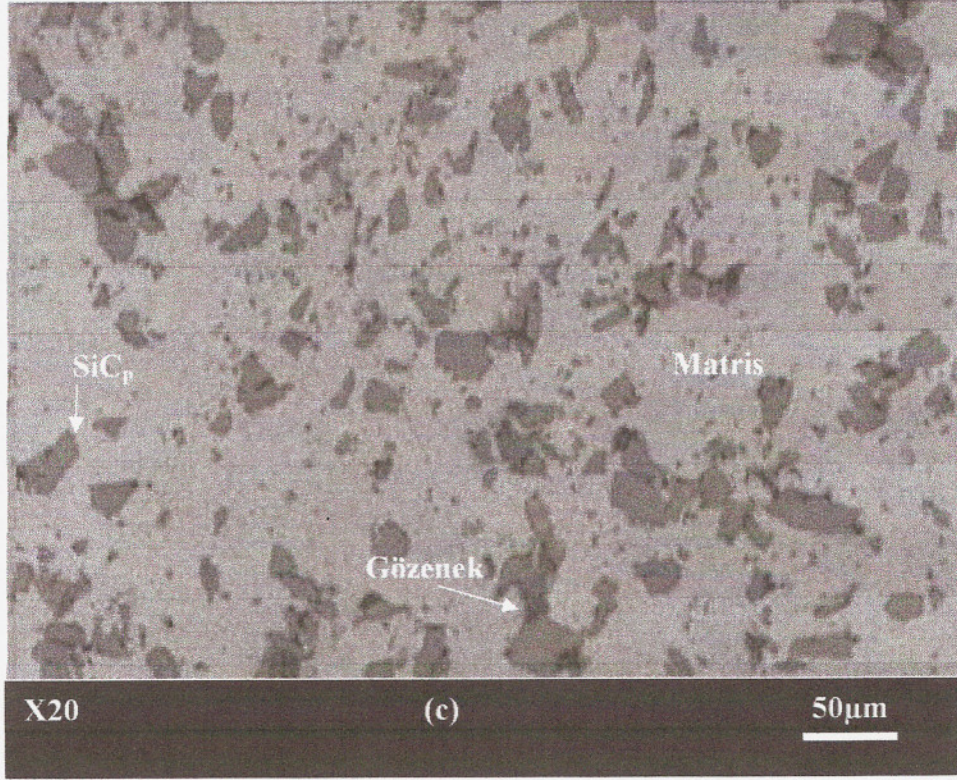
Mikroyapı fotoğraflarından da anlaşılacağı üzere ana matris Al olup SiC_p tanecikleri yapı içerisinde homojen olarak dağılmıştır. Fotoğraflar incelendiğinde takviye oranının artmasıyla gözenek miktarının ve matris-parçacık ara yüzey boşluk oranının arttığı görülmektedir. Şekil 6.1 ve Şekil 6.4 karşılaştırıldığında bu durum açıkça görülmektedir. SiC_p miktarındaki artışla gözenek oranının artması literatürle uyum göstermektedir. Akoral (2003) yaptığı çalışmada bu durumu rapor etmiştir.



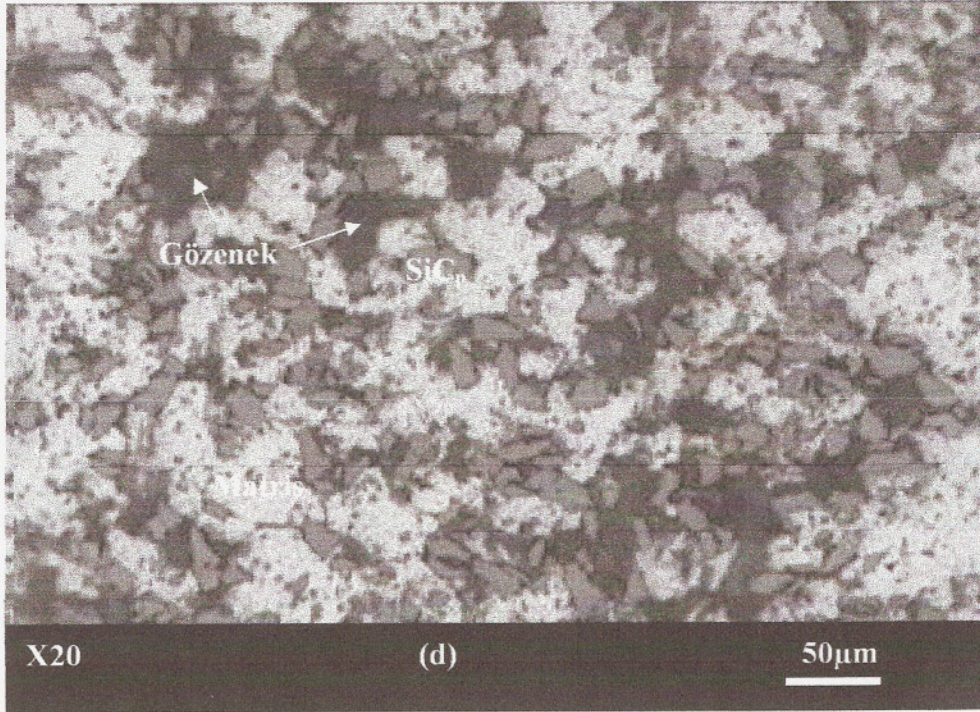
Şekil.6.1 %5 SiC_p içeren Al-SiC_p MMK parçaların mikroyapısı.



Şekil.6.2 %10 SiC_p içeren Al-SiC_p MMK parçaların mikroyapısı.



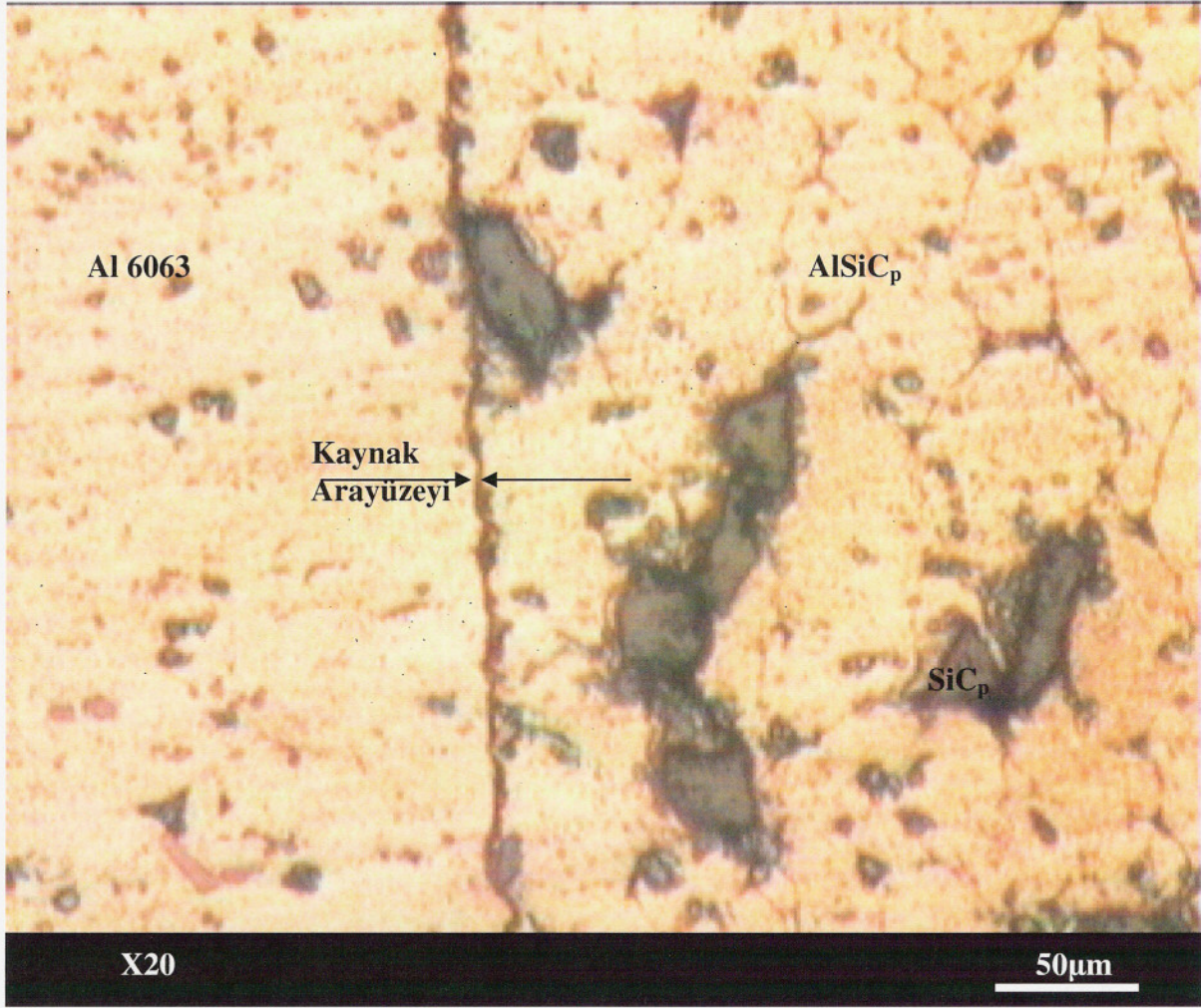
Şekil.6.3 % 20 SiC içeren Al-SiC MMK parçaların mikroyapısı.



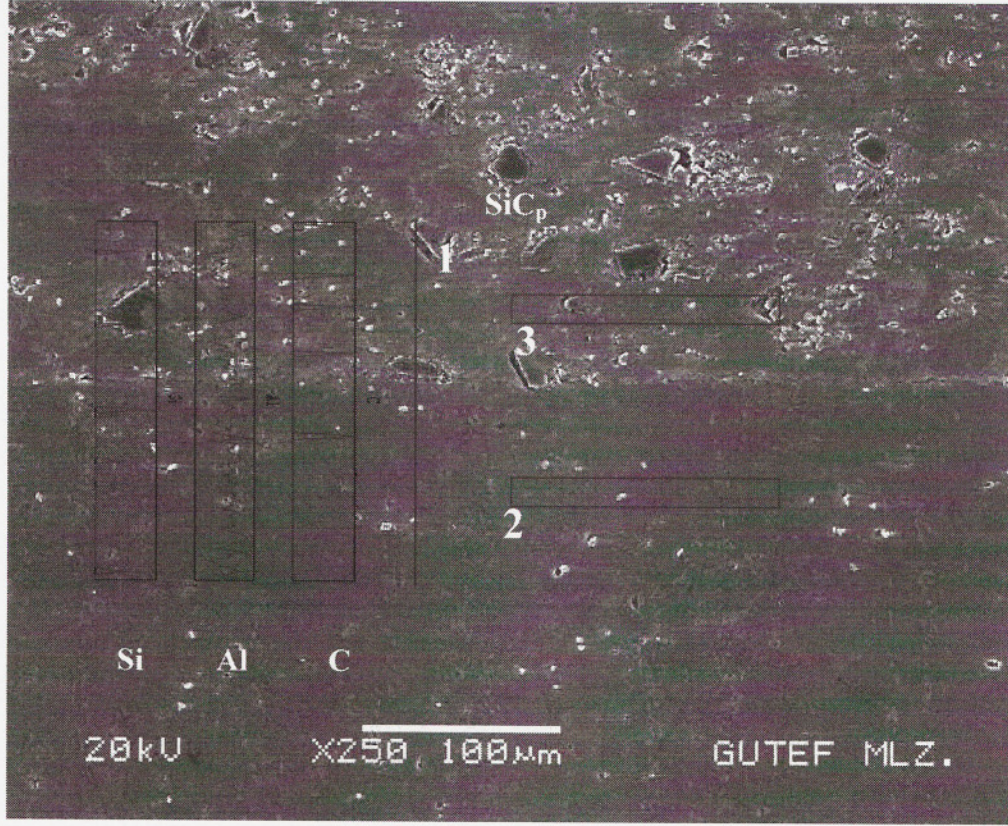
Şekil.6.4 % 40 SiC içeren Al-SiC MMK parçaların mikroyapısı.

6.1.2 Kaynaklı birleştirmelerin mikroyapı incelemeleri

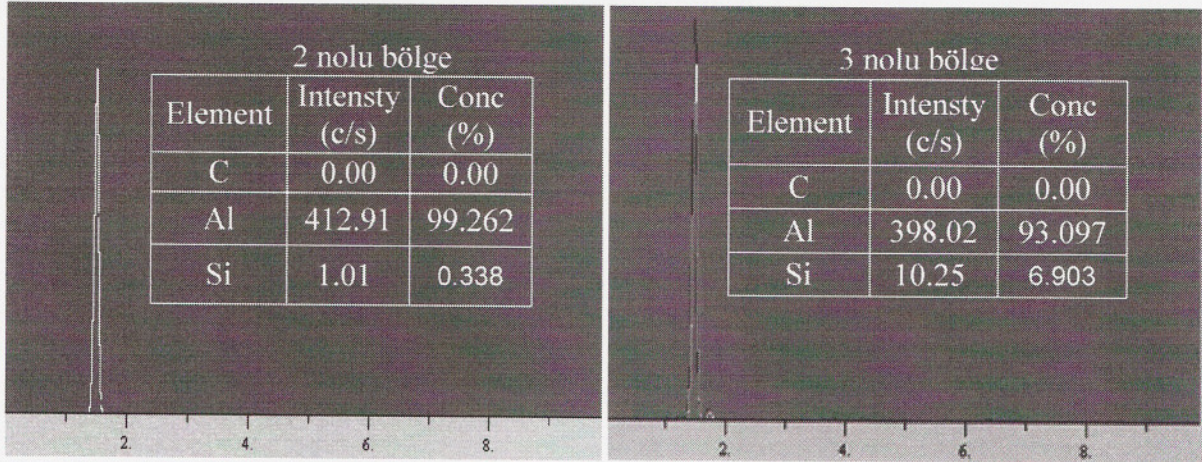
Ara yüzeyde oluşan kararlı oksit tabakası nedeniyle alüminyum ve alaşımlarının kaynağının zorluğu bilinmektedir. Ara yüzeyde oksit oluşumunu engellemek amacıyla difüzyon kaynak cihazından argon gazı geçirilmiştir. Böylece kaynak işleminin argon atmosferi altında gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.5’de %5 SiCp içeren kaynaklı bağlantının optik mikroskop görüntüsü, Şekil 6.5(a)’da %5 SiCp içeren bağlantının SEM görüntüsü ve Şekil 6.5(b)’de ise EDS analiz sonuçları verilmiştir. Mikroyapı görüntüsü incelendiğinde kaynaklı bağlantının ara yüzeyinde koyu renkte görülen yerde, yeterli birleşmenin sağlandığı görülmektedir.



Şekil 6.5 %5 SiCp içeren kaynaklı bağlantının optik mikroskop fotoğrafı.

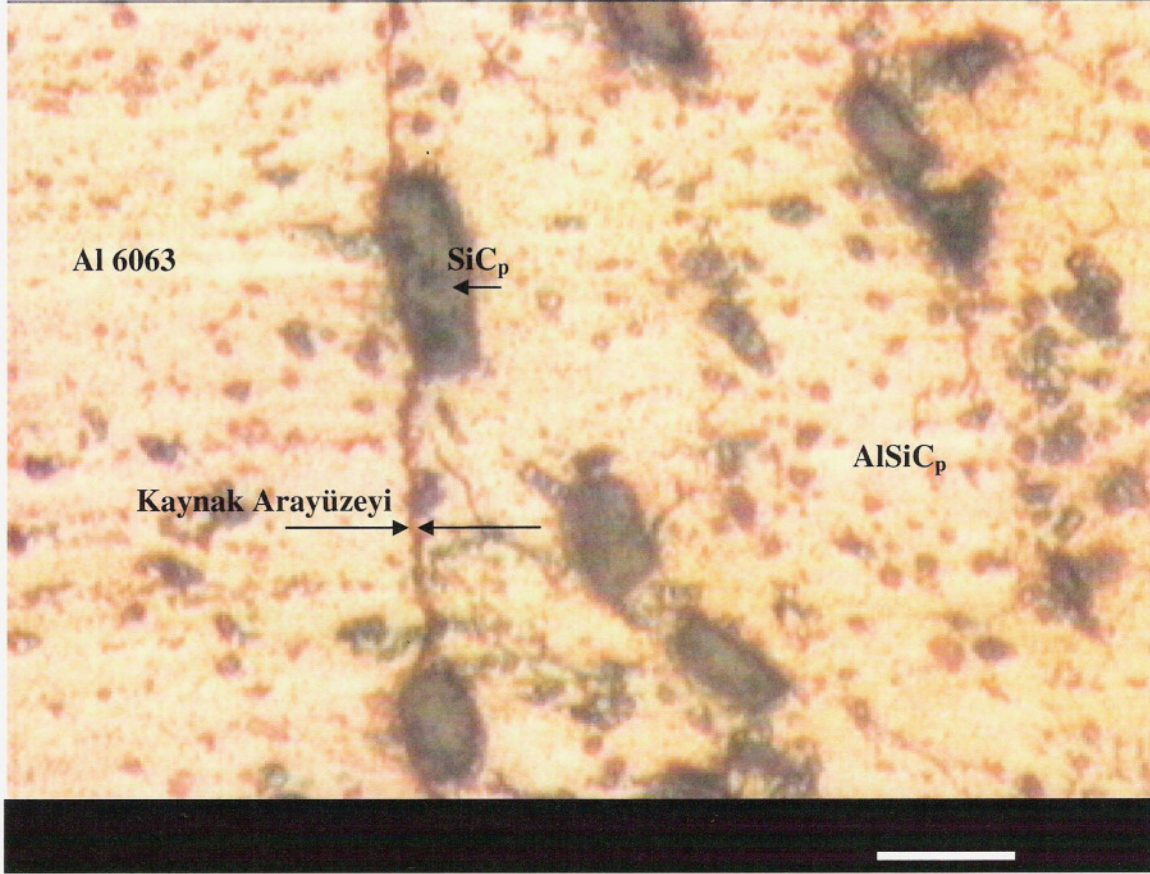


Şekil 6.5 (a) %5 SiC_p içeren kaynaklı bağlantının ara yüzeyinden alınan SEM fotoğrafı.

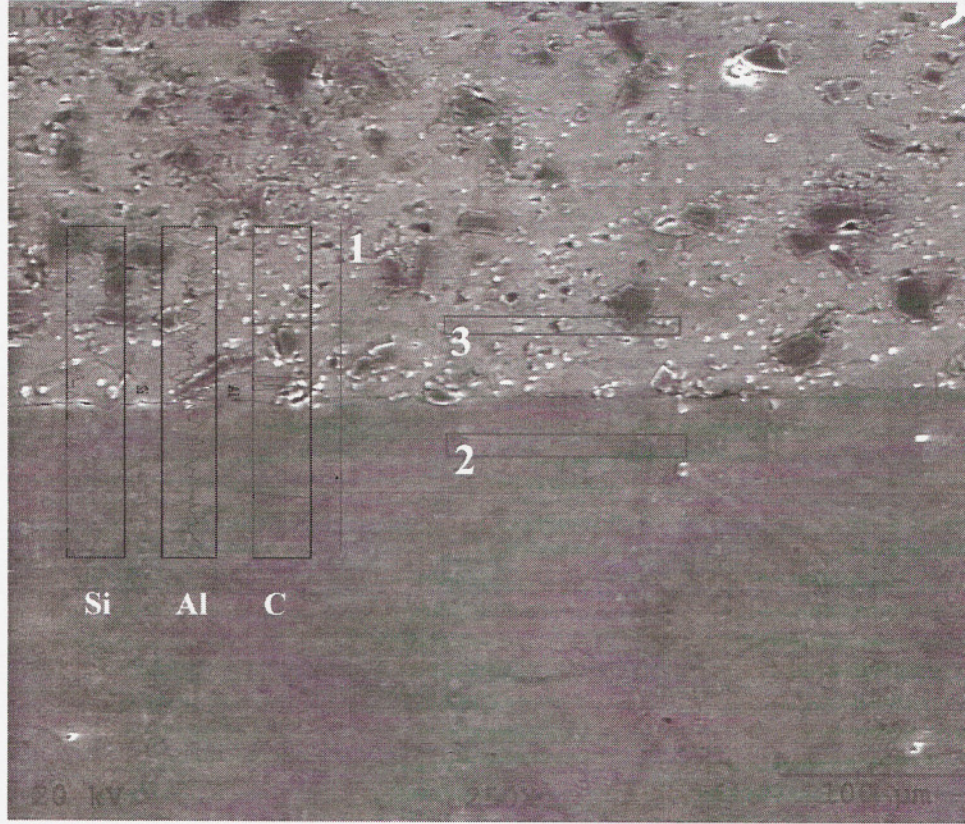


Şekil 6.5 (b) % 5 SiC_p içeren kaynaklı bağlantının SEM fotoğrafındaki 2 ve 3 numaralı bölgeden alınan EDS analizleri

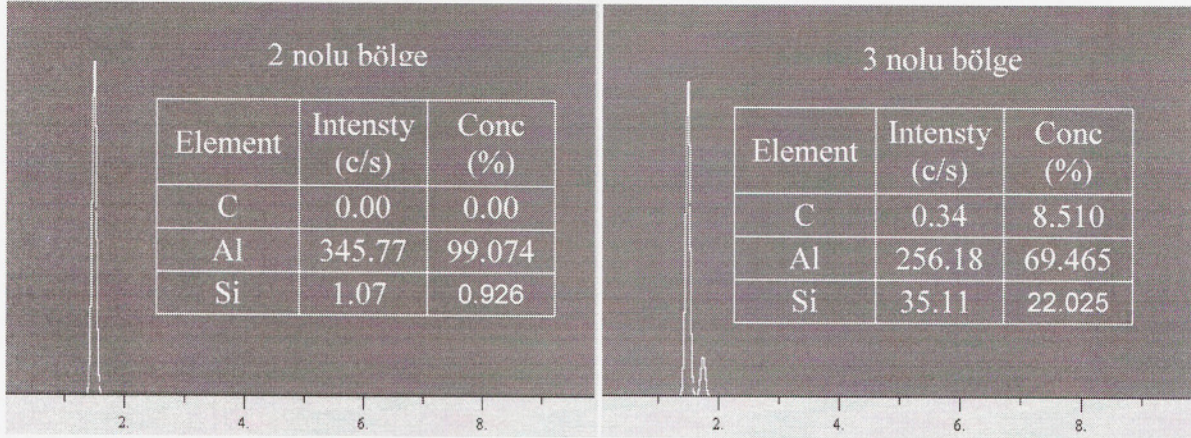
Şekil 6.6'da %10 SiC_p içeren kaynaklı bağlantının optik mikroskop fotoğrafı, Şekil 6.6 (a)'da SEM görüntüsü ve Şekil 6.6 (b)'de ise EDS analiz sonuçları verilmiştir. %10 SiC_p içeren kaynaklı bağlantının optik mikroskop görüntüsü incelendiğinde Al-SiC_p MMK malzeme içerisinde bulunan takviye elemanı olan SiC partiküllerinin karşı malzeme olan 6063 Al 'ye gömüldükleri görülmektedir. SEM fotoğrafında da bu durum açıkça görülmektedir.



Şekil 6.6 %10 SiC_p içeren kaynaklı bağlantının optik mikroskop fotoğrafı.

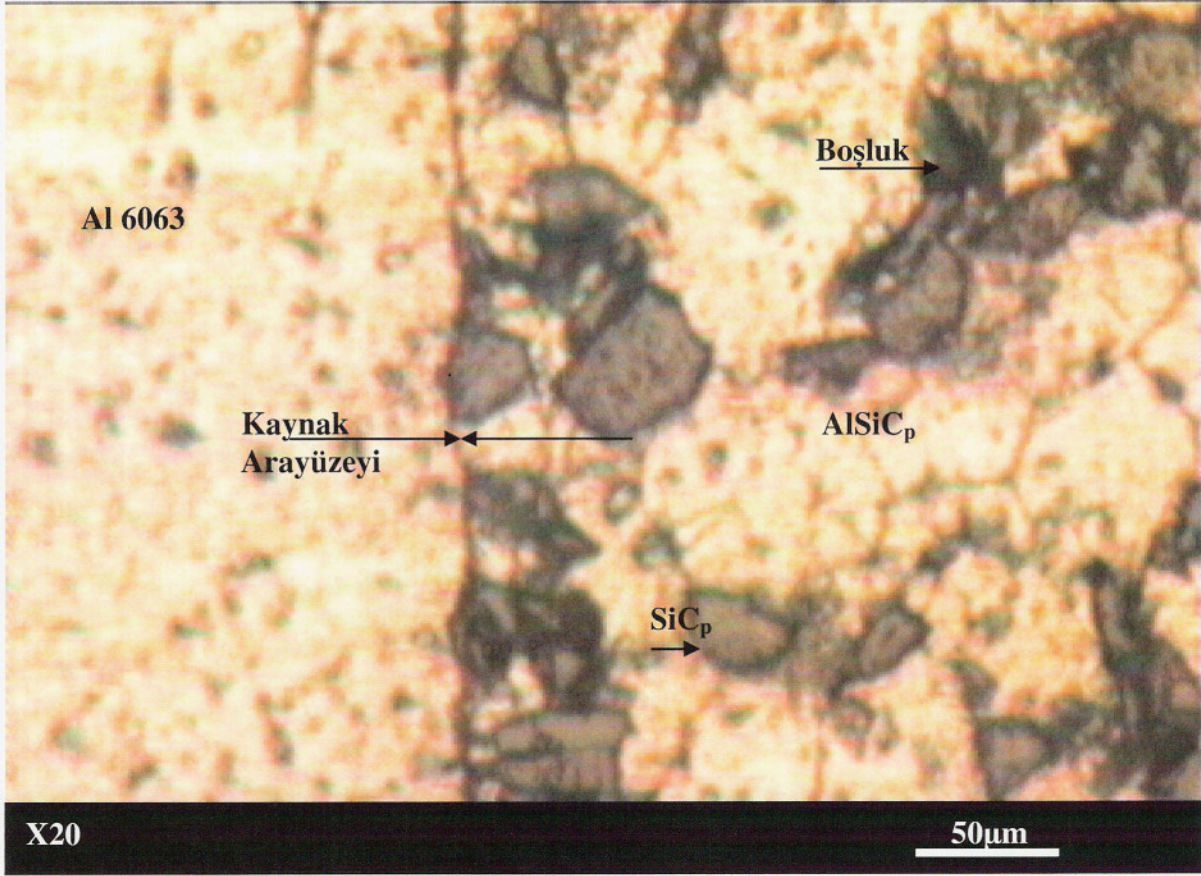


Şekil 6.6 (a) %10 SiC_p içeren kaynaklı bağlantının ara yüzeyinden alınan SEM fotoğrafı.

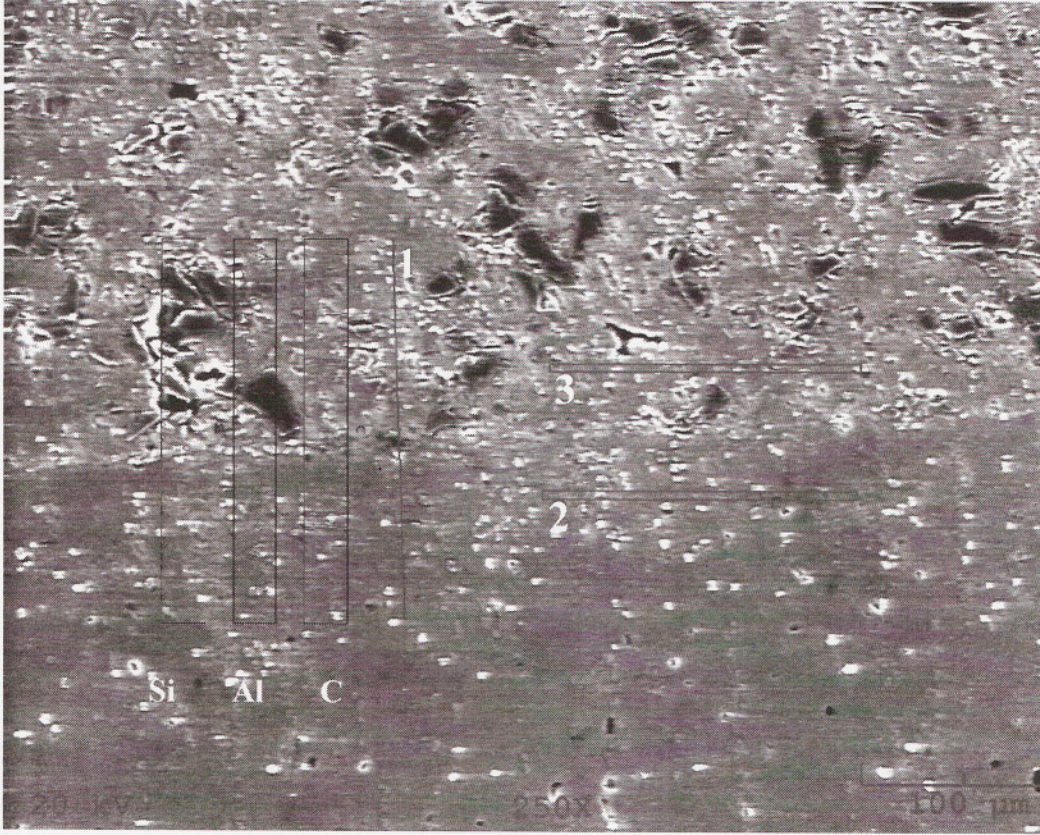


Şekil 6.6 (b) %10 SiC_p içeren kaynaklı bağlantının SEM fotoğrafındaki 2 ve 3 numaralı bölgeden alınan EDS analizleri.

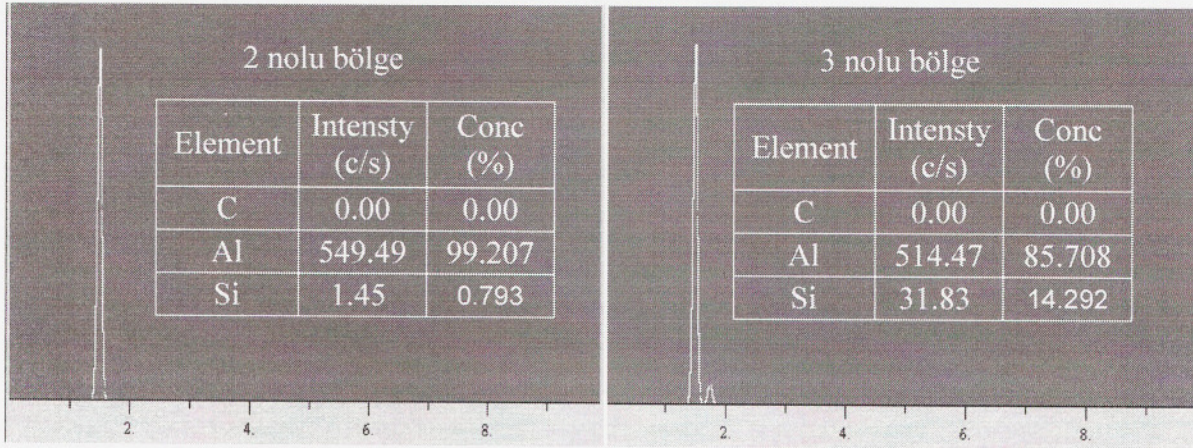
Şekil 6.7’de %20 SiC_p içeren kaynaklı bağlantının optik mikroskop fotoğrafı, Şekil 6.7 (a)’da SEM görüntüsü ve Şekil 6.7. (b)’de EDS analiz sonuçları verilmiştir.



Şekil 6.7 %20 SiC_p içeren kaynaklı bağlantının optik mikroskop fotoğrafı.

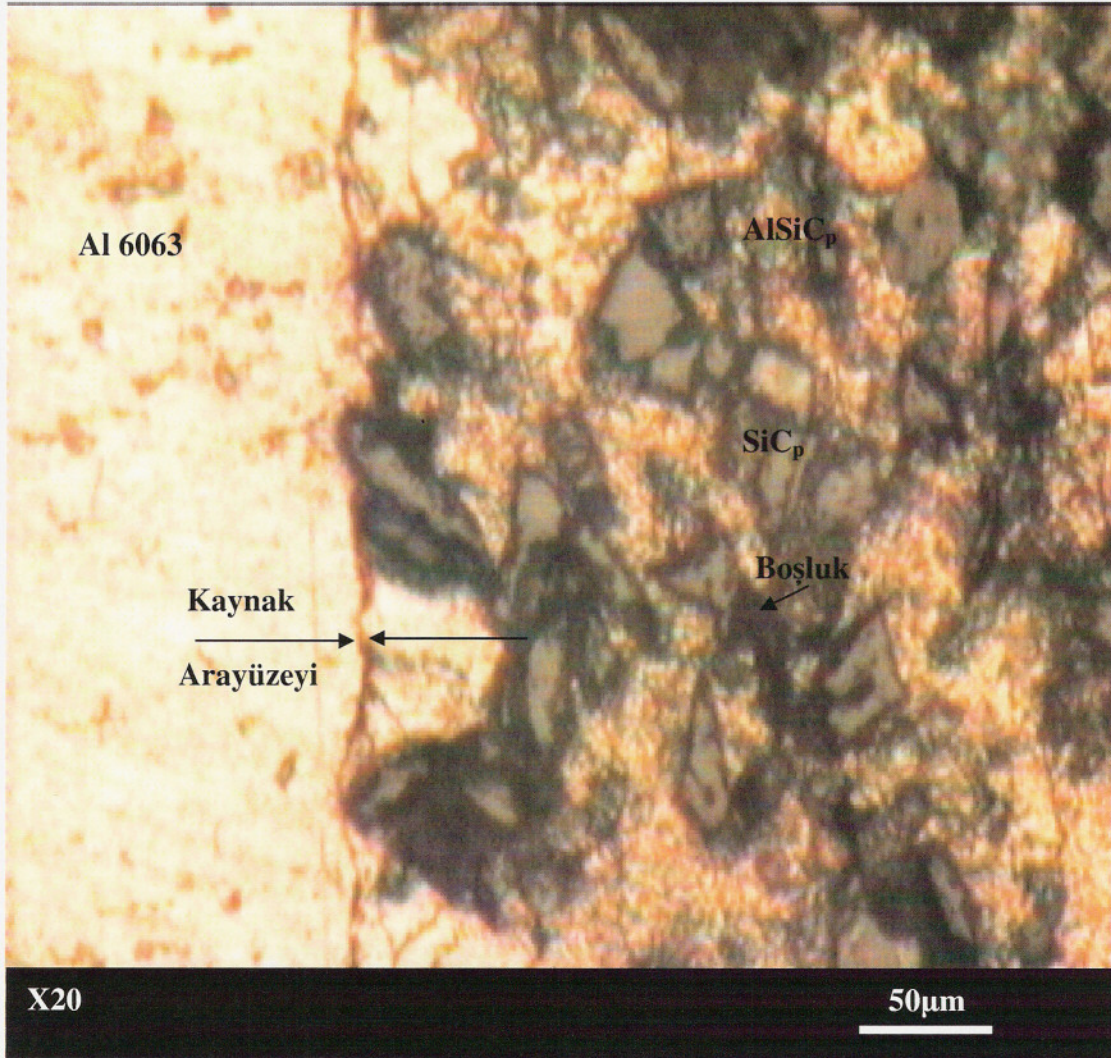


Şekil 6.7 (a) %20 SiC_p içeren kaynaklı bağlantının ara yüzeyinden alınan SEM fotoğrafı.

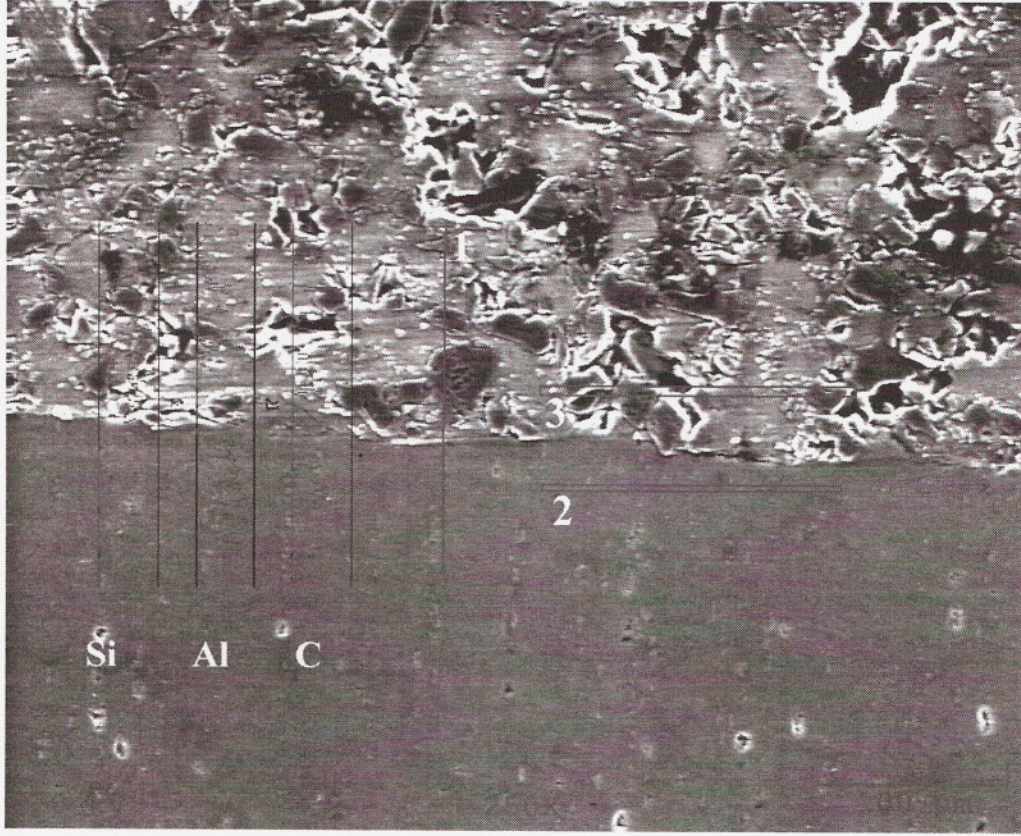


Şekil 6.7 (b) %20 SiC_p içeren kaynaklı bağlantının SEM fotoğrafındaki 2 ve 3 numaralı bölgeden alınan EDS analizleri.

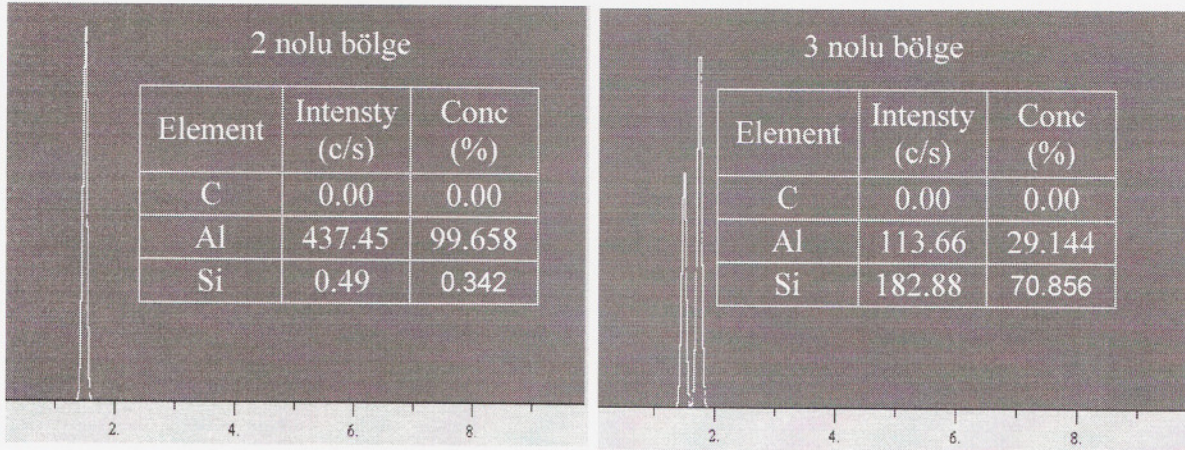
Şekil 6.8'de %40 SiC_p içeren kaynaklı bağlantının optik mikroskop fotoğrafı, Şekil 6.8 (a)'da SEM ve Şekil 6.8 (b)'de EDS analizleri verilmiştir.



Şekil 6.8 %40 SiC_p içeren kaynaklı bağlantının optik mikroskop fotoğrafı.



Şekil 6.8 (a) %40 SiC_p içeren kaynaklı bağlantının ara yüzeyinden alınan SEM fotoğrafı.



Şekil 6.8 (b) %40 SiC_p içeren kaynaklı bağlantının SEM fotoğrafındaki 2 ve 3 numaralı bölgeden alınan EDS analizleri.

Mikroyapılar incelendiğinde kaynaklı birleşmenin bütün SiC_p oranlarında sağlandığı görülmektedir. SEM-EDS analizleri de bunu desteklemektedir. Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında oksit tabakasının kaynağı olumsuz etkilediği daha önceki çalışmalarda da belirtilmiştir (Aydın 2003). Oksit tabakası metal-metal temasını engellemektedir. Bu nedenle uygulanan düşük yük ve sıcaklık ile yeterli sürenin olmaması durumunda oksit tabakası kırılmamakta ve tam bir birleşme olmamaktadır. Temas eden yüzeylerin girintili çıkıntılı olup olmaması da oksit tabakasının kırılmasında etkili olmaktadır.

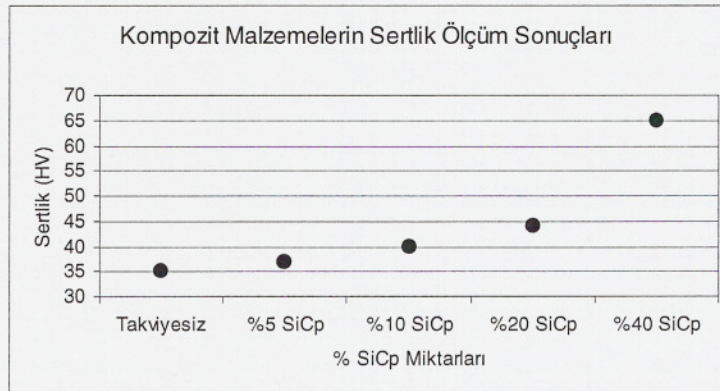
MMK malzemenin difüzyon kaynağında ara yüzeyde üç farklı temas yüzeyi oluşmaktadır. Bunlar; matris-matris, matris- parçacık, parçacık- parçacık karşılaşması şeklindedir. Aydın (2003) yaptığı çalışmada bu durumu rapor etmiştir. Bu durum mikro yapı ve SEM fotoğraflarında da görülmektedir. SiC_p taneciklerinin oksit tabakasının kırılmasına yardımcı olması sonucunda kaynaklı bağlantının daha mukavemetli olmasını sağlamıştır.

6.2 MEKANİK TEST SONUÇLARININ KAREKTERİZASYONU

6.2.1 Mikro Sertlik Test Sonuçları

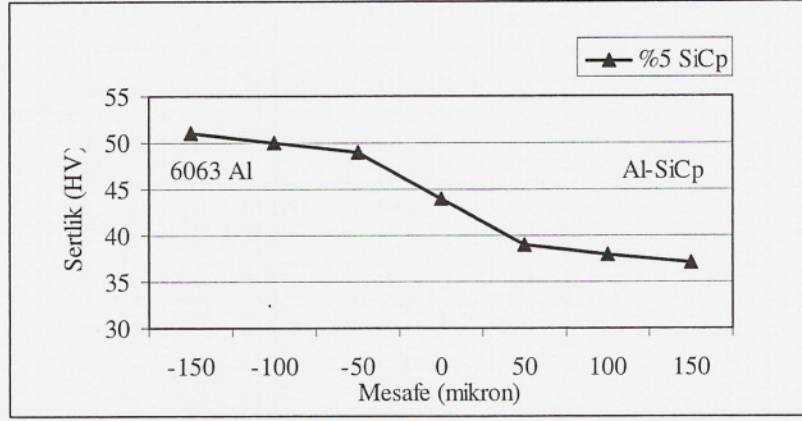
Toz metalurjisiyle üretilen parçaların ait mikro sertlik ölçüm sonuçları Şekil 6.9'da verilmiştir. Şekilden de anlaşıldığı gibi SiC_p miktarı artışına bağlı olarak sertlik artışı olmuştur. Akoral (2003), Şahin (1997) yaptıkları çalışmada SiC_p oranındaki artışa bağlı olarak sertliğin arttığını rapor etmişlerdir.

Takviyesiz Al numunenin sertliği 35 HV, Al6063 numunenin sertliği ise 130 HV olarak ölçülmüştür.

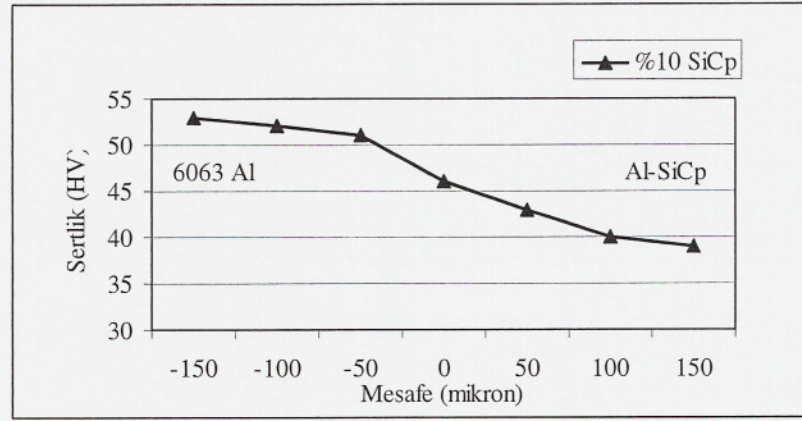


Şekil.6.9 Kompozit numunelerin sertlik ölçüm sonuçları

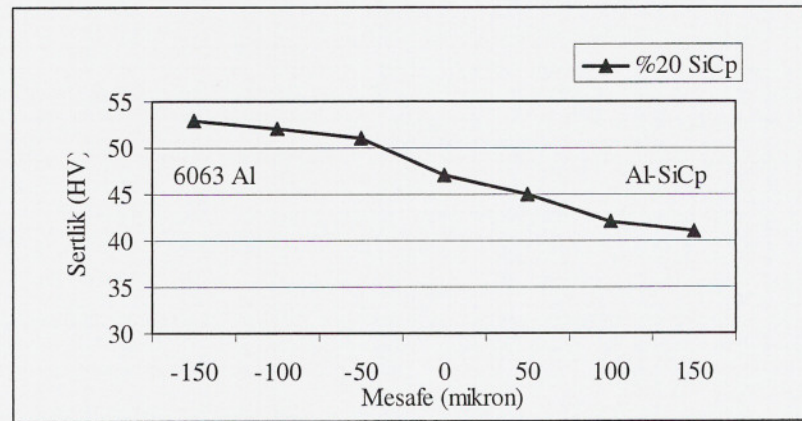
Kaynaklı bağlantının, kaynak bölgesinin sertlik dağılımını belirlemek amacıyla ara yüzeyden her iki tarafa 50 μm mesafe aralıklarında mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen mikro sertlik ölçümleri Şekil 6.10, Şekil 6.11, Şekil 6.12 ve Şekil 6.13’de gösterilmiştir. Şekil 6.14’de ise sertlik ölçüm sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



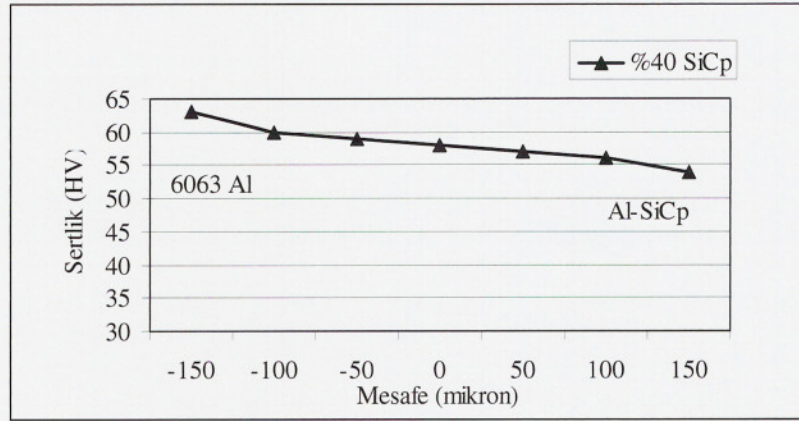
Şekil 6.10 %5 SiC_p içeren kaynaklı bağlantının mikro sertlik test sonuçları.



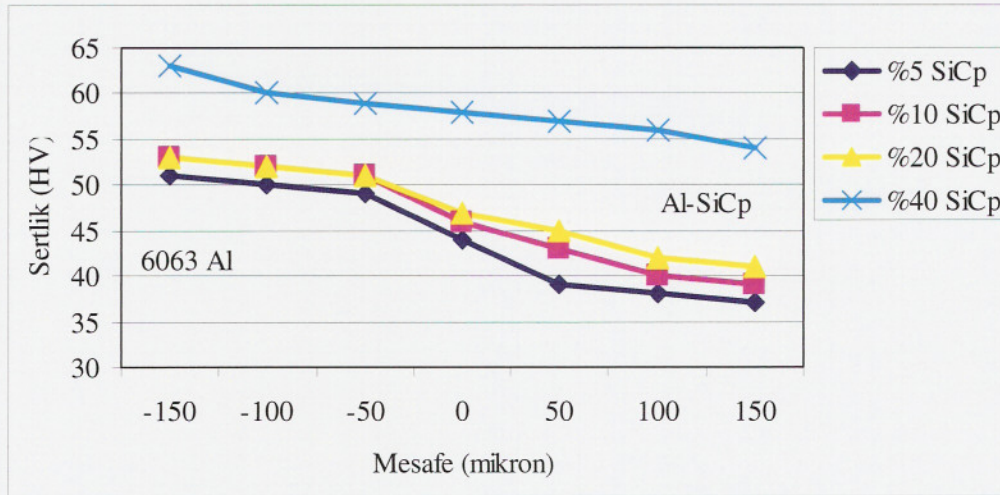
Şekil 6.11 %10 SiC_p içeren kaynaklı bağlantının mikro sertlik test sonuçları.



Şekil 6.12 %20 SiC_p içeren kaynaklı bağlantının mikro sertlik test sonuçları.



Şekil.6.13 %40 SiC_p içeren kaynaklı bağlantının mikro sertlik test sonuçları.

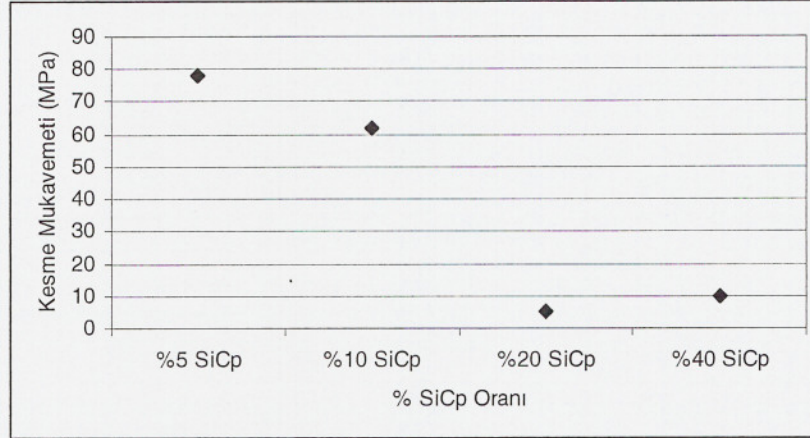


Şekil 6.14 Kaynaklı bağlantıların mikro sertlik test sonuçları

6.2.2 Kesme-Makaslama Testi Sonuçları

Difüzyon kaynağı yöntemi ile birleştirilen numuneler Şekil 5.9'da verilen kesme testi aparatı kullanılarak kesme testi uygulanmıştır. Değişik SiC_p oranları kullanılarak yapılan birleştirmelerden elde edilen kesme-makaslama test sonuçları Şekil 6.15'de gösterilmiştir. Yapılan test sonuçlarının ortalaması alınmış ve kesme mukavemeti %5 SiC_p içeren numunelerin 78 MPa, %10 SiC_p içeren numunelerin 62 MPa, %20 SiC_p içeren numunelerin 5 MPa ve %40 SiC_p içeren numunelerin ise 10 MPa olarak bulunmuştur.

Kesme-makaslama testi sonunda, kopmanın kaynaklı bağlantının (Al-SiC_p-6063 Al) ara yüzeyinden gerçekleştiği görülmüştür. Grafik incelendiğinde SiC_p oranındaki artışla kesme makaslama mukavemetinin azaldığı görülmektedir. Zhang et al. (1999) yaptıkları çalışmada SiC_p oranındaki artışla kesme mukavemetinin azaldığını rapor etmişlerdir.



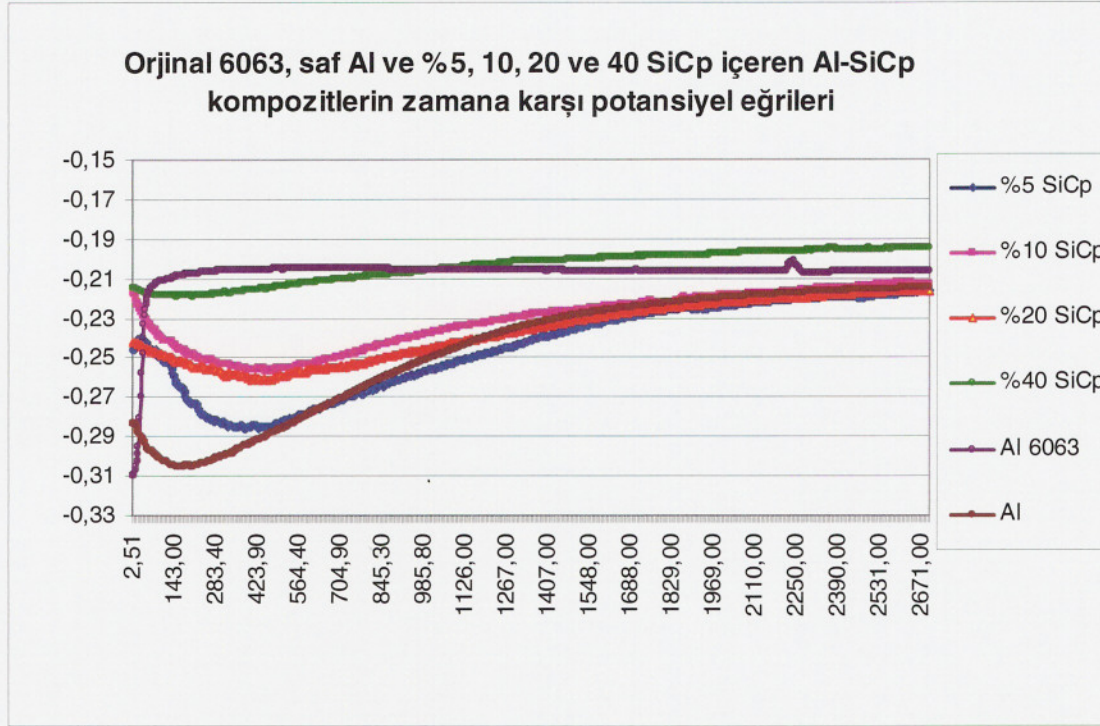
Şekil 6.15 Kesme makaslama testi sonuçları.

6.3 KOROZYON DENEY SONUÇLARI

6.3.1 Açık Devre Potansiyel Ölçüm Sonuçları

Orijinal 6063 Al alaşımı, saf Al ve %5, 10, 20 ve 40 SiC_p içeren Al-SiC_p kompozitlerin zamana karşı potansiyel eğrileri Şekil 6.16'da verilmiştir.

%3,5 NaCl+1 HCl çözeltisi içerisindeki numunelerin zamana karşı korozyon potansiyelleri karşılaştırıldığında, bütün numunelerin hepsinde de denge potansiyeline ulaşmaya kadar dalgalanmalar gözlenmiştir. Orijinal 6063 Al alaşımının denge potansiyeli (-206mV) iken saf Al'un (-213mV) olarak ölçülmüştür. Bununla birlikte %5, 10, 20 ve 40 SiC_p içeren Al-SiC_p kompozitlerin denge potansiyelleri sırasıyla (-216.7mV), (-212.7mV), (-216.3mV) ve (-194.4mV)'dur. Görüldüğü gibi denge potansiyelleri SiC_p oranının artışıyla birlikte bir düşme sergilemektedir. Potansiyel değerlerinin düşmesi malzemelerin korozyona uğrama direncinin bir göstergesi kabul edildiğinden en iyi korozyon direncini (denge potansiyeli açısından) %40 SiC_p içeren numune göstermektedir. Bunun nedeni soy takviye elemanı ile daha aktif matris malzemesi arasındaki galvanik çift etkisi gösterilmiştir. Galvanik eşleşmede matris malzemesi

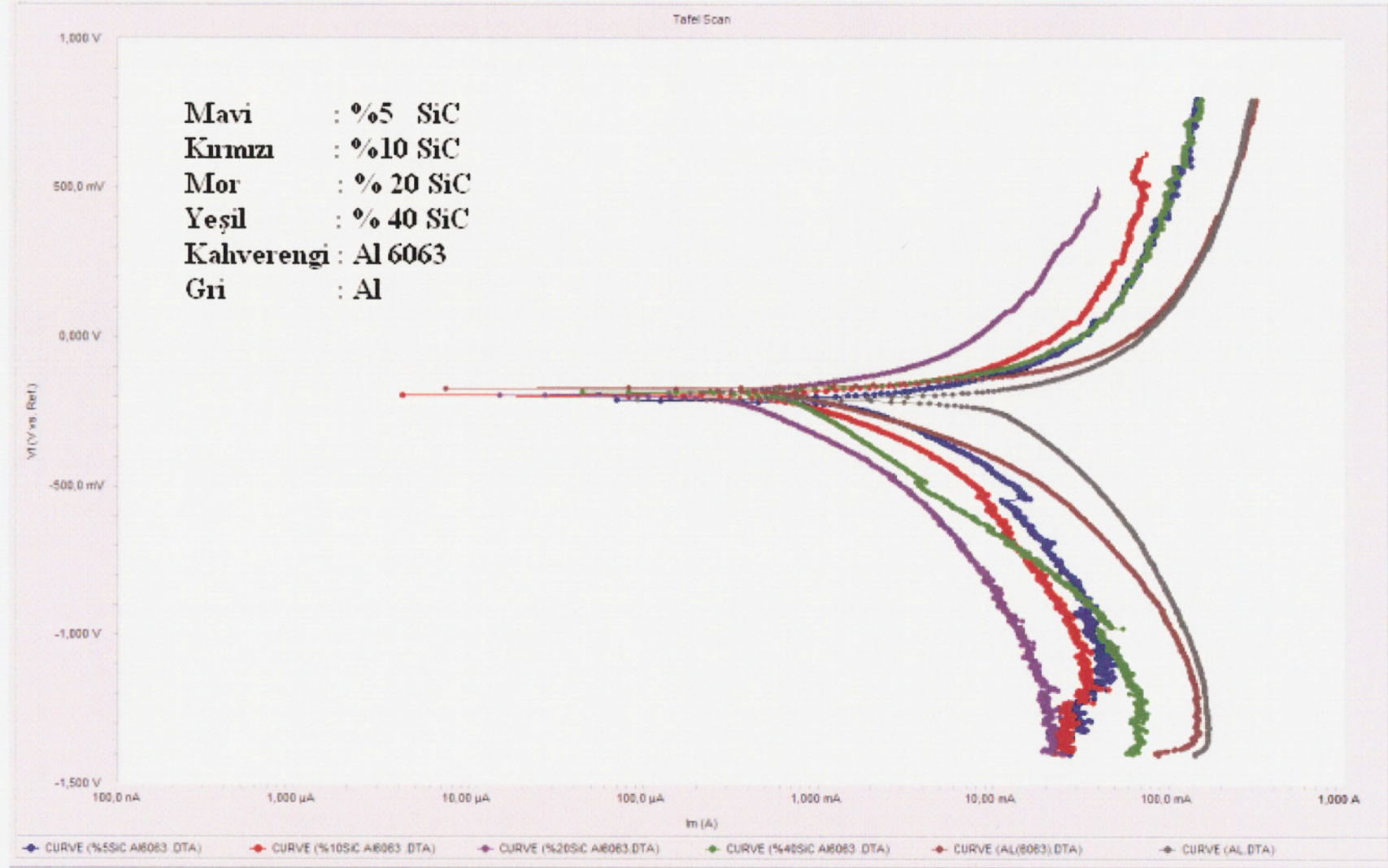


Şekil 6.16 Orijinal 6063 Al alaşımı, saf Al ve %5, 10, 20 ve 40 SiC_p içeren Al-SiC_p kompozitlerin zamana karşı potansiyel eğrileri.

olan Al anot olarak davranmakta ve daha kısa sürede korozyona uğramaktadır. SiC_p artışıyla yüzey alandaki Al miktarındaki azalma korozyon hızının düşmesine neden olmaktadır. Görener (2007)'in yaptığı çalışmada bu konuda paralellik göstermektedir.

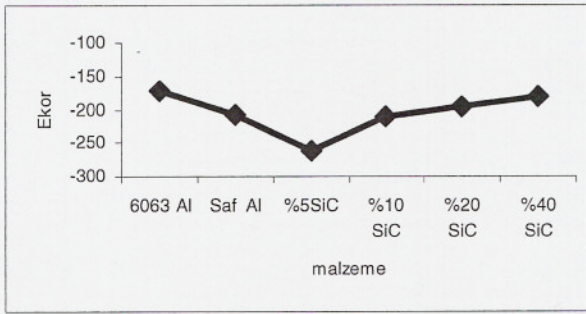
6.3.2 Potansiyodinamik Polarizasyon Test Sonuçları

Orijinal 6063 Al alaşımı, saf Al ve %5, 10, 20 ve 40 SiC_p içeren Al-SiC_p kompozitlerin potansiyodinamik polarizasyon eğrileri Şekil 6.17'da verilmiştir. Şekil 6.18, 6.19 ve 6.20'de ise Orijinal 6063 Al alaşımı, saf Al ve %5, 10, 20 ve 40 SiC_p içeren Al-SiC_p kompozitlerin polarizasyon eğrilerinin ekstra polarizasyonu ile elde edilen korozyon otansiyeli (E_{kor}) korozyon akım yoğunluğu (I_{kor}) ve korozyon hızı (CR) eğrileri verilmiştir.

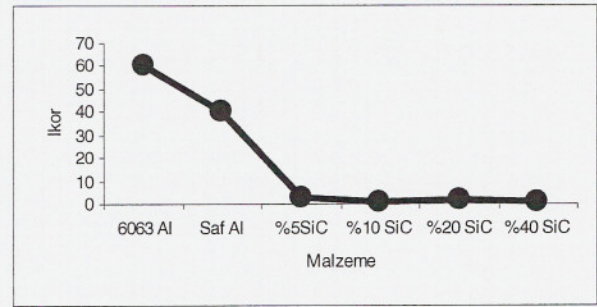


Şekil 6.17 Orijinal 6063 Al alaşımı, saf Al ve %5, 10, 20 ve 40 SiC_p içeren Al-SiC_p kompozitlerin potansiyodinamik polarizasyon eğrileri.

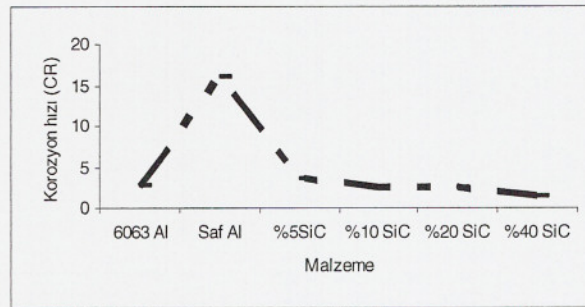
Potansiyodinamik polarizasyon eğrileri incelendiği zaman E_{kor} değerlerinin sırasıyla Al -208 mV, %5 SiC_p -210 mV, %10 SiC_p -196 mV, %20 SiC_p -194 mV, %40 SiC_p -184 mV, 6063 Al -172 mV olduğu görülmektedir. SiC_p oranı artışıyla E_{kor} değerlerinde azalma görülmektedir. Pasifleşme akım yoğunluğu düştükçe korozyon direnci yükselmektedir. Türkmen (2007) farklı malzeme kullanarak yaptığı çalışmada bu durumu rapor etmiştir. Şekil 6.18, 19 ve 20'de polarizasyon eğrilerinin ekstra plorizasyonu ile elde edilen korozyon potansiyeli (E_{kor}), korozyon akım yoğunluğu (I_{kor}) ve korozyon hızı (CR) eğrileri verilmektedir. Şekil 6.18, 19 ve 20 incelendiğinde korozyon potansiyelinin pozitifleştiğini, korozyon akım yoğunluğunun azaldığını ve korozyon hızının azaldığını görmekteyiz. Bu sonuçlara göre SiC_p artışıyla korozyon direncinin arttığı görülmektedir. Bu sonuç daha önceki sonuçlarla paralellik göstermektedir. Kurt (2008) titanyum kullanarak yaptığı çalışmada benzer sonuçlara ulaşmıştır.



Şekil 6.18 Korozyon potansiyeli (E_{kor}) eğrisi



Şekil 6.19 Korozyon akım yoğunluğu (I_{kor}) eğrisi



Şekil 6.20 Korozyon hızı (CR) eğrisi

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1 SONUÇLAR

Toz metalurjisi ile üretilen metal matrisli kompozit (Al-SiC_p) ile 6063 Al numunenin difüzyon kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada;

1. Ağırlıkça % 5 – 10 – 20 – 40 SiC_p takviye elemanı içeren Al matrisli MMK üretimi gerçekleştirilmiştir.
2. Elde edilen Al-SiC_p MMK malzemeler yapılan ön çalışmalar sonunda kaynak parametreleri olarak 600°C sıcaklık, 2 Mp basınç ve 3,5 saat süre tespit edilmiş ve en iyi bağlantının bu şartlarda oluştuğu görülmüştür. Bu da Al-SiC_p MMK malzemenin difüzyon kaynak yöntemi ile uygun parametreler sağlandığında birleştirilebileceğini göstermiştir.
3. Çalışmada kullanılan alüminyum matrisli Al-SiC_p MMK malzeme çabuk oksitlendiği için kaynak ara yüzeyinde difüzyonu zorlaştırmıştır. Bu nedenle kaynak argon atmosferi altında yapılmıştır.
4. Yapılan mikroyapı ve EDS analizlerinde difüzyonun gerçekleştiği ve çalışmanın amacına ulaştığı görülmektedir.
5. Yapılan kesme makaslama testi sonucuna göre SiC_p miktarı artışı ile dayanımın azaldığı gözlemlenmiştir.
6. Korozyon testi sonuçları SiC_p oranı artışıyla korozyon direncinin arttığını göstermiştir.

7.2 ÖNERİLER

1. Yüzey hazırlığının atmosfer kontrollü ortamda yapılması Al-SiC_p ve 6063 Al malzemelerin oksitlenmesini önleyeceği için daha sonraki çalışmalarda uygulanabilir,
2. Difüzyon kaynak işlemi vakum altında yapılması parça yüzeylerinde ve ara yüzeyde oluşabilecek oksit tabaksının önlemek için yararlı olabilir,
3. Yüzey hazırlığının değişik şekillerde yapılarak optimum yüzey şartlarının belirlenmesi kaynak süresini kısaltması yönünde incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Akoral E** (2003) Toz Metalurjisi Yöntemi ile Al-SiC Kompozit Malzeme Üretimi ve İşlenebilirliğinin İncelenmesi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Doktora Tezi*, MANİSA, 188 s.
- ASM Composite Handbook**, Volume 21, 2002 *ASM International Materials Park, Usa*
- Atasoy E** (2007) Titanyum ve Düşük Karbonlu Çelik Çiftinin Arabağlayıcı Kullanarak Difüzyon Kaynağı ile Birleştirilebilirliğinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, KARABÜK, 107 s.
- Aydın M** (2003) SiC Parçacık Takviyeli 7075 Alüminyum Alaşım Matrisli Kompozit Malzemelerin Difüzyon Kaynağı, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Doktora Tezi*, ANKARA 162 s.
- Aydın M** (2005) AL-SiC Malzemelerin Difüzyon Kaynağı ile Birleştirilebileceği ve Arayüzeyin İncelenmesi, *Kaynak Teknolojisi V:Ulusal Kongresi*, s.99–107, Kocaeli
- Aydın M** (2006) MMK Üretiminde Farklı Tasarımlardaki Karıştırıcıların Etkisinin Araştırılması, *Teknoloji Dergisi*, Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, *Teknoloji Dergisi*, Sayı:1, s.39–46
- Bedir F** (2006) Alüminyum Kompozitlerin Üretimi, Karakteristik Özellikleri ve Endüstriyel Uygulamaları, *Mühendis ve Makine Dergisi*, TMMOB, Sayı: 554, s.28–35
- Bilgin B** (2007) Ti-6Al-4V/304L Malzeme Çiftinin Bakır Aratabaka Kullanarak Difüzyon Kaynağı ile Birleştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ELAZIĞ, 97 s.

KAYNAKLAR (devam Ediyor)

- Buytoz S** (1999) Alüminyum Matrisli Al₂O₃ Takviyeli Kompozit Malzemelerin Katı Hal Birleştirme Teknikleri ile Kaynak Edilebilirliğinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ELAZIĞ, 99 s.
- Çalgülü U** (2005) Sıcak preslemeyle İmal Edilmiş AlSiMg-SiC_p Takviyeli Kompozitlerin Difüzyon Kaynağı ile Birleştirilebilirliğinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ELAZIĞ, 159 s.
- Çalgülü U, Dikbaş H, Taşkın M** (2006) Sıcak Presleme Yöntemiyle İmal Edilmiş SiC_p Takviyeli Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Difüzyon Kaynağında Sürenin Birleşme Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, *Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Fırat Üniversitesi, ELAZIĞ, Sayı:3, s.437-443,
- Çelik S, Ay İ** (1999) Koruyucu gaz altında Difüzyon Kaynağı ve Uygulanması, *Tr. J. Of Engineering and Environmental Science*, Sayı:23 s.63-70
- Görener A** (2007) Al-Si Matrisli Kompozit Malzemelerin Korozyon Davranışlarının İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İSTANBUL, 125 s.
- Güleç Ş, Aran A** “Malzeme Bilgisi I” , *İTÜ, İstanbul*,1993
- Hiçyılmaz N** (1999) Toz Metalurjisi Yöntemleri ile Elde Edilen Seramik Tanecik Destekli Alüminyum Esaslı Kompozit Malzemelerin Aşınma Özellikleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ANKARA, 161 s.
- Kahraman N** (2003) Titanyum ve Bakır Çiftinin Ara Bağlayıcı Difüzyon Sert Lehimlemesi ile Fırında Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *Fen Bilimleri Dergisi*, Gazi Üniversitesi, ANKARA, Sayı:3, s.611-618
- Kahraman N** (2005) Katı Hal kaynak Teknikleri, *Yüksek Lisans Ders Notları*, ZKÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Anabilimdalı, KARABÜK

KAYNAKLAR (devam Ediyor)

- Kök M** (2000) Metal Matrisli (Al_2O_3 Takviyeli (Kompozit Malzemelerin Üretimi ve Seramik Takımlarla İşlenebilirliğinin Araştırılması, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ELAZIĞ, 213 s.
- Kurt A** (1996)Toz Metalden Üretilen Bronz Yatağın Düşük Karbonlu Çeliğe Difüzyon Kaynağı ile Birleştirilmesi, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi, ELAZIĞ, 108 s.
- Kurt R** (2008) Toz Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi ile Üretilmiş Titanyumun Yapay Tükürük Ortamında Korozyon Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, KARABÜK, 94 s.
- Rosen R S, Walmsley D R, Munir Z A** (1986) The Properties of Silver-Aided Diffusion welds Between Uranium and Stainless Steel, *Welding Journal*, AWS,65(4):83-92
- Sur G** (2002) Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Üretimi ve İşlenebilirliğinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ANKARA, 167 s.
- Şahin Y** “Kompozit Malzemelere Giriş”, *Gazi Kitabevi*, Ankara, 2000
- Tamirci M** (2008) <http://angelfire.com/mt/mehmettamirci/korozyon> 12.08.2008
- Türkmen M** (2007) Toz Enjeksiyon Kalıplama Metodu ile Üretilen Metalik Esaslı Malzemelerin Biyokorozyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, KARABÜK, 74 s.
- United States Patent**, 6.668.912, December 30, 2003
- URL-1** <http://machinedesign.com/ContentItem/58336/> MetalMatrix Composite End Effectors

Yıldırım B Z (2001) Difüzyon Kaynağının Demir Dışı Hafif Malzemelere Uygulanması, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, ESKİŞEHİR, 83

Yılmaz O, Çelik H (1999) Difüzyon Kaynaklı Paslanmaz Çelik-Bakır İkiliğinde Kaynak Bölgesinin Etidü, *MAMTEK'99*, MANİSA, s.166–174

Zhang X P, Ye L, Mai Y W, Quan G F, Wei W (1999) Investigation on Diffusion Bonding Charecteristics of SiC Particulate Reinforced Aluminium Metal Matrix Composites (Al/SiC_p-MMC), *Composites Part A:Applied Science and Manufacturing Part A* 30, 1415–1421

ÖZGEÇMİŞ

Hamza KÜÇÜKKARA, 1970'de Karabük ili Eskipazar ilçesi İmanlar köyünde doğdu. İlkokulu İmanlar köyü İlkokulunda, Ortaokulu Karabük Yenişehir Ortaokulunda, Lise öğretimini Karabük Endüstri Meslek Lisesinde tamamladı.

1987 Hacettepe Üniversitesi Zonguldak Mühendislik Fakültesi Karadeniz Ereğli Meslek Yüksek Okulu Döküm programı kazandı ve 1989 yılında mezun oldu.1991 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Öğretmenliği programını kazandı ve 1995 yılında mezun oldu.

1995 yılında Yozgat ili Çekerek ilçesi Çıraklık Eğitimi Merkezinde öğretmenlik görevine başladı.1999 yılından itibaren Karabük Anadolu Teknik Lisesi Teknik Lise ve Endüstri Meslek Lisesinde Metal Teknolojisi Öğretmeni olarak görevine devam etmektedir.

2005 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Anabilim Dalında Başladığı Yüksek Lisans Programına devam etmektedir.

Adres Bilgileri:

Yeşil M. Bilgin S.Mimar Sinan Sitesi
B-Blok No 31/6
Merkez/ KARABÜK

Tel : 0 505 241 58 10

E-Mail: hamzakucukkara@hotmail.com
hamzakucukkara@gmail.com