

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AlMg3/SiCp KOMPOZİTLERİNİN KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Makine Mühendisi Engin ALP

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr. Nilhan ÜRKMEZ

2008
EDİRNE

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AlMg₃/SiCp KOMPOZİTLERİNİN
KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Engin ALP

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Bu tez 05.12. 2008 tarihinde Aşağıdaki Jüri Tarafından Kabul Edilmiştir.

Yrd.Doç. Dr.
Nilhan ÜRKMEZ TAŞKIN

Yrd.Doç. Dr.
Nurşen ÖNTÜRK

Yrd.Doç. Dr.
Vedat TAŞKIN

(Danışman)

İÇİNDEKİLER

AlMg3/SiCp KOMPOZİTLERİNİN	ii
KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGE LİSTESİ	v
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	0
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	5
3. METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER	13
3.1. Parçacık Takviyeli MMK Malzemeler	16
3.2. MMK Malzemelerde Matris – Takviye Elemanı Arayüzeyi	23
3.3. MMK Malzemelerin Üretim Yöntemleri	27
3.4. Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemelerin Birleştirme Yöntemleri	28
3.4.1. Ergitme Yöntemleri	29
3.4.2. Katı Hal Yöntemleri	29
3.4.3. Diğer Yöntemler	30
4. DİFÜZYON KAYNAĞI	31
4.1. Difüzyon	36
4.1.1. Kendi Kendine Difüzyon	38
4.1.2. Alaşımlarda Difüzyon	39
4.2. Difüzyon Mekanizmaları	40
4.2.1. Arayer Difüzyonu Mekanizması	41
4.2.2. Yeralan Difüzyon Mekanizması	42
4.3. Aktivasyon Enerjisi	43
4.4. Kararlı Hal Difüzyonu (I. Fick Kanunu)	43
4.5. Kararsız Hal Difüzyonu (II. Fick Kanunu)	44
4.6. Difüzyonu Etkileyen Faktörler	46
4.6.1. Sıcaklık	46
4.6.2. Konsantrasyon	47
4.6.3. Kristal Yapısı	47
4.6.4. Alaşım Elementleri	48
4.6.5. Tane Boyutu	48
4.7. Kimyasal Difüzyon (Kirkendall Etkisi)	48
4.8. Difüzyon Kaynağı Çeşitleri	49
4.9. Difüzyon Kaynak Modeli	50
4.10. Difüzyon Kaynağına Tesir Eden Faktörler	51
4.10.1. Kaynak Sıcaklığı	51
4.10.2. Kaynak Süresi	52
4.10.3. Kaynak Basıncı	53
4.10.4. Diğer Faktörler	53
4.10.5. Aratabaka Kullanımı	54

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	55
5.1. Malzeme Seçimi	55
5.2. Deney Düzenegi	56
5.2.1. Difüzyon Kaynak Fırını	56
5.2.2. Numune hazırlama	58
5.3. Difüzyon Kaynak İşlemleri	59
5.4. Kesme Dayanımı Testleri	61
6. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI	62
6.1. Makroskobik İnceleme Sonuçları	62
6.2. Mikroskobik İnceleme Sonuçları	64
6.3. Kesme Dayanımı Deney Sonuçları	66
7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	68
EKLER :	70
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	80

SİMGE LİSTESİ

Θ	Islatma Açısı
γ_{sk}	Sıvı – Katı Arayüzey Kuvveti
γ_{sg}	Sıvı – Gaz Arayüzey Kuvveti
γ_{kg}	Katı – Gaz Arayüzey Kuvveti
D	Difüzyon Katsayısı
D_0	Difüzyon Sabiti
Q	Aktivasyon Enerjisi
R	Üniversal Gaz Sabiti
T	Sıcaklık
X	Difüzyon Mesafesi
t	Zaman
J	Akı (Bir Alandan Geçen Atom Miktarı)
G	Gibbs Serbest Enerjisi
ΔG	Gibbs Enerjisi Farkı
$\text{\AA}$	AngstroNn
μ	Kaynak Birleşme Oranı
μm	Mikrometre
∞	Sonsuz

KISALTMA LİSTESİ

MMK	Metal Matris Kompozit
Al-MMK	Alüminyum Matrisli Kompozit
NADIBO	North American Defense Industrial Bass Organization
IIW	International Institute Welding
BS 499	İngiliz Kaynak Standartı
Al	Alüminyum
AlMg3	Alüminyum-magnezyum (AA5754) alaşımı
SiC	Silisyum Karbür
SiCp	Parçacık Takviyeli SiC
HMK	Hacim Merkezli Kubik
YMK	Yüzey Merkezli Kubik
CVD	Chemical Vapour Deposition
PVD	Plasma Vapour Deposition

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2-1.Kaynaklı Birleşimde, Çekme Dayanımı ve Deformasyona Sıcaklığın Etkisi .	10
Şekil 2-2.Kaynaklı Birleşimde, Kaynak Sıcaklığının Birleşme Mukavemetine Etkisi ..	11
Şekil 2-3.SiC Parçacık Takviye Oranı ile Kaynak Mukavemetinin Değişimi.....	11
Şekil 2-4.SiC Parçacık Boyutlarının Birleşme Mukavemetine Etkisi .	12
Şekil 3-1.MMK'ların Takviyenin Geometrik Yapısına Göre Sınıflandırılması (NADIBO 1993).	13
Şekil 3-2.MMK'ların Matris Malzemelerine Göre Sınıflandırılması (NADIBO,1993).	14
Şekil 3-3.MMK malzemelerde takviye örnekleri (a) Sürekli elyaf takviye, (b) Parçacık takviye, (c) Whisker takviye, (d) Süreksiz elyaf takviye (NICOARA, 1999).	15
Şekil 3-4.Sıvı Damlanın Islatma açısı.....	24
Şekil 3-5.Difüzyon Kaynağında Arayüzeyler a) Matris / Matris b) Matris / Parçacık .	26
Şekil 3-6.Difüzyon kaynağı ile birleştirilmiş 2024Al-%10SiCp MMK Birleşme Arayüzey Mikroyapısı a) Matris/Matris b)Matris/Parçacık ve c)Parçacık/Parçacık .	27
Şekil 4-1.Çeşitli Katı Hal Kaynak Tekniklerinin karşılaştırılması	32
Şekil 4-2.Serbest Enerjinin Durum Değişimine Bağlılığı.....	37
Şekil 4-3.Konsantrasyon Gradyantının Şematik Gösterimi.	38
Şekil 4-4.Kendi Kendine Difüzyonun Şematik Görünümü. (Aydın, M., 2003).	39
Şekil 4-5. Cu-Ni konsantrasyonu a)Cu-Ni çifti sıcaklık uygulanmadan önce, b) Cu-Ni çifti sıcaklık uygulandıktan sonra	40
Şekil 4-6. Arayer Difüzyonunun Oluşumu .	41
Şekil 4-7.YMK Kafes İçerisinde Atomun Boş Bir Konuma Hareketi.....	42
Şekil 4-8.Yeralan ve Arayer Difüzyonunda Aktivasyon Enerjisi Değişimi	43
Şekil 4-9.Kararsız Hal Difüzyonda Konsantrasyon Profili.....	45
Şekil 4-10.Kararsız Hal Difüzyonunda Farklı Sıcaklıklarda Oluşan Konsantrasyon Profili	46
Şekil 4-11Kirkendall Etkisi'nin gösterimi.	49
Şekil 4-12.Difüzyon kaynağı mekanizması ve difüzyon kaynağı esnasında oluşan kaynak ara yüzey değişiminin aşamaları (Kearns, 1980).....	50
Şekil 4-13.Sıcaklığın Birleşme Alanı Üzerindeki Etkisi (Yılmaz, 1999).....	52
Şekil 4-14.Difüzyon Kaynağında Basınç, Sıcaklık ve Sürenin Dayanıma Etkisi.....	52
Şekil 5-1.Difüzyon Fırını Kesit Görünüşü	57
Şekil 5-2.Numune Yerleştirme Aparatları	57
Şekil 5-3.Numunelerin Aparata Yerleştirilmesi.....	58
Şekil 5-4. Numune Aparatının Difüzyon Fırınına Yerleştirilmesi ve Ağırlık Platformunun Montajı	58
Şekil 5-5.Numune ölçüleri	59
Şekil 5-6.Numunelerin Zımparalanması ve Saf Alkolde Bekletilmesi.....	59
Şekil 5-7. INSTRON Çekme Cihazı İçin Hazırlanmış Kesme Testi Aparatı	61
Şekil 6-1 P=3.5 MPa, t=180 dak şartlarında birleştirilmiş %0 SiCp/AlMg3 - %10 SiCp/AlMg3 numune çifti.....	62
Şekil 6-2. P=2.5 MPa, t=180 dak şartlarında birleştirilmiş %0 SiCp/AlMg3 - %0 SiCp/AlMg3 numune çifti.....	62
Şekil 6-3.P=1.5 MPa, t=180 dak şartlarında birleştirilmiş %0 SiCp/AlMg3 - %0 SiCp/AlMg3 numune çifti.....	63
Şekil 6-4.P=2.5 MPa, t=180 dak şartlarında birleştirilmiş %20 SiCp/AlMg3 - %20 SiCp/AlMg3 numune çifti.....	63

Şekil 6-5. % 20 SiCp/AlMg3 - % 20 SiCp/AlMg3 numune çifti.....	65
Şekil 6-6.% 0 SiCp/AlMg3 - % 20 SiCp/AlMg3 numune çifti.....	65
Şekil 6-7.Difüzyon Kaynak Basıncı ile Kesme Gerilmesinin Değişimi	66

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1 MMK'ların başlıca avantajları ve kullanım alanları.....	2
Çizelge 3.1.MMK Malzeme Matrisi, Takviye Elemanı, Üretim Teknikleri ve Uygulama Alanları.....	18
Çizelge 3.2.Matris/takviye kombinasyonları (NADIBO,1993)	19
Çizelge 3.3.Biçimlenebilir ve Dökme Alüminyum Alaşımlar	21
Çizelge 3.4.Takviye Elemanları ve Bazı Önemli Özellikleri.....	23
Çizelge 4.1.Kaynak Yöntemleri	31
Çizelge 4.2.Difüzyon Kaynağı ile Kaynak Edilebilen Malzeme Grupları(Metals Handbook, Vol.6,1983).....	33
Çizelge 4.3.Difüzyon Kaynağı Uygulanabilen Malzeme Çiftleri ve Kaynak Parametreleri	34
Çizelge 4.4.Difüzyon Kaynağı Yapılmış Metal Malzemeler ve Bazı Kaynak Parametreleri	35
Çizelge 4.5.Difüzyon kaynak yöntemi ile birleştirilmiş kompozit malzemelerin bazı değerleri.....	36
Çizelge 4.6.Bazı Malzemelerde, Difüzyon Katsayısının Sıcaklıkla Değişimleri	47
Çizelge 4.7.Difüzyon Kaynağı Birleştirme Yöntemleri.....	49
Çizelge 5.1.AL _{Mg} 3'ün Fiziksel Özellikleri (TALAT, 2000)	55
Çizelge 5.2.AL _{Mg} 3'ün Kimyasal Özellikleri	55
Çizelge 5.3.Difüzyon Kaynak Fırını Özellikleri	56
Çizelge 5.4.Numuneler ve Kaynak parametreleri	56
Çizelge 5.5.Difüzyon Kaynak Fırının Isınma ve Soğuma zaman- sıcaklık eğrileri.....	60
Çizelge 5.6.Kompozit Numunelerin Kaynağında Kullanılan Deney Parametreleri	61

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca değerli bilgi ve tecrübelerini bana aktaran ve yol gösteren saygı değer hocalarım Yrd. Doç. Dr. Nilhan ÜRKMEZ TAŞKIN'a ve Yrd. Doç. Dr. Vedat TAŞKIN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek Lisans çalışmalarım süresince Kütüphane, Laboratuar ve Atölye imkanlarından yararlandığım Trakya Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dekanlığı'na teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım esnasında benden yardımlarını esirgemeyen tüm DSI XI. Bölge Müdürlüğü çalışanlarına teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca her zaman arkamda olan aileme maddi ve manevi desteklerinden ötürü teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2008

Engin Alp

ÖZET

Günümüzde metal matrisli kompozitlerin yapı malzemesi olarak kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Teknolojinin her alanında kullanılmaya başlanan kompozit malzemeler yarı mamul veya mamul olarak üretilmektedir. Üretim şekli kullanılan matris ve takviye malzemesinin türüne göre ve malzemeden beklenen yada ihtiyaç duyulan spesifik özelliklere göre belirlenir. Karmaşık ve özel fonksiyonlara sahip metal matrisli kompozit ürünlerin imalatında birleştirme çok önemli bir rol oynar. Üretimde kazanılan teknik özelliklerin birleşme bölgesine transfer edilememesi kompozit malzeme kullanımının başarısını kritik hale getirir. Yarı mamul veya mamul hale gelmiş kompozitler birleştirme işlemlerinden önce çeşitli yöntemlerle hazırlama işlemlerine tabii tutulurlar. Fakat bu safhada şekillendirilmiş homojen ve izotrop konstrüksiyonların alışılmış problemlerinden çok farklı tasarım problemleri ortaya çıkar. Örneğin mekanik bağlama yöntemleri kompozitin delinmesini gerektirir ve bu işlem sonucunda gerilme yığılmalarının oluşturduğu kırılmalar ve takviye malzemesinin hasarlanması kaçınılmazdır. Birleştirme bölgesinde kısmi ergimeye neden olan kaynaklı bağlantılar metal matrisli kompozit malzemelerde farklı problemlerin ortaya çıkmasına neden olur. Metal matrisli kompozitlerin birleştirilmesinde katı hal kaynak yöntemleri giderek önem kazanmakta, özellikle difüzyon kaynağına olan ilgi giderek artmaktadır. Difüzyon kaynağı, sıcaklık ve basıncın etkisi ile birleştirilecek malzemeler arasında difüzyon sonucunda gerçekleşen bir katı birleştirme yöntemidir.

Bu çalışmada farklı oranlarda takviye edilmiş SiC parçacık takviyeli AlMg3'ün difüzyon kaynağı ile birleştirilmesi amaçlanmıştır. %0, %10, %20 hacimsel oranlarında takviye edilmiş kompozitlerin difüzyon kaynağı ile birleştirme kabiliyetleri araştırılmıştır. Difüzyon kaynağı işlemleri 580°C sıcaklıkta 1,5 MPa, 2,5 MPa ve 3,5 MPa basınç değerlerinde 2 ve 3 saat sürelerde gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemlerinde, takviye oranları farklı ve takviye oranları aynı kompozit malzemelerin birleştirilmelerinde etkili parametreler incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, Metal Matrisli Kompozit, SiC, Difüzyon Kaynağı

ABSTRACT

Nowadays, Metal Matrix Composites using are to become widespread as structural material. Composite materials that using the all applications in technology is produced semifinished product or end product. Matrix or reinforcement material type and expected material feature determines production method. Joining is very important figure on production of Metal Matrix Composites that complex and special function. Success of using composite material is very critical in case of production technical features can not transfer the joining zone. Before the joining process, semifinished and end products are subjected to preparation process. In this period, shaped homogeneous and isotropic constructions design problems develops that very different ordinary problems, until beginning of preparation period to ending of assembling period, special process and methods required. Joining methods that using composite structures producing involves preparation level with classic methods as mechanic, sticking, welding and soldering in preparation periods puncturing and cutting process performs, for example mechanical connection. Welded connections required as weld preparation, beveling process. Especially mechanical connection methods required drilling the composite and after this process stress cracking and reinforcement material damage is inevitable. In the joining zone, local melting by the reason of welded connection caused different problems on Metal Matrix Composite materials. Especially, particle reinforced composite materials, density difference between reinforcement material and matrix material caused segregation zones, unwanted reactions between particles and matrix or welded zone cracking due to material ductility loss. Solid phase welding methods being important in joining of metallic matrix composites, especially concerning of diffusion welding being increased. Diffusion welding is the solid joining method which occur with heat and pressure affection between being joined materials due to diffusion.

The aim of this study is to joining different proportion supplemented SiC particle supplemented AlMg3 with diffusion welding. %0, %10, %20 volumetric ratio supplemented composites diffusion welding ability were investigated. diffusion welding process performed at 580 °C temperature, 1,5 MPa, 2,5 MPa and 3,5 MPa pressure value in 2 and 3 hour time period. Effective parameters were investigated joining process of composites with same and different supplement ratio in welding process

Key Words: Aluminium, Metal Matrix Composites, SiC, Diffusion Welding

1. GİRİŞ

Malzeme bilimciler, günlük yaşantımızı kolaylaştıracak daha üstün özelliklere sahip daha ekonomik malzeme üretme arayışı içerisine girmişlerdir. Geleneksel malzemelerde bu özelliklerin bir arada bulunması oldukça zordur. Kompozit malzemelerde, belirli bir uygulama için malzemedan beklenen değişik fiziksel, mekaniksel ve kimyasal özellikler bu özelliklere sahip malzeme bileşenleri tarafından sağlanır. Bu nedenle gelişmiş özelliklere sahip malzemelere olan ihtiyacın artmasıyla, ileri kompozit malzeme sınıfına dahil olan Metal Matrisli Kompozitlere (MMK) olan talep gün geçtikçe artmaktadır.

Metal matrisli kompozitlerin gelişiminde ilk adım cam elyafın üretilmesi olmuştur. 1950'lerde, cam elyaf üretim teknolojileri geliştirilmiş ve yüksek performanslı cam elyaflar üretilmiştir. 1950'lerin sonunda, araştırılmacılar daha yüksek dayanımlı elyaflar üretebilmek amacıyla hafif metallere odaklanmış ve boron elyafların üretimi bu çabaların ilk sonuçları olmuştur. Bu gelişmeyi karbon elyaf, berilyumoksit elyaf ve grafit elyafın üretimi takip etmiştir. Elde edilen elyaf ve filamentlerin etrafının matris görevi gören alüminyum gibi metallerle sarılmasıyla metal matrisli kompozitler kullanılmaya başlanmıştır.

Günümüzde metal matrisli kompozitlerin yapı malzemesi olarak kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Teknolojinin her alanında kullanılmaya başlanan kompozit malzemeler yarı mamul veya mamul olarak üretilmektedir. Üretim şekli kullanılan matris ve takviye malzemesinin türüne göre ve malzemedan beklenen yada ihtiyaç duyulan özelliklere göre belirlenir.

MMK'larda matris malzemesi özel seçilmiş bir metal veya metal alaşımıdır. Isıl işlem uygulamaları ile matris malzemelerinde isteğe bağlı yapısal dönüşümler sağlanabilir. Uygulanabilir termomekanik işlem çeşitliliği ve seçilebilir uygun alaşım kompozisyonlarının çokluğu nedeniyle, metalik malzemeler çok geniş bir oranda

kontrol edilebilen özellikler sergiler. MMK'lar çoğu kez kendisini oluşturan matris malzemesi fazından çok daha düşük süneklik ve tokluk değerliğini sahiptirler ancak, süneklik ve tokluk değerleri seramik malzeme ve seramik matrisli kompozit malzemelere nazaran çok daha yüksektir. Genellikle alışılmış metallere nazaran daha hafif olan MMK'ların başlıca avantajları ve kullanım alanları Çizelge 1.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1 MMK'ların başlıca avantajları ve kullanım alanları

SAGLANAN FAYDA POTANSİYEL VE MEVCUT UYGULAMALAR	Ağırlık Azaltılması	Aşınma Direncinin Artması	Rijitlik	Isıl İletkenliğin Önceden Belirlenebilmesi	Yüksek Sıcaklıklarda Performans Artışı	Önceden Belirlenebilir CTE	Korozyon Direnci	Radyasyona Karşı Direnç	Yüksek Dayanım
Uçakların Dış Yüzey Kaplamaları	•				•				•
Taşıyıcı Elemanlar	•	•					•		•
Bisiklet Gövdeleri	•		•						•
Deniz Araçlarının Direkleri	•		•						•
Fren Rotorları	•	•							
Elektronik Ambalaj	•			•	•	•		•	
Elektronik Devre Taşıyıcıları	•			•	•	•			
Motor Silindir Gömlekleri	•	•							
Birleştirme Elemanları, Cıvatalar, Somunlar	•						•		•
Yer Araçları	•								•
İniş Takımları Destekleyicileri	•		•						•
Tıbbi İmplantlar	•						•		•
Optik Kılavuz Sistemleri	•		•	•		•			
Pistonlar	•	•							
Uydu Anten Direkleri	•		•						
Deniz Araçları	•		•				•		
Uzay Yapıları	•		•	•				•	
Transmisyon Parçaları	•	•					•		
Nükleer Santral Boru Donanımları	•						•	•	
Türbin Motor Parçaları	•	•			•				•
Sonsuz Vida Dişlileri	•	•							•

Parçacık takviyeli alüminyum alaşımları MMK sınıfının en çok araştırılan ve geliştirilen grubudur. Bu tür kompozitlere sürekli faz takviyeli kompozitlerden farklı

olarak, metallere uygulanan deformasyon işlemlerinin çoğu adapte edilebilmektedir. Sürekli elyaf takviyeli kompozitlerde parçanın son boyutlarına çok yakın veya tam istenen boyutlarda şekillendirecek üretim yöntemleri seçilmesi zorunlu iken, süreksiz faz takviyeli kompozit malzemelere ekstrüzyon, haddeleme dövme ve hatta süper plastik şekillendirme ile üretim sonrası farklı biçimlendirme işlemleri uygulanabilmektedir. (Ürkmez, 2004)

Kompozit malzemeler sahip oldukları üstün özelliklere rağmen üretim maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı kullanım alanları endüstriyel olarak istenen seviyelere ulaşmamıştır. Yüksek maliyetli kompozit malzemelerin kullanım yerlerinde daha düşük maliyetle kullanımı ve oluşan hasarların giderilmesi için zaman zaman kaynaklı birleştirmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle farklı birçok kaynak yöntemiyle kompozit malzemelerin birleştirilmesi üzerine araştırmalar yapılmıştır (Lindross vd., 1995, Gürler, 1988). Kaynak yöntemiyle kompozit malzemelerin kaynağı esnasında, ergiyik sıvı matris ile takviye parçacığının karıştırılması zordur. Soğuma esnasında katılaşma segregasyonlar, yüksek sıcaklıklardan dolayı istenmeyen reaksiyonlar oluşmakta, parçacıkların dibe çökmesi gibi sorunlarla karşılaşmaktadır (Partridge vd.,1991,Ellis,1996, Çelik, 1996). Difüzyon kaynak yönteminde sıcaklık, basınç, atmosfer ve süre önemli faktörler olup, bunların birlikte kontrol edilmesi ile ana malzemenin mekanik özelliklerine yakın kaynak birleşim özelliklerinin elde edilebildiği rapor edilmiştir (Spanswick,1989, Ralph vd.,1997).

Karmaşık ve özel fonksiyonlara sahip metal matrisli kompozit ürünlerin imalatında birleştirme çok önemli bir rol oynar. Üretimde kazanılan teknik özelliklerin birleşme bölgesine transfer edilememesi kompozit malzeme kullanımının başarısını kritik hale getirir. Yarı mamul veya mamul hale gelmiş kompozitler birleştirme işlemlerinden önce çeşitli yöntemlerle hazırlama işlemlerine tabii tutulurlar. Fakat bu safhada şekillendirilmiş homojen ve izotrop konstrüksiyonların alışılmış problemlerden çok farklı tasarım problemleri ortaya çıkar. Hazırlık safhasından montajına kadar özel işlemler ve yöntemler gerektirir. Kompozit yapılar oluşturulurken kullanılan birleştirme yöntemleri mekanik, yapıştırma, kaynaklı ve lehim bağlantıları bilinen yöntemlerle hazırlık aşamalarını içerir. Hazırlık aşamalarında örneğin mekanik bağlantı yapılacaksa

delme kesme işlemleri uygulanır. Kaynaklı bağlantı yapılacaksa kaynak ağzı hazırlama, pah kırma v.b. gibi işlemler uygulanır. Özellikle mekanik bağlama yöntemleri kompozitin delinmesini gerektirir ve bu işlem sonucunda gerilme yığılmalarının oluşturduğu kırılmalar ve takviye malzemesinin hasara uğraması kaçınılmazdır. Birleştirme bölgesinde kısmi ergimeye neden olan kaynaklı bağlantılar metal matrisli kompozit malzemelerde farklı problemlerin ortaya çıkmasına neden olur. Özellikle parçacık takviyeli kompozit malzemelerde takviyenin matristen farklı yoğunluğa sahip olması segregasyon bölgelerinin meydana gelmesine, parçacıklarla matris arasında istenmeyen reaksiyonlar meydana gelmesine ya da malzemenin sünekliğinin çok düşerek kaynak bölgesinin çatlamasına sebep olabilir.

Metal matrisli kompozitlerin birleştirilmesinde katı hal kaynak yöntemleri giderek önem kazanmakta özellikle difüzyon kaynağına olan ilgi giderek artmaktadır. Difüzyon kaynağı, sıcaklık ve basıncın etkisi ile birleştirilecek malzemeler arasında difüzyon sonucunda gerçekleşen bir katı birleştirme yöntemidir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Difüzyon kaynağı eski Mısırlılar zamanından beri uygulanan bir sanat/bilim dalıdır. Louvre Müzesi'nde Babil uygarlığına ait gümüş bir kupadaki ek yerleri, M.Ö. 2300 yıllarında katı hal kaynak yönteminin bilindiğini göstermiştir. Yaklaşık M.Ö. 1500 tarihli kıymetli taşlı kutular da kaynak yönteminin uygulandığını göstermiştir. Orta bronz çağda M.Ö. 1400-1000'de İngiliz odalarında bulunan altın ziynet eşyaları ve Dublin'de İrlanda Milli Müzesinde bulunan geç bronz çağa ait 4 altın kutudaki birleştirmeler katı hal kaynaklarının bu devirlerde de kullanıldığını doğrulamaktadır. Dünyanın 7 harikasından biri sayılan, M.Ö. 280 yıllarında Rodosta yapılmış Apollon heykeli de aynı yöntemle eklenerek yapılmıştır. Yapılan literatür çalışmasında son 20 yılda Metal Matrisli Kompozitlerin birleştirme yöntemleri ile ilgili yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Aydın, 2003 çalışmasında Metal Matrisli kompozitler, ergimiş metal karıştırma (vortex) yöntemiyle üretilip, difüzyon kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. SiC parçacık takviyeli 7075 Al alaşımı matrisli kompozit malzemeler, difüzyon kaynak fırınında 40 mikrometre boyutlarında ağırlıkça %3 SiC takviyeli 7075 Al alaşımlı matris argon gazı atmosferinde vakum ortamında 550 °C ve 578 °C'de 2 MPa basınçta ve 120 dakika sürede 10 mm çapında, 10 mm uzunluğunda ölçülerinde silindirik numuneler difüzyon kaynağıyla birleştirilmiştir. Birleştirme, bakır ve gümüş ara tabakalı ve ara tabakasız olarak yapılmıştır. Birleştirme işleminden sonra numuneler kaynak birleşme işlemine dik olarak kesilip, birleşme ara yüzeylerinde mikro yapı, SEM, EDS analizi çalışmaları yapılmıştır. Kesme testleri, imalatı yapılan bir aparat ile yapılmıştır. Yüzey pürüzlülük değerlerinin difüzyonu etkilediği görülmüştür. Daha girintili çıkıntılı yüzeylerin uygulanan basıncın etkisiyle oluşan oksit tabakalarının kırılmasını sağlamış, belli bir pürüzlülük değerine kadar (40 mikrometre) birleşme kabiliyetine olumlu etki yapmıştır. Kullanılan aratabaka kesme mukavemeti değerini düşürdüğü (Cu aratabaka kullanıldığında kesme mukavemeti 96,38 MPa, Ag aratabaka kullanıldığında kesme mukavemeti 115,54 MPa, aratabaka kullanılmadan yapılan kaynak için ortalama kesme dayanımı 136.96 MPa), kullanılan aratabakanın cinsi kalınlığının birleşme kabiliyetini

etkilediği tespit edilmiştir. Kesme testi neticesinde çok farklı değerler (63 MPa- 126 MPa) bulunmuştur bu da oluşan oksit tabakalarının difüzyon kaynağında atom geçişlerini zorlaştırdığı ve dolayısıyla kesme mukavemeti değerlerini düşürmesi sebebine bağlanmıştır. Kaynak arayüzeyinde sertlik artışı (330 HV'den 335 HV) ile birlikte oluşan kırılma neticesinde kesme mukavemetinde azalma görülmüştür.

Erden, 2005 yapmış olduğu çalışmada, ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarda Si₃N₄ takviyeli Al esaslı kompozit malzemelerin difüzyon kaynağı ile kaynaklanabilirliği araştırmıştır. 10 mm çapında 15 mm uzunluğunda silindirik numuneler 2.5 MPa yük altında farklı sıcaklıklarda (620 °C, 630 °C, ve 640 °C) ve farklı sürelerde difüzyon kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Kaynak işleminden sonra numunelere mekanik test olarak kesme testi uygulanmıştır. Kesme testinde elde edilen sonuçlara göre %15 Si₃N₄ içeren ve 640 °C'de 2 saat süre ile yapılan difüzyon kaynağı en iyi sonucu verdiği görülmüştür.

Mollaoğlu, 2004 SiC partikül takviyeli Al matrisli kompozitler %5, %10 ve %15 takviye hacim oranlarında toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiştir. 12 mm x 12mm x 8 mm ebatlarında kompozit malzemeler vakum atmosferde 540 °C'de, 3MPa ve 6 MPa basınç değerlerinde 1 saat süre ile difüzyon kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Farklı takviye hacmine sahip kompozit malzemelerin difüzyon kaynağı ile birleştirme kabiliyeti araştırılmıştır. Kaynak esnasında sıcaklığın 650 °C'nin üzerine çıkması durumunda SiC matris ile reaksiyona girmekte ve oldukça kırılğan Al₄C₃ fazını oluşturmaktadır. Difüzyon kaynağı işlemlerinde %5 SiC/Al-%5 SiC/Al, %10 SiC/Al-%10 SiC/Al, %15 SiC/Al-%15 SiC/Al malzeme çiftleri ile farklı takviye oranına sahip %5 SiC/Al-%10 SiC/Al malzeme çiftlerinin kaynağında 3 MPa basınç, %15 SiC/Al-%15 SiC/Al malzeme çiftlerinde ise 6 MPa'lık basınç ile kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu sayede kullanılabilecek en büyük basınç değeri tespit edilmeye çalışılmıştır. Tüm numune çiftlerinde birleşme sağlanmıştır. Ayrıca kaynak arayüzeylerinde SiC partiküllerinin aglomerasyona uğramadığı görülmüştür. 3 MPa basınç ile kaynak edilen malzeme çiftleri, kaynak işlemi nedeni ile deformasyona uğramazken 6 MPa basınç ile kaynak edilen %15 SiC/Al-%15 SiC/Al malzeme çiftleri basıncın etkisiyle önemli miktarda deformasyona uğramıştır. Difüzyon kaynağını diğer katı hal

kaynak yöntemlerinden ayıran önemli farklardan biri de deformasyon miktarının çok düşük olmasıdır. Ön deneme kaynak işlemleri ile difüzyon kaynağı öncesi numune yüzeyleri her türlü oksit ve kirlilikten iyice arındırılması gerekliliği belirlenmiştir. Aksi halde oksit tabakasının difüzyon kaynağı esnasında atomların hareketine engel olduğu görülmüştür. Difüzyon kaynak işlemi başladığı esnada sıcaklık sebebiyle oksitlenme başlayabilir. Bu sebeple vakum altında koruyucu gaz atmosferinde kaynak işlemi yapılmasında fayda görülmüştür.

Arık vd.,2004 Al-Al₄C₃ kompozit malzeme toz metalürjisi- in situ tekniğiyle üretilip difüzyon kaynağıyla 250 MPa basınçta ve farklı sıcaklık ve sürelerde birleştirmiştir.

Muratoğlu vd., 2002 Saf Al ile SiC partikül takviyeli MMK'nin difüzyon kaynak yöntemiyle birleşme karakteristiklerini araştırmışlardır. Birleştirme kalitesindeki SiCp'nin homojen dağılım ve yaşlandırma sertleştirmesi üzerinde durulmuştur. Deney sonuçları, yaşlandırma öncesi ve sonrası difüzyon kaynağında SiCp yığınlarında azalma diğer elementlerin yoğunluklarında ise artış olduğunu göstermiştir. Özellikle yaşlandırma davranışı, difüzyon kaynağı öncesi MMKp'teki Al'de Cu konsantrasyonu artırmıştır.

Çalığülü, 2005 Sıcak Presleme yöntemiyle imal edilmiş AlMgSi-SiCp takviyeli kompozitleri difüzyon kaynağı yöntemi ile birleştirmiştir. 42 µm boyutlarında SiC tozlarıyla elde edilen ve ağırlıkça %5, %10, %20 oranlarındaki kompozit malzemeler, koruyucu argon gazı altında 0.26 MPa'lık yüklerle 20, 40, 60 dakikalık sürelerde ve 575-600 °C sıcaklıklarda difüzyon kaynağı işlemi uygulanmıştır. Bu çalışmada özellikle; SiC tozlarının birleşme davranışı ve mikro yapıya olan etkisi incelenmiştir. Kaynak işlemlerinden sonra, numunelere kaynak birleşme ara yüzeyine dik olarak kesilip birleşme ara yüzeylerinde mikro yapı, SEM/EDS analizi çalışmaları yapılmıştır. Mekanik test olarak mikro sertlik testi yapılmıştır. Mikro sertlik deney sonucunda, matris alaşımı ve MMK malzeme arasında kaynaklı birleştirilmiş numunelerde çok az sertlik artışı görülmüştür. En iyi sonuçlar, %5 takviyeli MMK'ler için 575 °C ve 60 dakikada, %10 takviyeli MMK'ler için 600 °C ve 60 dakikada, %20

takviyeli MMK'ler için 575 °C ve 40 dakikada elde edilmiştir. Ara kesitte SiC parçacıkların oranı sıcaklık ve zamanın artmasıyla birlikte artmıştır. Sertlik artışı SiC'nin artışıyla paralel olarak artmıştır.

Dikbaş, 2005 Soğuk presleme ile imal edilmiş Ni-Ti kompozitleri difüzyon kaynağıyla birleştirmiştir. MMK malzeme; 45 µm boyutlarında ağırlıkça %51 Ni ve % 49 Ti tozu karışımından üretilmiştir. Hazırlanan kompozit malzemeler aynı basınçta, farklı sıcaklık ve sürelerde difüzyon kaynağı ile birleştirilmiştir. Çalışmada özellikle kaynak bölgesindeki Ni-Ti oranı incelenmiştir Difüzyon kaynağı; argon koruyucu gaz atmosferi altında, 5 MPa'lık yükleme ile 20, 40 ve 60 dakikalık sürelerde ve 850 °C, 875 °C, 900 °C ve 925 °C sıcaklıklarda yapılmıştır. Kaynak işlemlerinden sonra, numuneler kaynak birleşme ara yüzeyine dik olarak kesilip birleşme ara yüzeylerinde mikro yapı, SEM-EDS analizi çalışmaları yapılmıştır. Yapılan optik mikroskop çalışmalarında, kompozitin homojen bir karışıma sahip olduğu gözenek miktarının düşük olduğu görülmüştür. Ni-Ti oranlarının malzemenin farklı noktalarında yakın değerler taşıdığı görülmüştür. Tüm birleşmelerde arakesitte küçük taneli bölge tespit edilmiş, bu bölgenin 20 dakikalık sürelerde daha geniş olduğu, sürenin artmasıyla daraldığı ve daralan bölgelerde sertliğin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Yılmaz, 1999 Bu çalışmada, östenitik paslanmaz çelik (AISI 304) ve elektrotik bakırın difüzyon kaynağıyla birleştirilmesinde, kaynak parametrelerinin birleşme üzerindeki etkileri incelendiğinde, en uygun difüzyon kaynağının, 800 °C sıcaklık, 30 dakika kaynak süresi ve 1.2 MPa basınçta gerçekleştiği anlaşılmıştır. Bu kaynaklı birleştirme sonucunda, numunelerin hangi oranda kaynak edilebildiğinin anlaşılması amacıyla metalografik ve mekanik testler kullanılmıştır. Kaynak bölgesinde elementlerin difüzyon sonucu konsantrasyon dağılımı ve difüzyon mesafeleri araştırılmış, kaynak bölgesinde oluşan muhtemel intermetallikler belirlenmeye çalışılmıştır. Mekanik olarak ise sertlik ve çekme testleri uygulanmış elde edilen sonuçlarla; kaynak bölgesinde, kaynak parametrelerinin sertlik üzerine etkileri ve metal çiftinin mekanik dayanımı tespit edilmeye çalışılmıştır. Basınç, sıcaklık ve zamanın artmasıyla elementlerin (Fe,Cr,Ni,Cu) paslanmaz çelik ve bakırın içindeki difüzyon mesafeleri artmıştır. Kaynak bölgelerinde birçok muhtemel ara faz tespit edilmiştir.

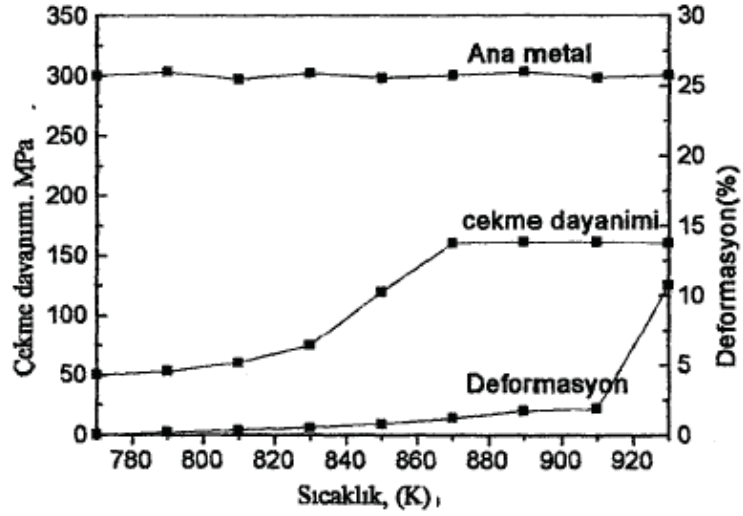
Çelik, 1996 Bu çalışmada, ergitme kaynağı yöntemleri ile birleştirilmeleri mümkün olmayan Al ve Cu'nun difüzyon kaynağıyla birleştirilebilmesi için kaynak parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Seçilen 550 °C ve 560 °C sıcaklıklar difüzyon kaynağı için uygun sonuçlar vermiştir. 120 dakika ve 550 °C sıcaklık difüzyon kaynağı için yeterli görülmüştür. 120 dakika, 560 °C'de Al deforme olmaktadır. 60 dakika, 550 °C 'de yapılan kaynağın mukavemeti yüksek değere erişmektedir. Ancak bu sıcaklıkta kaynak süresinin 120 dakikaya uzaması ile yumuşak metal olan Al'de deformasyon gözlemlenmiştir. Kaynak basıncı olarak seçilen değerler 4.5 MPa ve 6.6 MPa'dır. Basınç ve sıcaklık yönünden değerlendirildiğinde en yüksek kaynak dayanımına 560 °C'de 4.5 MPa'lık kaynak basıncı ile ulaşılmaktadır. Çekme deneyleri sonucunda kopma genellikle Al tarafında birleşme bölgesinden yaklaşık 1-2 mm mesafede olmuştur. Çekme numunelerinde herhangi bir uzama görülmemiştir. Gevrek kırılma formunda kopma görülmüştür. Özellikle Cu tarafına yakın bölgede ani sertlik artışı olmuştur. Al ve Cu sıcaklık artışıyla beraber çeşitli gevrek intermetallikler oluşmuştur.

Buytoz, 1999 Al matrisli 60 µm boyutunda Al₂O₃ ile takviyeli 10mm x10mm x 10mm ebatlarında kompozit malzemeleri difüzyon kaynağı ile birleştirilmiştir. Deney parametreleri olarak 1 MPa ve 2 MPa basınç, 550 °C ve 600 °C sıcaklık, 90 dakika süre seçilmiş ve numunelerin yüze pürüzlülükleri 0,05 µm ve 19 µm olarak ölçülmüştür. En iyi birleşmenin yüzey pürüzlülüğü 0.05 µm olan numunede 2 MPa'lık basınç, 600 °C sıcaklık ve 90 dakikada meydana geldiği belirlenmiştir.

Özdemir, 2003 Tane boyutu küçük TiAl alaşımı ve iki fazlı bir iç yapıya sahip Ti64 alaşımı değişik sıcaklık, basınç ve süre kullanarak difüzyon kaynağı ile birleştirmişlerdir. Tüm kaynaklar üzerinde yapılan optik mikroskop incelemelerinde; TiAl ve Ti64 farklı iç yapılar sebebiyle kaynak bölgesinde belirgin bir birleşme çizgisi olduğu fakat yapılan elektron mikroskobu incelemelerinde 825 °C ve 5 MPa basınç altında 15 dakikalık sürede az miktarda kaynaklanmamış bölge görülmüştür. 30 ve 45 dakikalık süre ile yapılan kaynakların düşük kesme dayanımı göstermesinin nedeni kırılğan α2 fazının kalınlığının artması sonucu olumsuz etkilenmiştir. Belirli bir sıcaklık

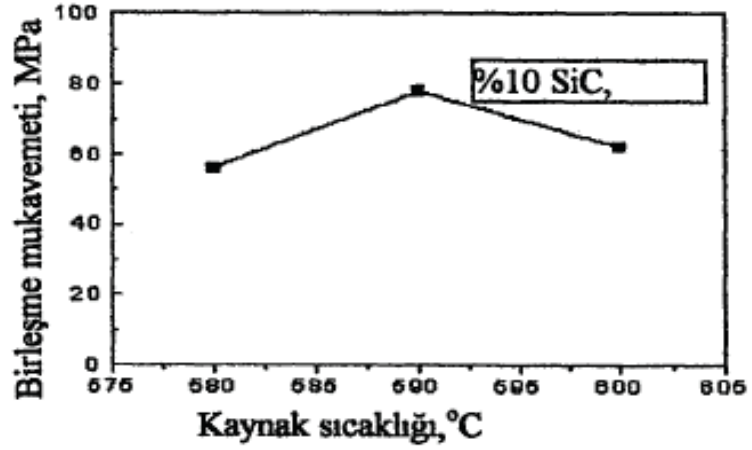
ve basınç altında difüzyon kaynağı süresi arttıkça Ti64 alaşımında aşırı miktarda sürünme olduğu tespit edilmiştir. Yapılan kesme testi sonuçlarına göre 825 °C/5 MPa ve 850 °C/5MPa kaynak parametreleri sabit tutulduğunda, kaynak süresinin artması kesme dayanımını düşürmektedir.

Liming vd., 2001 Difüzyon kaynağında kaynak sıcaklığının, matrisin sıvı faz sıcaklığına ulaşması durumunda, kaynaklı birleşimin dayanımının daha fazla artmadığını, aksine deformasyonun arttığını tespit etmişlerdir Şekil 2.1.'de difüzyon kaynak sıcaklığının sıvı faz sıcaklığının üzerindeki dayanım değişimi görülmektedir.



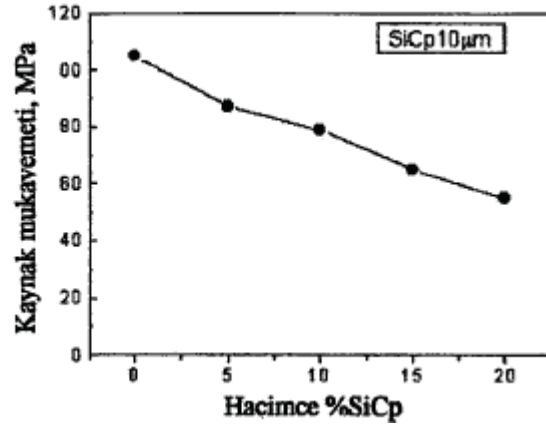
Şekil 2-1. Kaynaklı Birleşimde, Çekme Dayanımı ve Deformasyona Sıcaklığın Etkisi

Zhang vd., 1999 SiCp takviyeli Al alaşımının difüzyon kaynağı ile birleştirilmesinde sıcaklık 590 °C'ye ulaşmaya kadar birleşimin dayanımının arttığını, bu sıcaklıktan sonra kaynaklı birleştirmenin dayanımında azalma görüldüğünü belirtmişlerdir. Şekil 2.2.'de bu azalma görülmektedir.



Şekil 2-2.Kaynaklı Birleşimde, Kaynak Sıcaklığının Birleşme Mukavemetine Etkisi

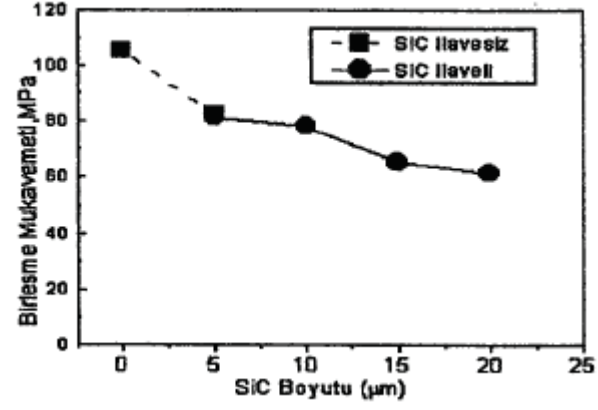
Ayrıca yaptıkları çalışmada kaynaklı birleştirmenin dayanımının SiC parçacık takviye hacminin artmasıyla azaldığını tespit etmişler ve bu da Şekil 2.3'te görülmektedir.



Şekil 2-3.SiC Parçacık Takviye Oranı ile Kaynak Mukavemetinin Değişimi

Urena vd., 1996 Yaptıkları çalışmada 2014 Al alaşımı içerisinde %13 SiCp takviye elemanı katarak döküm yöntemi ile MMK malzeme üretmişleridir. Bu malzemeye, 3 µm kalınlığında Al-Si aratabaka levha kullanarak 480- 520 °C'de 1×10^{-3} Pa vakumda, 3 MPa ve 6 MPa basınç altında 60-120 dakika sürelerde difüzyon kaynak işlemi yapmışlardır. Ayrıca saf gümüş ara tabaka kullanarak iyi bir birleştirme elde etmişlerdir. Bu kaynaklı birleştirmelerin kesme dayanımları Al-Li aratabakalı birleştirmede 50 MPa ve gümüş ara tabaka kullanılarak elde edilen birleştirmenin kesme dayanımı 36 MPa olarak ölçmüşlerdir.

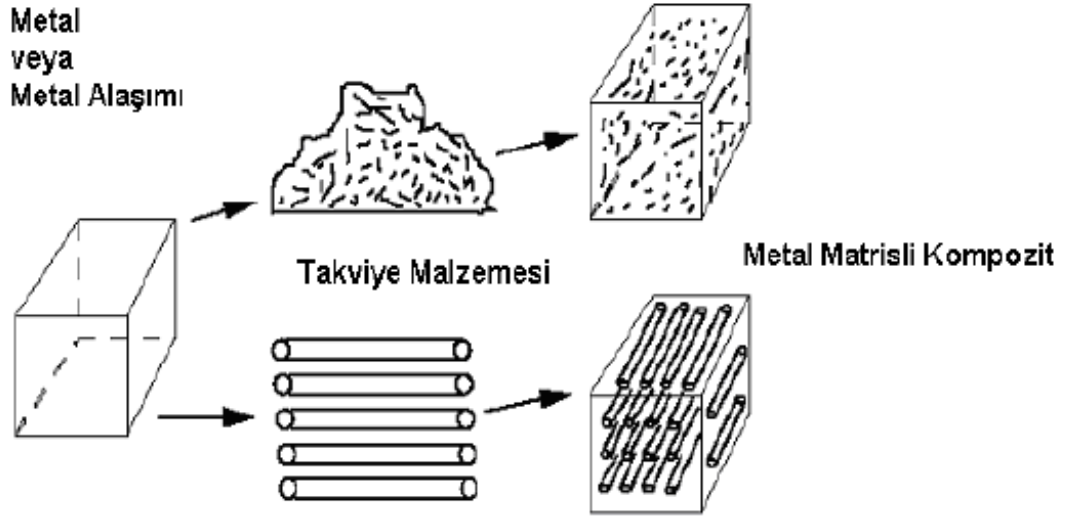
Dunkerton, 1982 Yaptığı çalışmada SiC parçacık boyutlarının artmasıyla dayanımdaki değişimi incelemiştir. Bu çalışma neticesinde, SiC boyutlarının artmasıyla dayanımdaki azalma Şekil 2.4.'de görülmektedir.



Şekil 2-4.SiC Parçacık Boyutlarının Birleşme Mukavemetine Etkisi .

3. METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER

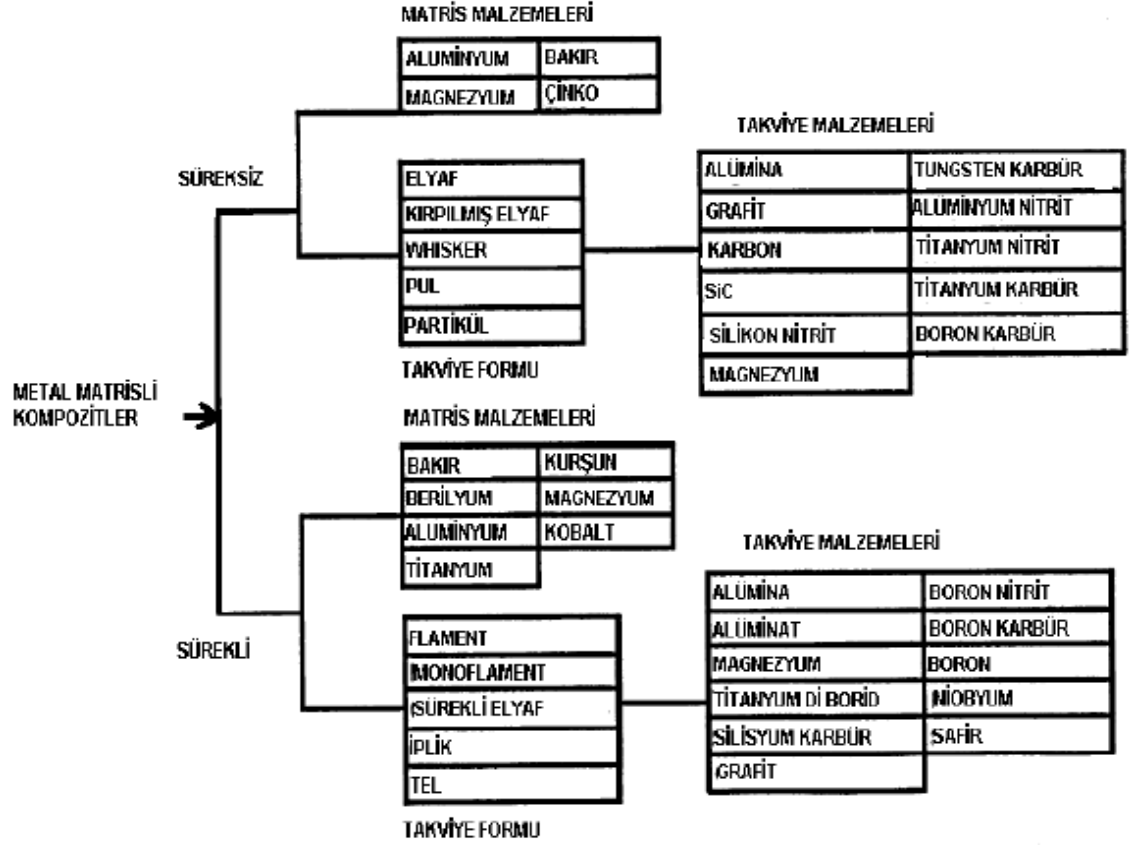
Metal Matrisli Kompozitler pek çok şekilde sınıflandırılabilmelerine rağmen genel olarak süreksiz takviyeli ve sürekli takviyeli olarak sınıflandırılırlar. (Şekil 3.1.) Takviye boy/çap oranı esas alınarak yapılan sınıflandırmada boy/çap oranına sahip olan takviyelere sürekli (uzun elyaflar, filamentler, vb.) , küçük boy/çap oranına sahip takviyeler süreksiz (kıvrılmış elyaflar, parçacıklar, Wiskerlar, vb.) olarak adlandırılır. Bu sınıflandırma detaylı olarak Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3-1.MMK’ların Takviyenin Geometrik Yapısına Göre Sınıflandırılması (NADİBO 1993).

Sürekli faz takviyeli MMK’ların özellikleri takviye olarak kullanılan elyafların yönüne ve dağılımına bağlı olmakta, dağılımın yönlendirilmesiyle isteğe bağlı malzeme üretimi mümkün olmaktadır (DOD,1999).

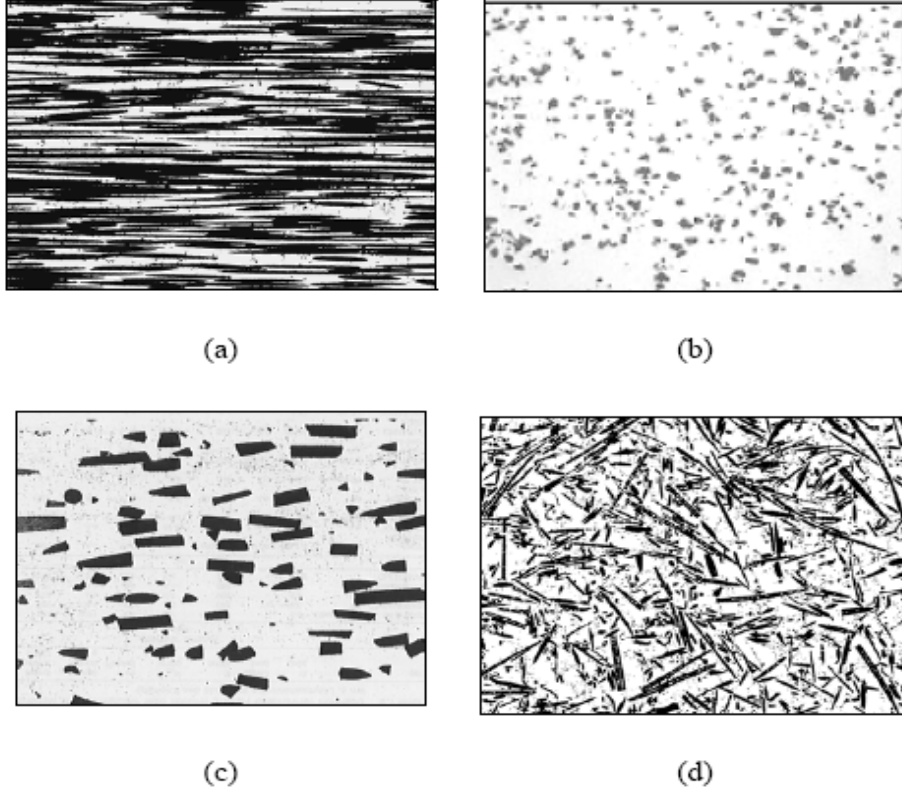
Sürekli faz takviyeli MMK’ların fiziksel ve mekanik özelliklerinin süreksiz takviyeli MMK’lara göre daha çok daha iyi olduğu bilinmektedir. Ancak, takviyenin matris içindeki yüzdesi, kompozit malzemenin mekanik özelliklerinden üretim maliyetine kadar, hemen hemen tüm özelliklerini oldukça yüksek oranda değiştirmekte ve genelde özellik iyileştirilmesi ve maliyet artışı, boy/çap oranının artışı ile doğru orantılı olmaktadır. Şekil 3.3’te Metal Matrisli Kompozit Malzemeler’de takviye çeşitlerinden örnek gösterilmiştir



Şekil 3-2.MMK'ların Matris Malzemelerine Göre Sınıflandırılması (NADİBO,1993).

Süreksiz faz takviyeli MMK'lar için takviye malzemeleri rekabetçi maliyetlerle elde edilmekte ve metal işleme metotlarına benzer standartlar veya uygulanabilir standartlar bulunabilmektedir. Bu nedenle süreksiz faz takviyeli MMK'lar sürekli faz takviyeli MMK'lara oranla daha fazla tercih edilmektedirler.

Süreksiz faz takviyeli MMK'larda takviye malzemeleri matris içinde genellikle homojen olarak dağılmakta, üretim uygulamalarında ekstrem yükleme veya termal şartlar gerektirmemekte, takviyesiz metallerle karşılaştırıldığında dayanım ve rijitlik özelliklerini önemli ölçüde arttığı ve izotropik özellikler sergilemekte olduğu görülmektedir. Özellikle parçacık takviyeli MMK'lar whisker takviyeli veya uzun elyaf takviyeli MMK'lardan nispeten daha düşük dayanım özellikleri sağlanmasına rağmen monolatik malzemelere göre daha iyi ve geliştirilebilir özellikler sergilenmesi ve daha düşük maliyetlerle kolay üretilebilir olması sebebiyle tercih edilirler (RAWAL,2001)



Şekil 3-3.MMK malzemelerde takviye örnekleri (a) Sürekli elyaf takviye, (b) Parçacık takviye, (c) Whisker takviye, (d) Süreksiz elyaf takviye (NICOARA, 1999).

MMK'larda matris ve takviye çeşitliğinin çokluğu, çok geniş bir yelpazede malzeme kombinasyonu tasarlanmasına ve belirlenen özelliklerin eldesi için malzeme seçimine imkan verir. Örneğin, seramik elyaf ile takviye edilen alüminyumun dayanım ve rijitlik özellikleri, ağırlığını pek fazla değiştirmeden %300 artırılabilir, alüminyum metal 350 °C sıcaklıkta dayanımının büyük bir kısmını kaybettiği halde, takviyeli alüminyum oda sıcaklığındaki dayanımının % 90'ını yüksek sıcaklıklarda korumaya devam etmektedir.

Başka bir örnek verilecek olursa, uçaklarda kullanılan elektronik cihazların ambalajları veya montaj edildiği parçaların, düşük termal genleşme katsayısına, düşük termal iletkenliğe ve düşük yoğunluğa aynı anda sahip olması istenmekte, fakat oldukça pahalı ve toksik özelliklere sahip olan berilyum haricinde hiçbir metal bu üç özelliği aynı anda sağlayamamaktadır, bu durumda, MMK'lar uygulanabilir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Oldukça yüksek modüllere sahip (ultra- high modulus graphite) grafit ile kombine edilerek üretilen alüminyum bu istenen üç özelliği aynı anda sağlayarak ihtiyaca cevap vermektedir. Düşük özgül ağırlıklı ve yüksek yapısal

özellikler gösteren uygulamalara olan taleplerin artmasından dolayı MMK'lar arasında en dinamik gelişmeyi gösteren kompozit türü alüminyum matrisli kompozit malzemeler (AMK) olmuşlardır. AMK'larda saf alüminyum ya da alüminyum alaşımları matris fazı olarak kullanılabilir. $AlSiC$, $AlSiMg$, $AlMn$, $AlFe$, $AlMnFe$, $AlNi$ ve $AlZn$ en fazla kullanılan Alüminyum alaşımlarıdır. Takviye fazı olarak da elyaf, parçacık vb. formlarda seramik malzemeler kullanılmaktadır. En çok kullanılan seramik takviye türleri Al_2O_3 , SiC , AlN ve B_4C ' dür. Ekolojik ve ekonomik gereksinimlerden dolayı düşük ağırlık istenen ve yüksek gerilmelere maruz konstrüksiyon ve parçalarda bu malzeme çiftleri çözüm olarak gösterilmektedir (NADIBO, 1993). Alüminyum esaslı kompozit malzemelerin en önemli avantajları aşağıda verilmiştir.

- Düşük özgül ağırlık
- Döküm ve deformasyon işlemlere uygunluk
- Nispeten düşük işlem maliyeti
- Yüksek korozyon direnci
- Nispeten kolay sağlanabilen ısı ve elektrik iletkenliği gibi fonksiyonel özellikler

3.1. Parçacık Takviyeli MMK Malzemeler

Parçacık takviyeli MMK malzemeler mikron boyutlarındaki küçük parçacıkların, metalik bir matris içerisinde dağılımları ile elde edilen ve yüksek oranda izotropik özellikler gösteren kompozit malzemelerdir. Metalik malzemelerin sertliklerini, aşınma direncini, yüksek sıcaklıklardaki mekanik özelliklerini geliştirmek için değişik türde oksit, karbür veya nitrür parçacıklarından faydalanılır. Bu fazlar metalik matris içerisinde dağılır. Tungsten karbür, titanyum karbür, krom karbür, bor karbür ve silisyum karbür gibi karbürlerin tipik özellikleri, yüksek sertlik ve aşınma dirençleridir. Parçacık boyutları, hacim oranları, parçacıklar arası mesafe, matris içerisindeki dağılım homojenliği, çözünürlükleri ve ısı iletkenlikleri kompozit malzemelerin özelliklerini belirleyen esas faktörlerdir.

Bu üstünlüklerin yanında değiştirilebilir mikro yapı, üstün mekanik özellikler ve düşük yoğunluk değerleri vermeleri bakımından daha da önem kazanmışlardır. Kompozit oluşturulması esasında katılan partiküllerin boyutları ve hacim oranları arasındaki fark, mekanik özellikleri de farklı etkilemektedir. Dağılımla setleştirilmiş alaşımlarda ikinci fazın etkisi dislokasyon hareketlerini engellemesi şeklindedir. Hacimce %3-5 arasında ve angstrom boyuttaki partiküllerin gerilme taşıma özellikleri yoktur. Diğer taraftan daha yüksek parçacıklardan oluşan kompozitlerde parçacıklar, gerilme taşıyan ve yüksek sertlikleri nedeniyle aşınmaya karşı direnci doğrudan arttıran elemanı oluştururlar. Parçacık boyutlarının büyük olması nedeniyle dislokasyon hareketleri üzerindeki etkisi azdır. Kompozit malzemelerde karbürler (SiC,B₄C), nitrürler (Si₃N₄,AlN), oksitler (Al₂O₃,SiO₂) ve elementel malzemeler (C,Si) takviye elemanları olarak kullanılırlar. Bu tür takviye elemanlarından SiC, alüminyum ve magnezyum alaşımlarının tümünde takviye elemanı olarak kullanılmaktadır.

Aşırı olmayan yükleme veya termal uygulamalarda, parçacık takviyeli MMK, takviye edilmemiş alaşımlara göre daha iyi izotropik özellikler ile, tokluk, süneklik ve mukavemet özellikleri verirler. Pratikte en çok kullanılan partiküller Al₂O₃ ve SiC'den oluşan seramiklerdir(Lindross vd., 1995, Sur, 2002). Bunları en çok uygulama alanları olarak otomotiv sektörü verilebilir (Gül 1998). SiC ve Al₂O₃ takviyeli alüminyum kompozitler otomotive havacılık endüstrisinde malzeme aşınma özelliklerinin çok önemli olduğu pistonlar, silindirler, fren kampanaları ve benzeri uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır(Akbulut, 1994). Teknolojik uygulamalardan otomotiv ve havacılık endüstrisinde çalışma ve yakıt masrafını düşürmek için malzeme ağırlığını düşürmesi ve bu yolla mukavemet/yoğunluk oranlarının artırılması önemlidir. Bu oran mühendislik malzemelerinin elastik modül, mukavemet, korozyon, termal kararlılık, sürünme, aşınma ve yorulma özellikleri de önemlidir.

MMK malzemelerin uygulama alanları motor parçaları ile sınırlı kalmamış NASA ve Amerikan Hava Kuvvetleri bu amaçla birçok çalışma yapmıştır. MMK malzeme matrisi, takviye elemanı, üretim teknikleri ve uygulama alanları Çizelge 3.1.'de görülmektedir (McLean vd.,1997, Gül vd., 1997).

Çizelge 3.1.MMK Malzeme Matrisi, Takviye Elemanı, Üretim Teknikleri ve Uygulama Alanları.

Fiberler	Matris	Üretim Metodu	Uygulama Alanı
SiC kaplı Bor	Al	Toz Metalurjisi	Türbin kanatları
C	Mg veya alaşımları, Cu	Sıvı İnfiltrasyon	Türbin fan kanatları, basınç kazanları, zırh malzemesi
SiC	Be, W, Mo, Fe, Co, Ni, Cr, Si, Cu, Mg, Zi, Ti, A	Sıvı İnfiltrasyon, Sıcak Presleme	Havacılık, nükleer endüstrisi, kompresör bıçakları, hava araçlarının yüzeyleri
Karbür kaplı C	Ni alaşımları	Sıvı İnfiltrasyon	Havacılık endüstrisi,
SiCw	Al	Toz Metalurjisi	Aşındırıcılar
Al ₂ O ₃ ,SiC Al Oksinitrit	Al-Cu alaşımları	Sıvı Matris İçersine Karıştırma	Uzay yapıları, motor parçaları, havacılık endüstrisi
Al ₂ O ₃	Al-Li alaşımları	İnfiltrasyon ve Reaksiyon Yöntemi	Uzay yapıları, motor bileşenleri
Al ₂ O ₃ -SiO ₂	Al,Al-Zn	Sıvı İnfiltrasyon, Toz Metalurjisi	Havacılık sanayii

Matris metali, birleştirici özellikte olup, takviyeyi bir arada tutmak ve takviye edilmek suretiyle ulaşılan iyileştirilmiş özellikleri, belirtilmiş bir yönde veya üniform olarak dağıtma görevi görmektedir. Kompozit malzeme üretimi için matris malzemesi seçilirken, öncelikle takviyenin sürekli veya süreksiz olma durumu göz önünde bulundurulmaktadır. Sürekli takviye kullanılan uygulamalarda yükün büyük bir kısmının matris tarafından takviyeye transferi söz konusu olduğundan, sürekli takviyenin dayanımı, üretilecek olan kompozit malzemenin dayanımında belirleyici rol oynamaktadır. Elyaf takviyeli kompozit malzemelerde kullanılan elyaflar genellikle yüksek dayanım ve yüksek elastiklik modülüne sahip, fakat oldukça gevrekler. Bu sebeple kullanılan matris malzemesi elyafları bir arada tutarak kuvvetleri elyafa iletme görevi yaparken aynı zamanda elyafı çevresel etkilerden, darbelerden korumalı ve çatlakları durdurmalıdır. Bu durumda matris malzemesi seçiminde, matris malzemesinin mukavemetinden çok, tokluk ve süneklik özellikleri göz önünde bulundurulmaktadır. Süreksiz takviyeli kompozit malzemelerde ise, matris malzemesinin dayanımı, kompozit malzemenin dayanımını belirlemekte olduğundan, gerekli olan kompozit dayanımını sağlamak için matris malzemesinin dayanım değerleri göz önünde

bulundurularak seçim yapılmaktadır. Matris malzemesi seçimi yapılırken, kompozit performansının düşmesine neden olan, takviye/matris ara yüzey reaksiyonları da göz önünde bulundurulmaktadır. MMK uygulamalarında pek çok farklı metal ve metal alaşımları matris malzemesi olarak kullanılmaktadır (Çizelge 3.2.). Kullanılan matris malzemesinin ergime sıcaklıklarına göre de sınıflandırılabilen MMK'lar, yüksek sıcaklık ve düşük sıcaklık kompozitleri olarak sınıflandırılabilirler. Mo, Nb ve W matris alaşımları refrakter olarak adlandırılmakta ve yüksek sıcaklıklara dayanım gerektiren uygulamalarda tercih edilmekte, Fe, Ni ve Cu gibi metaller, daha kolay ergidiklerinden nispeten daha düşük sıcaklık gerektiren uygulamalarda, Al ve Mg alaşımları ise düşük sıcaklık kompozitlerinde tercih edilmektedirler.

Çizelge 3.2. Matris/takviye kombinasyonları (NADIBO,1993)

MATRİS	TAKVİYE MALZEMESİ														
	Alümina	Alümina/Silika	Boron	Grafit	Molibden	Niobyum	SiC	Si3C4	Çelik	Titanyum	TiB2	TiC	Tungsten	Yttrium	Zr
Alüminyum	•	•	•	•			•	•				•		•	•
Berilidler		•				•	•	•		•	•	•		•	•
Bakır				•			•				•		•		
Demir									•						
Demir Alüminat						•	•			•	•			•	•
Kurşun	•									•					
Magnezyum	•			•				•							
Nikel Alüminat		•				•	•	•		•	•	•		•	•
Süper Alaşımlar					•	•			•				•		
Titanyum				•			•			•	•	•			
Titanyum Alüminatlar		•				•	•	•		•	•	•		•	•

Alüminyum alaşımlarının büyük bir çoğunluğu MMK üretiminde kullanılmaktadır. Alüminyum alaşımlarının özgül ağırlıkları saf alüminyuma oldukça yakındır. Özgül dayanım değerleri açısından diğer metallere oranla çok daha iyi

durumda olan Alüminyum ve alaşımları, iyi biçimlendirilebilme özelliğinin yanında, yüksek korozyon dayanımına, elektrik ve ısı iletkenliğine sahiptir.

Saf alüminyumun özgül ağırlığı yaklaşık 2698 kg/m^3 , ergime sıcaklığı (660°C) dir. Saf alüminyumun çekme dayanımı çok yüksek olmamasına rağmen, ısıtılma işlemi, soğuk deformasyon veya alaşımlandırma ile mukavemet değerlerinde oldukça fazla artış sağlanabilmektedir. Buna ilaveten, talaşlı işlenebilme ve haddelenebilme, alüminyumun en önemli özelliklerindendir.

Yüksek saflıktaki alüminyumun düşük akıcılığı, katılaşma ve katılaşmadan hemen sonra çatlamaya neden olan sıcak yırtılma eğilimi nedeniyle, bu malzemeden döküm yolu ile sağlam parça elde etmek oldukça güçtür. Bu nedenlerle alüminyum farklı amaçlarla değişik elementlerle alaşımlandırılmaktadır.

Alaşımlandırma işlemi, alüminyumun yüksek uzama kabiliyeti ve korozyona dayanım özelliklerini değiştirmeden, düşük olan akma sınırını yükseltmek amacı ile yapılmaktadır. Mukavemet özelliği kazandıran elementler; Mg, Si, Mn, Cu, ve Zn dir. Kübik yüzey merkezli alüminyum kristal kafesi bu elementlerden çok küçük oranlarda bünyesine alarak, karışık kristali oluşturur. Yabancı atomlar kristal kafes içersinde kaymaya karşı direnci arttırarak malzemenin akma mukavemetini yükseltirler. Bu elementlerin oranlarının daha yüksek olması durumunda alüminyum atomlarından ve alaşım elementlerinden çözünmeyen kısımlardan sert, gevrek metaller arası bileşikler oluşur. Bu oluşum alaşımın mukavemetini daha da yükselterek deformasyon kabiliyetini düşürür.

Alüminyum birçok element ile alaşımlanabilmekte ancak bu elementlerden sadece Cu, Zn, Mg ve Si yüksek çözünürlüğe sahip olup çökelme sertleşmesinde önemli rol oynamaktadır. Çözünürlüğü %1' den düşük olan ancak toparlanma ve yeniden kristalleşmeyi kontrol ederek tane yapısında önemli iyileşme sağlayan Fe, Zr, Mn ve Cr gibi geçiş elementleri intermetalik bileşik oluşturmak amacı ile kullanılmaktadır. (Beljajev, 1974)

Alüminyum alaşımları genelde biçimlenebilir ve döküm alüminyum alaşımları olarak sınıflandırılmaktadırlar. “Biçimlenebilir” terimi, alüminyum alaşımının haddelenmiş sac, plaka veya folyo, değişik şekillerde ekstrüzyon ürünü, tüpler, dövülmüş tel yada çubuk halinde, mekanik işlemde geçmiş yarı mamüller olarak piyasadan temin edilebilirliğini ifade etmektedir. Biçimlenebilir alüminyum alaşımı kompozisyonlarından bir çoğu toz ya da yeniden ergitmeye müsait külçeler halinde piyasadan temin edilebileceği için toz metalurjisi yada döküm yöntemleri kullanılarak parçacık takviyeli kompozit üretimine uygundur. Biçimlenebilir ve döküm alüminyum alaşımları, (Çizelge 3.3). ısıtıl işlem uygulanabilir ve uygulanamaz olarak da sınıflandırılmaktadır

Çizelge 3.3.Biçimlenebilir ve Dökme Alüminyum Alaşımlar.

ALAŞIMLARIN		
BİÇİMLENEBİLİR	DÖKÜM	İÇERDİĞİ ALAŞIM
1XXX ^(*)	1XX ^(*)	----
2XXX ^(**)	2XX ^(**)	Cu
3XXX ^(*)	----	Mn
	3XX ^(****)	Si+Mg; Si+Cu;
4XXX ^(***)	4XX ^(*)	Si
5XXX ^(*)	5XX ^(*)	Mg
6XXX ^(**)	----	Mg+Si
7XXX ^(**)	7XX ^(**)	Zn
8XXX ^(**)	----	Diğer
	8XX ^(**)	Sn

(*) Yaşlandırma serleştirmesi uygulanamaz

(**) Yaşlandırma serleştirmesi uygulanabilir.

(***) Magnezyum varsa yaşlandırma serleştirmesi uygulanabilir.

(****) Bazılarına yaşlandırma serleştirmesi uygulanabilir.

Takviye malzemesi olarak, değişik kimyasal kompozisyonlarda ve yapıda, seramikten grafitte veya karbondan metale, pek çok malzeme çeşidi kullanılmaktadır. Takviye malzemeleri, L/D (çap /boy) oranı yaklaşık 1 olan parçacıklar, yaklaşık 50 olan kırılmış elyaf veya whiskerler ve 100 den büyük olan sürekli elyaflar olarak başlıca üç gruba ayrılmaktadır. Sürekli elyaflar takviye yönündeki dayanımı arttırmakta, takviyeye dik yönde ise daha düşük dayanım değerleri elde edilmektedir. Süreksiz takviyeli elyaflarla üretilmiş MMK’lar ise daha izotropik davranış göstermektedirler. Yapısal

MMK'larda takviyenin rolü, tipine bağı olmakta, parçacık veya whisker'larla güçlendirilmiş kompozitlerde matris malzemesi yük taşıyıcı bileşen olmaktadır. Takviye olarak seçilen malzemeler iyi özelliklerinin yanında olumsuz özellikleri de olan malzemelerdir. Sahip oldukları yüksek dayanım ve elastiklik modüllerine karşın, oldukça kırılğan bir yapıya sahip olan seramikler örnek olarak verilebilir. MMK'larda matris malzemesi bu gibi olumsuz özellikleri azaltarak seçilen malzeme kombinasyonundan optimum özelliklerin elde edilmesini sağlar.

Parçacık takviyeli kompozit malzemelerin diğr takviye şekillerine göre en önemli avantajları ;

- Üretimin hacmi büyüdükçe maliyet önemli olduğundan, sürekli veya kırpılmış elyafa göre daha ucuz maliyetlerle elde edilebilirler
- Döküm ve toz metalurjisi gibi üretim teknikleri ve bunu takiben haddeme, dövme ve ekstrüzyon gibi ikincil işlemler uygulanabilir
- Takviye edilmemiş metalden daha yüksek kullanım sıcaklığına sahiptirler
- Daha yüksek mukavemet ve modül
- Artan ısı kararlılık
- Elyaf takviyeli kompozitlere göre daha izotropik özellikler

Çizelge 3.4. Takviye Elemanları ve Bazı Önemli Özellikleri

Partikül Türü	Mukavemet (MPa)	Elastik Modül (GPa)	Yoğunluk (gr/cm ³)
Al ₂ O ₃	221	379	3.98
AlN	2069	310	3.26
B ₄ C	2579	448	2.52
MgO	4100	417	3.58
SiC	3100	324	3,2
Si ₃ N ₄	4100	250	3,18
ThO ₂	193	200	9,86
TiC	55	269	4,93
ZrC	90	359	6,73
ZrO ₂	83	122	5,89

3.2. MMK Malzemelerde Matris – Takviye Elemanı Arayüzeyi

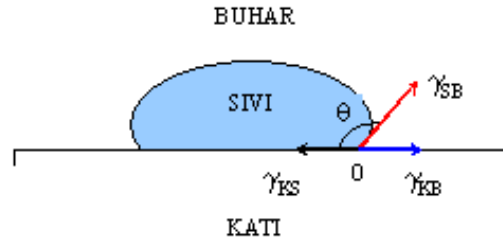
Arayüzey, iki faz arasında sınır teşkil eden bir veya daha fazla malzeme parametresinde süreksizliklerin meydana geldiği iki boyutlu bölgeler olarak tanımlanabilir.

Bu kontrolü sağlayabilmek için ise seçilen kompozit sisteminde mümkün olan bağ tipi veya bağ tiplerinden hangilerinin gerçekleştiğini anlamak gereklidir. Ara yüzeyde oluşabilecek bağ tipleri genel olarak iki gruba ayrılabilir:

- a) Mekanik bağ
- b) Kimyasal bağ

Islatılabilirlik, bir sıvının katı bir yüzey üzerinde yayılabilme kabiliyeti olarak tanımlanabilir. Şekil 3.4'te gösterildiği gibi ıslatılabilirlik, sıvı damlanın katı yüzey ile yaptığı θ temas açısı ile ifade edilebilir.

İki yüzey arasında mekanik kilitlenme ile oluşan mekanik bağın, kompozit malzeme özelliklerini önemli derecede iyileştirdiği belirtilmektedir. Bu tür bağlanma, kimyasal veya fiziksel yöntemlerle takviye yüzeyinde işlem yaparak yüzeyin pürüzlendirilmesi esasına dayanmaktadır. Takviye yüzeyinde matris fazının çekirdeklenmesi, takviyenin matris ile çevrelenip sarılmasına sebebiyet verir. Bu tür bağlanmada basma yükleri altında iyi sonuçlar alınırken, diğer yükleme durumlarında mekanik bağın yanında kimyasal bağın da oluşması kompozit malzemenin dayanım özelliklerini arttırdığı, mekanik bağın kontrollü kimyasal reaksiyonlarla oluşan bağlarla desteklenmesi durumunda çok daha iyi özelliklerin ortaya çıktığı belirtilmiştir (Vaucher vd., 2000). Mekanik bağlanma, takviye- matris arayüzeyinde kimyasal etkileşiminin olmadığı veya kontrol edilemediği malzemelerde tercih edilmektedir.



Şekil 3-4.Sıvı Damlanın Islatma açısı

Denge durumunda kontak açısı Young-Dupre denklemi olarak bilinen aşağıdaki ifade ile belirlenebilir,

γ_{KB} : katı–buhar ara yüzeyindeki serbest enerji

γ_{KS} : katı –sıvı ara yüzeyindeki serbest enerji

γ_{SB} : sıvı –buhar ara yüzeyindeki serbest enerji olmak üzere,

$$\gamma_{KB} = \gamma_{KS} + \gamma_{SB} \cos \theta \quad (3.1)$$

Her serbest enerji, birim alan başına düşen enerji veya yüzey gerilimi olarak tanımlanabilir. Bir sıvı tanesi katı bir yüzey ile temas ettiğinde, sistemin serbest enerjisinin düşmesi ile sıvı katı üzerine yayılmaya başlar ayrıca sıvı ve katı yüzeyler arasında

$$W_a = \gamma_{SB} + \gamma_{KB} - \gamma_{KS} \quad (3.2)$$

şeklinde tanımlanan adhezyon kuvvetleri oluşur. (3.1) ve (3.2) denklemleri yardımıyla

$$W_a = \gamma_{SB}(1 + \cos\theta) \quad (3.3)$$

elde edilir. Böylelikle katı ve sıvı arasındaki adhezyon bağ kuvveti, temas açısı ve sıvının yüzey gerilimi ile açıklanabilir.

$\theta = 0$, ıslatılabilirlik özelliği mükemmel

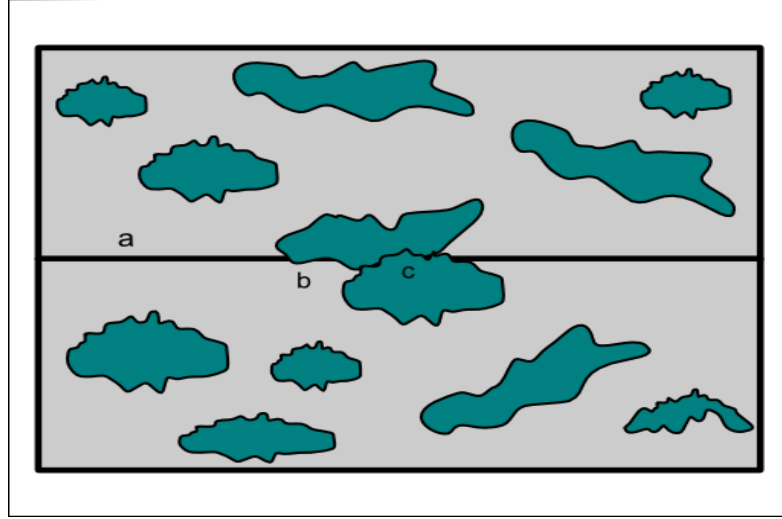
$\theta = 180$, ıslatılabilirlik özelliği yok

$0 < \theta < 180$, kısmi ıslatılabilirlik

θ temas açısının küçük olması ıslatılabilirlik özelliğinin iyi olduğu anlamına gelmektedir. Alüminyum çok yüksek oranda oksijen alma özelliğine sahip bir metal olduğundan dolayı, (dört saatte 400 °C’de 50 µm. kalınlığında bir oksit tabakası oluşabilir) özellikle, takviye malzemesinin eriyik halindeki matris içine üstten ilave edilmesi yönteminde, yüzeyde oluşan oksit tabakası, takviye malzemesine karşı direnç oluşturmaktadır. Sıvı metalin takviye malzemesini ıslatma kabiliyetini arttırmak amacıyla birçok yöntem kullanılmaktadır. Matris alaşımına değişik alaşım elementlerinin ilave edilmesi, seramik takviye malzemesinin kaplanması, seramik takviye malzemesine ısıtma işlem uygulanması, mekanik kuvvet uygulayarak ıslatılabilirliğin artırılması en çok kullanılan yöntemlerdir.

Kompozit malzemelerin difüzyon kaynağı esnasında matris ile takviye elemanı arasında üç farklı arayüzey oluşur. Bunlar matris/matris, matris/parçacık ve parçacık/parçacık şeklindedir (Lee vd.,1999). Şekil 3.5’te kompozit malzemelerin difüzyon kaynağı esnasında oluşan üç farklı ara yüzey oluşumu görülmektedir. Burada matris/matris arayüzeyinde her iki yüzey de yumuşaktır. Uygulanan basınç, yükseltilecek sıcaklık ve yüzey işlemlerine bağlı olarak matris malzeme birbirine akacaktır. Bu akış, uygulanan basınç, sıcaklık, zaman ve malzemenin sürünme özelliklerine bağlı olarak değişecek ve yüzde deformasyon oranı olarak kendini gösterecektir. (Şekil 3.5a.) Matris/parçacık birleşme arayüzeyinde sert parçacıklar ve bitişğinde yumuşak matrise sahip bir bölge vardır. Yüzey işlemleri ve uygulanan basınç ile yumuşak matris sert parçacığın yüzey geometrisine uymak için hareket edecektir. Bu hareket daha yumuşak malzemelerde daha düşük sıcaklıklarda ve sürünme oranlarında düşük gerilme

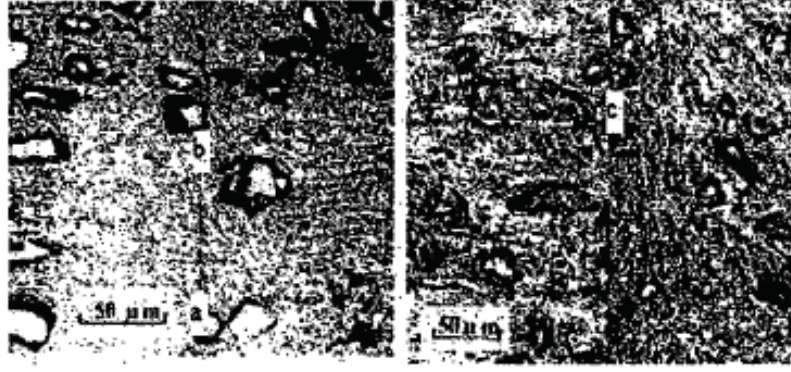
seviyelerinde gerçekleşebilir. Yumuşak matrisin akışı parçacıkların ortalama boyutuna ve içyapıya bağlıdır. Daha küçük parçacık boyutunun daha kolay hareket ve homojenlik sağladığı belirtilmektedir. (Şekil 3.5b.) (Lee vd.,1999)



Şekil 3-5. Difüzyon Kaynağında Arayüzeyler a) Matris / Matris b) Matris / Parçacık

Parçacık/parçacık arayüzeyinde ise birleşme arayüzeyinin her iki tarafında sert takviye parçacıkları mevcuttur. Arayüzeyin gömülmesi uygulanan gerilimin şiddet ve tipine bağlıdır. Parçaların kırılması veya ovalanması, uygulanan kırılma gerilimi altındaki yüzeyin kalitesine bağlıdır. Uygulanan gerilimin büyük olması, sert parçacıkların kırılıp parçalanmasına neden olur. Diğer bir yandan uygulanan yük altında, parçalanmış sert parçacıklar, yumuşak olan matristeki mevcut boşlukları dolduracaktır (Şekil 3.5c.) (Lee vd, 1999)

Difüzyonla birleştirme işleminde uygulanan sıkıştırma gerilimi esnasında, malzemenin birleşen iki ara yüzeyi arasında çok az genişleme veya yüzeyde değişim görülecektir. Birçok durumda arayüzey, birleşme arayüzeyinde matris/matris veya matris/parçacık olarak oluşacaktır. Şekil 3.6.'da 2024 Al/%10SiCp MMK malzemenin difüzyon kaynağıyla birleştirilmiş ara yüzeyi görülmektedir. (Ellis, 1996)



Şekil 3-6.Difüzyon kaynağı ile birleştirilmiş 2024Al-%10SiCp MMK Birleşme Arayüzey Mikroyapısı a) Matris/Matris b)Matris/Parçacık ve c)Parçacık/Parçacık

3.3. MMK Malzemelerin Üretim Yöntemleri

MMK üretim yöntemlerinin seçiminde, üretilecek mamul veya yarı mamulün önceden belirlenen mekanik ve fiziksel özellikleri göz önünde bulundurulmaktadır. MMK üretiminde alışlagelmiş üretim yöntemlerinin uygulanmasında karşılaşılan zorluklar, bu yöntemlerin ya modifiye edilmesini yada üretilecek kompozit malzeme türü için yeni üretim metotlarının geliştirilmesini gerektirmiştir. MMK üretiminde yöntem seçimi yapılırken istenen mekanik ve fiziksel özellikler belirlenmekte ve öncelikle aşağıda verilen parametreler dikkate alınarak yöntem tayin edilmektedir (Kaczmar vd. 2000).

- Çalışma sıcaklığı aralıkları (yüksek sıcaklıklar, düşük sıcaklıklar)
- Takviye malzemesi formu (sürekli form, süreksiz form)
- Matris malzemesiyle takviye malzemesinin uyumu
- Malzemelerinin ek işlem ihtiyacı (takviye ön işlemleri, alaşımlandırma, vb.)
- Matris malzemesiyle takviye malzemesi arasında oluşulabilecek reaksiyonlar
- Elde edilecek üründen istenen boyut tamlığı
- Maliyet

Ayrıca, takviye dayanımının korunması, oluşabilecek takviye hasarının en aza indirgenmesi, takviye ve matris ara yüzey bağının tam olarak sağlanması ve takviyenin

matris içindeki dağılımının homojen olması da üretim yönteminin seçiminde belirleyici rol oynamaktadır.

Aşağıda MMK Malzemelerin Üretim Yöntemleri sıralanmıştır.

1. Katı Faz Üretim Yöntemleri

- a) Toz Metalurjisi
- b) Difüzyon Bağı Oluşturma Tekniği

2. Sıvı Faz Üretim Yöntemleri

- a). Sıvı Metal Emdirme Tekniği
- b). Sıkıştırma Döküm Tekniği
- c). Sıvı Metal Karıştırma Tekniği

3- Diğer Üretim Yöntemleri

- a) Rheocasting ve Compocasting Döküm Tekniği
- b) Vidalı Ekstrüzyon
- c) Plazma Püskürtme Tekniği
- d) In- Situ Tekniği
- e) XD Tekniği

3.4. Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemelerin Birleştirme Yöntemleri

Metal matrisli kompozitler arasında, birçok uygulama alanı bulması ve çok geniş bir yelpazede değerlendirilebilme özelliklerinden dolayı matris malzemesi olarak en çok alüminyum kullanılmaktadır. Alüminyum esaslı kompozitlerin birleştirme yöntemleri konusunda birçok araştırma vardır ve bu yöntemler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bu yöntemleri 3 farklı grupta incelemek mümkündür.

- Ergitme ile birleştirme yöntemleri,
- Katı hal birleştirme yöntemleri
- Diğer birleştirme yöntemleri

Bu yöntemler aşağıda sırası ile açıklanmıştır.

3.4.1. Ergitme Yöntemleri

Bu yöntem özellikle partikül takviyeli kompozit malzemeler için kullanılmakta olup diğer türler için uygulaması oldukça sınırlıdır. Partikül takviyeli metal matrisli kompozitlere uygulanabilir olmasına rağmen uygulamada karşılaşılan sorunlar mevcuttur bu sorunlar;

- Ergime noktasının çok üstünde yapılan işlemlerde ergiğin yüksek viskozitesi
- Ergiğin katılma sürecinde segregasyonların meydana gelmesi
- Matris ve takviye malzemesi arasında kontrolsüz istenmeyen reaksiyonların meydana gelmesi
- Kontrolsüz gaz oluşumu

Ergimiş metalin yüksek viskozite eğilimi birleşme bölgesinde takviye ile matrisin iyi karışamamasına neden olduğundan bu tür uygulamalarda zengin Si takviye veya matris malzemesi kullanımı tercih edilmektedir (Ellis, 1994).

SiC takviyeli Al-MMK'lerde ergitme yöntemleri ile yapılan birleştirmelerde ergiyik seramik takviyeyi ergiğin dışına atar yada katılma sırasında öteleyerek segregasyon bölgelerinin meydana gelmesine sebep olur. Bu sorunun giderilmesi için de ergiğin yüzey gerilimini düşürecek ıslatma kabiliyetini geliştirecek elementler katılır. Mg bu elementlerden biridir.

Al-MMK'lerin birleştirilmesinde kullanılan ergitme kaynak prosesleri:

- Gaz Tungsten Ark Kaynağı ve Gaz Metal Ark Kaynağı
- Lazer Işın Kaynağı
- Elektron Işın Kaynağı
- Kapasitör Yük Boşaltma Kaynağı

3.4.2. Katı Hal Yöntemleri

Al-MMK'lerin birleştirilmesinde, takviyenin matristen farklı yoğunluğa sahip olması sebebiyle segregasyon bölgelerinin meydana gelmesi partiküllerle matris

arasında istenmeyen kimyasal reaksiyonların ve istenmeyen Al_2O_3 'ün meydana gelmesi (özellikle SiC takviyeli Al alaşımlarında) karşılaşılan bir problemdir. Ya da takviye malzemesinin sünekliğinin çok düşmesinin (matris malzemesine nazaran) kaynak bölgesinin çatlama ihtimalini artırması genel sorun olarak görülebilir. Al-MMK'lerin birleştirilmesinde en çok geliştirilme çalışmaları bu yöntemler üzerine olmaktadır.

Al-MMK'lerin birleştirilmesinde kullanılan katı hal kaynak prosesleri

- Difüzyon Kaynağı
- Sürtünme Kaynağı
- Sürtünme Karıştırma Kaynağı

3.4.3. Diğer Yöntemler

- Likit Faz Transferi Kaynağı
- Sert Lehimleme
- Lehimleme
- Yapıştırma Kaynağı

4. DİFÜZYON KAYNAĞI

Uluslararası Kaynak Enstitüsü (IIW) tarafından kabul edilen tanıma göre difüzyon kaynağı, birleştirilecek parçaların arayüzey tabakalarında difüzyonu sağlayacak kadar yüksek sıcaklıklarda, aradaki boşlukların plastik deformasyonla kaplanması ile atomik seviyede bağların oluştuğu bir katı hal kaynağıdır.

BS 499'a göre ise difüzyon kaynağı, birleştirmek üzere eşleşmiş iki yüzeyin, malzemelerde tespit edilebilir plastik akmaya yol açmayan bir basınçta, katı hal difüzyon yoluyla malzemeler arasında metalurjik bir bağ oluşuncaya kadar, malzeme özelliklerini önemli ölçüde etkilemeyecek bir süre tutulmasıyla uygulanan bir kaynak yöntemidir. Difüzyon kaynağı basınç ve ek ısı ile çalışan diğer kaynak yöntemlerinden uzun kaynak süresi, çok düşük deformasyon derecesi ve düşük kaynak sıcaklığı ile ayrılır.

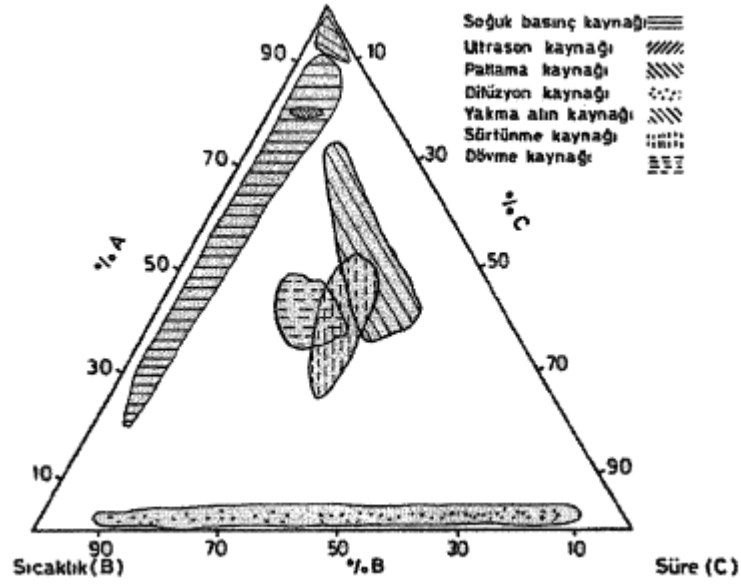
Günümüze kadar birçok kaynak yöntemi bulunmuş ve her bir kaynak yöntemi farklı ihtiyaçları karşılamıştır. Bu kaynak yöntemleri ise uygulama farklılıklarına göre ergitme kaynakları, lehimleme ve katı-hal kaynak yöntemleri olarak sınıflandırılmaktadır (Çizelge 4.1.)(Spanswick, 1989,Kurt, 1996,Zhang vd.,1999).

Çizelge 4.1.Kaynak Yöntemleri

Ergitme Kaynak Yöntemleri	Lehimleme	Katı Hal Kaynak Yöntemleri
Elektrik Ark Kaynağı	Sert Lehimleme	Sıcak Basınç Kaynağı
Direnç Kaynağı	Yumuşak Lehimleme	Soğuk Basınç Kaynağı
MİG,MAG Kaynağı		Sürtünme Kaynağı
TİG Kaynağı		Ultrasonik Kaynağı
Tozaltı Kaynağı		Difüzyon Kaynağı
Elektroslag Kaynağı		Patlatma Kaynağı
Plazma Kaynağı		
Lazer Kaynağı		
Elektron Işın Kaynağı		

MMK malzemelerin metalürjik yapısı yüzünden, ark kaynağı gibi bilinen ergitmeli kaynak teknikleri ile kaynağı zor veya yetersiz olmaktadır. Difüzyon kaynak yöntemi bu malzemelerin özelliklerini etkilemeden birleştirmek için uygulanan potansiyel bir kaynak işlemidir (Lee vd., 1999).

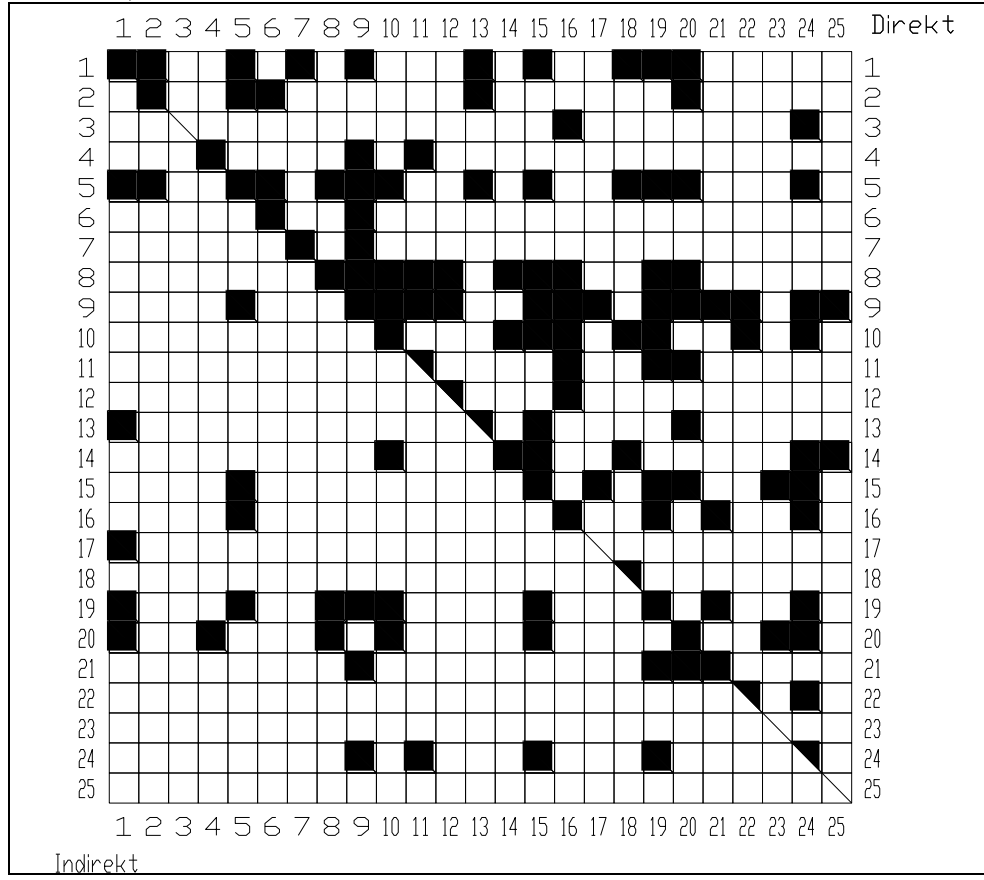
Difüzyon kaynağının diğer katı hal kaynak tekniklerinin arasındaki konumu Şekil 4.1.'de görülmektedir.



Şekil 4-1.Çeşitli Katı Hal Kaynak Tekniklerinin karşılaştırılması

Difüzyon kaynak yöntemi, metalik malzemelere uygulanmaya başlandığı 1940'lı yıllardan bu yana birçok değişik malzemeye uygulanmıştır. Kullanım şartlarına göre birçok aynı veya farklı malzeme türleri bu yöntem ile başarılı bir şekilde birleştirebilmişlerdir Difüzyon kaynağı özellikle uzay sanayi, uçak sanayi ve otomobil endüstrisinde kullanıldığından, gelişmeye açık ve yeni malzeme türlerinin kaynağına cevap verebilecek özelliktedir. Bu alanlarda kullanılmakta olan niobyum, berilyum, vanadyum, krom, nikel, ruthanium vb. birçok yeni teknolojik malzemelerin birleştirilmesinde yöntem ile uygulanabilmektedir Çizelge 4.2.'de çeşitli malzeme türleri ve birleştirilebilen malzeme çiftleri verilmiştir (Metals Handbook, 1983).

Çizelge 4.2.Difüzyon Kaynağı ile Kaynak Edilebilen Malzeme Grupları(Metals Handbook, Vol.6,1983)



1 Alüminyum ve Alaşımları	14 Tantal ve Alaşımları
2 Berilyum ve Alaşımları	15 Titanyum - Zirkonyum ve Alaşımları
3 Krom ve Alaşımları	16 Tungsten ve Alaşımları
4 Kobalt ve Alaşımları	17 Uranyum ve Alaşımları
5 Bakır ve Alaşımları	18 Vanadyum ve Alaşımları
6 Altın ve Alaşımları	19 Düşük C li Düşük Alaşımlı Çelikler
7 Magnezyum ve Alaşımları	20 Paslanmaz Çelik
8 Molibden ve Alaşımları	21 Dökme Demir
9 Nikel ve Alaşımları	22 Karbürler
10 Niyobyum ve Alaşımları	23 Grafit
11 Paladyum ve Alaşımları	24 Seramikler
12 Platin - İridyum Alaşımları	25 Cam
13 Gümüş ve Alaşımları	

Ayrıca Çizelge 4.3’de difüzyon kaynak yöntemi ile birleştirilebilen metalik malzeme çiftleri ve birleştirme işlem parametreleri verilmiştir (Anık, 1991).

Çizelge 4.3.Difüzyon Kaynağı Uygulanabilen Malzeme Çiftleri ve Kaynak Parametreleri .

Metal I	Metal II	Ara Metal	Sıcaklık (°C)	Basınç (N/mm²)	Zaman (Dak)
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	68-60	20
Molibden	Çelik	-	1200	4,9	10
Tungsten	Tungsten	Niobyum	925	68-90	20
Tantal	Tantal	Zirkonyum	870	-	-
Niobyum	Niobyum	Zirkonyum	870	-	-
Zirkonyum	Zirkonyum	Bakır	1040	20,6	30-120
Çelik	Alüminyum	Bakır	550	4,9	10
Berilyum	Berilyum	63-Ag-27	800	-	30
Bakır	Bakır	Cu-10	-	-	-
Çelik	Dökme demir	-	850-950	14,7	5-7
Çelik	Alüminyum	-	500	7,35	30

Yapılan çalışmalar neticesinde, birçok farklı malzemenin difüzyon kaynağı yapılabilirdiği tespit edilmiştir. Difüzyon kaynağı yapılmış bazı malzemeler ve önemli değerler Çizelge 4.4.’de verilmiştir.

Çizelge 4.4.Difüzyon Kaynağı Yapılmış Metal Malzemeler ve Bazı Kaynak Parametreleri

Malzeme	Sıcaklık (°C)	Süre (dak)	Basınç (Pa)	Yük (MPa)	Atmosfer	Kesme Dayanımı (MPa)
6061 Al	450	0-90	-	8,08	Hava	88-125
7075 Al	490-530	0-360	1×10^{-3}	1-5.7	Vakum	173-203
2017 Al	475-600	30-120	1×10^{-4}	2-5	Vakum	230-300

Alüminyum esaslı metal matrisli kompozitlerin (Al-MMK) birleştirilmesinde bütün birleştirme yöntemleri uygulanabilmektedir. Al alaşımlarının ergitme kaynağında, katılaşma çatlağı vb. hatalar gözlenmiştir. Bu hatalar matrisin kompozisyonuna bağlı problemlerdir. Her bir kaynak yönteminin avantaj ve dezavantajları vardır. Birleşmede bu yöntemlerin kaynak ve ana malzemenin mikro yapısına ve mekanik özelliklerine etkisi farklıdır.

Bununla birlikte MMK malzemelerin ergitmeli kaynak yöntemleri ile kaynaklanmasındaki zorluklardan bazıları aşağıda verilmiştir.

- 1) Takviye parçacıklar ergiyik içerisine ilave edildiğinde, ergiyikte akışkanlık zayıflar, bu da parçacıkların homojen dağılımını engeller. Sonuç olarak kaynağın bileşimi ve kalitesi düşer.
- 2) Yeniden katılaşmada segregasyonlar oluşur, kaynak bölgesinde homojen olmayan dağılım görülür.
- 3) Takviye elemanı ile matris ara yüzeyinde, özellikle Al-SiC MMK malzemelerde parçacıkların kırılması gibi problem oluşturan reaksiyonlar gerçekleşebilir. (Ellis, 1996)

Genel olarak metalik malzemelerde, benzer malzemelerin kaynaklanması benzer olmayan malzemelerin birleştirilmesinden daha kolay olmaktadır. Benzer olmayan malzemelerin dayanımları SiCp takviye elemanının artmasıyla daha da azalmaktadır. Mesela 2024 Al %10 SiCp malzemenin aynı malzemeyle kaynaklı birleştirilmesinin dayanımı 93 MPa iken, bu malzemenin 6061 Al %10 SiCp birleşiminin dayanımı 68 MPa olarak bulunmuştur. (Zhang vd., 1999)

Son yıllarda kompozit malzemelerin difüzyon kaynağı ile birleştirilmesi üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Çizelge 4.5.'de bu yapılmış çalışmalar ve bazı değerler verilmiştir.

Çizelge 4.5. Difüzyon kaynak yöntemi ile birleştirilmiş kompozit malzemelerin bazı değerleri.

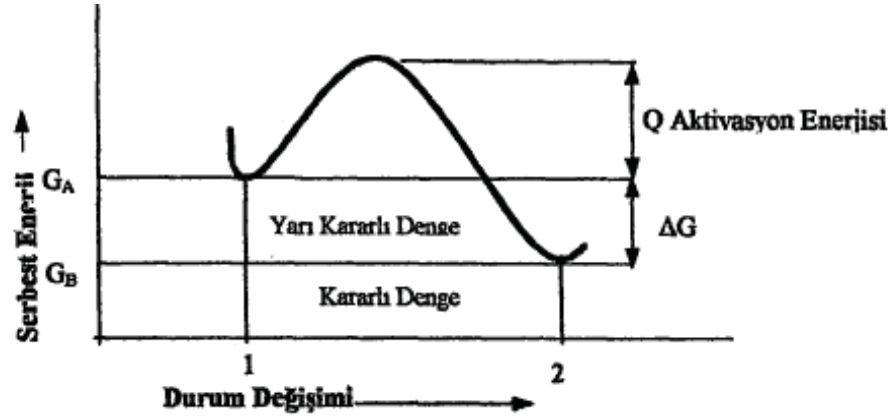
Malzeme	Sıcaklık (°C)	Süre (Dak)	Basınç (Pa)	Yük (MPa)	Atmosfer	Arayüzey	Kesme Dayanımı (MPa)
2024Al/ %12.5 SiC	480-520	60-120	1×10^{-3}	3-6	Vakum	Al- LiAg	50-38
6061Al/ Al ₂ O ₃	500-625	30-120	1.3×10^{-1}	5	Vakum	-	200-210
8090Al-Li/ %17SiC	-		-	-	-	-	100-190
6061T6Al/ Al ₂ O ₃	450	16	-	10	-	-	147
Al/ SiC (TM)	550-590	10	5×10^{-3}	-	Vakum	Al- Li- Mg,Ag	78-104
2024Al/ SiC	520-580	15-60	5×10^{-4}	0,08- 0,09	Vakum	Al- Li, AlCu,Ag	58-140
7075 Al	490-530	30-360	1×10^{-3}	1-5,7	Vakum	-	173-203

4.1. Difüzyon

Difüzyon atomik bir işlem olup, yüksek konsantrasyonlu bölgeden daha düşük konsantrasyonlu bölgeye atomların hareket etmesiyle oluşur ve kimyasal potansiyel her yerde aynı olana kadar difüzyon devam eder (Kurt, 1996). Difüzyon sıcaklık, basınç ve konsantrasyon farkı ile doğrudan ilgilidir. Sıcaklık yükseldikçe, atomların hareket kabiliyeti artar ve dolayısıyla da difüzyon için gerekli olan atomların yer değişimi hızı da artar (Buytoz, 1999).

Difüzyon olayları, metallerin ısıtılma işlemlerinde bir çok durumda görülür, hatta eğer ani soğutma işlemi istisna tutulursa, bütün ısıtılma işlemler difüzyon olayı ile meydana gelmektedir denilebilir (Topbaş, 1993). Kafes yapısı içerisinde her atom belirli bir yer işgal eder. Sıcaklığın artmasıyla atomların enerjileri artar ve kafesteki yerlerini değiştirebilir. Çok sayıdaki atom sıçramalarına karşılık, her hacim birimi için kütle

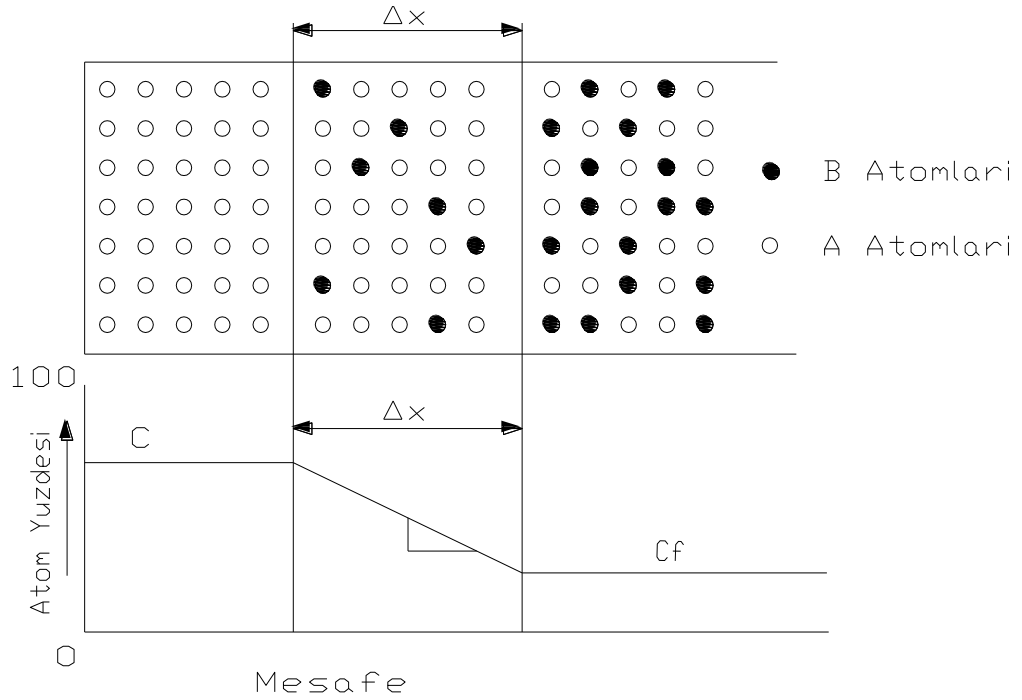
sabittir. Difüzyonun meydana gelme sebebi atomların sahip oldukları Gibbs serbest enerjilerini azaltma eğilimleridir. Difüzyon kararlı denge durumuna vardığında serbest enerji en alt seviyeye ulaşır. Şekil 4.2.'de bu kararlı durum 2. durum olarak görülmektedir (Tekin, 1987).



Şekil 4-2. Serbest Enerjinin Durum Değişimine Bağlılığı

Burada 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 ulaşabilir. Burada Q enerjisine aktivasyon enerjisi denir ve bu enerji; sıcaklığın artması, pekleşme oluşturacak şekil değişimi ve elektrik ve manyetik alanlar yardımı ile sağlanabilir (Tekin, 1987).

Atomların ve boş yerlerin yer değiştirmesine ısı aktivasyonu adı verilir. Toparlama, yeniden kristalleşme, sürünme ve difüzyon birer ısı aktivitesidir. (Güleç vd., 1993). Difüzyon katsayısı, herhangi bir alandan akan toplam kütlenin, bu kesite dik yöndeki mesafe ile yoğunluk değişimine oranı olarak tanımlanır. Şekil 4.3.'de konsantrasyon gradyanı şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4-3. Konsantrasyon Gradyantının Şematik Gösterimi.

En hızlı difüzyon gazlarda meydana gelir, sıvı ve katılarda ise bu olay daha yavaş meydana gelmektedir . Katılarda difüzyon atomların veya boşlukların titreşimleri ve etrafındaki boşluklara ya da kafes noktalarına sıçramaları ile meydana gelir. Normalde bir yer alan atomu komşu atomlar tarafından kuşatılmıştır ve atom bir başka kafes noktasına hareket edemez. Boş olması durumunda komşu boşluğa atlayabilir. Difüzyon kaynağında da ara yüzeydeki ilk bağlantılar atomlar arasındaki çekimle oluşur (Buytoz, 1999, Lancaster, 1987).

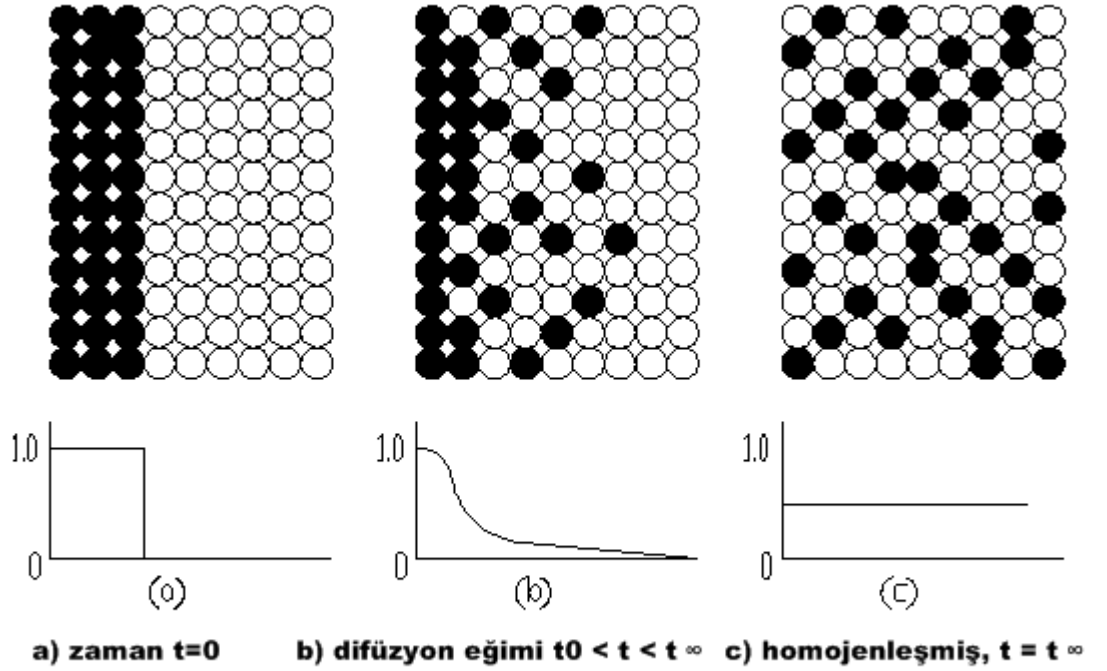
Malzemelere uygulanan pek çok işlem için atomların hareketleri gereklidir. Karbürleme, nitrürasyon, sementasyon, tavlama vb. işlemler difüzyon olayına örnek verilebilir. Metallerin ısıtılması işlemi, seramiklerin üretimi, malzemelerin katılaşması, transistör üretimi, güç pilleri vb. bir çok işlemde difüzyona ihtiyaç vardır (Erdoğan, 1998).

4.1.1. Kendi Kendine Difüzyon

Malzemeler katı halde ve saf iken, düzenli malzemelerde atomlar bulundukları kafes pozisyonundan diğer bir kafese hareket ederler. Bu harekete 'kendi kendine

difüzyon' denir. Bu işlem radyoaktif izler kullanılarak tespit edilebilir. Metalik nikelde difüzyonu düşünürsek; üç boyutlu kristal yapıdaki çevre atomunun her biri mevcut nikel içerisinde, mevcut boşluklara hareket etme olasılığı eşittir. Nikel'deki bir boşluğun komşu kafes noktasının içerisine hareketi de eşit orandadır.

Normal olarak saf nikel'de geliş güzel atomlarda veya benzer atomlarda atom hareketleri gözlenir. Bununla birlikte radyoaktif izotopların kullanımıyla atomların sahip oldukları yapıdaki atom difüzyonunu belirlemek mümkün olmaktadır. Mesela; radyoaktif nikel (nikel 59) normal nikel'in üzerine difüze olabilir. Bu durum Şekil 4.4.'de görülmektedir (Lawrence vd., 1989).



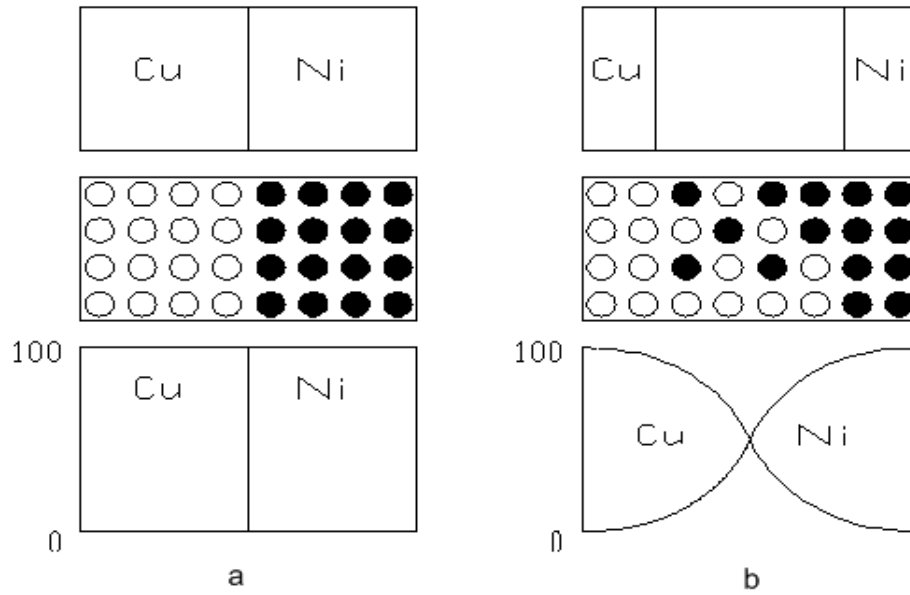
Şekil 4-4.Kendi Kendine Difüzyonun Şematik Görünümü. (Aydın, M., 2003).

4.1.2. Alaşımlarda Difüzyon

Metal alaşımlarında ve seramik malzemelerde farklı atomların birbirine difüzyonu gerçekleşmektedir. Alaşımlarda meydana gelen difüzyon bakır ve nikel çiftinde şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 4.5.a'da bakır-nikel difüzyon çifti yüksek sıcaklık uygulanmadan önceki durumu ve Şekil 4.5.b'de yine bakır-nikel çiftinin yüksek

sıcaklıklarda (her iki metalin ergime sıcaklığının altında) ısıtılıp, oda sıcaklığında soğutulduğunda Şekil 4.5.b’de görüldüğü gibi bir konsantrasyon durumu ortaya çıkar. Burada görüldüğü gibi bakır atomları nikel içerisinde nikel atomları da bakır içerisinde difüze olmuş olarak görülmektedir (Callistar, 2000).

Sıcaklığı arttığı zaman atomun kafes içerisinde küçük titreşimleri de artar. Elbette bu hem sıcaklığa hem de birleşme bölgesindeki atomların ne kadar sıkı ve yakın olduğuna bağlıdır.



Şekil 4-5. Cu-Ni konsantrasyonu a) Cu-Ni çifti sıcaklık uygulanmadan önce, b) Cu-Ni çifti sıcaklık uygulandıktan sonra

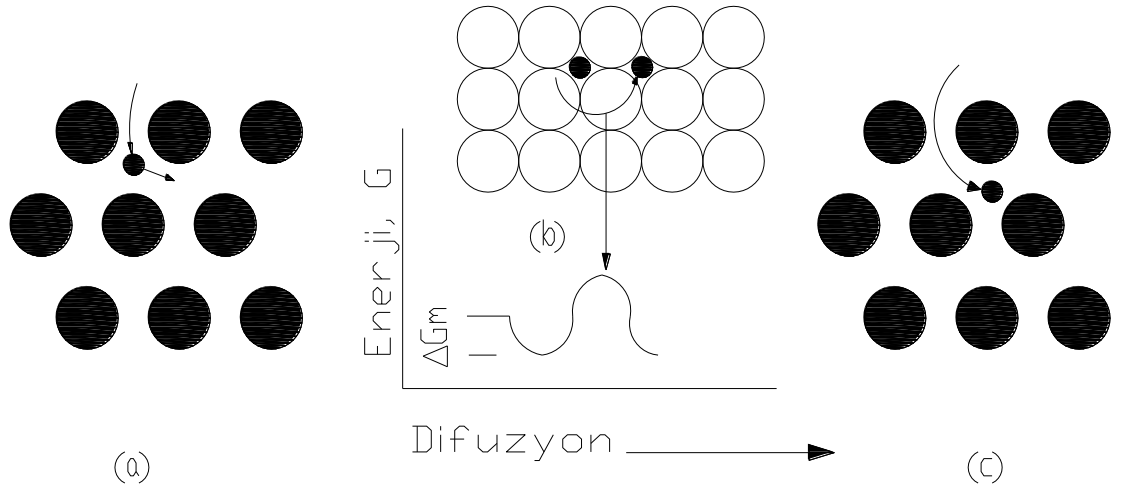
4.2. Difüzyon Mekanizmaları

Atomların hareketini ele alan pek çok mekanizma vardır. Genel olarak atomların iyonların ve diğer parçacıkların sıcaklığa bağlı olarak yer değiştirmeleri istatistiksel bir olay olup, bütün bunlar difüzyon olayıdır. Difüzyon olayı özellikle katı içerisinde kütle taşınmasını sağlayacak ölçekteki hareketleri ifade eder. Homojen malzemelerde, yer değiştirme olayları istatistiksel olarak düzensizdir ve bu olay esnasında kütle taşınım görülmez. Homojen olmayan malzemelerdeki difüzyon ise teknik açıdan daha önemlidir. Katı malzemelerde difüzyonu gerçekleştiren iki temel

mekanizma vardır. Bunlar yeralan ve arayer difüzyonu mekanizmalarıdır (Güleç vd., 1993, James, 1985).

4.2.1. Arayer Difüzyonu Mekanizması

Arayer difüzyonu mekanizmasında, kristal yapıda küçük bir arayer atomu varsa, atom bir arayerden diğerine hareket eder. Arayer atomların yoğunluğu genellikle düşüktür (Buytoz, 1999). Arayer difüzyonu mekanizmasında çözünen malzemenin atomlarının çapı (yaklaşık % 40), çözündüğü malzemenin atomların çapından küçükse, çözündüğü atomların arasındaki mevcut boşluklardan birine geçerek boşluğu doldurur. Şekil 4.6’da arayer difüzyonunun oluşumu şematik olarak görülmektedir.



Şekil 4-6. Arayer Difüzyonunun Oluşumu .

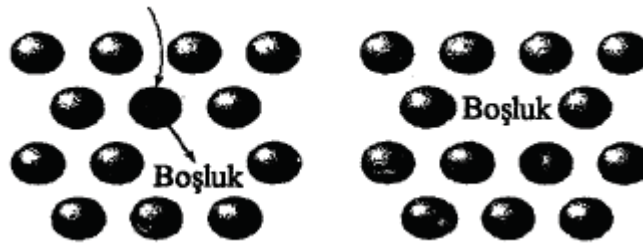
Arayer atomlarının denge pozisyonları en az potansiyel enerjiye sahip oldukları (a) pozisyonudur. Bir arayer atomunu komşu bir arayera hareket ettirmek için, komşu kafesin atomları arasından geçmeye zorlanması gerekir. Neticede (b) pozisyonunda olduğu gibi bir durum oluşur ve en yüksek enerji seviyesine ulaşır. Bu olayın gerçekleşmesi için verilen iş, sistemin serbest enerjisindeki değişimi oluşturur ve (c)’ de ki gibi ΔG_m kadar artırır. ΔG Gibbs Enerjisi olarak bilinir. Bir arayer atomu boşluklarla kuşatılmış olup, ısı enerjisinin deformasyon enerjisi engelini aşması ile başka bir arayera atlar (Buytoz, 1999). İşte arayer atomlarının kafes yapısı içerisindeki başka bir arayer noktasına göçü şeklinde oluşan difüzyona ‘arayer difüzyonu’ denilmektedir. Fe, Cr, Ni, Mn, W, Ti gibi geçiş elementleri B, C, H, N, gibi atom

yarıçapı küçük elementlerle arayer katı çözeltisi oluştururlar. Malzemelerde arayer noktaları, kübik kafesin köşeleri arasındaki mesafenin ortasıdır. Bunlar oktahedral noktalar olarak bilinir.

Arayer difüzyonu olma ihtimali aynı türden atomlar için yüksek sıcaklarda daha fazladır. Ancak çapları ana kafesin atomlarından küçük olan yabancı atomlar için (C, N, H vb.) büyük önem taşır. Önemli nokta; bu mekanizmanın ideal yanı tümüyle kusursuz kristallerde daha etkin olabilmesidir (Güleç vd., 1993).

4.2.2. Yeralan Difüzyon Mekanizması

Bu difüzyon mekanizmasında kafes içerisinde mevcut bir boşluğun olması gerekir. Bu yüzden yeralan difüzyonunun oluşması arayer difüzyonuna göre daha zordur. Arayer difüzyonunda yeterli enerjiye sahip olduğunda atom difüze olabilir. Yeralan difüzyonu mekanizmasında, boş yerler yardımı ile yer değiştirme çok küçük bir aktivasyon enerjisini gerektirir. Artan sıcaklıkla birlikte atomların titreşim ve boş yer yoğunluğu artar, dolayısıyla yayınma kolaylaşır (Güleç vd., 1993). Normal olarak bir yeralan atomunun hareketi bitişik komşu atomlar tarafından sınırlandırılmıştır ve atom başka kafes noktasına geçemez. Bununla birlikte komşu nokta boşsa Şekil 4.7.'de görüldüğü gibi (koyu) atom bu boşluğa atlayabilir. Atlamanın meydana gelebilmesi koyu renkli atomun komşu atomların arasından geçmesini sağlayacak yeterli titreşim enerjisini elde etme ihtimaline bağlıdır. Bir atomun katı içerisinde göç edebilme oranı boşluk konsantrasyonuna bağlıdır. Boşluğa sıçrama ihtimali ve boşluk konsantrasyonu sıcaklıkla yakından ilişkilidir (Kurt, 1996, Buytoz, 1999). Boşluğun yanındaki atomun yerinden ayrılabilmesi için aşması gereken aktivasyon enerjisi engelini yenecek temel enerjiye sahip olması şartıyla bir sıçrama yapabilir.

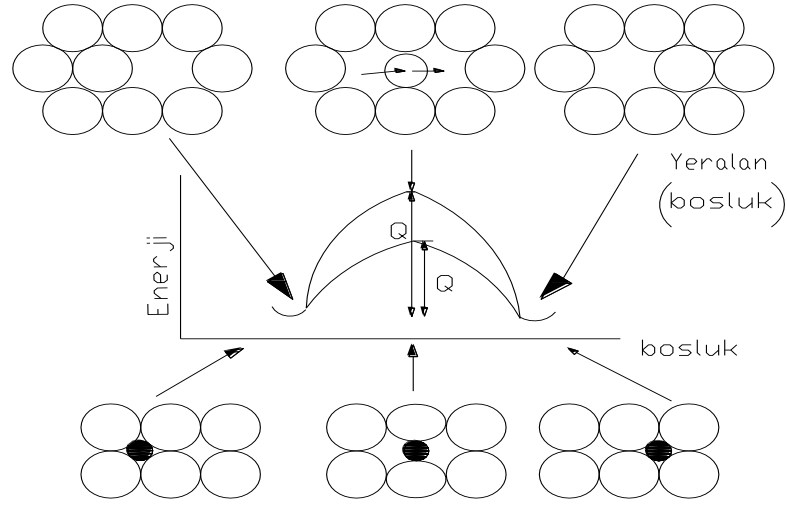


Şekil 4-7.YMK Kafes İçerisinde Atomun Boş Bir Konuma Hareketi

4.3. Aktivasyon Enerjisi

Difüze eden bir atom yeni yerine ulaşmak için komşu atomların sıkıştırıp geçmek zorundadır. Bunu gerçekleştirebilmesi için atomların yeni yerine geçmemesini sağlayacak enerjiye ihtiyaç vardır. Bu durum Şekil 4.8.'de yeralan ve arayer difüzyonu için şematik olarak gösterilmiştir. Burada atom, orijinal olarak nispeten kararlı konumunda ve düşük enerjili haldedir. Yeni bir noktaya hareket etmek için, enerji engelini aşmak zorundadır. Bu gerekli olan enerjiye 'aktivasyon enerjisi' denir ve 'Q' ile gösterilir. Bu enerji engeli sınırını aşması için atomun ısıtılması gerekir.

Normal olarak bir arayer atomunun, komşu atomları geçmek için sıkıştırması daha az enerji gerektirir. Bunun sonucu olarak da, arayer difüzyonu için gerekli olan aktivasyon enerjisi, yeralan difüzyonu için gerekli olandan daha azdır. Düşük bir aktivasyon enerjisi daha kolay bir difüzyon gerçekleşeceğini gösterir.



Şekil 4-8. Yeralan ve Arayer Difüzyonunda Aktivasyon Enerjisi Değişimi

4.4. Kararlı Hal Difüzyonu (I. Fick Kanunu)

I. Fick Kanunu ile sabit bir A kesitinden geçen, difüze eden malzeme miktarının belirlenmesi yapılabilir. I. Fick Kanunu olarak bilinen matematiksel ifade ile aşağıdaki gibi belirtilmiştir (James, 1985).

$$J_A = -D \frac{dc}{dx} \quad (4.1)$$

Eğer konsantrasyon gradyanı dc/dx sıfırdan farklı bir değerde ise, bir difüzyon hızı mevcuttur, $dc/dx = 0$ ise konsantrasyon değişimi yoktur. Burada dc/dx , konsantrasyon gradyanına x mesafesindeki difüzyon miktarıdır. J ; metal kütlenin (m) akışı, t zamanı içerisinde A yüzeyinden bu düzleme dik olarak difüzyon doğrultusunda yer değiştirme değeridir (Topbaş, 1993). D ; difüzyon katsayısı (m^2/s), ve dc/dx yoğunlaşma gradyanıdır (m^3/m)⁻¹. Difüzyon esnasında atomların akışını etkileyen çok faktör vardır.

Akış; malzeme içerisinde konsantrasyon homojen oluncaya kadar devam eder. Konsantrasyon gradyanı da, t birim zamanda bir nokta boyunca difüzyon alanındaki değişiktir. Konsantrasyon gradyanı, malzeme kompozisyonunun uzaklık ile nasıl değiştiğini gösterir. dc/dx mesafelerindeki konsantrasyondaki farktır.

4.5. Kararsız Hal Difüzyonu (II. Fick Kanunu)

Sabit konsantrasyon farkında kütle akışının tespitinin zor olması ve metallerde difüzyon olaylarının çözümünde I. Fick Kanunu'nun yetersiz kalması sebebiyle, difüzyon katsayısının deneysel tespitinde ve bir çok kullanımda II. Fick Kanunu'ndan yararlanılmaktadır. I. Fick Kanunu'nun II. Fick Kanunu'na dönüştürülmesi için, aralarında dx kadar mesafe buluna iki paralel yüzeyle sınırlandırılmış hacim elemanı kullanılır. Bu durumda konsantrasyon x ve t 'ye bağımlı kalacağından, bir çok pratik problemler için şu matematiksel ifade kullanılır;

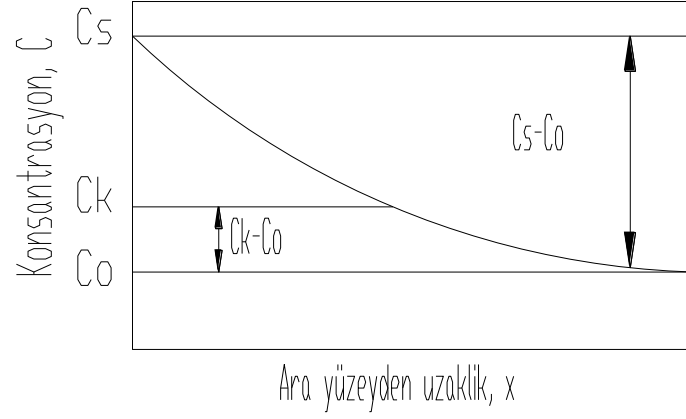
$$\frac{dc}{dt} = D \frac{d^2c}{dx^2} \quad (4.2)$$

Bu denklem çözümü bazı sınır değerlerine bağlıdır ve bu da;

$$\frac{C_s - C_x}{C_s - C_o} = \text{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \quad (4.3)$$

şeklinde ifade edilir. Burada; C_s : yüzeydeki konsantrasyon, C_x : yüzeyden veya ara kesitten x kadar mesafedeki bir noktanın yoğunluğu, C_o difüzyon çiftinden birinin ilk yoğunluğu, x : C_x 'in ölçüldüğü noktanın yüzeye olan uzaklığı, D : ortak difüzyon katsayısı, t : difüzyon süresi, erf: hata fonksiyonudur.

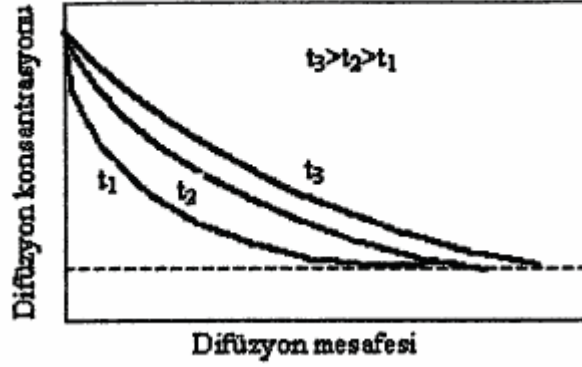
Bu eşitlikte verilen konsantrasyon parametreleri Şekil 4.9.'da konsantrasyon profili olarak görülmektedir. Burada konsantrasyon ve difüzyon mesafesi arasındaki ilişki görülmektedir.



Şekil 4-9. Kararsız Hal Difüzyonda Konsantrasyon Profili

Ayrıca difüzyon mesafesinin konsantrasyona bağlı olarak süreyle değişimi de Şekil 4.10.'da verilmiştir. Burada sıcaklığın artması ile birlikte birim alanda difüzyon miktarının arttığı görülmektedir (Callistar, 2000)

II. Fick Kanunu zaman ve sıcaklığa bağlı olarak malzeme yüzeyine difüze eden atomların konsantrasyonunu hesaplamayı sağlar. Burada difüzyon katsayısı D 'nin sabit ve yüzeyde difüze eden atomun konsantrasyonu C_s ve malzemede C_o değişmeden sabit kalmasıyla denklemin çözümü elde edilir. Bu kanunun uygulanması, D sabit kaldıkça, değişik şartlarda aynı konsantrasyon profilinin elde edilebilmesidir. Bu özellik, belirli bir ısıtma işleminin uygulanabilmesi için gerekli zamanda, sıcaklığın etkisini belirlemeyi sağlamaktadır (James, 1985).



Şekil 4-10. Kararsız Hal Difüzyonunda Farklı Sıcaklıklarda Oluşan Konsantrasyon Profili

4.6. Difüzyonu Etkileyen Faktörler

4.6.1. Sıcaklık

Sıcaklık difüzyonu etkileyen en önemli parametredir. Mesela α -Fe 'de Fe'in difüzyonu için 500 °C'den 900 °C'ye sıcaklık artırıldığında yaklaşık olarak difüzyon miktarı 10^6 kat artar (3×10^{-21} 'den $1.8 \times 10^{-15} m^2 / s$). Çizelge 4.1.'de bulunan değerlere bakıldığında sıcaklığın difüzyon üzerindeki etkisi görülmektedir (Erdoğan, 1998). Aşağıdaki formüle göre difüzyon miktarı ilişkilendirilirse;

$$D = D_0 \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right) \quad (4.4)$$

Burada;

D_0 : yayınan atomların titreşim frekansına bağlı olarak yayınma katsayısı (cm^2/s),

Q : aktivasyon enerjisi (J/mol, Kcal/mol),

R : gaz sabiti, (8,31 J/mol. K),

T : mutlak sıcaklık (K).

Bir malzemenin sıcaklığı artırıldığı zaman, difüzyon katsayısı ve atomların akısı (J) artar. Yüksek sıcaklıklarda atomların difüzyonu için sağlanan enerji, atomların aktivasyon enerjisi engelini aşmasını ve daha kolaylıkla yeni kafes yerlerine hareket etmesini sağlar. Düşük sıcaklıklarda, genellikle mutlak ergime sıcaklığının (T_m) yaklaşık 0.4 T_m katı altında difüzyon çok yavaştır ve etkili olmayabilir. Bu nedenle seramiklerin işlemi ve metallerin ısıtılması, yüksek sıcaklıklarda yapılmıştır. Bu

sıcaklıklarda, atomlar reaksiyonlarını tamamlamak veya denge şartlarına ulaşmak için daha hızlı hareket ederler (Kurt, 1996). Difüzyon sabitinin her 20 °C'lik sıcaklık artışı ile iki kat büyüdüğü düşünüldüğünde, sıcaklığın difüzyonda ne kadar etkili olduğu görülür.

4.6.2. Konsantrasyon

Konsantrasyon, malzeme kompozisyonunun mesafeye bağlı olarak nasıl değiştiğini gösterir (Erdoğan, 1998). Fakat genel olarak konsantrasyonun değişmesi ile difüzyon katsayısının değerinde değişimler olur. Konsantrasyonun etkisi arayer katı eriyiklerinde daha kolay incelenebilir. Çünkü bu durumda ergiten atomların yayınmasının tesiri ihmal edilebilir. Karbonun östenit içerisinde söz konusu sıcaklıkta eriyebilmesinin sınırı olan % 1.3 C'a kadar difüzyon katsayısında az bir değişme olduğu bilinmektedir. D'nin büyük ölçüde konsantrasyon alanı içerisinde olmak şartı ile D değerinin sabit kabul edilmesi yanlış olur (Çelik, 1996, Kurt, 1996). (Çizelge 4.6.)

Çizelge 4.6. Bazı Malzemelerde, Difüzyon Katsayısının Sıcaklıkla Değişimleri

Difüze Olan Element	Ana Metal	Do (m ² /s)	Aktivasyon Enerjisi Q (kJ/mol)	Hesaplanan T (°C)	Hesaplanan D (m ² /s)
Fe	α -Fe	2.8×10^{-4}	251	500	3×10^{-21}
Fe	α -Fe	2.8×10^{-4}	251	500	1.8×10^{-21}
Cu	Cu	7.8×10^{-5}	211	500	4.2×10^{-19}
Zn	Cu	2.4×10^{-5}	189	500	4×10^{-18}
Al	Al	2.3×10^{-4}	144	500	4.2×10^{-14}
Cu	Al	6.5×10^{-5}	136	500	4.1×10^{-14}
Mg	Al	1.2×10^{-4}	131	500	1.9×10^{-13}
Cu	Ni	2.7×10^{-5}	256	500	1.3×10^{-21}
C	α -Fe	6.2×10^{-7}	80	500	2.4×10^{-12}
C	α -Fe	6.2×10^{-7}	80	9000	1.7×10^{-10}

4.6.3. Kristal Yapısı

Kristal kafes yapısının sıcaklıkla değişiminin önemi nedeni ile kristal yapının değişiminin ergimiş demirde difüzyon derecesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yüksek sıcaklıklarda HMK yapıdan YMK yapıya allotropik bir dönüşüm ile kristal yapıdaki

karbon ergitebilirliğini değiştirmiştir. Belli bir sıcaklıkta demir atomlarının difüzyon hızı ferrit'te (HMK), östenit'ten (YMK) yaklaşık 10^2 , 10^3 fazladır (Oğuz, 1988).

4.6.4. Alaşım Elementleri

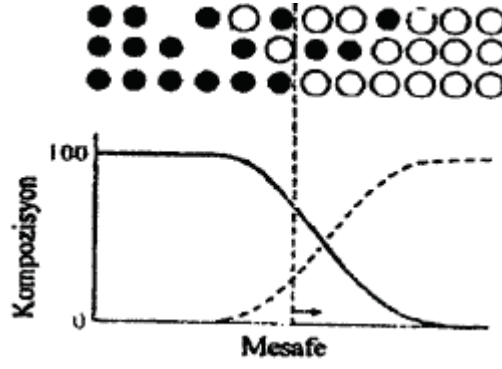
Metallerde alaşım elementleri yada impuriteler, difüzyon katsayısını çok fazla etkiler. Demir alaşımlarının ısııl işlemi, diğer metallere nazaran daha fazla alaşım elementlerinden etkilenmektedir. Demir atomlarının yer değiştirme kabiliyetine, alaşım elementlerinin etkisi oldukça önemlidir ve karbon çok kuvvetli etki yapar.

4.6.5. Tane Boyutu

Tane sınırı difüzyonu, tane içi difüzyonundan daha hızlı olduğundan küçük tane yapısına sahip malzemelerde, difüzyon hızının artması beklenir. Bununla birlikte, difüzyon hesaplamaları yapılırken tane boyutu hesaba katılmamaktadır.

4.7. Kimyasal Difüzyon (Kirkendall Etkisi)

İkili bir alaşımda konsantrasyon farkı olduğunda, temas eden yüzeyler arasındaki konsantrasyon farkından dolayı akış meydana gelmektedir. Eğer yüzeyler arasında iyi bir temas sağlarsa, difüzyon bölgesinde madde taşınımı meydana gelir. Difüze eden iki atom birbirleri ile pozisyonlarını değiştirmez, ancak bunun yerine boşlukları doldurarak hareket eder (Çelik, 1996, Kurt, 1996). Kirkendall bu olayı 1947 yılında bakır (A) ve pirinç (B) ifti için incelemiş ve bu ikiliyi yüksek sıcaklıklarda ısıtıttıktan sonra teller arasındaki mesafenin arttığını gözlemlemiştir. Bu olay Kirkendall olayı olarak bilinmektedir. Kirkendall olayının etkisi Al-Au çiftinde incelenirse, alüminyum atomlarının altına difüzyonunun, altın atomlarının alüminyuma difüzyonundan daha hızlı olduğu bulunur. Sonunda daha fazla atom, orijinal alüminyum ara yüzeyinden daha çok altın tarafında bulunacaktır (Şekil 4.11.). Farklı difüzyon hızlarından dolayı, difüzyon çifti ara yüzeyinin hareketi Kirkendall Etkisi olarak adlandırılır.



Şekil 4-11Kirkendall Etkisi'nin gösterimi.

Genel olarak bir difüzyon çiftinde, düşük ergime noktalı malzeme atomlarının yüksek bir difüzyiviteye (D) sahip oldukları tespit edilmiştir (Kurt, 1996). Belirli durumlarda Kirkendall etkisinin bir sonucu olarak ara yüzeyin hemen yakınlarında boşluklar oluşur (Erdoğan, 1998).

4.8. Difüzyon Kaynağı Çeşitleri

Difüzyon kaynağı çeşitleri, prensipleri ve metallerin birleştirilmesi hakkında birçok çalışma olmasına rağmen, gelişmiş teknolojik malzemelerin birleştirilmesi hakkındaki çalışmalar yetersizdir. Genel olarak kompozit malzemelerin difüzyon kaynağında iki çeşit birleştirme tekniğinden söz etmektedir (Ellis, 1996,Dunkerton, 1991). Dunkerton (Dunkerton, 1982), bunları katı faz difüzyon kaynağı ve sıvı faz difüzyon kaynağı olarak ikiye ayırmıştır. Bu teknikler ve mekanik işlemler şematik olarak Çizelge 4.7.'de verilmiştir.

Çizelge 4.7.Difüzyon Kaynağı Birleştirme Yöntemleri

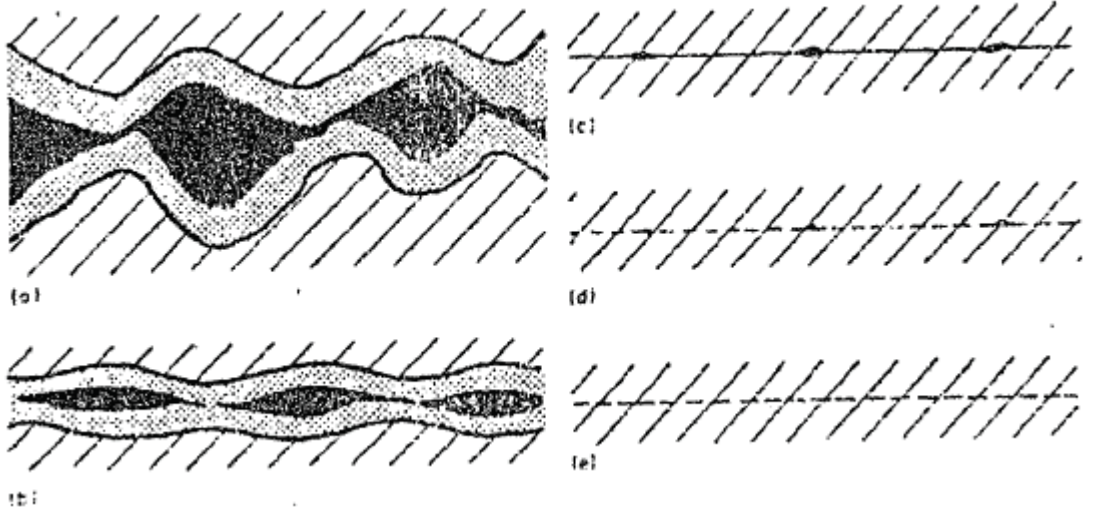
Difüzyon Kaynağı Birleştirme Yöntemleri							
Katı Faz Difüzyonu				Sıvı Faz Difüzyonu			
Ana malzeme, Ana ara yüzey	Ara yüzey, folyo		Ara yüzey, kaplama	Düşük ergime noktalı element veya alaşım	Difüzyonla elde edilen sıvı faz		
Haddeyle kaplama	Elektro kaplama	CVD	PVD	Ara yüzey folyo	Ara yüzey kaplama	Ara yüzey kaplama	Ara yüzey folyo

4.9. Difüzyon Kaynak Modeli

Katı hal kaynak tekniklerinden olan difüzyon kaynağı hakkında bir çok tanımlamalar yapılmıştır. Bu kaynak yönteminde en önemli parametre sıcaklık olup, kaynak işlem sıcaklığı olarak ana malzemenin ergime sıcaklığının altındaki bir sıcaklık değerinin seçilmiş olmasıdır. Diğer parametreler, bu sıcaklıkta tutma süresi, kaynakta uygulanacak düşük yük, kaynak yapılacak yüzeylerin pürüzlülüğü ve temizliğidir.

Katı halde birleştirmeyi sağlamak amacıyla birleştirilecek malzemelerin, birleşme temas yüzeyleri temizlenerek, yüzeyler arasında bir bağ oluşturacak kadar birbirine yaklaştırıp, temas ettirerek bu esnada basınç uygulamayı gerektirir (Spanswick, 1989). Burada temasın mikro boyutta sürekliliği gerekir (Morley vd., 1980).

Difüzyon kaynağı mekanizması ile ilgili günümüze kadar bir çok model sunulmuştur. Difüzyonla birleştirme ve basınç altında sinterlemenin bir kombinasyonu olduğu, diğer araştırmacılar tarafından da kabul görmüştür. Sonuç olarak difüzyonla birleştirme mekanizması yedi ana tipe ayrılmış olup, bunların üçü temel difüzyon mekanizması olarak kabul edilmiştir. (Spanswick, 1989, Lee vd., 1999). Bu mekanizmalar şematik olarak Şekil 4.12.'de görülmektedir



Şekil 4-12. Difüzyon kaynağı mekanizması ve difüzyon kaynağı esnasında oluşan kaynak ara yüzey değişiminin aşamaları (Kearns, 1980).

- a) İlk nokta teması ve oksit tabakasının kırılması,
- b) Birinci aşama; plastik deformasyon ve sürünme sonrası, daha ince bir oksit tabakası ve boşluklar,
- c) İkinci aşama; pürüz sınırlarının gözeneklere doğru yayılması ve pürüz sınırının yer değiştirmesi,
- d) Üçüncü aşama; yüzey ve hacim difüzyonu ile atomların gözeneklere yayılması,
- e) Tamamlanmış kaynak olarak görülmektedir.

Genel olarak özetlenirse;

- 1) Aynı özelliğe sahip malzemeler katı hal kaynak yöntemi ile kaynaklanabilirler. Bu durumda kaynak için sıcaklık, süre, basınç ve temiz bir yüzeye ihtiyaç vardır.
- 2) Aynı özelliğe sahip malzemeler, bir ilave ara yüzey tabaka kullanılarak birleştirilebilirler. Ara tabaka hızlı difüzyonu destekler veya mikro deformasyon ile yüzeyler arasında komple temasın sağlanmasına yardımcı olur.
- 3) İki farklı metal difüzyon kontrollü bir birleştirme ile mükemmel bir birleştirme meydana getirilebilir.
- 4) İki farklı metal, üçüncü bir farklı ara yüzey levha kullanılarak kaynaklanabilir. Ara yüzey levha difüzyonu hızlandırıcı etki olarak kullanılır

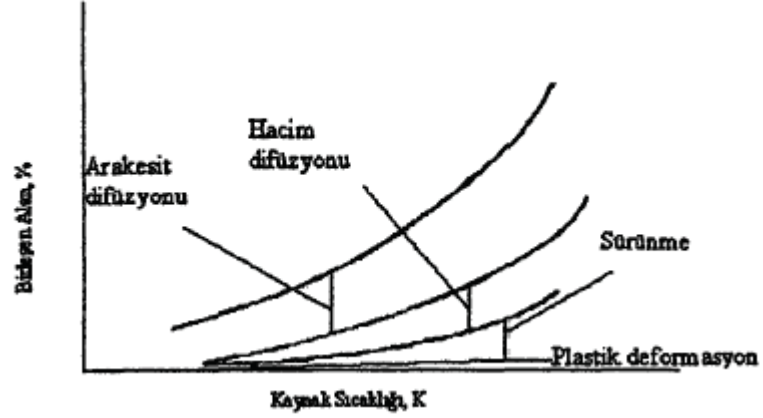
4.10. Difüzyon Kaynağına Tesir Eden Faktörler

Difüzyon kaynağı esnasında uygulanacak olan sıcaklık, zaman, basınç, yüzey pürüzlülüğü, kaynak atmosferi gibi faktörler birbiriyle ilişkili olup, kaynak yapılacak malzeme ve çiftinin özelliklerine bağlıdır. Diğer yandan malzemelerin tane boyutu, kristal yapısı, atom yarı çapı, yeniden kristalleşme sıcaklıkları, yüzey enerjileri gibi her iki malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin farklı ya da aynı olması gibi metalurjik faktörler de etki eder.

4.10.1. Kaynak Sıcaklığı

Difüzyon kaynağında sıcaklık en önemli parametredir. Difüzyon kaynağında genellikle, kaynakla birleştirilecek malzemelerden birinin ergime sıcaklığının yarısından büyük veya eşit bir sıcaklık uygulanır (ASM Handbook, 1983).

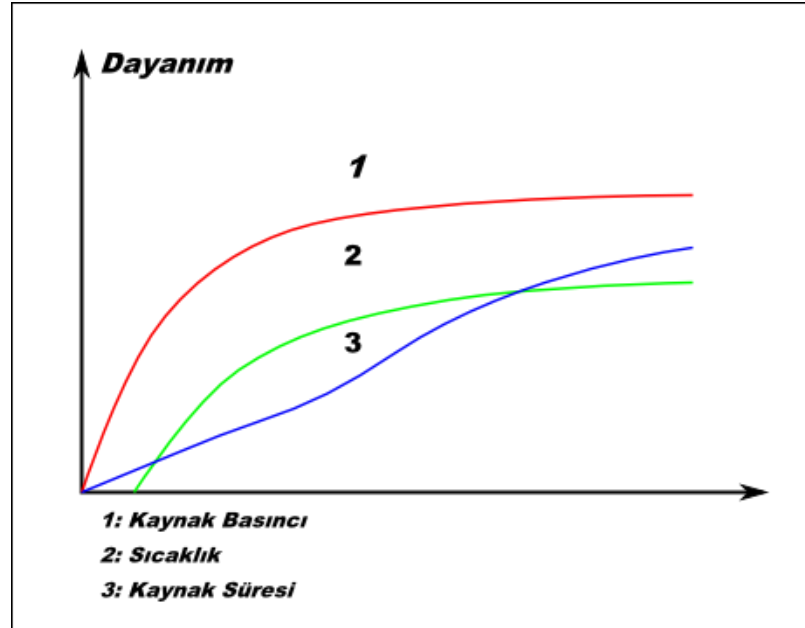
Pratikte difüzyon kaynağında uygulanan sıcaklığın değeri, malzemelerin mutlak ergime sıcaklıklarından daha küçük olan sıcaklık değeridir . Sıcaklığın mümkün olduğu kadar yüksek, sabit ve homojen olarak uygulanması gerekir. Sıcaklığın temas alanındaki birleşen alan üzerindeki etkisi Şekil 4.13'te görülmektedir.



Şekil 4-13.Sıcaklığın Birleşme Alanı Üzerindeki Etkisi (Yılmaz, 1999)

4.10.2. Kaynak Süresi

Kaynak parametreleri, sıcaklık, süre ve basınç birbirinden bağımsız parametreler değildirler. Bunlar üzerinde de tam bir genel sonuç söylemek de mümkün değildir. Şekil 4.14.'de sıcaklık, süre ve basıncın dayanıma etkisi görülmektedir. (Mollaoğlu, 2004)



Şekil 4-14.Difüzyon Kaynağında Basınç, Sıcaklık ve Sürenin Dayanıma Etkisi

4.10.3. Kaynak Basıncı

Difüzyon kaynak işleminde basınç uygulamasının ana sebebi, yeterli birleşme olması için iki yüzeyin tam temasını sağlamaktır. Yeterli basınç, normal boşluk alanlarını doldurmak için plastik akışın, deformasyonun oluşmasını engelleyecek miktarda olması gerekir. Basınç çok düşük olursa, küçük boşluklar ara yüzeyde kalır ve kaynaklı birleştirmenin mekanik ve mikroyapı özellikleri olumsuz yönde etkiler. Basınç uygulamasının ikinci bir fonksiyonu da, birleşme arayüzeyinde temiz bir ara yüzey elde etmek için yüzey oksitlerinin kırılmasını sağlamaktır (Alm, 1970).

Bu açıklamalar neticesinde kaynak basıncının kaynak yüzeyine olan etkisini şöyle sıralayabiliriz.

- 1) Yüzey pürüzlerinin plastik akışına yardımcı olmak.
- 2) Yüzey oksitlerini kırarak, metalin metale tam temasını sağlamak
- 3) Atomlar arası mesafeyi azaltarak, atomlar arası çekim kuvvetlerinin faaliyetlerini artırma.
- 4) Difüzyon için kimyasal potansiyel farkı meydana getirmek.

Sonuç olarak; uygulanacak basıncın yüzey pürüzlerin sürünme hızı ve plastik deformasyonunu artıracak kadar büyük, kaynak edilecek parçaların makroskobik deformasyonuna yol açmayacak kadar küçük olması gerekir (Spanswick, 1989).

4.10.4. Diğer Faktörler

İyi bir kaynaklı birleştirmenin sağlanmasında yüzeylerin teması önemli olduğu için yüzey hazırlığı muazzam önem taşır. Uygulanan yük altında kolaylıkla deforme olabilen yumuşak metaller, normalde ticari olarak elde edilen yüzeyden çok daha iyi bir yüzey gerektirmezler. Bakır, alüminyum, magnezyum, altın gibi malzemeler buna örnek verilebilir. Süper alaşımlar, takım çelikleri refrakter malzemeler gibi sert malzemeler birleşme ara yüzeyinde daha hassa yüzeylere ihtiyaç vardır. (Aydın, 2003)

4.10.5. Aratabaka Kullanımı

Aratabaka veya kaplamanın arayüzeyde kullanılmasının amaçları şöyle sıralanabilir (ASM, Handbook, 1983 ,Dini vd.,1984, Niemann vd., 1978).

- 1) Plastik akışı hızlandırmak
- 2) Temiz bir yüzey elde etmek
- 3) Difüzyonu hızlandırmak
- 4) Arzu edilmeyen intermetallikleri minimize etmek
- 5) Ana metalin difüzyonunu hızlandırmak için geçici ötektik ergimeyi oluşturmak
- 6) Kirkendall gözenekliliğini minimuma indirmek
- 7) Kaynak süresini kısaltmak
- 8) Arzu edilmeyen elementleri uzaklaştırmak
- 9) Oksidasyonu önlemek

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalarda hacimce %0, %10, %20 takviyeli AlMg3/SiCp kompozit malzemelerin difüzyon kaynağı ile birleştirilebilirliği araştırılmıştır. Kaynak edilen numuneler üzerinde gerekli incelemeler yapılmış kaynak kalitesini etkileyen parametreler belirlenmiştir. Deneyde kullanılan numuneler hazır olarak temin edildiğinden, matris ve takviye elemanı fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir.

5.1. Malzeme Seçimi

AlMg3 (AA5754) alüminyum alaşımı ısıtılma işlemle sertleştirilebilme özelliği olmayan, dayanımı yüksek yeni bir alaşım olup, özellikle deniz suyuna karşı mükemmel korozyon dayanımı, çok iyi kaynak edilebilirliği, iyi şekil verilebilme özelliği olan bir alaşımdır (Spencer vd., 2002). Bu sebeple AlMg3 matris malzemesi olarak seçilmiştir. Çizelge 5.1.'de AlMg3 'ün fiziksel özellikleri ve Çizelge 5.2.'de AlMg3'ün kimyasal özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.1. AlMg3'ün Fiziksel Özellikleri (TALAT, 2000)

Özgül Ağırlık	2,66	g/cm ³
Elastiklik Modülü	68-72	GPa
Kayma Modülü	27	GPa
Ergime Aralığı	600-620	°C
Özgül Isı (273°K-373°K)	0,97	
Lineer Genleşme Katsayısı (273°K-373°K)	24x10-6	°K
Termal İletkenlik (373 °K -673 °K)	147-168	1/°K
Direnç (293 °K)	0,049x10-6	Ωm

Çizelge 5.2. AlMg3'ün Kimyasal Özellikleri

Al%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Diğer
Kalan	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Max,	0,50	0,50	0,10	0,50	2,50	0,05	0,20	0,05	0,05	0,05	0,05
Min					3,50					0,25	0,15

Takviye elemanı olarak kullanılan SiC'nin tane büyüklüğü yaklaşık 12 mikrometre (500 Mesh) dir.

5.2. Deney Düzenegi

5.2.1. Difüzyon Kaynak Fırını

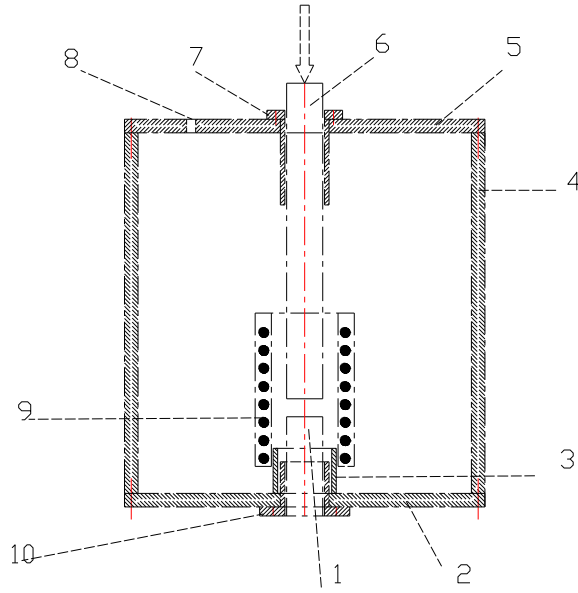
Difüzyon kaynak işlemi için bir difüzyon kaynak fırını tasarlanmış ve imal edilmiştir. Tasarımı ve imalatı yapılan difüzyon kaynak cihazının resmi Şekil 5.1.'de verilmiştir. Kaynak işleminin gerçekleştiği fırın ve difüzyon kaynağı için hazırlanmış numune yerleştirme aparatı Şekil 5.2.'de verilmiştir. Fırının özellikleri ve bu çalışmada kullanılan kaynak değerleri sırası ile Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.3.Difüzyon Kaynak Fırını Özellikleri

Fırın Boyutları	Ø300mm H=300mm
Fırın Max Sıcaklık	1000 °C
Fırın Gücü	1.6 KW

Çizelge 5.4.Numuneler ve Kaynak parametreleri

Numune	Sıcaklık (°C)	Basınç (MPa)	Süre (Dak)
% 0 AlSiCp % 0 AlSiCp	580	1.5-2.5-3.5	120-180
% 0 AlSiCp % 10 AlSiCp	580	1.5-2.5-3.5	120-180
% 10 AlSiCp % 10 AlSiCp	580	1.5-2.5-3.5	120-180
% 0 AlSiCp % 20 AlSiCp	580	1.5-2.5-3.5	120-180
% 20 AlSiCp % 20 AlSiCp	580	1.5-2.5-3.5	120-180



Şekil 5-1.Difüzyon Fırını Kesit Görünüşü

Parça No:	Parça Adı	Parça No:	Parça Adı
1	Alt Numune Tutucu Mil	6	Üst Mil Yük Uygulama Mili
2	Alt Kapak	7	Üst Mil Burcu Yataklama Burcu
3	Alt Burç Rezistans Yataklama Burcu	8	Termokupl Yuvası
4	Gövde	9	Isıtıcı Rezistans
5	Üst Kapak	10	Alt Mil Yataklama Burcu



Şekil 5-2.Numune Yerleştirme Aparatları

Numune bağlama aparatları çelik malzemeden yapılmıştır. Numunelerin birbirinden aksel olarak kaçık bağlanabilmesine ve aynı deney şartlarında iki farklı numune çiftinin kaynak edilmesine imkan tanıyacak şekilde tasarlanmış ve imal edilmiştir. (Şekil 5.3).



Şekil 5-3. Numunelerin Aparata Yerleştirilmesi

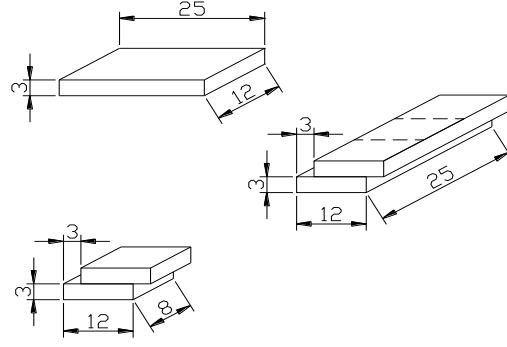
Numune çiftleri ayrı ayrı aparatlara yerleştirildikten sonra aparatın alt ve üst parçaları birleştirilerek fırına yerleştirilmekte, fırın kapağı kapandıktan sonra istenen basıncı oluşturacak ağırlıklar ağırlık platformuna konularak fırın çalıştırılmaktadır. (Şekil 5.4.)



Şekil 5-4. Numune Aparatının Difüzyon Fırınına Yerleştirilmesi ve Ağırlık Platformunun Montajı

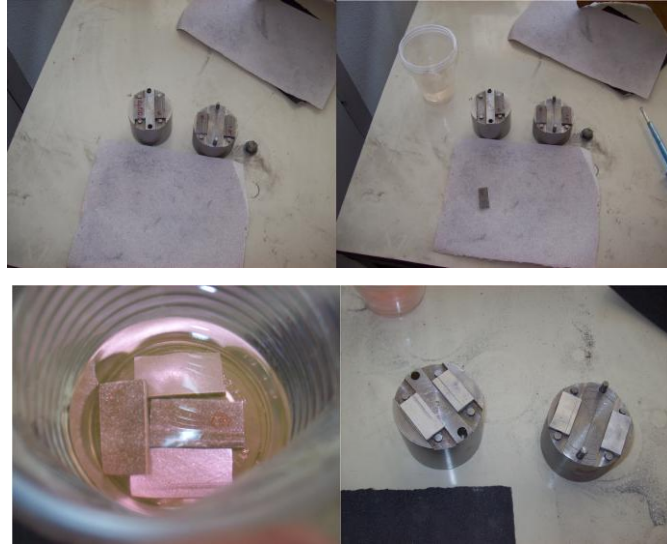
5.2.2. Numune hazırlama

Difüzyon kaynağı yapılacak olan numuneler EDM ile kesilerek Şekil.5.6.'da verilen ölçülere getirilmiştir. Boyutları 25mm x12mm x 3mm olan numuneler üst üste konarak birleştirilmiştir. Difüzyon kaynağı yapıldıktan sonra kaynaklı birleşimin dayanımını ve difüzyon olayının gerçekleşme ölçüsünü belirlenmesi amacı ile yapılacak olan testler için numune çifti 12 mm x 8mm x 3mm ölçülerinde olacak şekilde üç eşit parçaya bölünmüştür.



Şekil 5-5. Numune ölçüleri

Difüzyon kaynağında kaynak edilecek yüzeylerin birbirine atomik kuvvetlerin etkili olabileceği kadar yakın olması ve her türlü kirlilikten ve oksit tabakasından arındırılması gerektiğinden kaynak işlemi öncesinde numunelerin yüzeyleri uygun zımparalar ile temizlenerek hazırlanmıştır. Temas edecek yüzeyler 100, 200, 400 mesh'lik zımpara ile zımparalanmış ve birleştirme işlemi yapılana kadar hava ile temasının kesilmesi için saf alkolde bekletilmiştir.



Şekil 5-6. Numunelerin Zımparalanması ve Saf Alkolde Bekletilmesi

5.3. Difüzyon Kaynak İşlemleri

Numunelerin difüzyon kaynağı ile birleştirilmesinde kaynak sıcaklığı, süresi ve basınç değerlerinin tespiti için bugüne kadar konu üzerinde yapılan çalışmalar incelenmiş ve bu çalışmalar göz önünde bulundurularak ön deneme kaynak işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kaynak sıcaklığı olarak 560 - 590°C aralığı seçildiğinde iyi sonuçlar alınmış ve literatürde önerilen sıcaklığa yakın olması sebebi ile sebebiyle

kaynak sıcaklığı 580°C seçilmiştir. Difüzyon kaynak işlemi normal atmosferde ve ara tabaka kullanılmadan yapılmıştır. Kaynak süresini belirlemek için yapılan çalışmalarda 120-180dk kaynak süresi seçilmiştir. Kaynak süresi numuneler difüzyon sıcaklığı 580 °C'ye ulaştığı andan itibaren başlatılmıştır. Sıcaklık infrared termokupl ile ölçülerek sürekli kontrol altında tutulmuştur. Süre dolduktan sonra numuneler fırın içerisinde ve sabit yük altında kendi kendine soğumaya bırakılmıştır. Çizelge 5.5.'de Difüzyon kaynak fırının ısınma ve soğuma işlemlerinde zaman- sıcaklık eğrileri verilmiştir.

Çizelge 5.5.Difüzyon Kaynak Fırının Isınma ve Soğuma zaman- sıcaklık eğrileri.

ISITMA İŞLEMİ İÇİN		SOĞUMA İŞLEMİ İÇİN	
t (dak)	T (°C)	t (dak)	T (°C)
0	22	0	583
5	41	5	570
10	88	10	529
15	150	15	490
20	211	20	452
25	266	25	415
30	313	30	382
35	345	35	357
40	397	40	331
45	410	45	308
50	429	50	288
55	466	55	268
60	493	60	251
65	505	65	234
70	519	70	223
75	522	75	210
80	527	80	197
90	540	90	176
100	550	100	158
110	548	110	142
120	567	120	130
130	568	130	116
140	568	140	105
150	566	150	90
160	570	160	78
170	563	170	64
180	580	180	46
190	580	190	36
200	580	200	29
210	583	210	26
220	583	220	24
230	583	230	22

Literatürde Al esaslı SiC partikül takviyeli kompozit malzemelerin difüzyon kaynağı çoğunlukla 1-5 MPa aralığında yapılmıştır. Ön deneme kaynak işlemleri neticesinde birleşmenin başlaması için gerekli alt basınç değeri 1.5 MPa plastik deformasyonun başladığı üst basınç değeri ise 3.5 MPa olarak tespit edilmiştir. Karşılaştırma yapmak üzere takviyesiz matris alaşımı belirlenen basınç, sıcaklık ve sürelerde kaynak edilerek referans olarak alınmıştır. %10, %20 takviyeli kompozit malzemeler ise farklı kombinasyonların denenmesi için %0 matris malzemesi, %10 SiC takviyeli kompozit malzeme ve %20 takviyeli kompozit malzemelerle birleştirilerek aynı cins kompozitlerin ve farklı takviye oranlarına sahip kompozit malzemelerin difüzyon kaynağı ile birleştirilmelerinde etkili parametreler incelenmiştir. Numunelere uygulanan deney setleri Çizelge.5.6.'da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Kompozit Numunelerin Kaynağında Kullanılan Deney Parametreleri

Set No	Numune Adedi	Malzeme Çifti	Sıcaklık (°C)	Basınç (MPa)	Süre (dak)
1	3	% 0 AlSiCp-% 0AlSiCp	580	1.5-2.5-3.5	120-180
2	3	% 0 AlSiCp-%10 AlSiCp	580	1.5-2.5-3.5	120-180
3	3	% 0 AlSiCp-% 20 AlSiCp	580	1.5-2.5-3.5	120-180
4	3	% 10 AlSiCp-% 10 AlSiCp	580	1.5-2.5-3.5	120-180
5	3	%20 AlSiCp-% 20 AlSiCp	580	1.5-2.5-3.5	120-180

5.4. Kesme Dayanımı Testleri

Difüzyon kaynağı işlemi sonrası 25mm x 12mm x 3mm ebatlarındaki numuneler 8mm x 12mm x 3mm ebatlarına gelecek şekilde kesilmiştir. Numunelerin kesme dayanımları değerlerinin tespit edilmesi için INSTRON test cihazı ile test edilmesini sağlayacak uygun kesme aparatı tasarlanıp imal edilmiştir. Kesme aparatının resmi Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5-7. INSTRON Çekme Cihazı İçin Hazırlanmış Kesme Testi Aparatı

6. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

6.1. Makroskobik İnceleme Sonuçları

Difüzyon kaynağı ile birleştirilen numuneler ilk olarak gözle muayene edilmiştir. Gözle muayene sonucunda kaynak işlemi sonrasında numunelerde makro boyutta herhangi bir deformasyonun meydana gelip gelmediği incelenmiştir.

1.5 MPa ve 2.5 MPa basınç altında kaynak edilen numunelerin gözle kontrolünde herhangi bir deformasyon saptanmamıştır.



Şekil 6-1 P=3.5 MPa, t=180 dak şartlarında birleştirilmiş %0 SiCp/AlMg3 - %10 SiCp/AlMg3 numune çifti

Şekil 6.1’de 3.5 MPa basınç altında kaynak edilen farklı takviye oranına sahip %0 SiCp/AlMg3 - %10 SiCp/AlMg3 numune çiftinde basıncın fazla olması sebebiyle deformasyon görülmüştür. Alttaki %0 SiCp/AlMg3 (takviyesiz) numune kendisinden daha dayanıklı %10 SiCp/AlMg3 numuneye doğru deforme olmuştur.



Şekil 6-2. P=2.5 MPa, t=180 dak şartlarında birleştirilmiş %0 SiCp/AlMg3 - %0 SiCp/AlMg3 numune çifti

Şekil 6.2.'de 2.5 MPa basınç altında kaynak edilen takviyesiz %0SiCp/AlMg3-%0 SiCp/AlMg3 numune çiftinde çok az deformasyon görülmüştür. Şekil 6.1.'de kaynak basıncı daha fazla olması sebebiyle deformasyon da daha fazladır. 2.5 MPa basınç altında kaynak edilen takviyesiz %0SiCp/AlMg3 - %0 SiCp/AlMg3 numune çiftinde deformasyon boşta kalan kenarlar birbirlerine Şekil 6.2.deki gibi fazla yaklaşmamışlardır.



Şekil 6-3.P=1.5 MPa, t=180 dak şartlarında birleştirilmiş %0 SiCp/AlMg3 - %0 SiCp/AlMg3 numune çifti

Şekil 6.3.'de 1.5 MPa basınç altında kaynak edilen takviyesiz %0SiCp/AlMg3-%0 SiCp/AlMg3 numune çiftinde deformasyon görülmemiştir. Şekil 6.2.'de kaynak basıncı daha fazla olması sebebiyle deformasyon başlamak üzeredir .



Şekil 6-4.P=2.5 MPa, t=180 dak şartlarında birleştirilmiş %20 SiCp/AlMg3 - %20 SiCp/AlMg3 numune çifti

Şekil 6.4.'de 2.5 MPa basınç altında kaynak edilen aynı takviye oranına sahip %20 SiCp/AlMg3 - %20 SiCp/AlMg3 numune çiftinde deformasyon görülmemiştir. Aynı takviye oranlarına sahip kompozit malzemelerin de difüzyon kaynağı ile başarılı bir şekilde birleştirilebildiğini göstermiştir.

3.5 MPa basınç altında kaynak edilen %0SiCp/AlMg3-%0SiCp/AlMg3, %0SiCp/AlMg3-%10 SiCp/AlMg3, %0 SiCp/AlMg3 -%20 SiCp/AlMg3 numunelerde basıncın etkisiyle bir miktar ezilme sebebiyle plastik deformasyon saptanmıştır.

3.5 MPa basınç altında kaynak edilen %10 SiCp/AlMg3-% 10 SiCp/AlMg3 numunelerde ihmal edilebilecek düzeyde deformasyon olduğu görülmüştür. Bu basınç değeri % 10 SiCp/AlMg3 numunelerin difüzyon kaynağında kullanılacak en üst basınç değeri olarak belirlenmiştir.

3.5 MPa basınç altında kaynak edilen % 20 SiCp/AlMg3-% 20 SiCp/AlMg3 numunelerde deformasyon saptanmamıştır.

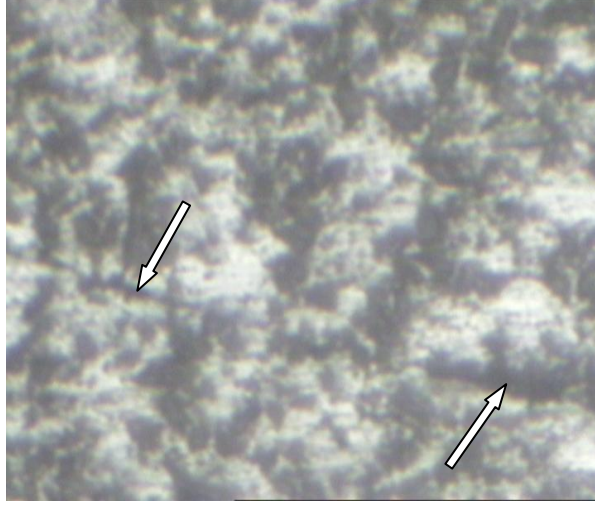
1.5 MPa basınç altında kaynak edilen % 0 SiCp/AlMg3-% 20 SiCp/AlMg3 ve %20 SiCp/AlMg3-% 20 SiCp/AlMg3 numunelerde düşük kesme dayanımı elde edilmesi nedeniyle bu basınç değerinin % 20 SiCp/AlMg3 numuneler için yetersiz geldiği görülmüştür.

2.5 MPa basınç altında yapılan difüzyon kaynağı işlemleri sonucu bütün numunelerde birleşme sağlanmıştır. Numune çiftlerinde herhangi bir deformasyon gözlenmemiştir. %0SiCp/AlMg3-%0SiCp/AlMg3, % 0 SiCp/AlMg3-% 10 SiCp/AlMg3 ve %0SiCp/AlMg3-%20SiCp/AlMg3 numunelerde ihmal edilebilecek düzeyde deformasyon olduğu görülmüştür. Takviyeli numunelerde bu basınç altında herhangi bir deformasyon gözlenmemiş olduğundan 2.5 MPa takviyesiz numuneler için difüzyon kaynağında kullanılabilecek en üst basınç değeri olarak belirlenmiştir.

6.2. Mikroskopik İnceleme Sonuçları

Difüzyon kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin birleşme yüzeyleri sırasıyla 80/120/180/600/1200 mesh'lik zımpara ve 6 µm ve 1 µm diamond paste ile 250 dev/dak' devir kullanılarak metkon parlatma cihazında parlatılmıştır.

Etkili birleşmenin meydana gelip gelmediği, yüzeyler arası birleşme bölgesinde SiC partiküllerinin aglomerasyona uğrayıp uğramadığı saptanmıştır. Bütün numunelerde kaynak işlemi sonrasında birleşme arayüzeyi çizgisinin neredeyse kaybolduğu, arayüzeyde takviye partiküllerinin aglomerasyonuna ya da partikülsüz bir bölgeye rastlanmamıştır.



Şekil 6-5. % 20 SiCp/AlMg3 - % 20 SiCp/AlMg3 numune çifti

Şekil 6.5.' de % 20 SiCp/AlMg3 - % 20 SiCp/AlMg3 numune çiftinin birleşme çizgisinin en yüksek takviyeli kompozit malzeme çifti olmasına rağmen belli belirsiz olduğu görülmüştür.

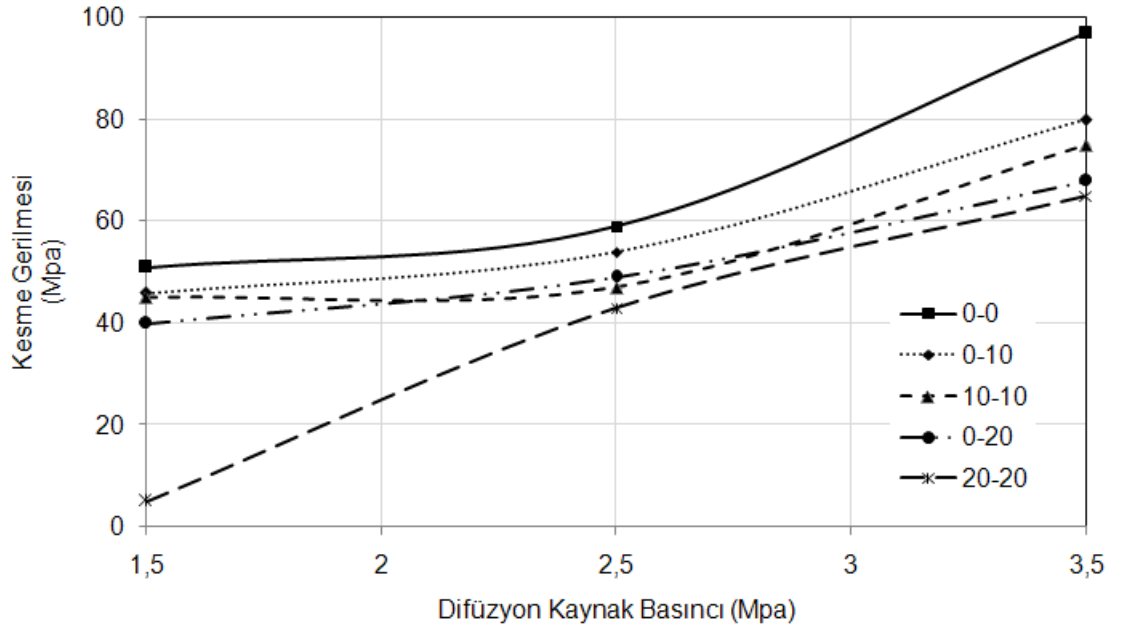


Şekil 6-6.% 0 SiCp/AlMg3 - % 20 SiCp/AlMg3 numune çifti

Şekil 6.6.'da % 0 SiCp/AlMg3 - % 20 SiCp/AlMg3 numune çiftinin birleşme çizgisi numunelerin SiC partikül takviyeli olup olmaması ile ayırt edilebilmektedir. Farklı takviye oranına sahip numune çiftlerinin birleştirilmesinde birleşme çizgisi neredeyse silinmiştir.

6.3. Kesme Dayanımı Deney Sonuçları

Kesme Dayanımı testleri sonucunda elde edilen grafik Şekil 6.7'de verilmiştir.



Şekil 6-7. Difüzyon Kaynak Basıncı ile Kesme Gerilmesinin Değişimi

Yapılan testler sonucunda Difüzyon Kaynak basıncının artması ile beraber bütün numunelerde Kesme Gerilmesi değerlerinde bir artış gözlenmiştir. Bununla beraber Kompozit Malzemenin takviye oranlarının artması difüzyon kaynağının gerçekleşmesinde engel teşkil etmiş ve takviyesiz malzemenin Kesme dayanımı değerlerinden daha düşük sonuçlar elde edilmiştir. Birleştirilen numunenin her iki parçasının da %20 takviyeli olduğu durumda 1.5 MPa basınç altında birleşme tam olarak gerçekleşmemiş ve çok düşük Kesme Dayanımı değerleri elde edilmiştir. Ancak kaynak süresi ve kaynak basıncının arttırılması ile yüksek takviye oranına sahip kompozit malzeme numunelerinde de birleşme gerçekleşmiş ve kesme dayanımı değeri

artmıştır. En yüksek kesme dayanımı değeri takviyesiz numunelerin difüzyon kaynağında elde edilmiştir. Test sonuçları malzeme içindeki takviyenin, yüzeydeki oksit tabakalarının ve düşük birleştirme basınçlarının difüzyon kaynağına olumsuz etki yaptığını göstermiştir.

7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Numuneler için kullanılabilecek en uygun difüzyon kaynak parametrelerinin belirlenmesi maksadıyla deneysel ön çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Aynı basınç altında gerçekleştirilen düşük takviyeli kompozit numunelerin difüzyon kaynağı ile birleştirilme işleminde elde edilen kesme dayanımı, yüksek takviyeli kompozit malzemelerin difüzyon kaynağı ile birleştirilme işleminde elde edilen kesme dayanımından daha yüksektir. Takviye oranı artıkça birleştirilebilme kabiliyeti azalmaktadır. Kaynak basıncının ve süresinin artırılması birleştirilebilme kabiliyeti ve dolayısıyla kesme dayanım değerini artırır.

Düşük takviyeli kompozit numuneler düşük basınç altında kaynak edilmelidir. Yüksek basınç altında birleştirilen düşük takviyeli kompozit numuneler deformasyona uğramıştır. Düşük takviyeli kompozit numunelerin birleştirilme işlemi esnasında deformasyon oluşması nedeniyle kaynak basınç belli bir değerden fazla artırılması mümkün olamayacağından kesme dayanımının artırılması için kaynak süresinin artırılması uygun olacaktır.

Yüksek takviyeli kompozit numunelerin kesme dayanımı değeri basınç artışı ile birlikte artmıştır. Kullanılan en yüksek basınç değerinde bile takviyeli numunelerde deformasyon oluşmamaktadır.

Kaynak edilen aynı takviye oranına sahip numune çiftlerinde de kaynak sonrasında yapılan mikroskopik incelemelerde arayüzeyde kaynak çizgisinin neredeyse kaybolduğu olduğu saptanmıştır. Bu durum aynı takviye oranlarına sahip kompozit malzemelerin de difüzyon kaynağı ile başarılı bir şekilde birleştirilebildiği göstermektedir.

Kaynak edilen farklı takviye oranına sahip numune çiftlerinde de kaynak sonrasında yapılan mikroskopik incelemelerde arayüzeyde kaynak çizgisinin belirsiz

olduğu saptanmıştır. Bu durum farklı takviye oranlarına sahip kompozit malzemelerin de difüzyon kaynağı ile başarılı bir şekilde birleştirilebildiği göstermektedir.

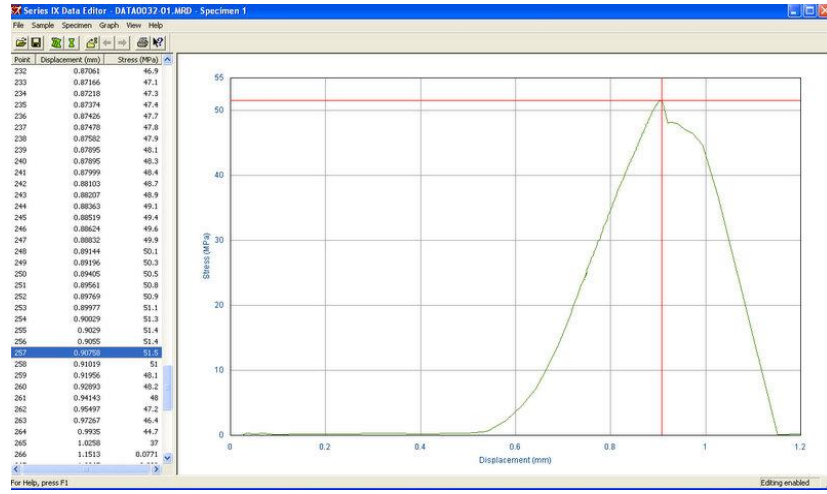
Aynı takviye oranına sahip numuneler, farklı takviye oranına sahip numunelere göre birleştirilebilmesi daha kolay olmaktadır.

Difüzyon kaynağı işlemleri öncesinde numune yüzeylerinin büyük bir titizlikle hazırlanması kaynak işleminin başarısı açısından son derece önemlidir. Bu nedenle difüzyon kaynağı öncesinde birleştirilecek numune yüzeyleri itina ile hazırlanarak her türlü oksit ve kirlilik giderilmelidir.

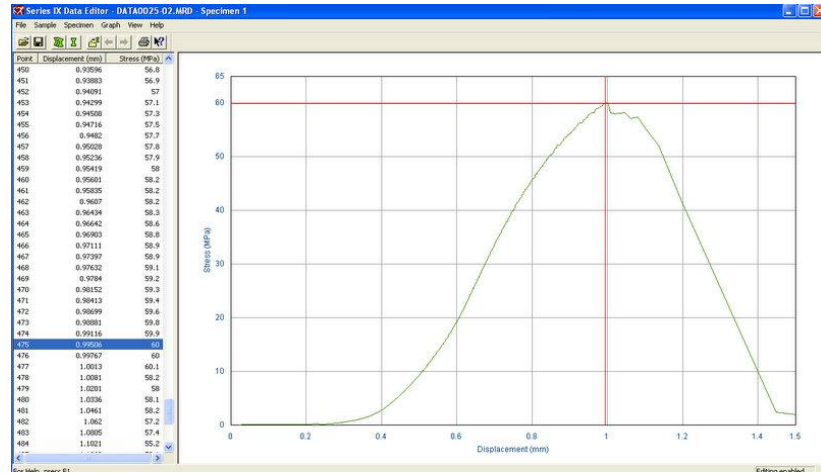
Al-MMK'lerin kaynağında karşılaşılan en büyük sorunlardan biri de sıcaklık nedeni ile yüzeylerin oksitlenerek etkili bir birleşmenin meydana gelmemesidir. Bu nedenle kaynak işlemlerinin koruyucu gaz bir atmosferde, tercihen vakum ortamında gerçekleşmesi tavsiye edilir.

Al-MMK'lerin difüzyon kaynağı, ülkemiz için yeni bir konudur. Bu tez çalışması, ülkemizde bu konuda yapılan ilk çalışmalardan biri olması sebebiyle, çok farklı kaynak parametreleri seçilememiştir. Bu çalışma farklı matris ve takviye malzemeleri ile denenebilir. Takviye malzemesinin boyutlarının difüzyon kaynağına etkileri araştırılabilir, özellikle nano kompozitler kullanılarak yapılacak çalışmaların daha iyi sonuçlar vereceği düşünülmektedir. Daha sonra yapılacak çalışmalar, kaynak basıncının, kaynak sıcaklığının ve süresinin optimizasyonunu sağlayacak çalışmalarla genişletilebilir.

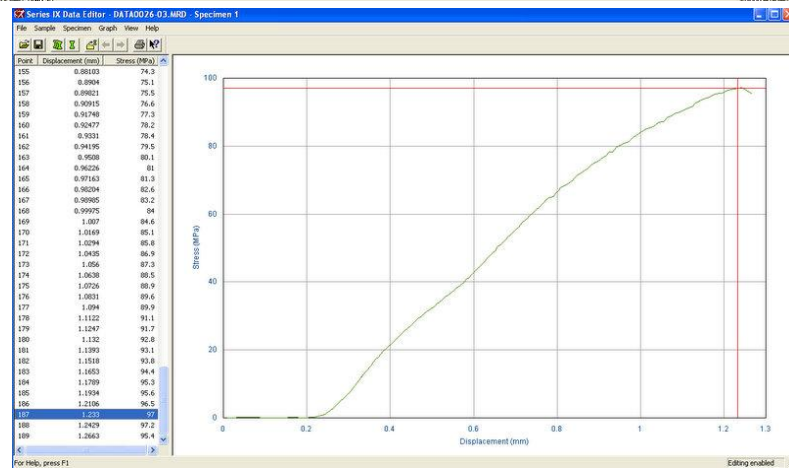
EKLER :



(a)

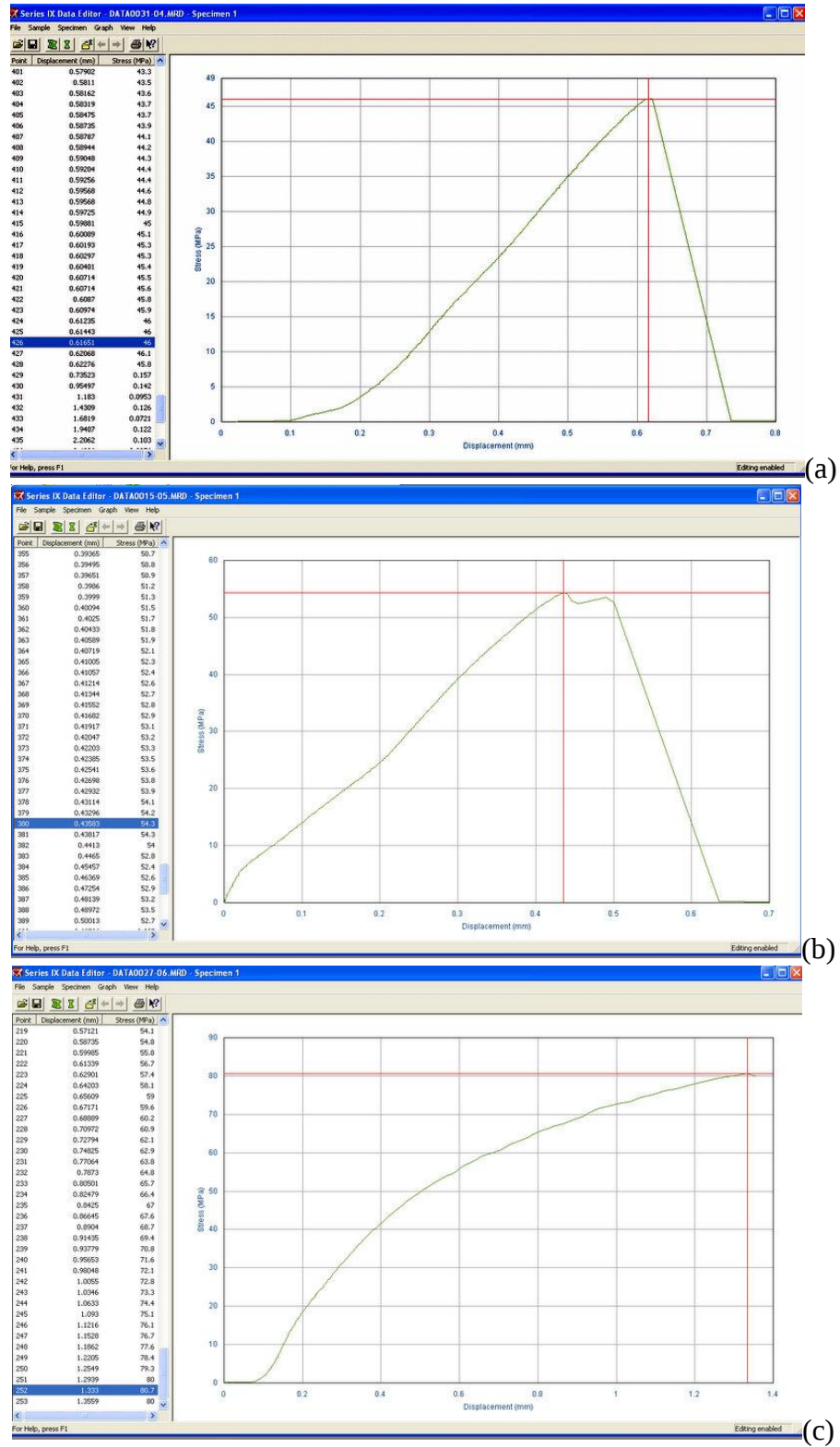


(b)

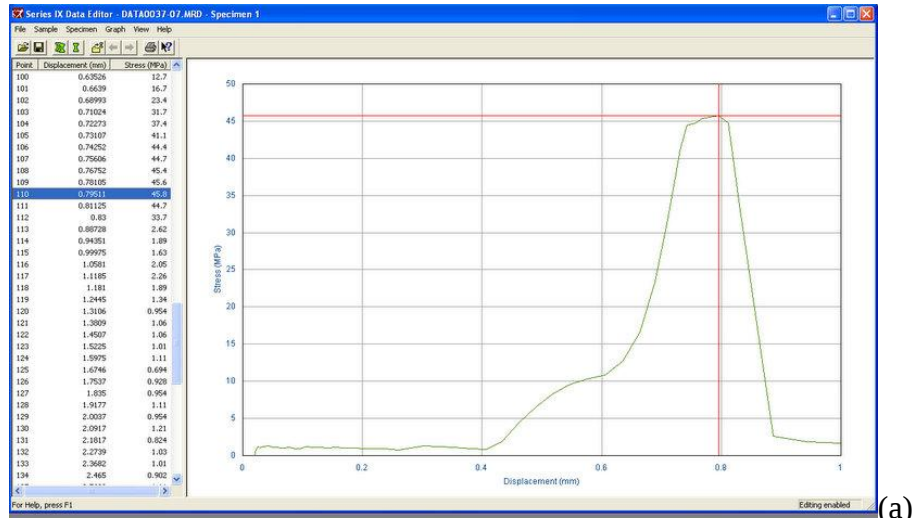


(c)

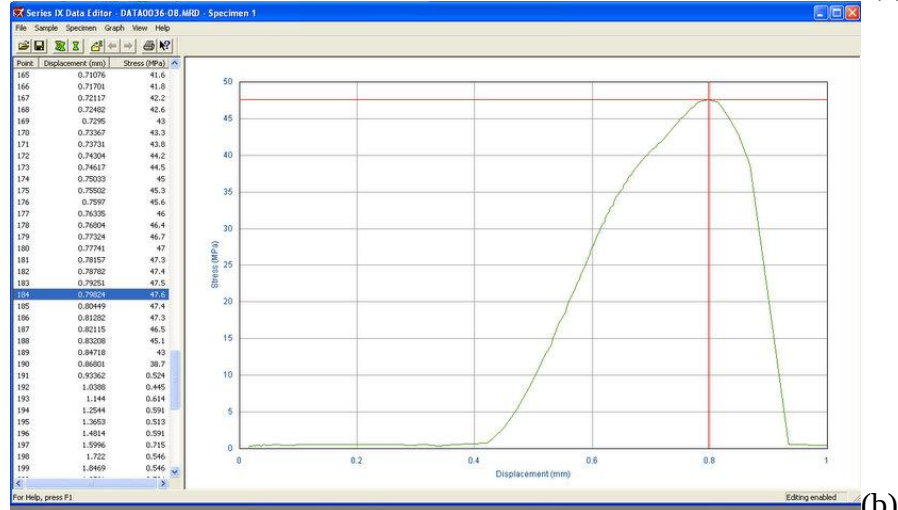
Kesme Deneyi Sonuçları (% 0 SiC/Al - % 0 SiC / Al) a)1.5 MPa b)2.5 MPa c)3.5 MPa



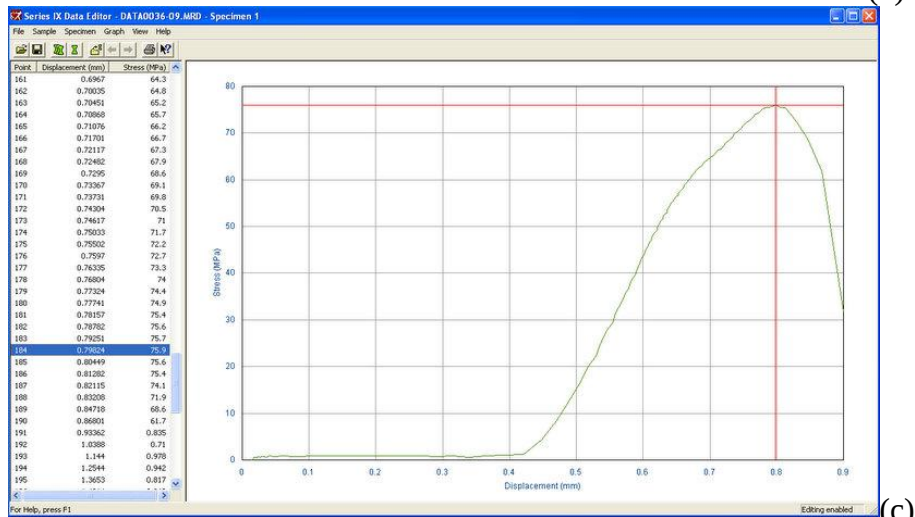
Kesme Deneyi Sonuçları (% 0 SiC/Al - %10 SiC / Al) a)1.5 MPa b)2.5 MPa c)3.5 MPa



(a)

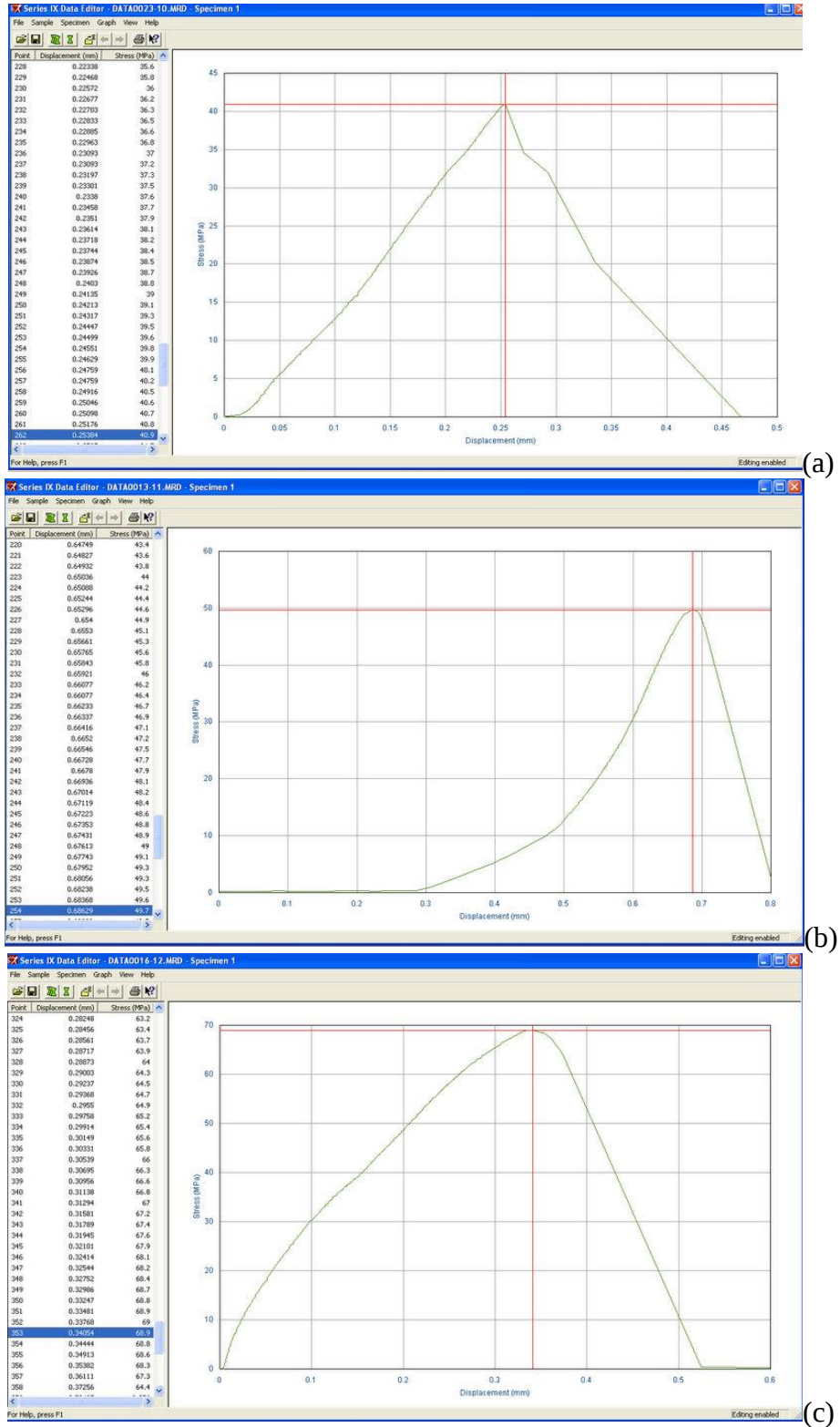


(b)

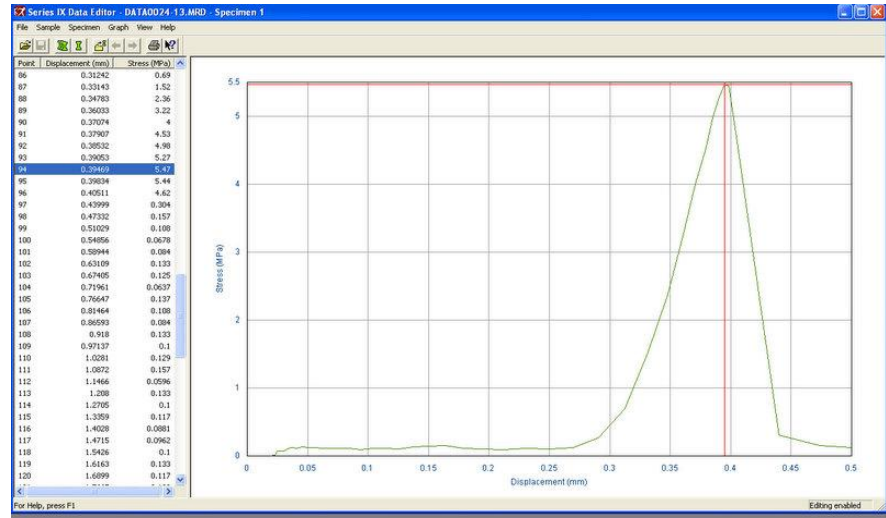


(c)

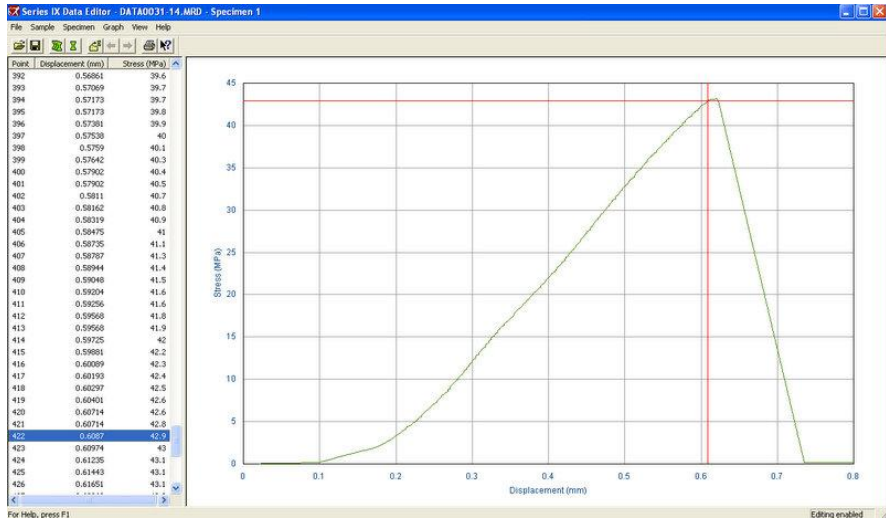
Kesme Deneyi Sonuçları (%10 SiC/Al - %10 SiC / Al) a)1.5 MPa b)2.5 MPa c)3.5 MPa



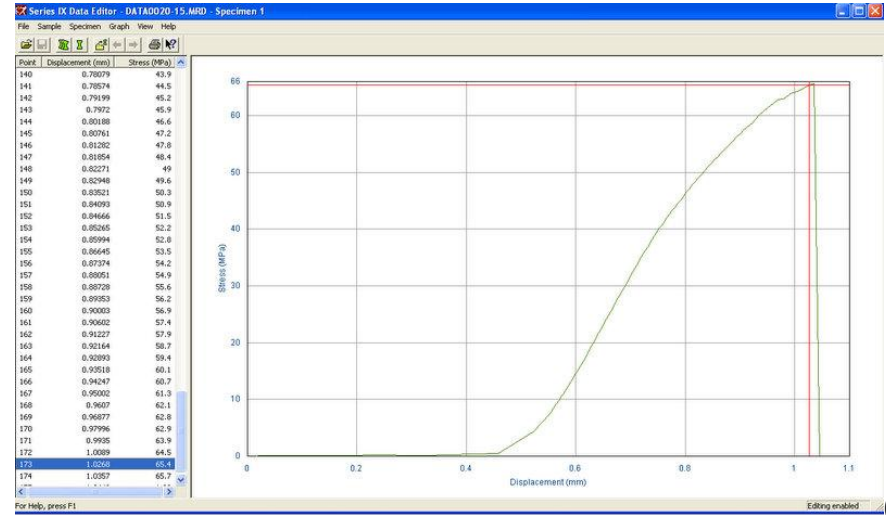
Kesme Deneyi Sonuçları (%0 SiC/Al - %20 SiC / Al) a)1.5 MPa b)2.5 MPa c)3.5 MPa



(a)



(b)



(c)

Kesme Deneyi Sonuçları (%20 SiC/Al - %20 SiC / Al) a)1.5 MPa b)2.5 MPa c)3.5 MPa

KAYNAKLAR

- Akbulut, H., ‘Alümina Fiber Takviyeli Al-Si Metal Matrisli Kompozitlerin Üretimi ve Mikro Yapı- Özellik İlişkisinin İncelenmesi’, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, (1994).
- Alm, G.V., ‘Design feature space-age bonding techniques: part 1’, Mechanical Engineering, 24-32 (1970).
- Anık, S., ‘Kaynak Tekniği El Kitabı, Yöntemler ve Donanımlar ’, Gedik Holding Yayını, İstanbul, 190-191 (1991).
- Arık, H., Aydın, M., Kurt, A., Türker, M., ‘Weldability of Al₄C₃-Al Composites Via Diffusion Welding Technique’, Department of Metallurgy, Faculty of Technical Education Gazi University, Ankara, Turkey (2004).
- ASM, Handbook, ‘Welding, Brazing and Soldering- Solid- State Welding ’, 7th, vol 6, Ohio, 679-691 (1983).
- Aydın, M., ‘SiC Parçacık Takviyeli 7075 Alüminyum Alaşım Kompozit Malzemelerin Difüzyon Kaynağı’, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2003).
- Beljajev, A.I., Fisonova, L.A., ‘Alüminyum Metalürjisi’, TMMOB Makine Müh. Odası Yayın No 99, (1974F)
- Buytoz, S., ‘Alüminyum matrisli Al₂O₃ takviyeli kompozit malzemelerin katı hal birleştirme teknikleri ile kaynak edilebilirliğinin araştırılması’, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 35-76 (1999).
- Callistar, W. D., ‘Materials science and engineering an introduction- Diffusion Mechanism’ , 5th Edition, The University of Utah Johnwiley, 94-11 (2000).
- Çalgülü, U., ‘Sıcak Presleme Yöntemiyle İmal Edilmiş AlSiMg-SiCp Takviyeli Kompozitlerin Difüzyon Kaynağı ile Birleştirilebilirliğinin Araştırılması’, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2005).
- Çelik, S., ‘Koruyucu Gaz Altında Saf Alüminyum ve Bakır’ın Difüzyon Kaynağı Şartlarının Belirlenmesi’, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, (1996)
- Dikbaş, H., ‘Soğuk Preslemeyle İmal Edilmiş Ni-Ti Alaşımlarının Difüzyon Kaynak Yöntemiyle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması’, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2005).

Dini, J.W., Kelley, W.K., Cowden, W.C.; Lopez, E.M., 'Use of electrodeposited silver as an aid in diffusion welding', Welding Research Supplement, 26-34 (1984).

DOD, 1999 D.O.D., Department of Defense Handbook, Composite Materials Handbook, Metal Matrix Composites, Vol.4. (1999)

Dunkerton, S.B., 'Diffusion Bonding an Overview', Diffusion Bonding, 2, Stephenson, D.J., Elsevier Applied Science, Newyork, 1-11 (1991).

Dunkerton, S.B., 'Solid-state processes for dissimilar metal welding', The Welding Institute Research Bulletin, December, 388-395 (1982).

Ellis, B. D., 'Joining of aluminium based metal matrix composites'. International Materials Reviews, 41(2), 41-58 (1996).

Ellis, B. D., 'Joining of metal matrix composites', a review. TWI Report, 489/1994, (1994).

Erden, İ. O., 'Aluminyum- Silisyumnitrür Kompozit Malzemenin Difüzyon Kaynağı ile Kaynaklanabilirliğinin araştırılması', Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2005).

Erdoğan, M., 'Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri ', Nobel Yayın Dağıtım,3. Baskı, Ankara, 76-93 (1998).

Gül, F. Ve İnem, B., 'Döküm yoluyla SiC takviyeli kompozitlerin geliştirilmesi', Savunma Sanayindeki Teknolojik Gelişmeler Sempozyumu, 5-6 Haziran Kara Harp Okulu, Ankara,999-1005, (1997).

Gül, F., 'SiC takviyeli Al-Si Alaşımı Kompozitlerin Aşınma Davranışı', ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Dergisi, Karabük, Yıl 1, sayı 2, 63-73, (1998)

Güleç, Ş., Aran, A., 'Malzeme Bilgisi I', İ.T.Ü. İstanbul, 34-40 (1993).

Gürler, R., 'Fusion welding of SiC particulate-reinforced aluminum 392 metal matrix composite', Journal of Materials Science Letters, 17,1543-1544 (1988).

James, F.S., 'Introduction to materials science for engineering-Point defect and solid-state diffusion', fourth edition, University of California, Macmillan Publishing Company, 112-124 (1985).

Kaczmar, J.W., Pietrzak, K., Wlosinski, W., 'The production and application of metal matrix composite materials', Journal of Materials Processing Technology 106, 58-67,(2000).

Kearns, W.H., 'Diffusion welding and brazing- Fundamentals of the processes', 7th, vol 3, chapter 10, AWS Welding Handbook, Florida, 313-335 (1980).

Kurt, A., 'Toz metalden üretilen bronz yatağın düşük karbonlu çeliğe difüzyon kaynağı ile birleştirilmesi', Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 9-47 (1996).

Lancaster, J.F., 'Metallurgy of Welding', Allen and Unwin Ltd. London, 675-684 (1987).

Lawrance, H., Vlack, V., 'Elements of metarials science and engineering', sixth edition, University of Michigan, Addison- Wesley Publishing, 200-214 (1989).

Lee, C, S., Li, H. And Chandel, R.S., 'Vacuum-free difussion bonding of aluminum metal matrix composite', Journal of Materials Processing Technology, 89-90,326-330 (1999).

Lindross, V.K. and Talvitie, M.J., 'Recent advances in metal matrix composites', Journal of Metarials Processing Technology, 53,273-284 (1995)

Liming, L., Meili, Z., Longxiu, P., Lin, W., 'Studing of micro-bonding in diffusion welding joint for composite', Materials Science and Engineering, A 315, 103-107 (2001).

McLean, A., Soda, H., Xia, Q., Praminicki, A.K., Ohno, A., Motoyasu, G., Shimizu, T., Gedeon, S. A. And North, T., 'SiC particulate-reinforced, aluminium-matrix composite reds and wires produced by a new continuous casting route', Composites Part A, 28A, 154-152 (1997).

Metals Handbook, Vol.6,(1983)

Mollaoğlu, H. 'SiC Parçacık Takviyeli Al Metal Matrisli Kompozitlerin Difüzyon Kaynağı', Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2004).

Morley, R. A., Caruso, J., 'The diffusion welding of 390 aluminium alloy', Welding Journal, 29-34 (1980).

Muratoglu, M., 'Investigation on Diffusion Bonding Characteristics of Aluminum Metal Matrix Composites (AlSiCp) with Pure Aluminum for Diffent Heat Treatments', University of Fırat, Faculty of Engineering, Department of Metallurgical Engineering, Elazığ, Turkey (2002).

NADIBO, 'Metal Matrix Composites- Sector Study, The North American Defense Industrial Base Organization,(1993)

NiCOARA, M. Nicoara, I. Cartis, M. Lita, G. Belgiu, '*The Influence of Reinforcement Particles on the Structural Changes During the Fabrication of MMC's*', Scientific Bulletin of the Politehnica University of Timisoara, Tom 44 (58), Mechanics (1999)

Niemann, J.T., Wille, G.W., 'Fluxless diffusion brazing of aluminium casting', Welding Research Supplement, 285-292 (1978).

Oğuz, B., 'Sert Lehimleme', Oerlikon yayınları, İstanbul, 50-60 (1988).

Partridge, P.G., Shepherd, M. and Dunford, D. V., 'Statistical analysis of particulate interface lengths in diffusion bonded joints in ametal matrix composite', Journal of Materials Science, 26,4953-4960 (1991).

Ralph, ., Yuen, H.C. and Lee, W.B., 'The processing of metal matrix composites-an overview', Journal of Materials Processing Technology, 63,339-353 (1997).

Rawal, S., Metal-Matrix Composites for Space Applications, JOM, 53 (4), pp. 14 - 17., (2001).

Spanswick, O. S., 'Diffusion bonding–Engineering applications'. Production Engineer, April, 45-51, (1989).

Spencer, K., Corbin, S.F., Llyod, D.J., 'The Influence of Iron Content on the Plane Strain Fracture Behaviour of AA 5754 Al-Mg Sheet Alloys', Materials Science and Engineering A325 394-404, (2002).

Sur, G., 'Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Üretimi ve İşlenebilirliğinin İncelenmesi', Yüksek Lisans tezi, Gazi Üniversitesi F.B.E., Ankara, (2002)

TALAT, <http://www.eaa.net/ea/education/TALAT/index.htm>, 'Training in Aluminium Application Technologies', (2000)

Tekin, A., 'Çelik ve Isıl İşlemi', İTÜ, İstanbul, 22-236 (1987).

Topbaş, M. A., 'Isıl İşlemler', Y. T. Ü., İstanbul, 65-76 (1993).

Özdemir, U., 'Difüzyon Kaynaklı TiAl ve Ti6Al4V Alaşımlarının İçyapısı ve Mekanik Karakterizasyonu', Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, (2003).

Urena, A., Gomes, S., Escalera, M.D., 'Diffusion Bonding of Al-Cu Alloy reinforced with SiC Particles (AA20214/SiC/13p) Using Metallic Interlayers', Scripta Materialia, No 11, 1285-1293, (1996).

Ürkmez, N., 'Al Mg3/SiCp Kompozitlerinin Üretimi ve Mekanik Özelliklerdeki Değişimlerin İncelenmesi', Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2004).

Vaucher, S., Befford O., 'Bonding and interface formation in Metal Matrix Composites, Vol. 9, EMPA Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research Thun Switzerland, www.empa.ch, (2000).

Yılmaz, O., ‘Östenitik paslanmaz çelik ve bakır çiftinin difüzyon kaynağı ile birleştirilmesinde kaynak parametrelerinin birleşmeye etkisi’, Doktora tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 17-46 (1999).

Zhang, X.P., Ye, L., Mai, Y.W., Quan, G.F., Wei, W., ‘Investigation on diffusion bonding characteristics of SiC particulate reinforced aluminium metal matrix composites (Al/SiCp- MMC) ’, Composites Applied Science and Manufacturing, Part A 30, 1415-1421 (1999).

ÖZGEÇMİŞ

D. Tarihi : 04 03 1976
 D. Yeri : İstanbul
 Lise : 1990-1993 Fatih Vatan Lisesi (İstanbul)
 Lisans : 1994-1998 Niğde Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
 Makine Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı Kurumlar:

1998-1999	Özel Şirket Makine Mühendisi
1999-2000	Askerlik Hizmet. 16 ay Yedek Subay Jandarma Ana Tamir Fabrikası – Ankara
2000-2003	Farklı Özel Şirketler Makine Mühendisi
2003-2004	Bursagaz Doğalgaz Dağıtım AŞ. (KİT) Kontrol Mühendisi
2004- Devam	DSİ XI Bölge Müdürlüğü – Edirne Atölye- İkmal- İşletme Makine Mühendisi