

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

83904

ALÜMİNYUM MATRİSLİ Al_2O_3 TAKVİYELİ KOMPOZİT
MALZEMELERİN KATI HAL BİRLEŞTİRME TEKNİKLERİ İLE
KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİN ARAŞTIRILMASI

SONER BUYTOZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

METALURJİ EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

1999
ELAZIĞ

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALÜMİNYUM MATRİSLİ Al_2O_3 TAKVİYELİ KOMPOZİT
MALZEMELERİN KATI HAL BİRLEŞTİRME TEKNİKLERİ İLE
KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİN ARAŞTIRILMASI**

SONER BUYTOZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

METALURJİ EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI

**Bu Tez .../.../1999 Tarihinde Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından Oybirliği/
Oyçokluğu ile Başarılı/ Başarısız Olarak Değerlendirilmiştir.**

(İmza)

Danışman

(İmza)

(İmza)

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ALÜMİNYUM MATRİSLİ Al_2O_3 TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELERİN KATI HAL BİRLEŞTİRME TEKNİKLERİ İLE KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİN ARAŞTIRILMASI

SONER BUYTOZ

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metal Eğitimi Anabilim Dalı

1999 Sayfa:

Difüzyon kaynağı, birleştirilmek üzere eşleşmiş aynı ya da farklı iki veya daha çok malzemenin, bu malzemelerin ergime sıcaklıkları altında, tespit edilebilir plastik akmaya sebep olmayan bir basınç altında, katı hal difüzyonu yoluyla malzeme çifti arasında metalurjik bir bağ oluşuncaya kadar, malzemenin özelliklerini önemli ölçüde etkilemeyecek bir sürede tutulması ile uygulanan bir birleştirme yöntemidir.

Bu yöntem özellikle seramikler, kompozitler ve egzotik malzemeler gibi geleneksel ergitme kaynağı yöntemleri ile birleştirilemeyen malzemeler için uygundur. Yapılarındaki takviyelerden dolayı kompozitlerin ergitme kaynağı ile birleştirilmeleri çok uygun değildir. Katı halde uygulandığı için, difüzyon kaynağı bu malzemelerin birleştirilmesi için en uygun yöntem olarak görünmektedir.

Bu çalışmada, Al matrisli Al_2O_3 takviyeli bir kompozit ($Al/Al_2O_3/10p$) difüzyon kaynağı ile birleştirilmiştir. Takviye ortalama boyutu $60\ \mu m$ olan Al_2O_3 parçacıklarıdır. Dökümden sonra parçacıkların matris içine homojen bir şekilde dağıldıkları görülmüştür.

Bu çalışmada, numuneler, dökülmüş çubuklardan , $10 \times 10 \times 10\ mm$ boyutlarında hazırlandı. Numune yüzeyleri 1200 meşlik zımpara ve elmas pasta ile parlatıldı. Yüzey pürüzlülük değerleri Mitutoyo Sunsurf marka profilometre ile, elmas pasta için $0.05\ \mu m$, 1200 meşlik zımpara için $0.19\ \mu m$ olarak ölçüldü.

Parlatılan yüzeyler ethanol ile temizlendi ve sonra basınç uygulama mengenesinde kaynak basıncı uygulanarak bir araya getirildi. Deneyler, tarafımızdan hazırlanan tüp şeklindeki bir fırında, argon atmosferinde yapıldı. Kaynak basınçları 1 ve 2 MPa, kaynak sıcaklıkları $550\ ^\circ C$ ve $600\ ^\circ C$ ve yüzey pürüzlülükleri 0.19 ve $0.05\ \mu m$ olarak seçildi. Kaynak süresi 90 dakika ve sabit olarak alındı. Deneylerden sonra birleşme ara kesitleri optik mikroskop, SEM ve EDS ile incelendi. Sonuç olarak, en iyi birleşmenin yüzey pürüzlülüğü $0.05\ \mu m$ olan numunede 2 MPa'lık basınç, $600\ ^\circ C$ ve 90 dakikada meydana geldiği belirlendi.

Bu çalışmanın ilk bölümünde konuya giriş yapılmış, ikinci bölümünde difüzyon kaynağı, mekanizmaları ve parametreleri kapsamlı bir şekilde verilmiştir. Üçüncü bölümde kompozit malzemeler ve birleştirme yöntemlerinden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde deneysel çalışmalar, besinci bölümde deneyin sonuçları sunulmuştur. Altıncı ve son bölümde, sonuçlar değerlendirilmiş ve öneriler verilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Difüzyonla Birleştirme, Difüzyon Kaynağı, Katı Hal Kaynağı, Al Matrisli Al_2O_3 Takviyeli Kompozit Malzeme

SUMMARY**Master Thesis****THE INVESTIGATION OF WELDABILITY OF AL MATRIX –
AL₂O₃ REINFORCED COMPOSITE MATERIALS WITH SOLID STATE
BONDING METHODS****SONER BUYTOZ****Firat University****Graduate School of Natural and Applied Sciences****Department of Metallurgy Education****1999, Page:**

Diffusion welding is a solid state bonding method in which the matched surfaces of two similar or dissimilar materials are held at a temperature below the melting points of the materials, under a bonding pressure far below the yielding stresses of the materials for a time enough to form a metallurgical bond without effecting the properties of the materials.

This method is suitable especially for the materials such as ceramics, composites and exotic materials, which can not be bonded with conventional fusion welding methods. Composites are not so much suitable to join with fusion welding because of reinforcements in their structures. Diffusion bonding seems the most convenient method to join these materials since it is performed in solid state.

In this study an aluminum matrix Al_2O_3 reinforced composite ($\text{Al}/\text{Al}_2\text{O}_3/10\text{p}$) was bonded with diffusion welding. The composite was produced using rheological casting method. The reinforcement is Al_2O_3 particles with a size of average $60\text{ }\mu\text{m}$. After casting it was seen that the particles were distributed homogeneously in the matrix.

In the study, the specimens were prepared in the dimensions of $10\times 10\times 10\text{ mm}$ from the bars casted. The surfaces of the specimens were polished with 1200 mesh emery paper and diamond paste. The surface roughness were measured with Sunsurf Mitutoyo Profilometer as $0,05\text{ }\mu\text{m}$ and $0,19\text{ }\mu\text{m}$ for diamond paste and emery paper respectively.

The polished surfaces were cleaned with ethanol and then matched using a mechanical device to apply the bonding pressure. The experiments were conducted in a tube furnace prepared by us, under an argon protective atmosphere. The bonding pressures, bonding times and surface roughness were chosen as 1 and 2 MPa, 1.5 hours and $0.05\text{ }\mu\text{m}$ and $0.19\text{ }\mu\text{m}$ respectively. The experiments were performed in two different temperatures as $550\text{ }^\circ\text{C}$ and $600\text{ }^\circ\text{C}$. The interfaces of the joints were examined with optical microscope, SEM and EDS. As a result, the best joint was optioned in the specimen with a surface roughness of $0.05\text{ }\mu\text{m}$ bonded at 2 MPa, $600\text{ }^\circ\text{C}$ and in 90 minutes.

In the first chapter of this study the subject is introduced. In the second chapter information about the diffusion bonding, mechanisms and parameters are given comprehensively. In the third chapter, composite materials and their joining methods are dealt with. In the fourth chapter experimental studies, in the fifth chapter the results of the experiments are given. In the sixth and final chapter, the results were concluded and recommendations are given.

Key Words: Diffusion Bonding, Diffusion Welding, Solid State Bonding, Al Composite.

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanması esnasında, yardım ve desteklerini esirgemeyen başta danışman hocam Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü öğretim üyesi sayın Yrd. Doç. Dr. Nuri ORHAN' a, bölüm başkanım sayın Prof Dr. M. Mustafa YILDIRIM' a teşekkürlerimi arz etmeyi bir borç bilirim.

Ayrıca deneysel çalışmalarında ve yorumlanmasında bana yardımlarını esirgemeyen sayın Bülent KURT beye teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	III
SUMMARY.....	V
TEŞEKKÜR	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ	X
TABLolar LİSTESİ	XI
RESİMLER LİSTESİ	XII
 1.GİRİŞ	 1
2.KATI HAL BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİ	3
2.1.Difüzyon Kaynağı	4
2.2.Katılarda Difüzyon	7
2.3.Difüzyonda Atomik Mekanizmalar	9
2.3.1.İkame (Yer alan) Difüzyonu	9
2.3.2.Arayer Difüzyonu	10
2.4.Difüzyon Kaynağına Tesir Eden Faktörler	11
2.4.1.Kaynak Sıcaklığı	12
2.4.2.Yüzey Şartları	14
2.4.3.Kaynak Basıncı	16
2.4.4.Kaynak Süresi	18
2.4.5.Kaynak Ortamı (Atmosferi)	19
2.4.6.Birleştirilecek Malzemelerin Mikro Yapıları ve Tane Boyutları	20
2.5.Difüzyon Kaynağı Teknikleri	22
2.6.Difüzyon Kaynağına Uygulanan Muayene ve testler	24
2.6.1.Tahribatlı Muayeneler	24
2.6.2.Tahribatsız Muayeneler	25

2.7.Difüzyon Kaynağı Uygulama Alanları	26
2.8.Difüzyon Kaynağının Diğer Kaynak Metotlarıyla Karşılaştırılması	33
3. KOMPOZİT MALZEMELER	35
3.1.Metal Matrisli Kompozit Malzemeler	38
3.2.Takviyeler	39
3.2.1.Sürekli Fiber Takviyeler	39
3.2.2.Süreksiz Fiber Takviyeler	40
3.2.3.Whiskerler	40
3.2.4.Taneler	41
3.3.Matris Malzemeleri ve Matris – Takviye Seçimi	42
3.4.Alüminyum Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin	
Birleştirme Yöntemleri	42
3.4.1.Viskozitenin Etkisi	44
3.4.2.Kimyasal Reaksiyonlar	44
3.4.3.Katılaşmanın Etkisi	45
3.4.4.Ergitme Kaynağı	46
3.4.4.1.1.Gaz–Tungsten Ark Kaynağı	48
3.4.4.1.2.Gaz–Metal Ark Kaynağı	49
3.4.4.2.Elektron Işın Kaynağı	50
3.4.4.3.Lazer Işın Kaynağı	51
3.4.4.4.Sıvı Faz Geçişli Birleştirme	52
3.4.4.5.Direnç ve Sürtünme Kaynağı	52
3.4.4.6.Kapasitör Desarj Kaynağı	53
3.4.4.7.Difüzyon Kaynağı	53
3.4.4.7.1.Katı Halde Difüzyon Kaynağında Mikro	
Deformasyon Yöntemi	54
3.4.4.7.2.Süreksiz Sıvı Fazlı Difüzyon Kaynağı	55
3.5.Literatür Çalışmaların Değerlendirilmesi	55
4.DENEYSEL ÇALIŞMALAR	57
4.1.Deneylerde Kullanılan Malzemeler	57

4.2.Difüzyon Kaynağının Yapılışı	58
4.3.Metalografik Çalışmalar	60
5.DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMASI	61
5.1.Metalografi İncelemeleri ve EDS Sonuçları	61
5.2.Difüzyon Kaynaklı Bağlantıların Metalografik İnceleme Sonuçları	64
6.SONUÇ VE ÖNERİLER	78
7.KAYNAKLAR	80



ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Difüzyon kaynağı mekanizması	6
Şekil 2.2. Serbest enerjisinin durum değişimine bağlılığı	7
Şekil 2.3. Aktivasyon enerjisinin arrhenius denklemleri yardımıyla saptanması	8
Şekil 2.4. Konsantrasyon gradiyentinin şematik gösterilişi	9
Şekil 2.5. KYM 'li bir kafeste atomun boş bir mevkiye hareketi	10
Şekil 2.6. Arayer atomunun yer değiştirmesi ve aktivasyon enerjisi değişimi	11
Şekil2.7. Sıcaklık ve uygulanan basıncın sürünme eğrisine tesiri	13
Şekil 2.8. Sıcaklığın birleşme miktarı üzerindeki etkisi	13
Şekil 2.9. Yüzey kusurları	14
Şekil 2.10. Yüzey deformasyonu ile pürüzlülük arasında sıcaklığa bağlı değişme	15
Şekil 2.11. Bağlantının kayma mukavemeti ile kaynak süresi arasındaki ilişki	19
Şekil 2.12. Ara tabakanın tesiri	22
Şekil 3.1. Kompozit malzeme tipleri	36
Şekil 3.2. Metal matrisli kompozit malzemeler	39
Şekil 4.1. Difüzyon kaynağı düzeneği	58
Şekil 4.2. Basınç uygulama aparatı	59
Şekil 5.1. Matristeki Partiküller Kısımında Yapılan EDS Analizinin Al-Fe-Si Üçlü Faz Diyagramında Gösterimi	62

TABLOLAR

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1. Difüzyon kaynaklı birleştirmelerde birleşebilirlik oranı	28
Tablo 2.2. Difüzyon kaynak yöntemine uygun metal çiftleri ve ara tabaka malzemeleri	29
Tablo 2.3. Metal çiftleri için difüzyon kaynağı işlem parametreleri	30
Tablo 3.1. Bazı fiberlerin tipik özellikleri	40
Tablo 3.2. Bazı süreksiz fiberlerin tipik özellikleri	40
Tablo 3.3. Bazı whiskerlerin tipik özellikleri	41
Tablo 3.4. Bazı tane takviyelerin tipik özellikleri	41
Tablo 3.5. Al metal matrisli kompozitler için kullanılan birleştirme yöntemlerinin değerlendirilmesi	47
Tablo 3.6. Gaz–tungsten ark kaynağı ile birleştirilen bazı malzemelerin tipik özellikleri	49
Tablo 4.1. Al matrisli Al_2O_3 takviyeli kompozit malzemenin bileşimi.....	57
Tablo 4.2. Difüzyon Kaynağında Uygulanan Kaynak Şartları	60
Tablo 5.1. Al matrisli Al_2O_3 Takviyeli Kompozit Malzemenin EDS Analizine Göre Oluşan Muhtemel Fazlar	61

RESİM LİSTESİ

Sayfa

Resim 5.1. Al Matrisli Al_2O_3 Takviyeli Kompozit Malzemenin	
Dağlanmamış Halde Optik Fotoğrafi (X100).....	62
Resim 5.2. Al Matrisli Al_2O_3 Takviyeli Kompozit Malzemenin	
Dağlanmamış Halde Optik Fotoğrafi (X100).....	63
Resim 5.3. Al Matrisli Al_2O_3 Takviyeli Kompozit Malzemenin	
Dağlanmış Halde Optik Fotoğrafi (X400).....	63
Resim 5.4. 550 °C' de 1 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında Kaynak	
Edilen Numunenin Dağlanmamış Halde Optik Fotoğrafi (X100).....	64
Resim 5.5. 550 °C' de 1 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında Kaynak	
Edilen Numunenin Dağlanmış Halde Optik Fotoğrafi (X100).....	65
Resim 5.6. 550 °C' de 1 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında Kaynak	
Edilen Numunenin Dağlanmış Halde Optik Fotoğrafi (X400).....	66
Resim 5.7. 550 °C' de 1 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında Kaynak	
Edilen Numunenin Dağlanmamış Halde Optik Fotoğrafi (X400).....	66
Resim 5.8. 550 °C' de 2 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında Kaynak	
Edilen Numunenin Dağlanmamış Halde Optik Fotoğrafi (X100).....	67
Resim 5.9. 550 °C' de 2 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında Kaynak	
Edilen Numunenin Dağlanmış Halde Optik Fotoğrafi (X100).....	68
Resim 5.10. 550 °C' de 2 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında	
Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmış Halde Optik Fotoğrafi (X400).....	68
Resim 5.11. 550 °C' de 2 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında	
Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmış Halde Optik Fotoğrafi (X400).....	69
Resim 5.12. 600 °C' de 1 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında	
Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmamış Halde Optik Fotoğrafi (X100)	69
Resim 5.13. 600 °C' de 1 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında	
Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmış Halde Optik Fotoğrafi (X100).....	70

Resim 5.14. 600 °C' de 1 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında	
Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmış Halde Optik Fotoğrafi (X400).....	70
Resim 5.15. 600 °C' de 1 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında	
Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmış Halde Optik Fotoğrafi (X400).....	71
Resim 5.16. 600 °C' de 2 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında	
Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmış Halde Fotoğrafi (X100).....	71
Resim 5.17. 600 °C' de 2 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında	
Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmamış Optik Fotoğrafi (X400).....	72
Resim 5.18. 550 °C' de 1 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında	
Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmamış Halde Optik Fotoğrafi (X100).....	73
Resim 5.19. 550 °C' de 1 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında	
Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmamış Halde Optik Fotoğrafi (X400).....	73
5.20. 550 °C' de 1MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında Kaynak	
Edilen Numunenin Dağlanmış Halde Optik Fotoğrafi (X100).....	74
Resim 5.21. 550 °C' de 1MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında	
Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmış Halde Optik Fotoğrafi (X400).....	74
Resim 5.22. 600 °C' de 2 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında	
Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmamış Halde Optik Fotoğrafi (X100).....	74
Resim 5.23. 600 °C' de 2 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında	
Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmış Halde Optik Fotoğrafi (X100).....	76
Resim 5.24. 600 °C' de 2 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında	
Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmış Halde Fotoğrafi (X400).....	76
Resim 5.25. 600 °C' de 2 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında	
Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmış Halde Fotoğrafi (X400).....	77

1.GİRİŞ

Difüzyon kaynağı, aynı ya da farklı cins iki ya da daha çok malzemenin, bu malzemelerin akma dayanımlarının çok altındaki bir basınç ve yeniden kristalleşme sıcaklıkları üzerindeki bir sıcaklıkta, ergitilmeksizin birleştirildikleri bir katı hal kaynağıdır. Bu yöntem ile, temas yüzeyleri uygun bir şekilde hazırlanmış, kimyasal ve metalurjik özelliklerin uygunluğuna dikkat edilen bütün malzemeleri birleştirmek mümkündür. Özellikle, son yıllarda modern teknolojinin geliştirdiği yeni malzemelerin bir çoğu, bilinen kaynak yöntemleriyle birleştirilememektedirler. Buna daha çok, bu malzemelerin belirli sıcaklıklarda istenmeyen yapı dönüşümlerine maruz kalmaları sebep olmaktadır. Difüzyon kaynağı, aralarında seramik ve kompozitlerin de yer aldığı, bir çok yeni ve birbirleriyle birleştirilmeleri ergitme kaynağı ile mümkün olmayan demirli ve demir dışı metal ve alaşımların birleştirilmesini mümkün kılmıştır (Koçer, 1998).

Difüzyon kaynağında işlemin düşük sıcaklıklarda yapılması, birleştirilecek parçalarda deformasyonun az olması ve çok değişik malzeme çiftlerinin birleştirilebilmesi, bu yöntemin avantajlarıdır. İşlemin yavaş oluşu, büyük parçalara uygulanmasının zorluğu ve tahribatsız kontrol imkanının sınırlı oluşu, dezavantajlarını teşkil eder.

Günümüze kadar bir çok araştırmacı değişik malzeme çiftleri ile difüzyon kaynağı uygulaması yapmışlardır. Calvo (1988) alüminyum ile bakırı 520 °C 'de 15 dakikalık süre ve 0.25 ile 1.60 MPa basınç ve 3 saatlik sürede, Patridge (1989) seramikleri 900- 950 °C' de 4 saatlik sürede, Fitzpatrick (1988), Williamson (1981), Stephan (1986) ve Salehi (1990) titanyum alaşımlarının difüzyon kaynağı ile birleştirmelerini gerçekleştirmişlerdir.

Difüzyon kaynağının uygulanmasında, özellikle farklı metal veya alaşımların birleştirilmesinde genellikle bir ara tabaka kullanılır. Ara tabakalar, kaynak alanındaki heterojenliği minimuma indirir ve birleşmenin oluşumunu kolaylaştırır. Ara tabakalar ince folyo şeklinde olduğu gibi, püskürtme veya elektrolitik kaplama şeklinde de olabilir (Guo, 1985; Salehi, 1990; Özdemir' den, 1996).

Yirminci asrın ikinci yarısında tekniğin hızla gelişmesi, beraberinde sanayinin temel girdisi olan malzeme ve malzeme biliminde gelişmelerin hızlanmasını sağlamıştır. Bu amaçla ihtiyaçlara cevap vermek, fiziksel ve kimyasal özellikleri bilinen malzemelerden yararlanarak, yeni bir çok malzemelerle birlikte metal matrisli kompozit malzemeler de üretilmiştir. Metal matrisli kompozit malzemelerin üretilmesinin başlıca sebeplerinden birisi; ekonomik ve yüksek kaliteye sahip malzeme üretim yöntemlerinin geliştirilmesidir. Metalik kompozitler üzerinde yapılan çalışmalar, özellikle yüksek sıcaklıklarda kullanılabilecek yüksek mukavemetli, rijit malzemelerin geliştirilmesi yönünde yoğunlaşmıştır.

Bu çalışmada Al matrisli Al_2O_3 takviyeli kompozit malzeme, difüzyon yöntemi ile birleştirilmiştir ve böylece bir metal çift oluşturulmuştur. Bu çalışma ile alüminyum matrisli Al_2O_3 takviyeli kompozit malzemenin katı hal birleştirme yöntemi ile birleştirilmesinde takviyenin birleştirme parametrelerine olan etkilerinin belirlenmesine çalışılmıştır.

2.KATI HAL BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Kaynak yöntemleri mekanizmalarına göre :

- 1.Ergitme Kaynağı,
- 2.Lehimleme,
- 3.Katı Hal Kaynağı olmak üzere üç ana grupta toplanabilir (Meahara, Komizo, Langdon, 1986; Koçer'den, 1998).

Katı hal kaynağı, aynı ya da farklı iki malzemenin, malzemeler ergitilmeksizin; eğer ergime olmuş ise, ergimiş metalin ekstrude edildiği ve nihai birleştirmenin iki katı yüzey arasında meydana geldiği bir kaynak usulüdür (Koçer,1998).

Katı hal kaynağını yapmak için, iki malzemenin temiz yüzeylerini, aralarında bir bağ oluşacak kadar birbirlerine yaklaştırmak gerekir. Bunu sağlamak üzere birçok teknik uygulanmakta ise de, bütün işlemlerde esas olan, üzerinde bir tabaka bırakmayacak şekilde iki yüzeyi mikroskobik ölçekte deforme edecek bir basınç uygulamaktır (Lancaster, 1987). Birleştirme işlemine tesir eden diğer faktörler daha sonra izah edilecektir.

Başlıca katı hal kaynak işlemleri şu şekilde gruplandırılabilir:

1. Yüksek sıcaklıkta basınç kaynağı,
2. Soğuk basınç kaynağı,
3. Sürtünme kaynağı,
4. Patlama kaynağı,
5. Ultrasonik kaynak,
6. Difüzyon kaynağı.

2.1.Difüzyon Kaynağı

İngiliz standartları 499' da difüzyon kaynağı: Birleştirilmek üzere eşleşmiş iki yüzeyin, malzemelerin ergime noktaları altındaki bir sıcaklıkta, malzemelerde tespit edilebilir plastik akmaya sebep olmayan bir basınç altında, katı hal difüzyonu yoluyla malzemeler arasında metalurjik bir bağ oluşuncaya kadar, malzemenin özelliklerini önemli ölçüde etkilemeyecek bir sürede tutulmasıyla uygulanan kaynak yöntemi olarak tanımlanmaktadır (Fitzpatrick, Broughton, 1988). Malzemelerin ara yüzeylerinde uygulanan bir sıcaklıkla ergiyen bir ara tabaka kullanıldığı takdirde, buna "Sıvı Fazlı Difüzyon Kaynağı" denir.

Difüzyon, bir konsantrasyon gradiyentinden doğar; yani atomlar yüksek konsantrasyonda bulundukları bir bölgeden konsantrasyonların daha düşük olduğu bir bölgeye göç ederler (Oğuz, 1988). İki bölge arasındaki konsantrasyon farkı ne kadar büyük olursa, atomlar yüksek konsantrasyonlu bölgeden düşük konsantrasyonlu bölgeye o kadar hızla difüze olurlar.

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

En hızlı difüzyon gazlarda meydana gelir, sıvı ve katılarda bu olay daha yavaş olur. Difüzyon, katılarda atomların veya boşlukların titreşimleri ve etraflarındaki boş noktalara ya da kafes noktalarına sıçramaları ile meydana gelir (Özdemir, 1996).

Difüzyon kaynağında ara yüzeydeki ilk bağlantılar atomlar arasındaki çekimle oluşur. Aynı kristal yapıya sahip katı bir malzemenin atomları arasındaki çekim, kohezyon kuvvetlerini doğurur. Normal olarak her bir atom, üzerine tesir eden kuvvetin sıfır olduğu bir pozisyonu işgal eder. Ne var ki, katı malzeme, harici kuvvetlerin etkisiyle gerildiği zaman; atomlar denge pozisyonlarını terk ederler ve kristalin içinde, dış kuvvet tarafından dengelenen bir gerilme meydana getirirler. Atomlar arasındaki çekim kuvveti, birbirlerinden uzaklaşma dereceleri ile orantılı olarak artar, bir maksimumdan geçer ve sonra azalır (Lancaster, 1987).

Farklı iki katının yüzeyleri arasındaki çekim ise, adhezyon olarak adlandırılır. Aynı ya da farklı iki katının bir araya getirilmesi, yüzeyleri arasında bağ oluştururken; aynı cins katı yüzeyleri arasında kohezyon kuvvetlerinden dolayı kohezyon, farklı cins yüzeyler arasında da adhezyon kuvvetlerinden dolayı adhezyon işi yapılmış olur. Kohezyon ve adhezyon işi, yüzeyin serbest enerjisinin fonksiyonudur. Ayrıca, iki gevrek malzeme, ya da bir gevrek, bir sünek malzemeden oluşan bir bağlantı için (mesela metal-seramik) adhezyon işi, bağlantı mukavemetinin bir ölçüsüdür (Lancaster, 1987).

Adhezyon ve kohezyon kuvvetlerinin teşekkülü, yani malzeme yüzeyleri arasında birleşmenin sağlanması için, malzeme yüzeylerinin, atomlar arası bağın oluşabileceği yakınlıkta temas haline getirilmeleri gerekir.

İki malzemenin difüzyonla birleştirilmesinde, birleştirmenin davranışını önemli ölçüde etkileyen bir diğer kuvvet de, malzemelerin kimyasal yapısına bağlı olmaksızın, moleküller arasında etki eden Van der Waals kuvvetleridir. Van der Waals kuvvetleri, gres, su buharı, gaz gibi metal yüzeyindeki yabancı moleküllerin absorpsiyonunun başlıca sebebidir (Lancaster, 1987). Öte yandan metalik malzemelerin yüzeyleri temas ettirildiğinde, Van der Waals kuvvetleri, birleşmeyi sağlayan önemli unsurlardan birisi olmaktadır (Guo, 1985).

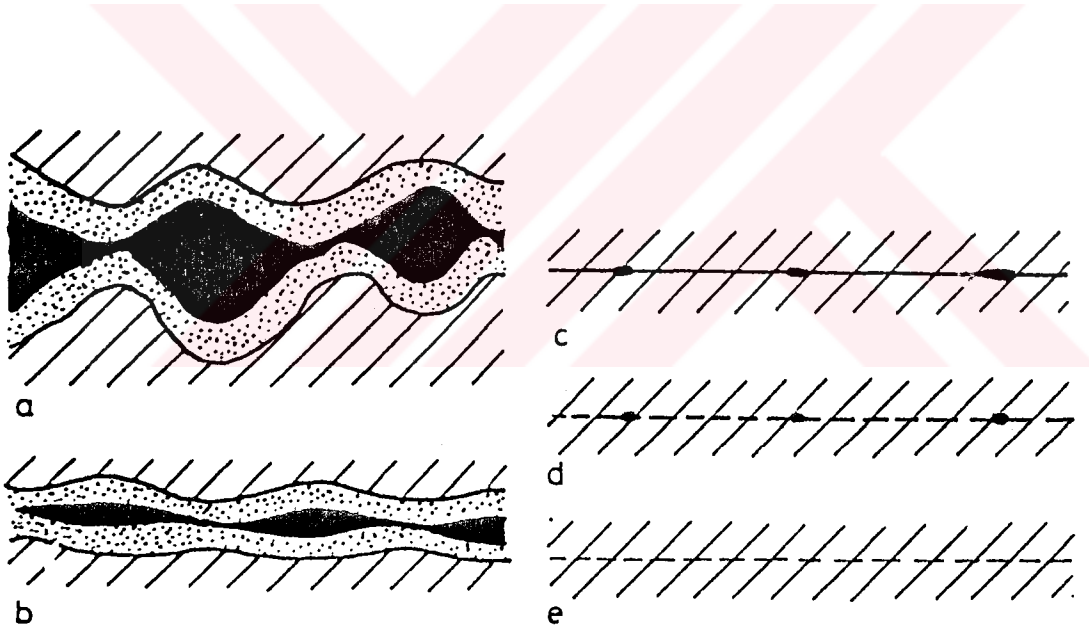
Kısaca ifade etmek gerekirse; difüzyon esaslı birleşme işlemini başlatabilmek için iki yüzey, artıklardan ve makro pürüzlülüklerden arındırılmış bir şekilde temas haline getirilmelidir. Bu temas, atomlar arasında bağ oluşumuna imkan verecek bir yakınlıkta olmalıdır. İlk bağ oluşuktan sonra, sıcaklık yardımıyla difüzyon ve sürünme başlar, yüzeylerin ara kesitindeki boşluklar doldurulur.

Difüzyon kaynağının modellenmesi konusunda King ve Owczarski, Garmon ve arkadaşları (Guo' dan, 1986), White ve Allen (1981), Derby ve Wallach (1989), Pilling ve Ridley (1984), Meahara (1985), Orhan (1996) gibi araştırmacılar, çalışmalar yapmış ve sonuçlarını yayınlamışlardır. Kurulan modeller, pratik çalışmalarla uyum göstermiştir.

Yapılan çalışmaların ışığında, difüzyon kaynağı mekanizması şu şekilde genelleştirilebilir;

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

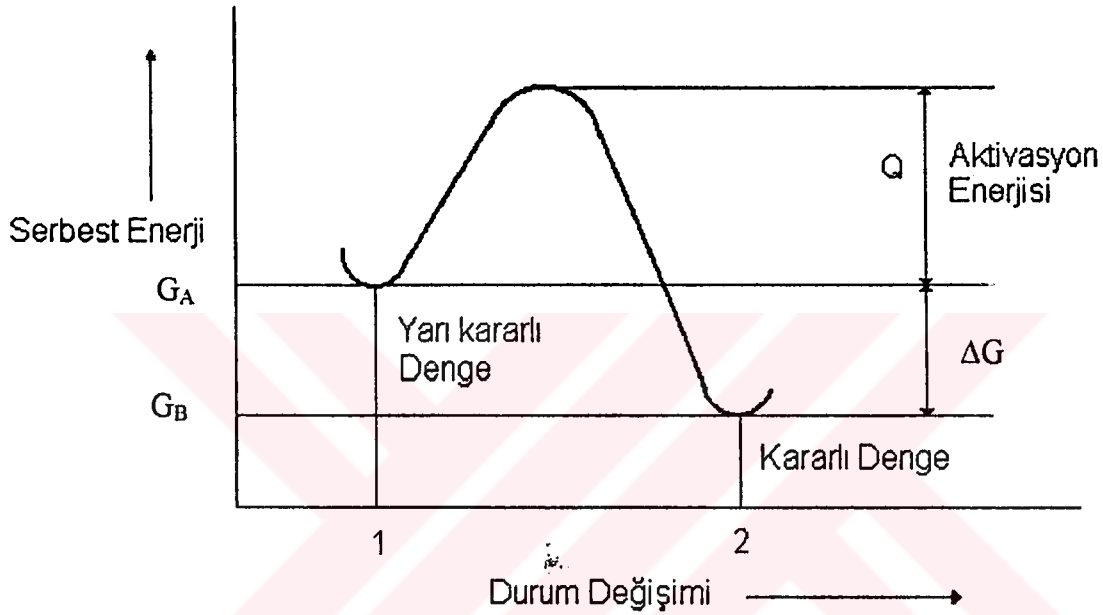
Son yıllarda Guo (1985) ve Salehi (1990) gibi araştırmacılar, difüzyon mesafesi ve süperplastiklik gibi hususları da hesaba katan araştırmalar yapmışlardır. Şekil 2.1'de Spanswick (1989) tarafından verilen difüzyon kaynağı mekanizmaları görülmektedir.



Şekil 2.1. Difüzyon Kaynağı Mekanizması: a-İlk Nokta Teması ve Oksit Tabakası; b- Plastik Deformasyon ve Sürünme Sonrası, Daha İnce Bir Oksit Tabakası Ve Geniş Boşluklar; c- Nihai Sürünme ve Akma Sonrası; d- Yüzey ve Hacim Difüzyonu ile Boşlukların Doldurulması; e- Tamamlanmış Kaynak (Spanswick, 1989).

2.2. Katılarda Difüzyon

Katılarda martenzitik faz dönüşümleri dışındaki diğer bütün durum değişimlerinde dönüşümler, difüzyon esastır. Bu dönüşümler kademeli olarak ve sistemin serbest enerjisinin azalması ile devam eder. Şekil 2.2' de serbest enerjinin durum değişimine bağıllığı görülmektedir.

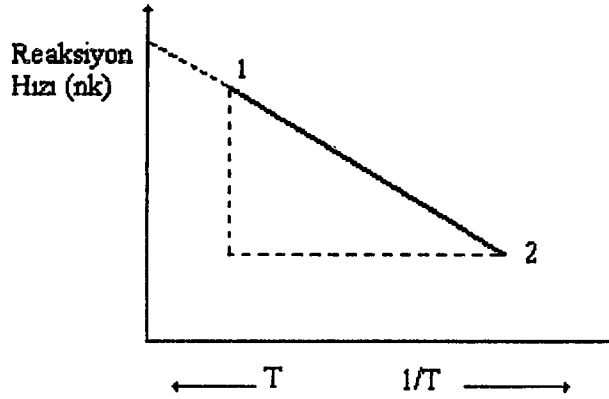


Şekil 2.2. Serbest Enerjinin Durum Değişimine Bağıllığı (Güleç, Aran, 1985)

Kararlı denge durumuna varıldığında serbest enerji en alt seviyeye ulaşır (2.Durum). Şekil 2.2' de 1 numara ile gösterilen durum, yarı kararlı durum olarak adlandırılır. 1.durumdan 2.duruma geçiş için sisteme Q aktivasyon enerjisinin verilmesi zorunludur. Ancak o zaman serbest enerji azalma göstererek 2.duruma ulaşabilir. Burada Q enerjisine aktivasyon enerjisi adı verilir. Bu enerji;

1. Sıcaklığın artması,
2. Pekleşme oluşturacak şekil değişimi,
3. Elektrik ve manyetik alanlar yardımıyla sağlanabilir.

Atomlar ve boş yerlerin yer değiştirme hızına “k” dersek, “k” değeri Arrhenius denklemi ile tanımlanır. Hız değerini veren eşitlik, denklem 2.1’ de verilmiştir.



şekil 2.3. Aktivasyon Enerjisinin Arrhenius Denklemi Yardımıyla Saptanması

$$k = D_0 \cdot \exp.(-Q/R.T) \quad (2.1)$$

Burada;

D_0 : Malzemeye bağlı sabit,

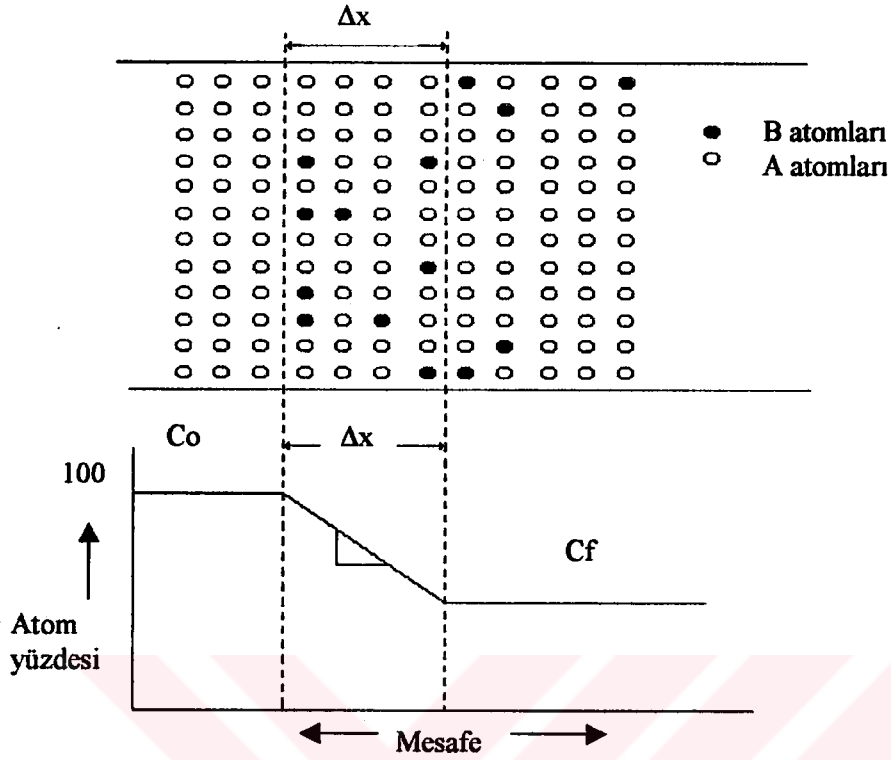
Q : Aktivasyon enerjisi,

R : Gaz sabiti,

T : Mutlak sıcaklık şeklinde ifade edilir (Güleç, Aran, 1985).

k değeri, artan sıcaklıkla sürekli artar, mutlak sıfır sıcaklığında ise sıfır olur. Atomların ve boş yerlerin yer değiştirmelerine ısıl aktivite adı verilir. Toparlanma, yeniden kristalleşme, sürünme ve difüzyon birer ısıl aktivitedir (Güleç, 1985).

Difüze olan cismin yoğunluğunun farklı noktalarda değişik olması halinde, yüksek yoğunluklu noktadan düşük yoğunlukluya doğru difüzyon başlar ve konsantrasyon her yerde aynı oluncaya kadar devam eder. Bunun sonucu olarak, difüzyon hızı herhangi bir nokta ve yönde, yoğunluk gradiyentine bağlı olur. Bu nedenle, difüzyon katsayısı, herhangi bir kesit alandan akan toplam kütlenin, bu kesite dik yöndeki mesafeyle, yoğunluk değişimine oranı olarak tanımlanabilir. şekil 2.4’ de konsantrasyon gradiyenti şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Konsantrasyon Gradiyentinin Şematik Gösterimi

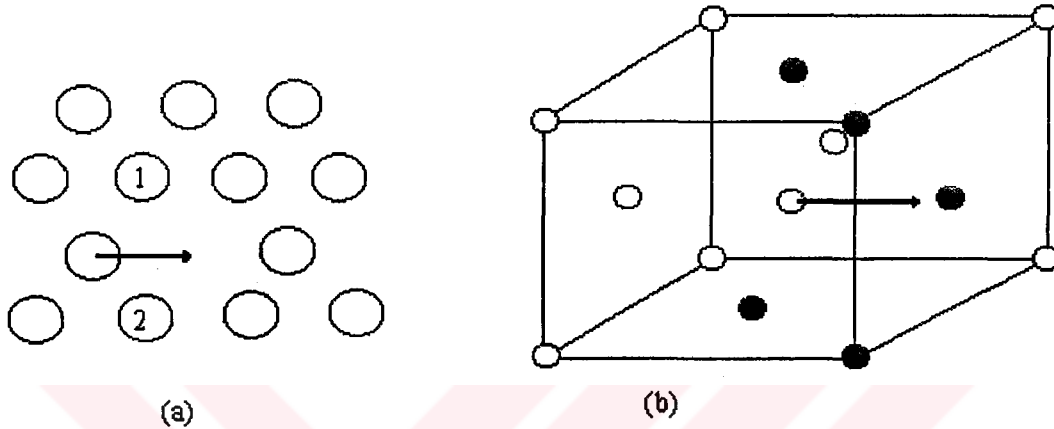
2.3. Difüzyonda Atomik Mekanizmalar

2.3.1. İkame (Yer Alan) Difüzyonu

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

İkame atomları, ekseriya bir boşluk mekanizması ile difüze olurken, daha küçük çaptaki ara yer atomları, daha büyük çaplı atomlar arasında zorlanarak ilerlerler. Normal olarak, bir ikame atomunun hareketi, komşuları tarafından sınırlandırılmıştır ve atom başka kafes noktasına hareket edemez. Bununla beraber, bir komşu nokta boş ise, şekil 2.5.a' da gösterildiği gibi, atom bu boşluğa atlayabilir. Şekil 2.5.b' de atlamanın

meydana gelebilmesi, taranarak gösterilen atomların, göç eden atomun alanından geçmesini sağlayacak yeterli titreşim enerjisini elde etme ihtimaline bağlı olmaktadır. Bir atomun katı içerisinde göç edebilme oranı boşluk konsantrasyonu ile ilgilidir. Sıçrama olasılığı ve boşluk konsantrasyonu, sıcaklığa karşı oldukça hassastırlar.



Şekil 2.5. K.Y.M.' li Bir Kafeste Atomun Boş Bir Konuma Hareketi

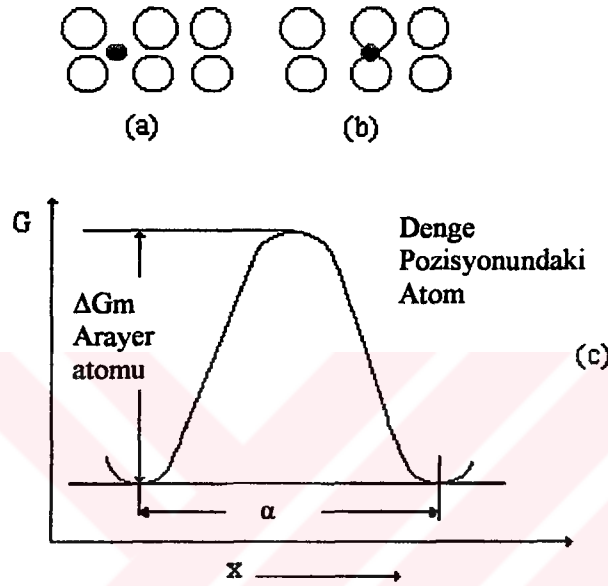
- a. (Kapalı) Sıkı Paket Düzlemi,
- b. Atlama Meydana Gelmeden Önce Yer Değiştirmesi Gereken Dört Atomu (Taralı) Gösteren Bir Kafes Birimi (Özdemir, 1996).

2.3.2. Ara Yer Difüzyonu

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

Ara yer atomlarının yoğunluğu, genelde düşüktür. Dolayısıyla mevcut ara yer noktalarının az bir kısmını işgal ederler. Yani bir ara yer atomu boşluk noktaları ile kuşatılmış olup ısı enerjisinin, deformasyon enerjisi engelini aşmaya izin verdiği oranda başka bir pozisyona atlar. İşte ara yer atomlarının kafes örgüsü içindeki başka

bir ara yer noktasına göçü şeklinde gerçekleşen difüzyona “Ara yer Difüzyonu” denir. Bir ara yer atomunun difüzyonuna ait şematik resim ve serbest enerji değişimi Şekil 2.6’ da gösterilmiştir. Ara yer atomunun serbest enerjisi, uygulanan gerilme ile ya da verilen enerji ile artar, atom komşu ara yere ulaştığında, serbest enerjisini en aza indirerek denge konumuna varır.



Şekil 2.6. Ara yer Atomu Yer Değiştirmesi ve Aktivasyon Enerjisi Değişimi

- Denge Pozisyonunda,
- Maksimum Kafes Distorsiyonu Pozisyonunda,
- Ara yer Pozisyonunun Bir Fonksiyonu Olarak, Kafesin Serbest Enerjisindeki Değişme (Easterling, 1989).

2.4. Difüzyon Kaynağına Tesir Eden Faktörler

Difüzyon kaynağı aşağıdaki faktörlerin tesiri altındadır:

- Kaynak şartları: Sıcaklık, zaman, basınç, yüzey pürüzlülüğü ve çalışma ortamı (atmosfer).
- Birleştirilecek malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri: Mekanik özellikler, kristal yapıları, tane boyutu, atom yarıçapı, yeniden kristalleşme sıcaklıkları ve yüzey enerjileri.

- c. Metallurjik özellikler: Farklı metal ya da malzeme çiftlerinin karşılıklı çözünabilirliği ve metaller arası bileşik teşekkülü (Guo, 1985; Lancaster, 1987; Salehi, 1990).

2.4.1. Kaynak Sıcaklığı

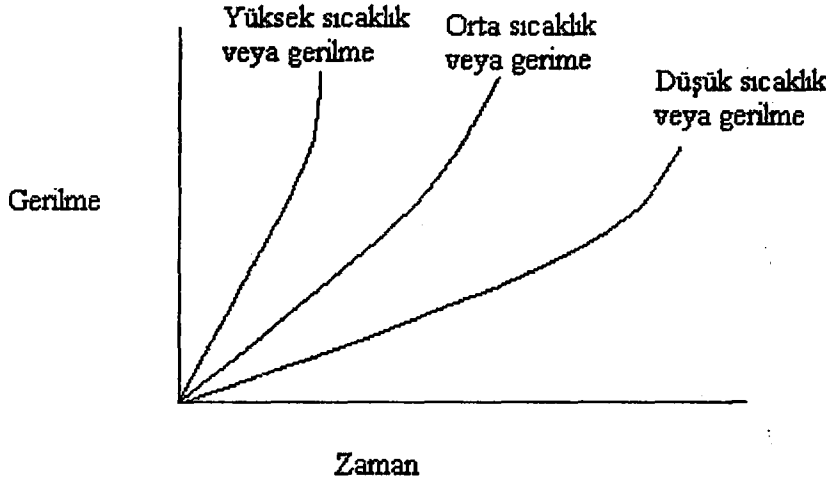
Difüzyon kaynağında sıcaklık (deformasyona, oksit çözünürlüğüne, allotropik dönüşüme, yeniden kristalleşmeye, sürünme ve difüzyona ve işlemin kısa sürede oluşmasında etkili olduğundan) en önemli kaynak parametresidir. Aynı cins metallerin birleştirilmesinde işlem sıcaklığı (T_k), T_m (°K) metalin ergime sıcaklığı olmak üzere:

$$T_k \approx (0.5 - 0.7) T_m \quad (2.2)$$

olarak alınır.

Difüzyon kaynağında sıcaklık kadar ısıtma ve soğutma hızları da önemlidir. Endüstriyel çalışmalar için 50 °C/dakika'lık ısıtma hızı olumlu sonuçlar verirken, farklı metallerin birleştirilmesinde lineer ısı genleşme katsayılarına bağlı olarak 15 °C/dakikalık bir maksimum ısıtma hızı önerilmektedir (Ceyhun, 1996).

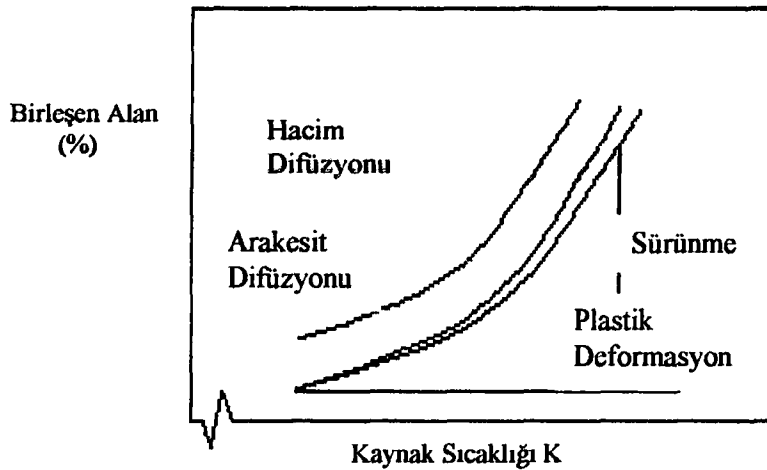
Sıcaklık arttıkça ana malzemelerin akma gerilmeleri azalır. Böylece hem ilk plastik deformasyon, hem de yüzey pürüzlerinin sürünmesi kolaylaşır. Dolayısıyla kaynak için gerekli temas alanını elde etme süresi kısalmış olur. Şekil 2.7' de uygulanan basınç ve sıcaklığın sürünme eğrisine tesiri görülmektedir.



Şekil 2.7. Sıcaklık ve Uygulanan Basıncın Sürünme Eğrisine Tesiri (Askeland, 1989)

Diğer yandan $D = D_0 \cdot \exp(-Q / RT)$ denkleminde (D : T sıcaklığında difüzyon katsayısı; D_0 : Atomik titreşim frekans faktörü; Q : Aktivasyon enerjisi (Jmol^{-1}); R : Gaz sabiti ($8.314 \text{ Jmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$)), difüze olabilirliğin, sıcaklıkla logaritmik olarak değiştiği görülmektedir (Askeland, 1989; Salehi, 1990).

Pratikte, difüzyon kaynağında kullanılan sıcaklığın değeri malzemenin mutlak ergime sıcaklığından daha büyük olan sıcaklık değerleridir (Partridge, 1989). Bu sıcaklığın, mümkün olduğu kadar yüksek, sabit ve üniform olarak uygulanması gerekir (Salehi, 1990). Sıcaklığın birleşen alan üzerindeki etkisi Şekil 2.8' de görülmektedir.

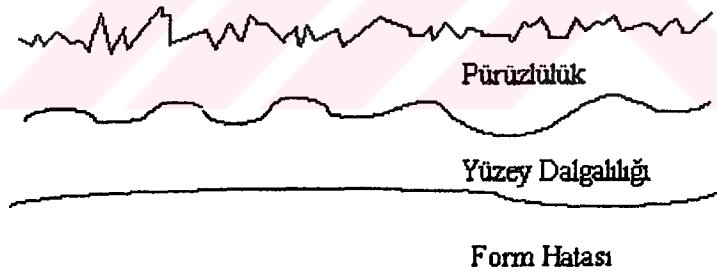


Şekil 2.8. Sıcaklığın Birleşme Miktarı Üzerindeki Etkisi (Partridge, 1989).

2.4.2. Yüzey Şartları

Bir metal yüzeyinde, özenli bir çalışma ile hazırlanmış olsa da, çeşitli yabancı maddeler bulunmaktadır. Kaynak yapılacak metallerin bağlantı yüzeylerinin yeteri kadar kir ve oksit artıklarından temizlenmesi gerekir. Birleşme yüzeylerinde oksit oluşumunu sağlayan gazlar giderilmelidir. Bu nedenle kaynak işlemi vakum ya da koruyucu gaz altında yapılmalıdır. Oksit gibi organik filmler, mekanik olarak kırıldıkları için genelde kaynak işlemine engel olmazlar. Hareketli organik yüzey kirleri ise kaynak işlemine büyük engel yaratırlar (Ceyhun, 1996).

Haddelenmiş halde, bilhassa ince levhalar, iyi bir yüzeye sahip olma açısından avantajlıdır (Partridge, 1989). Yüzey pürüzlülüğü 1.safha sonundaki kalıntı gözeneklerin başlıca sebebidir. Pürüzlülük, sıcaklık ve deformasyonla artar. Yine süperplastik deformasyon esnasında, yüzey pürüzlülüğü artarak, tane sınırı hareketine katılmaktadır. Şekil 2.9 ve Şekil 2.10, sırasıyla, yüzey kusurlarını ve pürüzlülüğün sıcaklıkla değişimini göstermektedir.



Şekil 2.9. Yüzey Kusurları (Orhan, 1996).

Klaphak (1987), yüzey pürüzlülüğünün matematik modellemesini yapmış ve işleme izlerinin periyodik ve tekrarlı bir sinüs dalgası şeklinde olduğunu göstermiştir.

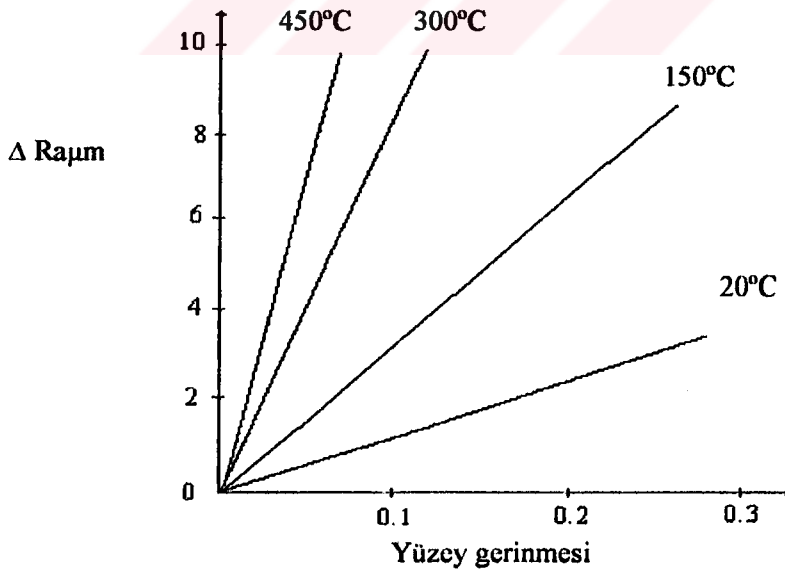
Yüzey artıkları deneysel değişkenler olmamakla beraber, hemen hemen bütün yüzeylerde bazı şekillerle mevcuttur. Bunlar iki gruba ayrılabilir:

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

Oksit filmleri, yaklaşık 10–20 atom mertebesinde bir derinliğe nüfuz eden tabakalardır. Bütün sıcaklık değerlerinde H_2O , CO_2 ve SO_2 gibi gazlar, oksit film kalınlığını artırmaktadır. Oksit tabakaları birleşecek yüzeylerin temasını önleyip, birleşme esnasında difüzyon yoluyla sinterlemeye yol açarak, bağ teşekkülünü geciktirir ve arakesitte tane sınırı difüzyonunu engelleyerek, boşluk kalmasına sebep olur (Guo, 1985). Oluşması muhtemel, makro, mikro ve başlangıç teması boşluklarından sonuncusunun sebebi oksit filmleridir (Partridge, 1989).

Yüksek sıcaklıklarda ($<0.5 T_e$, T_e : Mutlak ergime sıcaklığıdır) birçok metal oksidi (Cu, Ti, Zr, Nb, Ta ve Mo gibi elementlerin oksitleri), ana metal içinde çözünür ya da dağılır (Ag_2O gibi). Dolayısıyla bağlantıya zarar vermez. Al_2O_3 gibi oksitlerle, nitrür ve karbür filmleri ise metaller arası bağ oluşmasına engel olurlar (Salehi, 1990).

Brynt (1975), metal oksitlerinin meydana getirdiği oksit filmlerini, difüzyon kaynağı üzerindeki etkilerine göre, metalde oksijenin çözünürlüğü ve standart oksit oluşum enerjisi (ΔEGO°)'nin bir fonksiyonu olarak sınıflandırmıştır. Buna göre, - 350 kcal / mol' den daha düşük bir standart serbest oksit oluşum enerjisine sahip olan, oksijen çözünürlüğü az metallerin difüzyon kaynağı zordur.



Şekil 2.10. Yüzey Deformasyonu ile Pürüzlülük Arasında Sıcaklığa Bağlı Değişme (Partridge, 1989).

Sunwoo (1994), alüminyum alaşımlarının difüzyon kaynağında vakum altında bile alüminyum oksidi çözmenin mümkün olmadığını belirtmiştir. Yalnız, alüminyum lityum alaşımlarının difüzyon kaynağında oksit tabakası yerine Al-Li spinalleri oluştuğu tespit etmiştir.

Calvo v.d. (1988), bakır ile demirin difüzyon kaynağında difüzyon bölgesi oluşumunun bakırdaki oksitten fazla etkilenmediğini ileri sürmektedirler. Oksijenin demire olan aktivitesinin daha yüksek olması sebebiyle, bilhassa düşük sıcaklıklarda, demirin bakırdaki çözünürlüğünün azalması ile demir oksit oluşumu artmaktadır.

Yağ, gres, toz, hatta parmak izi gibi artıklar, aşağı yukarı oksit filmleriyle aynı etkiye sahiptirler. Dolayısıyla, kaynaktan önce yüzeyden uzaklaştırılmaları gerekir. Oksit filmlerinin kaldırılması için, kimyasal dağlama ve asitle temizleme yöntemleri kullanılır. Diğer artıklar, yıkama ve 300 °C' ye kadar sıcaklıkta kurutma ile uzaklaştırılabilir.

2.4.3. Kaynak Basıncı

Difüzyon kaynağında basınç, iki yüzey arasında ilk teması gerçekleştirmek ve difüzyon işlemini başlatmak üzere kimyasal bir potansiyel farkı üretmek için gerekli olmaktadır. Daha önce belirtildiği gibi, yüzey oksitleri kırılmadan teması başlatmak mümkün değildir. Basınç değeri, uygulanacak kaynak sıcaklığında, birleştirilecek malzemelerin mekanik özelliklerine ve gerekli olan biçimlendirme derecesine bağlıdır.

Kaynak esnasında uygulanması gereken basınç, difüzyon kaynağına şu şekilde tesir eder:

1. Yüzey pürüzlerinin plastik akmasına yardım eder.
2. Çözülmesi mümkün olmayan yüzey oksitlerini metalin metalle temasını sağlamak için kırar ve temas alanını artırır.
3. Birleşecek yüzeyleri birbirlerine atomlar arası mesafede yaklaştırarak, atomlar arası çekim kuvvetlerinin faaliyete geçmesini temin eder.
4. Difüzyon için kimyasal potansiyel farkı meydana getirir (Orhan, 1996).

Uygulanan basıncın olumsuz tesirlere sebep olmaması için aşağıdaki hususlara da dikkat edilmektedir:

Uygulanacak basınç, yüzey pürüzlerinin sürünme hızı ve plastik deformasyonunu artıracak kadar büyük; kaynak edilecek parçaların mikroskobik deformasyonuna yol açmayacak kadar küçük seçilir (Nichting, 1986; Lancaster, 1987;Guo, 1985;Egan, 1980;Partridge 1989; Salehi, 1990).

Kaynak basıncı, birleştirilecek parçaların plastik hacim deformasyonunu en aza indirmek için, akma gerilmesinin belirgin şekilde altında tutulur.

Uygulanacak basınç izostatiktir. Mohammad, basıncın uygulanma hızının kaynak deformasyonu veya mukavemeti üzerinde önemli herhangi bir tesiri olmadığını bildirmiştir (Salehi, 1990; Koçer' den, 1998).

Dubrovsky (1986), temas alanındaki deformasyon miktarı arttıkça difüzyon hızının arttığını belirtmektedir. Aynı araştırmacı, bakır ve demirin difüzyon kaynağı üzerinde yaptığı çalışmada basıncın difüzyon kaynağı üzerindeki etkisini, efektif difüzyon katsayısı olarak tanımlamıştır. Buna göre:

$$\text{Efektif Dif. Kts.} = \frac{\text{Deformasyonlu Dif. Kts.} - \text{Deformasyonsuz Dif. Kts.}}{\text{Deformasyonsuz Difüzyon Katsayısı}}$$

dir.

Uygulanan basınç malzemede kusurlar ve arakesit bölgesinde nispeten daha küçük bir tane yapısı meydana getirerek kısa devre difüzyon yolları da indükleyebilmektedir (Haufler v.d.,1986) .

Kaynak basıncının artması, yüzeydeki oksit tabakasını kırması yanında, yapıda arakesite yakın sert oluşumların kopması ya da kırılması ve böylece kaynak süresinin kısılmasına yol açmaktadır (Calvo v.d., 1989).

Uygulamalarda genellikle basınç üst sınırı olarak malzemenin kaynak sıcaklığındaki akma dayanımı alınmaktadır. Yapılan araştırmalarda 0.07–4 MPa arasında değişen basınçlarla başarılı denemeler yapılmakla birlikte, tatminkar sonuçlar 1.5 – 3 MPa arasında alınmaktadır (Orhan, 1996).

Salehi (1990), günümüze kadar difüzyon kaynağında çeşitli malzemeler için uygulanan basınç değerlerinin 41 KPa ile 2.7 MPa arasında olduğunu söylemekte ise de, Walsh (1986) 3.2 MPa ve Maeda (1988) 5 MPa'lık kaynak basınçları kullanmışlardır.

2.4.4. Kaynak Süresi

Süre, bağımlı bir işlem parametresi olup; sıcaklık, basınç ve birleşme türü ile ilişkilidir. Her malzeme ya da malzeme çifti için gerekli süre birkaç saniyeden, birkaç saate kadar değişebilir (Ceyhun, 1996).

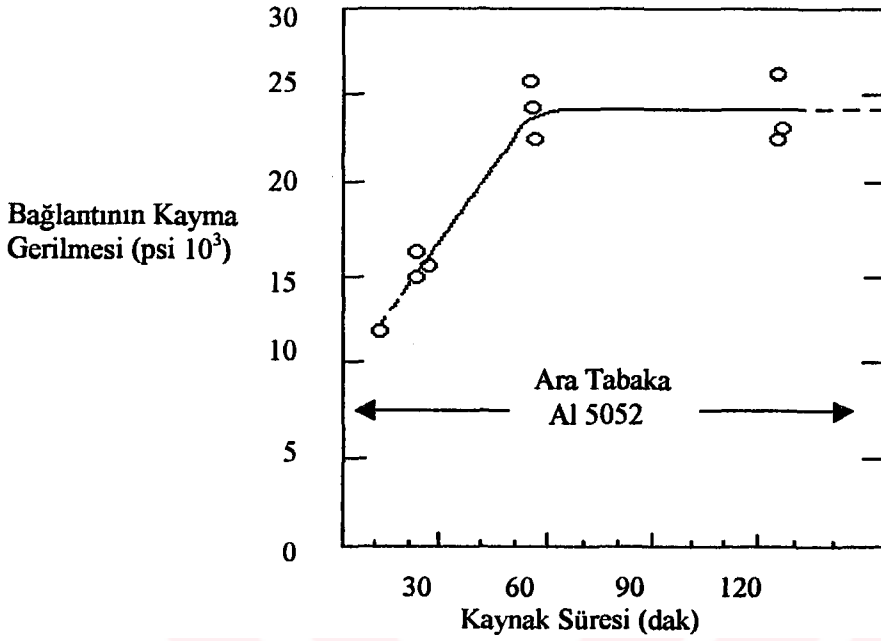
Kaynak süresi, sıcaklık ve basınç artırılarak kısaltılabilmektedir. Kirli yüzeyler ve düşük sıcaklıklarla çalışması halinde, süre uzamaktadır.

Kazakov (1962), sabit basınç ve sıcaklıkta birleştirme süresini uzatmanın, bağlantı mukavemetini bir noktaya kadar artırdığını göstermiştir (Salehi, 1990). Bu durum şekil 2.11' de görülmektedir.

Bağlantı mukavemeti ile kaynak süresi arasındaki ilişki, aslında bu kadar basit değildir. Metaller arası bileşiklerin meydana gelmesi, tane büyümesi; özellikle, süper plastik şekillenme performansı ve bağlantı mukavemeti, süre uzadıkça olumsuz bir şekilde gelişmektedir (Koçer, 1998).

Metallük tesirlerin birleşme süresi üzerinde fazla etkili olmadığı tespit edilmiştir. Endüstriyel uygulamalarda birleşme süresini kısa tutmak, ekonomiklik açısından önemlidir. Kaynak süresinin uzun olması kaynak ekonomisi açısından bir dezavantaj oluştururken, boşlukların oluşumunu, bileşimin değişimini ve kırılğan metaller arası bileşiklerin oluşumunu teşvik etmesi gibi bağlantının mekanik özelliklerini bozan olumsuzluklara da neden olabilir.

Difüzyon kaynağında geçen süre iki devre olarak tanımlanmaktadır. Birinci devre bir olgunlaşma (kuluçka) sürecidir. Burada yüzeyler arasında temas alanı artmakta ve aşırı deformasyon bölgeleri oluşmaktadır. İkinci devrede ise kayma ve tane sınırı göçünün görüldüğü yoğun sürünme ile birlikte yeniden kristalleşme olayları hakimdir.



Şekil 2.11. Bağlantının Kayma Mukavemeti ile Kaynak Süresi Arasındaki İlişki (Salehi, 1990).

2.4.5. Kaynak Ortamı (Atmosferi)

Difüzyon kaynağında, parça yüzeyleri ve arakesitte oksidasyondan sakınmak için koruyucu bir atmosfer kullanılır. Bu amaçla, ya vakum altında ya da bir soy gaz atmosferinde çalışılır. Böylece kararsız ya da oksijen çözünürlüğü yüksek oksitlere sahip metallerle, normal atmosferde de tatminkâr bir bağlantı elde edilebilmektedir.

Soy gaz olarak argon, helyum ve azot kullanılabilir. Oksijen miktarını en aza indirmeye yardım eden hidrojen de redükleyici bir atmosfer olarak düşünülmektedir. Ancak, hidrojenin, titanyum ve zirkonyum ile tantal alaşımlarında hidrat oluşturması, dikkat edilmesi gereken bir husustur (Salehi, 1990).

Soy gazlar atmosferik oksijenin tesirini ancak belli bir dereceye kadar azalttığından, kararlı oksitlere sahip metallerde vakum kullanılmaktadır. 1.3×10^{-3} Pa' dan daha fazla bir vakum oksit filmlerinin çözünmesini sağlayabilmekte ise de, uygulamada 1.3×10^{-2} ile 1.3×10^{-5} Pa' lık basınçlar kullanılmaktadır (Maeda, 1988; Calvo v.d., 1988; Andrzejewski, 1993). Vakum sırasında parçanın birleştirilecek ara

yüzeyi oksitlenmeden korunduğu gibi, yüzeydeki yabancı maddelerin süblimasyonu da sağlanmaktadır. Vakum ortamında yapılan kaynaklı birleştirmeler, vakum çok yüksek olmasa bile, yeterince saf olmayan asal gazların koruyuculuğu altında yapılan birleştirmelerden daha iyi dayanım sağlamaktadır.

2.4.6. Birleştirilecek Malzemelerin Mikro Yapıları ve Tane Boyutları

Difüzyon kaynağında etkili olan metalurjik faktörler; mikro yapı, tane boyutu ve ara tabaka kullanılması olarak bilinir. (α/β) titanyum alaşımları üzerindeki araştırmalar farklı mikro yapıların farklı sürünme hızına sahip olduklarını göstermiştir. Mikro yapılar üç gruba ayrılmıştır. İnce taneli küresel, Lamelli, Tabaka tipi (Salehi, 1990). Kararlı sürünme bağıntısına göre alaşımların sürünme hızları efektif aktivasyon enerjisi ile birlikte başlangıçtaki yapıya göre değişmektedir (Guo, 1985).

Kararlı bölgedeki sürünme bağıntısı:

$$\dot{\epsilon} = A\sigma^n \exp(-Q_c / RT) \quad (2.3)$$

şeklindedir. Burada;

$\dot{\epsilon}$: Sürünme hızı,

σ = gerilme,

Q_c = difüzyon aktivasyon enerjisi,

A ve n ise sabittir (Partridge, 1989).

Difüzyon kaynağı için en uygun yapının ince taneli yapı olduğu bulunmuştur. Bu yapı süper plastik alaşımlarda mevcuttur (Koçer, 1998).

Tabaka şeklindeki taneler arttıkça , sürünme hızı azalmakta ve sonuçta arakesitte boşluklar kalmaktadır.

Lamelli yapı (α/β) bölgesinde , diğer iki yapı ile karşılaştırıldığında daha düşük sürünme hızına sahiptir (Guo, 1985; Salehi, 1990). α/β yapısındaki alaşıma ait denge diyagramı Şekil 2.12' de verilmiştir.

Katı halde, birbiri içinde tamamen çözünmeyen alüminyum ve bakır metalleri, bilhassa metaller arası bileşiklerin ve ara fazların oluşması açısından incelenmiştir (Calvo, 1989). Mikro yapının, istenmeyen yapıların meydana gelmesinde etkili olduğunu, tane boyutunun hem kaynak esnasında, hem de kaynak sonrasında, bağlantının mukavemeti açısından büyük önem arz ettiğini göstermiştir.

Tane boyutunun hem kaynak esnasında hem de kaynak sonrasında bağlantının mukavemeti açısından büyük önemi vardır.

Kaynağın ilk safhalarında boşluklar daha fazla sayıda tane sınırıyla kesişir. Dolayısıyla, boşluğu kapatmak için birden çok tane sınırı etki eder (Guo ve Ridley, 1987). Atomlar, bu tane sınırlarında boşluğa difüze olarak, onu küçültürler. Burada, tane sınırı difüzyonu için kimyasal potansiyel farkını doğuran tahrik kuvveti, kısmen, uygulanan basınç ve kısmen de tane sınırı arasındaki açıya bağlıdır. Bu açı 90^0 olduğu zaman, kimyasal potansiyel farkı tahrik kuvveti en yüksek, 0^0 (paralel) olduğu zaman ise en az olmaktadır. (Wallach v.d. , 1989; Koçer' den).

Tane boyutunun küçülüp, tane sayısının artmasıyla, boşlukların difüzyonla doldurulmasının kolaylaştığı ve ara kesitte boşluk kalması ihtimalinin azaldığı görülmektedir (Koçer, 1998).

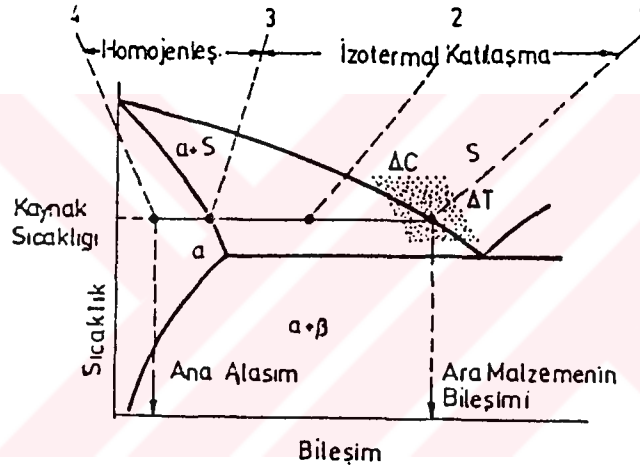
Difüzyon kaynağında, birleşme işlemini hızlandırmak, bağlantının mekanik özelliklerini geliştirmek veya birbirinden farklı metal-metal olmayan (seramik, cam, kompozitler gibi) malzemelerin kaynağında karşılıklı difüzyon çifti oluşturmak için ara tabakalar kullanılmaktadır (Lancaster, 1987). Mesela, Enjo v.d. (1987), kompozit malzemelerin difüzyon kaynağında ara tabaka kullanılması halinde basınç ve sıcaklığın ancak sınırlı ve dar bir bölgede uygulanabileceğini tespit etmiştir.

İlave malzemenin fonksiyonlarını şöyle özetleyebiliriz (Guo, 1985):

- a. Metalik bir bağ oluşturmak için ana metalde çözünmek,
- b. Birbirinden farklı malzemelerin birleştirilmesi halinde intermetalik fazların oluşumunu bastırmak,
- c. Ön ısıtma esnasında, yüksek sıcaklıklarda, birleştirilecek yüzeyleri oksitlenmeye karşı korumak,

- d. Elektro-kaplama, evaporasyon veya iyon kaplama ile malzemelerin difüzyon özelliğini geliştirmek,
- e. Düşük akma gerilmeli malzeme ya da sıvılar ihtiva eden bölgeler oluşturarak, oksit filmlerinin bozulmasını sağlamak,
- f. Arakesit boşluklarında, geçici sıvı fazlar oluşturarak, yüzey pürüzlerinin olumsuz tesirlerini en aza indirmek.

Ara tabaka kullanmanın şekli denge diyagramı üzerinde belirtilmiştir.



Şekil 2.12. Ara Tabakanın Tesiri (Partridge, 1989)

2.5. Difüzyon Kaynağı Teknikleri

Difüzyon kaynağı, günümüzde iki maksatla yapılmaktadır:

1. Bilimsel çalışmalar için araştırma gayesiyle.
2. Mevcut bir tekniği kullanarak bir parçayı üretmek için. Bunlardan birincisi ile teste tabi tutulabilecek difüzyon kaynağı tipleri geliştirilirken; ikincisi ile istenen elemanı elde etmek mümkün olur.

Birleştirilen malzemeler arasında ilave bir malzeme (levha) kullanılıp kullanılmamasına göre difüzyon kaynağı;

1. Difüzyon lehimleme (Ara tabaka kullanılan)
 - a- Tek ara tabaka kullanılan difüzyonla lehimleme.
 - b- Birden çok ara tabaka kullanılan difüzyonla lehimleme.
2. Ani sıvı faz kaynağı (Zhang v. d. , 1987).
3. Direkt difüzyon kaynağı, olmak üzere üçe ayrılabilir.

Difüzyonla lehimlemede, birleştirilecek yüzeyler arasına, ergime sıcaklığı ana malzemelerinkinden daha düşük, levha şeklinde bir ilave malzeme yerleştirilir. Çok katlı ara tabakaları, hem termal gerilmeyi, hem de diğer gerilmeleri giderici ek bir etkiye de sahiptirler. Zhang (1987), ani sıvı faz kaynağını, ilk safhasında hızlı ısıtmayla, yüzeylerden biri ya da her ikisinin basınç altında, çok kısa bir süre için ergitilip hızla soğutulduğu bir difüzyon kaynağı olarak tanımlanmaktadır. Hem difüzyonla lehimleme, hem de difüzyon kaynağında yüzeylerin, çok hassas bir şekilde işlenmiş olmaları gerekirken, ani sıvı faz kaynağında 80 numara zımpara ya da hassas tornalama ile işlenmesinin yeterli olduğu bildirilmektedir. Difüzyonla lehimlemede ara tabaka olarak, herhangi bir kaplama (iyonik-elektro v.s.) da kullanılmaktadır.

Difüzyon kaynağı, uygulanma ortamına göre de;

1. Koruyucu gaz atmosferinde difüzyon kaynağı,
2. Vakum altında difüzyon kaynağı, olarak ikiye ayrılabilir.

Endüstriyel maksatlarla uygulanan difüzyon kaynağı, büyük kütleli parçalara uygulanan difüzyon kaynağı ve ince parçalara uygulanan difüzyon kaynağı olarak ikiye ayrılır. Büyük kütleli difüzyon kaynağı, kalın kesitli işlenmiş parçaların, mekanik olarak uygulanan nisbeten büyük (14 MPa) basınç altında birleştirilmesini ihtiva etmektedir. Japon araştırmacılar, Ti-6Al-4V alaşımından birçok uçak parçasını 10^{-3} Pa vakum altında, 900°C sıcaklıkta, 2,94 MPa bir basınç uygulayarak 2 saatte kaynak etmişlerdir. Difüzyon kaynağı ile üretilen ağır parçalar malzeme kullanım ve masrafını

azaltmak üzere, karmaşık şekilli, işlenmiş ya da dövülmüş parçaların yerini almaktadırlar (Partridge, 1989).

Özetle, difüzyon kaynağı teknikleri aşağıdaki faktörlere göre uygulanmaktadır (Salehi, 1990):

- a. Kaynak atmosferi; hava, soy gaz veya vakumdur.
- b. Kaynak basıncı; mekanik, hidrolik, izostatik ve diferansiyel termal genleşme şeklinde uygulanabilmektedir.
- c. Isıtma; dirençle ısıtma, atmosfer kontrollü fırında ısıtma ya da endüksiyonla ısıtma şeklinde yapılabilmektedir.

2.6. Difüzyon Kaynağına Uygulanan Muayene ve Testler

Difüzyon kaynağında, bağlantının kalitesini tespit için iki türlü test kullanılmaktadır. Bunlar:

1. Tahribatlı Muayeneler,
2. Tahribatsız Muayenelerdir.

2.6.1. Tahribatlı Muayeneler

- a. Çekme Testi,
- b. Bindirme-Kayma Testi ,
- c. Darbe Testi,
- d. Eğme Testidir.

Çekme testi, çekme numunesi yapılabilecek uzunluktaki, difüzyon kaynaklı malzemeler için uygulanmaktadır.

Bindirme-kayma testi, levha şeklindeki malzemelerin bağlantı mukavemetini tesbit etmek için kullanılmaktadır. Numuneler, bağlantının mukavemeti ana metalinkinden daha düşük olduğu zaman bile, çentikten kırılmaktadırlar. Bindirme alanı, genellikle, test esnasında eğilmektedir. Bu sebeple, kırılma yükünden doğrudan

doğruya hesaplanan kayma mukavemeti, bağlantının mukavemetini vermekten uzaktır (Guo, 1985).

Darbe testi birçok araştırmacı tarafından kullanılmış olmasına rağmen, çentiği birleşme hattına yerleştirme güçlüğü vardır. Bu test daha çok çelikler için faydalıdır. Bağlantının darbe mukavemeti, arakesitteki mikro boşluklar yüzünden, birçok halde, ana metalinkinden düşüktür.

Eğme testi, genellikle, numune yuvarlak bir piston tarafından U şeklinde eğilerek uygulanmaktadır. Eğme anında, numunelerin çatlama durumlarına göre, bağlantı kalitesi tayin edilir.

2.6.2. Tahribatsız Muayeneler

Bu muayeneler:

- Metalografi,
- Potansiyel düşmesi (Elektriki direnç değişmesi),
- Transmisyon akustik mikroskobi,
- Elektron mikroskobisi,
- Elektron probu metodu,
- Fotoemisyonlu elektron mikroskobisi, diye sınıflandırılabilir (Guo,1985).

Metalografi, difüzyon kaynaklı bağlantıların mikro yapılarını muayenede esas metot olmasına rağmen; küçük boşlukların optik mikroskopla tayin güçlüğü, bağlantı kalitesini anlamada etkili bir yol olmasını engellemektedir.

Potansiyel düşmesi metodu (verilen akımdaki değişme), daha çok yorulma çatlağı büyümesini tespit için kullanılır. Boşluk tespitinde kullanıldığı zaman ise, ancak büyük boşluklarda iyi sonuç vermektedir.

Geleneksel X ışını ve ultrasonik muayeneler, difüzyon kaynağının iç kesitini muayenede, mevcut kusurların tespitinde, oldukça faydalıdır. Elektron mikroskobisi, bağlantıdaki ara tabakaların kalınlıklarının tespitinde faydalı olurken, bağlantı mukavemeti hakkında fikir vermemektedir.

2.7. Difüzyon Kaynağı Uygulama Alanları

Difüzyon kaynağının uygulama alanlarını şöyle sıralayabiliriz:

- Havacılık ve Uzay Sanayi,
- Nükleer Sanayi,
- Elektronik Sanayi,
- Savunma Sanayi,
- Genel Mühendislik (Koçer' den , 1998).

Genel mühendislik alanında difüzyon kaynağı, kaynak çatlaması, gevrek metaller arası yapıların oluşması tehlikesinin bulunduğu durumlarda kullanılmaktadır.

Difüzyon kaynağının özel avantajlar sunduğu bağlantı türleri:

- a. Difüzyon kaynağıyla, bir defada birleştirilmesi mümkün karmaşık şekilli ve içi boş yapı ve elemanlar birleştirilebilmektedir.
- b. Döküm ve dövme parçalarda difüzyon kaynağı. Dökümlerde karmaşık maçalardan, dövmede girinti açılardan doğan problemlerin üstesinden gelmede kullanılabilir.
- c. Difüzyon kaynağı, havacılık sanayinde daha ucuz, daha verimli, daha hafif ve dizayna daha yakın parçaların üretimini mümkün kılarak, adeta bir çığır açmıştır. Havacılık sanayii difüzyon kaynağını, yüzey- yüzeye ya da kenar-kenara temas eden bağlantıların üretiminde, genellikle dövme ve geleneksel kaynak usullerinin yerine kullanmaktadır.
- d. Nükleer endüstride difüzyon kaynağı çok yaygın olarak kullanılmakla birlikte; Battelle, "Sıcak-izostatik Difüzyon Kaynağı" nı küçük UO_2 levhacıklarıyla düz plaka tipi yakıt elemanları üretiminde kullanmıştır. Bu elemanlar da Westinghouse Bettis basınçlı su reaktörlerinde ikinci çekirdek yüklemesi için kullanılmışlardır. İkinci bir uygulama, Amerikan ordusu için seyyar güç reaktörlerinin, tüp şeklindeki paslanmaz çelik ve UO_2 den oluşan yakıt elemanlarının üretilmesidir (Salehi' den, 1990).

- e. Sıcak izostatik difüzyon kaynağı ile alüminyum kaplanmış tüp şeklindeki uranyum alaşımı yakıt elemanları da üretilmiştir (Salehi,1990, Guo, 1985). Bunların dışında bir başka reaktör için tek parça termo elektrik bir pompa elemanları difüzyon kaynağı ile birleştirilmek suretiyle imal edilmiştir. Nükleer güç reaktörlerinde yaşanan tip Al (SAP 895) alaşımı ile 300 serisinden paslanmaz çelikler arasındaki tüp geçişi difüzyon kaynağı ile yapılmış, Fe-Al metaller arası bileşiklerin oluşmasını önlemek için kaynak bölgesinde , tungsten bir difüzyon engeli kullanılmıştır (Guo, 1985).
- f. Elektronik devre üreticileri, silikon bir parçadan entegre devre üretildikten sonra, çipin bir alt tabakaya bağlanması, çip ve devrelerin elektriki iletken malzemelerle bağlaması gibi işlerde birçok birleşme tekniği kullanılmaktadırlar. Mikro elektronik sanayinde, silikon çiplerin bakır veya Ni-Fe esaslı led çerçevesinde bağlanmasında ara tabaka olarak devre paketlerinin imalinde kullanılan usullerden biri de difüzyon kaynağıdır (Riches, 1989).
- g. Difüzyon kaynağı, plastik sanayinde, ekstrüzyon hatlarında kullanılan basınca dayanıklı ve tam sızdırmaz, enjektörlerin üretiminde de kullanılmaktadır.
- h. Difüzyon kaynağının uygulama alanlarına, referans ve kalibrasyon bloklarının üretimi de girmiştir. Özellikle, hassasiyetin ve mukavemetin sağlanması amacıyla, farklı malzemeler birleştirilerek imal edilen, bileşik malzemeler, bu konuda difüzyon kaynağını avantajlı kılmaktadır.
- i. Bu konuda diğer potansiyel uygulamalar ise; ısı değiştiricilerinin kaplanması ile geliştirilmiş malzemelerin metal matrisli kompozit ve seramiklerle birleştirilmesidir (Spanwick, 1989).

Tablo 2.1’ de bazı metal çiftlerinde uygulanan basınç miktarı ve çekme testi sonucu birleşebilirlik verim oranı verilmiştir.

Tablo 2.1. Difüzyon Kaynaklı Birleştirmelerde Birleşebilirlik Oranı (Brandes, 1983, Yılmaz' dan)

Malzeme Kombinasyonu	Birleşme Mukavemeti (MPa)	Çekme testiyle Birleşebilirlik Verim Oranı (%)
Yumuşak çelik / Yumuşak çelik	465	100
HSS çeliği / HSS çeliği	1160	90
Yumuşak çelik / Dökme demir	430	100
Paslanmaz çelik / Dökme demir	525	100
Dökme demir / Alüminyum	865	100
Yumuşak çelik / Alüminyum	155	50
Alüminyum / Alüminyum	155	50
Alüminyum / Bakır	140	70
Bakır / Nikel	215	100
Bakır / Bakır	215	100
Nimonik / Nimonik	910	90
Stellite / Stellite	925	90
Titanyum / Titanyum	1065	100

Günümüzde difüzyon kaynağı çok sayıda ve değişik malzemeye farklı alanlarda ve amaçlarla geniş bir şekilde uygulanmaktadır. Birbirinin aynı ya da farklı birçok malzeme bu kaynak yöntemiyle birleştirilebilmektedir. En başarılı ve yaygın uygulama titanyum alaşımlarından uçak parçaları yapımında görülmektedir (Salehi, 1990). Son zamanlarda Ti-alüminidleri, yüksek mukavemetli Al-alaşımları (Al-Li, gibi), Ni-esaslı alaşımları, metal matrisli kompozitler difüzyon kaynağıyla birleştirilmiştir (Ostyn, 1987).

Benzer olmayan metal ve alaşımlarda, kaynak sonrası birleşme bölgesinde kırılğan metaller arası faz oluşuyor ya da yeniden ergime ile malzeme gevrekleşiyorsa, ya da dayanım azalıyorsa difüzyon kaynak yöntemi tercih edilmektedir. Tablo 2.2’de difüzyon kaynak yöntemine uygun metal çiftleri ve ara tabaka malzemeleri, Tablo 2.3’ de ise metal çiftleri için difüzyon kaynağı işlem parametreleri verilmiştir.

Tablo 2.2. Difüzyon Kaynak Yöntemine Uygun Metal Çiftleri Ve Ara Tabaka Malzemeleri.

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

*(%53Fe, %29Ni, %17Co)

Tablo 2.3. Metal Çiftleri İçin Difüzyon Kaynağı İşlem Parametreleri

METALLER			SICAKLIK	BASINÇ	ZAMAN
Metal 1	Metal 2	Ara tabaka	(°C)	(N/mm ²)	(dak)
Bakır	Molibden	-	900	7.35	10
Bakır	Çelik	-	900	4.9	10
Bakır	Nikel	-	900	14.7	20
Titanyum	Bakır	Molibden	950	4.9	30
Titanyum	Bakır	Niobyum	950	4.9	30
Titanyum	Bakır	-	800	4.9	30
Molibden	Çelik	-	1200	4.9	10
Tungsten	Tungsten	Niobyum	925	6860	20
Tantalyum	Tantalyum	Zirkonyum	870	-	-
Niobyum	Niobyum	Zirkonyum	870	-	-
Zirkolay-2*	Zirkolay-2*	Bakır	1040	20.6	30-120
Çelik	Alüminyum	Bakır	550	4.9	30
Berilyum	Berilyum	63-Ag-27	800	-	30
Bakır	Bakır	Cu-10-In	-	-	-
Çelik	D.Demir	-	850-950	14.7	5-7
Çelik	Alüminyum	-	500	7.35	30

*%1.5Sn, %0.15Fe, %0.10Cr, %0.05Ni ve Z

Difüzyon kaynağının en çok uygulandığı metal titanyumdur. Titanyum alaşımları ara tabakaya ihtiyaç göstermeden kolayca kaynatılabilmektedir. Titanyumun bu tür kaynakta en elverişli tarafı yüzey artıklarını ve kendisinin oksitlerini dahi yüksek sıcaklıkta basınç uygulandığı takdirde çözme kabiliyetidir. Ama titanyumda katı çözelti içindeki oksijen , sertliği artırıp, kararlı fazı oluşturarak, kaynağı güçleştirmekte ve yüzeyde çatlağa yol açmaktadır. Bu sebeple, titanyumun difüzyon kaynağında koruyucu

atmosfere ya da vakuma gerek duyulmaktadır. Koruyucu gaz olarak argon kullanıldığı takdirde, titanyumda çözünmeyen argonun ara kesitte hapsolarak, boşluk meydana getirmesini önlemek için, argonun kaynak bölgesinde hareketliliğinin sağlanması gerektiği belirtilmiştir. (Partridge, 1989; Salehi, 1990).

Titanyumu difüzyon kaynağı açısından cazip kılan diğer bir tesir, yüzeyinin temizlemeye ihtiyaç göstermemesidir. Bununla birlikte, ergime kaynağına yatkın olmaması, bu metalin difüzyon yoluyla birleştirilmesini bir bakıma zorunlu kılmaktadır. Titanyum, yüksek bir mukavemet- yoğunluk oranına, uzun bir yorulma ömrüne, iyi bir korozyon direnci ve yüksek sıcaklıkta mukavemet özelliklerine sahip olması, havacılık sanayinde geniş bir tarzda kullanılmasını sağlamıştır. Kaynak esnasında yüksek sıcaklığın getirdiği maliyetin artışı bu nedenle dikkate alınmamaktadır.

Ti-alaşımlarının difüzyon kaynağında kullanılan ara tabakalar, saf titanyumdan oluşmaktadır. İri taneli titanyum alaşımları için düşük basınç altında , ince taneli süper plastik bir Ti alaşımı ara tabaka olarak kullanıldığı zaman; mukavim bir komşu metal elde edilmektedir(Partridge, 1989).

Nikel esaslı alaşımlar, süper plastik malzemelerin titanyumdan sonraki en önemli grubudur. Nikel esaslı alaşımların difüzyon kaynağıyla birleştirilip, süper plastik olarak şekillendirildiği gösterilmiştir. Bu alaşımların difüzyon kaynağı, inatçı yüzey oksitleri yüzünden güçleşmektedir. Bununla beraber; birleşme bölgesinde yüksek sıcaklık ve büyük ölçekli deformasyon (mesela haddeleme ile birleştirme) uygulanmasının, inatçı oksit tabakalarını kırdığı ve yüzey kaplama (iyonik kaplama) ya da ara tabaka kullanılması ile daha düşük basınç altında difüzyon kaynağı yapmanın kolaylaştığı tespit edilmiştir (Salehi, 1990; Stephen, 1986; Barta, 1964; Nieman, 1985; Partridge'den). Öte yandan, süper plastik Al-alaşımlarının ve Al-metal matrisli kompozitlerin geliştirilmesi, yüksek mukavemetli difüzyon kaynağı ihtiyacını artırmaktadır (Partridge, 1989).

Alüminyum ve alaşımlarının difüzyon kaynağı, inatçı yüzey oksitleri yüzünden güçleşmektedir. Bununla beraber; birleşme bölgesinde yüksek sıcaklık ve büyük ölçekli deformasyon (mesela haddeleme ile birleştirme) uygulamasının, inatçı oksit tabakalarını kırdığı ve yüzey kaplama (iyonik kaplama) ya da ara tabaka kullanılması ile daha düşük

basınç altında difüzyon kaynağı yapmanın kolaylaştığı tespit edilmiştir (Salehi, 1990; Stephan, 1986; Barta, 1964; Nieman, 1985; Patridge' den). Öte yandan, süper plastik Al alaşımlarının ve Al metal matrisli kompozitlerin geliştirilmesi, yüksek mukavemetli difüzyon kaynağı ihtiyacını artırmaktadır (Patridge, 1989).

Alüminyum ile metalurjik olarak uyum göstermeyen bakır arasında da difüzyon kaynağı uygulanmıştır. Calvo v.d. (1988), Al ile Cu' ı difüzyon kaynağı ile 520°C' lik sabit sıcaklık 15 dakikalık süre ve 0,25 ila 1,60 MPa' lık basınçlarla birleştirerek, en büyük problemin metaller arası bileşik ve ara fazlar olduğunu tespit etmişlerdir.

Çelikler ergitme kaynağı yöntemleri ile kolayca kaynak edilebildiklerinden, bu konuda fazla difüzyon kaynağı uygulaması yoktur. Çalışmalar daha yüksek ekonomik kazançlar ve düşük maliyetli metal çiftleri elde edilmesi üzerinde yoğunlaştırılmıştır. Ayrıca, 300 ve 400 serisi paslanmaz çeliklerin difüzyon kaynağı entegre devre imalatında kullanılmıştır (Kuşungöz, 1996).

Çelikler genel olarak difüzyon kaynağına elverişlidirler. Bu sebeple, karmaşık şekilli parçaların tasarlanmasında veya büyük kaynak alanları ve hayati performans gerektiren montajlarda ekonomikliğe sahiptirler (Metals Handbook, 1983).

Zirkonyum, Niyobyum, Molibden, Tungsten, Tantal, Renyum ve bunların alaşımlarının oluşturduğu refrakter malzemelerin difüzyon kaynağı genel olarak, uzay ve nükleer sanayi için gerekli karmaşık parçaların üretiminde kullanılmaktadır. Refrakterlerin difüzyon kaynağında, yeniden kristalleşme sıcaklığına çıkmamak için ara tabaka kullanılmaktadır. Söz gelimi saf molibden ve Niyobyum alaşımlarının difüzyon kaynağında sık bir arayla, Ta –8W – 8 HF ara tabaka olarak kullanılmaktadır.

Yüksek sıcaklıklarda iç yapılarında gevrekleşme meydana gelmeyen refrakter malzemeler için difüzyon kaynağı elverişli bir yöntemdir. Bu malzemelerin difüzyon kaynağına, kaynak sıcaklığı 1000–1100 °C, kaynak süresi ise 5–7 saat arasında değişmektedir. (Metals Handbook, 1983).

Ti–alaşımları ile, paslanmaz çelik arasında da yüksek mukavemetli katı hal difüzyon kaynağı gerçekleştirilmiştir. Yalnız TiFe, TiFe₂, TiCr₂, Ti₂Ni gibi bileşiklerle, ana metaller arasında metaller arası yapıların oluşması sebebiyle, bağlantının mukavemeti azalmaktadır (Ranzetta v.d., 1986; Salehi, 1990' den).

Yine kısa veya uzun fiberli, metal matrisli kompozitlerin, seramiğin seramikle ve metallerin seramiklerle difüzyon kaynağında, son yıllarda önemli ilerlemeler sağlanmıştır.

Seramiklerin (Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4) difüzyon kaynağı, seramiklerin mükemmel korozyon ve aşınma dirençleri sebebiyle, birçok ülkede, geniş bir şekilde çalışılmıştır. Bunların dezavantajları ise, süneklik yetersizliği, kusur hassasiyeti ve çok değişken olmalarıdır. Bunun için seramiklerle metallerin difüzyon kaynağı çıkar yol olarak gözükmemektedir (Partridge, 1989).

2.8. Difüzyon kaynağının Diğer Kaynak Metotlarıyla Karşılaştırılması

1. Ergitme kaynağında görülen deformasyonlar, ön ve son tavlama ihtiyaçları, bu teknikte gerekmez.
2. Bu teknikle, metalurjik açıdan uyumsuz birbirinden tamamen farklı iki metal ya da bi-metal, metal olmayan bir malzeme ile birleştirilebilir.
3. Birleşme süresi, bağlantı alanından bağımsızdır. Dolayısıyla, bir defada geniş alanlı ya da karmaşık şekilli bağlantılar birleştirilebilmektedir.
4. Uzay ortamında birleştirmeye imkan sağlamaktadır.
5. Birleştirme esnasında, ana malzemelerde istenmeyen metalurjik yapıların oluşma ihtimali düşüktür.
6. Seramik ve kompozitlerin, metal ve diğer malzemelerle birleştirilmesinde, günümüzde en verimli ve etkili metottur.

Diğer katı hal kaynak teknikleriyle karşılaştırıldığında ise, başlıca şu farkları görmek mümkündür.

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

Difüzyon kaynağının bazı dezavantajları da mümkündür. Özellikle uygulama ortamının ve aparatların özellik gerektirmesi, bu sebeple tekniğin pahalı bir teknik olması önemli dezavantajlar olarak gösterilebilirler.



3. KOMPOZİT MALZEMELER

Günümüzde teknolojinin hızla gelişmesi, beraberinde sanayinin temel girdisi olan malzeme ve malzeme biliminde gelişmelerin hızlanmasını sağlamıştır. Fakat bu gelişme, yeryüzünde bulunan ham maddelerin sınırlı olması, ayrıca, malzemelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı, teknolojinin gelişmesine ayak uyduramamıştır. Uzay araçlarının yapımına geçilen asrımızda bilim adamları çağın yenilikleri ile birlikte mevcut malzemelerin özelliklerinden, bilimin gelişmesi paralelinde ve günümüzün şartlarına uyacak şekilde, gerek ekonomik gerekse teknik yönden daha uygun malzemeler üretme yoluna gitmişlerdir. Bu amaçla kompozit malzemeler üretilmiştir.

Mühendislik malzemeleri genellikle, metaller, seramikler ve plastikler olmak üzere üç ana gruba ayrılır. Bunların yanında, aynı ya da farklı gruplardan iki veya daha çok malzemenin uygun özelliklerini bir araya getirmek ya da yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla makro düzeyde birleştirilmeleriyle oluşturulan malzemeler karma malzemeler olup (KM) kısaca **Kompozit Malzemeler** olarak adlandırılır. Kompozit malzemeler, takviyeleri taşıyan bir ortam (Matris) ve yük taşıyan takviyelerden oluşurlar (Donald, 1988).

Kompozit malzemelerin avantajı, bileşenlerinin en iyi özelliklerini bir araya getirmesidir. Kompozit malzemelerin üretimiyle, aşağıdaki özelliklerin bir veya birkaçının geliştirilmesi amaçlanır:

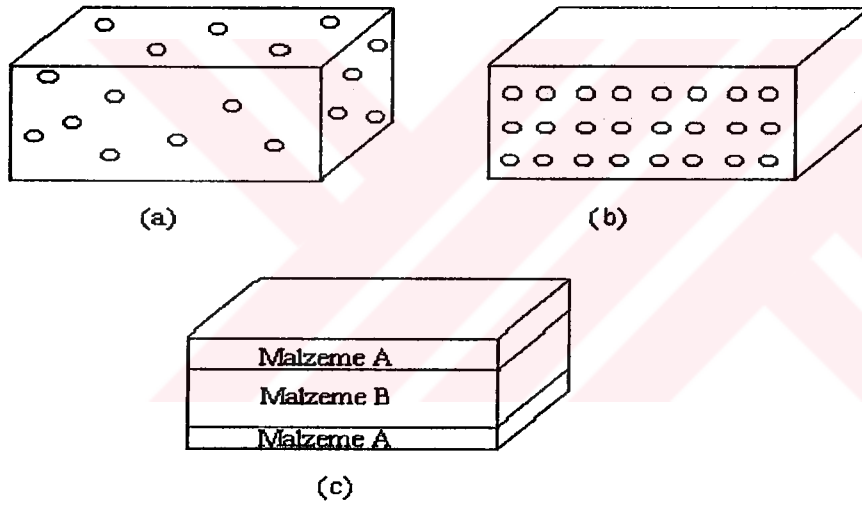
1. Dayanım,
2. Yorulma Dayanımı,
3. Aşınma Dayanımı,
4. Korozyon Dayanımı,
5. Kırılma Tokluğu,
6. Yüksek Sıcaklık Performansı,
7. Isıl İletkenlik,
8. Akustik İletkenlik,

9. Fiyat,
10. Estetik Görünüm,
11. İmalat Kolaylığı.

Kompozit malzemeler, takviye malzemelerin şekilleri açısından sınıflandırılacak olursa;

- Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler,
- Taneli Kompozit Malzemeler,
- Tabakalı Kompozit Malzemeler,

olmak üzere üç grupta toplanabilir.



Şekil 3.1. Kompozit Malzeme Tipleri

- a. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler,
- b. Tane Takviyeli Kompozit Malzemeler,
- c. Tabakalı Kompozit Malzemeler (Donald, 1988).

Takviyelerin yapılışı bakımında yapılan sınıflandırmada ise:

- Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler: Bu tür malzemelerde, matris gelen kuvvetleri elyafa iletir, kuvvet tamimiyle elyaf tarafından taşınır, özellikleri anizotropiktir.

- Küçük Parçacık Takviyeli Kompozit Malzemeler: Kuvvetler, matris tarafından taşınır. Küçük parçacıklar ($0.01-0.1\mu$), metal malzemede dislokasyonların hareketini engelleyerek, dayanımı artırır, özellikleri izotropiktir.
- İri parçacık Takviyeli Kompozit Malzemeler: Yüğü, takviye ve matris, birlikte taşırlar.

Kompozit malzemede, kuvvetleri takviyeye iletmek, lifleri ortamın etkisinden ve darbelerden korumak, kompozit malzemelerin tokluğunu artırmak gibi görevleri üstlenen matris malzemelerine göre kompozit malzemeler yine belli bir sınıflandırmaya tabii tutulur:

1. Plastik matrisli Malzemeler,
2. Metal Matrisli Malzemeler,
3. Seramik Matrisli Malzemeler,
4. Karbon / Grafit Matrisli Malzemeler.

Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini belirleyen dört temel faktör vardır. Bunlar:

1. Matris malzemesinin özellikleri,
2. Takviye malzemesinin özellikler,
3. Ara yüzey özellikleri,
4. Mikro yapı özellikleridir (Topçu, 1990).

İnceleyeceğimiz malzeme Al matrisli Al_2O_3 takviyeli kompozit malzeme olduğu için, sadece metal matrisli kompozit malzemeler hakkında bilgi verilecektir.

3.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler

Günümüzde metal matrisli kompozitlere büyük ilgi duyulmaktadır. Bunun başlıca sebeplerinden birisi, ekonomik ve yüksek kaliteye sahip malzeme üretim yöntemlerinin geliştirilmesidir. Metalik kompozitler üzerinde yapılan çalışmalar, özellikle yüksek sıcaklıklarda kullanılabilecek yüksek mukavemetli, rijit malzemelerin geliştirilmesi yönünde yoğunlaşmıştır.

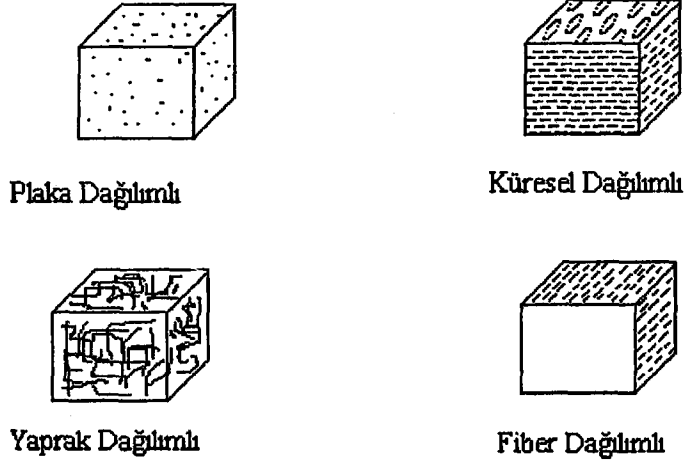
Kompozit malzemelerde metalik matrislerin kullanılmasının sağladığı üstünlükler, metallerin bilinen bazı özellikleri ile ilgilidir. Bunlar:

1. Yüksek mukavemet ve yüksek elastiklik modülü,
2. Yüksek tokluk ve darbe özellikleri,
3. Sıcaklık değişimleri veya ısıl şoklara karşı düşük bir duyarlılık,
4. Yüksek yüzey dayanımı ve yüzey hatalarına karşı düşük duyarlılık,
5. Yüksek elektriksel ve ısıl iletkenlik,
6. Değişik tekniklerle şekillendirilebilme ve işlenebilme özellikleri.

Metal matrisli kompozit malzemeler, matris seçimine göre dört gruba ayrılır;

1. Plaka dağılımlı metal matrisli kompozit malzemeler,
2. Küresel dağılımlı metal matrisli kompozit malzemeler,
3. Yaprak dağılımlı metal matrisli kompozit malzemeler,
4. Fiber dağılımlı metal matrisli kompozit malzemeler.

Şekil 3.2' de metal matrisli kompozit malzemelerin çeşitleri görülmektedir.



Şekil 3.2. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler (Schwartz, 1984)

3.2. Takviyeler

Kompozitlerin mukavemet ve tokluğunu etkileyen elemanlar: takviyeler, matrisler ve matris ile takviyeler arasındaki ara yüzeylerdir. En çok kullanılan takviye elemanları fiberlerdir. Takviyeleri dört grupta toplamak mümkündür:

1. Sürekli fiberler,
2. Süreksiz fiberler,
3. Whiskerler,
4. Taneler (Şahin, 1992).

3.2.1. Sürekli Fiber Takviyeler

Sürekli fiberler, ya tek filamentler (sadece Bor) veya çoklu filamentler (C, SiC ve alümina-fiber) şeklinde bulunurlar. Bazı fiberlerin özellikleri Tablo 3.1' de verilmiştir.

Tablo 3.1. Bazı Fiberlerin Tipik Özellikleri (Şahin, 1992)

Bileşim	Çap (µm)	Özg. Ağırlık (gr / cm ³)	Elastiklik (GPa)	Sertlik (GPa)
B(SiC)	240	2.4	162	1.66
SiC(C)	140	2.0	140	1.33
Fβ-Al ₂ O ₃	20	3.9	97	>0.36

3.2.2. Süreksiz Fiber Takviyeler

Süreksiz fiberler, çeşitli boylarda bulunmakta çapları 3-5 µm arasında değişmektedir. Bazı süreksiz fiberlerin özellikleri Tablo 3.2' de verilmiştir.

Tablo 3.2. Bazı Süreksiz Fiberlerin Tipik Özellikleri (Şahin, 1992)

Fiber Çeşidi	Uzunluk (mm)	Çap (µm)	Yoğunluk (gr / cm ³)	Max. Çek. Ger. (GPa)	E (GPa)
Al ₂ O ₃ -Fiberi	3-6	15-25	3.96	1.7	380
Al ₂ O ₃	0.1-1	1-5	3.30	2	300
SiC	1-10	10-15	2.55	3	195

3.2.3. Whiskerler

Whiskerler, merkezi eksen boyunca hareket eden çok az sayıda hataya sahip olan tekli kristal yapı ile karakterize edilirler. Whiskerlerin çapı 1 µm 'den az, uzunlukları yük transferini sağlayacak kadar uzundur ($l / d = 50-100$). SiC whisker takviyeli Alüminyum metal matrisli kompozitler, uzay araçları sektöründe büyük bir kullanım alanına sahiptirler. Bazı whiskerlerin özellikleri Tablo 3.3' de verilmiştir.

Tablo 3.3. Bazı Whiskerlerin Tipik Özellikleri (Şahin, 1992)

Malzemeler	Yoğunluk (gr / cm ³)	Modül (GPa)	Sertlik (GPa)
SiC	3.2	220	2.20
Si ₃ N ₄	3.18	120	4.0
Alümina	3.96	210	4.4
Bor Karbür	2.52	141	4.70
Grafit	1.66	200	7.1

3.2.4. Taneler

En yaygın ve en ucuz takviyeler, tane şeklindeki takviyelerdir. Bu malzemeler, pul ve köşeli şekillerde bulunurlar. Genellikle, zımparalama yoluyla, Alümina ve SiC ‘den elde edilirler. Tane takviyeli kompozitler, elektronik endüstrisinde kullanılan sermetleri (seramik-metal) de kapsayacak şekilde uzun zamandan beri endüstride kullanılmaktadır. Bazı tane takviyelerinin özellikleri Tablo 3.4’ de verilmiştir.

Tablo 3.4. Bazı Tane Takviyelerinin Tipik Özellikleri (Şahin, 1992)

Tane	Boyut (µm)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Modül (GPa)	Max.Çekme Ger. (GPa)
SiC	15-34	3.2	480	3
Si ₃ N ₄	46	3.2	360	3-6
Al ₂ O ₃	40-340	3.97	460	8
B ₄ C	40-340	2.5	480	6.5
Grafit	40-250	16-2.2	910	20
MgO	40	2.7-3.6	-	-
SiO ₂	53	2.3	70	4.7

3.3. Matris Malzemeleri ve Matris–Takviye Seçimi

Matrisler, bağlayıcı eleman görevi görürler. Matrislerin temel görevleri aşağıdaki şartları yerine getirmektir.

Matris, takviye elemanlarını bir arada tutar ve işlem sırasında malzeme yüzeyini mekanik hasarlardan korur. Matris, takviye elemanlarına gelen yükü transfer eder ve dağıtır. Böylece takviyeler, yükün büyük bir kısmını taşırlar.

Yükün transferi, matris ve takviye arasındaki birleşmeye bağlıdır. Metal matrisli kompozitlerde alüminyum, magnezyum, titanyum, nikel ve nikel- kobalt gibi metaller ve süper alaşımları matris olarak kullanılmaktadır. Fakat düşük yoğunluğu, ucuz oluşu, çeşitli alaşım formlarında bulunabilmesi ve oldukça iyi mekanik özellik kombinasyonlarına sahip olmasından dolayı, matris olarak, en çok alüminyum kullanılır.

Metal matrisli kompozitlerde en ciddi problem; matris ile takviye arasında kimyasal bir uyum sağlamaktır. Takviyelerin, matris içerisinde kolay ve homojen dağılması için bir ısıtma gereklidir. Bazen takviyeler, yüksek sıcaklığa maruz kaldıkları takdirde, matris ile takviyeler arasında, takviyelerin özelliklerini bozacak şekilde bir etkileşim meydana gelebilir. Örneğin; karbon fiberler alüminyum karbür (Al_4C_3) oluşturacak şekilde alüminyumla reaksiyona girerler. Bu reaksiyon ise kompozit malzemenin mukavemetini düşürür. Benzer şekilde bor, bor fiberleri (TiB_2) oluşturmak üzere titanyum ile reaksiyona girer. Fakat bu reaksiyon, borun silisyum karbür (SiC) ile kaplanmasıyla önlenir.

3.4. Alüminyum Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Birleştirme Yöntemleri

Günümüzde metal matrisli kompozit malzemelerin kullanılmasına büyük bir ilgi vardır. Gemi inşa sanayiinde, otomotiv sanayiinde, silahlı kuvvetler savunma ve roket yapımı gibi sanayi dallarında yeri ve önemi çok büyüktür. Şu anda yapılan çalışmaların

bir çoğu, süreksiz takviyeli alüminyum metal matrisli kompozit malzemeler üzerinde yoğunlaşmıştır. Çok yüksek özelliklere sahip olan metal matrisli kompozit malzemeler takviyesiz matris alaşımları ile karşılaştırıldığı zaman şu sonuçlar ortaya çıkar:

- a. Metal matrisli kompozitlerin sertlikleri, takviyesiz matris malzemelerine nazaran fazladır,
- b. Metal matrisli kompozitlerin mukavemetleri, matris malzemesine nazaran yüksektir,
- c. Metal matrisli kompozitlerin aşınma dirençleri iyidir (Ellis, 1995).

Metal matrisli kompozit alaşımlarında takviyeler tane, matrisler ise Ti, Al ve Mg gibi hafif alaşımlı malzemelerden oluşur. Takviyeler, yapı itibarıyla whisker, yönlü fiber, fiber ve taneli olabilir. Fiberler belli bir düzende dizilirler ve tek yönde dizilen fiberler birbirlerini takip ederler. Fiber takviyeli metal matrisli kompozit malzemelerin anizotropik özellikleri yüksektir; birleştirme, şekil verme, kesme gibi imal yöntemlerinde problemlerle karşılaşılabilir. Tane takviyeli malzemeler oldukça izotropiktir, imali kolay ve aynı zamanda ucuzdur. Bu yüzden tane takviyeli kompozit malzemeler sanayide daha çok kullanılmaktadır.

Bir çok izotropik fiber veya whisker takviyeli malzemeler çapraz katmanlar şeklinde kullanılarak çok çeşitli malzemeler üretilebilir. Sürekli fiber takviyeli malzemeler; belli bir sıcaklık aralığında izotropiktir, döküm yöntemiyle elde edilen whisker takviyeli malzemelerin ise imal yöntemi çok daha kolaydır. Tane takviyeli malzemeler de son on beş yılda kullanım yönünden dikkati çekmektedir. Al ve Al alaşımları gibi bir çok matrislerin içerisine Ti ve Mg ilave edilerek özellikleri geliştirilmiştir. Bütün bu matrisler için SiC takviyeleri tercih edilmektedir. Alüminyum alaşımlarında ise Al_2O_3 , B_4C , TiC ve B fiberleri takviye olarak kullanılmaktadır.

Alüminyum metal matrisli kompozit malzemelerin tam olarak kullanılabilmesi için, birleştirilebilme kabiliyetlerinin iyi olması gerekir. Bütün alüminyum ürünlerinde olduğu gibi, kaynak öncesi temizlik, kaynak sırasında hidrojen kirliliğinden kaçınma ve ardından oluşacak gözenek oluşumunu engellemek gerekir. Alüminyum metal matrisli

kompozit malzemelerin kaynak edilebilirliğinin belirlenebilmesi için, matris ve takviye elemanları arasındaki etkileşimlerin bilinmesi şarttır.

Alüminyum metal matrisli kompozitler için bir kaç değişik kaynak yöntemi dışında diğer kaynak yöntemleri uygundur. Bu tür kompozitler için kullanılan kaynak işlemleri, kaynak sırasında matrisin durumuyla karakterize edilir (Sunwoo,1994).

3.4.1. Viskozitenin Etkisi

Kompozitlerin kaynak havuzu katı faz içerdiğinden, alüminyum metal matrisli kompozitlerin kaynağı, tek fazlı alüminyum alaşımların kaynağından farklılık gösterir. Çünkü, kaynak sıcaklıklarında takviye elemanlarının erimesi mümkün değildir. Bu bakımdan kompozitlerin kaynak havuzu, gerçekte, kısmi erimeye uğramış bir rezervuardır. Takviye elemanının en belirgin etkisi, alüminyum metal matrisli kompozitlerin kaynak havuzunda viskoziteyi artırmasıdır. Metal matrisli kompozitlerin kaynak havuzunun viskozitesinden dolayı kütle transferi sınırlıdır. Bu nedenle kaynak havuzunda konveksiyon yoluyla meydana gelen ısı akışının, alüminyum alaşımlarinkinden daha azdır (Sonwoo, 1994). Bu nedenle, alüminyum matrisindeki kondüktif ısı akışının, alüminyum metal matrisli kompozitlerin kaynak havuzu içerisindeki soğuma oranları ve sıcaklık dağılımlarının elde edilmesinde büyük bir etkendir.

3.4.2. Kimyasal Reaksiyonlar

Termodinamik bakımından alüminyum metal matrisli kompozitler, dengede olmayan malzemelerdir. Çünkü matris ile takviye arasında bir kimyasal potansiyel fark olduğu için, kimyasal reaksiyonlar meydana gelir. Birleştirme sırasında sıvı alüminyum ve takviyeler arasındaki temas, istenmeyen fazların oluşmasına neden olur. Yani, matris ile takviye arasındaki bu reaksiyon, istenmeyen faz dönüşümlerine neden olur. Örneğin, SiC veya grafit takviyeli alüminyum metal matrisli kompozitlerin birleştirilmesi sırasında Al_4C_3 oluşur. Bu durum 3.1 ve 3.2 numaralı denklemlerde görülmektedir.



Denklem 3.1 ve 3.2, termodinamik yönünden incelendiğinde, reaksiyonun standart serbest oluşum enerjisinin (ΔG°) artan sıcaklıkla birlikte ve birleştirme sırasında Al_4C_3 ' ün oluşumunu sınırlamaya yardım eden alüminyum alaşımlı matrisle silisyum eklenmesiyle birlikte negatif olduğu görülür. Al_4C_3 , alüminyum metal matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerini düşürür. Al_4C_3 ' ün mikro yapısının kontrolü ve buna bağlı olarak grafit takviyeli alüminyum metal matrisli kompozitlerin veya SiC' ün birleştirme özelliklerinin kontrolü, birleştirme işleminin uygun şekilde düzenlenmesiyle olur. Bu çeşit kompozitler için, birleştirme sırasında kompozitin, matrisin likidüsü üzerindeki bir sıcaklıkta birleşme süresi Al_4C_3 oluşumunu sınırlamak için düşürülür. Buna göre birleştirme, hem katı hal hem de ergitme kaynak yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilebilir.

3.4.3. Katılaşmanın Etkisi

Matris ile takviye elemanı, alüminyum kompozitlerinin katılaşması sırasında etkileşirler. Belli bir kritik katılaşma aralığında, takviye, katılaşma cephesinin önüne itilir. Takviye, katılaşacak en son bölge olduğundan, malzemenin üniformluğu katılaşma şartlarına bağlı olacaktır. Ara yüzeyde takviye elemanlarının toplanması, ısı akışı ve kütle transferi ile ilişkilidir. Sürekli fiber takviyeli alüminyum metal matrisli kompozitlerde katılaşma, fiberler arasında küçük kılcal damarlar şeklinde meydana geldiği zaman mikro segregasyonda değişme görülür. Mikro segregasyondaki değişme, malzemenin mikro yapısı ve alüminyum metal matrisli kompozitlerin kaynak özellikleri üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir.

3.4.4. Ergitme Kaynağı

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağı, diğer malzemelerin kaynağından daha fazla dikkat gerektirir. Alüminyum ergir, kaynak banyosunda karışır ve sonra yeniden katılaşır. Ekipman ve kullanılan malzeme bakımından alüminyum metal matrisli kompozitlerin kaynak işlemleri, alüminyum alaşımların kaynak işleminkine benzer. Gaz altı kaynak yöntemlerinde, koruyucu gaz olarak argon tercih edilmekle birlikte bazı özel durumlarda ya argon-helyum karışımı ya da helyum kullanılmaktadır. Dolgu malzemeleri matris alaşımlarına göre seçilir.

Al esaslı metal matrisli kompozit malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan ergitme kaynağı ve diğer kaynak yöntemleri Tablo 3.5' de verilmiştir.

Ergitme kaynağı alanında tane takviyeli kompozitlere büyük bir ilgi duyulmaktadır. Al ve alaşımlarının ergitme kaynağında, malzemenin katılaşması sırasında oluşan bir çok kusurlar (örneğin yapıda kılcal çatlakların oluşması), matris içerisine takviye malzemeleri ilave edilerek ortadan kaldırılmaktadır. Buna rağmen, tane takviyeli metal matrisli kompozit malzemelerin ergitme kaynağı ile birleştirilmesinde hala sorunlar yaşanmaktadır. Bu sorunlar şöyle özetlenebilir:

1. Takviyesiz malzemeler ile metal matrisli kompozitlerin erime derecesi karşılaştırıldığında; metal matrisli kompozitler yüksek viskoziteye sahiptirler ve takviyesiz malzemelerin erime derecelerinden çok daha yüksek erime derecelerinde erirler.
2. Takviyelendirilmiş metal matrisli kompozitler katılaşmazlar ve segregasyon gözlenir.
3. Matris ile takviye arasında reaksiyonlar meydana gelir.
4. Metal matrisli kompozitlerde gaz absorpsiyonu söz konusudur.

Ergime kaynağı müddetince, matris, erime derecesinin üzerindeki bir sıcaklıkta erir fakat takviye taneleri katı halde kalır. Sonuçta tane takviyeli alüminyum alaşımlarının ergitme kaynağında kaynak banyosunun viskozitesi yüksektir. Bunu

önlemek için, silisyumca zengin alüminyum dolgu telleri kullanılmaktadır. Bir alüminyum matris içerisindeki SiC' ün oranını artırmak (homojen bir şekilde dağılımı ve karışımı sağlamak) için silisyumca zengin alüminyum dolgu telleri kullanılır (Ellis, 1995).

Tablo 3.5. Al Metal Matrisli Kompozit Malzemeler İçin Kullanılan Birleştirme Yöntemlerinin Değerlendirilmesi (Ellis, 1995)

Yöntem	Tabaka	Ekstrüzyon	Döküm
TIG	İyi	İyi	İyi
MIG	İyi	İyi	İyi
Rezistans	İyi	İyi Değil	İyi Değil
Lazer	Kötü	Kötü	Kötü
Elektron Işını	Kötü	Kötü	Kötü
Sürtünme Kaynağı	İyi Değil	İyi	İyi
Difüzyon Kaynağı	İyi	İyi	İyi
Flanş Kaynağı	İyi Değil	İyi	İyi
Kaplama	İyi	İyi	İyi
Adhesiv	İyi	İyi	İyi

SiC takviyeli alüminyum metal matrisli kompozit malzemelerin dökümünde ve kaynağında, Al ve SiC arasındaki reaksiyon, şöyle formüle edilebilir;



Al_4C_3 çökerek dışarıya atılmalarını sağlayan Si çökelticilerine “blok” denir. Reaksiyonun serbest enerji değişimi ise;

$$G \text{ (Jmol}^{-1}\text{)} = 113900 - 12.06T \ln T + 8.92 \cdot 10^{-3} T^2 + 7.53 \cdot 10^{-4} T^{-1} + 21.5T + 3RT \ln a_{(\text{Si})} \quad (3.4)$$

denklemleri ile verilir.

Yukarıdaki denklemde $a_{(Si)}$ alüminyum sıvı fazı içerisinde silisyumun aktivitesi, R gaz sabitesi, T ise mutlak ısı derecesidir. Bu denkleme göre serbest enerji; 727 °C (1000 K)' ye kadar sıcaklık yükseldiğinde, enerji değişimi negatif (-) olmaz. Negatif değer, Al ve SiC arasındaki temasın, hem sıcaklık hem de zamana bağlı olduğunu göstermektedir. Kaynak havuzuna silisyum ilavesiyle (veya silisyumca zengin alaşımın ilavesiyle), verilen belli bir sıcaklık aralığında çalışıldığı zaman Al_4C_3 miktarında, silisyumun doyuma ulaşmasıyla azalma gözlenir. Al_4C_3 ' ün kaynak özelliklerine iki zararlı yönü vardır. Birincisi; Plakalar gevrek olur, dolayısıyla kırılmaya karşı dayanıklılık azalır, ikincisi; Al_4C_3 normal atmosfer şartlarında kaynak yapılıp bekletilmesi sonucu asetilen verildiğinde, kaynak ömrü aşınma dolayısıyla azalır (Ellis, 1995).

Metal matrisli kompozitlerin ergitme kaynağında karşılaşılan bir diğer problem; toz metalurjisi yöntemiyle kompozitin üretiminde çatlağın oluşma riskinin artmasıdır. Eğer absorbe edilen gaz fazla olursa, ergitme kaynak sıcaklıklarında, kaynakta ve ITAB bölgesinde geniş bir çatlak görülür. Bu nedenle, metal matrisli kompozit üretiminden önce tozlarda zehirli gazlardan arındırma teknikleri kullanılarak bu mahsur yok edilmektedir (Ellis, 1995).

3.4.4.1.1. Gaz-Tungsten Ark (TIG) Kaynağı

Alüminyum ve alaşımları için ideal olan bir kaynak yöntemidir. Düşük ve kontrollü ısı girdisi, ince kısımlar ve kompleks şekiller için uygundur. Isı girdisinin kontrolü, özellikle SiC takviyeli alaşımların kaynağı için oldukça önemlidir.

TIG yöntemi, elektrod etrafında bir asal gaz akışı ile tüketilmeyen bir elektrod ve iş parçası arasında ark oluşması şeklinde özetlenebilir. İş parçası bölgesel olarak erir, elektrod uygun bir şekilde iş parçası üzerinde belli bir hız ve yaklaşma aralığında hareket ettirilerek birleştirme yapılır. Alüminyum ve alaşımlarının kaynağı zor olduğu bilinmektedir. Ancak günümüzde kontrol panelli TIG kaynak makinaları geliştirilmiş ve bu sorun alternatif akım (AA) kullanılarak ortadan kaldırılmıştır. Alüminyumun

kaynağında AA' ın kullanılmasının nedeni; yüzeyde oluşan oksit tabakasını kaldırmak içindir. Bu durum alüminyum esaslı malzemelerde sıkça karşımıza çıkmaktadır.

Tablo 3.6' da, TIG kaynağı ile birleştirilen malzemelerin mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.6. Gaz – Tungsten Ark Kaynağı İle Birleştirilen Bazı Malzemelerin Tipik Özellikleri
(Ellis, 1995)

Malzeme	Max.Çekme Mukavemeti MPa	Max.Akma Mukavemeti MPa	% Uzama
6061-T ₆	324	290	5.0
DURALCAN W6A.10A-T ₆	359	324	5.0
DURALCAN W6A.10A-T ₆ kaynak*	310	283	2.2

*: Kaynakta tamamen hava kabarcığı

6061-T₆/SiC takviyeli metal matrisli kompozit malzeme, toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiş ve dolgu teli olarak ER4043 kullanılarak TIG kaynağı yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda, kaynak metalinde hidrojene bağlı olarak gözeneklilik tespit edilmiştir (Ellis, 1995).

3.4.4.1.2. Gaz–Metal Ark Kaynağı Yöntemi

Kompozitlerin gaz–metal ark kaynağı yöntemi ile birleştirilmesinde, alternatif akım kullanılır ve ark uzunluğu, temizleme ve düzgün nüfuziyet amacıyla ayarlanır. Arkın temizlenmesi, matris ile takviye elemanı arasındaki reaksiyonların, ısı girdisinin düşürülmesi yoluyla minimuma indirilir. Bir çok alüminyum metal matrisli kompozitler için bu tür bir ark kaynağı tercih edilmektedir. Çünkü ısı, kaynak havuzuna dolayısıyla birleşme noktalarına itilir.

Gaz–metal ark kaynağı yönteminde, tek taraflı kaynaklarda geçici destekleme levhası ile birlikte 1–2 mm kök boşluğu bırakılır. Kök, kaynak çekilmeden önce arkaya doğru boydan boya oyulur. Tek V ağızlı bağlantılar için bağlantı açıları 60°, çift V ağızlı

bağlantılar için 90° dir. Çok pasolu kaynaklarda pasolar arası istenmeyen yapıların oluşmasını engellemek için metal matrisli kompozit, paslanmaz çelikten bir tel fırça ile devamlı olarak temizlenmelidir. Böylece yoğunlaşan MgO veya diğer kirlетici elemanlar da temizlenmiş olur (Tülbentçi, 1998).

Metal matrisli kompozitlerin MIG kaynağında, TIG kaynağında olduğu gibi hassas bir birleştirme sağlamak oldukça zordur. Bu metotta DURALCAN W6A.20A ekstrüzyon alaşımı için ER5356 dolgu teli kullanılması tavsiye edilmektedir (Ellis, 1995).

20 µm' lik alümina ihtiva eden Comral 85 metal matrisli 6061 kompozit malzemesi üzerinde TIG ve MIG kaynak teknikleri kullanılarak birleştirilmiştir. Uygulanan bu tekniklerle malzemenin mikroyapısı incelenerek şu sonuçlar gözlemlenmiştir: Alümina kürelerine yapışan gaz kabarcıkları sebebiyle kaynak metalinde, büyük miktarda gözeneklilik olmuştur ve malzemenin aşırı yaşlanması ile oluşan düşük ısı iletkenliği sebebiyle geniş bir ITAB meydana gelmiştir (Ellis, 1995).

Yine, B₄C tane takviyeli 6061 alüminyum matrisli kompozitin kaynak edilebilirliği MIG ve TIG kaynak teknikleri kullanılarak birleştirilmiştir. Bu malzeme için en iyi birleşme MIG kaynak yöntemiyle elde edilmiştir. TIG kaynak yönteminde mükemmel birleşmenin elde edilememesi kaynak havuzunun yüksek viskoziteye sahip olmasına bağlanmıştır (Ellis, 1995).

3.4.4.2. Elektron Işın Kaynağı

Elektron ışın kaynağı yönteminde, pozitif voltaj gradiyentinde bir anot boyunca elektronlar hızlandırılarak magnetik lenslerle odaklanır. Bu bir vakum altında yapılır, elektronların çarpması sonucu metal yüzeyinde ısınma meydana gelir. Ortaya çıkan ısı, birleştirme için gerekli olan kaynak enerjisi olarak kullanılır.

Elektron ışın kaynağı yöntemi, SiC takviyeli alüminyum metal matrisli kompozitlerin birleştirilmesinde nadiren kullanılmaktadır. Lazer ışın kaynağında olduğu gibi elektron ışın kaynağı yönteminde de hızlı termal dönüşümler oluşmaktadır. Elektron ışın kaynağı sırasında ısınma alt tabakadaki atomların ışının yüksek enerjiye

sahip atomlarla çarpışması sonucu ortaya çıkan kinetik enerji transferi yoluyla meydana gelir.

Elektron ışın kaynağı yöntemi SiC takviyeli alüminyum metal matrisli kompozitlerin tamamına başarılı bir şekilde uygulanamamaktadır. Al-SiC reaksiyonunda aşırı ısının olmasından dolayı SiC enerjisi absorbe eder. Bu yüzden elektron ışın kaynağı alüminyum matrisli SiC takviyeli kompozit malzemelerin birleştirilmesinde tercih edilmez. Bununla beraber literatürde, alüminyum matrisli Al_2O_3 takviyeli kompozit malzemelerin elektron ışın kaynağı ile ilgili çalışmalara rastlanamamıştır.

3.4.4.3. Lazer Işın Kaynağı

Lazer ışın kaynağı yapabilmek için, kaynak yapabilecek düzeyde, güçlü bir ışın enerjisi gerekir. Lazer ışın kaynağı ile metal matrisli kompozit malzemelerin kaynağında, çok hızlı termal dönüşümler olmasından dolayı, düşük ısı girdileri ile çalışılması yararlı olmaktadır.

A356/15SiC metal matrisli kompozit malzemelere Nd : YAG lazer kaynak yöntemiyle birleştirmeler yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda, malzemenin iç yapısında Al_4C_3 ve Al-Si ötektiğine rastlanılmıştır. Malzemenin katılaşması sırasında, geniş bir bölgede SiC-ötektiği, Al_4C_3 ve SiC' ün çok dar bir alana hapsediği görülmüştür. Ergime bölgesinde, ayrıca SiC tanelerinin hakim olduğu iğnemsî yapıların varlığı tespit edilmiştir (Ellis, 1995).

Yapılan çalışmalarda, çok hızlı termal dönüşümleri meydana getiren lazer ışın kaynağı yönteminde, ergime sırasında oluşan Al_4C_3 , mimuma indirilmeye çalışılmıştır. Çatlaksız bir kaynak için, sürekli dalgalı (CW) ve darbeli CO_2 lazer ışın kaynağı kullanılır. Böylece takviyelerin üniform dağılımı sağlanır (Ellis, 1995).

Lazer ışın kaynağında Al_4C_3 oluşmaksızın kaynak yapılaması imkansızdır. Bunun için lazer ışın kaynağı yöntemi, SiC takviyeli alüminyum metal matrisli kompozitlerin birleştirilmesinde fazla tercih edilmemektedir.

Lazer ışın kaynağı ile Al_2O_3 takviyeli alüminyum matrisli kompozitler de birleştirilmeye çalışılmıştır. Al_2O_3 takviyeleri, lazer enerjisini absorbe etme yeteneğine sahip olduğundan, az sayıda lazer ışın kaynağı ile ilgili çalışma mevcuttur. Yapılan çalışmalarda, kaynak kalitesinin büyük oranda kaynak yönüne ve nozul pozisyonuna bağlı olduğu anlaşılmıştır (Ellis, 1995).

3.4.4.5. Sıvı Faz Geçişli Birleştirme

Sıvı faz geçişli birleştirme yöntemi ile alüminyum metal matrisli kompozitlerin birleştirilmesinde başarılı sonuçlar alınmıştır (Ellis, 1995). Yöntemde, dolgu malzemesi veya birleştirilecek ara yüzeyde sıvı geçişini sağlamak için ara tabaka kullanılmıştır. Bağlantının katılaşması, difüzyon yoluyla izotermal olarak gerçekleşir. Alüminyum metal matrisli kompozitlerde, sıvı fazlı birleştirmenin öteki kaynak yöntemlerine göre avantajı; daha düşük işlem sıcaklığı gerektirmesidir.

Daha düşük işlem sıcaklığı, bağlantı içerisinde ve bağlantı çevresinde kompozitin özelliklerinde daha az bozulmaya yol açmaktadır. Çünkü sıvı faz geçişli birleştirme için termal dönüşümler uzun bir süre solidüse yakın sıcaklıklarda gerçekleşir (Ellis, 1995).

3.4.4.6. Direnç ve Sürtünme Kaynağı

Direnç ve sürtünme kaynağının her ikisi de süreksiz takviyeli alüminyum kompozitlerin büyük bir çoğunluğuna uygulanabilir. Bu malzemelerin kaynağında ortaya çıkan problemler şöyle çözümlenmektedir: Alüminyum metal matrisli kompozitler için uzun süre yüksek sıcaklıklarda çalışılması, karbürlerin çözünmesine ve Al_4C_3 gibi zararlı fazların çökmesine sebep olur. Hem direnç ve hem de sürtünme kaynağı bu problemleri azaltan hızlı termal dönüşümlere sahiptir.

Sürtünme kaynağı bir katı hal kaynağıdır ve ergime gerektirmez. Süreksiz takviyeli alüminyum kompozitler, alüminyum matrisleri ile karşılaştırıldığında, kompozitlerde kaynak basıncının yüksek olduğu görülür. Bunun nedeni; takviye

parçacıklarının kompozitin akma gerilim değerini kendiliğinden artırmasıdır (Sunwoo, 1994).

3.4.4.7. Kapasitör Deşarj Kaynağı

Kapasitör deşarj kaynağı, şarja uğramış kapasitörlerin deşarjı sırasında iş parçasına enerji sağlayan bütün direnç kaynak işlemlerinin genel bir ifadesidir. Kapasitör deşarj kaynağı yöntemi, oldukça hızlı termal dönüşümlerce bilinirler. SiC takviyeli alüminyum metal matrisli kompozitlerde kimyasal reaksiyonların giderilmesi bakımından kapasitör deşarj kaynağı, büyük ölçüde potansiyel sağlar.

3.4.4.8. Difüzyon Kaynağı

Difüzyon kaynağı, birbiriyle temasta olan yüzeyler arasında minimum deformasyon ile belirli bir süre ısı ve basınç uygulayarak kontrollü difüzyon ile oluşturulan katı hal kaynağıdır. Difüzyon kaynağı aynı veya farklı, çoğunlukla metalik malzemelerin birleştirilmesinde kullanılır. Bu yöntem, uçak ve uzay sanayi ile nükleer teknoloji için geliştirilmiştir. Çünkü bu alanlarda, örneğin kesitlerin ulaşılabilir yerlerde olmaması veya malzemelerin farklı olması gibi nedenlerle alışlagelmiş kaynak yöntemlerinin kullanılması mümkün değildir. Ayrıca birbirleriyle kırılğan metaller arası faz oluşturan malzemeler, ergime sıcaklıkları ve elastik sınırları çok farklı malzemeler, metal ve metal olmayan malzemeler de bu yöntemlerle birleştirilebilir. Difüzyon kaynağı kullanımı, düşük kaynak sıcaklığı nedeniyle matrisi ile fiber etkileşimlerini azaltır.

Difüzyon kaynağı, pek çok kompozitler için imalat işleminin bir parçasıdır. Titanyum ve alüminyum matrisleri difüzyon kaynağı ile üretilmiş olan BORSiC (SiC-B kaplı fiberler) ile desteklenir. Alüminyum metal matrisli kompozitler ile diğer tip kompozitlerde difüzyon kaynağı, yalnız vakumda mümkündür. Alüminyumun diğer metallerle bağlantılarında, metaller arası gevrek bir bağlantı oluştuğundan, üçüncü metalden bir ara tabaka gereklidir (Kurşungöz, 1996).

Metallerin difüzyonla birleştirilmesinde, farklı malzemeleri ve metal matrisli kompozitleri rahatça birleştirme imkanı vardır. Difüzyon birleştirmesinin metotları farklı şekillerde tanımlanabilir. Esas itibariyle, difüzyon kaynağının iki farklı yöntemi vardır: Biri, katı hal difüzyon birleştirmesi ve bir diğeri ise süreksiz (geçici) sıvı denge difüzyon birleştirmesidir (Ellis, 1995).

3.4.4.8.1. Katı Halde Difüzyon Kaynağında Mikro Deformasyon Yöntemi

Difüzyon birleştirmesi, katı halde bir mikro deformasyon yöntemidir, vakumda veya koruyucu bir atmosferde sıcaklık yükseltilip, belli bir zamanda basınç uygulama esasına dayanır. Alüminyum esaslı malzemeler için 325–520 °C' nin üzerindeki sıcaklıkta düşük yükler uygulanır. Malzemeler difüzyon yöntemiyle zamana ve sıcaklığa bağlı olarak birleştirilirler. Alüminyumun difüzyon kaynağı kolay değildir, çünkü kuvvetli oksit tabakalar vardır. Bu yüzden, matris alaşımlarında tatmin edici birleştirmeler meydana getirmek zordur, bunun sonucu olarak üretiminde destekleyici taneler ilave edilir.

Al/20SiC ve 6061/20SiC saflığındaki malzemelerine ara tabaka olarak, Cu ve Ag kullanılmış ve böylece gerekli birleştirmeler yapılmıştır (Ellis, 1995).

8090 metal matrisli kompozit malzemeler, metalik tabakalar kullanılarak birleştirilmişlerdir. Birleştirilen malzemelerde sadece tane–matris (P–M) ve matris–matris birleştirmelerinde ara tabaka kullanılmadan birleştirme gerçekleştirilmiştir. Taneler yapı itibarı ile tane–tane birleşmeleri zayıftır ve birleştirilmeleri sonucu gerilmelerinde de aşırı bir azalma söz konusu olmaktadır (Sunwoo, .

Katı hal difüzyon birleştirmesi ile 8090 alaşımlı metal matrisli kompozit malzemelerde, süperplastiklik değişimler olduğundan, difüzyon birleşmesi zorunlu olarak kullanılmaktadır (Ellis, 1995).

3.4.4.8.2. Süreksiz Sıvı Fazlı Difüzyon Kaynağı

Süreksiz sıvı fazlı difüzyon kaynağında, sıvı metal yüzeyleri arasında birleşme olur, bunun sonucunda eriyen bölgede şekil değişimi meydana gelir. Alüminyum metal matrisli kompozitler için tipik sıvılaştırıcılar; Cu, Zn ve Ag' dır. Difüzyon birleştirme tekniği kullanılarak takviyesiz alüminyum ve alaşımlarında birleşmenin gerilmesini artırmada metalik alaşım ara tabaka numunesi kullanılarak artırılmıştır (Ellis, 1995).

3.5. Literatür Çalışmasının Değerlendirilmesi

Metal matrisli kompozitler, yüksek sıcaklıklarda korozif ve aşındırıcı ortamlarda, gerilme altında çalışan sistemlerde tercihen kullanılmaktadırlar. Metalik kompozitlerin kullanım sıcaklığı, matris metalinin ergime sıcaklığına, takviye ve matrisin reaktifliğine ve değişik sıcaklıklarda kompozit malzemenin fiziksel ve mekaniksel özelliklerine bağlıdır. Bu malzemelerin uygun bir yöntemle birleştirilmesi, kullanım alanını genişletecektir.

Alüminyum metal matrisli kompozitler için yapılan kaynak işlemleri, matrisin kaynak sırasındaki davranışıyla yakından ilişkilidir. Metal matrisli kompozitlerde özellikle matris ve takviye elemanlarının özelliklerinin iyi bilinmesi gerekir. Malzemesi iyi analiz edilen bir kompozitin birleştirilmesinde uygulanacak yöntem de ona göre seçilir. Alüminyum metal matrisli kompozitler için çok değişik kaynak yöntemleri uygulanmıştır. Yapılan çalışmalarda, daha çok alüminyum matrisli SiC takviyeli kompozit malzemelerin üretimi ve kaynak edilebilirliğine ağırlık verilmiştir. Çalışmalarda alüminyum matrisli SiC takviyeli kompozit malzemelerin ergitme kaynağında, Al_4C_3 oluşumu engellenememiştir. Direnç kaynağı ile yapılan çalışmalarda ise Al_4C_3 fazının çökmesi gözlenmiş ve bu ise malzemenin dayanıklılığını düşürecek düzeyde takviye parçacıklarının biraraya gelmesine neden olduğu görülmüştür. Bu durum malzemede homojenliği bozarak çatlama riskini artırmaktadır. Yine bu tür malzemelerin kapasitör deşarj ve gaz-tungsten ark kaynağında da aynı sorunlarla karşılaşıldığı tespit edilmiştir.

Ancak alüminyum matrisli Al_2O_3 takviyeli kompozit malzemelerin kaynak edilebilirliği hakkında literatürde çok az bilgiye rastlanılmıştır. Bu nedenle, bu tür kompozitlerin katı hal kaynağının incelenmesine karar verilmiştir.

Difüzyon kaynağı yöntemi kullanılarak birleştirilen alüminyum matrisli Al_2O_3 takviyeli kompozit malzemenin ideal toplam birleşme süresi ve alüminyum matrisi içerisinde bulunan takviye elemanlarının bir yere yığılıp yığılmadıklarını ve bunun difüzyon kaynağı parametrelerine varsa etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca difüzyon kaynağı yöntemiyle birleştirilen Al matrisli Al_2O_3 takviyeli kompozit çiftlerinin birleşme bölgeleri ve arakesitleri, metalografik olarak incelenmiş, kaynak parametrelerinin kaynak kabiliyeti üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.



4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Deneylerde kullanılan Malzemeler

Deneylerde, Al_2O_3 takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzeme üretilerek kullanılmıştır. Karışım oranları, alüminyumun yüzde ağırlığı baz alınarak takviye malzemesi ilave edilmiştir. Kompoziti üretmek amacıyla, alüminyum pota içerisinde $800\text{ }^{\circ}C$ civarlarında ergitilerek sıvı alüminyum haline getirilmiştir. Daha sonra, matris ağırlığına göre ayarlanan katı Al_2O_3 partikülleri “Yarı Katı Karıştırma Tekniği” kullanılarak karıştırılmıştır. Takviye ilavesi tamamlandıktan sonra sıvı metal , sıvı sıcaklığı üzerine aşırı ısıtılmış ve sıvı dövme döküm aparatının kalıbına boşaltılmış, yaklaşık $200\text{ }^{\circ}C$ kalıp sıcaklığında ve yüzeye basınç uygulayarak katılaşma gerçekleştirilmiş ve ingotlar hazırlanmıştır. Üretilen kompozit malzemenin kimyasal analizi Tablo 4.1.’ de verilmiştir.

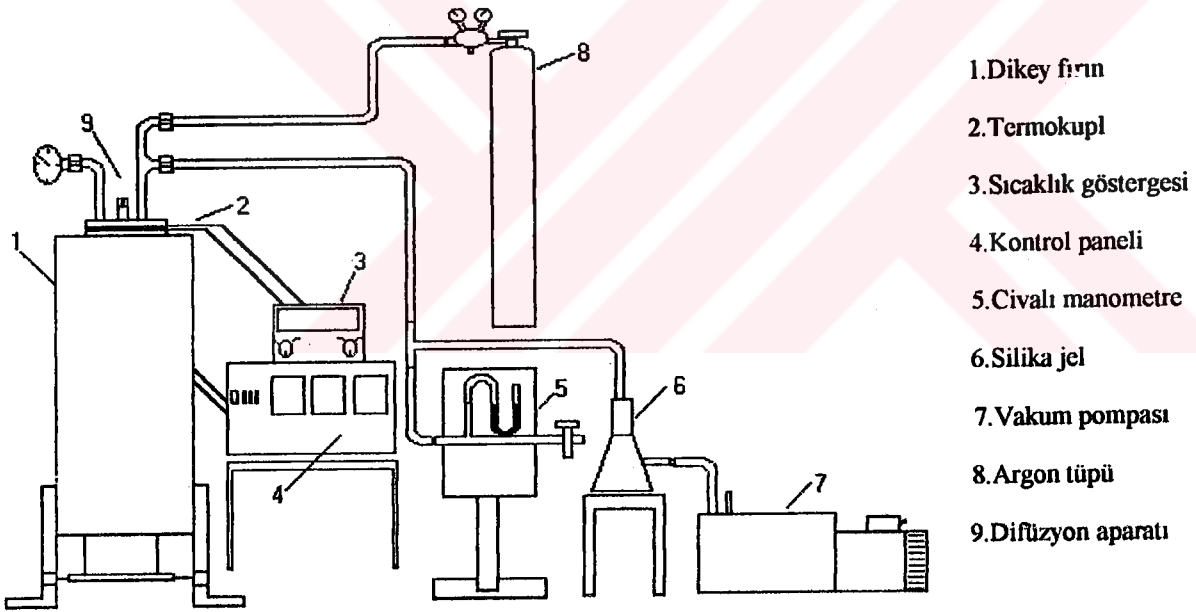
Tablo 4.1. Al Matrisli Al_2O_3 Takviyeli Kompozit Malzemenin Kimyasal Analizi

Element	Si	Mn	Ni	Sn	Fe	Mg	Cr
% Miktarı	0.413	0.163	0.0228	0.0053	0.58	0.803	0.0205
Element	Ti	Cu	Zn	Pb	Sb	Al	
% Miktarı	0.089	0.15	0.250	0.0081	0.0030	Kalanı	

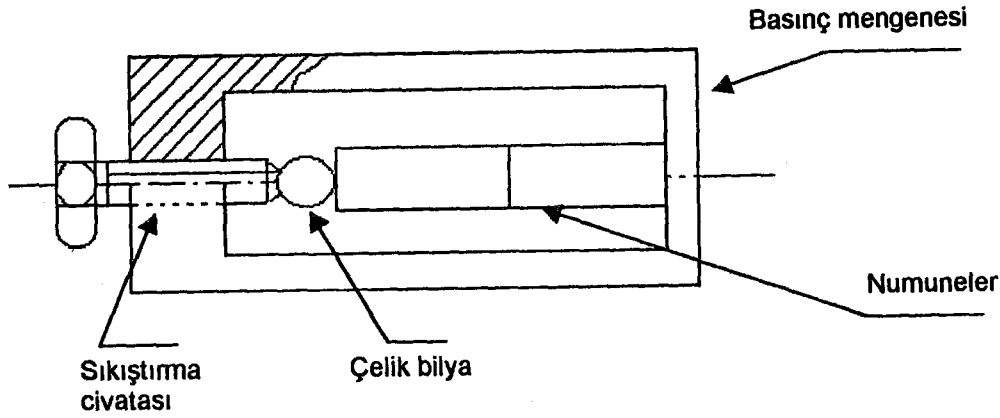
Elde edilen ingot malzeme kalıp içerisinden çıkarılarak, cüruflardan ve kalıntı malzemelerden arındırılmıştır. Difüzyon kaynağı için kompozit malzemedan $10 \times 10 \times 10$ (mm) ebatlarında numuneler kesilerek kaynak için hazırlanmıştır.

4.2. Difüzyon Kaynağının Yapılışı

Deneylei yapmak için tarafımızdan dizayn edilen bir difüzyon kaynağı aparatı kullanılmıştır. Aparat, argon atmosfer kontrollü bir tavlama fırından oluşmakla birlikte, numunenin fırın içerisinde basıncını sağlamak için bir mengene sisteminden imal edilmiş olup Şekil 4.1 ve 4.2' de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Difüzyon Kaynağı Düzenegi



Bütün malzemeler paslanmaz çelikten imal edilmiştir.

Şekil 4.2. Basınç Uygulama Aparatı

Kaynakta aşağıdaki işlem sırası uygulanmıştır:

Kaynak yapılacak numunelerin yüzeyleri 60–1200 meşlik zımpara ile parlatılarak, yüzey pürüzlülüğü Mitutoyo Sufset 211 profilometresi ile ölçülmüştür. Parlatılan yüzeyler aseton banyosunda ultrasonik olarak temizlenip atık maddelerden arındırılmıştır.

Numuneler Şekil 4.2’ de gösterilen mengenede torkmetre kullanılarak istenilen basınç değerine kadar sıkılmıştır. Uygulanan basıncın aksel olarak tesir etmesi için numuneler ile civata arasına çelik bir bilye konulmuştur. Bu sayede, basıncın uygulanması esnasında numunelerin dönmesi de engellenmiştir.

Kaynak işlemi, Şekil 4.1’ de verilen atmosfer kontrollü fırında gerçekleştirilmiştir. Basınç uygulanmış numuneler mengeneyle birlikte tüp içerisine yerleştirilip, tüp içerisine, numune yüzeyindeki oksitlenmeyi önlemek amacıyla ve tüpteki basınç 2 bar olacak şekilde deney süresince argon gazı verilmiştir.

Kaynak şartları Tablo 4.2’ de toplu olarak verilmiştir. Kaynak süresi olarak parçanın belirlenen sıcaklığa ulaştığı süreyle numunenin fırından alınma süresi arasındaki fark dikkate alınmıştır.

Tablo 4.3. Difüzyon Kaynağında Uygulanan Kaynak Şartları

Numune No	Kaynak Sıcaklığı (°C)	Kaynak Basıncı (MPa)	Kaynak Süresi (Dakika)	Koruyucu Gaz	Yüzey Pürüzlülüğü Rz(μ m)
1	550	1	90	Argon	0.19
2	600	2	90	Argon	0.19
3	550	1	90	Argon	0.19
4	600	2	90	Argon	0.19
5	550	1	90	Argon	0.05
6	600	2	90	Argon	0.05

4.4. Metalografik Çalışmalar

Difüzyon kaynağı yöntemi ile birleştirilen numuneler, kaynak alanına dikey vaziyette aşındırılmış, 60–1200 meşlik zımpara ile temizleme işleminden sonra 3 μ m' lik elmas pasta kullanılarak parlatılmıştır. Parlatma sonrası mikro yapıyı incelemek amacıyla numuneler; 75 °C sıcaklıktaki % 25 HNO₃ + %75 H₂O çözeltisinde 30 saniye süreyle dağlanmıştır.

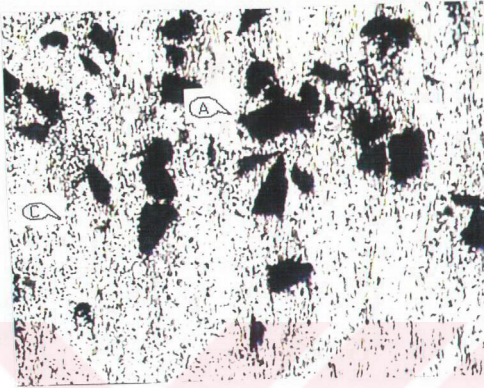
5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMASI

5.1. Metalografi İncelemeleri ve EDS Sonuçları

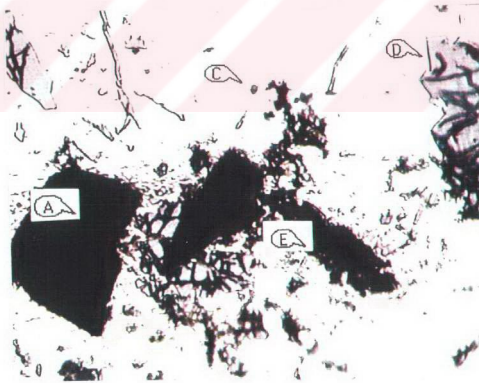
Yarı katı karıştırma tekniği ile üretilen alüminyum matrisli Al_2O_3 takviyeli kompozite ait mikro yapılar Resim 5.1 ila Resim 5.3' de verilmiştir. Mikro yapı fotoğraflarından da anlaşılacağı üzere ana matris Al olup, Al_2O_3 takviyeleri yapı içerisinde dağılmıştır. Difüzyon kaynaklı birleştirmelerden sonra, malzemenin farklı bölgelerinden EDS analizleri alınmış (Tablo 5.1), matristeki muhtemel fazlar, Al-Fe-Si üçlü denge diyagramından belirlenmiştir. Buna göre, Resim 5.3' de oksitlerin yanında görülen yapı muhtemelen $FeSiAl_5+Fe_2SiAl_8+Al$ ' dur. Bu durum Resim 5.1' de Al-Fe-Si üçlü denge diyagramında gösterilmiştir. Yapıdaki siyah küçük noktalar Mg ve Si bileşiği içeren Al' dur ($Al - Mg_2Si$) (Mondolfo, 1976; Hatch,1993). Matrisin diğer kısımları alüminyumdan oluşmaktadır. Yapıda karıştırma döküm ve döküm sonrası katılaşmadan kaynaklanan boşluk ve gözenekler mevcuttur. Al_2O_3 taneciklerinin boyutları 75 ve altında μm arasında değişmektedir. Katılaşmanın kısmen dendritik olduğu ve küçük Al_2O_3 parçacıklarının dendrit kolları arasına yerleştiği, büyük boyutlu olanların ise matris tarafından mekanik olarak tutulduğu görülmektedir (Resim 5.1). Ayrıca karıştırma esnasında büyük parçacıkların karıştırıcı tarafından parçalandığı ve matrise dağıldığı da Resim 5.3' de görülmektedir. Al_2O_3 parçacıkları ile matris arasında yer yer boşlukların olduğu da belirlenmiştir.

Tablo 5.1. Al matrisli Al_2O_3 Takviyeli Kompozit Malzemenin EDS Analizine Göre Oluşan Muhtemel Fazlar (Mondolfo, 1976)

EDS No	% Bileşim					Muhtemel Fazlar
	Al	Mg	Si	Fe	Cr	
1	97.77	1.12	0.17	0.84	0.09	Al
2	96.31	2.07	0.53	0.81	0.27	Al
3	65.33	0.54	4.78	28.40	0.96	$FeSiAl_5+Fe_2SiAl_8+Al$

A. Al_2O_3 C. Al (Al - Mg_2Si)

Resim 5.2. Al Matrisli Al_2O_3 Takviyeli Kompozit Malzemenin Dağlanmamış Halde Optik Fotoğrafi (X100)

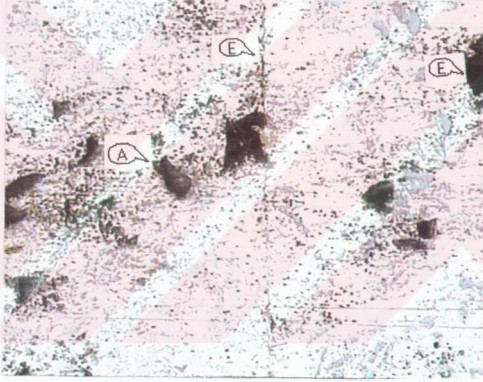
A. Al_2O_3 D. $\text{Fe}_2\text{SiAl}_8 + \text{FeSiAl}_5 + \text{Al}$

E. Boşluk

Resim 5.3. Al Matrisli Al_2O_3 Takviyeli Kompozit Malzemenin Dağlanmış Halde Optik Fotoğrafi (X400)

5.2. Difüzyon Kaynaklı Bağlantıların Metalografik İnceleme Sonuçları

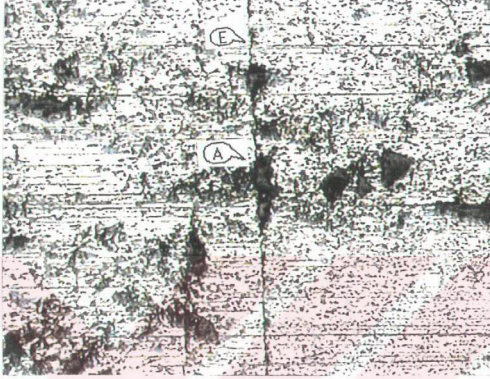
550 °C sıcaklık ve 1 MPa basınçta ve 1200 meşlik zımpara ile parlatılmış yüzey şartlarında birleştirilen 1 nolu numuneye ait optik mikroskop fotoğrafları Resim 5.4 ila 5.7’ de verilmiştir. Resim 5.4’ den ara kesitte yer yer boşluklar olduğu görülmektedir. Aynı durum Resim 5.5 ‘ te de mevcuttur.



A. Al_2O_3

E. Boşluk

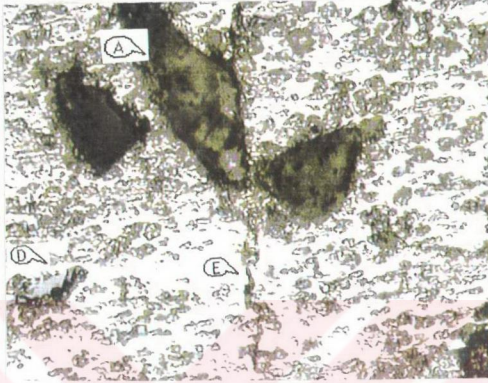
Resim 5.4. 550 °C’ de 1 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmamış Halde Optik Fotoğrafı (X100)

A. Al_2O_3

E. Boşluk

Resim 5.5. 550 °C’ de 1 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmış Halde Optik Fotoğrafi (X100)

Özellikle, iki oksitin ara kesitte karşılaştığı yerlerde oksit etrafında da boşlukların bulunduğu görülmektedir (Resim 5.6). Öte yandan bu numunede oksitlerin karşılarında başka bir oksit olmadığında, birleşme yüzeyinde gerilme yoğunlaşmasını artırdığı ve etraflarındaki bölgede difüzyonu hızlandırdıkları sonucuna varılmıştır. Çünkü bu tip bölgelerde boşluk görülmemektedir. Bu duruma örnek olarak Resim 5.7 verilmiştir.

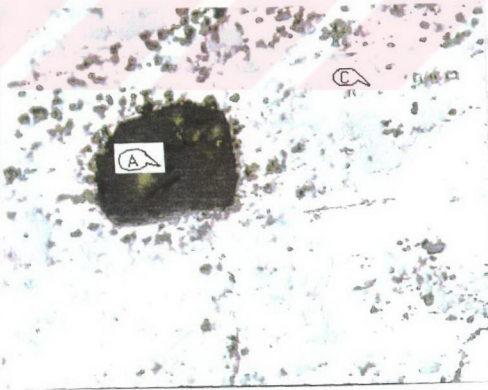


A. Al_2O_3

D. $\text{Fe}_2\text{SiAl}_8 + \text{FeSiAl}_5 + \text{Al}$

E. Boşluk

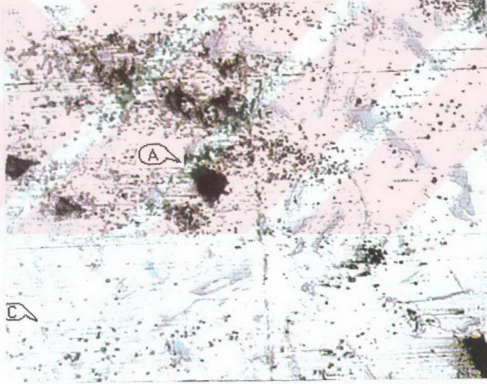
Resim 5.6. 550 °C' de 1 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmış Halde Optik Fotoğrafı (X400)



A. Al_2O_3

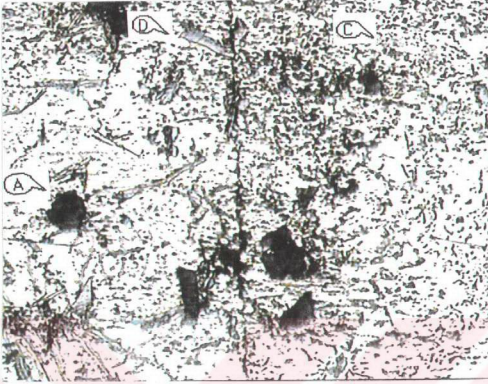
Resim 5.7. 550 °C' de 1 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmamış Halde Optik Fotoğrafı (X400)

500 °C sıcaklık ve 2 MPa basınçta ve 1200 mesh zımpara ile parlatılmış yüzey şartlarında birleştirilen 2 nolu numuneye ait optik mikroskop fotoğrafları, Resim 5.8 ile 5.11' de verilmiştir. Bu fotoğraflarda da yine ara kesitte boşlukların bulunduğu görülmektedir. Burada dikkati çeken bir husus, ara kesitte oksitler arası mesafeler azaldığında, aralarındaki boşluk sayı ve boyutunun artmasıdır (Resim 5.10 ve Resim 5.11). Bu durum kısmen komşu Al_2O_3 parçacıkları arasındaki kapilarite etkisinin sonucudur (Samuel, 1995). Bu durumda, 1 nolu numunede belirlenen gerilme yoğunlaşmasının olumlu etkisi ortadan kalkmaktadır.

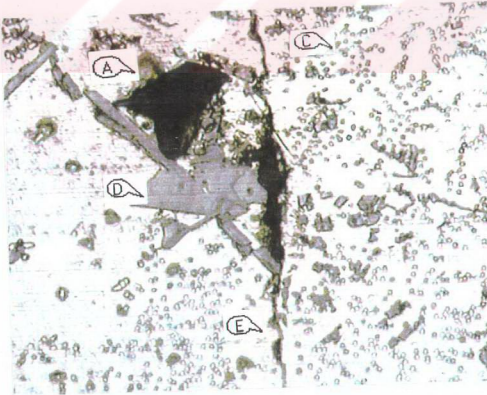


A. Al_2O_3

Resim 5.8. 550 °C' de 2 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmamış Halde Optik Fotoğrafı (X100)

A. Al_2O_3 C. $\text{Al} - \text{Mg}_2\text{Si}$ D. $\text{Fe}_2\text{SiAl}_8 + \text{FeSiAl}_5 + \text{Al}$

Resim 5.9. 550 °C' de 2 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmış Halde Optik Fotoğrafı (X100)

A. Al_2O_3

E. Boşluk

D. $\text{Fe}_2\text{SiAl}_8 + \text{FeSiAl}_5 + \text{Al}$

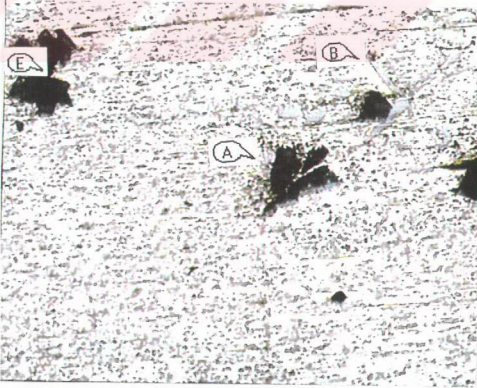
Resim 5.10. 550 °C' de 2 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmış Halde Optik Fotoğrafı (X400)



- A. Al_2O_3
- E. Boşluk
- D. $\text{Fe}_2\text{SiAl}_8 + \text{FeSiAl}_5 + \text{Al}$

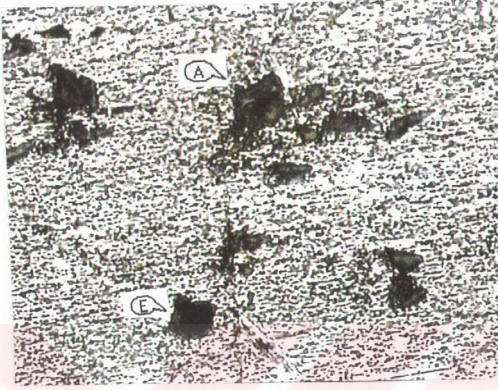
Resim 5.11. 550 °C’ de 2 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmış Halde Optik Fotoğrafı (X400)

600 °C sıcaklık ve 1 MPa basınçta ve 1200 meşlik zımpara ile parlatılmış yüzey şartlarında birleştirilen 3 nolu numuneye ait optik mikroskop fotoğrafları, Resim 5.12 ile 5.15’ de verilmiştir. Bu fotoğraflarda ara kesitteki boşlukların azaldığı görülmektedir. Ayrıca, oksitlerde çözünme ve matrise yayılma başlamıştır.



- A. Al_2O_3
- B. Dendritler
- E. Boşluk

Resim 5.12. 600 °C’ de 1 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmamış Halde Optik Fotoğrafı (X100)

A. Al_2O_3

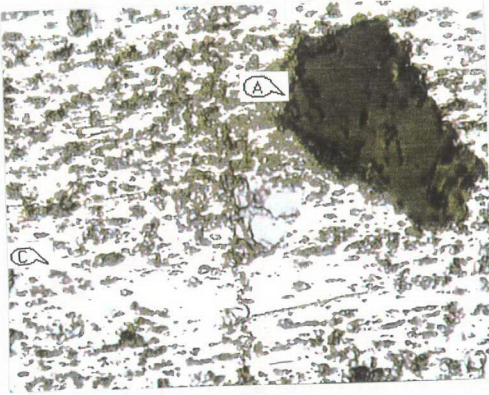
E. Boşluk

Resim 5.13. 600 °C' de 1 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmış Halde Optik Fotoğrafı (X100)

A. Al_2O_3

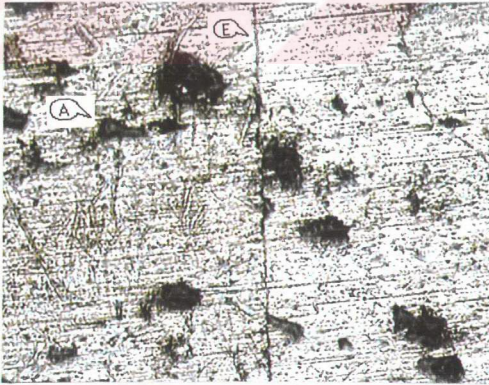
E. Boşluk

Resim 5.14. 600 °C' de 1 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmış Halde Optik Fotoğrafı (X400)

A. Al_2O_3 C. Al (Al – Mg_2Si)

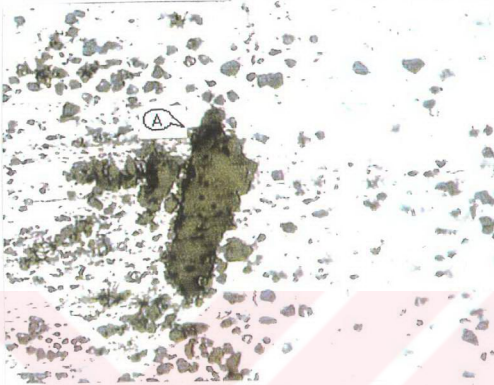
Resim 5.15. 600 °C' de 1 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmış Halde Optik Fotoğrafı (X400)

600 °C sıcaklık, 2 MPa basınçta ve 1200 meşlik zımpara ile parlatılmış yüzey şartlarında birleştirilen 4 nolu numuneye ait optik mikroskop fotoğrafları, Resim 5.16 ile 5.17' de verilmiştir. Dağlanmış numune fotoğraflarında, ara kesitteki boşluklar daha az olduğu tespit edilmiştir.

A. Al_2O_3

E. Boşluk

Resim 5.16. 600 °C' de 2 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmış Halde Fotoğrafı (X100)



A. Al_2O_3

Resim 5.17. 600 °C' de 2 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmamış Optik Fotoğrafı (X400)

Deneylerde son olarak yüzey pürüzlülüğünün etkisini göstermek üzere, birleşen yüzeyleri elmas pasta ile parlatılmış numuneler birleştirilmiştir. Bunlardan 600 °C sıcaklık, 1 MPa basınçta ve 1200 meşlik zımpara ile parlatılmış yüzey şartlarında birleştirilen 5 nolu numuneye ait optik mikroskop fotoğrafları, Resim 5.18 ila 5.21' de verilmiştir. Dağlanmamış numune fotoğraflarından (5.18–5.21), ara kesitteki boşlukların iyice azaldığı, birleşme sonrasında küçük boyutlu oksit parçacıklarının ara kesitin diğer tarafa geçtiği de görülmektedir.

A. Al_2O_3

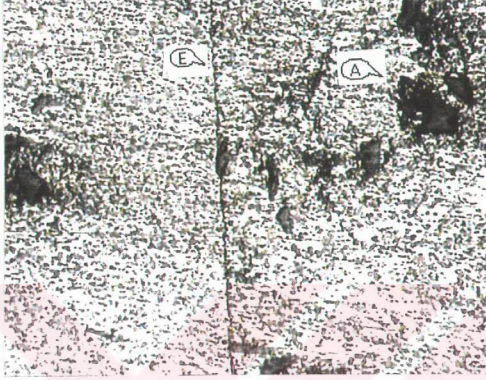
E.Boşluk

Resim 5.18. 550 °C' de 1 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmamış Halde Optik Fotoğrafi (X100)

A. Al_2O_3

E.Boşluk

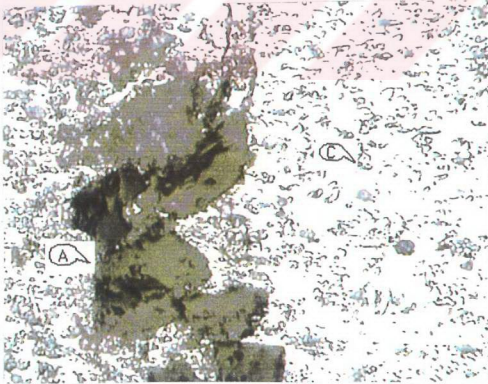
Resim 5.19. 550 °C' de 1 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmamış Halde Optik Fotoğrafi (X400)



A. Al_2O_3

E. Boşluk

Resim 5.20. 550 °C’ de 1MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmış Halde Optik Fotoğrafı (X100)

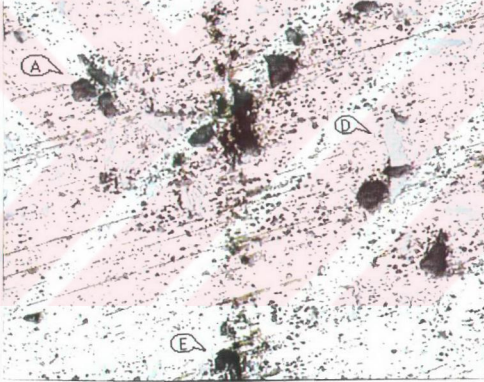


A. Al_2O_3

C. Al (Al – Mg_2Si)

Resim 5.21. 550 °C’ de 1MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmış Halde Optik Fotoğrafı (X400)

Birleşen yüzeyleri elmas pasta ile parlatılarak 600 °C sıcaklık, 2 MPa basınçta ve 1200 meşlik zımpara ile parlatılmış yüzey şartlarında birleştirilen 6 nolu numuneye ait optik mikroskop fotoğrafları, Resim 5.21 ila 5.25' de verilmiştir. Ara kesit fotoğraflarından, bu numunede birleşmenin kusursuz olarak meydana geldiği görülmektedir. Bu sıcaklık ve basınçta, ara kesitte oksitlerin dağılmaya başladıkları Resim 5.25' den anlaşılmaktadır.

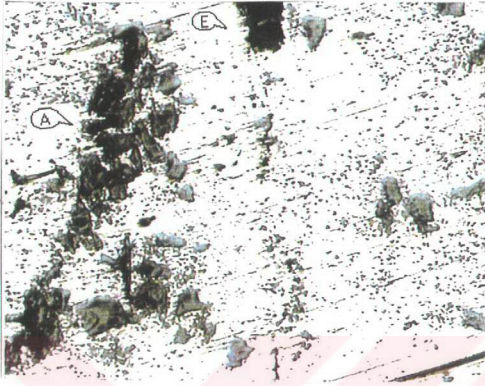


A. Al_2O_3

E. Boşluk

D. $Fe_2SiAl_8 + FeSiAl_5 + Al$

Resim 5.22. 600 °C' de 2 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmamış Halde Optik Fotoğrafı (X100)

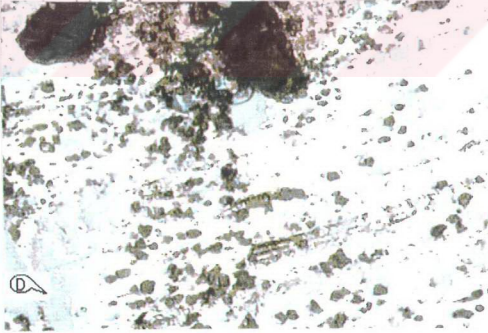


A. Al_2O_3

E. Boşluk

C. Al ($\text{Al} - \text{Mg}_2\text{Si}$)

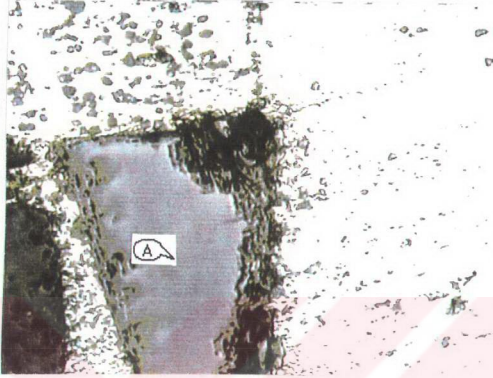
Resim 5.23. 600 °C' de 2 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmış Halde Optik Fotoğrafı (X100)



A. Al_2O_3

D. $\text{Fe}_2\text{SiAl}_8 + \text{FeSiAl}_5 + \text{Al}$

Resim 5.24. 600 °C' de 2 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmış Halde Fotoğrafı (X400)



A. Al₂O₃

Resim 5.25. 600 °C` de 2 MPa Basınçta ve 90 Dakika Kaynak Şartlarında Kaynak Edilen Numunenin Dağlanmış Halde Fotoğrafı (X400)

6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER

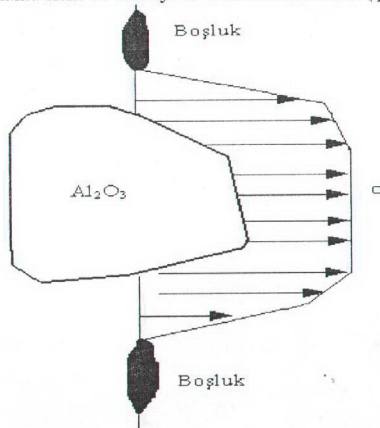
6.1.Basıncın Birleşme Üzerindeki Etkisi

Kaynak basıncı, Al esaslı malzemelerin kaynağında, en önemli parametrelerden birisidir. Uygulanan basıncın, bu malzemelerde iki tür etkisi vardır:

- 1.Yüzeydeki oksit tabakasını kırarak, birleşmeye imkan vermek,
- 2.Her iki yüzeyde gerilmeler indükleyerek, tane sınırı ve ara yüzey difüzyonu ile sürünmeyi hızlandırmaktır (Orhan, 1996).

Basıncın bu etkisi birleştirilen numuneler üzerinde açıkça görülmektedir. Her iki sıcaklıkta ve farklı yüzey pürüzlülüğü değerlerinde, basınç arttıkça ara kesitteki boşlukların azaldığı iç yapı fotoğraflarından açıkça anlaşılmaktadır (Resim 4 ila Resim 25).

Numunelerde, ara kesitte pek az oksit parçacığının karşı karşıya geldiği görülmektedir. Oksitlerin karşılaştığı noktalarda kaynak basıncı sonucu oksitler kırılmakta ve ara kesite dağılmaktadır (Resim5.6). Oksit parçacıklarının karşı matrise gömüldüğü durumlarda, oksit, etrafında bir gerilme yoğunlaşması oluşturarak hem karşı oksit tabakasını kırmakta hem de difüzyonu hızlandırmaktadır (Şekil 6.2 ve Resim 5.7).



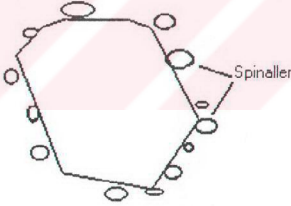
Şekil 6.1. Ara Kesitte Oksit Etrafında Gerilme Yoğunlaşması

6.2.Sıcaklığın Birleşme Üzerindeki Etkisi

Sıcaklığın birleşme üzerindeki etkisi Al matrisli kompozitlerde, kendini ancak yüzeydeki oksit filmleri kırıldığı takdirde göstermektedir. İç yapı fotoğraflarından, tüm numunelerde sıcaklık arttıkça, ara kesitteki boşlukların azaldığı görülmektedir. Üretim esnasında, takviye parçacıkları, metal/seramik ara kesitinde reaksiyona girerler. Matriste Mg varsa;



denklemleri gereği MgAl_2O_4 ve MgO spinelleri oluşabilir (Şekil 6.2 ve Resim 5.25).



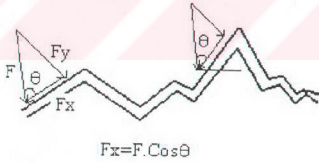
Şekil 6.2. Oluşan Spinellerin Sistemantik Görünüşü

McLeod' a göre (Samuel' den, 1995), matriste %0.03 kadar bir Mg bulunması bile spinel oluşumu için yeterlidir. Spinel oluşumu Resim 5.25' de görülmektedir.

MgAl_2O_4 oluşumu akma ve çekme dayanımlarını önemli ölçüde düşürmektedir. Ayrıca uygulanan basınç oksitler üzerinde çatlamlara sebep olmaktadır.

6.3. Yüzey Pürüzlülüğünün Birleşme Üzerindeki Etkisi

Yüzey pürüzlülüğü arttıkça, ara kesitteki boşlukların boyutu da büyüdüğünden, birleşme hem daha uzun zaman almakta hem de kaynak sonrası ara kesitte daha fazla boşluk olduğu görülmektedir. Yalnız, yapılan deneylerden yüzey pürüzlülüğünü çok düşürmenin birleşmeye olumsuz etki edebileceği de anlaşılmıştır. Bu durum özellikle 550 °C' de 2 MPa basınç altında kaynak edilen 0.05 μm ' lik yüzey pürüzlülüğüne sahip numunenin birleşme ara kesitinde daha fazla sayıda boşluk olması ile görülmektedir (Resim 5.16 ve Resim 22). Bunun nedeninin, yüzey ortalama pürüz yüksekliğinin küçük olması nedeniyle uygulanan basıncın yüzeydeki oksit tabakasını kıramaması olduğu söylenebilir (Şekil 6.3). Yani bu durumda ya basıncı artırmak ya da optimum bir yüzey pürüzlülüğü değeri elde etmek gerekir. Bir başka deyişle, ortalama yüzey pürüzlülük yüksekliği (R_a), birleştirilecek malzemenin ana elementinin oto difüzyon mesafesinden küçük (Askeland, 1994), oksitleri kırmaya yetecek bir kayma gerilmesi oluşturacak kadar büyük olmalıdır. Bu durumun, özellikle oksitlenme serbest enerjisi düşük olan demir dışı metal ve alaşımlarında önemli olduğu düşünülmektedir.

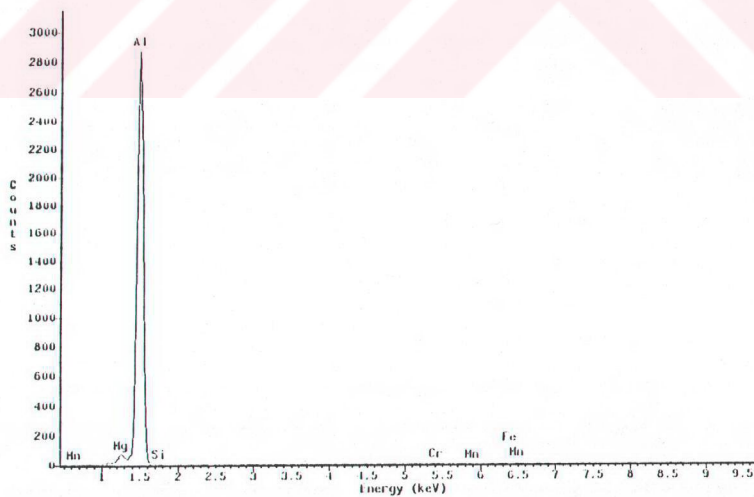
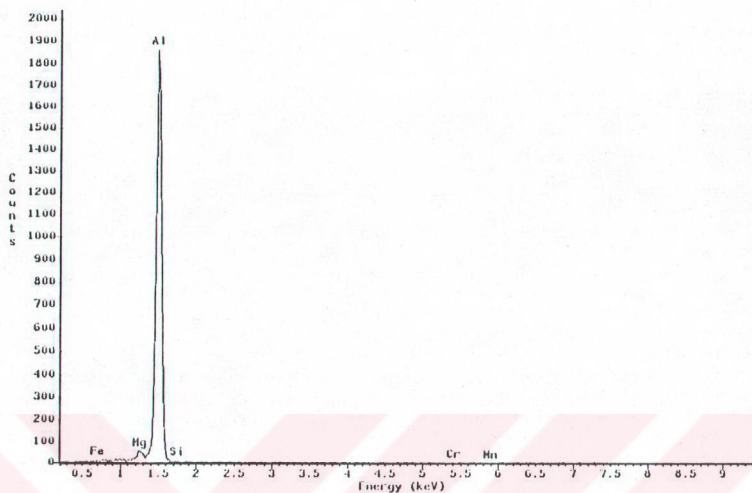


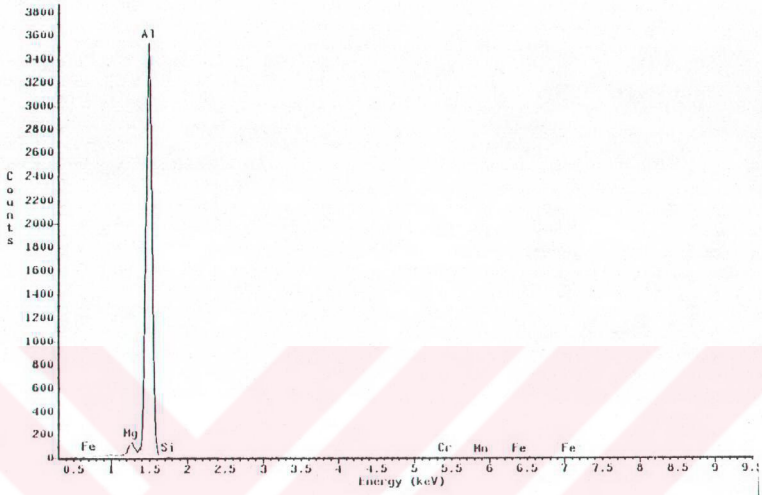
Şekil 6.4. Yüzey Pürüzlerine Gelen Kuvvetler

6.4.Öneriler

Bu malzeme:

1. Arada Ag ya da Cu folyo kullanılarak birleştirilebilir.
2. Yüzey pürüzlülüğü değişik değerlerde denenerek optimum yüzey şartları belirlenebilir.
3. Vakumda birleştirme denenebilir.
4. Elektrolitik parlatılarak denenebilir.
5. Sıvı faz difüzyon kaynağı denenerek birleştirilebilir.
6. Bağlantılara çekme ya da bindirme-kayma testi uygulanarak mekanik özellikler ile iç yapı arasında ilişki kurulabilir.





İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

7.KAYNAKLAR

ASKELAND, D.R., (1994). The Science and Engineering of Materials. **Van Nostrand, Reinhold Co. Ltd.** İkinci Metrik Baskı. Hong Kong.

ANIK, S., (1991). Kaynak Tekniği El Kitabı. **Gedik Holding Yayınları.** İstanbul. 190 – 193.

BRANDES, E.A., (1983). Metals Reference Book. **Altıncı Basım. Butterworths.** İngiltere.

CALVO, F.A., (1988). Special Features of the Formation of the Diffusion Bonded Joints between Copper and Alüminum. **Journal of Material Science.** 28: 2273-2280.

CEYHUN, V., UZKUT, M., ŞAHİN, S., (1996). Difüzyon Kaynağı ve Uygulamaları. **Uluslar arası Kaynak Teknolojisi 96 Sempozyumu.** Gedik Eğitim Vakfı Yayını. 178- 186.

DERBY, B., WALLACH, E.R., (1982). Diffusion Bonding. **Metal Science.** 16:49

DIETER, M., (1986). Mechanical Metallurgy. **Üçüncü Basım. McGraw – Hill Yayınları.** ABD.

ENJO, I., IKEGUCHI, M., (1987). Diffusion Bonding of Al – Mg – Si Series 6063 Alloy Reinforced with Alümina Short Fibers. **Trans. of Japanese Welding Research Inst.** 16:2:57 – 64.

FITZPATRICK, G.A., BROUGHTON, T., (1988). Diffusion Bonding Aeroengine Components. **Deference Science Journal.** 38.477 – 485.

HATCH, J.E., (1993). Aluminum Properties and Physical Metallurgy. **ASM**.233

- 234

KUŞUNGÖZ, N., KURŞUGÖZ, H., (1996). Difüzyon Kaynağı. **Uluslar arası Kaynak Teknolojisi 96 Sempozyumu**. Gedik Eğitim Vakfı Yayını. 203 – 211.

MONDOLFO, L.F., (1976). Aluminum Alloys–Sturctures and Properties. **Butterworths Co**. London.

ORHAN, N., (1996). Difüzyon Kaynağı için Yeni Bir Model ve Duplex Alaşımlara Uygulanması. **Doktora Tezi**. Fırat Üniversitesi. Elazığ.

PARTRIDGE, P.G., (1989). Diffusion Bonding of Metals. **Agard 168**. **NATO Yayını**. Essex.

PORTER, D.A., EASTERLING, K.E., (1993). Phase Transformations in Metals and Alloys. İkinci Baskı. **Chapman and Hall Co**. London.

SAMUEL, F.H., SAMUEL, A.M., (1995). Heat – Treatment Parameters for A359/Al2O3/10p Composite Modified with 0.07 Wt % Strontium. **Composites Science and Technology**. 53:1, 83–97.

SPANSWICK, O., (1989). Diffusion Bonding – Engineering Appcalation. **Production Engineer**. 68.

WALSH, D.W., BALAGUER, J.P., (1986). Diffusion Bonding of Ti – 6Al – 4V. Advances in Welding Science and Techonolgy. TWR 86. Proceed. **Of an Int. Conf. On Trans. in Reasarch**. Gattinburg – Tenesse.

ZHANG, Y.C., NAKAGAWA, H., (1987). Proposal of New Bonding Technique – Instantenous Liquid Phase Bonding. **Trans. of J.W.R**. 1.16 (1):17 – 29.