

Vorteks Metodu İle Üretilen Bor Karbür Partikül Takviyeli Alüminyum Kompozitlerin
TIG Kaynak Kabiliyeti ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Sadrettin Tezcan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı

Mart 2012

Investigation of Mechanical Properties and TIG Weldability of Boron Carbide Particle
Reinforced Aluminum Matrix Composites Produced by Vortex Method

Sadrettin Tezcan

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Metallurgical Engineering

March 2012

Vorteks Metodu İle Üretilen Bor Karbür Partikül Takviyeli Alüminyum Kompozitlerin
TIG Kaynak Kabiliyeti Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Sadrettin Tezcan

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Remzi GÜRLER

Mart 2012

ONAY

Metaller Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Sadrettin Tezcan'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Vorteks Metodu İle Üretilen Bor Karbür Takviyeli Alüminyum Kompozitlerin TIG Kaynağı Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi" başlıklı bu çalışma, jürimize lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Remzi GÜRLER

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Prof. Dr. Remzi GÜRLER

Üye : Prof. Dr. Yaşar PANCAR

Üye : Y. Doc. Dr. Nedret AYDINBEYLİ

Üye : Y. Doc. Dr. Hakan GAŞAN

Üye : Y. Doc. Dr. İbrahim ÇELİKÜREK

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK
Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu çalışmanın amacı; alüminyum matrisli bor karbür parçacık takviyeli kompozitlerin vorteks yöntemiyle üretimi, üretilen kompozitlerde mekanik özelliklerinin ve TIG kaynak kabiliyetinin parçacık oranı ile değişiminin incelenmesidir.

Kompozit üretimi için 40 µm tane boyutunda bor karbür kullanılmıştır. Bor karbürün ıslatmasını iyileştirmek için matrise Ti ilave edilmiştir. Üretilen kompozitlere sertlik ve çekme deneyleri yapılmıştır. Numunelerin mikro yapısı ile kırılma yüzeyleri optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Üretilen kompozitlerde parçacık oranı artışı ile sertliğin arttığı çekme mukavemetinin ise azaldığı görülmüştür. Al-Ti matrisin sertliği 29,85 HB iken, %5 ve %10 bor karbür içeren kompozitlerin sertliği sırasıyla 43,56 HB ve 46,60 HB olarak bulunmuştur. Partikül miktarının artması ile çekme mukavemetleri 95,6 MPa'dan 84,01 MPa'a düşmüştür. %5 bor karbür içeren kaynaklı kompozitin çekme mukavemeti 67,05 MPa, %10 bor karbür içeren kaynaklı kompozitin çekme mukavemeti 62,41 MPa olarak bulunmuştur. Parçacık miktarı arttıkça gevrek kırılma yüzeyleri de artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Metal matrisli kompozitler, Bor karbür, Parçacık takviyeli kompozitler, Vorteks yöntemi, TIG kaynağı

SUMMARY

The objective of the present study was to investigate the production of aluminum matrix boron carbide particle reinforced composite using vortex method and to examine the relationship of the particle ratio with mechanical properties and TIG weldability.

40 μm size of particles boron carbide is used for composite production. Ti was added to matrix for improving of boron carbide. Tensile and hardness tests were conducted for composites. The microstructure and fracture surface of specimens were characterized using optical microscope and scanning electron microscopy (SEM) equipped with EDS. When the particle ratio was increased, the hardness increased but tensile strength decreased. While Al-Ti matrix hardness was 29.85 HB, %5 and %10 containing boron carbide composites hardness were respectively found to be 43.56 and 46.60 HB. Tensile strength decreased from 95.96 to 84.01 MPa with the increase of the amount of particulate. The tensile strength of the welded composite containing 5% boron carbide was found to be 67.05 MPa, the tensile strength of the welded composite containing 10% boron carbide was found to be 62.41 MPa. Brittle fracture surfaces are also increased with the increase of the particle.

Keywords: Metal matrix composites, Boron carbide, Particle reinforced composites, Vortex method, TIG welding

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarında, gerek derslerimde ve gerekse tez çalışmalarında, bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan danışmanım Sayın Prof. Dr. Remzi GÜRLER'e,

Deneysel çalışmalarında yardımcı olan Metalurji Enstitüsü Laboratuvar teknisyeni Akif TUTGUN'a,

Ayrıca her an yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme, arkadaşlarıma ve hayatımda emeği geçen herkese teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
1. GİRİŞ	1
2. KOMPOZİT MALZEMELER.....	3
2.1. Kompozit Malzemelerin Yararları Ve Sakıncaları.....	4
2.2. Kompozitlerin Sınıflandırılması.....	4
2.3. Kompozitlerin Yapısı	5
2.4. Metal Matrisli Kompozitler (MMK)	11
2.4.1. MMK'lerde kullanılan takviye malzemeleri	12
2.4.2. Metal Matrisli Kompozitlerin Sınıflandırılması	14
3. ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLER (AL-MMK)	16
3.1. Al-B ₄ C Kompozitleri.....	19
3.2. Al-B ₄ C Ara Yüzeyi	21
3.3. Al-B-C Üçlü Sisteminde Oluşan Fazlar	23
4. MMK'LERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	25
4.1. Sıvı Metal Karıştırma Teknikleri (Vorteks Metodu)	26

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.2. Sıvı Alüminyumun Seramik Parçacıklarını İslatması.....	29
5. METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN KAYNAK KABİLİYETİ	31
5.1. Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemelerin Birleştirme Yöntemleri	32
5.2. Alüminyum Ve Alaşımlarının TIG Kaynağı	34
6. AL-MMK'LERİN MÜHENDİSLİK MALZEMLERİ İÇİNDEKİ YERİ, ÖNEMİ VE GELECEĞİ.....	36
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	45
7.1. Kullanılan Malzemeler	45
7.2. Kompozit Üretimi	46
7.3. Kompozit Malzemelerin Birleştirilmesi	48
7.4. Metalografik Numune Hazırlama.....	49
7.5. Sertlik Ölçümü	51
7.6. Çekme Testinin Yapılışı	52
8. SONUÇLAR.....	53
8.1. Metalografik İncelemeler.....	53
8.2. Sertlik Özelliklerinin İncelenmesi.....	57
8.3. Çekme Özelliklerinin İncelenmesi	58
8.4. Kırık Yüzeylerin İncelenmesi	60

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
8. TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	66
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	68

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1	Kompozit malzemelerin takviye malzemesine göre sınıflandırılması ... 5
2.2	Kompozit malzemede matris-takviye bağı oluşumunda ara yüzey ve ara fazlar (a) Doğrudan (ara fazsız) birleşme, (b) Kaplanmış takviye kullanımı, (c) Karşılıklı sınırlı oranda çözünmeyle ara faz oluşumu 6
2.3	Katı yüzey üzerindeki sıvı damlası, ıslatmanın iyi olmadığı sistemde ıslatma açısı ve yüzey enerjilerinin şematik gösterimi 7
2.4	Temas açısına bağlı olarak değişen ıslatma durumları 8
3.1	B ₄ C'ün kristal yapısı 20
3.2	Al-B ₄ C kompozit malzemelerinde titanyumlu reaksiyon tabakasından oluşan ara yüzeye ait mikroyapı görüntüsü 22
3.3	Al-B ₄ C kompozit malzemelerinde titanyumlu reaksiyon tabakasından oluşan Al ₃ Ti bileşiği 23
3.4	647 °C'de 450 saat ısıtılan Al-B ₄ C kompozit malzemede Al-B ₄ C arasındaki katı hal reaksiyonları ile Al ₃ BC ve AlB ₂ kristallerinin büyümesi 24
4.1	Sıvı metal karıştırma yöntemiyle AL-MMK üretmek için tasarlanan elektrikli dikey ergitme fırını, karıştırıcı ve kontrol ünitesinin şematik gösterimi 28
5.1	TIG kaynak yöntemi blok şeması 35
6.1	a) Otomobil fren diskleri b) Alman Knorr Bremse şirketi tarafından geliştirilmiş SiC takviyeli yüksek hız treni fren diskleri c) Kolbenschmidt şirketi ve Porsche işbirliği ile üretilen motor blok giydirmesi d) hidrolik manifold e) Fransa N4 ve EC120 helikopterleri kanat taşıma aparatı f) Toyota Altezza için geliştirilen Ti bazlı egzoz valfleri g) Gr fiber takviyeli Al bazlı uzay teleskopu h) Elektronik uygulamalar, ı) Elektrik iletim hatları..... 37
7.1	a) Karıştırıcı sisteminin şematik görünümü, b) karıştırıcı sisteminin genel fotoğrafı..... 46
7.2	a) Elektrikli direnç fırınının şematik görünümü, b) Elektrikli direnç fırınının genel fotoğrafı..... 47
7.3	Döküm işleminin yapıldığı metal kalıbın a) açık ve b) kapalı fotoğrafı . 47

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.4 Kaynak öncesi malzemeye açılan kaynak ağzının şekli	48
7.5 a) Buehler Abrasimet 2 marka kesme cihazı, b) Struers LaboPress-3 marka soğuk kalıplama makinesi	49
7.6 a) Struers Knuth Rotor marka zımparalama cihazı, b) Buehler marka zımparalama cihazı.....	50
7.7 Struers DAP-2 marka parlatma cihazı	50
7.8 NİKON marka bilgisayar destekli mikroskop	51
7.9 SHIMADZU-AG-IS 250kN ÜNİVERSAL TEST CİHAZI: Bilgisayar kontrollü sıcaklık üniteli üniversal test cihazı (Maksimum yük = 250 kN)	52
7.10 Çekme testinde kullanılan yuvarlak kesitli silindirik başlı çekme numunelerinin teknik resmi.....	52
8.1 %5 B ₄ C içeren dağlanmamış, kaynaksız kompozit numunenin x100 büyütmedeki mikroyapısı	53
8.2 %5 B ₄ C içeren dağlanmamış, kaynaklı kompozit numunenin kaynak bölgesindeki mikroyapısının x100 büyütmedeki fotoğrafı.....	54
8.3 Şekil 8.3. %5 B ₄ C içeren dağlanmış, kaynaklı kompozit numunenin kaynak bölgesindeki mikroyapısının x50 büyütmedeki fotoğrafı	54
8.4 %10 B ₄ C içeren dağlanmamış, kaynaksız kompozit numunenin x100 büyütmedeki mikroyapısı	55
8.5 Şekil 8.5. %10 B ₄ C içeren dağlanmamış, kaynaklı kompozit numunenin kaynak bölgesindeki mikroyapısının x100 büyütmedeki fotoğrafı	55
8.6 %10 B ₄ C içeren dağlanmış, kaynaklı kompozit numunenin kaynak bölgesindeki mikroyapısının x50 büyütmedeki fotoğrafı	56
8.7 %5 B ₄ C içeren kaynaklı kompozit numunenin kaynak bölgesindeki mikroyapısının x300 büyütmedeki SEM fotoğrafı	56
8.8 %10 B ₄ C içeren kaynaklı kompozit numunenin kaynak bölgesindeki mikroyapısının x300 büyütmedeki SEM fotoğrafı	57

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>		<u>Sayfa</u>
8.9	Numunelerin akma mukavemetinin belirlenmesi	58
8.10	%5 B ₄ C içeren kaynaklı kompozit numunenin (a) ITAB'taki, (b) Kopma bölgesindeki mikroyapılarının x50 büyütmedeki fotoğrafları ...	59
8.11	%10 B ₄ C içeren kaynaklı kompozit numunenin (a) ITAB'taki, (b) Kopma bölgesindeki mikroyapılarının x50 büyütmedeki fotoğrafları...	60
8.12	%5 B ₄ C içeren kaynaklı kompozit numunenin x300 büyütmede SEM'de kırık yüzey görüntüsü.....	60
8.13	%5 B ₄ C içeren kaynaklı kompozit numunenin kaynak bölgesinde x300 büyütmede SEM'de kırık yüzey görüntüsü.....	61
8.14	%10 B ₄ C içeren kaynaklı kompozit numunenin x300 büyütmede SEM'de kırık yüzey görüntüsü.....	63
8.15	%10 B ₄ C içeren kaynaklı kompozit numunenin kaynak bölgesinde x300 büyütmede SEM'de kırık yüzey görüntüsü.....	64
8.16	%10 B ₄ C içeren kaynaklı kompozit numunenin kaynak bölgesinde x300 büyütmede SEM'de kırık yüzey görüntüsü.....	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Kompozit üretiminde kullanılan bazı takviye malzemelerinin ana karakteristikleri	13
3.1 Alüminyumun özellikleri	16
3.2 AL-MMK malzemelerde kullanılan başlıca matris malzemelerinin mekanik özellikleri.....	17
3.3 B ₄ C'ün başlıca fiziksel özellikleri	21
4.1 Sıvı alüminyumun vakum altında farklı seramik malzemeleri ıslatma açısının sıcaklıkla değişimi	30
6.1 Metal matrisli kompozitlerin otomotivde uygulama örnekleri	40
6.2 Uzay ve uçak endüstrisinde MMK'lerin uygulamaları	41
6.3 Demiryolu, elektrik/elektronik, spor, kağıt ve diğer endüstrilerde MMK'lerin uygulamaları	42
7.1 Kullanılan B ₄ C tozunun üretici firma tarafından belirlenen bileşimi.....	45
7.2 Kaynak işleminde kullanılan kaynak telinin özellikleri	49
7.3 Mikroyapı için kullanılan dağıtıcının özellikleri.....	51
8.1 %5 ve %10 B ₄ C içeren kompozit numunelerin ve takviyesiz Al matrisin Rockwell H sertlik değerleri.....	58
8.2 Takviyesiz Al, %5 ve %10 B ₄ C içeren kaynaklı ve kaynaksız numunelerin çekme testi sonucu verileri	59
8.3 Şekil 8.12.'de verilen %5 B ₄ C içeren kaynaksız kompozit numunenin (a) noktasındaki EDS analiz sonucu	61
8.4 Şekil 8.13.'de verilen %5 B ₄ C içeren kaynaklı kompozit numunenin (a) noktasındaki EDS analiz sonucu	62
8.5 Şekil 8.14.'de verilen %10 B ₄ C içeren kaynaksız kompozit numunenin (a) noktasındaki EDS analiz sonucu	63
8.6 Şekil 8.15.'de verilen %10 B ₄ C içeren kaynaklı kompozit numunenin işaretli bölgedeki EDS analiz sonucu	64

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Sekil</u>		<u>Sayfa</u>
8.7	Şekil 8.16.'de verilen %10 B ₄ C içeren kaynaklı kompozit numunenin (a) noktasındaki EDS analiz sonucu	65

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

MMK	Metal matrisli kompozit
Al-MMK	Alüminyum metal matrisli kompozit
T/M	Toz metalurjisi
SiC	Silisyum karbür
B ₄ C	Bor karbür
γ_{kb}	Katı buhar ara yüzey enerjisi
γ_{ks}	Katı sıvı ara yüzey enerjisi
γ_{sb}	Sıvı buhar ara yüzey enerjisi
θ	Islatma açısı
TIG	Tungsten İner Gaz
AA	Alternatif akım
SEM	Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
HRH	Rockwell H sertlik değeri
% e	% Birim şekil değiştirme
σ	Gerilim

1. GİRİŞ

Tarihin başlangıcından beri malzemeler insanların yaşam standardının ölçüsü olarak alınmış ve tarihte bazı devirler kullanılan malzemelerle adlandırılmıştır (Çanakçı, 2006). Ağaç, kemik, diş gibi doğal kompozit malzemelerin dışında, insan üretimi olan kompozit malzemelerin tarihte bilinen ilk kullanımına, bundan yaklaşık 3000 yıl önce Mısır'da rastlanmıştır. Söz konusu malzeme, duvar yapımında kullanılmak için saman ile takviye edilen kil tuğlalardır (Wadsworth and Lesuer, 1999: Toptan'dan, 2006). Modern kompozitler olarak adlandırabileceğimiz günümüzde kullanılan kompozitlerin gelişimi 1930'lu yıllarda cam elyafın reçine ile birlikte kullanılmasıyla başlamıştır (Çanakçı, 2006).

Metal matrisli kompozitler (MMK) üzerine yapılan çalışmalar ise, 1960'ların başlarına dayanmaktadır. 1960'ların sonları ve 1970'lerin başlarında, bor ve silisyum karbür (SiC) gibi yüksek dayanımlı mono filamanların geliştirilmesiyle, fiber takviyeli MMK'lerin üzerindeki çalışmalar artmıştır. 1970'lerin sonlarında ise çalışmalar, SiC visker (whisker) takviyeler kullanılarak üretilen süreksiz takviyeli MMK'ler üzerinde yoğunlaşmıştır. Partikül veya fiber takviyeli alüminyum, magnezyum, demir ve bakır matrisli MMK'ler, otomotiv ve havacılık endüstrileri, ısı yönetimi, triboloji gibi alanlarda en büyük ilgiyi görmüştür (Toptan, 2006).

Alüminyum metal matrisli kompozitlerin (Al-MMK) mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için kullanılan takviyelerin başında SiC, Al₂O₃, TiC ve B₄C gibi seramikler gelmektedir. Bu seramikler arasında B₄C, sahip olduğu üstün fiziksel ve kimyasal özellikleri ile ülkemizin sahip olduğu zengin bor kaynakları nedeniyle göze çarpmaktadır (Kumdalı, 2008).

Kompozit malzemeler sahip oldukları üstün özelliklere rağmen üretim maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı kullanım alanları endüstriyel olarak istenen seviyelere ulaşmamıştır. Yüksek maliyetli kompozit malzemelerin kullanım yerlerinde

daha düşük maliyetle kullanımı ve oluşan hasarların giderilmesi için kaynaklı birleştirmeye ihtiyaç duyulmuştur (Lindros, et al., 1995; Gürler, 1988: Alp'ten 2008). Kompozit malzemelerin kaynağı esnasında, matris ile takviye parçacığın karıştırılması zordur. Soğuma esnasında katılaşma segregasyonlar, yüksek sıcaklıklardan dolayı istenmeyen reaksiyonlar oluşmakta, parçacıkların dibe çökmesi gibi sorunlarla karşılaşmaktadır (Çelik, 1996; Partridge, et al.,1991; Ellis,1996: Alp'ten, 2008).

Bu çalışmada; alüminyum matrisli bor karbür parçacık takviyeli kompozitler vorteks yöntemiyle üretilmiş ve üretilen kompozitler TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Üretilen kompozitlere sertlik ve çekme testi uygulanmış ve kompozitlerin mikroyapıları incelenmiştir.

2. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemelerin değişik tanımları olmakla birlikte bu konuda çalışan çoğunluk tarafından kabul edilen tanımı: Kimyasal bileşimi ve özellikleri farklı olan iki veya daha fazla sayıdaki malzemenin makro düzeyde birleştirilmesiyle elde edilen malzemelere kompozit malzeme adı verilir, şeklindedir (Kaw, 1997: Çanakçı'dan 2006). Her bileşen kendi özelliklerini korur, yani her bir malzeme tabakası bir başka tabaka ara yüzeyinde kendi yapısal özelliğini gösterir (Ekici, 2004). Fakat kompozit malzemenin özellikleri kendisini oluşturan malzemelerin özelliklerinden üstündür (Hull and Clyne, 1996: Çanakçı'dan 2006).

Özellikle ağırlığın önemli olduğu hava, kara ve deniz taşıtlarında kullanılan malzemelerde özgül mukavemet ve özgül modül özellikleri öne çıkar (Çanakçı, 2006). Kompozit malzemenin özellikleri, yapısal malzemelerin özelliklerine, geometrisine, dağılım ve etkileşimine bağlıdır. Kompozit malzeme, matris olarak adlandırılan, daha zayıf olan bir sürekli fazdan ve takviye elemanı olarak adlandırılan, daha sağlam süreksiz bir fazdan oluşmaktadır. Bazen kimyasal etkileşimlerden veya diğer işlem etkilerinden dolayı takviye elemanı ve matris arasında ara faz denilen ilave bir faz oluşmaktadır (Daniel and Ishai, 1994: Ekici'den 2004).

Kompozit malzemeler, değerli niteliklerden dolayı uzay ve havacılık araçlarında daha fazla kullanılmaktadır. Bugün bir av bombardıman uçağında kompozit malzeme kullanımı toplam uçak ağırlığının yarısına ulaşmış bulunmaktadır. Roket üretiminde kompozit malzemelerin rolü oldukça büyüktür. Örnek olarak M72'de motor cam elyafi ve epoksiden, apilasta ve diğer tanksavar roketlerde gövde kısmen kevlar ve epoksiden, M77 MLRS'de nozüller karbon kompozit malzemesinden yapılmaktadır (Soy, 2009 a). Seramik-metal kompozitler, monolitik seramiklere kıyasla daha yüksek tokluğa sahiptir. Bu yüzden daha üstün balistik performans gösterebilirler. Aynı zamanda çarpma esnasında daha az çevresel zarar görerek çoklu çarpmalara dayanabilirler (Arslan, 2001).

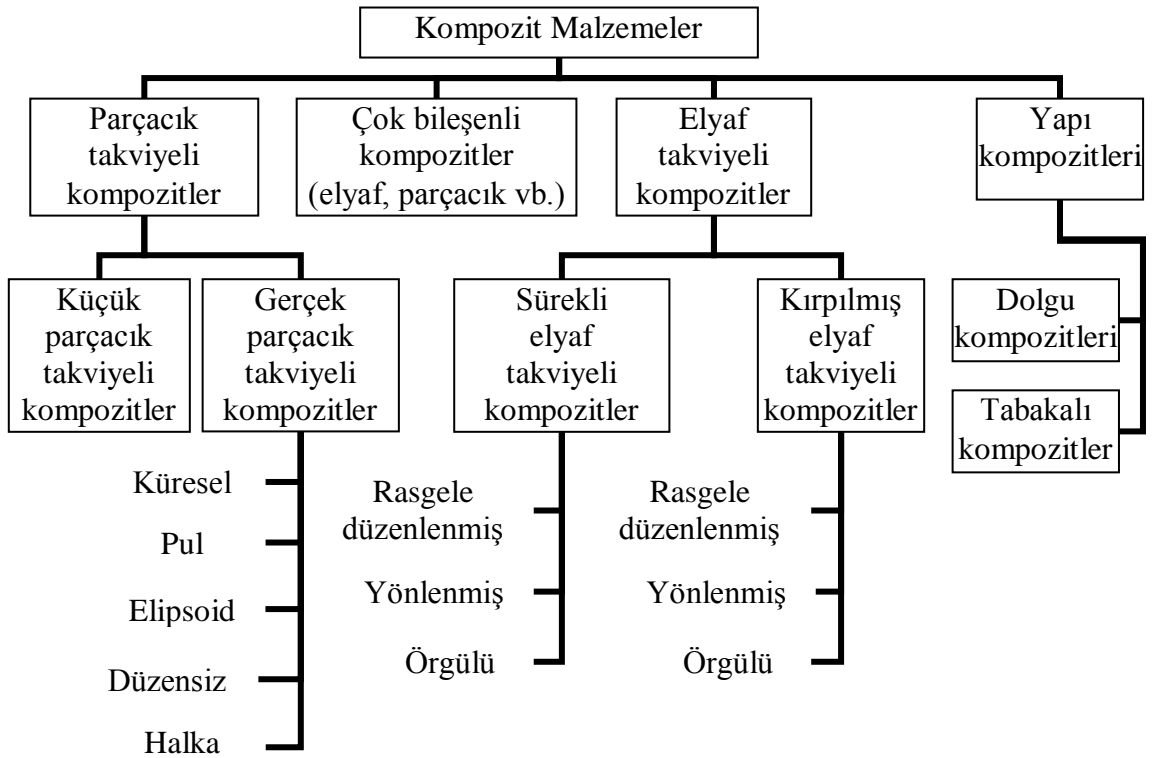
2.1. Kompozit Malzemelerin Yararları ve Sakıncaları

Kompozit malzemelerde, bileşenlerinin en iyi özelliklerinin bir malzemede toplanması önemli yarar sağlar (Atmaca, 2006; Sandal, 2009). Bu özellikler; dayanım, korozyon direnci, aşınma direnci, elektrik iletkenliği (elektriksel direnç), ısı iletkenlik, akustik iletkenlik, ses tutuculuğu (yutuculuğu), mekanik dayanım, çarpma dayanım, çekme, eğilme, kırılma tokluğu, basınç, rijitlik, yorulma ömrü, sıcaklığa bağlı davranışı, ısı yalıtımı, ses yalıtımı, ağırlık ve görünümüdür (Sandal, 2009). Kompozit malzemelerin diğer malzemelere oranla daha pahalı olmaları, sakıncalarından biridir (Özdemir, 2006; Sandal, 2009). Ayrıca aynı kompozit malzeme için çekme, basma, kesme ve eğilme mukavemet değerleri farklılıklar gösterir, hammadde pahalıdır, lamine edilmiş kompozitlerin özellikleri her zaman ideal değildir, malzemenin kalitesi üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır ve standartlaşmış bir kalite yoktur (Kılıç, 2008).

Al-B₄C kompozitlerinin üretiminde karşılaşılan en büyük sorun, matris malzemesinin takviye partikülleri tarafından ıslatılamaması sorunudur (Toptan, 2006).

2.2. Kompozitlerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler değişik kriterler esas alınarak sınıflandırılabilir. Doğal kompozitler (kemik, kas, deri, ağaç) ve yapay kompozitler (cam elyaf takviyeli, karbon-karbon, kevlar-epoksi vb.) bu sınıflandırmalardan biridir. Kompozitin ana dokusunu oluşturan matris malzemesine göre yapılan sınıflandırma ise plastik (polimer), metal, seramik matrisli kompozit malzemeler olarak yapılır. Ancak uygulamada en yaygın olarak kullanılan sınıflandırma kompozite mukavemet kazandıran takviye malzemesine göre yapılır (Şekil 2.1.) (Çanakçı, 2006).

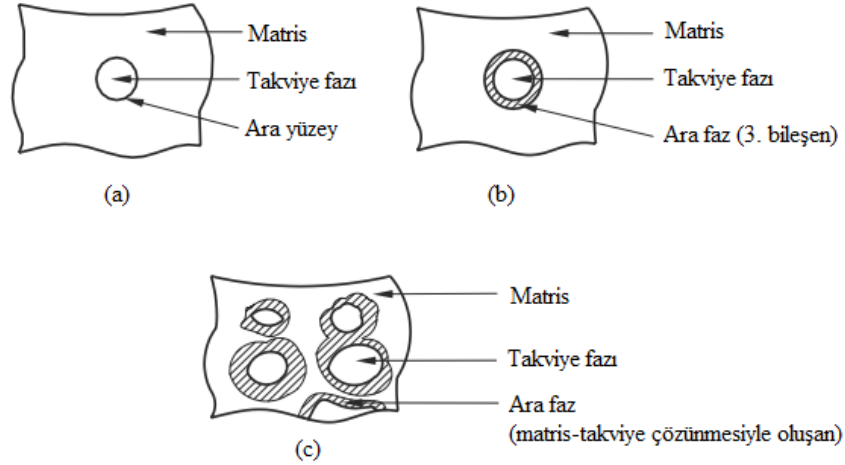


Şekil 2.1. Kompozit malzemelerin takviye malzemesine göre sınıflandırılması (Callister, 1990: Çanakçı'dan 2006).

2.3. Kompozitlerin Yapısı

Matris malzemesinin kompozit sisteminde kompozit malzemeye gelen yükleri takviye malzemelerine iletmek, kompozit malzemenin tokluğunu artırmak, kırılan elyaflardan çatlağın yayılmasını önlemek, kompozit malzemenin mukavemetine katkıda bulunmak, takviye elemanlarını bir arada tutmak (bağlayıcı faz görevi yapmak), takviye malzemelerini ortamın etkilerinden ve darbelerden korumak gibi görevleri vardır. Kompozitin tarifine göre matris ve takviye fazı birbiri içinde çözünmemelidir. Ancak çok az miktarda çözünürlük matris-takviye arasında güçlü bir bağın oluşumunu olumlu yönde etkiler (Şekil 2.2. (c)). Bazı durumlarda matrisle takviye arasında doğrudan bağ

oluşur. Matrisle takviye arasında iyi bir bağ oluşmaması durumunda takviye üzerine matris ile bağ oluşturan bir malzeme kaplanır (Çanakçı, 2006).

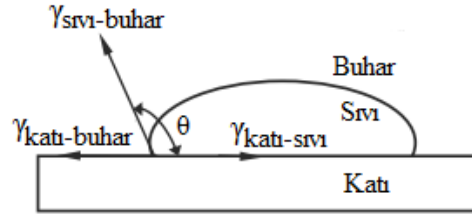


Şekil 2.2. Kompozit malzemede matris-takviye bağı oluşumunda ara yüzey ve ara fazlar (a) Doğrudan (ara fazsız) birleşme, (b) Kaplanmış takviye kullanımı, (c) Karşılıklı sınırlı oranda çözünmeyle ara faz oluşumu (Çanakçı, 2006).

Matris-takviye ara yüzeyinin yapısı ve özellikleri kompozit malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerini büyük ölçüde etkiler. Çünkü matris üzerine etki eden gerilmelerin takviye elemanına aktarılması ara yüzey aracılığı ile olur (Hull, 1996: Çanakçı'dan 2006).

Elektriksel olarak nötr karakterde olan iki yüzey birbirine yeteri kadar yaklaştığında aralarında bir çekim oluşur. Bu olay sıvıların katı yüzeyleri ıslatması ile açıklanır. İki katı yüzey birbirine temas ettiğinde yüzey pürüzlülüğü bu iki yüzeyin belirli noktalar dışında atomsal veya mikro düzeyde birbirine temas etmesini engeller. Yüzeyler temizlense bile temas noktalarında oluşan adhezyon tüm yüzeye oranlandığında düşüktür. Etkin bir ıslatma için sıvının katı yüzeyindeki bütün girintileri ve çıkıntıları doldurarak arada bulunan havanın yerini alması gerekir. Islatmanın meydana gelmesi için ara yüzey bağ mukavemetinin sıvının yüzey gerilimine galip

gelmesi gerekmektedir (Kerti, 1998: Toptan'dan 2006). Yani ıslatma, bir katı yüzeyinde bir sıvının yayılma kabiliyeti olarak tanımlanabilir ve katı-sıvı arasındaki yakın ilişkinin (temas) derecesini temsil eder. Şekil 2.3.'de görüldüğü gibi ıslatma katı madde yüzeyine düşen sıvı damlacığı ile katı arasındaki temas açısıyla tanımlanabilir (Çanakçı, 2006).



Şekil 2.3. Katı yüzey üzerindeki sıvı damlası, ıslatmanın iyi olmadığı sistemde ıslatma açısı ve yüzey enerjilerinin şematik gösterimi (Oh, et al., 1989: Çanakçı'dan 2006).

Yüzey enerjileri ve ıslatma açısı arasındaki temel ilişki Young-Dupre eşitliği ile ifade edilir (Oh, et al., 1989; Dubre, 1869; Young, 1805: Çanakçı'dan 2006).

$$\gamma_{kb} = \gamma_{ks} + \gamma_{sb} \cos\theta \quad (2.1.)$$

Burada γ_{kb} katı-buhar ara yüzey enerjisi, γ_{ks} katı-sıvı ara yüzey enerjisi, γ_{sb} sıvı-buhar ara yüzey enerjisi ve θ ıslatma açısıdır. Katının üzerine sıvının yayılması için sistemin serbest enerjisinde azalma olması gerekir. Sıvı ile katı arasındaki bağ kuvveti (yani adhezyon işi) aşağıdaki eşitlikten bulunur: (Çanakçı, 2006)

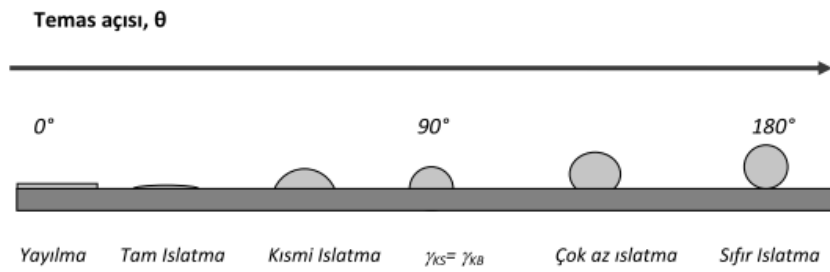
$$W_a = \gamma_{sb} + \gamma_{kb} - \gamma_{ks} \quad (2.2.)$$

(2.1.) eşitliği ile verilen γ_{kb} değeri yerine konursa;

$$W_a = \gamma_{sb} (1 + \cos\theta) \quad (2.3.)$$

elde edilir (Çanakçı, 2006).

Bu nedenle sıvı ile katı arasındaki bağ kuvveti temas (ıslatma) açısı ve sıvının yüzey gerilimi ile ifade edilebilir (Oh, et al., 1989 Çanakçı'dan 2006). Temas açısının küçük olması iyi bir ıslatmanın gerçekleştiğini ifade eder. $\cos\theta > 0$ (veya $\gamma_{sb} > \gamma_{ks}$) olunca ıslatma gerçekleşir (Çanakçı, 2006). Temas açısına bağlı olarak değişen ıslatma durumları Şekil 2.4.'de gösterilmiştir (Kaya, 2010).



Şekil 2.4. Temas açısına bağlı olarak değişen ıslatma durumları (Kaya, 2010).

Islatmayı kolaylaştırmak için uygulanan yöntemler, üç temel esasa dayanmaktadır; (Kaya, 2010)

1. Katının yüzey enerjisinin arttırılması,
2. Sıvı alaşımın yüzey geriliminin azaltılması ve
3. Seramik tanecik-matris ara yüzündeki katı-sıvı yüzey enerjisinin azaltılması (Pai, et al., 1992: Kaya'dan 2010)

Seramik taneciklerin sıvı metal tarafından ıslatılmasını kolaylaştırmak için çeşitli yaklaşımlar önerilmiş olup bunlar arasında; (Kaya, 2010)

1. Sıvı metal sıcaklığının yükseltilmesi (Levi, et al., 1978: Kaya'dan 2010)

2. Yüzey aktif elementlerin (Mg, Li, Ca, Ti veya Zr) matris alaşımına ilave edilmesi (Dellanney, et al., 1987; Lewandowski, et al., 1989; Kaya'dan 2010)
3. Seramik taneciklerin kaplanması ya da oksitlendirilmesi ve (Kulkami, et al., 1979; Rocher, et al., 1985; Kaya'dan 2010)
4. Seramik taneciklerin ısıtma işlemi vb. yöntemlerle temizlenmesi yer almaktadır (Rogatgi, et al., 1986; Krishan, et al., 1981; Kaya'dan 2010).

Levi ve arkadaşları (Hashim,2001; Çanakçı'dan 2006) alüminyum esaslı sistemlerde takviye parçacıklarının tutulması ve ıslatılmasının ancak sisteme alaşım elementi katılmasıyla başarılabilirliğini ileri sürmüşlerdir. Alaşım elementinin takviye parçacığıyla kimyasal reaksiyon oluşturarak ara yüzeyde ıslatmayı kolaylaştırması yeni bir fazın oluşması ile açıklanmıştır (Çanakçı, 2006). Matris alaşımına Li, Ca, Ti, Zr, Mg ve P gibi reaktif elementlerin katılması sıvı metalin yüzey gerilimini azaltarak ıslatmayı iyileştirici etki yapar (Hashim, et al., 2001; Surappa and Rohatgi, 1981; Li, 2001; Çanakçı'dan 2006). Bu reaktif elementlerin ilavesinin amacı; ergiyiğin yüzey gerilimini düşürmek, ergiyiğin katı-sıvı ara yüzey enerjisini azaltmak ve kimyasal reaksiyonlar sonucu metal ve seramik malzeme ara yüzeyinde bir metaller arası bileşik veya spinel oluşturup atomik ölçüde bağlanmayı sağlamaktır (Kerti, 1998; Toptan'dan 2006).

Katma öncesi parçacık yüzeyinde bulunabilecek nemi almak ıslatmayı iyileştirir (Çanakçı, 2006). Takviye fazın kimyasal durumunu değiştirmenin bir diğer yolu da ısıtma işlemidir. Üretim öncesi ısıtma işlemi ile oksit olmayan seramik partikül veya fiberlerin yüzeylerini oksitleyerek matris malzemesi ile kimyasal reaksiyona girmesinin sağlanması amaçlanmaktadır. Yüzeyde oksit oluşumunun, oksitlerin metal ile bağlanabilirliği, metal atomlarının oksijen anyonları ile etkileşimi sonucu ıslanmayı arttırdığı kabul edilmektedir. Ancak, bir kural olarak oksitlerin sıvı metal ile ıslanabilirliğinin zayıf olduğu belirtilmektedir (Akbulut, 1994; Kerti, 1998; Toptan'dan 2006).

Skibo ve Schuster sıvı metal ile parçacıklar arasında etkin olan kayma kuvveti yeterli büyüklükte ise parçacıkların ıslatılarak yutulabileceklerini ileri sürmüşlerdir (Suresh, et al., 1993; Çanakçı'dan 2006).. Kayma kuvveti etkisiyle parçacık-sıvı metal ara yüzeyindeki oksit tabakasının kırılmasıyla sıvı metalin parçacık yüzeyini ıslatarak parçacıkların içyapıda homojen olarak dağılması sağlanır. En iyi sonuçlar parçacıklarla birlikte sıvı içerisine gaz emilmediği durumda yani sıvı yüzeyindeki vorteksin minimum olduğu ve sıvı yüzeyinde vakum olduğu zaman elde edilmiştir (Çanakçı, 2006). Temiz bir yüzey sıvı metalin parçacık etkileşiminde daha iyi bir fırsat sağlar ve böylece ıslatma iyileştirilir.(Young, 1805; Çanakçı'dan 2006).

Katılma başladıktan sonra parçacıklar ilerleyen sıvı-katı ara yüzeyi tarafından itilir veya yutulur. Buna parçacık göçü adı verilir. Bunun sonucu olarak parçacıklar en son katılan dendritler arası bölgelere itilir veya homojen olarak dağılırlar (Mortensen and Jin, 1992; Rohatgi, et al., 1990; Çanakçı'dan 2006).

Kompozit malzemenin nihai özellikleri açısından ara yüzeyin karakteristiği, sıcaklığı, difüzyon, kalıntı gerilmeler gibi etkilerin, ara yüzeyi ne derece etkilediği de göz önüne alınmalıdır. Ara yüzeyde oluşan kompozisyona bağlı metaller arası bileşikler, karşılıklı difüzyon etkileşimleri sonucu değişen yüzey geometrisi ve boyutları, morfolojisi, fiziksel, kimyasal, mekanik ve ısıl özellikler de kompozit malzemenin kalitesini önemli derecede etkilemektedir (Akbulut, 1994; Kerti, 1998; Toptan'dan 2006).

Çanakçı (2006), yaptığı çalışmada kompozitlerin yapısına adsorbsiyon ve ıslatmanın yanında; karşılıklı difüzyon bağının, elektrostatik çekimin, kimyasal bağ oluşumunun ve mekanik bağlanmanın da etkili olduğuna değinmiştir.

2.4. Metal Matrisli Kompozitler (MMK)

Daha önce kompozitlerin sınıflandırılmasında bahsedildiği gibi matris malzemesine göre plastik (polimer), seramik ve metal matrisli kompozitler vardır. MMK'lerin en önemli üstünlüğü mekanik, fiziksel ve termal özelliklerinin endüstriyel uygulamalarda istenen değerlere ayarlanabilmesidir. Ayrıca yüksek elastisite modülü, yüksek sertlik ve çekme dayanımı, düşük termal iletkenlik, yüksek abrasif aşınma direnci, yüksek sürünme dayanımı vb. gibi üstünlükleri de vardır (Boutman and Krack, 1974; Çanakçı'dan 2006). Geleneksel malzemelere göre üstünlüklerinin yanında sakıncaları da mevcuttur. En önemli sakıncaları tokluk ve sünekliklerinin düşük olmasının yanında üretimlerinin daha zor ve pahalı olmasıdır (Terry and Jones, 1990; Çanakçı'dan 2006).

MMK malzemeler monolitik (tekil) metaller ile karşılaştırıldığında; Yüksek mukavemet/yoğunluk oranı, yüksek rijitlik/yoğunluk oranı, daha iyi yorulma direnci, daha iyi ve yükseltilmiş ısı özellikleri, yüksek mukavemeti, düşük sürünme oranı, düşük ısı genleşme katsayısı ve daha iyi aşınma direnci açısından avantajlıdır (Soy, 2009 b).

Hafif metaller kompozitler için uygun matris malzemeleridir. Bunlar plastiklerden daha yüksek elastik modül, mukavemet ve tokluğa sahip olup yüksek sıcaklıklarda özellikleri de daha iyidir (Ekici, 2004). Alüminyum, titanyum, magnezyum, bakır, nikel, süper alaşımlar (nikel ve demir-nikel esaslı) ve intermetalikler MMK'lerde matris malzemesi olarak kullanılırlar. Özellikle ağırlığın önemli bir faktör olduğu taşıma, savunma ve uzay sanayinde alüminyum en çok tercih edilen matris malzemesidir (Çanakçı, 2006).

Alüminyum metal matrisli kompozit (Al-MMK) malzemeler döküm, toz metalürjisi, infiltrasyon, vorteks döküm ve in-situ (yerinde çekirdeklenme) gibi teknikler ile üretilebilmektedir. Üreticiler proses ve ürünleri geliştirmede, buna ilaveten maliyeti azaltmada büyük çaba sarf etmektedirler. Özellikle fren motorları, pistonlar ve

diğer otomotiv parçaları için bu uğraş halen günümüzde devam etmektedir (Soy, 2009 b).

Geliştirilmiş fiziksel mekanik özellikleri, malzeme ve enerji kazancı bakımından hafif olmaları nedeni ile MMK'ler, yeni malzemeler olarak dikkati çekmektedir. Bu özelliklerinin yanında iyi sürtünme ve aşınma özellikleri nedeni ile aşınmaya karşı uygulamalarda sürtünen ve aşınan bölgelerin veya parçanın tamamının bu malzemelerden yapılması giderek yaygınlaşan MMK uygulamalarındandır (Çöçen, 1997: Erden'den 2005).

Yüksek performanslı kompozit malzeme üretimi için; matris malzemesi takviye elemanlarını çevrelemeli, tam olarak ıslatabilmeli, kimyasal veya belli şartlarda ara yüzey bağı oluşturmalı, mümkün olan düşük basınç ve sıcaklıkta hızlı şekilde katılaşabilmelidir (Özkan, 2007).

2.4.1. MMK'lerde kullanılan takviye malzemeleri

MMK malzemelerde kullanılacak takviyelerin belirli özelliklere sahip olması gerekmektedir. Yoğunluk, bu önemli özelliklerden birisidir. Yüksek performans beklenen kompozitlerde spesifik mukavemet (mukavemet/yoğunluk) ve spesifik modülün (modül/yoğunluk) yüksek olması istenir (Ekici, 2004).

MMK malzemelerde takviye fazı olarak da düşük kimyasal reaktiviteleri, yüksek ergime sıcaklıkları ve sertliklerinden dolayı seramik malzemeler tercih edilir. Takviye malzemesi olarak seramik malzemelerinin tercih edilmesinin başlıca nedenleri aşağıda verilmiştir (Geçkinli, 1992: Çanakçı'dan 2006).

- a)Yüksek sıcaklıklara dayanıklılık
- b)Yüksek kimyasal kararlılık
- c)Yüksek sertlik

- d)Düşük yoğunluk
- e)Ham maddelerinin bol ve genellikle metallere kıyasla ucuz olması
- f)Erozyon ve aşınmaya karşı dayanıklılık
- h)Oksitlenme direncinin yüksek olması
- ı)Sürtünme katsayılarının düşük olması
- j)Yüksek çekme ve basma dayanımı

Bütün bu üstünlüklerine rağmen seramik malzemelerin en önemli sakıncaları gevrek karakterde olmaları ve sıvı metaller tarafından ıslatılmalarının kötü olmasıdır (Geçkinli, 1992: Çanakçı'dan 2006). Bazı takviye malzemelerinin özellikleri Çizelge 2.1.'de verilmiştir (Çanakçı, 2006).

Çizelge 2.1. Kompozit üretiminde kullanılan bazı takviye malzemelerinin ana karakteristikleri ((a) Girot, et al., 1987; (b) Askeland, 1988: Çanakçı'dan 2006).

Takviye malzemesi	Boyut (μm)	Yoğunluk (gr/cm^3)	Çekme mukavemeti (GPa)	Elastiklik modülü (GPa)	Kaynaklar
Grafit(p)	40–250	1.6–2.2	20	910	(a)
SiC(p)	15–340	3.2	3	480	
SiO ₂ (p)	53	2.3	4.7	70	
TiC (p)	46	4.9	-	320	
B ₄ C (p)	40–340	2.5	6.5	480	
Al ₂ O ₃ (p)	40–340	3.97	8	460	
Al ₂ O ₃ (w)	-	3.96	20.69	428	(b)
B ₄ C (w)	-	2.52	13.793	482	
SiC (w)	-	3.18	20.69	482	
Grafit (w)	-	1.66	20.69	703	

p: Parçacık, w: Whiskers (kılcal kristal)

2.4.2. Metal matrisli kompozitlerin sınıflandırılması

MMK'ler takviye şekline göre; süreksiz (kısa elyaf, kılcal kristal ve parçacık takviyeli vb.) veya sürekli elyaf takviyeli MMK'ler olarak iki ana gruba ayrılırlar (Çanakçı, 2006).

Parçacık takviyeli kompozitlerin üretiminde kabaca eş eksenli (en büyük boyutunun en küçük boyutuna oranı 5'in altında olan) değişik şekilde (küresel, köşeli veya pulsu) boyutu 1µm üzerinde olan parçacıklar kullanılır. Eğer parçacık boyutu 1 µm'nin altında ise küçük parçacık veya dispersoid olarak adlandırılırlar (Çanakçı, 2006).

Kompozitin dayanımı parçacıkların büyüklüğüne, takviyenin ara yüzey özelliklerine, parçacıklar arası mesafeye ve matrisin özelliğine bağlıdır. Parçacıklar yapı içerisinde homojen dağıldığında genellikle parçacık hacminin artışı ile dayanımının aşınma direncinde doğru orantılı olarak artar. Fakat artan takviye oranı ile porozitede artma gözlenir (Kılıç, 2008).

Parçacık takviyeli MMK'lerde, sert olan takviye elemanı homojen olarak dağılmış daha yumuşak olan bir matris malzemesi ile kuşatılmıştır. Parçacık takviyeli kompozit malzemeler genellikle aşınma dayanımı gerektiren uygulamalarda tercih edilirler. Parçacık takviyeli kompozitlerin diğer kompozitlerden önemli farkı, takviye elemanı artışına bağlı olarak yapı içerisinde oluşan porozite gibi hataların, haddeleme, ekstrüzyon gibi ikinci bir işlemle giderilebilmesi yani ikinci bir işlemle yapının iyi özellikler kazanabilmesidir (Küçükpara, 2008).

Her ne kadar takviyeli kompozitlerin üretimi ile ilgili problemler olsa da, optimum mekanik özellikler için gerekli olan matris içerisinde takviyenin homojen dağılımına ulaşılmasının güç olması önemlilerindedir. Bu problem, nispeten kompleks şekilli kompozitlerin üretimine olanak tanıyan partikül takviyesinin kullanıldığı karıştırma ve döküm yöntemini de içeren bir çok üretim yönteminde yaygındır. İyi

kalitede kompozite ulaşmak için takviye elamanının dağılımı ile ilgili döküm parametrelerinin saptanması ve kontrolü önemlidir (Hashim et al, 2002: Şen'den 2005).

Parçacık takviyeli kompozit malzemelerin diğer takviye şekillerine göre en önemli yararları; (Alp, 2008)

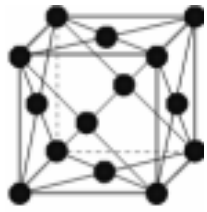
- Üretimin hacmi büyüdükçe maliyet önemli olduğundan, sürekli veya kırılmış elyafa göre daha ucuz maliyetlerle elde edilebilirler
- Döküm ve Toz metalurjisi (T/M) gibi üretim teknikleri ve bunu takiben haddeleme, dövme ve ekstrüzyon gibi ikincil işlemler uygulanabilir
- Takviye edilmemiş metalden daha yüksek kullanım sıcaklığına sahiptirler
- Daha yüksek mukavemet ve modül
- Artan ısıl kararlılık
- Elyaf takviyeli kompozitlere göre daha izotropik özellikler

İri parçacık takviyeli kompozitler; gerçek parçacık takviyeli kompozitler olarak da adlandırılırlar. Nispeten iri olan parçacıkların kayma olayını engellemesi söz konusu değildir. Bu kompozitler mukavemeti yükseltmekten ziyade, yeni özellikler elde etmek amacıyla üretilirler. İri parçacık takviyeli kompozitlerde yük matris ve parçacık tarafından ortak taşınır. Takviye malzemesinin kompozit malzeme içerisindeki miktarı, dağılımının homojenliği, yoğunluğu ve üretim esnasında meydana gelen hatalar kompozitin mekanik özelliklerini etkiler. Yapılan çalışmalarda, yukarıdaki faktörlerin yanında parçacık boyutları ve parçacıklar arasındaki mesafenin de kompozitin çekme dayanımını etkilediği görülmüştür (Uygur, 1999: Çanakçı'dan 2006). Sinterlenmiş karbürler, abrazyon, beton, SiC, B₄C, Al₂O₃, vb. parçacıklı metal ve alaşımları, metal tozu, kil veya karbon siyahı dolgu plastikler iri parçacık takviyeli kompozitlere örnek olarak verilebilirler (Çanakçı, 2006).

3. ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLER (AL-MMK)

Al, yumuşak ve hafif bir metal olup mat gümüşümsü renkte sünek bir metaldir. Bu renk, havaya maruz kaldığında üzerinde oluşan ince oksit tabakasından ileri gelir. Alüminyum, zehirleyici ve manyetik olmayıp kıvılcım çıkarmaz. Atom numarası 13 olup, doğada genellikle boksit cevheri halinde bulunur ve oksidasyona karşı üstün direnci ile tanınır. Alüminyum diğer metaller ile birleşmiş olarak yer kabuğunun %8'ini oluşturmaktadır. Metalin saflığı azaldıkça katı eriyik sertleşmesine bağlı olarak mukavemet artmakta ve süneklik azalmaktadır. Metal sıcaklığı arttıkça saf alüminyumun akma mukavemeti ve elastisite modülü azalır (Yükler, 2000: Akça'dan 2006). Çizelge 3.1.'de saf alüminyumun özellikleri verilmiştir (Soy, 2009 b).

Çizelge 3.1. Alüminyumun özellikleri (Soy, 2009 b).

Sembölü (Al)		Sınıfı	Metalik
		Yoğunluğu	2,70 g/cm ³
		Sıvı yoğunluğu	2,375 g/cm ³
		Ergime sıcaklığı	660,32 °C
		Kaynama sıcaklığı	2519 °C
Malzeme adı	Alüminyum	Elastik modülü	70 GPa
Atom numarası	13	Poisson oranı	0,35
Kristal yapısı	Yüzey merkezli kübik	Mosh sertliği	2,75
Madde hali	Katı	Termal iletkenliği	235 W m ⁻¹ K ⁻¹
Rengi	Mat gümüş	Termal genleşme katsayısı	23,1x10 ⁻⁶ K ⁻¹

Isıl genleşmesinin düşük ve ısıl iletkenliğin yüksek olması Al-MMK'ten üretilmiş malzemelerin kullanımını yararlı hale getirmiştir. Otomotiv sektöründe Toyota fiber takviyeli Al-MMK kullanarak dizel motor pistonunu üretmiştir. Havacılık

sektöründe ise %25 SiC-parçacık takviyeli 6061 alüminyum alaşımı matrisli kompozit kullanılmaktadır (Cöcen ve Önel, 1996: Çanakçı'dan 2006).

Alüminyum içerisine katılan SiC, TiC, Al₂O₃ vb. küresel seramik parçacıklar çekme dayanımını, elastiklik sabiti, aşınma dayanımı ve özellikle yüksek sıcaklık dayanımı gibi özellikleri olumlu yönde etkilemektedir (Bağcı, 2002; El Gallab and Sklad, 1998: Erden'den 2005). Çizelge 3.2.'de AL-MMK malzemelerde kullanılan başlıca matris malzemelerinin mekanik özellikleri verilmiştir (Akbulut, 1994: Toptan'dan 2006).

Çizelge 3.2. AL-MMK malzemelerde kullanılan başlıca matris malzemelerinin mekanik özellikleri (Akbulut, 1994: Toptan'dan 2006).

Matris Malzemesi	Akma Mukavemeti (MPa)	Maksimum Mukavemet (MPa)	Kopmadaki Uzama Miktarı (%)	Elastiklik Modülü (Gpa)
Al-6 Fe	280	350	12,5	82
Al-4,5Cu-T6	107	182	17	71
Al-Cu-Mg-T6	319	345	1,2	72
2014 Al-T6	414	409	10	72
2014 Al-T4	350	479	12	-
A 356 Al-T6	200	275	6	69
6061 Al-T6	276	326	15	68
7010 Al-T6	490	550	10,5	70

T4: Doğal yaşlandırılmış, T6: Yapay yaşlandırılmış

Alüminyum ve çoğu alaşımı birçok korozyon türüne karşı oldukça iyi direnç göstermektedir. Alüminyum, yüzeyinde oluşan doğal oksit tabakası sayesinde havanın, sıcaklığın, nemin ve kimyasal saldırıların etkisinden korunmaktadır. Alüminyum, elektriği çok iyi iletmektedir (Toptan, 2006).

Geleneksel Al alaşımlarının elastik modülü ve mukavemetini yükseltme isteği, süreksiz destekli Al ve sürekli elyaf destekli Al kompozitlerin gelişimini sağlamıştır. Destekleyicili alüminyum kompozitlerin, konvansiyonel monolitik alaşımlara göre mukavemeti %15 ila 40 arasında artmaktadır (Köksal, 2004).

Yükseltilmiş sıcaklıklarda uygulamalar, hızlı katılaştırılmış Al-Fe-V-Si alaşım ana yapısı içerisinde, seramik tanecikleri katılarak, tanecik destekleyicili Al esaslı yüksek sıcaklık kompozitleri elde edilebilir (Köksal, 2004). AL-MMK; MMK'ler içerisinde en büyük pazar payına sahiptir. Fakat toplam Al üretimi ile karşılaştırıldığında bu oran düşmektedir (Elliasson and Sandström, 1995: Özkan'dan 2007).

Kompozitin istenen özelliklerinin hesaplanabilmesi veya belirlenebilmesini için kuralların ve modellerin oluşturulması önem taşır. İlk hesaplamalar için karışımlar kuralı faydalı olabilir: (Toptan, 2006)

$$P_k = P_m V_m + P_t V_t \quad (3.1.) \text{ (Toptan, 2006)}$$

Eşitlikte P özelliği, V hacim oranını, alt simgelerdeki k, m ve t ise sırasıyla kompozit, matris ve takviyeyi belirtir (Froyen and Verlinden, 1994: Toptan'dan 2006).

Kompozit malzemelerin mukavemetlerinin artışında çoğunlukla dislokasyon oluşumunun mukavemeti arttırdığı görüşü hâkimdir. Ancak, sürekli fiberlerle takviye edilmiş kompozitlerde mukavemet artışında dislokasyon oluşumunun çok önemli olmadığı belirtilmektedir. Sürekli fiberlerle takviye edilen kompozitlerde dislokasyon oluşumunun mukavemet artışında birinci derecede etkin olmadığı, mukavemetin matrisin gerilmeleri fiberlere transfer etmesi ile yükseldiği ifade edilmektedir (Akbulut, 1994; Kashyap et al., 2000: Toptan'dan 2006). Sürekli fiber takviyeli AL-MMK'lerde, mukavemet, artan fiber hacim oranıyla doğru orantılı olarak artmaktadır. Ancak, süreksiz olarak takviye edilen MMK'ler göz önüne alındığında, dislokasyon yoğunluğunda meydana gelen artışın son derece önemli olduğu vurgulanmaktadır (Akbulut, 1994; Kashyap et al., 2000: Toptan'dan 2006). Tekstür ve kalıntı

gerilmelerin kompozit mukavemetini artırmasının yanında, takviye malzemelerinin matris alaşımının tane boyutunu takviyesiz alaşıma göre birkaç kat düşürerek mukavemeti artırır (Toptan, 2006).

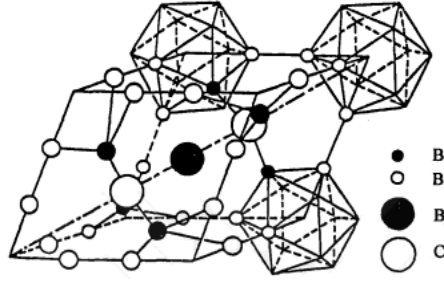
MMK'lerde potansiyel mukavemet artış mekanizmaları; klasik kompozit mukavemet artışı (yük transferi), dispersiyonla mukavemet artışı, kalıntı elastik gerilmeler, tekstür farklılıkları, ısıl genleşme katsayıları arasındaki farkın bir sonucu olarak dislokasyon oluşumuna bağlı yüksek dislokasyon yoğunlukları ve yüksek dislokasyon yoğunluğu oluşumunun sonucu olarak küçük alt tane boyutudur (Akbulut, 1994: Toptan'dan 2006).

3.1. Al-B₄C Kompozitleri

B₄C; yüksek sertlik, darbe-aşınma dayanımı ve düşük yoğunluk gibi üstün fiziksel ve mekanik özellikler göstermektedir. Fakat gevrek kırılmaya karşı aşırı hassas oluşu ve yoğun B₄C malzemelerin imalatının zor olması, B₄C'ün endüstriyel uygulama alanları sınırlanmıştır. Bu problemler, Al-B₄C kompozitlerinin üretimiyle önemli oranda azaltılmıştır (Lee and Kang, 2001; Toptan, 2006). Alüminyumun kolay elde edilebilir olması, düşük yoğunluklu olması ve uygun üretim şartları altında B₄C ile tepkime oluşturması nedeniyle takviye elemanı olarak B₄C tercih edilmektedir. Düşük yoğunluklu Al kompozit üretmek amacıyla, rijitliği yüksek ve sert B₄C ile sünek alüminyum birleştirilir (Yetgin ve Köken, 2005: Kumdalı'dan 2008).

Çok yüksek sertliği nedeniyle bor karbür (B₄C) kara elmas olarak da adlandırılır (Gençoğlu, 2006). B₄C metalik olmayan sert malzeme grubunun en önemlilerinden biri olup, rombohedral kristal yapısına sahiptir (Şekil 3.1.) (Geçkinli, 1992: Çanakçı'dan 2006). B₄C etkili bir takviye malzemesinden beklenen, özellikle yüksek sertlik (elmas ve kübik bor nitrürden sonra en sert üçüncü malzemedir) ve rijitlik gibi mekanik ve fiziksel özelliklerin çoğunu gösterdiğinden, alüminyum ve alaşımları için çekici ve talep gören bir takviye malzemesidir. Yüksek sertlik, yüksek aşınma direnci ve rijitlik gibi

üstün mekanik özellikleriyle Al-B₄C kompozitleri, özellikle fren malzemeleri için kullanılmaya aday durumdadır (Toptan, 2006). B₄C, hafifliği ve üstün mekanik özellikleri nedeniyle, balistik uygulamalarda geleneksel zırhlara (çelik ve alüminyum) alternatif bir seramiktir. Her ne kadar monolitik B₄C zırhlar günümüzde kullanılmakta ise de, B₄C gibi kovalent bağlı seramiklerin düşük kırılma tokluğu ve üretim maliyetinin yüksek oluşu kullanımlarının yaygınlaşmasını önlemektedir (Arslan, 2001).



Şekil 3.1. B₄C'ün kristal yapısı (Thévenot and Buchacourt, 1979: Arslan'dan 2001).

B₄C kimyasal maddelere karşı yüksek korozyon direnci, mükemmel yüksek sıcaklık mukavemeti, düşük yoğunluk, yüksek elastiklik modülü gibi özelliklere sahiptir. B₄C'lerin oksitlenmede ortamın etkisi ve tane boyutu önemli parametrelerdir. İri tane boyutlu tozlarda oksitlenme yaklaşık olarak 1000°C'de başlarken ince tanelilerde bu sıcaklık 600°C'ye kadar düşebilmektedir. Asit ve bazlarla etkileşim çok düşüktür (Geçkinli, 1992: Çanakçı'dan 2006). B₄C'ün diğer özellikleri Çizelge 3.3.'de verilmiştir (Toptan, 2006).

İçerik bakımından yaklaşık % 80 bor ihtiva etmesi, bileşiğin yüksek ergime noktası ve iyi kimyasal ve fiziksel kararlılığından dolayı nötronların absorbe edilmesinde B₄C daha etkin ve daha ekonomiktir. Ayrıca, kimyasal maddelere karşı direnci oldukça yüksek bir malzemedir (Ögünç, 2006).

Çizelge 3.3. B₄C'ün başlıca fiziksel özellikleri ((a) Akbulut, 1994; Halverson, et al., 1989; (b) Kerti, 1998; (c)Eti Holding A.Ş., 2003; (d) Toptan, 2006; (e) Srivatsan, et al., 1991; (f) Halverson, et al., 1989: Toptan'tan, 2006).

Özellik	Değer	Birim	Kaynaklar
Yoğunluk	2,52	g/cm ³	(a)
Ergime noktası	2420	°C	(b)
Kaynama noktası	3500	°C	(c)
Isıl genleşme katsayısı	6,08	10 ⁻⁶ °C ⁻¹	(b)
Elektriksel öz direnç	0,1-10	ohm.cm (25°C'de)	(d)
Mukavemet	2800 (75°F)	Mpa	(e)
Elastiklik Modülü	450 (75°F)	Gpa	(f)

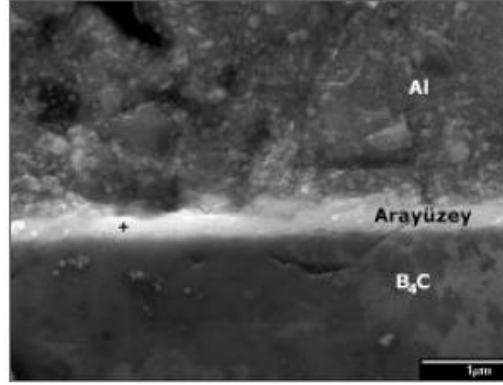
B₄C tozları, SiC veya Al₂O₃ gibi aşındırıcı tozlara kıyasla daha yüksek maliyetli olması sebebiyle, B₄C takviyeli AL-MMK'ler üzerinde yapılan araştırmalar nispeten sınırlı kalmıştır (Zhang et al., 2004; Toptan 2006).

3.2. Al-B₄C Ara Yüzeyi

MMK'lerin birçoğunun üretiminde olduğu gibi, Al-B₄C kompozitlerinin de üretiminde, matris-takviye ara yüzeyi kilit rol oynamaktadır. Ara yüzeyle ilgili problemlerin başlıcaları ara yüzeydeki kimyasal reaksiyonlar ve takviye malzemesinin matrisi yeterince ıslatamamasıdır (Rajan et al., 1998: Toptan'dan 2006). Ara yüzeyin kimyasal ve mekanik olmak üzere iki önemli fonksiyonu vardır (Charles, 1969: Kılıçarslan'dan 2009). Mekanik fonksiyon, matris ile takviyenin, kenetlenmesiyle, kimyasal etkilerin yokluğunda mekanik bağlanma ile meydana gelir ve bu fiber takviyeli kompozit malzemelerin üretiminde önem taşır. Kimyasal fonksiyon ise, matris ve takviyenin atomlarının direkt kontak kurmasıyla oluşan ve elektron değişimi ile meydana gelen kimyasal bağlanma şeklindedir. Bu türden bir bağlanma; metalik,

iyonik ya da kovalent olabilir. Metalik bağ, diğerlerinden daha sünek olduğundan, MMK'lerde istenen bağdır (Rajan et al., 1998; Kılıçarslan'dan 2009).

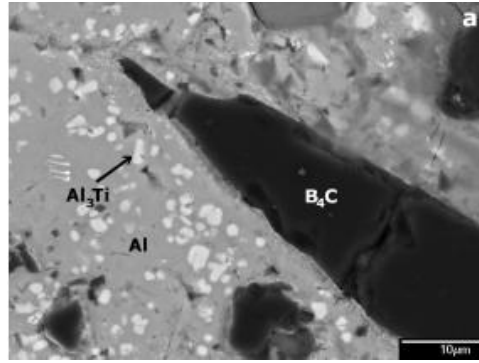
Al-B₄C kompozit malzemelerinde B₄C partiküllerinin reaktif bir element ile kaplanması ve/veya reaksiyona sokulması ile ara yüzey oluşumu sağlanabilir. Sonuçta oluşan reaksiyon ürünleri, bağlardaki metalik karakteri artırarak bağlanmayı kuvvetlendirir. Toptan ve arkadaşları (2009), Al-B₄C kompozit malzemelerini, K₂TiF₆ flaksı kullanarak 850°C sıcaklıkta döküm yöntemi ile üretmiştir. %10 takviye oranlarında, Al-B₄C ara yüzeyinde titanyumlu reaksiyon tabakası meydana getirerek ıslatma açısından olumlu sonuçlar almışlardır (Şekil 3.2.) (Kılıçarslan, 2009). Toptan ve arkadaşlarının (2009) yaptığı çalışmada Ti ilavesiyle üretilen Al-B₄C kompozitlerinde, matris/takviye ara yüzeyinde TiB₂ ve TiC'den oluşan bir reaksiyon tabakası beklenmektedir.



Şekil 3.2. Al-B₄C kompozit malzemelerinde titanyumlu reaksiyon tabakasından oluşan ara yüzeye ait mikroyapı görüntüsü (Toptan vd., 2009; Kılıçarslan, 2009).

Ayrıca Toptan ve arkadaşları 0,129 m²/g spesifik yüzey alanına sahip 52 µm ortalama partikül boyutundaki B₄C tozları ile Ti/B₄C oranı 0,2 olacak şekilde yapılan dökümlerde matris/takviye ara yüzeyinde, istenilen ara yüzey reaksiyon tabakasının

oluştugu, ara yüzey reaksiyonuna katılmayan titanyumun matriste Al_3Ti bileşiği şeklinde dağıldığı görülmüştür (Şekil 3.3.).

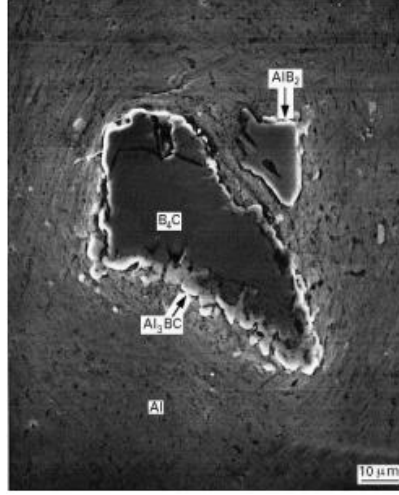


Şekil 3.3. Al-B₄C kompozit malzemelerinde titanyumlu reaksiyon tabakasında oluşan Al₃Ti bileşiği (Toptan vd., 2009).

3.3. Al-B-C Üçlü Sisteminde Oluşan Fazlar

Yapılan araştırmalar incelendiğinde, Al-B-C üçlü sisteminde, en az dokuz faz belirlenmiştir. Bu yüzden, Al-B₄C kompozitlerinin üretimi sırasında, proses şartlarını, istenmeyen fazların oluşumunu engelleyecek şekilde düzenlemek oldukça büyük önem taşımaktadır (Halverson et al., 1989; Toptan'dan 2006). Viala ve arkadaşlarının (1999) çalışmasında, 627-1000°C arasında B₄C ile metalik Al arasındaki kimyasal reaktivite incelenmiştir. Bu aralıkta, B₄C'ün, katı ve sıvı Al ile reaksiyona girdiği görülmüştür (Toptan, 2006). 627°C ve 900 °C aralığında B₄C'ün alüminyum ile kimyasal reaktivitesini araştıran Viala ve arkadaşları (1997); bu sıcaklıklarda B₄C'ün katı ve sıvı alüminyumla etkileştiğini saptamıştır. 660°C'ın altındaki sıcaklıklarda (alüminyum katı halde iken) etkileşimin çok yavaş olduğunu, fakat üçlü karbür (Al₃BC) ve di borür (AlB₂) fazlarının oluşmasıyla etkileşimin arttığını belirlemiştir (Şekil 3.4.) (Kılıçarslan 2009). 660°C ve üzerindeki sıcaklıklarda ise, Al sıvı durumdadır ve reaksiyon oranının hızla arttığı belirtilmiştir. 868±4°C'a kadar, reaksiyon ürünlerinin Al₃BC, AlB₂;

868°C'ın üzerindeki sıcaklıklarda ise Al_3BC sistemde mevcut olmaya devam ederken, AlB_2 'nin yerine $\text{Al}_3\text{B}_{48}\text{C}_{12}$ ($\beta\text{-AlB}_{12}$) olduğu rapor edilmiştir. Her üç durumda da, etkileşimin aynı mekanizmayla yürüdüğü belirtilmiştir; kuluçka dönemi, alüminyumun B ve C içinde doyması, Al_3BC ve karbonca fakir borun eriyik çökeltide çekirdeklenmesi ve büyümesi ve son olarak B_4C 'ün Al_3BC tarafından pasifleştirilmesidir (Toptan, 2006).



Şekil 3.4. 647 °C'de 450 saat ısıtılan Al-B₄C kompozit malzemede Al-B₄C arasındaki katı hal reaksiyonları ile Al_3BC ve AlB_2 kristallerinin büyümesi (Viala et al., 1997: Kılıçarslan'dan 2009).

Genel olarak metalleri, B_4C ile olan ara etkileşimlerine bağlı olarak 2 gruba ayırmak mümkündür. Birinci grup, Ti, Si, Al, Fe ve Ni gibi metalleri içeren ve B_4C ile tepkimeye girerek yeni karbür ve borür fazlarını meydana getiren elementleri kapsar. İkinci grubu ise Cu, Au, Ag ve Sn gibi reaktif olmayan metaller oluşturur. Bu gruptaki metallerin B_4C 'le tepkimesi, karbürün ayrışması ile sınırlandırılır ve yeni fazların oluşumu önlenir. Reaktif olmayan metaller B_4C 'ü ve diğer oksit dışı seramikleri ıslatamazlar ve ıslatılabilirlik temas açıları 130–140°C civarındadır. Islatılabilirlik davranışı, metal-seramik ara yüzeyini önemli ölçüde değiştiren reaktif bir bileşen ilavesiyle geliştirilebilir (Aizenshtein et al., 2008: Kılıçarslan'dan 2009).

4. MMK'LERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

AL-MMK'lerin üretiminde kullanılan yöntemler, çeşitli araştırmacılar tarafından, bazı ortak noktalar bulunmakla beraber, bazı farklı başlıklar kullanılarak gruplandırılmaktadır. Katı durum ve sıvı durum yöntemleri, araştırmacıların çoğunda ortak olarak kullanılan başlıklar olarak görülürken (Srivatsan et al., 1991; Akbulut, 1994; Froyen ve Verlinden, 1994; Cayron, 2000; Mortensen et al., 2000; TRC and ALMMC Consortium, 2002; Surappa, 2003; Naher et al., 2004: Toptan'dan 2006), bazı araştırmacılar, bu ortak başlıkların yanında, in-situ (yerinde çekirdeklenme) (Akbulut, 1994; Froyen ve Verlinden, 1994: Toptan'dan 2006), püskürtme (spray) yöntemleri (Froyen ve Verlinden, 1994; Cayron, 2000: Toptan'dan 2006), buhar durumu yöntemleri (Mortensen et al., 2000: Toptan'dan 2006), gibi prosesleri ayrı birer kategoride incelemişlerdir (Toptan, 2006). Bu çalışmada ise, sıvı durum proseslerinden vorteks metodu uygulanmıştır.

Mevcut üretim yöntemlerinden, sıvı durum prosesleri başlığı altında toplananlar, bazı ayrıntılar dışında, dökümhanelerde yaygın olarak kullanılan yöntemlerle gerçekleştirildiğinden, maliyet yönünden yarar sunmaktadırlar (Kerti, 1998: Toptan'dan 2006). Ancak, kompozitin bu yöntemle üretimi, yeniden işlenmesi ve geri kazanımı sırasında takviye malzemesi ile matris malzemesinin yüksek sıcaklıklarda uzun süre teması söz konusudur. Bu durum, takviye malzemesi ile matris malzemesi arasında istenmeyen fazların açığa çıkmasına neden olmaktadır (Yılmaz vd., 1995: Toptan'dan 2006). Uygulama çoğu kez seramik partiküllerin sıvı alüminyuma ve alaşımına mekanik yöntemlerle karıştırılması şeklindedir. Ancak, takviye malzemesi olarak seçilen seramik bileşikler, alüminyum tarafından ıslatılamadığından, başarılı bir karıştırma her zaman mümkün değildir. Bunun için, ya sıvı alaşıma ya da seramik partiküllere ıslatmayı geliştirecek şekilde müdahale edilmesi gerekmektedir (Kerti, 1998: Toptan'dan 2006).

Sıvı durum yöntemleri, takviyenin sıvı alüminyuma katılması (dökümden önce ergiyik metal karıştırma) ya da preformun infiltrasyonu (basınç veya vakum infiltrasyonu, dövme döküm) ile gerçekleştirilir. Bu yöntemler basit ve ucuz olmaları, karmaşık üç boyutlu parçaların üretimini olanaklı kılmaları açısından oldukça caziptir. Temel dökümhane teknikleri, süreksiz takviyeli alüminyum kompozitlerinin üretimine kolaylıkla uyarlanabilir. Sıvı üretim yöntemlerinin başlıca sakıncaları, takviyenin alüminyum tarafından düşük ıslatılması, son üründe, çekme, gaz boşlukları gibi döküm hatalarının görünmesi, takviye ile matris arasında tatmin edici dereceye ulaşmayan bağlanma ve/veya takviyenin aşırı reaksiyonla bozunması sayılabilir (Froyen ve Verlinden, 1994: Toptan'dan 2006).

4.1. Sıvı Metal Karıştırma Teknikleri (Vorteks Metodu)

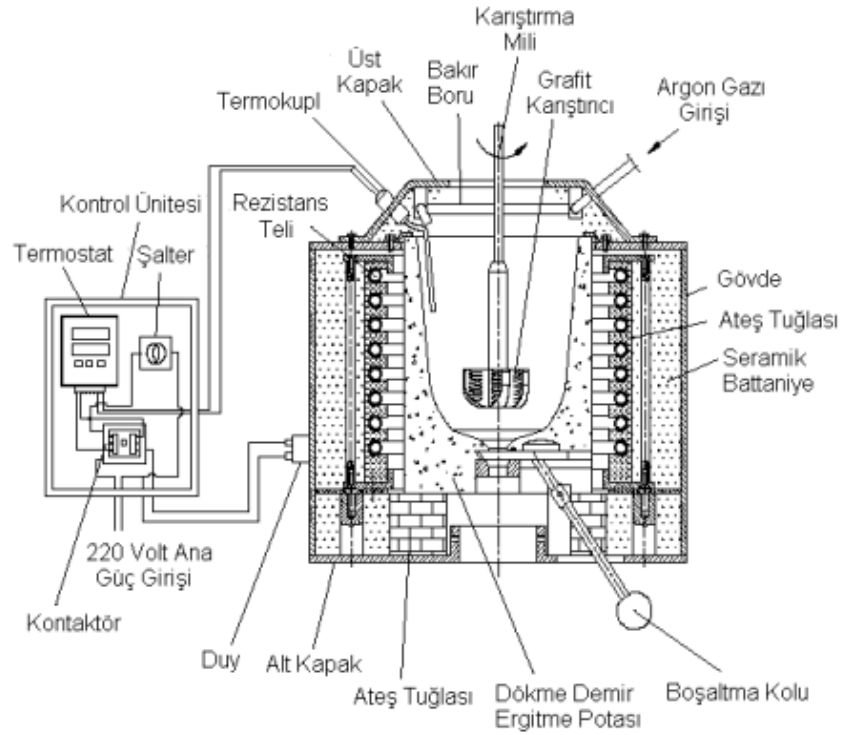
Karıştırmalı döküm yönteminde genellikle parçacık, kırılmış elyaf veya kılcal kristal şeklinde olan takviye elemanı kullanılır. Karıştırmalı döküm yönteminin en basit şekli vorteks (girdap) yöntemidir (Rohatgi, et al., 1986: Çanakçı'dan 2006). MMK'te optimum özellikler sağlamak için matris içinde takviye malzemesinin dağılımı üniform olmalı ve matris-parçacık arasındaki bağın çok iyi olması gerekir (Çanakçı, 2006).

Parçacık takviyeli MMK'lerin karıştırmalı döküm yöntemiyle üretilmesi sırasında; takviye malzemesinin içyapıda homojen olarak dağılımını sağlama zorluğu, matris malzemesinin seramik esaslı takviye malzemesini ıslatmasının kötü olması, karıştırma sırasında gaz hapsolmesi ile içyapıda gözenek (porozite) oluşması, karıştırmanın vakum veya soy gaz ortamında yapılmaz ise içyapıda oksit inklüzyonlarının oluşması, sıvı metalle takviye parçacıklarının uzun süre temas etmesi nedeniyle istenmeyen kimyasal reaksiyonların oluşması, karıştırma sırasında veya karıştırma sonrası yerel parçacık topaklanmalarının oluşması, uzun elyafların kullanılamaması ve takviye yönlendirmesinin yapılamaması gibi problemlerle karşılaşılır (Çanakçı, 2006).

Karıştırmalı döküm yöntemi, diğer sıvı durum proseslerine göre, özellikle düşük maliyetiyle büyük bir potansiyel oluşturmaktadır (Zhou ve Xu, 1997: Toptan'dan 2006). Karıştırma, mekanik, elektromanyetik yöntemler ya da gaz enjeksiyonu yoluyla yapılabilir. Yukarıda, karıştırma dökümde sözü edilen sorunların yanında partiküllerin birleştikten sonra tekrar dağılmaları, mekanik özellikleri kötü etkileyebilir. Bütün bu sorunlar, aşağıdaki gibi teknikler kullanılarak çözülebilir: (Toptan, 2006)

- Partiküllerin, bir karıştırıcı vasıtasıyla oluşturulan girdap (vorteks) üzerinden eklenmesi,
- Partiküllerin yüzey işlemlerine tabi tutulması ya da matrisin alaşımlanması,
- Karıştırmadan önce partiküllerin ön ısıtılması,
- Ultrasonik ya da elektromanyetik titreşim kullanılması, (Toptan, 2006)
- Partikül ve metal matris tozlarının briket ya da pelet olarak katılması (Froyen ve Verlinden, 1994: Toptan'dan 2006).

Vorteks metodu olarak da anılan, partiküllerin bir karıştırıcı vasıtasıyla oluşturulan girdap üzerinden eklendiği yöntemde, ergitilen metal matrisin içine daldırılan bir karıştırıcı yardımıyla oluşturulan girdap içine seramik takviye malzemeleri kontrollü olarak verilerek kompozit malzeme elde edilir (Şekil 4.1.). Bunun, AL-MMK üretim yöntemleri içinde en ucuz ve en kolay yöntem olduğu belirtilmektedir. Ancak, azımsanmayacak ölçüde sakıncaları da bulunmaktadır. Öncelikle, karıştırma ve ilavelerin kontrollü atmosferde yapılmasına gerek duyulmaktadır. Proses değişkenlerinin iyi kontrol edilmediği durumlarda porozite oranı %30'lara kadar çıkabilmektedir. Sıvı-katı aralığında şiddetli bir şekilde karıştırılan alaşım, bünyesinde %60 kadar sıvı içerdiği durumda, karıştırma sebebiyle dendrit kolları kırılarak alaşımın akışkanlığı artmakta ve bu durumda seramik takviye elemanları alaşıma verilmektedir. Seramik fiber veya partiküllerin alaşıma ilave edilmesinden sonra alaşım ya yarı sıvı halde veya geleneksel döküm sıcaklığına çıkarılıp döküm gerçekleştirilmektedir. Sistemin en önemli sakıncası sıkıştırma dökümdeki gibi basınç altında katılaştırmaya gereksinim duymasıdır. Aksi halde yüksek oranlara varan poroziteli malzemeler elde edilmesi kaçınılmaz hale gelmektedir (Akbulut, 1994: Toptan'dan 2006).



Şekil 4.1 Sıvı metal karıştırma yöntemiyle AL-MMK üretmek için tasarlanan elektrikli dikey ergitme fırını, karıştırıcı ve kontrol ünitesinin şematik gösterimi (Sur vd., 2005: Toptan'dan 2006).

Çanakçı (2006) yaptığı çalışmada bu yöntemde homojen bir dağılım sağlamak için; sıvı metalin bileşimi ve sıcaklığı, karıştırıcının hızı ve derinliği, karıştırma süresi, ilave edilen parçacık miktarı ve katma hızı, parçacıklara uygulanan ön ısıtma sıcaklığı, son karıştırma ile döküm arasında geçen süre, kalıp malzemesi ve sıcaklığı gibi parametrelerin kontrol edilmesi gerektiğine değinmiştir.

Parçacık ilavesinden sonra yapılan uzun süreli karıştırma parçacık dağılımının homojen olmasını sağlar. Ancak özellikle yüksek sıcaklıklarda uzun süreli karıştırma, karıştırıcının kanatlarının aşınmasına ve sıvı metale aşırı gaz girişine yol açar. Bu yüzden ergimiş metalin miktarına ve cinsine bağlı olarak bir optimum karıştırma süresi tespit edilmelidir (Clegg, 1991: Çanakçı'dan 2006).

Son karıştırma ile döküm arasında geçen süre mümkün olduğunca kısa olmalıdır. Çünkü sürenin uzun olması parçacıkların çökme ve yüzeye çıkması için yeterli sürenin oluşmasına sebep olur. Diğer taraftan katılma hızının yüksek olması istenir. Çünkü katılmanın hızlı olması parçacıkların yüzmesi ve/veya dibe çökmesini engeller (Çanakçı, 2006).

Pelet yöntemi olarak da bilinen, sıvıya küçük briketlerin ilavesi ve ardından şiddetli olarak karıştırılmasıyla gerçekleşen yöntemler de bulunmaktadır. Bunun yanında, santrifüj ile partiküllerin sıvı alaşıma dispersiyonu, sıvı ultrasonik olarak titreştirilirken partiküllerin enjeksiyonu gibi yöntemler de bu kategoride anılmaktadır (Akbulut, 1994: Toptan'dan 2006).

4.2. Sıvı Alüminyumun Seramik Parçacıklarını Islatması

Normal ergitme şartlarında sıvı metalin yüzeyinde bulunan oksit filmi seramik partiküllerinin tamamının ergiyiğe geçmesini önler. Flaks ve/veya gaz giderici kullanımı, vakum ergitme prosesi ve partikül girişine mekanik bariyer kullanımı oksit filmlerinin oluşumunu azaltmaya yardımcı olabilir (Lopez ve Kennedy, 2006; Kennedy ve Karantzalis, 1999; Kılıçarslan, 2009). Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının oksitlenme eğilimi yüksektir. Islatma genellikle 900°C altında gerçekleşmez. Eustathopoulos ve arkadaşları ıslatmanın gerçekleşmemesini tamamen alüminyumun oksit tabakasından kaynaklandığını göstermişlerdir (Çanakçı, 2006). SiC ve B₄C gibi kovalent bağlı karbürlerin ıslatması karbonun ıslatılmasında olduğu gibi metalin doğal yapısına bağlıdır. Oksitler ve oksit olmayan seramiklerin yapısında genellikle iyonik veya kovalent bağ bulunur. Bu nedenle metalik malzemelerle bağ oluşturamazlar. Hasbin ve arkadaşlarının yaptıkları araştırmalarda sıvı alüminyumun seramik malzemeleri ıslatma açısının artan alüminyum sıcaklığıyla azaldığını tespit etmişlerdir (Çizelge 4.1.) (Hashim, et al., 1999: Çanakçı'dan 2006).

Çizelge 4.1. Sıvı alüminyumun vakum altında farklı seramik malzemeleri ıslatma açısının sıcaklıkla değişimi (Hashim, et al., 1999; Çanakçı'dan 2006).

Malzeme	Sıcaklık (°C)	Islatma açısı $\theta(^{\circ})$	Vakum (Torr)
SiC	900	150	2.7×10^{-4}
	1100	34	1.5×10^{-5}
	1100	42	2.7×10^{-4}
B ₄ C	900	135	$10^{-5} \times 10^{-6}$
	1100	120	$10^{-5} \times 10^{-6}$
	1100	119	1.5×10^{-4}

Seramik parçacık yüzeyinin bir gaz tabakasıyla kaplı olduğu gözlenmiştir (Ray, 1996; Çanakçı'dan 2006). Bu gaz tabakasının ıslatmanın olumsuz etkilenmesinde ana neden olabileceğini ileri sürmüşlerdir (Zhou and Xu, 1997; Çanakçı'dan 2006). Gaz tabakası sıvı metalin parçacık yüzeylerini ıslatmasını engellemekte ve parçacık oranı sıvı metal içerisinde artarak belli bir kritik değere ulaştığında, sıvı metal içerisindeki parçacıkları toplu halde dışarı itilmesine neden olabilmektedir (Warren and Anderson, 1984; Çanakçı'dan 2006). Bu nedenle parçacıkların yüzeyindeki gaz tabakasının kompozite katılmadan önce emilmesi veya mekanik olarak ortadan kaldırılması gerekmektedir (Çanakçı, 2006).

Parçacığın yüzey özellikleri de ıslatmayı etkiler. Parçacık yüzeyine adsorbe olmuş kirleticiler ıslatmayı azaltabilir. SiC takviyeli metallerde katı yüzeyinde SiO₂ tabakasının bulunması ıslatmayı engellediği, yetersiz ıslatmadan uygun olan ıslatmaya geçişin belli bir sıcaklıkta ve ani bir şekilde olduğu gözlenmiştir (Warren and Anderson, 1984; Çanakçı'dan 2006). Parçacık boyutu azaldığında yüzey alanları artacağından ıslatma da zorlaşır. Çünkü küçük parçacıkların sıvı metal içerisine alınmasında metal tarafından ıslatılması için gerekli yüzey enerjisi artar. Parçacık boyutu azaldığında topaklanma eğilimi de artar (Çanakçı, 2006).

5. METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN KAYNAK KABİLİYETİ

Uzun yıllardan beri ergitme kaynağı, difüzyon kaynağı, lehimleme ve direnç kaynağı genel olarak MMK malzemelerin birleştirmelerinde kullanılmaktadır. Fakat MMK malzemelerin kaynağını yapabilmek için kaynak öncesi yüzey temizliği ve uygun koruyucu gaz gibi kompozitin özelliklerini koruyacak önlemler almak gerekir. MMK malzemelerin kaynağında, dolgu telinin kullanımı, gözenek oluşumu ve yüksek ısı girdisinden dolayı ısı tesiri altında kalan bölgenin (ITAB) büyük oluşu; takviye fazlarının azalmasına, korozyon ve mekanik özelliklerin düşmesi gibi bazı problemler ortaya çıkmaktadır (Kudapa, 1996: Bozkurt'tan 2008). Bu problemler katı hal birleştirme teknikleriyle azaltılabilmektedir (Bozkurt, 2008).

Kompozit malzemelerin kaynağı genel olarak takviyesiz malzemelere benzerdir ancak seramik takviyeler bazı problemlere sebep olabilir ve kaynağı zorlaştırabilir. Bu problemlerin nedenleri; farklı ergime noktalarının olması, kaynak sırasında sıcaklık gerilmelerine neden olan yüksek termal yayılma katsayıları farklı olması, termal döngü ve katılma şartlarındaki değişikliklere neden olan farklı termal iletkenlikler, ergimiş matriks malzemesi ve seramik takviye arasındaki ara yüzey kimyasal reaksiyonlarının olmasıdır. Ayrıca kompozit malzemelerin mekanik özellikleri homojen takviye yayılımına bağlıdır. Takviyenin yok olduğu bölgelere neden olan kaynak işlemi, kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinde bir kayba neden olur (Durmuş, 2006).

MMK'lerin birleştirilmesinde TIG, MIG, sürtünme kaynağı, difüzyon bağlantısı ve elektron ışın kaynağı uygulamaları görülmektedir. Ancak yüksek ergime, yapışkanlık, takviye/matriks reaksiyonları ve takviye fazının segregasyonu gibi pek çok problemle karşılaşılır. Matris malzemesi olarak büyük öneme sahip olan alüminyumun kaynağı sırasında bazı problemlerle karşılaşmaktadır. Alüminyumun diğer metallerden özellikle çeliklerden farklı fiziksel ve kimyasal özellikleri kaynak kabiliyeti üzerinde oldukça etkilidir. Bunlar; Alüminyum yüzeyindeki oksit tabakası, yüksek ısı

iletkenliği, yüksek ısıl genleşme katsayısı, düşük ergime sıcaklığı ve ergime sıcaklığına yaklaştığında renk değişimi göstermemesidir (Durmuş, 2006).

AL-MMK'lerin uygulamalarında pek çok kritik problem vardır. Bunlardan biri zayıf kaynaktır. Zayıf kaynağın nedeni alaşım matrisi ve takviye elemanı arasındaki fiziksel ve kimyasal özelliklerinin çok farklı olması, ergitme kaynağı sırasında kaynak banyosunun yavaş hareketi ve yüksek viskozitesi mikro boşluklarla ve kusurlarla ergimeye sebep olabilmesidir (Durmuş, 2006). Ergitme kaynağı sırasında ergimiş havuzda takviye ile matris elemanlarının reaksiyona girdiği saptanmıştır. Alüminyum kaynağında gerekli güç yoğunluğu çelik malzemelerin kaynağında gerekli olan güç yoğunluğunun iki katıdır. Dayanımı arttırmak için çeşitli elementler eklenmesi gerekmektedir (Durmuş ve Meriç, 2005: Durmuş'tan 2006).

Ergitme kaynağında ITAB da kaynağın civarında pek çok problemler olabilir. Alüminyum yüzeyini kaplayan oksit filmi alüminyumun kaynağı sırasında kullanılan koruyucu gaz ile azaltılabilir ve böylece daha iyi kaynak kalitesi elde edilir (Arık, vd., 2005: Durmuş'tan 2006).

5.1. Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemelerin Birleştirme Yöntemleri

Alüminyum esaslı kompozitlerin birleştirme yöntemleri konusunda birçok araştırma vardır ve bu yöntemler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bu yöntemleri 3 farklı grupta incelemek mümkündür. Bunlar; Ergitme ile birleştirme yöntemleri, katı hal birleştirme yöntemleri ve diğer birleştirme yöntemleridir. (Alp, 2008).

Al alaşımların ergitme kaynaklarında, soğuma esnasında çatlama, kırılma vb. kusurlar ortaya çıkmaktadır. Bu gibi problemler kompozitteki takviyelerin varlığı ile artarken, matrisin kompozisyonuna bağlı olarak değişmektedir. MMK malzemelerin ergitme kaynakları ile ortaya çıkan pek çok olumsuzluklar vardır. Bu problemler aşığıda özetlenmiştir: (Bozkurt, 2008)

a)Yüksek ergime sıcaklığı: Kaynak esnasında partikül katı kalmasına rağmen; matris, ergime noktasının üzerindeki bir sıcaklığa ısıtılır. Partikül takviyeli Al alaşımlar yüksek viskoziteli ergime noktasına sahip olduğundan, ergimiş ana metal ve dolgu metalini karıştırarak ergitme kaynağı yapmak zordur. Si bakımından zengin olan Al dolgu teli kullanıldığında bu zorluk azaltılabilmekte fakat tamamen ortadan kaldırılamamaktadır (Bozkurt, 2008).

b)Partikül segregasyonu: Kaynak bölgesinde homojen olmayan partikül dağılımı ve mukavemet değerlerinin düşüşüne sebep olabilecek segregasyon problemi ile karşılaşılır (Bozkurt, 2008). Bu sorunun giderilmesi için de ergiyiğin yüzey gerilimini düşürecek ıslatma kabiliyetini geliştirecek elementler katılır. Mg bu elementlerden biridir (Alp, 2008).

c)Takviye/matris etkileşimi: SiC takviyeli MMK malzemelerin ergitme kaynağı esnasında Al matris ile SiC partikülleri ara yüzeylerinde Al_4C_3 bileşikleri meydana gelir. Bu durum kompozitin kırılma tokluğunu azaltarak kırılma hızına sebep olur (Bozkurt, 2008).

d)Kompozitin üretim metodu: Eğer kompozit T/M yöntemiyle üretilirse MMK malzemelerin ergitme kaynağı ile birleştirilmeleri problemlidir. MMK malzemenin gaz içeriği çok yüksek ise ergitmeli kaynak sıcaklıklarında (özellikle hidrojen gazı) katı çözültü ortaya çıkar. ITAB ve kaynak bölgesinde oluşan gözenekler büyük çatlaklar meydana getirebilir (Ellis, 1994; Bozkurt'tan 2008).

Ergitme yöntemi özellikle partikül takviyeli kompozit malzemeler için kullanılmakta olup diğer türler için uygulaması oldukça sınırlıdır. Al-MMK'lerin birleştirilmesinde kullanılan ergitme kaynak prosesleri; Gaz Tungsten Ark Kaynağı ve Gaz Metal Ark Kaynağı, Lazer Işın Kaynağı, Elektron Işın Kaynağı, Kapasitör Yük Boşaltma Kaynağıdır (Alp, 2008).

5.2. Alüminyum ve Alaşımlarının TIG Kaynağı

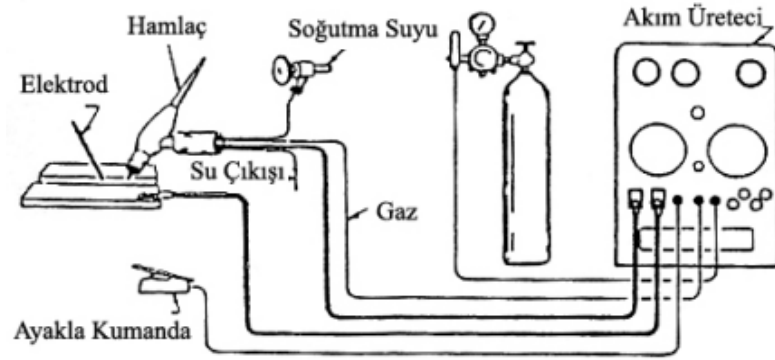
TIG sembolü, Tungsten Inert Gas kelimelerinin baş harflerinin alınmasıyla oluşturulmuştur (Ayvaz, 2010). TIG kaynak yönteminde kaynak arkı ergimeyen bir tungsten elektrot ile iş parçası arasında meydana gelmekte ark, elektrot ve ergimiş banyo havanın etkisinden bir argon veya helyum atmosferi ile korunmaktadır. Koruyucu gazın soy bir gaz olması dolayısıyla oksidasyon ve nitrür oluşumu gibi istenmeyen haller önlenmektedir. Kaynak işlemi için bir kaynak ilave metaline ihtiyaç vardır (Anık, vd., 1993; Bozkurt'tan 2008).

TIG kaynak yöntemi günümüzde alüminyum alaşımlarının kaynağında geniş çapta uygulama alanı bulmuştur. Bunun nedeni bu yöntemin sağladığı şu üstünlüklerdir: (Özdiñer, 2006)

- Yüksek bir kaynak hızının sağlanması
- Kaynak enerjisinin yoğun olması
- Isıl çarpılmaların azlığı
- Sağlıklı kaynak bağlantılarının elde edilebilmesi
- Kaynak sonrası temizleme gerektirmemesi
- Kolay bir şekilde mekanize edilmesidir (Tülbentçi,1986: Özdiñer'den 2006).

Standart bir TIG kaynak donanımı hava veya su ile soğutulan bir kaynak pensesi, akım üretici, koruyucu gaz tüpü ve bir de otomatik kumanda cihazından meydana gelir (Şekil. 5.1.) (Anık, 1993: Akça'dan 2006; Anık, 1993: Tımaç'tan 2006).

TIG kaynağında, doğru ya da alternatif akım (AA) kullanılabilir (Ayvaz, 2010). Hem Al alaşımları hem de Al-MMK ile yapılan çalışmalarda, yeterli ergime elde etmek ve yüzeydeki oksit filmini parçalamak için alternatif akım kullanılmaktadır (Bozkurt, 2008).



Şekil 5.1. TIG kaynak yöntemi blok şeması (Akça, 2006; Tımaç, 2006).

Alternatif akım TIG yöntemi ile kaynakta alüminyum ve alaşımları için en iyi oksit çözme olayı saf argon kullanmakla olur (Akça, 2006; Tımaç, 2006). Argon renksiz, kokusuz, tatsız ve diğer inert gazlara oranla boldur. Argon sıvı halden -184°C de buharlaşır. Kaynak için argon saflığı % 99.99'dur. Argon havadan % 23 daha ağırdır. Argon düşük iyonlaşma potansiyeline sahiptir. Zehirsiz ancak boğucudur. Saf argon, alüminyum ve alaşımları, nikel ve alaşımları ve birçok demir dışı metaller için kullanılır (Özdinçer, 2006).

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kullanılan kaynak çubukları esas metalle aynı bileşimde olduğu takdirde kaliteli bir kaynak bileşimi sağlanır. Ancak bunun yanında bazı istenen özellikler sebebiyle ilave metalin, esas metalden farklı olabilmesi söz konusudur (Tımaç, 2006; Akça, 2006). İlave metalin uygun seçilmemesi, dikiş eksenini boyunca çatlamlara, krater çatlamlarına, dayanım düşmelerine ve değişik diğer kaynak hatalarına sebep olabilir. Fazla oksitlenmiş veya kirlenmiş ilave metaller, porozite, çatlama, kalıntı gibi kaynak hatalarına neden olabilirler (Hasdemir, 2001; Tımaç'tan 2006; Hasdemir, 2001; Akça'dan 2006).

6. AL-MMK'LERİN MÜHENDİSLİK MALZEMLERİ İÇİNDEKİ YERİ, ÖNEMİ VE GELECEĞİ

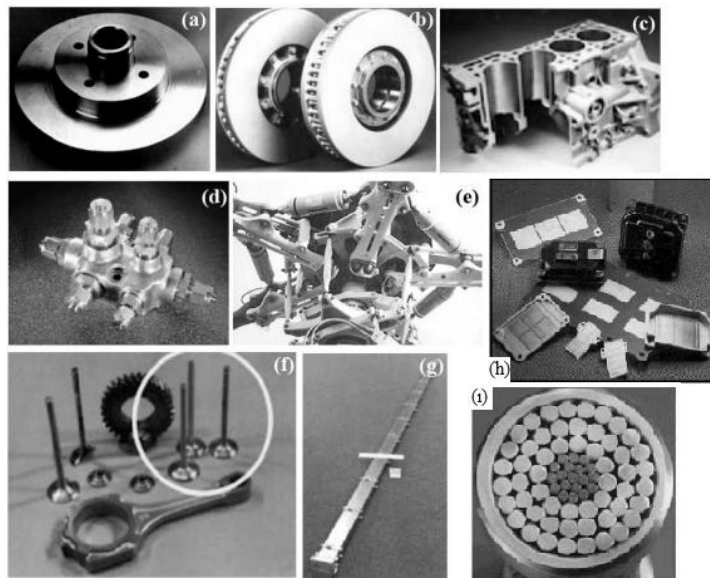
MMK malzemeler matris alaşımlarından daha pahalı olduklarından dolayı yalnızca malzeme özelliklerinin birinci derecede önemli olduğu alanlarda kullanılırlar. Kompozit performansının geliştirilmesi için en önemli anahtar parametre, mukavemet/ağırlık oranı veya spesifik mukavemettir (Akbulut, 2000: Kumdalı'ndan 2008). Yüksek spesifik modül, yorulma direnci, aşınma dayanımı ve termal genleşme gibi yeniden biçimlendirme özellikleri, otomobillerde MMK'lerin yerini sağlamlaştırmaktadır. Hafif ağırlıklı malzeme seçiminde MMK'ler önemli bir rol oynamaktadır. Uygulama alanları olarak kadran milleri, fren diskleri, motor blokları ve silindir astarları, bağlantı çubukları ve pistonlar, valfler ve çekiç milleri sayılabilir (Kumdalı, 2008).

Otomotiv endüstrisinde MMK'lerin üretiminde ve uygulanmasında öncü olan Japon Toyota firması alümina fiber takviyeli dizel motor pistonlarını 1980 yılından beri üretmektedir. Bu uygulamada, hafiflik, özgül katılık, mukavemet ve yorulma özellikleriyle birlikte adhesiv aşınma direnci ile önemli malzeme özellikleri elde edilmiştir (Soy, 2009 b). Otomotiv endüstrisinde Toyota tarafından geliştirilmiş seramik takviyeli dizel motor pistonları, MMK'lerin kullanılmasındaki ilk büyük başarıdır. Bu pistonlar sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilmiştir (Rohatgi, 1991: Durmuş'tan 2006). Bu alandaki bir yeni teknik gelişme de, alümina fiber preformlarına nikelin uygulanmasıdır. Preforma sıvı metalin emdirilmesi sırasında nikel, alüminyum ile etkileşerek pistonun katkılı bölgesinde adhesiv aşınma direncini arttıran Al_3Ni 'yi oluşturmaktadır (Soy, 2009 b).

Prasad ve arkadaşlarının çalışmasında Al esaslı alaşımlara SiC takviyesi ile sertlik artarken akma mukavemeti azalmıştır. Bu malzemelerin mekanik özellikleri Al-SiC malzemelerinkinden daha iyidir (Prasad and Rohatgi, 1987: Durmuş'tan 2006). Al-MMK'lerde takviye oranının artması yoğunluğu, poroziteyi ve sertliği artırır ve aynı

zamanda sıkıştırılabilirliği azaltır. Ayrıca, takviye oranı ve presleme basıncının artması malzemenin aşınma direncini de iyileştirir (Şahin, vd., 2002: Durmuş'tan 2006).

Al-MMK'ler özellikle otomotiv, uçak ve uzay endüstrilerindeki birçok mühendislik uygulamalarında geniş bir şekilde kullanılmaktadırlar (Şekil 6.1) (Dikici, 2008).



Şekil 6.1. a) Otomobil fren diski (Kaczmar et al. 2000; Dikici 2008), b) Alman Knorr Bremse şirketi tarafından geliştirilmiş SiC takviyeli yüksek hız treni fren diskleri (Cayron 2000: Dikici'den 2008) c) Kolbenschmidt şirketi ve Porsche işbirliği ile üretilen motor blok giydirmesi (Cayron 2000: Dikici'den 2008) d) hidrolik manifold (Miracle 2000: Dikici'den 2008) e) Fransa N4 ve EC120 helikopterleri kanat taşıma aparatı (Miracle 2000: Dikici'den 2008) f) Toyota Altezza için geliştirilen Ti bazlı egzoz valfleri (Saito 2004: Dikici'den 2008) g) Gr fiber takviyeli Al bazlı uzay teleskopu (Rawal 2001: Dikici'den 2008). h) Elektronik uygulamalar, i) Elektrik iletim hatları (Oğuz, 1999: Akça'dan 2006).

Honda Prelude modeli için 1990'dan beri alümina ve karbon kısa fiber takviyeli alüminyum silindir gömleklerinin üretimini gerçekleştirmektedir (Soy, 2009 b). Honda dökme demirden yapılanlara kıyasla kompozit malzemedan yapılan silindir bloğunun ağırlığı %50 oranında azaltılmıştır. Burada sıkıştırma döküm yöntemi ile infiltre

edilmiş hibrit (melez) alüminyum karbon fiber preformlar kullanılarak aynı zamanda aşınma direnci arttırılmıştır (Allison and Cole, 1993; Kevorkijan, 1998: Durmuş'tan 2006).

Jaguar otomobil firması, araçlarında daha az yakıt tüketimi sağlamak amacıyla daha hafiflik sağlayacak malzemelere yönelmiştir. Jaguar XJ modelinde otomobil kaportalarında, iç aksamlarında ve parçalarında Al-MMK malzeme kullanmıştır. Jaguar firması MMK uygulamaları sonucunda %40 oranında daha hafif bir otomobil üretmişlerdir. Bağlantılarda ise kaynaklı birleştirmelerden kaçınılmış daha çok cıvatalı ve yapıştırılmalı birleştirme teknikleri kullanılmıştır (Soy, 2009 b).

Otomotiv sanayiinde kullanılan çelik şaftların yerine %20 Al₂O₃ elyaf takviyeli Al-MMK kullanımıyla, ağırlık tasarrufunun yanı sıra, titreşimlerin azalması ve kritik şaft dönme hızının artması sağlanmıştır. Otomotiv sanayide kullanılan dökme demir fren kampanalarının yerine %20–30 SiC takviyeli Al-MMK kullanımı, fren sisteminde %60'a varan ağırlık tasarrufu sağlanmıştır (Özarslan, 2004; Hiçyılmaz, 1999: Kılıç'tan 2008). Otomotiv endüstrisinde fren mesafesinin ve fren sesinin azaltılması için, %15-30 SiC takviyeli alüminyum döküm alaşım malzemesi ile ağırlığı azaltılmış fren rotorunun kullanılması düşünülmüştür (Koczak et al., 1993: Durmuş'tan 2006). Daha sonra Lotus, Elise serisi parçacık takviyeli alüminyum MMK fren disklerini kullanmaya başlamıştır (Hollins, 1997: Durmuş'tan 2006).

Son zamanlarda parçacık takviyeli MMK'ler demiryolu endüstrisinde de uygulanmaktadır. %20 SiC parçacık takviyeli Al-Si alaşımlı fren diskleri demiryolu araçlarında kullanılmaya başlanmıştır. Uçak veya motor parçaları, metal matriks kompozitlerin en önemli kullanım alanlarından biridir. Metal fiber ile takviye edilmiş (örneğin tungsten veya seramik fiberler, SiC veya B₄N) süper alaşımlar mukavemetlerini yüksek sıcaklıklarda da koruyabilmekte ve jet motorlarının daha üretken biçimde çalışabilmesini sağlamaktadırlar (Durmuş, 2006).

En büyük taneli ve hacimsel olarak katkılı kompozitler tren ve arabaların fren sistemlerinde kullanılmaktadır. Al-MMK fren diskleri genellikle Avrupa demir yollarında kullanılmaktadır. Otomotivin geleceğinde Mg, Al kompozit malzemeler ağırlıklı olarak yer alacaktır (Kumdalı, 2008). BMW firmasının yeni ürettiği magnezyum-alüminyum kompozit motor bloğu magnezyum alaşımlarının bir yüksek sıcaklık motor uygulamasında ilk kullanımınıdır (Duygulu vd., 2010). Ayrıca motor bloğunda oluşan titreşimlere ve aşınmalara karşı matrisin alüminyum olduğu kompozitler kullanılmakta ve böylece hareketli aksamaların kullanım ömrü arttırılmaktadır (Akın,2006: Kumdalı'dan 2008).

Motor bloklarındaki silindir gömleklerinin grafit- Al_2O_3 parçacık takviyeli Al-MMK malzemedan üretimi, ısı iletimini arttırmış, ayrıca kompozitin ısıl genleşme katsayısı çok düşük olduğundan piston ile gömlek arasındaki toleransları en aza indirmiş, dolayısıyla motor verimi arttırılarak yakıttan tasarruf sağlanmıştır (Kılıç, 2008).

Otomobillerde kullanılan pistonların Al-SiC_(p), Al-TiC_(p) kompozit malzemedan üretilmesi ağırlık kazancı ve aşınma dayanımı sağlamıştır. Biyel kolunun Al- Al_2O_3 , Al-TiC_(p) kompozit malzemedan üretilmesi, hareket halindeki biyel kolunun hafifliğini ve yüksek mukavemetli olmasını sağlamıştır. Otomobillerde kullanılan piston segmanlarının Al- Al_2O_3 kompozit malzemedan üretilmesi, piston aşınmasının minimuma indirerek malzeme ömrünü arttırmıştır (Kılıç, 2008).

Uzay ve uçak endüstrisinde MMK'lerin kullanımı yaygın olmakla beraber günümüz uygulamaları hakkındaki literatür oldukça azdır. Bununla birlikte son birkaç yılda; Al/SiC ticari uçak zemin kiriş ve direkleri (saplamalar), Al/SiC helikopter kanat kolları, Al/C ticari uçak kanatçığı bağlantı yatakları, Al_2O_3 füze tespit bağlantı parçaları ve Al/C uydu imalat borularının prototipleri ve yapılan çalışmaların değerlendirme sonuçları tanıtılmıştır (Pora and Barbaux, 1997: Durmuş'tan 2006; Purdue and Shakesheff, 1997: Durmuş'tan 2006). MMK'lerin günümüz uygulamalarından bazıları Çizelge 6.1., 6.2. ve 6.3.'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Metal matrisli kompozitlerin otomotivde uygulama örnekleri (Soy, 2009 b).

Takviye Malzemesi	Matriks	Uygulama Alanı	Özellikleri
SiC	Al	Fren disk rotoru	Aşınma direnci, ağırlığın azalması
SiC	Al	Amortisör silindiri	Aşınma direnci, ağırlıkta azalma, ısı yayılımı
SiCp	Mg	Dişli çark, makara ve Zırh	Ağırlık azalması, yüksek mukavemet ve rijitlik
SiCp	Al	Piston fren diski, çap mastarı, silindir gömleği, pervane mili	Ağırlığın azalması, yüksek dayanım, aşınma direnci, yüksek özgül rijitlik
SiCw	Al	Piston başı	Yüksek sıcaklıkta çekme direnci ve yorulma direnci
B ₄ C	Al	Tahrik mili borusu	Ağırlığın azalması, yüksek aşınma direnci, ısı kararlılık
B ₄ C	Al	Fren diski	Ağırlığın azalması, yüksek aşınma direnci, ısı kararlılık
B ₄ C	Al	Fren balatası	Ağırlığın azalması, yüksek aşınma direnci, ısı kararlılık
Al ₂ O ₃	Al	Piston segmanı	Yüksek aşınma direnci, yüksek sıcaklıkta çalışma
Al ₂ O ₃	Al	Motor bloğu	Düşük ağırlık, geliştirilmiş mukavemet, yüksek aşınma direnci
Al ₂ O ₃ +C	Al	Silindir gömleği	Aşınma direnci, plastik akma direnci, ağırlığın azalması
Al ₂ O ₃ veya C	Al	Valfler	Yüksek sıcaklık, yorulma sürünme ve aşınma direnci

Çizelge 6.2. Uzay ve uçak endüstrisinde MMK'lerin uygulamaları (a) Altunpak, 2002: Durmuş'tan 2006, b) Akın, 2006: Kumdalı'ndan 2008).

Takviye Malzemesi /Matris	Uygulama Alanı	Özellikleri	Kaynaklar
Bor, Borsik/Ti, SiC/Süperalaşım	Jet motoru fan kanatları	Yüksek sıcaklık, aşınma direnci, yorulma, sürünme, ağırlık azalması	(a)
Al ₂ O ₃ /Mg	Helikopter dişli kutusu	Aşınma direnci, ağırlık azalması	
C/Al, Mg	Uzay ve uydu yapı tüpleri	Rijitlik, ağırlık azalması	
SiC/Al	Zemin giriş saplamaları	Ağırlık azalması	
SiC/Al	Helikopter kanat kovanı	Aşınma direnci, ağırlık azalması	
B+paslanmaz çelik, borsik+Mo fiberleri/Al, Ti	Havacılık endüstrisi	Yüksek mukavemetli sünek ve gevrek fiber kombinasyonu	
Al-SiC partikül	Uçak omurga ve iskelet	Aşınma direnci	(b)
Al-karbon fiber	Uçak motorları	Termal kararlılık Sürtünmeye karşı direnç	
Mg-Al ₂ O ₃	Uçak motorları	Termal kararlılık Sürtünmeye karşı direnç	
Al-Ti/Be şerit	Helikopter pervane shaftı	Mukavemet	
Ti-Al/karbon fiber	Roket motorları	Termal kararlılık	
Ti /Mo fiberler	Ses üstü uçak roketi Fırlatıcısı	Yüksek servis sıcaklığı	
Al-Ti-V/bor fiber	Türbin kanatları	Yüksek mukavemet Sürünme direnci	
Ti-Al/SiC	Turbojet motor Aksamları	Yüksek mukavemet Sürünme direnci	

Çizelge 6.3. Demiryolu, elektrik/elektronik, spor, kağıt ve diğer endüstrilerde MMK'lerin uygulamaları (Altunpak, 2002: Durmuş'tan 2006).

Endüstri	Takviye Malzemesi /Matris	Uygulama Alanı	Özellikleri
Demiryolu	SiC/Al	Fren disk rotoru	Aşınma direnci, ağırlık azalması
Elektrik/ Elektronik	SiC/Al	Multiçip modül	Yüksek ısı iletimi, ağırlık azalması
Elektrik/ Elektronik	C/Al	Termal genleşme ara desteği	Termal genleşme
Elektrik/ Elektronik	Bor/Al	Soğutma plakaları	Yüksek ısı iletimi, ağırlık azalması
Spor	SiC/Al	Golf malzemeleri	Aşınma direnci, hafiflik
Spor	SiC veya Al ₂ O ₃ /Al	Bisiklet kadranı	Rijitlik, hafiflik, yorulma direnci
Kesici takımlar	B/Cu-Ti-Sn		
Süper iletkenler	Nb ipliği/Ni, Cu, Ag		

Havacılık ve uçak sanayiinde henüz deneme aşamasında olmasına karşın, grafit elyaf takviyeli Al-MMK malzemeler roket ve helikopter parçalarında, Al₂O₃ elyaf takviyeli Al-MMK malzemeler, helikopter dişli kutularının yapımında kullanılmaktadır. Boron-SiC karışımı elyaflarla takviye edilen Al-MMK malzemeler jet motoru kanatçıklarının yapımında kullanılmaktadır (Kılıç, 2008).

Teknolojik uygulamalardaki çalışma ve yakıt masraflarını düşürmek için otomotiv ve havacılık uygulamalarında malzeme ağırlığının düşürülmesi ve bu yolla mukavemet/yoğunluk (spesifik mukavemet) oranlarının artırılması önemlidir. Bu oran, mühendislik malzemelerinin elastiklik modülü, mukavemet, korozyon, oksidasyon, ısı

kararlılık, sürünme, aşınma ve yorulma uygulamalarında en önemli parametrelerden biridir. Bununla beraber, seramiklerde olduğu gibi AL-MMK'lerin uygulamaya aktarılmasındaki en önemli sakınca, düşük kırılma toklukları ve matris/takviye elemanı arasındaki ısıl genleşme farklılıklarıdır. AL-MMK'ler çok sayıdaki yapısal uygulamalar için iyi bir potansiyele sahiptirler; ancak, mukavemet ve elastiklik modülü kazanımının yüksek maliyete üstün geldiği uygulamalar dışında kullanımları sınırlandırılmıştır. Bunun yanında, aşınma dirençleri çok iyi olduğundan, aşınma uygulamalarında yaygın olarak kullanılabilir (Toptan, 2006). Bu malzemeler büyük bir potansiyele sahip olmasına rağmen, bunların uygulamaya yeterince aktarılamamasının önündeki ana engel maliyettir. Maliyeti yükselten ana neden ise, üretim yöntemlerinin pahalılığı ve bu yöntemler üzerinde istenilen pratiğin henüz kazanılamamış olmasıdır (Akbulut, 1994: Toptan'dan 2006).

AL-MMK'lerin havacılık ve uzay uygulamalarında tercih edilir olmasındaki ilk etken, diğer malzemelere oranla, spesifik mukavemet ve rijitlik değerleri arasındaki dengenin oldukça iyi olmasıdır. Havacılık ve uzay uygulamalarında kullanılan süreksiz takviyeli AL-MMK'ler, izotropik özellikler ve bu alanda kullanılan diğer metal alaşımlarına göre %100 daha fazla rijitlik değerleri sergilerler (Miracle and Donaldson, 2001: Toptan'dan 2006).

MMK'lerdeki takviye fazının tipinin, miktarının ve dağılımının kontrolüyle matrisin özellikleri iyileştirilebilir. Seramik takviyeli kompozitlerde seramik parçacık oranlarının artırılmasıyla alüminyumun ısıl genleşme katsayısı %400 kadar düşürülebilmektedir (Uygur, 1999: Çanakçı'dan 2006). MMK'lerle üretilen araçların ağırlıklarının %10 oranında düşürülmesiyle yakıt tüketiminde %5 tasarruf sağlanmıştır (Kouzeli, et al., 2002: Çanakçı'dan 2006). SiC, alümina, B₄C, titanyum karbür, silisyum oksit ve diğer parçacık takviyeleri motor parçalarının rijitliğini artırabilir ya da termo fiziksel özelliklerini iyileştirebilir. Bağlantı milleri, fren kampanaları, su soğutmalı fren rotorları, turbo kompresörleri, bisiklet krankları, askeri zırhlar vb. MMK'lerin mühendislikte kullanılan tipik örnekleridir (Çanakçı, 2006).

Hafiflik, statik ve dinamik yüklere karşı yapısal bütünlüğün korunması amacıyla yüksek mukavemet, korozyon direnci ve termal kararlılık uzay/uçak sanayisinde kullanılan kompozitlerde arzu edilen en önemli mekanik özelliklerdir. Özellikle uçakların gövde, iskelet ve kanat omurga sisteminde kullanılan yapısal parçalarda, sahip olduğu düşük yoğunluk, korozyona karşı kararlılığı ve ısı ilemlerle birlikte spesifik mukavemetinde yapılan iyileştirmeler neticesinde Al-MMK'ler uçak sektöründe yoğun bir biçimde kullanılmaktadır. Parçacık katkılı Al-MMK'ler helikopterlerin pervane kanat kollarında, uçuş kontrol hidrolik manifoldlarda %40 SiC katkılı kompozitler başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Kumdalı, 2008).

B₄C parçacıklı kompozitler zırh malzemesi, nötron absorblayıcı olarak nükleer reaktör malzemesi, abrazyon püskürtme lüleri, yüksek abrazyon aşınma dayanımı gerektiren uygulamalar ve abrazyon kesici disklerin yapımında kullanılır (Çanakçı, 2006).

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yapılan deneylerde, B₄C partikül takviyeli Al-MMK'ler vorteks metodu ile argon gazı atmosferinde üretilmiş ve TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir.

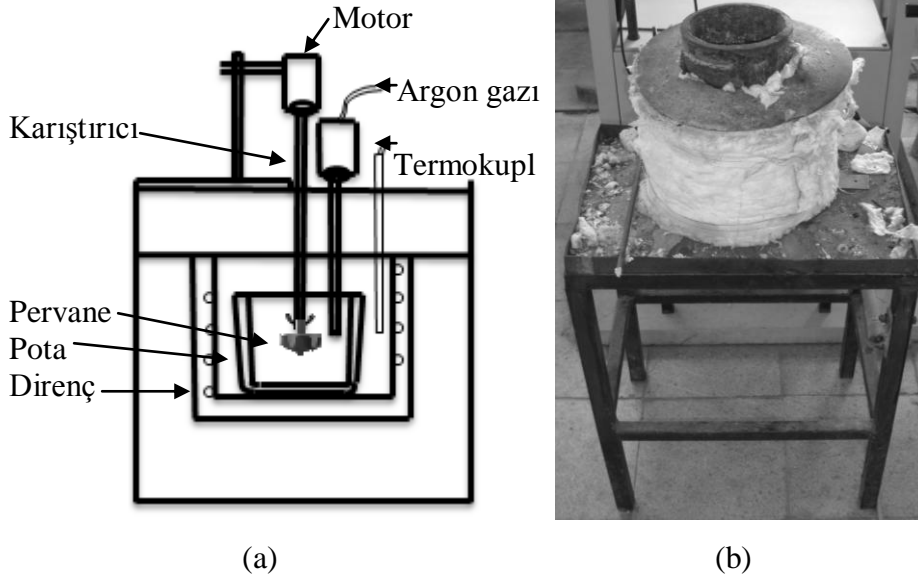
7.1. Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada incelenen numunelerin üretiminde matris malzemesi olarak yoğunluğu 2,70 g/cm³, ergime noktası 660,32°C olan ticari saflıkta Al kullanılmıştır.

Takviye malzemesi olarak Alfa Aesar'dan temin edilen ve özellikleri Çizelge 7.1.'de belirtilen 40 µm tane boyutundaki B₄C tozu kullanılmıştır.

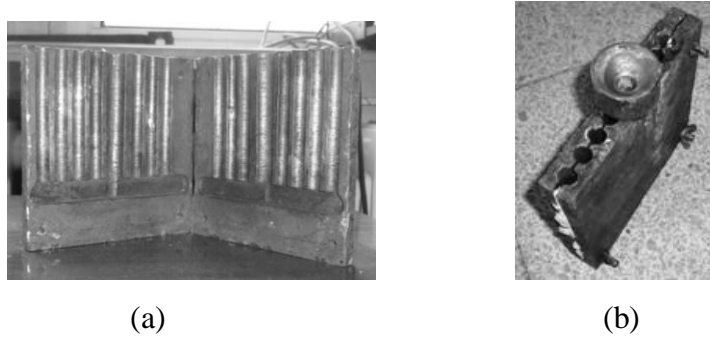
Çizelge 7.1. Kullanılan B₄C tozunun üretici firma tarafından belirlenen bileşimi.

Bileşenler	Mikro tozlar için (F240-F1200) (%)	Makro tozlar için (F10-F220) (%)
B	Min. 76	Min. 76
C	Min. 19,5	Min.19,5
B ₂ O ₃	Max. 0,6	Max. 0,5
Fe	Max. 0,2	Max. 0,15
O	Max. 1,0	Max. 1,0
N	Max. 1,0	Max. 1,0
Si	Max. 0,15	Max. 0,15
Min.: Minimum, Max.: Maksimum, F: Parçacık boyutu aralığı numarası		



Şekil 7.2. a) Elektrikli direnç fırınının şematik görünümü, b) Elektrikli direnç fırınının genel fotoğrafı.

Kompozit malzemenin dökümü çelik kalıba yapılmıştır. Kalıp bir seferde birden fazla deney numunesi elde edilmesi için 1cm çapında 10 cm uzunluğunda olmak üzere yolluk etrafında dizili şekilde dizayn edilmiştir (Şekil 7.3.). Kalıba yağlayıcı etkisi yapması amacıyla döküm öncesi grafit sürülmüştür.

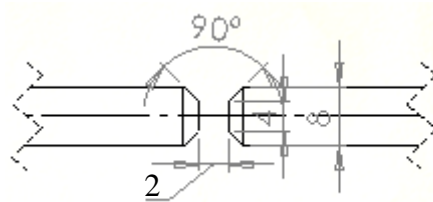


Şekil 7.3. Döküm işleminin yapıldığı metal kalıbın a) açık ve b) kapalı fotoğrafı.

MMK malzemelerin üretilmesinde kullanılan sistemin çalışma prensibi ve malzemenin üretilmesinde takip edilen yol şöyle özetlenebilir: Üzeri argon atmosferi ile kapatılmış ve etrafı ısıtıcı olarak elektrik direnç telleri sarılmış pota içerisine, matris metali olarak daha önceden hassas terazide tartımı yapılan ticari saflıkta Al konulmuştur. Daha sonra ısıtıcı yaklaşık 700°C 'ye ısıtılarak alüminyumun ergitilmesi sağlanmıştır. Tamamen ergiyen alüminyuma ıslanabilirliği artırmak amacıyla ağırlıkça % 1,5 oranında Ti talaşı ilave edilip titanyumun çözünürlüğünü artırmak için fırın 800°C 'ye çıkarılmıştır. Ti tamamen çözüldükten sonra önceden tartılan ve nemi almak amacıyla 175°C 'de 2 saat ısıtılan B_4C parçacıkları ön ısıtmaya tabi tutulan ve 2800 dev/dk. hızla dönen karıştırıcı ile karışmakta olan matris malzemesine yavaş yavaş katılmıştır. Bu işlemler argon atmosferinde yapılmıştır. Parçacık ilavesi tamamlandıktan sonra fırın sıcaklığı yaklaşık 750°C 'ye düşürülüp döküm işlemi 700°C 'de ısıtılan metal kalıba B_4C parçacıklarının pota yüzeyine çıkmadan sıvı metal içerisinde hapsolmesini sağlamak amacıyla hızlı bir şekilde yapılmıştır.

7.3. Kompozit Malzemelerin Birleştirilmesi

Vorteks metodu ile üretilen kompozitlerin birleştirme işleminde alternatif akım TIG kaynak yöntemi kullanılmıştır. Kaynak öncesi malzemelere Şekil 7.4.'de gösterildiği gibi X kaynak ağzı açılmış ve kaynak esnasında Çizelge 7.2.'de özellikleri belirtilen ilave kaynak teli kullanılmıştır.



Şekil 7.4. Kaynak öncesi malzemeye açılan X kaynak ağzının şekli.

Çizelge 7.2. Kaynak işleminde kullanılan kaynak telinin özellikleri.

Bileşenler	(%)
Zn	0,10
Mn	0,05
Fe	0,80
Al	92,00
Si	6,00
Cu	0,30

7.4. Metalografik Numune Hazırlama

Üretilen parçalar Buehler Abrasimet 2 (Şekil 7.5. (a)) marka kesme cihazında kesilmiştir. Kesilen parçalar Struers LaboPress-3 (Şekil 7.5. (b)) marka sıcak kalıplama makinesinde kalıplanmıştır.



(a)



(b)

Şekil 7.5. a) Buehler Abrasimet 2 marka kesme cihazı, b) Struers LaboPress-3 marka soğuk kalıplama makinesi.

Sıcak kalıplamadan alınan numuneler Struers Knuth Rotor (Şekil 7.6 (a)) ve Buehler (Şekil 7.6 (b)) marka zımparalama cihazlarında sırasıyla 400, 600, 800, 1000 ve 1200 meshlik zımparalama işlemine tabi tutulmuştur.



(a)



(b)

Şekil 7.6. a) Struers Knuth Rotor marka zımparalama cihazı, b) Buehler marka zımparalama cihazı

Zımparalama işleminden sonra numuneler Struers DAP-2 (Şekil 7.7.) marka parlatma cihazında alümina kullanılarak parlatılmıştır. Dağlama işlemi için Çizelge 7.3.'de özellikleri belirtilen Al, Ni, Cu ve Paslanmaz çelik için kullanılan dağlayıcı kullanılmıştır.



Şekil 7.7. Struers DAP-2 marka parlatma cihazı.

Çizelge 7.3. Mikroyapı için kullanılan dağlayıcının özellikleri.

Bileşenler	Miktar (ml)
Saf su	30
Nitrik Asit	30
Hidroflorik Asit	20
Hidroklorik Asit	20

Parlatma ve dağlama işlemlerinden sonra bilgisayar destekli NİKON (Şekil 7.8.) marka mikroskopta mikro yapı görüntüleri alınmıştır.



Şekil 7.8. NİKON marka bilgisayar destekli mikroskop.

7.5. Sertlik Ölçümü

%5 ve %10 B₄C içeren kompozit numunelerin ve Al matrisin Rockwell H sertlik değerleri alınmıştır (Çelik bilye çapı = 3,175 mm (1/8 inç), Yük = 60 Kg). Her numune için dört ölçüm yapıp ortalamaları alınmıştır.

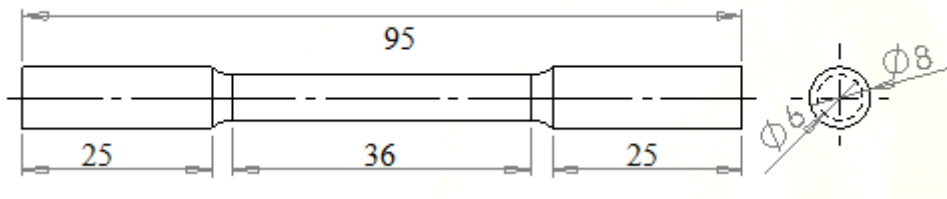
7.6. Çekme Testinin Yapılışı

%5 ve %10 B₄C içeren kompozitlerin hem kaynaklız hem de kaynaklı numuneleri Şekil 7.9'de resmi verilen 250 kN max. yük kapasitesine sahip olan SHIMADZU-AG-IS 250kN üniversal test cihazında 2 mm/dk. hızla çekme testine tabii tutulmuştur.



Şekil 7.9. SHIMADZU-AG-IS 250kN ÜNİVERSAL TEST CİHAZI: Bilgisayar kontrollü sıcaklık ünitesi üniversal test cihazı (Maksimum yük = 250 kN).

Numuneler dairesel kesitli silindirik başlı çekme numunesine göre hazırlanmıştır (Şekil 7.10.). Her kompozitten dörder numune kullanılıp ortalamaları alınmıştır.



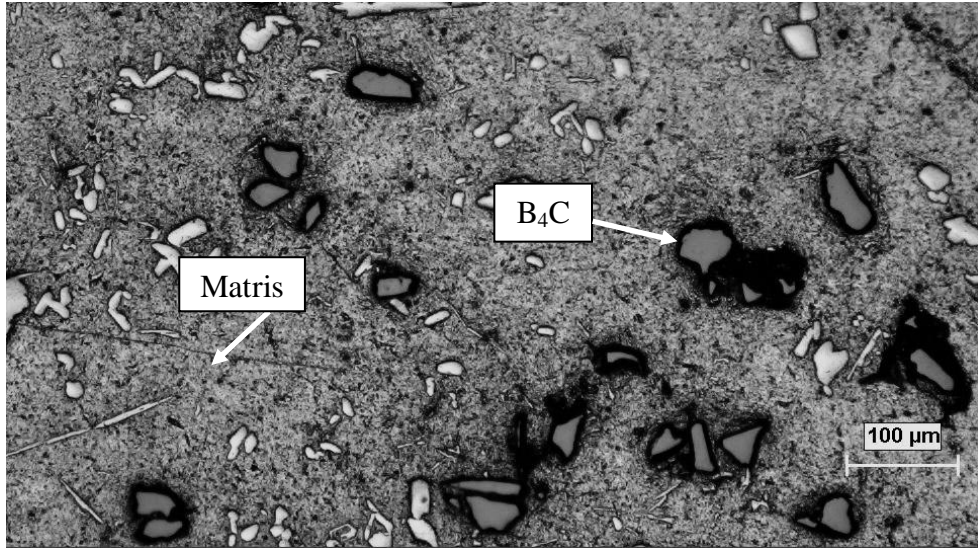
Şekil 7.10. Çekme testinde kullanılan yuvarlak kesitli silindirik başlı çekme numunelerinin teknik resmi.

8. SONUÇLAR

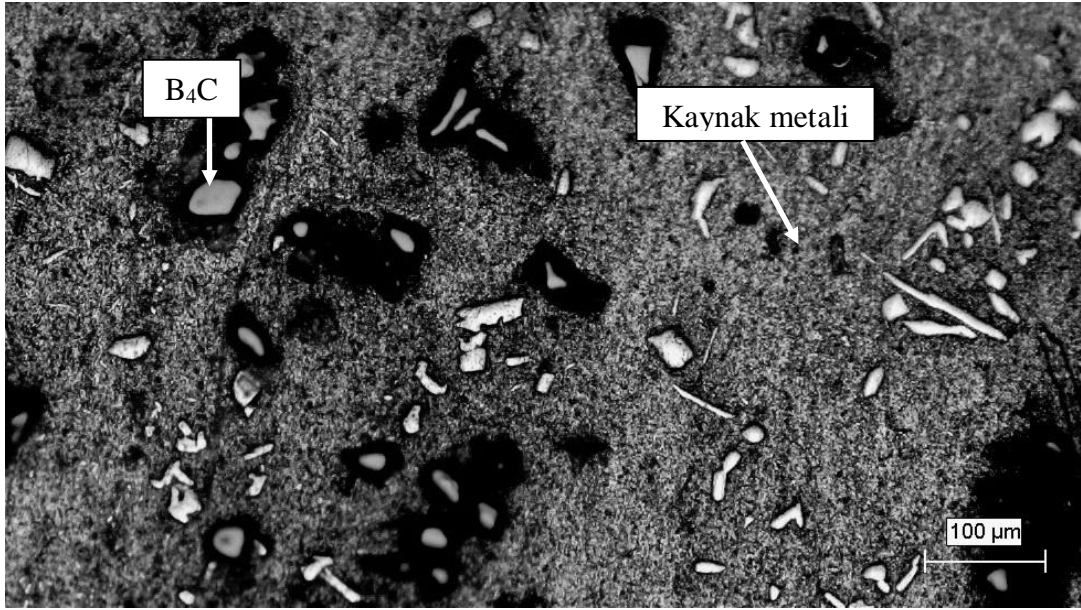
Kompozit üretiminden ve kaynak işlemlerinden sonra hem kaynaklı hem de kaynaklı olmayan numunelerin mikroyapıları incelenmiştir, sertlikleri ölçülmüştür ve numunelere çekme testi yapılmıştır.

8.1. Metalografik İncelemeler

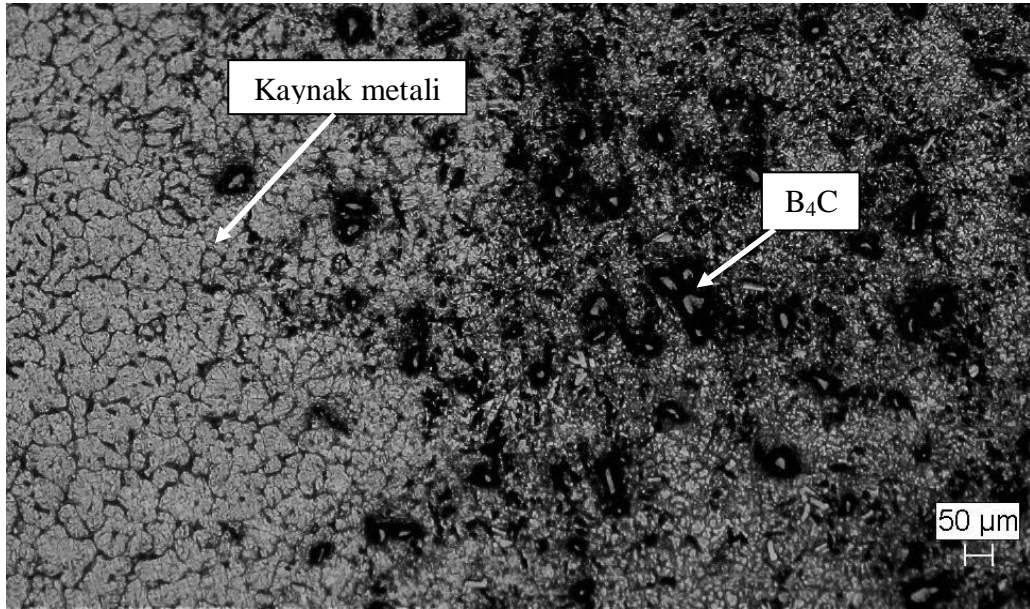
%5 ve %10 oranında B_4C içeren numunelerin hem kaynaklı hem de kaynaklı olmayan mikroyapılarının görüntüleri Şekil 8.1.–8.6.'de verilmiştir.



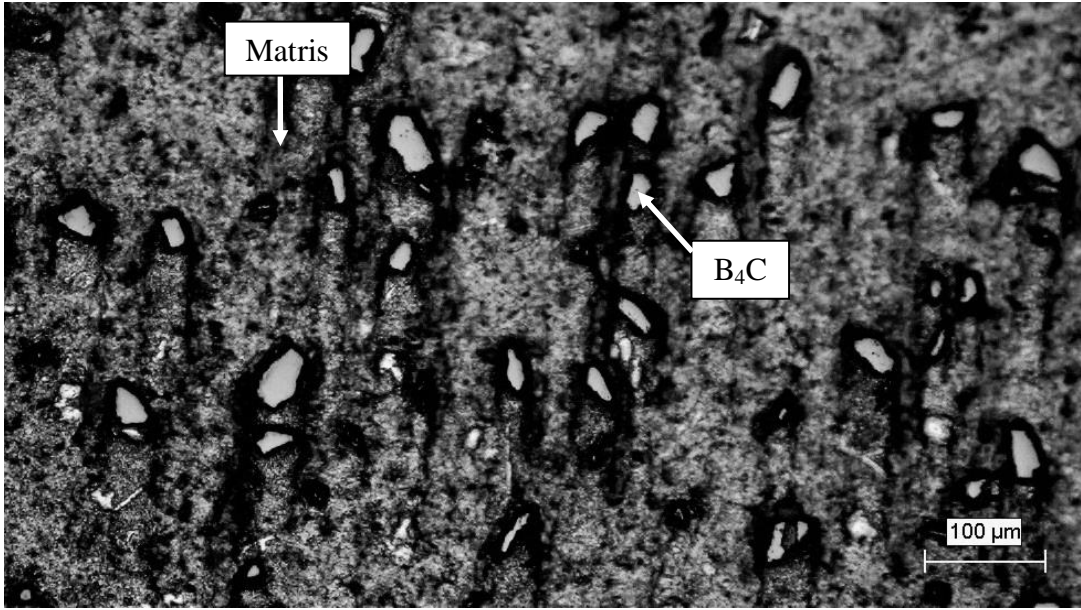
Şekil 8.1. %5 B_4C içeren dağlanmamış, kaynaklı olmayan kompozit numunenin x100 büyütmedeki mikroyapısı.



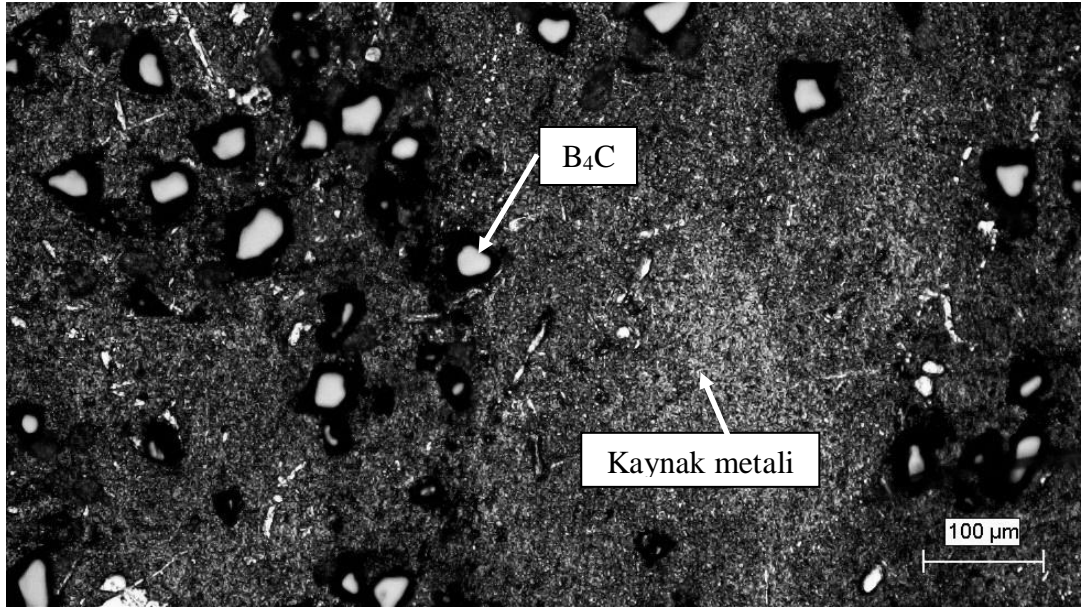
Şekil 8.2. %5 B_4C içeren dağlanmamış, kaynaklı kompozit numunenin kaynak bölgesindeki mikroyapısının x100 büyütmedeki fotoğrafı.



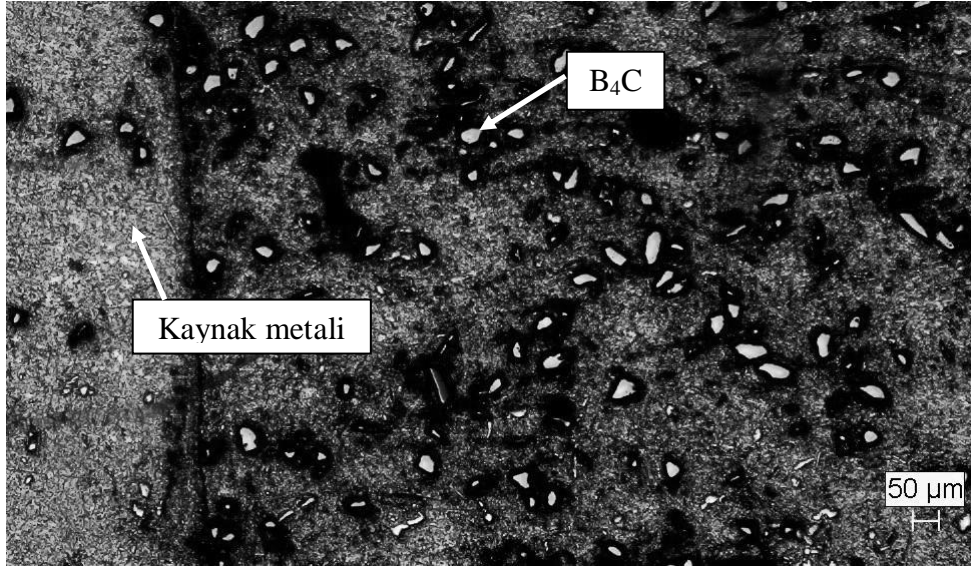
Şekil 8.3. %5 B_4C içeren dağlanmış, kaynaklı kompozit numunenin kaynak bölgesindeki mikroyapısının x50 büyütmedeki fotoğrafı.



Şekil 8.4. %10 B₄C içeren dağlanmamış, kaynaklız kompozit numunenin x100 büyütmedeki mikroyapısı.

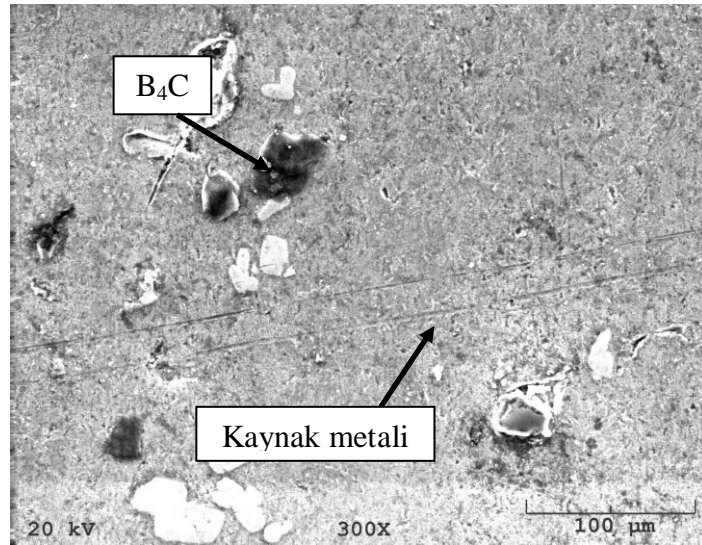


Şekil 8.5. %10 B₄C içeren dağlanmamış, kaynaklı kompozit numunenin kaynak bölgesindeki mikroyapısının x100 büyütmedeki fotoğrafı.

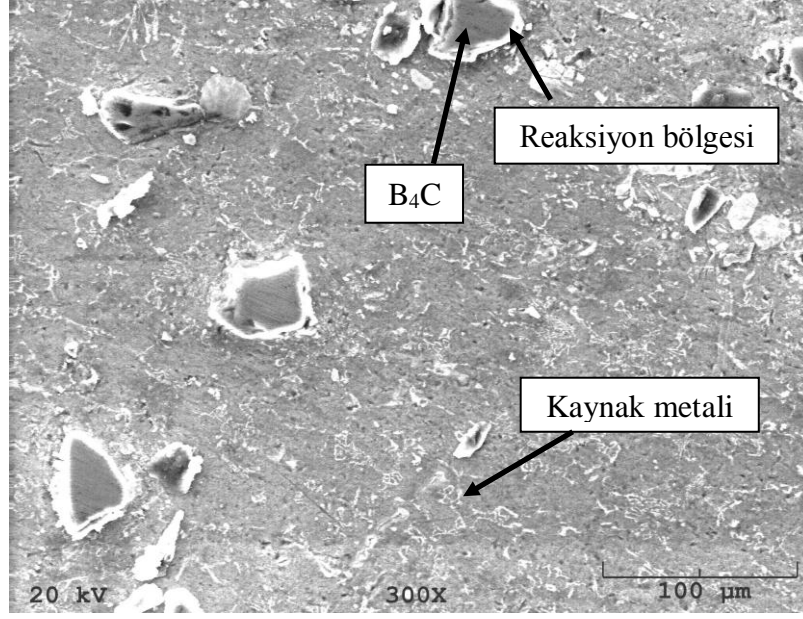


Şekil 8.6. %10 B₄C içeren dağlanmış, kaynaklı kompozit numunenin kaynak bölgesindeki mikroyapısının x50 büyütmedeki fotoğrafı.

Şekil 8.7.–8.8.'da %5 ve %10 B₄C içeren kaynaklı numunelerin SEM fotoğrafı yer almaktadır.



Şekil 8.7. %5 B₄C içeren kaynaklı kompozit numunenin kaynak bölgesindeki mikroyapısının x300 büyütmedeki SEM fotoğrafı.



Şekil 8.8. %10 B₄C içeren kaynaklı kompozit numunenin kaynak bölgesindeki mikroyapısının x300 büyütmedeki SEM fotoğrafı.

Mikroyapılarda da görüldüğü gibi vorteks metodu ile kompozitin üretimi ve TIG kaynak yöntemi ile de birleştirilmesi sağlanmıştır. Genel itibari ile üretim sonrasında partiküllerin yer yer topaklanması görülse de homojen dağılıma sağlanmıştır. Kaynak bölgelerinde azda olsa poroziteye rastlanmıştır.

8.2. Sertlik Özelliklerinin İncelenmesi

%5 ve %10 B₄C içeren kompozit numunelerin ve partikül takviyesiz matrisin sertlik ölçümü sonuçları Çizelge 8.1.'de verilmiştir.

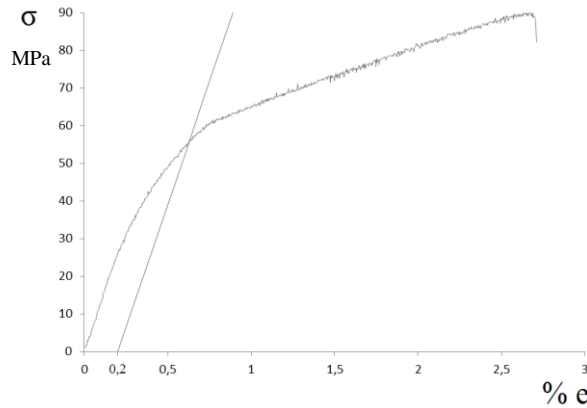
Çizelge 8.1. %5 ve %10 B₄C içeren kompozit numunelerin ve takviyesiz Al matrisin Rockwell H sertlik değerleri.

Numune	Rockwell H Sertlik Değeri (HRH)
Takviyesiz matris	50,50
%5 B ₄ C içeren kompozit numune	75,25
%10 B ₄ C içeren kompozit numune	82,75

Sonuçlardan da görüldüğü gibi B₄C takviyesi ile kompozitlerin sertlik değerlerinde artış görülmüştür.

8.3. Çekme Özelliklerinin İncelenmesi

%5 ve %10 B₄C içeren kompozitlerin hem kaynaksız hem de kaynaklı numuneleri çekme testi sonuçları Çizelge 8.2.'de verilmiştir. Numuneler belirgin akma sınırı göstermediği için akma noktası olarak %0,2 Akma Mukavemeti esas alınmıştır. Örnek olarak Şekil 8.9.'da % 5 B₄C içeren kompozit numunenin çekme diyagramı verilmiştir.

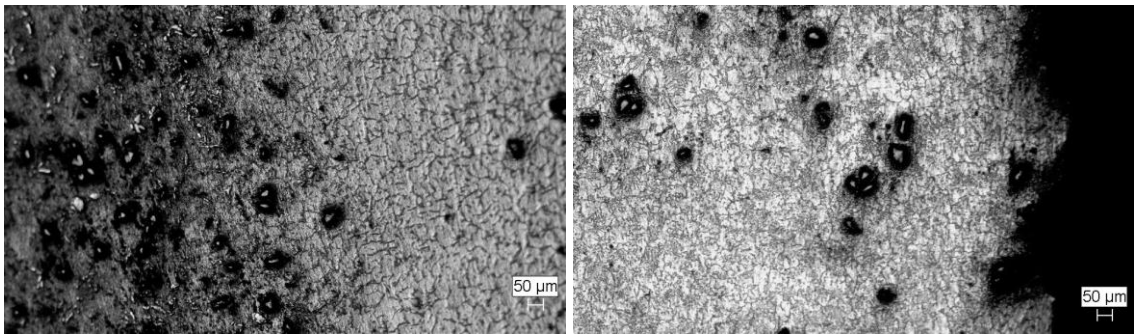


Şekil 8.9. Numunelerin akma mukavemetinin belirlenmesi.

Çizelge 8.2. Takviyesiz Al (Hanlı, 2009), %5 ve %10 B₄C içeren kaynaklı ve kaynaklız numunelerin çekme testi sonucu verileri.

Numune	0,2 Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Kopma Uzaması (%)
Al (Hanlı, 2009)	29,42–39,23	88,26–117,68	18–25
%5 B ₄ C içeren kaynaklız numune	55,59	95,96	2,59
%10 B ₄ C içeren kaynaklız numune	64,05	84,01	1,21
%5 B ₄ C içeren kaynaklı numune	52,92	67,05	2,01
%10 B ₄ C içeren kaynaklı numune	52,54	62,41	1,08

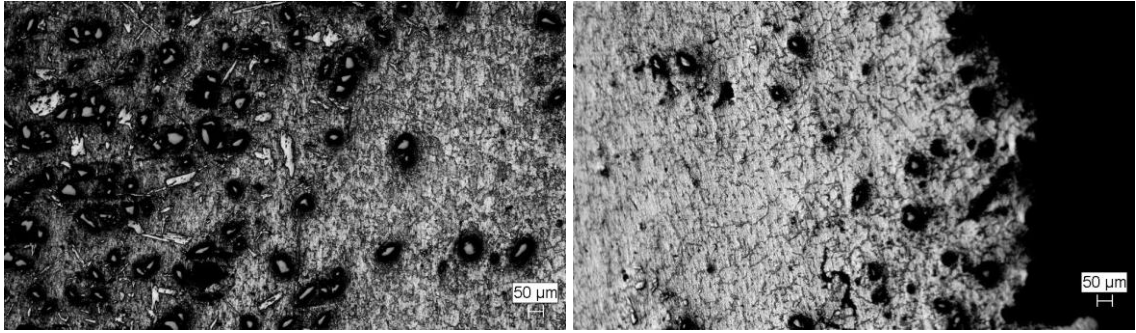
Çekme deneyi sonuçları incelendiğinde kaynaklı numunelerin ortalama mukavemet değerlerinin kaynaklız metal mukavemet değerlerinden düşük olduğu ve tüm kopmaların dolgu metalinden gerçekleştiği gözlenmiştir (Şekil 8.10.–8.11.). Partikül oranının artmasıyla kaynaklı numunelerin mukavemet değerlerinde azda olsa düşüş olduğu gözlenmektedir. Literatürde de (Çanakçı, 2006) benzer sonuçlara rastlandığı gibi partikül miktarı artışı ile çekme mukavemetinde düşüş görülmüştür.



(a)

(b)

Şekil 8.10. %5 B₄C içeren kaynaklı kompozit numunenin (a) ITAB'taki, (b) Kopma bölgesindeki mikroyapılarının x50 büyütmedeki fotoğrafları.



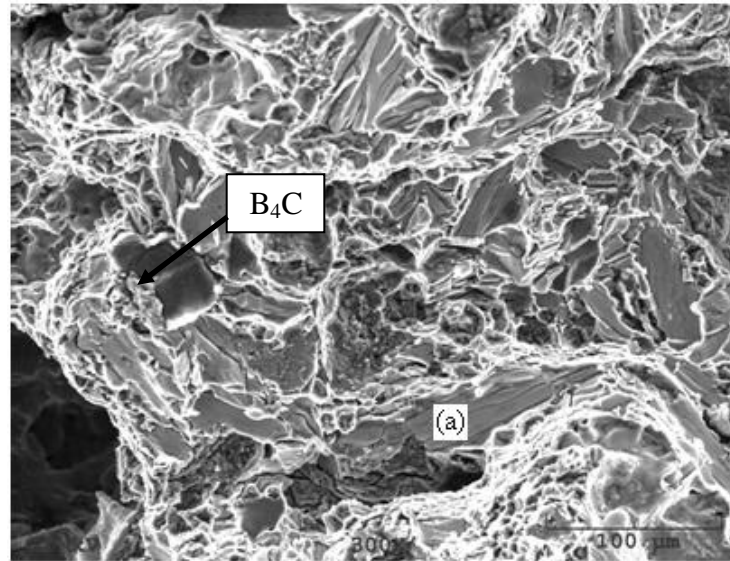
(a)

(b)

Şekil 8.11. %10 B_4C içeren kaynaklı kompozit numunenin (a) ITAB'taki, (b) Kopma bölgesindeki mikroyapılarının x50 büyütmedeki fotoğrafları.

8.4. Kırık Yüzeylerin İncelenmesi

Çekme deneyine tabi tutulan %5 ve %10 B_4C içeren kaynaklı ve kaynaklız kompozit numunelerin SEM'de kırık yüzeyleri incelenmiştir.

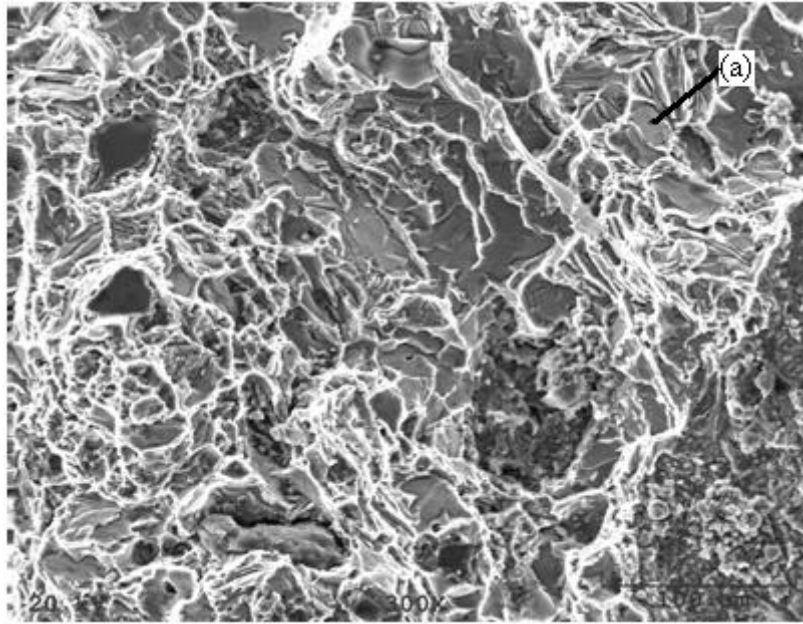


Şekil 8.12. %5 B_4C içeren kaynaklız kompozit numunenin x300 büyütmede SEM'de kırık yüzey görüntüsü.

Çizelge 8.3. Şekil 8.12.'de verilen %5 B₄C içeren kaynaksız kompozit numunenin (a) noktasındaki EDS analiz sonucu.

Bileşen	Ağırlıkça (%)
C	2,081
O	2,055
Al	95,217
Ti	0,647

Kompozit malzemenin yapısının karmaşıklığı nedeniyle kırılma mekanizması ve kırılmada farklı kırılma mekanizmalarının yaptığı katkıların tanımlanması çok zordur (Çanakçı, 2006).



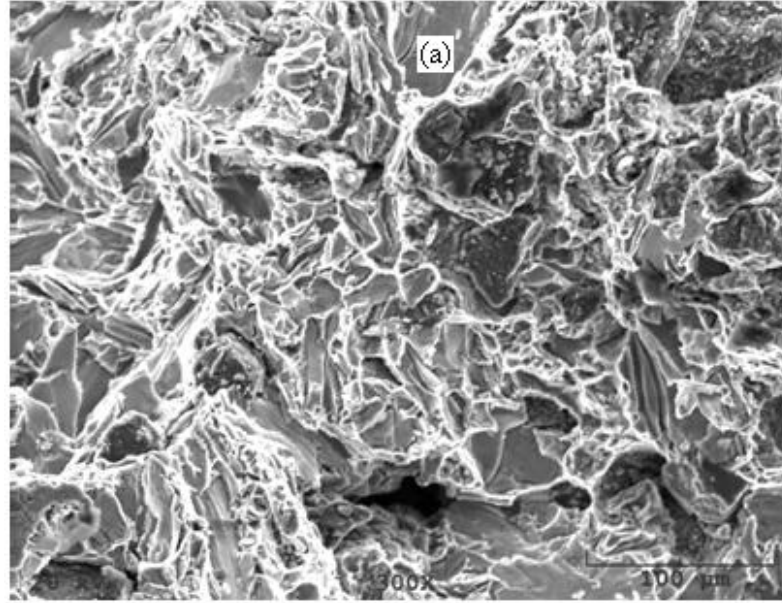
Şekil 8.13. %5 B₄C içeren kaynaklı kompozit numunenin kaynak bölgesinde x300 büyütmede SEM'de kırık yüzey görüntüsü.

Çizelge 8.4. Şekil 8.13.'de verilen %5 B₄C içeren kaynaklı kompozit numunenin (a) noktasındaki EDS analiz sonucu.

Bileşen	Ağırlıkça (%)
Fe	1,121
Al	86,031
Ti	0,519
Si	12,329

Numunelerde düşük miktarlarda mevcut olan Fe; kompozit üretimi esnasında potadan ve karıştırıcıdan çözünerek yapıya dahil olmuştur. Kaynaklı numunelerde ise demirin varlığına kaynakta kullanılan dolgu telinin yapısı da etkili olmuştur. Şekil 8.13.'de verilen %5 B₄C içeren kaynaklı kompozit numunenin EDS analizinde de görüldüğü gibi kaynaklı numunelerin kırık yüzeylerinde Si metaline rastlanmıştır, Si metali kaynak sırasında kullanılan dolgu metalinin bileşiminden kaynaklanmaktadır.

%10 B₄C içeren kaynaklı ve kaynaksız kompozit numunelerin de SEM'de kırık yüzeyleri incelenmiştir ve partikül miktarının artmasıyla yapıdaki değişiklikler değerlendirilmiştir.

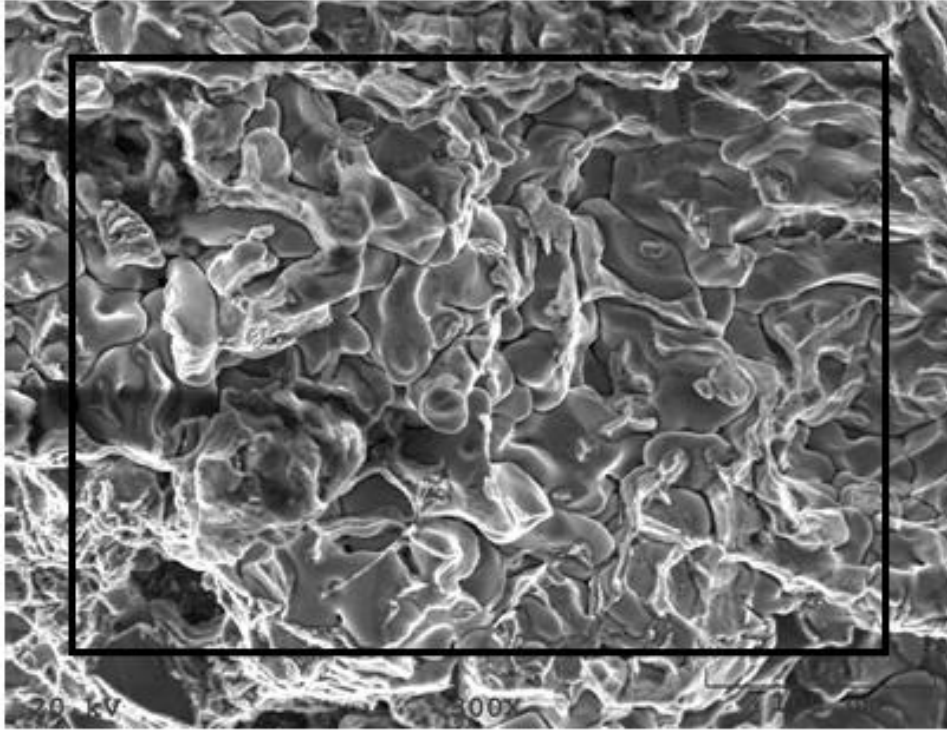


Şekil 8.14. %10 B₄C içeren kaynaklız kompozit numunenin x300 büyütmede SEM’de kırık yüzey görüntüsü.

Çizelge 8.5. Şekil 8.14.’de verilen %10 B₄C içeren kaynaklız kompozit numunenin (a) noktasındaki EDS analiz sonucu.

Bileşen	Ağırlıkça (%)
O	2,981
Al	96,573
Ti	0,445

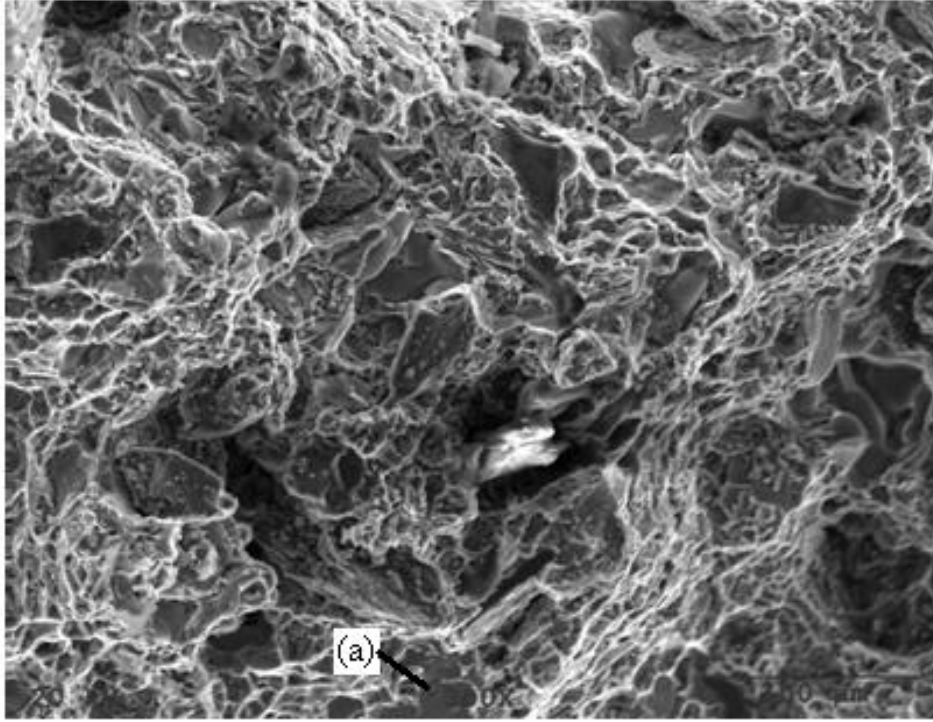
Partikül miktarının artması ile topaklanmada da artış gözlenmiştir. Topaklanmaların nedeni; kompozitin katılaşması sırasında parçacıkların büyüyen dendritler tarafından katı-sıvı ara yüzeyine doğru itilmeleri ve parçacıkların dendritler arasına sıkışarak bir araya toplanmalarıdır (Hashim, et al., 1999; McCoy and Franklin, 1988; Surappa, 1997; Çanakçı’dan, 2006). Ayrıca içyapıda çözünmüş haldeki gazlar parçacıklar üzerinde çekirdeklenmektedir (Ray, 1995; Çanakçı’dan, 2006).



Şekil 8.15. %10 B₄C içeren kaynaklı kompozit numunenin kaynak bölgesinde x300 büyütmede SEM’de kırık yüzey görüntüsü.

Çizelge 8.6. Şekil 8.15.’de verilen %10 B₄C içeren kaynaklı kompozit numunenin işaretli bölgedeki EDS analiz sonucu.

Bileşen	Ağırlıkça (%)
C	11,142
O	0,791
Al	84,103
Ti	0,191
Si	2,101
Fe	1,672



Şekil 8.16. %10 B₄C içeren kaynaklı kompozit numunenin kaynak bölgesinde x300 büyütmede SEM’de kırık yüzey görüntüsü.

Çizelge 8.7. Şekil 8.16.’de verilen %10 B₄C içeren kaynaklı kompozit numunenin (a) noktasındaki EDS analiz sonucu.

Bileşen	Ağırlıkça (%)
C	3,620
O	0,299
Al	81,592
Ti	0,131
Si	14,357

9. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Daha önce değinildiği gibi MMK'lerin üretiminde ıslatma çok önemlidir. Çünkü MMK'lerde matris takviye elemanlarını bir arada tutar, kompozit malzemeye gelen yükleri takviye elemanlarına iletir. Ancak sıvı alüminyum alaşımlarının seramik parçacıklarını ıslatması genellikle zayıftır. Bölüm 2.3.'te de değinildiği gibi literatürde ıslatmayı iyileştirmek için çeşitli yöntemlerden bahsedilmiştir. Bu çalışmada ıslatmayı iyileştirmek amacıyla matrise Ti ilavesi yapılarak B₄C takviyeli Al-MMK'lerin vorteks metodu ile üretiminin mümkün olduğu görülmekte ve partiküllerin oldukça homojen olarak dağıldığı gözlenmektedir.

Sertlik ölçümleri sonucu partikül takviyesinin Bölüm 3.'te de belirtildiği gibi dislokasyonların yoğunluğunu artırması ile sertlik artışını sağladığı gözlenmektedir ve partikül oranının artışı ile üretilen kompozit numunelerin sertliğinde de artış tespit edilmiştir.

Yapılan çekme deneyleri sonucunda partikül miktarındaki artışı ile kompozit malzemenin çekme mukavemetlerinde düşüş gözlenmiştir. Üretilen kompozitlerde partikül oranının artması ile gözenek oranında da artış gözlenmiştir.

Üretilen kompozit numunelerin TIG kaynağı ile birleştirilmesinin mümkün olduğu görülmüş ve partikül miktarının artışı ile az da olsa kaynak kabiliyetinde bir düşüş gözlenmiştir. Daha iyi kaynak nüfuziyeti sağlanırsa kaynaklı numunelerin mukavemetinde artış gözlenebilir. TIG kaynağı dışında birleştirme yöntemleri kullanılarak daha iyi bir nüfuziyetin sağlanıp sağlanmadığı incelenebilir.

Kaynak bölgesinde ana yapıya benzer bir yapı elde edilmiştir. TIG kaynak yönteminde ana malzeme ile kaynak metali geçiş bölgesi bir çizgi şeklinde değil homojen bir şekilde karışmış bir geçiş şeklindedir.

Farklı oranlarda partikül içeren numunelerin kaynağında kaynak bölgesinde belirgin bir fark gözlenmemiştir.

Bu çalışmadan ve daha önce yapılan benzer çalışmalardan yola çıkılarak kompozit üretimi için farklı üretim yöntemleri kullanılarak karşılaştırmalar yapılabilir. Kompozit üretiminde ticari saflıktaki alüminyuma göre daha üstün mekanik özelliklere sahip matris kullanılarak mekanik özellikler incelenebilir.

Islatmayı iyileştirmek için farklı yöntemler kullanılabilir veya Ti dışında farklı elementlerle üretilen kompozitlerin özellikleri incelenebilir. Vorteks metodu ile üretilen kompozitlere daha sonra ekstrüzyon, haddeleme veya dövme gibi ikincil işlemler uygulanarak özellikleri incelenebilir. Isıl işlem uygulanabilir.

Üretilen kompozitlerin mekanik özellikleri dışında balistik, ısıl iletkenlik, elektrik iletkenliği, aşınma gibi özellikleri incelenebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akça, H., 2006, TIG yöntemiyle kaynak edilen alüminyum ve alaşımlarının mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 168s.
- Alp, E., 2008, AlMg₃/SiCp kompozitlerinin kaynak edilebilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 79s.
- Arslan, G., 2001, Bor karbür-alüminyum kompozitlerinin üretimi ve karakterizasyonu, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 192s.
- Atmaca, A., 2006, Çelik fiber takviyeli alüminyum metal matrisli kompozit plakaların elasto-plastik gerilme analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 105s.
- Ayvaz, M., 2010, İki farklı alüminyum alaşımının, TIG kaynak yöntemi kullanılarak, iki farklı elektrot teli ile kaynatılması ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 143s.
- Bozkurt, Y., 2008, Sürtünme karıştırma kaynak tekniği ile birleştirilen AA2124/SiCp/25 kompozit levhaların mekanik özellikleri ve mikroyapı karakterizasyonu, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 213s.
- Çanakçı, A., 2006, AA2024 matrisli B₄C parçacık takviyeli kompozitlerin vorteks yöntemiyle üretimi ve özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 123s.
- Çelik, S., 1996, Koruyucu gaz altında saf alüminyum ve bakır'ın difüzyon kaynağı şartlarının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 104s.
- Dikici, B., 2008, Al/TiC metal matrisli nano kompozitlerin sıcak pres yöntemiyle üretilmesi ve karakterizasyonu, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 112s.
- Durmuş, H., 2006, CO₂ lazer kaynağıyla birleştirilmiş alüminyum matrisli kompozitlerin kaynak bölgesinin mekanik özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 133s.

- Duygulu, Ö., Üçüncüođlu, S. ve Oktay, G., 2010, En hafif arabaya doğru magnezyum, Bilim ve Teknik, TUBİTAK, 112s.
- Ekici, R., 2004 Alüminyum esaslı SiC partikül takviyeli metal matrisli kompozit malzemelerin darbe davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 115s.
- Erden, İ.O., 2005, Alüminyum-silisyumnitrür kompozit malzemenin difüzyon kaynağı ile kaynaklanabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 98s.
- Hanlı, İ., 2009, Alüminyum malzemelerin kaynağında kaynak parametrelerinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 94s.
- Kaczmar, J.W., Pietrzak, K. and Wlosinski, W., 2000. The production and application of metal matrix composite materials, Journal of Materials Processing Technology, 106, 58-67.
- Kaya, P., 2010, Bor karbür-alüminyum karma yapıların geçirimli elektron mikroskobu ile nitelendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 87s.
- Kennedy, A.R. and Karantzalis, A.E., 1999, The Incorporation of ceramic particles in molten aluminium and the relationship to contact angle data, Materials Science and Engineering, A 264, 122-129.
- Kılıç, C., 2008, Sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilmiş ve soğuk haddelenmiş AlMg₃/SiCp kompozitinin aşınma özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 102s.
- Kılıçarslan, A., 2009, Al-B₄C kompozitlerinde ıslatılabilirliği artırmak amacıyla B₄C partiküllerinin yüzey özelliklerinin değiştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 68s.
- Köksal, F., 2004, Al-Cu-SiC ve Al-Cu-B₄C kompozitlerin sıcak presleme yöntemi ile üretimi ve aşınma özelliklerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 110s.

- Kumdalı, F., 2008, Alüminyum matrisli B₄C takviyeli kompozitlerin toz metalurjisi yöntemi ile üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 63s.
- Küçükpara, H., 2008, Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen Al-SiCp kompozitlerin difüzyon kaynak kabiliyetlerinin araştırılması, Bilim Uzmanlığı Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 78s.
- Lee, B.S. and Kang, S., 2001, Low-temperature processing of B₄C-Al composites via infiltration technique, *Materials Chemistry and Physics*, 67, 249-255.
- Lopez, V.H. and Kennedy, A.R., 2006, Flux-assisted wetting and spreading of Al on TiC, *Journal of Colloid and Interface Science* 298, 356-362.
- Özdemir, T., 2006, Bor karbür esaslı seramik metal kompozitlerinin ultrases dalga hız metodu ile ortalama tanecik boyutlarının tayini, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 67s.
- Özdiñer, A., 2006, Alüminyum alaşımlarının gaz altı kaynağında koruyucu gaz karışımlarının nüfuziyet ile diğerkaynak dikişiozelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 69s.
- Özkan, S., 2007, Alüminyum matrisli SiC parçacık takviyeli kompozitlerin mekanik alaşımlama yöntemiyle üretimi ve kuru aşınma davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 111s.
- Sandal, R., 2009, Al-Al₂O₃ kompozit malzeme üretimi ve difüzyon kaynağı ile kaynaklanabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 89s.
- Soy, U., 2009, Kompozit malzemeler, Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, 7s.
- Soy, U., 2009, Metal matriks kompozit malzemeler, Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, 45s.
- Şen, O., 2005, TiO₂ partikül takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 55s.

- Tımaç, G., 2006, Uçak endüstrisinde kullanılan alüminyum ve alaşımlarının TIG kaynak yöntemi ile kaynaklanabilirliğinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 161s.
- Toptan, F., 2006, Alüminyum matrisli B₄C takviyeli kompozitlerin döküm yöntemi ile üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 85s.
- Toptan, F., Kılıçarslan, A., Karaaslan, A. ve Kerti, I., 2009, Ti ilavesi ile üretilen Al-B₄C kompozitlerinde matris takviye arayüzeyinin mikroyapısal karakterizasyonu, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Türkiye, 5s.
- Zhang, H., Ramesh, K. T. and Chin, E.S.C., 2004, High strain rate response of aluminium 6092/B₄C composites, Materials Science and Engineering, A 384, 26-34.