

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

**ALÜMİNYUM MATRİSLİ HİBRİT KOMPOZİT
MALZEMELERİN MEKANİK VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİ**

KHLAD F. G. AWATH

**Danışman
Jüri Üyesi
Jüri Üyesi**

**Doç. Dr. Serkan ISLAK
Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ
Yrd. Doç. Dr. Elif AŞIKUZUN**

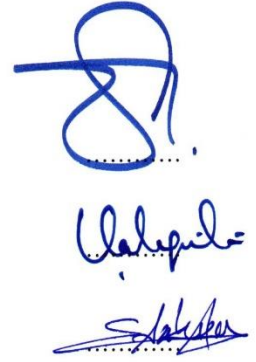
**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

KASTAMONU – 2017

TEZ ONAYI

KHLAD F. G. AWATH tarafından hazırlanan "**Alüminyum Matrisli Hibrit Kompozit Malzemelerin Mekanik ve Mikroyapı Özellikleri**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve **oy birliği** ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Doç. Dr. Serkan ISLAK Kastamonu Üniversitesi
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ Fırat Üniversitesi
Jüri Üyesi	Yrd. Doç. Dr. Elif AŞIKUZUN Kastamonu Üniversitesi



07/07/2017

Enstitü Müdür V. Prof. Dr. Temel SARIYILDIZ



TAAHHÜTNAME

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



Khlad F.G. AWATH

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ALÜMİNYUM MATRİSLİ HİBRİT KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİ

KHLAD F. G. AWATH

Kastamonu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Malzeme Bilimi Ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Serkan ISLAK

Al matrisli kompozitler, son yıllarda otomobil, havacılık, deniz, yüksek hızlı trenler gibi alanlarda birçok geleneksel metalin yerini almasıyla son yıllarda giderek daha fazla kullanılmaktadır. Hibrit kompozitlerin mükemmel özellikleri de dikkate alındığında Al matrisli kompozitlerin etkisi daha da artmaktadır. Farklı partiküller matrise bir arada katılarak üstün özelliklere sahip hibrit kompozitler üretilmektedir. Burada partikülün miktarı ve dağılımı hibrit kompozitin mekanik özelliklerini kontrol eden en önemli unsurdur.

Bu tezde, AlCu matrisne farklı oranlarda bor karbür (B_4C), hegzagonal bor nitrür (hBN) ve grafit (Gr) ilave edilerek sıcak presleme yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Kompozit olarak AlCu, AlCu-10hBN, AlCu-8hBN-2Gr, AlCu-5hBN-5 B_4C , AlCu-10 B_4C , AlCu-8 B_4C -2Gr ve AlCu-4hBN-4 B_4C -2Gr bileşime sahip numune 550 °C sıcaklıkta, 5 dakika sinterleme süresinde ve 35 MPa presleme basıncında üretilmiştir.

Numunelerin, mikroyapı ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Mikroyapı olarak optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu ve XRD analiz teknikleri kullanılmıştır. Numunelerin deneysel yoğunlukları helyum piktometresi ile ölçülmüştür. Mekanik özellikler olarak sertlik ve çapraz kırılma dayanımı özellikleri ölçülmüştür.

Mikroyapı olarak matris içerisinde takviye partiküllerin homojen dağıldığı bir yapı elde edilmiştir. AlCu-10hBN numunesinde kompoziti oluşturan bileşenler haricinde B_2O fazı oluşmuştur. Diğer kompozitlerde farklı bir faz oluşmamıştır. Numunelerin sertlik ve çapraz kırılma dayanımları partikül ilavesi ile belirgin olarak artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, hibrit kompozit, mekanik özellikler, mikroyapı, sıcak pres sinterleme.

2017, 52 sayfa

Bilim Kodu: 91

ABSTRACT

MSc. Thesis

MECHANICAL AND MICROSTRUCTURE PROPERTIES OF ALUMINIUM MATRIX HYBRID COMPOSITE MATERIALS

Khilad F.G. AWATH
Kastamonu University
Institute of Science
Department of Material Science

Supervisor: Assoc.Prof. Dr. Serkan ISLAK

Al matrix composites have been increasingly used in recent years for many years in the areas of automobile, aviation, marine, high-speed trains, where many traditional metals have been replaced. When the excellent properties of hybrid composites are taken into account, the effect of Al matrix composites is further increased. Hybrid composites with superior properties are produced by adding different particles together. Here, the amount and distribution of particles is the most important factor controlling the mechanical properties of the hybrid composite.

In this thesis, AlCu matrix was produced by using hot pressing method by adding boron carbide (B_4C), hexagonal boron nitride (hBN) and graphite (Gr) at different ratios. The samples with compositions of AlCu, AlCu-10hBN, AlCu-8hBN-2Gr, AlCu-5hBN-5 B_4C , AlCu-10 B_4C , AlCu-8 B_4C -2Gr and AlCu-4hBN-4 B_4C -2Gr as composites were sintered at 550 ° C for 5 minutes and 35 MPa pressing pressure.

Microstructure and mechanical properties of specimens were investigated. Optical microscope, scanning electron microscope and XRD analysis techniques were used as microstructure. The experimental densities of the samples were measured by helium pycnometer. Hardness and transverse rupture strength properties are measured as mechanical properties.

As a microstructure, a structure in which the reinforcing particles are partially homogeneously dispersed in the matrix is obtained. The B_2O phase was formed in the AlCu-10hBN sample except for the components forming the composition. No other phase was formed in the other composites. The hardness and transverse rupture strength of the samples were significantly increased by particulate addition.

Key Words: Aluminium, hybrid composite, mechanical properties, microstructure, hot press sintering.

2017, 52 pages

Science Code: 91

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca beni yönlendiren, her türlü desteği ve imkânı sağlayarak değerli bilgilerinden yararlandığım, danışman hocam Doç. Dr. Serkan ISLAK'a en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Akademik çalışmalarım süresince maddi ve manevi destekleriyle daima yanımda bulunan ve bugün bulunduğum yerde olmamda sonsuz katkıları olan aileme ve özellikle eşim Mardeya ve canım çocuklarım Seba, Shahid, Faraj ve Dana'ya en içten sevgilerimi sunuyorum. İyi ki varsınız.

Khlağ F.G. AWATH

Kastamonu, Temmuz, 2017



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
GRAFİKLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI	4
2.1. Alüminyum Grupları	5
2.1.1. Alüminyum- Bakır Alaşımları.....	7
3. HİBRİT KOMPOZİTLER	8
3.1. Hibrit Kompozitlerin Görünümü	10
4. TOZ METALURJİSİ	11
4.1. Toz Üretimi	11
4.1.1. Mekanik Yöntemlerle Üretim.....	11
4.1.2. Atomizasyon Teknikleri	12
4.2. Toz Karıştırma ve Harmanlama	12
4.3. Sıkıştırma.....	13
4.4. Sinterleme.....	13
4.5. Sıcak-İzostatik Presleme	13
5. ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİT (AMK) TAKVİYELERİ	15
5.1. Hegzagonal Bor Nitrür (hBN).....	15
5.2. Bor Karbür (B ₄ C)	15
5.3. Grafit (Gr).....	16
6. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	17
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	26
7.1. Kullanılan Malzemeler ve Kompozitlerin Üretimi	26

7.2. Uygulanan Testler	27
7.2.1. Üç noktalı Eğme Testi	27
7.2.2. Sertlik Testi	28
7.2.3. Yoğunluk Ölçümleri	29
7.2.4. Metalografik Çalışmalar	30
7.2.5. Mikroyapı İncelemeleri (Optik mikroskobu, SEM-EDS ve XRD)	31
8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	32
8.1. Mikroyapı Sonuçları	32
8.2. XRD Sonuçları	36
8.3. Yoğunluk Sonuçları	38
8.4. Sertlik Sonuçları	39
8.5. Üç Noktalı Eğme Testi Sonuçları	40
9. SONUÇLAR	45
10. ÖNERİLER	47
KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ	52

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

AMC	Alüminyum Matrisli Kompozit
MMK	Metal Matris Kompozitleri
DRAMC	kısıtlı talebi kesintili olarak güçlendirilmiş alüminyum matris kompozitlerinin
HIP	Sıcak İzostatik Presleme
HMMC	Hibrit Metal Matrisli Kompozitler
SEM	Tarayıcı Elektron Mikroskopisi
XRD	X-ışınları kırınımı
EDS	Enerji Dağılımlı Spektrometri
TRS	Çapraz Kırılma Dayanımı
RHA	Pirinç Kabuğu Külü
ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
UTS	Son Çekme Dayanımı
OCP	Açık Devre Korozyon Potansiyeli

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

	Sayfa
Fotoğraf 7.1. Sertlik ölçüm cihazı	29
Fotoğraf 7.2. Yoğunluk ölçümünde kullanılan helyum piknometresi	30
Fotoğraf 7.3. Görüntülemeye ve faz analizi tespitinde kullanılan cihazlar, (a) Optik mikroskobu, (b) SEM ve (c) XRD.....	31
Fotoğraf 8.1. Tozların SEM fotoğrafları: (a) Al, (b) Cu, (c) B ₄ C, (d) hBN ve (e) Gr.....	32
Fotoğraf 8.2. AlCu matrisin optik fotoğrafları: (a) 100X ve (b) 500X	33
Fotoğraf 8.3. AlCu-10hBN kompozitin optik fotoğrafları: (a) 100X ve (b) 500X.....	34
Fotoğraf 8.4. AlCu-8hBN-2Gr kompozitin optik fotoğrafları: (a) 100X ve (b) 200X.....	34
Fotoğraf 8.5. AlCu-5hBN-5B ₄ C kompozitin optik fotoğrafları: (a) 100X ve (b) 200X.....	34
Fotoğraf 8.6. AlCu-10B ₄ C kompozitin optik fotoğrafları: (a) 100X ve (b) 1000X.....	35
Fotoğraf 8.7. AlCu-8B ₄ C-2Gr kompozitin optik fotoğrafları: (a) 100X ve (b) 200X.....	35
Fotoğraf 8.8. AlCu-4hBN-4B ₄ C-2Gr kompozitin optik fotoğrafı	35
Fotoğraf 8.9. AlCu numunesinin kırık yüzeyinin SEM fotoğrafı (a) 2000X ve (b) 4000X.....	41
Fotoğraf 8.10. AlCu-10hBN numunesinin kırık yüzeyinin SEM fotoğrafı (a) 1450X ve (b) 5000X	42
Fotoğraf 8.11. AlCu-8hBN-2Gr numunesinin kırık yüzeyinin SEM fotoğrafı (a) 2000X ve (b) 4000X.....	44
Fotoğraf 8.12. AlCu-5hBN-5B ₄ C numunesinin kırık yüzeyinin SEM fotoğrafı (a) 2000X ve (b) 4000X.....	44
Fotoğraf 8.13. AlCu-10B ₄ C numunesinin kırık yüzeyinin SEM fotoğrafı (a) 2000X ve (b) 4000X	44
Fotoğraf 8.14. AlCu-8B ₄ C-2Gr numunesinin kırık yüzeyinin SEM fotoğrafı (a) 2000X ve (b) 4000X.....	45
Fotoğraf 8.15. AlCu-4hBN-4B ₄ C-2Gr numunesinin kırık yüzeyinin SEM fotoğrafı (a) 2000X ve (b) 4000X.....	45

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 7.1. Üç noktalı eğme testi düzeneği	Sayfa 29
---	--------------------



GRAFİKLER DİZİNİ

	Sayfa
Grafik 8.1. Tozların XRD grafikleri: (a) Al, (b) Cu, (c) B ₄ C, (d) hBN ve (e) Gr.....	36
Grafik 8.2. Kompozitlerin XRD grafikleri: (a) Al ₅ Cu, (b) AlCu-10hBN, (c) AlCu-8hBN-2Gr, (d) AlCu-5hBN-5B ₄ C, (e) AlCu-10B ₄ C, (f) AlCu-8B ₄ C-2Gr ve (g) AlCu-4hBN-4B ₄ C-2Gr	37
Grafik 8.3. Sertlik Testi Sonuçları	40
Grafik 8.4. Al matrisli hibrit kompozitlerin çapraz kırılma dayanımı değerleri grafiği	41

TABLÖLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 5.1. Bor karbür (B_4C)'ün genel özellikleri	16
Tablo 7.1. Üretimde kullanılan tozların özellikleri	26
Tablo 7.2. Hibrit kompozitlerin takviye oranları ve üretim parametreleri	26
Tablo 8.1. Hibrit kompozitlerin deneysel ve bağıl yoğunlukları	39



1. GİRİŞ

Alüminyum hibrid kompozitleri, gelişmiş mühendislik uygulamalarının son taleplerini karşılama potansiyeline sahip yeni nesil metal matris kompozitleridir. Bu talepler, geliştirilmiş mekanik özellikler, geleneksel işleme tekniğine uyum ve alüminyum hibrit kompozitlerinin üretim maliyetini düşürme ihtimali sayesinde karşılanır. Bazı işlem parametreleri takviye edici partiküllerle ilişkili olduğundan malzemelerin performansı, çoğunlukla, takviye edici maddelerin doğru kombinasyonunun seçilmesine bağlıdır. Takviye edici partiküllerin birkaç kombinasyonu alüminyum hibrit kompozitlerinin tasarımında kavramsallaştırılmıştır [1].

Mevcut mühendislik uygulamaları, daha sağlam, daha hafif ve daha ucuz malzemeler gerektirir [2]. Birçok modern mühendislik sistemi için hizmet içi performans talepleri, geniş yelpazeli özelliklere sahip malzemeler gerektirir ki bunlar geleneksel malzeme sistemleri kullanılarak karşılanması oldukça zordur. Metal matris kompozitleri (MMK'ler) çok çeşitli mühendislik uygulamalarında ihtiyaç duyulan isteğe göre uyarlanmış özellik kombinasyonlarını sunmalarıyla dikkat çekmektedir. Bu özellik kombinasyonlarının bazıları şunlardır: yüksek özgül mukavemet, düşük katsayılı termal genleşme ve yüksek termal direnç, iyi sönümleme kapasitesi, üstün aşınma direnci, yüksek özgül esnemezlik ve tatmin edici korozyon direnci seviyeleridir [3-5].

MMK'lerin kullanım alanları havacılık ve otomobil alanlarından, savunma, denizcilik, spor ve rekreasyon endüstrilerine kadar uzandığı için, pek çok uygulamada hızlıca geleneksel metalik alaşımların yerini almıştır [6]. MMK'ler çoğunlukla seramik malzemelerle takviye edilmiş metal-seramik alaşımlardır. Kullanılan yaygın metalik alaşımlar hafif metal (Al, Mg ve Ti) alaşımlarıdır; ancak çinko (Zn), bakır (Cu) ve paslanmaz çelik gibi diğer metalik alaşımlar kullanılmaktadır [7]. Alüminyum, MMK'lerin gelişiminde matris malzemesi olarak en çok kullanılan metalik alaşım olmaya devam etmektedir ve bunun bir nedeni vardır. Benzer şekilde, alüminyum matris kompozitler (AMK'ler) üretmek için

sürekli seramik elyaf üzerine kesintili seramik partiküller veya kıllar kullanmanın yararları literatürlerde mevcuttur [8]. Ancak, özellikle gelişmekte olan ülkelerde geleneksel seramik takviye malzemesinin yüksek maliyet ve kısıtlı talebi kesintili olarak güçlendirilmiş alüminyum matris kompozitlerinin (DRAMC) gelişimi ile ilgili önemli bir problem olmaya devam etmektedir [9].

AMK'lerin geliştirilmesinde kullanılan farklı takviye malzemeleri, sentetik seramik partikülleri, endüstriyel atıklar ve tarımsal atık türevleri olmak üzere üç büyük gruba ayrılabilir. Hibrid takviyenin son özellikleri seçilen takviyenin ve matris alaşımının bireysel özelliklerine bağlıdır. Dahası, AMK'lerin sentezi için kabul edilen işleme şekli, AMK'lerin son özelliklerini de etkileyen matris alaşımının ve takviye edici malzemelerin tabiatına bağlıdır. Bunun nedeni, AMK'lerin tasarımı sırasında değerlendirilen parametrelerin çoğunun takviye materyalleriyle bağlantılı olmasıdır. Bu parametrelerden birkaçı takviye türü, ebatı, şekli, elastikiyet modülü, sertliği ve matristeki dağılımıdır [6].

Yayımlanan makalelere göre, hibrid AMK sentezlerinde kullanılan takviye kombinasyonlar üç geniş gruba ayrılmıştır. Bunlar, iki sentetik seramik malzemeye sahip hibrid AMK'ler, sentetik seramik malzemelerle kombine edilmiş bir tarımsal atık türevi ve sentetik takviye ile birleştirilen endüstriyel atıklardır [1].

Farklı sentetik seramik materyaller içeren hibrid AMK'ler, temel olarak, üretim maliyeti üzerinde daha az düşünülerek performans optimizasyonu için geliştirilmiştir. Sentetik seramik partiküllerinden bazıları silisyum karbür (SiC), alüminyum oksit (Al_2O_3), boron karbür (B_4C), tungsten karbür (WC), grafit (Gr), karbon nanotüpleri (CNT) ve silisdir (SiO_2).

SiC veya Al_2O_3 ile takviye edilen konvansiyonel AMK'ler, monolitik alaşımlar üzerinde geliştirilmiş mukavemet ve özgül rijitlik göstermişlerdir; ancak bu, süneklik ve kırılma tokluğu pahasına ortaya çıkmaktadır [9]. Süneklik ve kırılma tokluğu, kullanımda gerilme veya darbe uygulamaları sırasında oluşan hasarları önlemek için gerekli olan önemli malzeme özellikleridir. Daha önce de belirtildiği gibi, bu AMK'lerin korozyon performansı, geçmişte yayınlanan raporlar değerlendirildiğinde

tutarlı değildir. Bunlar, özellik optimizasyonu için iki veya daha fazla sentetik takviyeli partikülün kullanılmasını gerektirmiştir. AMK'lerin performansını optimize etmek için SiC veya Al_2O_3 ile birlikte grafit ve bor karbür kullanılmıştır [10].



2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Alüminyum ve alaşımlarının sunduğu özelliklerin benzersiz kombinasyonları, alüminyum yumuşak, oldukça sünek paket folyodan en zorlu mühendislik uygulamalarına kadar geniş çaplı kullanımı için çok amaçlı, ekonomik ve cazip metalik malzemelerden biri kılmaktadır. Alüminyum alaşımları, yapısal metaller olarak kullanımdan çeliklerden sonra ikinci sırada gelmektedir.

Alüminyum, çeliğin yoğunluğunun üçte biri olan sadece 2,7 g/cm³ yoğunluğa (7,83 g/cm³) sahiptir. Çeliğin 1 ft³ ağırlığı yaklaşık 490 lb; alüminyumun 1 ft³ ağırlığı yaklaşık 170 lb'dir. Bazı alüminyum alaşımlarının yüksek mukavemeti ile (yapısal çeliğin mukavemetini aşan) birleştirilmiş bu hafif ağırlık, uzay araçlarını ve uçakları olduğu kadar tüm kara ve hava araçlarını hareket ettiren parçalar için özellikle avantajlı olan sağlam hafif yapıların tasarım ve yapımına olanak sağlar.

Alüminyum, çeliğin paslanmasına neden olan aşamalı oksitlemeye karşı direnç gösterir. Açık atmosferde kalan alüminyum yüzeyi daha fazla oksitlenmeyi engelleyen çok ince alüminyum oksit filmini oluşturmak için oksijen ile birleşir. Ve demir pasından farklı olarak, alüminyum oksit film, yeni bir yüzeyi daha fazla oksidasyona maruz bırakmak için dökülmez. Alüminyumun koruyucu tabakası çizilmişse, hemen yeniden oksit filmini oluşturup kendisini kaplayacaktır.

İnce oksit tabakası metalle sıkı sıkıya yapışır ve çıplak gözle görülemeyecek şekilde renksiz ve şeffaftır. Demir ve çelik paslarının renk değişikliği ve pullanması alüminyum üzerinde görülmez [11].

Uygun alaşımlı ve işlenmiş alüminyum, su, tuz ve diğer çevresel faktörler ve birçok diğer kimyasal ve fiziksel unsurla korozyona karşı direnebilir. Alüminyum yüzeyleri oldukça reflektif olabilir. Radyan enerji, görünür ışık, radyan ısı ve elektromanyetik dalgalar verimli bir şekilde yansıtılır, eloksallı ve karanlık eloksallı yüzeyler yansıtıcı veya emici olabilir. Parlatılmış alüminyumun geniş bir dalga boyu üzerindeki yansımaları, çeşitli dekoratif ve işlevsel kullanımlar için seçilmesini sağlar.

Alüminyum tipik olarak mükemmel elektriksel ve termal iletkenlik gösterir; ancak yüksek elektrik direnciyle özel alaşımlar geliştirilmiştir. Bu alaşımlar, örneğin, yüksek torklu elektrik motorlarında olduğu gibi kullanışlıdır. Alüminyum çoğunlukla eşdeğer ağırlık bazında bakırın neredeyse iki katı olan elektrik iletkenliği için seçilir. Yüksek iletkenlik ve mekanik mukavemet gereklilikleri, uzun hatlı, yüksek voltajlı ve alüminyum çelik özlü güçlendirilmiş transmisyon kablosu kullanılarak karşılanabilir. Alüminyum alaşımlarının termal iletkenliği, bakırın yaklaşık % 50 ila % 60'ına eşdeğer, ısı eşanjörleri, buharlaştırıcılar, elektrikle ısıtılan aletler ve mutfak eşyaları ve otomotiv silindir kafaları ve radyatörlerde avantajlıdır.

Alüminyumun ferromanyetik olmaması, elektrik ve elektronik endüstrisinde önem taşıyan bir özelliğidir. Piroforik olmaması yanıcı veya patlayıcı madde kullanımı veya bunlara maruz kalmayı içeren uygulamalarda önem arz eder. Alüminyum da toksik değildir ve yiyecek ve içecek kaplarında rutin olarak kullanılır. Yumuşak ve parlak veya ısıtılı ve parlak olabilen çekici bir görünüme sahiptir. Gerçekte her renk veya dokuda olabilir [12].

Alüminyumun herhangi bir formda üretilmesi kolaylığı en önemli özelliklerinden biridir. Genellikle daha düşük işlenebilirliğe sahip daha ucuz malzemelerle başarıyla rekabet edebilir. Metal, dökümhaneler tarafından bilinen herhangi bir yöntemle dökülebilir. Kâğıttan daha ince folyoya kadar istenen herhangi bir kalınlıkta rulo haline getirilebilir. Alüminyum levha damgalanabilir, bükülebilir veya rulo haline getirilebilir. Metal ayrıca dövülebilir. Haddelenmiş çubuktan çekilen alüminyum tel, istenilen boyut ve türdeki kabloya sarılabilir. Metalin ekstrüde edilebildiği farklı profiller (şekiller) için neredeyse hiç sınır yoktur [12].

2.1. Alaşım Grupları

Alüminyum alaşımlarını iki ana kategoriye ayırmak uygundur: dövme ve döküm alaşımlarıdır. Her kategorinin daha da ayrıştırılması, özellik geliştirilmesindeki temel mekanizmaya dayanmaktadır. Pek çok alaşım, faz çözünürlüğüne dayalı olarak termal işleme tepki verir. Bu işlemler, çözündürme ısı işlemi, söndürme, çökeltme

veya yaşlandırma sertleştirmesi içerir. Döküm veya dövme alaşımlar için bu gibi alaşımlar ısııl işlem uygulanabilir olarak tanımlanmaktadır. Diğer çok sayıda dövme bileşimleri genellikle özellik geliştirme için çeşitli tavlama prosedürleriyle kombinasyon halinde mekanik redüksiyon yoluyla işleme sertleşmesine dayanır. Bu alaşımlar işleme sertleşmesi olarak anılır. Bazı döküm alaşımlarına temel olarak ısııl işlem uygulanamaz ve sadece dökme olarak veya çözelti veya çökeltme etkileri ile ilgisi olmayan termal olarak modifiye edilmiş koşullarda kullanılırlar.

Döküm ve dövme alaşım terminolojileri geliştirilmiştir. Alaşım tanıma sistemi dövme ve dökme alaşımlar için farklı terminolojiler kullanır; ancak alaşımları basitleştirmek için ailelere ayırır. Dövme alaşımlar için işlenik bileşim ailelerinin bir listesini oluşturmak amacıyla aşağıdaki dört haneli sistem kullanılır:

- 1xxx: Öncelikle elektrik ve kimya endüstrisinde kullanılan kontrollü alaşımsız (saf) bileşim,
- 2xxx: Özellikle magnezyum gibi diğer elementler de belirtilse de bakırın esas alaşım elementi olduğu alaşımlardır. 2xxx serisi alaşımlar, yüksek mukavemetlerinin (455 MPa veya 66 ksi kadar yüksek dayanım mukavemetleri) değer verildiği uçaklarda yaygın olarak kullanılmaktadır.
- 3xxx: mimari uygulamalar ve çeşitli ürünler için genel amaçlı alaşımlar olarak kullanılan manganezin ana alaşım elementi olduğu alaşımlar,
- 4xxx: Kaynak ubuklarında ve sert lehim sacında kullanılan ana alaşım elementi silisyum olan alaşımlar,
- 5xxx: Tekne gövdelerinde, iskele tahtalarında ve denizle temas eden diğer ürünlerde kullanılan magnezyumun ana alaşım elementi olduğu alaşımlar,
- 6xxx: Mimari çıkıntılar ve otomotiv bileşenleri için yaygın olarak kullanılan magnezyum ve silisyumun ana alaşım elementleri olduğu alaşımlar,
- 7xxx: Uçak yapısal bileşenleri ve diğer yüksek mukavemetli uygulamalarda kullanılan çinkonun temel alaşım elementi olduğu alaşımlar (bakır, magnezyum, krom ve zirkonyum gibi diğer elementler de bulunabilir). 7xxx serisi, ≥ 500 MPa (≥ 73 ksi) mukavemet dayanıklılığı olan en güçlü alüminyum alaşımlardır.

- 8xxx: Çeşitli bileşimleri karakterize eden alaşımlar. 8xxx serisi alaşımlar önemli miktarlarda kalay, lityum ve / veya demir içerebilir.
- 9xxx: Gelecekteki kullanım için rezerve edilir Isıl işlem uygulanabilir (çökelme-sertleştirilebilir) alüminyum alaşımlarını oluşturan dövme alaşımlar 2xxx, 6xxx, 7xxx ve bazı 8xxx alaşımlarını içerir [13].

2.1.1. Alüminyum- Bakır Alaşımları

Bakır neredeyse alüminyum endüstrisinin başlangıcından bu yana en yaygın alaşım elementi olmuştur ve bakırın önemli bir içerik olduğu çeşitli alaşımlar geliştirilmiştir. Bu alaşımların çoğu aşağıdaki gruplardan birine dâhildir:

- Çoğunlukla düşük miktarda silikon ve magnezyum ile, % 5 Cu içeren döküm alaşımlar.
- Çoğunlukla büyük miktarlarda demir, silikon ve önemli miktarda manganez, krom, çinko, kalay vb. içeren % 7-8 bakıra sahip döküm alaşımları
- %10-14 Cu içeren döküm alaşımları. Bu alaşımlar az miktarda magnezyum (% 0.10-0.30 Mg), % 1.5'e kadar demir, % 5'e kadar Si ve az miktarda nikel, manganez, krom içerebilir.
- % 5-6 Cu ve çoğunlukla az miktarda manganez, silisyum, kadmiyum, bizmut, kalay, lityum, vanadyum ve zirkonyum içeren dövme alaşımlar. Kurşun, bizmut ve kadmiyum içeren bu tür alaşımlar üstün işlenebilirlik özelliklerine sahiptir.
- Temel bileşimi% 4-4.5 Cu, % 0.5-1.5 Mg, % 0.5-1.0 Mn olan bazen silisyum katkıları içeren alaşımlar.
- İki gruba ayrılabilir nikel içeren bakır alaşımları: Temel bileşimi % 4 Cu, % 2 Ni, % 1.5 Mg olan Y alaşımı türü ve genellikle daha düşük bakır içeriğine sahip olan ve demirin 30 milyon nikelin yerini aldığı alaşımlar [14].

3. HİBRİT KOMPOZİTLER

“Hibrit” ve "hibrit malzeme" terimleri, farklı malzemelerle karıştırılan malzemeleri ifade etmek için kullanılmış olmakla birlikte, farklı materyallerden oluşan malzemeler geleneksel olarak "kompozitler" olarak adlandırılır. Birçok durumda, "hibrid" sözcüğü kullanıldığında, terim tanımlanmamıştı ve hibrid materyaller ile kompozitler arasındaki fark da açıklığa kavuşturulmamıştır.

Hibrit malzemeler, Yamamoto ve ark. [15] tarafından inorganik/organik hibritlerdeki polimer ve silanol moleküler arasındaki kovalent bağ gibi her malzeme arasında oluşan yeni elektron orbitalleri tarafından yaratılan yeni özelliklere sahip iki veya daha fazla malzemenin karışımları olarak tanımlanmıştır. Makishima, maddeleri metaller, organik materyaller ve polimerler ve seramikler olarak kimyasal bağ modlarına göre üç materyale ayırdı. Ayrıca hibrid materyalleriyeni oluşan kimyasal bağlara sahip iki veya daha fazla materyalinkarışımı olarak tanımladı [16]. Hibrid materyallerin sınıflandırılması ve ilgili materyalleri aşağıdaki gibidir:

- Kompozitler: Matriks ve mikron düzeyde dağılımdan oluşan malzemelerin karışımı;
- Nanokompozitler: Benzer materyallerin alt-mikron seviyesinde karışımı;
- Hibridler: Farklı türde malzemelerin alt-mikron seviyesinde karışımı;
- Nanohibridler: Farklı materyalleri arasında kimyasal bağlara sahip farklı materyallerin atomik veya moleküler düzeyde karışımı.

Gómez-Romero ve Sanchez, hibrid malzemeleri organik-inorganik hibrid malzeme veya inorganik-biyomalzemeler olarak tanımlamıştır. Ayrıca hybrid malzemelerin karakteristik ölçeğinin 10^3 nm'den daha az olduğunu belirttiler. Hibrid materyallerin kesin bir tanımını yapmamışlardır ve yeni elektron orbitallerin veya kimyasal bağların oluşumundan bahsetmemişlerdir. Makisima sınıflandırmasında ve Gomez-Romero & Sanchez tanımında, malzeme karışımında boyut ve malzeme kategorisine odaklanmıştır. "Hibrid malzeme" tanımlamaları, atom veya nanometre düzeyinde bir malzeme karışımı gerektiriyordu. Japonya Malzeme Bilimi Derneği tarafından ileri

sürüldüğü gibi malzemelerin farklı ölçek seviyelerine göre sınıflandırılmasını göstermektedir [17].

Hibridizasyon amacı bakış açısı; Hibrid malzemeler üç kategoriye ayrılabilir: Yapısal olarak hibridleşmiş malzemeler, kimyasal bağda hibridleşmiş malzemeler ve işlevsel olarak hibridleşmiş malzemeler.

Bir Hibrid kompozit malzeme "melez" ve "kompozit" kombinasyonudur [18]. Bu materyal, iki veya daha fazla lif türü ile takviye edilmiş kompozitler veya lif takviyeli metallerin ve ince folyo metallerin oluşturduğu bir laminar kompozit gibi kompozit materyalin basit bir hibritlenmesidir. Hibrid kompozit materyallerdeki "hibrid" in anlamı metalografik ölçekte makroskopik yapıdaki melezleşmedir.

İşlevsel materyallerle ilgili bazı durumlarda "hibrid materyaller" terimi daha iyi olabilir. Çünkü karbon / karbon kompozitleri ve metalik matris kompozitler gibi yapısal kompozitler çok popüler olmuştur.

Hibrid materyallerin özellikleri, bileşen materyalinin özelliklerinin kombinasyonundan, örneğin karışımın kuralından anlaşılabilir. Makroskopik yapının hibritlenmesimateryallerin kombinasyonu veya karışımının amacı olduğu için bu materyaller "yapısal olarak hibridleşmişmateryaller" olarak adlandırılmalıdır. Bir mikrometreden daha az bir karakteristik ölçekte olan nanokompozitlerin, makroskopik kompozitlere kıyasla mükemmel özellikleri vardır. İnce mikroyapıları veya tane sınır etkileri nanokompozitlerin mükemmel özelliklerinden sorumludur. Nanokompozitlerin nanometre ölçekli bir karıştırma yapısına sahip olması amaçlanmıştır. Bu nedenle, nanokompozitler yapısal olarak hibridize edilmiş malzemelerdir. Ancak, bazı nanokompozitlerin, bileşen materyalleri arasındaki arayüzdeki belirli kimyasal bağlara dayanan mükemmel özellikleri vardır. Bu durumda, karışımın amacı, bileşik yapının oluşturulması değil, bunun yerine yeni kimyasal bağlar oluşturulmasıdır.

Hibrid kompoziti oluşturan bileşenlerin seçimi, hibridizasyonun amacı, malzemeye uygulanan gereklilikler veya tasarlanan yapı ile belirlenir. Hibrit kompozitler

tasarlarken ve üretirken uyumlu lif türünün seçilmesi ve özelliklerinin seviyesi problem birinci derecede önemlidir. Hibrid kompozitlerin başarılı bir şekilde kullanılması, fiber / matris sisteminin kimyasal, mekanik ve fiziksel kararlılığı ile belirlenir.

3.1. Hibrit Kompozitlerin Görünümü

- (1) İki ya da daha fazla lif bileşeninin düzenli ya da rastgele biçimde karıştırıldığı katmanlar arası veya zincir şeklindedir.
- (2) Sandviç hibridler, aynı zamanda bir materyalin diğer iki katman arasında sandviçlendiği çekirdek kabuğu olarak da bilinir;
- (3) Tabakalı hibrit kompozitler
- (4) Bileşen liflerin malzemede herhangi aşırı konsantrasyondaki lif türünün bulunmaması için mümkün olduğunca rastgele karışılmaya bırakıldığı hassas karıştırılmış hibridler;
- (5) Bağlar, pultrüzyon teller, ince lif peçeleri veya bunların kombinasyonlarıyla takviye edilenler gibi diğer türler.

Geliştirilmiş materyal veya yapısal performans için hibrid sistemler kavramı, mühendislik tasarımında iyi bilinmektedir [19].

4. TOZ METALURJİSİ (TM)

Toz metalürjisi, ince toz malzemelerin harmanlandığı, istenen şekle preslendiği ve daha sonra bağ yüzeylerine kadar ısıtıldığı, yüksek hassasiyette fazla miktarda küçük, karışık parçaların gerekli olduğu durumlarda kullanılan sürece verilen addır.

Otomotiv endüstrisinde, ev aletlerinde ve rekreasyon ekipmanlarındaki (birkaç tane isim vermek gerekirse) parçalar için az miktarda malzeme atığı ve olağandışı karışımlar kullanılabilir.

Metalik tozlar üretilip, sınıflandırıldıktan sonra klasik TM proses dizisi üç ana aşamadan oluşur: (1) tozların karıştırılması, (2) sıkıştırma ve (3) sinterleme ve bir takım opsiyonel ve son ikincil operasyonlar.

4.1. Toz Üretimi

Toz üretim yöntemi üretilen tozun miktarı, boyutu, saflığı, şekli, maliyeti gibi diğer özelliklerini belirler. Toz üretiminin avantajı tozun şeklinin ve boyutunun önceden tahmin edilmesidir. Hemen hemen her madde toz haline getirilebilir ancak istenilen malzemeyi toz haline getirmek için seçilen üretim yöntemi, maliyet, tepkimeler ve seçilen özellikleri belirler. Toz üretiminde kullanılan yöntemler içinde: mekanik yöntemler, elektrolizle üretim, kimyasal üretim, atomizasyon teknikleri, buharlaştırma yöntemleri vardır.

4.1.1. Mekanik Yöntemlerle Üretim

Mekanik yöntemler olsun diğer üretim yöntemleri olsun temel olarak enerji kullanmak suretiyle yeni yüzey alanları oluşturmaya dayanır. Mekanik üretim yöntemleri dört temel şekildedir. Darbe, istenilen malzemenin çok hızlı ve anlık bir şekilde çekiç veya benzeri ağır ekipmanlar yardımıyla küçük parçalara ayrılmasıdır. Aşındırarak öğütme, bir tambur içine aşındırıcılar (bilyeler, bu bilyeler malzemenin özelliğine göre değişmektedir) koyularak hammaddenin bilyelerle sürtünme kuvveti

ile ufak parçalara ayrılmasıdır. İşlem genel olarak gevrek malzemelerin toz üretiminde kullanılmaktadır. Sünük malzemeler için uygun değildir çünkü sünük malzemeler kırılarak toz haline gelmek yerine, şekil değiştirir ve topaklanır. Kesme (talaşlı imalat), tornalama, taşlama gibi temel talaşlı imalat işlemleriyle yapılan üretim yöntemidir. Düzensiz şekilli iri parçalar üretilmektedir. Her ne kadar küçük ölçekli toz üretimi için uygun olsa da toz üretimi için ilk tercih değildir. Çünkü işlem verimsiz ve yavaştır. Diş dolgusu için kullanılan amalgam dolgunun içeriğinde ki gümüş gibi tozlar bu yöntemle üretilmektedir. Basma, hemen hemen bütün malzemeler kırılma noktasına geldikleri zaman toz haline geçme eğilimi göstermektedir. Bu özellikten yararlanarak basma kuvveti ile istenilen malzemeler toz haline getirilmektedir. En sık kullanılan yöntemlerden biri de mekanik alaşımlama yöntemidir. Daha ince ve daha homojen bir mikro yapı elde etmek amacıyla katı halde ki tozların periyodik olarak kaynaklanmasını daha sonra bunların kırılarak toz haline geçirimi sağlanır.

4.1.2. Atomizasyon Teknikleri

Bu teknikte istenilen malzemeye sıvı forma geçirilir. Ergimiş sıvının damlacıklara parçalanma işlemine dayanır. Damlacıklar ise donarak parçacıklar elde edilir. En çok kullanılan gaz atomizasyonu ve sıvı atomizasyondur. Gaz atomizasyonunda, hava, azot, argon ve helyumun sıvı metal damlacıklarını parçalamasına dayanır. Tamamen asal gaz ortamında gerçekleşen gaz atomizasyonu sayesinde yüksek saflıkta tozlar elde edilebilmektedir. Parçacık şekli küreseldir. Sıvı ve su atomizasyonu, yağ ve su kullanılarak ergitilmiş bir sıvı demetini parçalayan yöntemdir. Malzemeye su ile tepkimeye gireceği için işlem sonunda temizlenme ihtiyacı duyulmaktadır.

4.2. Toz Karıştırma ve Harmanlama

Karıştırma: aynı kimyasal bileşim tozunun farklı boyutlarda karıştırılmasına karşın, karıştırma işlemi farklı madde tozlarını birleştirirken, bu işlemler eşsiz kompozitler üretir ve yaş ya da kuru yapılabilir.

Tozların büyük bir kısmı bitmiş üründe arzu edilen karakteristikleri elde etmek için diğer tozlar, bağlayıcılar ve yağlayıcılar ile karıştırılır. Sinterleme esnasında muntazam bir kimya ve yapı sağlamak için yeterli bir difüzyon oluşturulmalıdır.

4.3. Sıkıştırma

Karıştırılmış tozlar, istenilen şekle sokulmaları için yüksek basınç altında kalıplara preslenir. Sıkıştırma işleminden sonraki çalışma parçasına yeşil kompakt ya da sadece yeşil denir, yeşil kelime anlamı henüz tam olarak işlenmemiş demektir. Çoğu sıkıştırma mekanik presler ve sert aletlerle yapılır, hidrolik ve pnömatik presler de kullanılır. Tozlar sıvı gibi akamaz, eşit ve karşı kuvvet oluşturulana kadar sıkıştırılırlar; bu karşı kuvvet, parçacıklar ile kalıp yüzeyi arasındaki sürtünüme ve alt zımba direnci kombinasyonundan oluşturulur.

4.4. Sinterleme

Sinterleme toz metalürjisinde en önemli işlemlerden biridir. Sinterleme işlemi sırasında bağlanma, polimer yakma, boyut değişimi ve mikroyapının irileşmesi gibi önemli olayları içerir. Yüksek sıcaklıkta arzulanan katı hal difüzyon ve bağlanma oluşur. Soğutma süresi, ürünlerin sıcaklığını kontrollü bir atmosferde düşürür. Her aşamada oksijensiz koşullarda yapılmalıdır.

4.5. Sıcak-İzostatik Presleme

Sıcak izostatik presleme (HIP), malzeme özelliklerini geliştirmek için yüksek basınç kullanılan bir ısıtıl işlem yöntemidir. Bu basınç, genellikle argon elementinin tercih edildiği bir asal gaz tarafından uygulanır. Yüksek sıcaklık ve basınçta geçen süre, plastik deformasyona, sürünmeye ve difüzyona neden olur. Dâhili gözenekliliği ortadan kaldırmak için kritik uygulamalara yönelik döküm parçalar HIP işlemine tabi tutularak hataların giderilip mekanik özelliklerin iyileştirilmesi sağlanmış olur. HIP, iki veya daha fazla malzemenin bir arada katı veya toz formunda bağlanmasına veya kaplanmasına imkân verir. HIP, toz metalürjisinde de önemli bir araçtır. Katı durumdaki tozu tam yoğun parçalara dönüştürmekte kullanılır. Bu şekilde,

geleneksel eritme ya da presleme ve sinterleme üretim teknolojileriyle elde edilenden daha iyi fiziksel özellikler elde edilir. Toz, şekillendirilmiş sac metal içine hapsedilir ve net şekle çok yakın parçalar üretmek için HIP işlemine tabi tutulabilir.



5. ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİT (AMK) TAKVİYELERİ

5.1. Hegzagonal Bor Nitrür (hBN)

Boron nitrür (BN), grafit yapısına benzer altıgen allotrop, hBN ile birlikte çeşitli kristal formlarda bulunur. hBN'nin 2D kristal yapısı termodinamik (1000 ° C'ye kadar hava kararlı) ve kimyasal stabilite, mükemmel mekanik mukavemet, aynı zamanda katmanlı bir doğa ve yüksek elektrik yalıtımı gibi eşsiz özelliklere sahiptir aynı zamanda termal yüksek iletken doğası onu birçok teknolojik uygulama için uygun kılar. hBN levhalarının hidrofobik yapısı, ıslak olmayan yüzeylerin, su altındaki yapıların veya hatta filtreleme sistemlerinin yapılması için kullanılabilir. hBN'nin ticari ürünlerinde termal yağ, termal pedler, kaplamalar ve kozmetik gibi çeşitli termal yönetim malzemeleri bulunur. hBN, yağ emme kapasitesi ve IR radyasyon emilme özelliğinden dolayı kozmetikte yaygın olarak kullanılmaktadır [20].

5.2. Bor karbür (B₄C)

Boron karbür, B₄C, elmas ve boron nitrürünün yanında en zor bilinen üçüncü malzemedir. B₄C, borik asitten (H₃BO₃) veya boron anhidritten (B₂O₃) ve karbon içeren materyallerden yapılır.

Bu seramik, metalotermik işlem adı verilen bir yöntemle doğrudan bor ve karbon elementlerinden sentezlenebilir. Öte yandan, daha popüler bir süreç olan karbotermik indirgeme, ucuz başlangıç maddeleri olan borik asit (H₃BO₃) veya boron anhidriti (B₂O₃) kullanır. Bu işlemi kullanarak boron karbidi, karbon varlığında indirgeme veya karbon kullanarak üretilebilir.



Boron karbür mükemmel sertlik (2900-3100 kg/mm²), düşük yoğunluk (2.51 g/cm³) mükemmel mekanik, termal ve elektriksel özelliklere sahip önemli bir seramik malzemedir. Kullanım başına düşük maliyet, düşük yoğunluk, yüksek kimyasal inertlik bor karbürü mikro elektronik, nükleer, askeri, uzay ve tıbbi uygulamalar için cazip bir materyal haline getirir [21]. Tablo 5.1’de B₄C’ün genel özellikleri verilmiştir.

Tablo 5.1. Bor karbür (B₄C) ’ün genel özellikleri [22].

Özellikler			
Bileşimi	(B ₁₁ C)CBN	Basma dayanımı (MPa)	2750
Moleküler ağırlığı	55.26	Kristal yapı	Rombohedral
Renk	Siyah	Ergime sıcaklığı (°C)	2450
Yoğunluk (g/cm ³)	2.52	Isıl genleşme (1/°C)	5x10 ⁻⁶
Vickers Sertliği (GPa)	27.4-34.3	Elektrik iletkenliği (Ω ⁻¹ m ⁻¹)	140
Elastisite modülü (GPa)	290-450	Kafes parametreleri (nm)	a ⁰ =0.55991, c ⁰ =1.20740
Kayma modülü (GPa)	165-200	Birim hücre hacmi (nm ³)	3.27809
Bulk modülü (GPa)	190-250	Uzay grubu	R3m
Poisson oranı	0.18	Basma dayanımı (MPa)	2750

5.3. Grafit (Gr)

Grafit, karbonun doğal olarak oluşan bir formudur. Metamorfik ve magmatik kayalarda bulunan doğal element mineralidir. Grafit, bir aşırılık minarilidir. Son derece yumuşaktır, çok hafif basınç ile parçalanır ve çok düşük bir özgül ağırlığa sahiptir. Buna karşın, ısıya karşı aşırı derecede dirençlidir ve diğer herhangi bir materyalle temasta neredeyse etkisizdir. Bu aşırı özellikler, ona metalürji ve imalat alanında geniş bir kullanım yelpazesi sunar [23].

6. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Sıcak presle üretilen dairesel cBN/elmas katkılı testerelerinin aşınma özellikleri araştırılmıştır [24]. Elmas yerine cBN'nin kullanılabilirliğini belirlemek için cBN ve elmas taneleri bronz matriste ilave edilmiştir. Testerelerin imalatı 600-700 °C'lik bir sinterleme sıcaklığında 3 dakika sinterleme süresiyle gerçekleştirilmiştir. Testerelerin aşınma özelliklerini belirlemek için doğal taş kesilerek kesme testleri gerçekleştirildi. Sonuç olarak, cBN ile elmasın 12 konsantrasyonunda (30 konsantrasyonunun geri kalan kısmı elmas idi) matrise eklenebileceği ve bu konsantrasyon aşıldığında testerelerin daha fazla yıpranacağı sonucuna varılmıştır. Kesim işleminden sonra, testerelerin SEM analizi, cBN tanelerinde elmas tanelerine kıyasla daha fazla kırık ve aşınma olduğuna işaret etmiştir. Sonuçlar, cBN'nin daha yumuşak doğal taşları kesmek veya elmasla birlikte matrise eklemek için kullanıldığını göstermiştir.

Sıcak presleme yöntemi ile üretilen Cu-TiC kompozitlerinin çapraz kırılma dayanımı (TRS) üzerine sinterleme sıcaklığının etkisi araştırılmıştır [25]. % 10 wt.-TiC parçacıkları ile takviye edilmiş bakır matris kompozitleri sırasıyla 50 MPa basınç altında 600, 700 ve 800 ° C sıcaklıkta ve 4 dakika sinterleme süresiyle üretildi. Kompozitlerin TRS'leri üç nokta bükme testi kullanılarak belirlendi. SEM, kompozitlerin kırık yüzeylerini analiz etmek için kullanıldı. SEM sonuçları, sinterleme sıcaklığının artmasıyla kırık yüzeylerdeki gözeneklerin ve boşlukların azaldığını gösterdi. Cu-TiC kompozitlerinin nihai çapraz kırılma dayanımının artan sinterleme sıcaklığı ile arttığı bulunmuştur.

cBN içeriğinin ve sinterleme sıcaklığının sıcak preslemeyle üretilen cBN / elmas kesme takımlarının çapraz kırılma dayanımı (TRS) üzerindeki etkisi araştırılmıştır [26]. Farklı cBN içeriğine sahip segmentler, 35 MPa basınç altında 600, 650 ve 700 °C'de 3 dakika sinterleme süresi ile üretilmiştir. Segmentlerin TRS'leri üç nokta bükme testi kullanılarak belirlendi. Segmentlerin kırılma yüzeylerinin mikroyapı ve faz bileşimi tarayıcı elektron mikroskopisi (SEM), X-ışınları kırınımı (XRD) analizi ile belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, cBN'ye sahip segmentlerin TRS'sinin elmaslı segmentlerin TRS'sinden daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Grafit içeriğinin mekanik freeze ile sentezlenen Al / 2SiC / Gr hibrit nano-kompozitlerinin sertlik, kuru sürtünme aşınması, korozyon ve yenimli aşınması üzerindeki etkileri araştırılmıştır [27]. Artan Gr'nin nanokompozitlerin sertliğini azalttığını gösterdiler. Al / 2SiC / 2Gr hibrid nano-kompozit; Al / 2SiC ile karşılaştırıldığında daha yüksek aşınma direncine ve daha düşük sürtünme katsayısına sahiptir. Ancak, grafit hacim yüzdesi% 2'yi aştığında, kırılgan grafit parçacıklarının neden olduğu sertliğin ve tokluğun azalması nedeniyle nano kompozitlerin hem hacim aşınma kaybı hem de sürtünme katsayısı artmıştır. Aşınmış yüzeylerin (kuru aşınma) SEM mikrografileri, Al / 2SiC nano-kompozitte kaynaşmalı aşınmanın baskın mekanizma iken, Al / 2SiC / Gr hibrid nano kompozitlerinin çizilme aşınması sergilediğini ortaya koymuştur. Gr parçacıkları ile korozyon hızında gözlenen artış, eklenen iletken grafit parçacıklarının mikro-katotlar gibi davranarak galvanik etkiyi teşvik etmesi ve böylece korozyon hızını arttırmasıyla ilişkilendirildi. Al / 2SiC / Gr hibrid nano-kompozitlerinin hem yüksek açılı katı parçacık erozyonu hem de yenimli aşınması, grafit içeriği ile birlikte, materyalin tokluk ve sertliğinin düşürülmesine katkıda bulunan, kırılgan faz (Gr) miktarının artması nedeniyle artmıştır.

Döküm yöntemiyle üretilen Al-6082-5 wt% SiC-5 wt% Gr (Al-SiC-Gr) hibrit kompozitlerin aşınma direnci üzerine aşınma kuvvetinin etkisi incelenmiştir [28]. Bulunan sonuçlar Al-% 10 SiC kompozitleri ile karşılaştırılmıştır. Testler 75 m kayma mesafesinde ve 100 μm ve 200 μm SiC aşındırıcı tanecik büyüklüğünde disk üzerinde aşınma ekipmanı üzerinde gerçekleştirildi. Aşınma direncinin, hem döküm hem de T6 koşullarında uygulanan basıncın artmasıyla azaldığı kaydedildi. Aşınma direncindeki gelişme, alt kırma büyüklüğü ve uygulanan basınç durumunda, 1.63 (alaşım) ile 3.29 m/mm^3 (Al-SiC-Gr) olmuştur. Ancak, aşınma direncinin marjinal gelişimi, daha yüksek kırma büyüklüğü ve uygulanan basınçlarda 0.67 (alaşım) ile 1.05 m/mm^3 (Al-SiC-Gr) arasında gözlenmiştir. Rölatif aşınma dayanım çizimleri, SiC takviyeli kompozitlerle karşılaştırıldığında hibrid kompozitlerin daha iyi aşınma direnci özelliklerine sahip olduğunu göstermektedir. Aşınma mekanizmalarının, iğnelerin aşınma yüzeylerinin, zımpara kağıtların ve döküntünün değerlendirilmesi de tarayıcı elektron mikroskopisi kullanılarak incelendi.

Döküm yöntemi ile üretilen Al6061 matrisli SiC / Al₂O₃ takviyeli hibrit kompozitlerin kuru kaygan metal-metal aşınma davranışı araştırılmıştır [29]. Alüminyum oksit ve silisyum karbür oranları hacimce % 5 ile % 25 arasında değişmiştir. Bu hibrit kompozitin ve takviyesiz alaşımın metal-metal aşınma davranışı disk üzerinde aşındırma test makinesi ile araştırılmıştır. Hibrit kompozitin mikro yapı araştırması için kullanılan optik mikroyaflar, silisyum karbür ve alüminyum oksit parçacıkları takviyesinin matris materyalinde düzenli olarak dağılmış olduğunu göstermektedir. Aşınma bölgesinin yüzeyleri, hibrit kompozit malzemelerin aşınma yüzeyinin normal olarak takviyesiz alaşımdan daha pürüzlü olduğu gösterilen SEM (Taramalı Elektron Mikroyafları) ile analiz edilmiştir.

AA6061-B₄C-MoS₂ hibrit kompozitlerinin mekanik ve tribolojik özelliklerini değerlendirilmiştir [30]. Bu hibrit kompozitler kaynağında verimli malzemeler haline getirilmek için kendinden yağlamalı özelliklerle imal edildi. % 2.5, 5 ve 7.5 ağırlık, MoS₂ parçacıklarının % bileşimiyle takviye edilmiş AA6061-10 wt. % B₄C-MoS₂ hibrit kompozitleri, karıştırma döküm tekniği kullanılarak üretildi. Hibrit kompozitlerin mikroyapısal karakterizasyonu takviye maddesi (B₄C ve MoS₂) partiküllerin matris materyalinde dağılımını ortaya koymuştur. Hibrit kompozitlerin sertlik ve kırılma tokluğu, MoS₂ parçacıklarının eklenmesindeki bir artış ile monoton bir şekilde azalmıştır. Atmosferik koşullar altında bir disk üstü tribotester kullanılarak yapılan kuru sürmeli tribolojik çalışmalar, tribolojik özellikleri önemli ölçüde etkileyen aşınmış pin yüzeyinde MoS₂ ile yağlanmış tribolayer oluşumu ortaya çıkarmıştır. MoS₂ parçacıklarının eklenmesi, hibrit kompozitlerinin sürtünme katsayısını ve aşınma hızını azalttı. Delaminasyon ve aşınma, kontrollü yıpranma mekanizmaları ve levha şeklindeki döküntü formundaki malzeme olarak gözlemlenmiş ve akış tipi çip parçacıkları oluşmuş ve hibrit kompozitin yıpranmış iğne yüzeyinde uzun ve sık bir krater gözlemlenmiştir.

Elmas ve kübik boron nitrür (cBN) kesme segmentleri, doğal taş kesiminde kullanılacak olan bu çalışma için sıcak presleme tekniği kullanılarak üretilmiştir [31]. % 0, % 20, % 40, % 60, % 80 ve % 100 (ağırlık yüzdesine göre) oranında seçilen matriste cBN taneleri bronz tozuna eklendi. Segmentler, 35 MPa'lık bir basınç altında, 600 °C'lik bir sinterleme sıcaklığında, 3 dakikalık bir sinterleme süresinde

üretildi. Üretilen segmentlerin kesim özellikleri Ankara andezit kesilerek belirlenmiştir. Her bir segment türünün mikro yapısını, faz bileşiklerini ve aşınma yüzeylerini analiz etmek için bir Tarayıcı Elektron Mikroskopu (SEM) ve bir X-ışınlar kırınım ölçeri (XRD) kullanılmıştır.

Alümina, pirinç kabuğu külü (RHA) ve grafitle takviye edilmiş Alüminyum matris hibrid kompozitlerin mikroyapısal özellikleri, mekanik ve aşınma davranışları araştırılmıştır [32]. İki aşamalı karıştırma dökümü kullanılarak ağırlıkça % 10 oranında hibrit takviyeli Al-Mg-Si alaşım esaslı kompozitler hazırlamak için çeşitli ağırlık oranlarına sahip alümina, RHA ve grafit kullanılmıştır. Üretilen kompozitleri karakterize etmek için sertlik, gerilme özellikleri, tarayıcı elektron mikroskopisi ve aşınma testleri kullanılmıştır. Sonuçlar, kompozitlerde RHA ve grafit ağırlık oranının artmasıyla sertliğin azaldığını ve RHA içeriği % 50'den fazla olduğunda, grafitin sertlik üzerindeki etkisi daha az önemli olduğunu göstermiştir. % 0.5 wt grafit ve % 50'ye kadar RHA içeren kompozitler için çekme mukavemetinin grafitsiz kompozitlerinkinden daha yüksek olduğu gözlenmiştir. % 0,5 wt grafit içeren kompozitlerin tokluk değerleri, her durumda, grafitsiz kompozitlerinkinden daha yüksekti. Üretilen tüm kompozitlerin uzama oranı % 10-13 aralığındaydı ve değerler RHA ve grafit içeriğine sabitti. Üretilen bütün kompozitlerdeki gerilme kırılımı yüzey morfolojisi. Grafit içermeyen kompozitler, grafit içeren kompozitlere kıyasla daha fazla aşınma duyarlılığı sergilemektedir. Ancak, aşınma direnci, grafit içeriğindeki artışla birlikte ağırlıkça % 0.5-1.5 arasında azalmıştır.

% 2, 4, 6 ve 8 ağırlıklı pirinç kabuğu külü (RHA) ve eşit oranlarda SiC partiküllerinin çeşitli oranlarda takviyeli alüminyum hibrit kompozitlerin imalatı için çift karıştırma döküm yöntemi kullanılmıştır [33]. Güçlendirilmemiş ve Al / x% RHA / x% SiC (x = 2, 4, 6 ve 8 %) takviyeli hibrit kompozitlerin sertlik, yoğunluk, gözeneklilik ve mekanik davranış gibi özellikleri incelendi. Kompozitlerin mikroyapısal karakterizasyonunu incelemek için tarayıcı elektron mikroskopu (model JSM-6610LV) kullanıldı. Hibrid kompozitin sertlik ve gözenekliliğinin artan takviye hacmi fraksiyonu ile arttığı ve yoğunluğunun partikül içeriğinin artmasıyla azaldığı gözlenmiştir. Son çekme dayanımı (UTS) ve akma dayanımı, takviye parçacıklarının yüzde ağırlık kesimindeki artış ile arttığı, buna karşılık takviye artışı

ile uzamanın azaldığı da gözlemlendi. Hibrid kompozitlerin mukavemetindeki artış muhtemelen dislokasyon yoğunluğundaki artışa bağlıydı. Temel alaşım ve kompozitler üzerine yapılan sistematik bir çalışma Brinell sertlik ölçümü kullanılarak yapıldı ve ilgili yaşlandırma sertleşmesi eğrileri elde edildi. Temel alüminyum alaşımına kıyasla kompozitlerin çökelme kinetiğinin takviye eklenmesiyle hızlandırıldığı görülmüştür. Bu, yaşlandırma ısı işlemiyle maksimum sertliğin elde edilmesi için süreyi etkili bir şekilde düşürmüştür.

Pirinç kabuğu külü (RHA) ve silisyum karbür (SiC) partiküllerinin takviye olarak kullanılması ile geliştirilen Al-Mg-Si alaşım matrisli hibrit kompozitlerin korozyon ve aşınma davranışları araştırılmıştır [34]. Al Mg Si alaşımı matris olarak takviye edici fazın % 5, % 7.5 ve 10'unun hazırlanması için RHA ve SiC, ağırlıkça 0: 1, 1: 3, 1: 1, 3: 1 ve 1: 0 oranında karıştırılmıştır. Korozyon davranışını incelemek için açık devre korozyon potansiyeli (OCP) ve potensiyodinamik polarizasyon ölçümleri kullanılmış, kompozitlerin aşınma davranışlarını değerlendirmek için sürtünme katsayısı kullanılmıştır. Korozyon ve aşınma mekanizmaları taramalı elektron mikroskopisi yardımıyla oluşturulmuştur. Sonuçlar, %3.5 NaCl solüsyonundaki kompozitlerin korozyon davranışı üzerindeki RHA / SiC ağırlık oranı etkisinin, Al-Mg-Si bazlı kompozitlerin geliştirilmesinde kullanılan takviyenin farklı ağırlık yüzdesi (5, 7.5 ve 10 wt%) ile tutarlı olmadığını göstermiştir. Çoğu durumda, RHA ve SiC'nin hibrid takviyesinin kullanılması, bileşiklerin % 3.5 NaCl çözeltisinde korozyona karşı direnci artıracak kesindi. Al-Mg-Si matrisi / RHA / SiC parçacık arayüzleri etrafındaki daha anodik Al-Mg-Si alaşım matrisinin seçkili çözünümü, birincil korozyon mekanizması olarak tanımlandı. Sürtünme katsayısı ve dolayısıyla hibrid kompozitlerin aşınma direnci, sadece SiC ile takviye edilmiş Al-Mg-Si alaşım matrisi ile karşılaştırılabilirdi.

AA 6063-x wt. % Al_2O_3 -1 wt. % Gr (x = 0, 3, 6, 9 ve 12) hibrit kompozit malzemesini karıştırma döküm yöntemi ile imal edilmiştir ve Al_2O_3 takviyesinin matriksteki etkisi mikroyapı, sertlik, basınç dayanımı ve darbe dayanımı üzerindeki araştırılmış ve dökme ve sertleştirilmiş şartlarda rapor edilmiştir [35]. Optimum takviye yüzdesi de bulunmuş ve basınç dayanımı açısından mekanik davranışı

sertleştirilmiş ve dökme halde incelenmiştir. Ve bu çalışmanın sonuçlarını aşağıdaki gibi belirtmişlerdir:

- Taramalı elektron mikrografları, takviye maddesinin matris tane boyutu, takviye dağılımı ve matristeki takviye kümeleme / aglomerasyon üzerindeki etkisi ortaya çıkmıştır.
- Hibrit kompozitin sertliği, basınç dayanımı, darbe mukavemeti ve bükülme mukavemeti, dökme ve sertleştirilmiş halde% 6 alümineye kadar olan takviye yüzdesi arttıkça artar. Bu, takviyenin tek tip dağılımıyla ilişkilendirilmiştir ve daha fazla artışı, kümeleme / aglomerasyona bağlı olarak mekanik özellikleri azaltır.
- En yüksek sertlik, basınç dayanımı, darbe mukavemeti ve bükülme dayanımı AA 6063-6% Al_2O_3 -1 wt% Gr hibrit kompozit için elde edildi.

Alümina (Al_2O_3) ve pirinç kabuğu külü (RHA, bir tarımsal atık) ile takviye edilmiş Al-Mg-Si alaşım matris kompozitlerinin üretim özellikleri ve mekanik davranışları araştırılmıştır [36]. Amaç, düşük maliyetli, yüksek performanslı Al matris kompozitler geliştirmenin uygulanabilirliğini değerlendirmektir. 0, 2, 3 ve 4 ağırlık yüzdeli RHA ile ilave edilen Al_2O_3 parçacıkları, iki aşamalı karıştırma döküm yöntemi kullanılarak Al-Mg-Si alaşımı ile matris olarak takviye edici fazın% 10'unun hazırlanması için kullanıldı. Üretilen kompozitlerin karakterize etmek için yoğunluk ölçümü, tahmini gözeneklilik yüzdesi, çekme testi, mikro sertlik ölçümü, optik mikroskopi ve SEM incelemesi kullanıldı. Sonuçlar, daha az yoğun Al-Mg-Si / RHA / Al_2O_3 hibrit kompozitlerinin, gözeneklilik seviyelerinin tek Al_2O_3 takviyeli seviye kadar düşük (<% 2.3 gözeneklilik) olduğunu gösterdi. Hibrit kompozitlerin sertliği, Al-4 wt% RHA-6wt% Al_2O_3 bileşimi için gözlemlenen% 11'den az bir azami düşüşe sahip RHA içeriğindeki artış ile hafifçe azalmıştır (Al-% 10 Al_2O_3 tek takviye edilmiş bileşime kıyasla). % 8 ve % 13 çekme mukavemeti düşüşleri ve ağırlıkça% 3 ve % 4 RHA içeren hibrit kompozitlerde özgül mukavemetler sırasıyla% 3,56 ve% 7,7 azalmıştır. Bununla birlikte, ağırlıkça% 2 RHA içeren hibrit kompozitin özgül mukavemeti, uzama ve kırılma dayanıklılığı, üzerinde çalışılan tek Al_2O_3 takviyeli

ve diğer hibrid kompozit bileşimlerinden daha yüksekti. Bu nedenle RHA, düşük maliyetli, yüksek performanslı alüminyum hibrit kompozitlerinin geliştirilmesi için tamamlayıcı bir takviye olarak hizmet vereceğini vadetmiştir.

Karıştırma döküm yöntemiyle üretilen Al-SiC-Fly kül kompozitlerin, takviye oranının malzemenin mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır [37]. Bu çalışmadan, aşağıdaki noktalar elde edilmiştir:

- SEM mikrografları, homojen dispersiyona sahip bileşikte SiC ve FA parçacıklarının varlığı ortaya çıkmıştır.
- Al_4C_3 fazının oluşumundan, SiC preformlarında FA varlığıyla başarıyla kaçınılmıştır.
- Kompozitlerin mikro ve makro sertliği, SiC'nin ağırlık yüzdesi ve FA parçacıklarının sabit ağırlık yüzdesi eklenmesiyle bağlantılı olarak 69.53 HV'dan 78.8 HV'a ve 49.4 BHN'den 57.21 BHN'ye yükseltildi.
- Parçacıkların takviyesi, alüminyum matris ve kompozitlerin gerilme direncini 173 MPa'dan 213 MPa'ya kadar arttırmıştır.

AA6061 alüminyum alaşımının kuru aşınma davranışını geliştirmek için, silisyum karbür (25 μ m) ve alüminyum oksit (40 μ m) ince parçacıkları bu alaşıma takviye edilerek hibrit kompozitler üretilmiştir ve numunelerin özellikleri karşılaştırılmıştır [38]. AA6061 alüminyum alaşım hibrid metal matris kompozit (HMMCs)'in % 5-25 hacimdesilikon karbür ve alüminyum oksit parçacıklarının kırılımlarıyla takviyesi karıştırma döküm yöntemi ile üretilir ve bunları kullanarak numune hazırlanır. Bu hibrit metal matris kompozit numunesinin ve Al6061 takviye edilmemiş alaşımın kuru sürme davranışları, pin-on-disk Aşınma Test Makinesi kullanılarak 29.43N-49.05N (3-5 kgf) bir ağırlık aralığında 1.57m / s'lik sabit sürme hızında 1413m'lik sürme mesafesinde incelendi. Sonuç, metal matrisin silikon karbür ve alüminyum oksit partikülleriyle %25 hacim kırılmakadar takviyesinin ortam sıcaklığında aşınmayı azalttığını doğrulamaktadır. Takviyenin hacim fraksiyonunu artırır, aşınmayı μ m olarak azaltır. Sonuç ayrıca, test örneğinin μ m cinsinden aşınmasının yük artışı ve sürme mesafesi arttıkça arttığını göstermektedir.

Alüminyum kompozit malzeme (AMK) grubundan Alüminyum matrisli alüminyum oksit takviyeli kompozit malzeme fren disk malzemesi olarak düşünülmüş ve mikroyapı ve aşınma özellikleri detaylı olarak incelenmiştir [39]. AMK malzemelerin fren disk malzemesi olarak kullanılması ile ilgili uygulama çok azdır. Bu çalışmada kullanılan AMC'ler Al alaşımlarında % 30 hacim alumina parçacıkları içermektedir ve sıkıştırılmalı döküm ile geliştirilmişlerdir. Aşınma oranı, oda sıcaklığında kuru sürme koşulları altında disk üzeri aşındırma tipi aşınma test makinesi kullanılarak ölçüldü. Aşınma hızı 25, 50, 75 ve 100N'de ve sürme hızı 250, 500, 750 ve 1000 rpm'de ölçülmüştür. Hem AMC'lerin hem de fren diskinin katsayı sürtünmesi de ölçülmüştür. Her iki malzemenin mikroyapıları da her yüklemeden sonra incelendi. Sonuçlar, yük arttıkça aşınma oranının arttığını gösterdi. Sürtünme katsayısı, 50 N yüke kadar tutarlıydı ve sonrasında 75N ve 100N'de azaldı. Mikroyapı, çeşitli yükleme koşullarında AMC'lerin yapışkanlı, aşındırıcı ve yıpranmış aşınma tiplerinin bir kombinasyonunu deneyimlediğini gösterdi. Sürtünme katsayısı, AMC'lerin yüzeyi daha yüksek yükte pürüzlü hale geldiğinde azaldı. Bu, aşınma testinde AMC'lerin yüzeyinden alümin parçacıklarının çıkartılması nedeniyle değerlendirilmiş ve geri kalan alüminyum partikülsüz alüminyum alaşımı malzemeyi daha yumuşak hale getirmiştir.

Doğal malzemelerin yumuşak metal matrislere ilave edilmesiyle kompozitlerin üretimi son yıllarda giderek artmaktadır. Pirinç kabuğu külü (RHA), silikon karbür (SiC) ve grafit (Gr) parçacıklarıyla takviye edilmiş Zn-27Al esaslı hibrit kompozitlerin mikroyapı ve mekanik özellikleri araştırılmıştır [40]. Takviye materyalinin değişen ağırlık oranlarına sahip Zn-27Al kompozitleri, karıştırma döküm prosesi kullanılarak üretildi. Üretilen kompozitlerin karakterizasyonu için sertlik testi, çekme özellikleri değerlendirmesi, kırılma tokluğu tayini ve mikroyapı muayenesi kullanıldı. Sonuçlar, kompozitlerin mikroyapılarının, takviye edici partiküllerin ince dağılımı ile Zn-27Al alaşım matrisinin dendritik yapısından oluştuğunu göstermektedir. Kompozitlerin sertliği, takviyede RHA'nın ağırlık yüzdesindeki artışla (ve SiC ağırlık yüzdesinde buna karşılık gelen azalma) azaldı. Çekme mukavemeti ve akma dayanımı, hibrid takviyede % 40 RHA (SiC'de % 40'lık düşüşe tekaül eder) kadar gözlemlenen en çok % 8.5 ve % 9.6 düşüş ile kompozitlerdeki RHA ağırlık oranındaki artış ile hafifçe azaldı. RHA içeren

kompozit bileşimlerin bazıları, RHA'sız olanlara kıyasla biraz daha yüksek uzama değerlerine sahip olmakla birlikte, % uzamanın bileşik RHA iğeriğine sabit olduğu gözlemlendi. Kompozitlerin kırılma tokluğu, RHA'nın ağırlık yüzdesindeki artış ile birlikte artmakta ve hibrid takviyede % 40 RHA (SiC'nin% 40'ında azalmaya karşılık gelen) % 20 artış elde edilmektedir.



7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1. Kullanılan Malzemeler ve Kompozitlerin Üretimi

Bu tez çalışmasında hibrit kompozitlerin üretiminde, alüminyum (Al), bakır (Cu), grafit (Gr), bor karbür (B_4C) ve hegzagonal bor nitrür (hBN) tozları kullanılmıştır. Tozların saflık ve tane boyutları Tablo 7.1’de verilmiştir. Hibrit kompozitlerin üretimi için katkı oranları ve üretim parametreleri Tablo 7.2’de verilmiştir.

Tablo 7.1. Üretimde kullanılan tozların özellikleri

Özellikler	Tozlar				
	Al	Cu	B_4C	hBN	Gr
Tane boyutu (μm)	17-30	<45	<10	<50	<45
Saflık (%)	99	99.7	99	99	99

Tablo 7.2. Hibrit kompozitlerin takviye oranları ve üretim parametreleri

No	Bileşim (ort. %)				Sıcak Presleme Parametreleri		
	Al5Cu	hBN	B_4C	Gr	Sıcaklık ($^{\circ}C$)	Süre(Dak)	Basınç (MPa)
1	100	-	-	-	550	5	35
2	90	10	-	-	550	5	35
3	90	8	-	2	550	5	35
4	90	5	5	-	550	5	35
5	90	-	10	-	550	5	35
6	90	-	8	2	550	5	35
7	90	4	4	2	550	5	35

Hibrit kompozit üretiminde seçilen tozların matriste istenilen performansı verebilmesi için çok iyi karıştırılması ve matris içinde homojen dağılmalarını sağlamak gerekir. Bunun için üç eksenli dönme prensibiyle çalışan toz karıştırma mikserleri kullanılmıştır. Tozlar Tablo 7.2’deki oranlara göre hassas terazide tartılmıştır. Sonra tozlar plastik kovanoza konularak 30 dakika süre ile 20 d/d hızda karıştırılmıştır. Kompozit tozu karışımına dağılımın bozulmaması, matris tozların

grafit kalıplardan dökülmemesi ve kalıp toz arasındaki sürtünmeleri en aza indirmek için ağırlıkça % 1 oranında PEG (polietilen glikol) ilave edilmiştir. Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra karışımın hava ile temas edip oksitlenmemesi için karışım saklama tüplerine konularak muhafaza altına alınmıştır. Üç eksenli dönme prensibiyle çalışan mikserde karıştırılan toz karışımlar hidrolik soğuk presleme makinesinde preslenmiştir. Soğuk preslemenin amacı, sıcak presleme öncesinde grafit kalıplara toz karışımların kolay yerleştirilmesini sağlamak ve daha küçük hacimli kalıp kullanımını sağlamaktır. Daha sonra grafit kalıplar içerisine yerleştirilen kompozitler direkt dirençli ısıtma prensibi ile çalışan PLC kontrollü vakumlu bir sıcak pres makinesiyle (Zhengzhou Golden Highway, SMVB 80, China) 550 °C sinterleme sıcaklığında, 5 dakika bekleme süresinde ve 35 MPa basınçta 10 x 10 x 40 mm ebatlarında bulk haline dönüştürülmüştür.

7.2. Uygulanan Testler

- Üç nokta eğme testi
- Sertlik
- Yoğunluk ölçümü
- Metalografik çalışmalar
- Mikroyapı incelemeleri (Optik mikroskobu, SEM-EDS ve XRD)

7.2.1. Üç noktalı Eğme Testi

Kırılma tokluğunu belirlemek için yapılan üç noktalı eğme testi Şekil (7.1) 50 kN kapasiteli universal çekme cihazında ASTM B 528-83a standardına göre ve 0.1 mm/dk test hızında yapılmıştır. Üç noktalı eğme testi için 10 mm × 10 mm × 40 mm ölçülerindeki numuneler kullanılmıştır.

Eğilme mukavemetini belirlemek için;

$$P = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (3.1)$$

formülünden yararlanılmıştır. Burada;

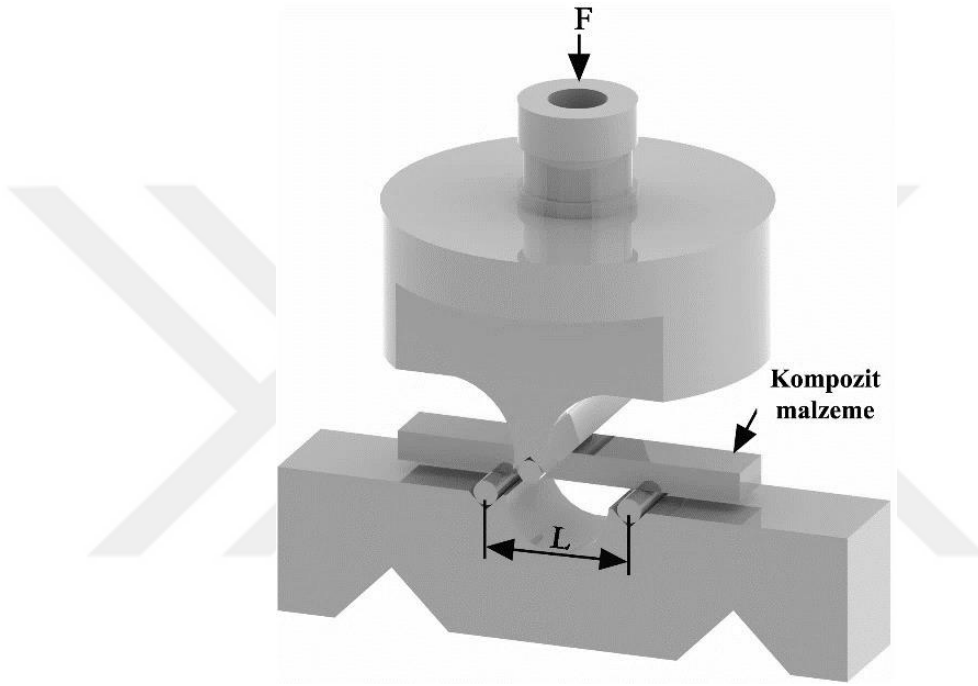
P = Eğme mukavemeti (MPa)

F = Kırılma anında numuneye uygulanan kuvvet (N)

L = Destek noktaları arasındaki mesafe (mm)

b = Numune genişliği (mm)

h = Numune yüksekliği (mm)



Şekil 7.1. Üç noktalı eğme testi düzeneği

7.2.2. Sertlik Testi

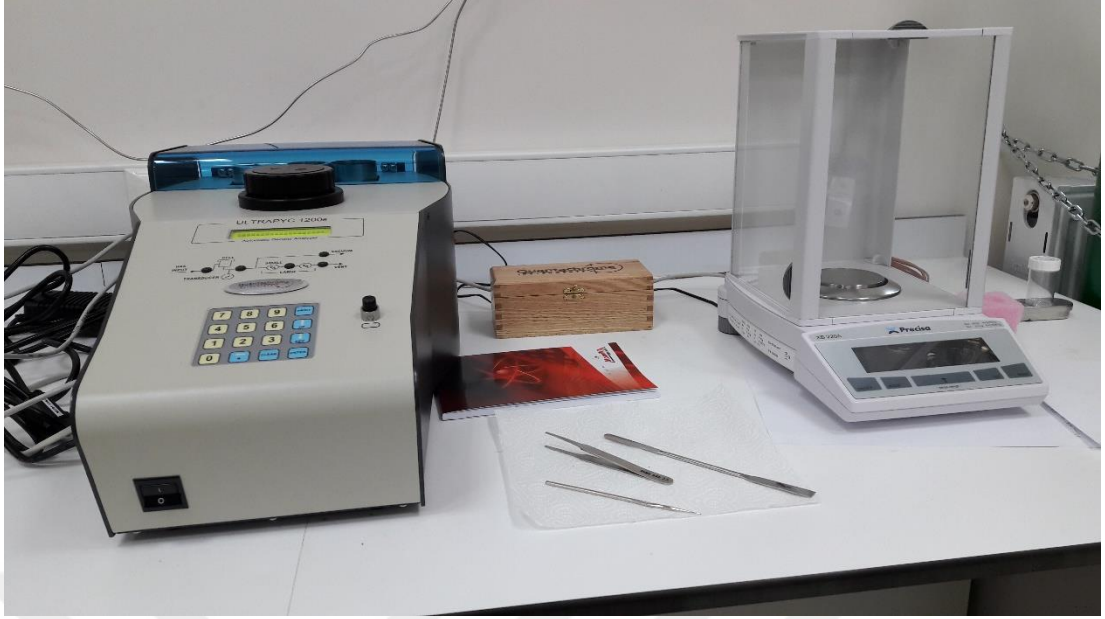
Sıcak presleme yoluyla elde edilen numunelerin sertliklerinin belirlenmesi amacıyla brinell sertlik ölçme cihazında 62.5 kg yük ve 2.5 mm çapında bilye ile numunelerin sertliği Brinell cinsinden ölçülmüştür (Fotoğraf 7.1). Sertliğin tam olarak belirlenmesi için numunelerin orta, uç, ara ve arka bölgelerinden sertlik değerleri ölçülmüş ve her bir numuneden toplam 6 adet sertlik değeri alınmıştır. Daha sonra en yüksek ve en düşük çıkarıldıktan sonra kalan sertliklerin ortalaması alınarak numunelerin ortalama sertlik değerleri bulunmuştur.



Fotoğraf 7.1. Sertlik ölçüm cihazı

7.2.3. Yoğunluk Ölçümleri

Hibrit kompozitlerin yoğunlukları QUANTACHROME marka ve ULTRAPYC 1200E model Helyum piknometrisi kullanılarak ölçülmüştür. Ölçümlerin doğruluğunun maksimum olması için taşan akışkan, en küçükleri dışındaki tüm gözeneklere girebilen bir tesirsiz gaz olmalıdır. Bu nedenle, ölçümler için küçük atomik boyutları 0.25 nm çapındaki girinti ve gözeneklere yaklaşan Helyum gazı kullanılmıştır. Helyum'un ideal gaz olarak davranışları da tercih nedenidir. Fotoğraf 7.2'de yoğunluk ölçümünde kullanılan Helyum piknometrisi görülmektedir.



Fotoğraf 7.2. Yoğunluk ölçümünde kullanılan helyum piknometresi

Elde edilen bu değerlerden sonra sinterleme sonucu elde edilen kompozitlerin ne oranda sinterlenebildiklerini anlayabilmek amacıyla aşağıdaki formüle göre numunelerin bağıl yoğunlukları hesaplanmıştır.

$$\rho_b = \frac{\rho}{\rho_k} \times 100 \quad (3.2)$$

Burada;

ρ_b = Bağıl yoğunluk (%)

ρ = Deneysel olarak ölçülmüş yoğunluk (gr/cm^3)

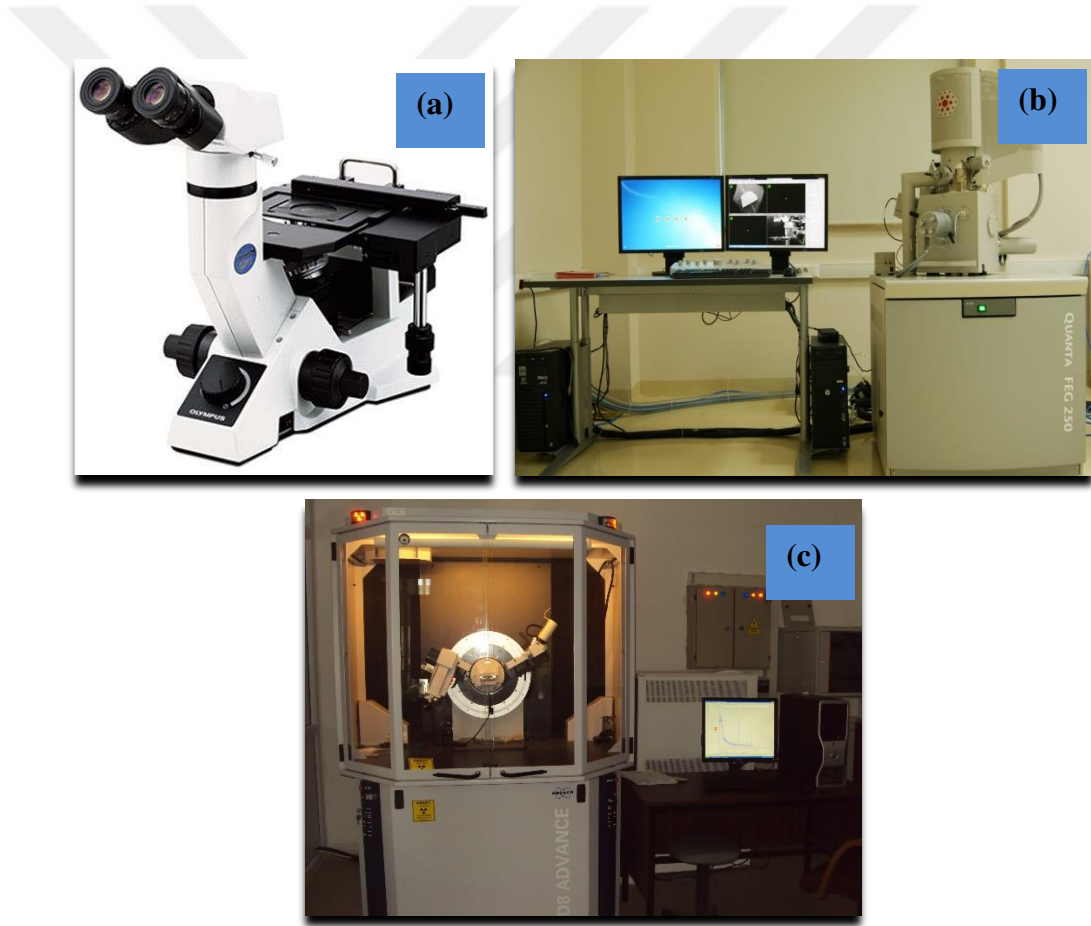
ρ_k = Toz karışım oranları esas alınarak hesaplanan teorik yoğunluğu (gr/cm^3).

7.2.4. Metalografik Çalışmalar

Alüminyum matrisli hibrit kompozit numuneler, kaba ve ince zımparalama kademelerinden geçirilerek zımparalanmıştır. Zımparalanan numuneler sırasıyla 3 ve 1 mikronluk elmas solüsyonlar kullanılarak parlatılmış ve Keller çözeltisi (190 ml saf su+5 ml nitrik asit+3 ml hidroklorik asit+2 ml hidroflorik asit) kullanılarak 10-30 sn sürede dağlanmıştır.

7.2.5. Mikroyapı İncelemeleri (Optik mikroskobu, SEM-EDS ve XRD)

Optik incelemeler için Olympus GX41 ters metal mikroskobu ve Stream görüntü analiz sistemi kullanılmıştır. Üç noktalı eğme testi uygulanan numunelerin kırık yüzey incelemesi için FEI QUANTA 250 FEG marka taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. SEM ile birlikte, mikroyapının kimyasal bileşiminin tespiti için EDS analizleri de yapılmıştır. Mikroyapıda oluşan fazları tespit etmek amacıyla X-ışını analizi yapılmıştır. X-ışını analizleri, Bruker D8 Advance marka cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı görüntüleme ve faz analizinde kullanılan cihazlar Fotoğraf 7.3’de görülmektedir.

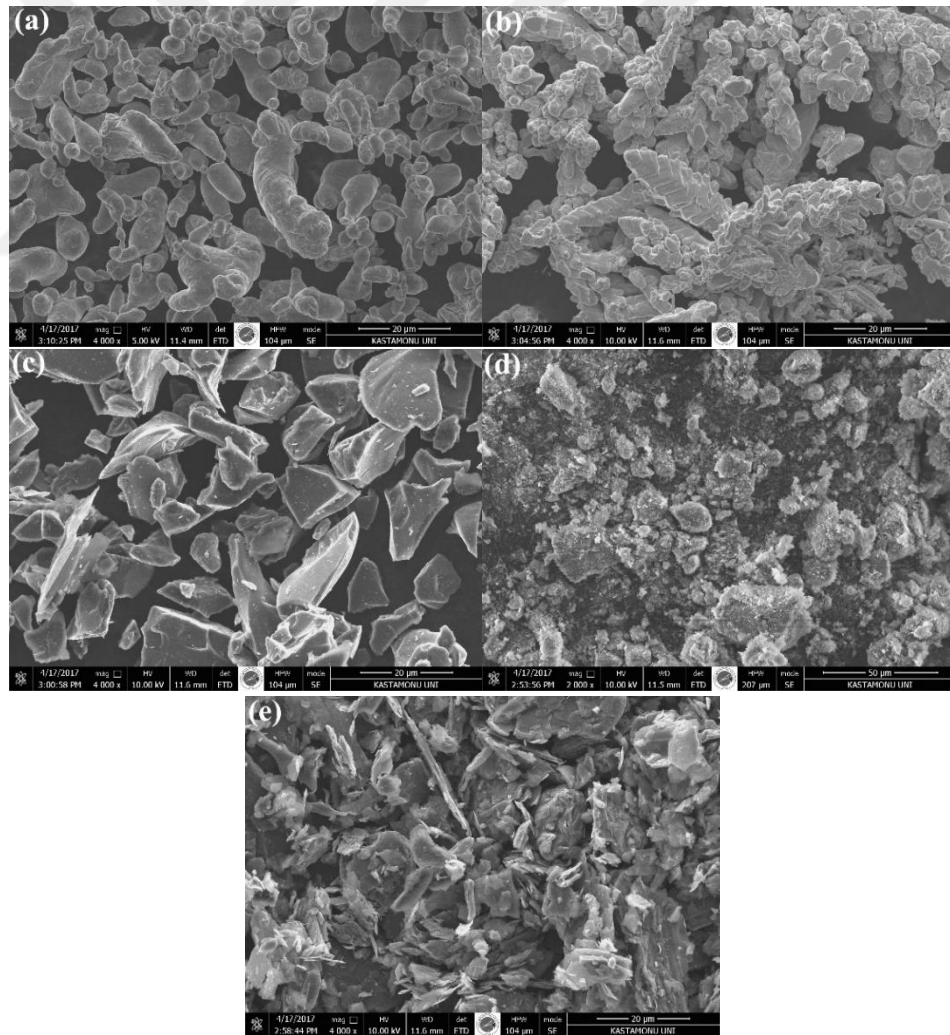


Fotoğraf 7.3. Görüntülemeye ve faz analizi tespitinde kullanılan cihazlar, (a) Optik mikroskobu, (b) SEM ve (c) XRD

8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

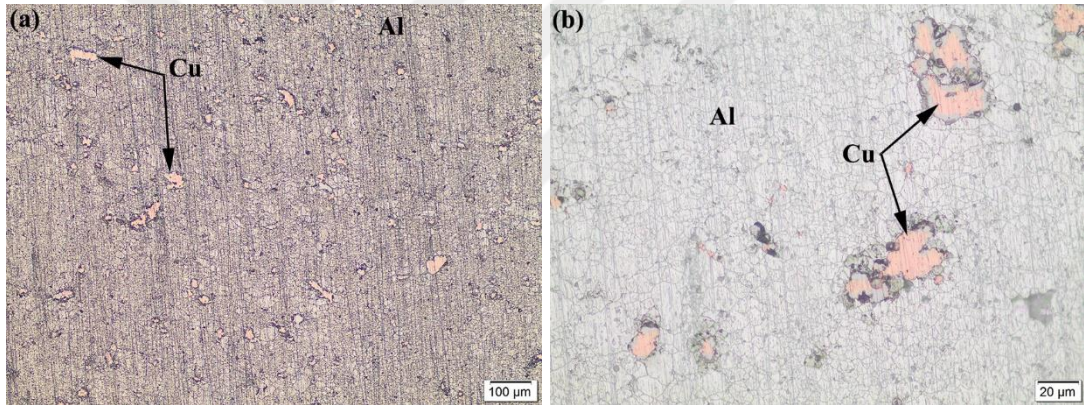
8.1. Mikroyapı Sonuçları

Alüminyum matrisli hibrit kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan tozları SEM görüntüleri Fotoğraf 8.1’de görülmektedir. Alüminyum tozları küresel ve solucan görünümlü bir morfolojiye sahiptir. Bakır tozları dendritik ve yaprak şekilli bir forma sahiptir. Bor karbür ve hegzagonal bor nitrür tozu keskin köşekli bir morfolojiye sahipken, grafit ise pul görünümlü bir morfolojiye sahiptir. Bor kabür, hegzagonal bor nitrüre göre daha keskin kenarlıdır. Grafit ve hegzagonal bor nitrür ile yağlayıcılık özelliği, bor karbür ile de dayanım arttırılmaya çalışılmıştır.



Fotoğraf 8.1. Tozların SEM fotoğrafları: (a) Al, (b) Cu, (c) B₄C, (d) hBN ve (e) Gr

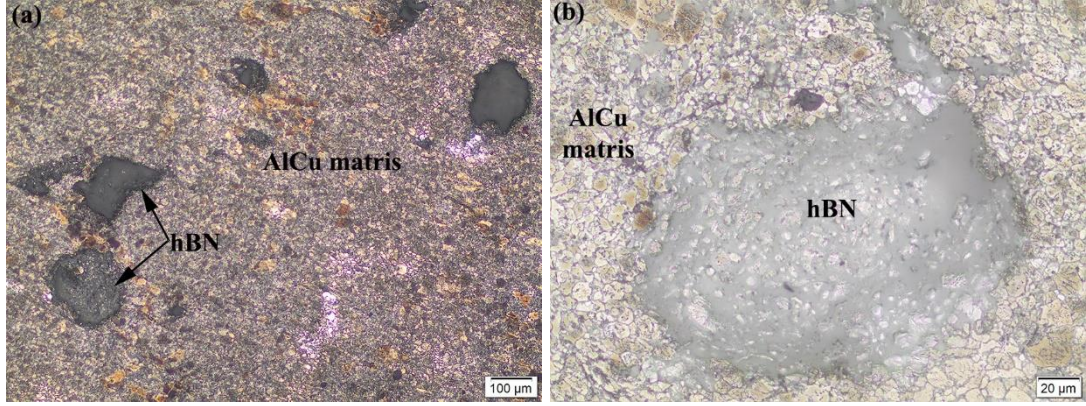
Fotoğraf 8.2’de AlCu matrisinin optik fotoğrafları görülmektedir. Ağırlıkça % 5 olarak ilave edilen Cu, Al içerisinde homojen olarak dağılmıştır. Toz metalurjisi ile üretilen numunelerde olduğu gibi bu numunelerde de gözenek oluşumu meydana gelmiştir. Bakır ve alüminyum sünek malzeme olduğu için bakır taneleri alüminyum içinde gömülü değil, daha çok alüminyum tanelerinin temas noktalarında konumlanmıştır. Al/Cu arasında bir arayüzey tabakası oluşmuştur. Burada Al-Cu yeralan katı çözeltisi şeklinde oluşmaktadır. Al atomlarına Cu atomları katı hal difüzyonu ile hareket ederek Al atomları yerlerine yerleşmektedirler. Her zaman bu düzen sağlanmaz. Bunun yerine kimyasal formüllerle sembolize edilen ara bileşikler oluşur. Burada ara bileşik olarak Al_2Cu fazının oluşması yüksektir. Arayüzey tabakanın $\alpha+Al_2Cu$ ötektik yapısında olması muhtemeldir.



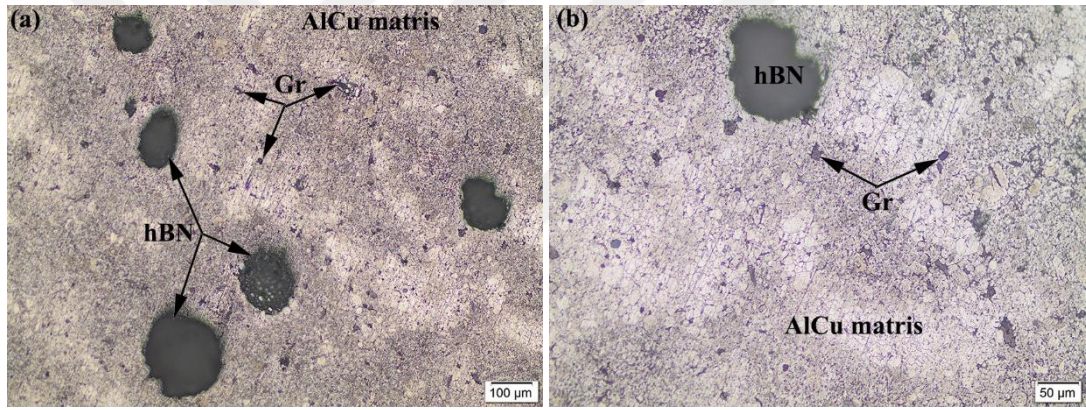
Fotoğraf 8.2. AlCu matrisin optik fotoğrafları: (a) 100X ve (b) 500X

Al matrisli hibrit kompozit malzemelerin optik fotoğrafları Fotoğraf 8.3-8.8’de verilmiştir. Fotoğraflardan Al matrisinde Cu, B_4C , hBN ve Gr’in neredeyse homojen olarak dağıldığı görülmektedir. Takviye partiküllerin matris içerisinde heterojen dağılımı malzemelerin mekanik özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Takviye partikülleri matrisin yüzeyinde ve/veya matrise gömülü bir halde konumlanmışlardır. Numunelerin tamamında az da olsa gözenek oluşumu meydana gelmiştir. Büyük boyutlu hBN tanelerinin dağılımında herhangi bir aglomerasyon olmamış, fakat Gr

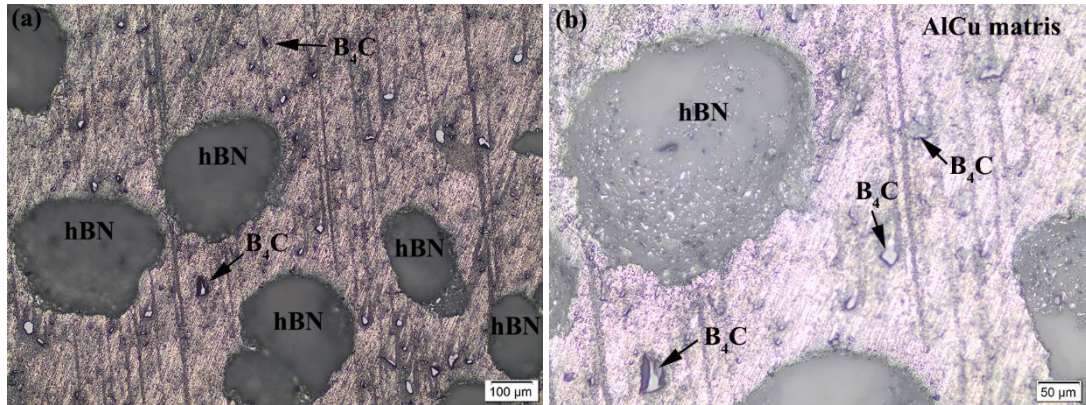
ve B_4C tanelerinin çok küçük olan boyuttakileri aglomera olmuştur. Tüm takviye partikülleri matris tarafından sıkıca tutulmuştur.



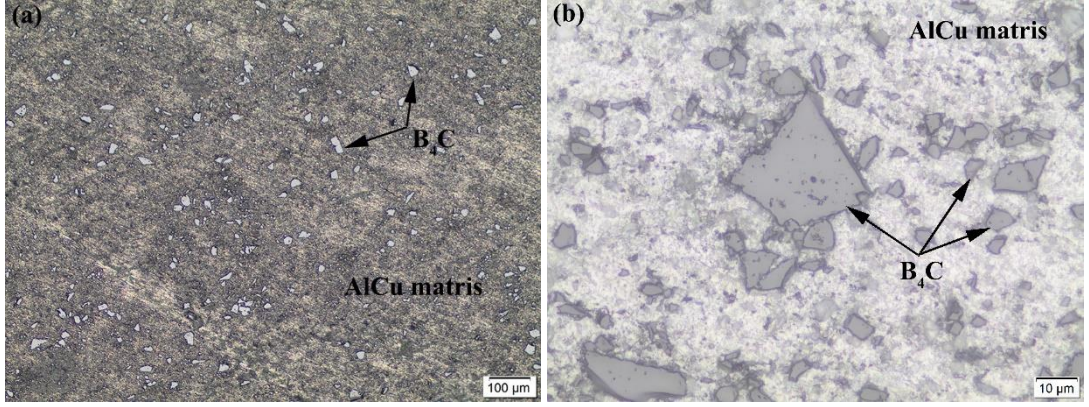
Fotoğraf 8.3. AlCu-10hBN kompozitin optik fotoğrafları: (a) 100X ve (b) 500X



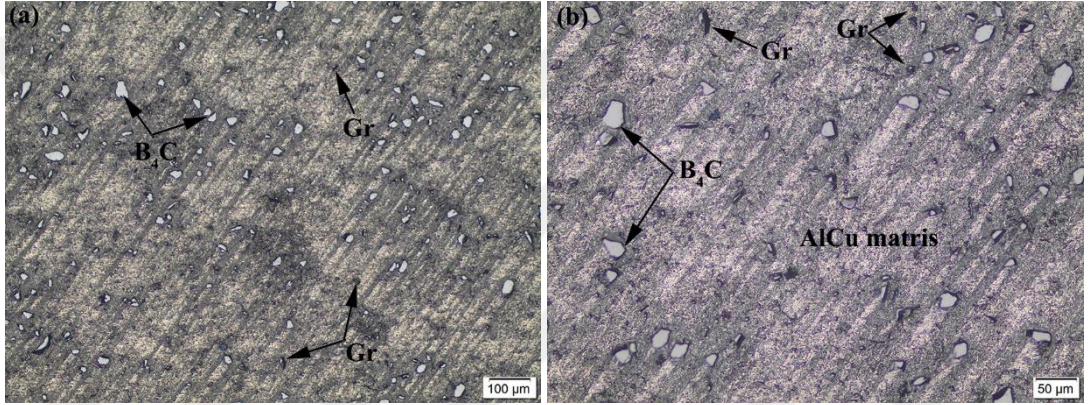
Fotoğraf 8.4. AlCu-8hBN-2Gr kompozitin optik fotoğrafları: (a) 100X ve (b) 200X



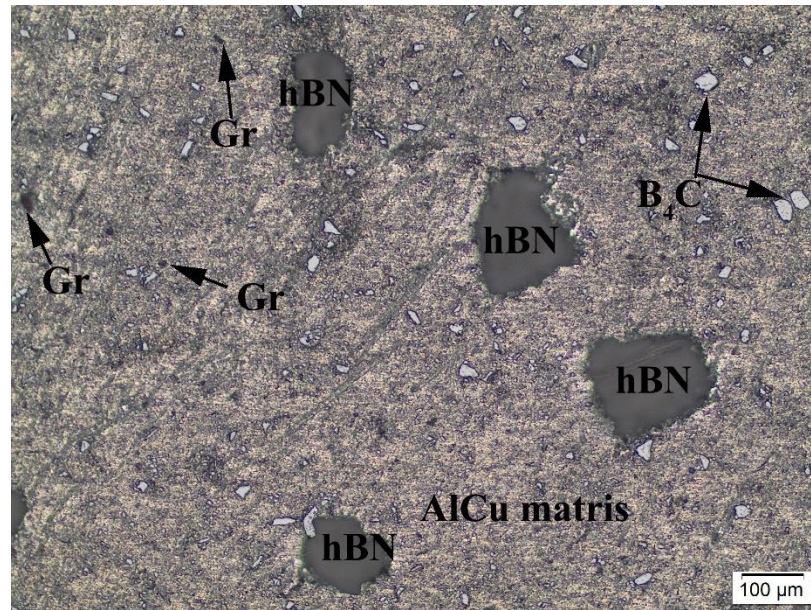
Fotoğraf 8.5. AlCu-5hBN-5 B_4C kompozitin optik fotoğrafları: (a) 100X ve (b) 200X



Fotoğraf 8.6. AlCu-10B₄C kompozitin optik fotoğrafları: (a) 100X ve (b) 1000X



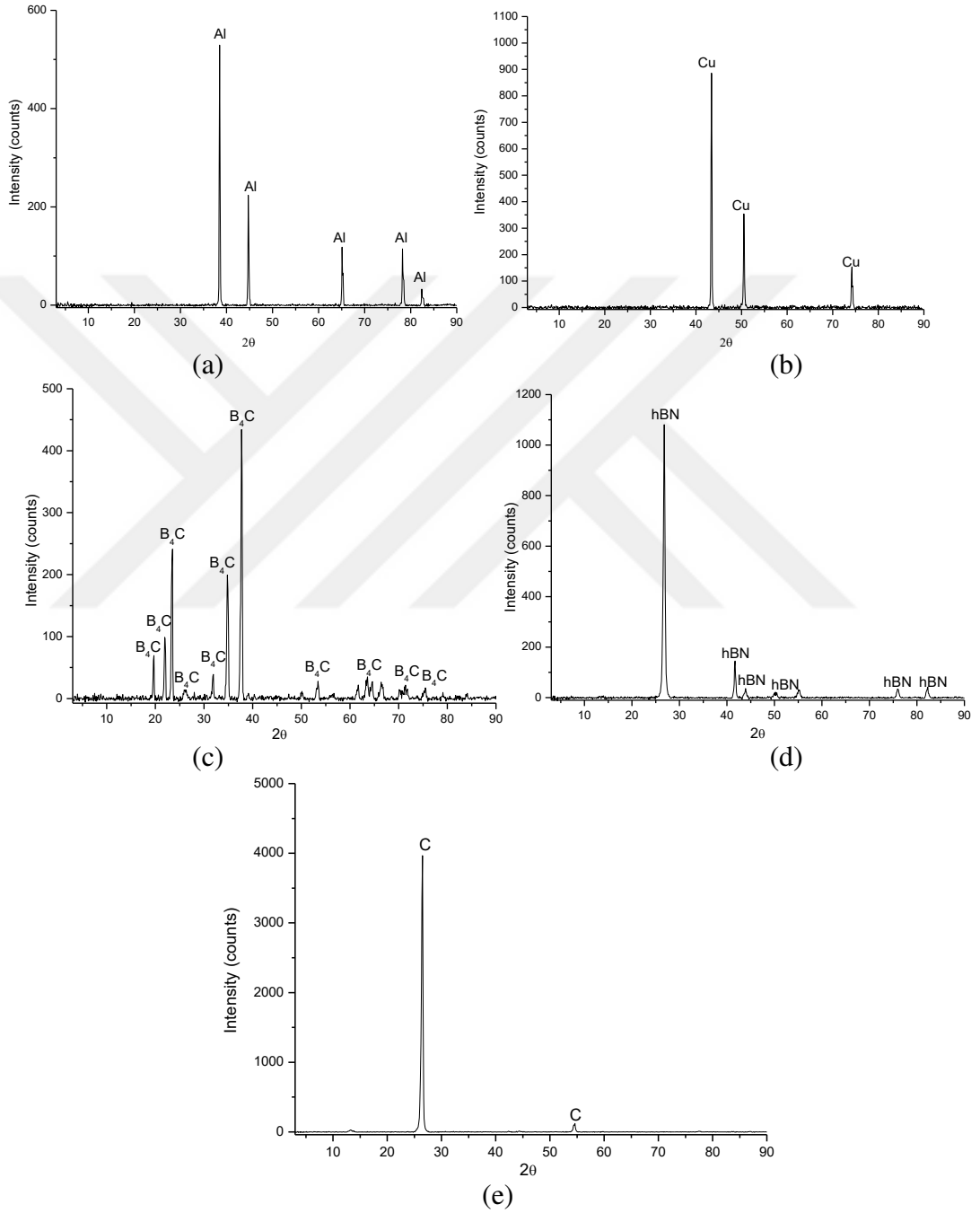
Fotoğraf 8.7. AlCu-8B₄C-2Gr kompozitin optik fotoğrafları: (a) 100X ve (b) 200X



Fotoğraf 8.8. AlCu-4hBN-4B₄C-2Gr kompozitin optik fotoğrafı

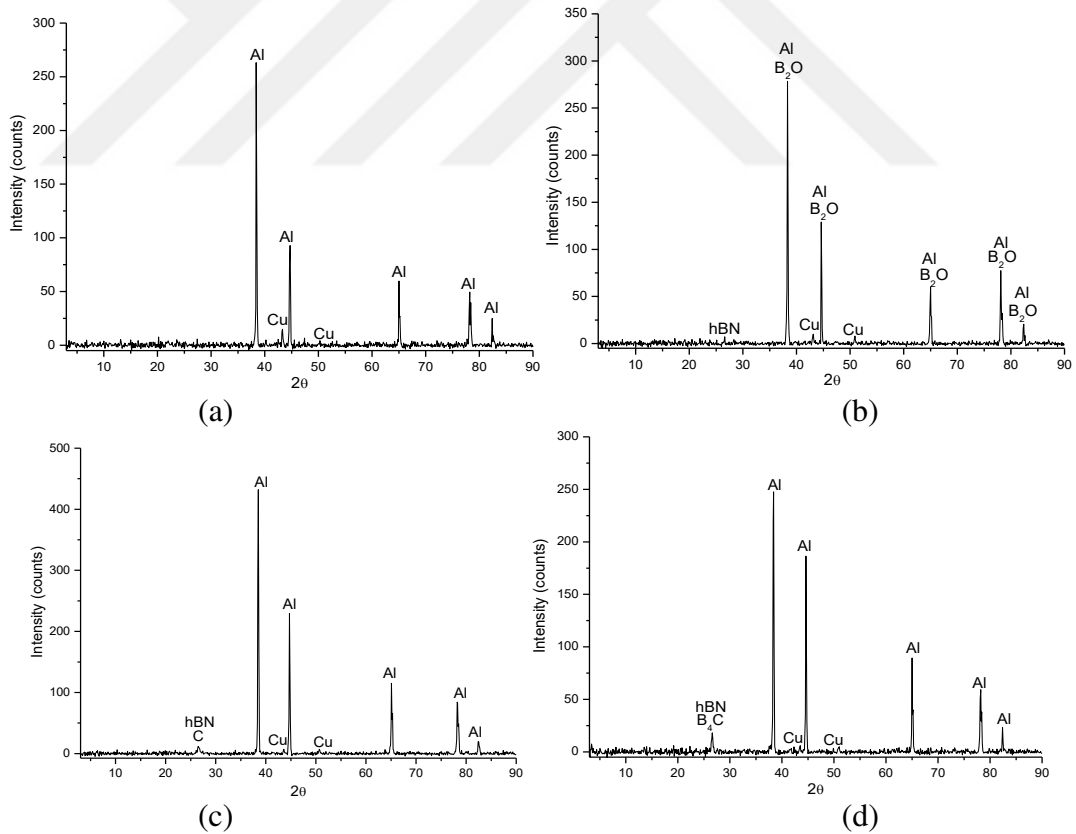
8.2. XRD Sonuçları

Grafik 8.1’de tozların XRD grafikleri verilmiştir. Tozların XRD analizlerine göre tozlarda herhangi bir oksitlenme söz konusu değildir.

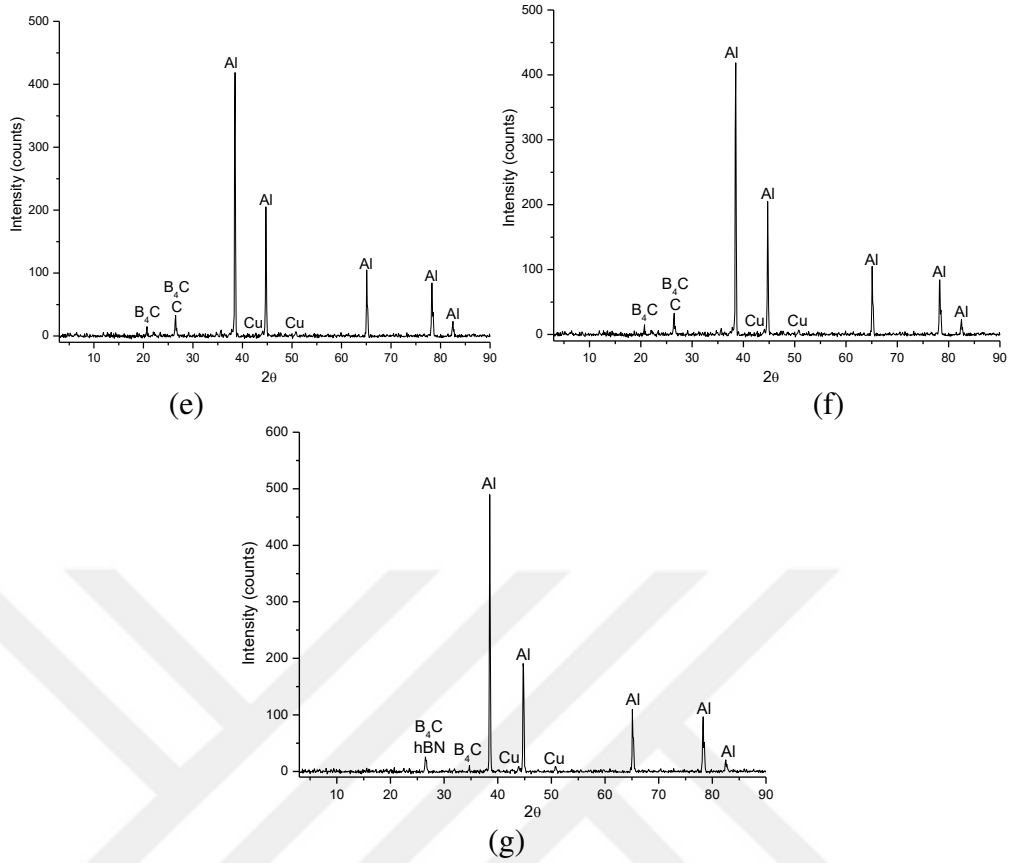


Grafik 8.1. Tozların XRD grafikleri: (a) Al, (b) Cu, (c) B₄C, (d) hBN ve (e) Gr

Grafik 8.2’de kompozitlerin XRD grafikleri verilmiştir. Grafiklere göre, takviye edilmemiş numunede AlCu için matriste iki kristal faz oluşmuştur ve Al’in piki yüksekken, Cu’nun piki düşüktür. AlCu-10hBN kompozitin XRD grafiğinde dört bileşen yer almaktadır ve bunlar Al, Cu, hBN ve B₂O fazlarıdır. hBN pikleri düşüktür ve Al pikleri yüksektir. B₂O fazı $2B + O_2 \rightarrow B_2O$ sonucunda elde edilen üründür. Sadece bu kompozitte oksitlenme meydana gelmiştir. Tozlarda oksitlenme olmadığı için, kompozitin üretim esnasında oksitlendiği düşünülmektedir. AlCu-8hBN-2Gr malzemesinde Al, Cu, hBN ve Gr fazları mevcuttur. AlCu-5hBN-5B₄C malzemesinde, Al, Cu, B₄C ve hBN fazları oluşmuştur. AlCu-10B₄C kompozitinde, Al, Cu ve B₄C fazları mevcuttur. AlCu-8B₄C-2Gr’in XRD grafiğinde Al, Cu, B₄C and Gr için dört kristal faz görülmektedir. Al-5Cu-4hBN-4B₄C-2Gr, XRD grafiğinde dört kristal yapı görülür. Bunlar Al, Cu, hBN ve B₄C’dür.



Grafik 8.2. Kompozitlerin XRD grafikleri: (a) AlCu, (b) AlCu-10hBN, (c) AlCu-8hBN-2Gr, (d) AlCu-5hBN-5B₄C, (e) AlCu-10B₄C, (f) AlCu-8B₄C-2Gr ve (g) AlCu-4hBN-4B₄C-2Gr



Grafik 8.2.'nin devamı

8.3. Yoğunluk Sonuçları

Al matrisli hibrit kompozitlerin deneysel ve bağıl yoğunlukları Tablo 8.1'de verilmiştir. Deneysel yoğunluklar $2.7189\text{--}2.8060\text{ gr/cm}^3$ arasında değişirken, bağıl yoğunluklar ise % 92.52-95.09 arasında değişmektedir. Herbir kompozitin deneysel yoğunluğu, kompoziti oluşturan bileşenlerin yoğunluğuna göre değişim göstermiştir. Mühendislik uygulamalarında dayanım/yoğunluk oranının yüksek olması arzu edilir. Bu çalışmada da sonraki bölümlerde verilecek mekanik özelliklerde dikkate alındığında nispeten bu amaçlara ulaşıldığı görülmektedir. Kompozitlerin bağıl yoğunlukları sıcak presleme koşullarında birbirlerine yakın çıkmıştır. Bu bize sinterleme parametrelerinin bu üretim için uygun olduğunu göstermektedir.

Tablo 8.1. Hibrit kompozitlerin deneysel ve bağıl yoğunlukları

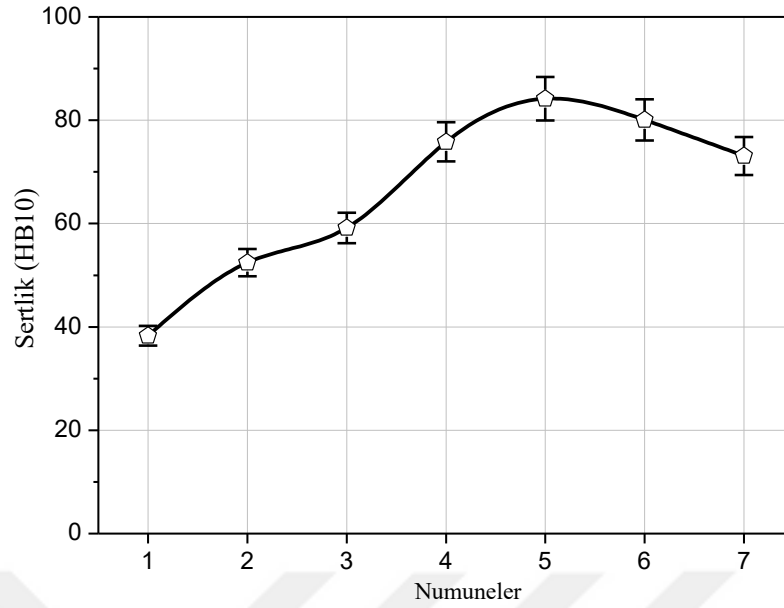
Numuneler	Deneysel yoğunluk (gr/cm ³)	Bağıl yoğunluk (%)
Al5Cu	2.8060	93.13
AlCu-10hBN	2.7189	92.52
AlCu-8hBN-2Gr	2.7294	93.05
AlCu-5hBN-5B ₄ C	2.8033	94.98
AlCu-10B ₄ C	2.7662	93.33
AlCu-8B ₄ C-2Gr	2.7585	93.40
AlCu-4hBN-4B ₄ C-2Gr	2.7990	95.09

8.4. Sertlik Sonuçları

Sertlik testi, ağırlıkça % 10 olan takviyelerin (hBN-B₄C-Gr) alüminyum alaşım matrisi üzerindeki etkisini gözlemlemek için gerçekleştirilmiştir. Al matrisli hibrit kompozitlerin sertlik değişimi Grafik 8.3'de gösterilmektedir. Takviye edilmemiş (Al5Cu) alaşımın yaklaşık 38,30 HBN gibi daha az sertliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ağırlıkça % 10 oranında takviyelerin (hBN-B₄C-Gr) artmasıyla birlikte kompozitlerin sertlikleri artmıştır. Al5Cu-10B₄C, yaklaşık 84,15 HBN maksimum sertliğe ulaşmıştır. Kompozitin daha yüksek sertliği, dislokasyon hareketinde bir engel teşkil eden B₄C sert parçacıklarının varlığıyla ilişkilidir. HBN ve Gr ilavesi sertliği arttırsa bile B₄C ilavesine göre oldukça düşüktür. Bu durum partiküllerin doğal sertliklerinden kaynaklanmaktadır. Başka bir ifade ile sertlik artışı karışım kuralı ile açıklanabilir. Bağıl yoğunluğu yüksek olan malzemeler için karışım kuralı;

$$H_k = H_m f_m + H_t f_t$$

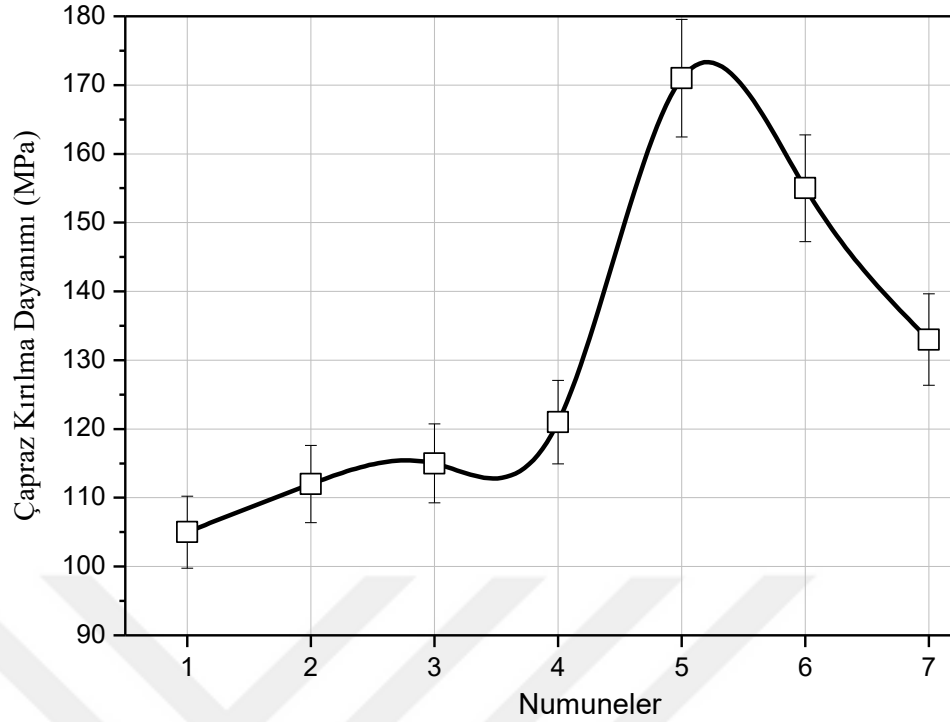
şeklinde. Burada H_c , kompozitin sertliği, H_m , matrisin sertliği, H_t , takviye elemanının sertliği, f_m ve f_t ise sırasıyla matris ve takviye elemanının hacimsel oranıdır.



Grafik 8.3. Sertlik Testi Sonuçları

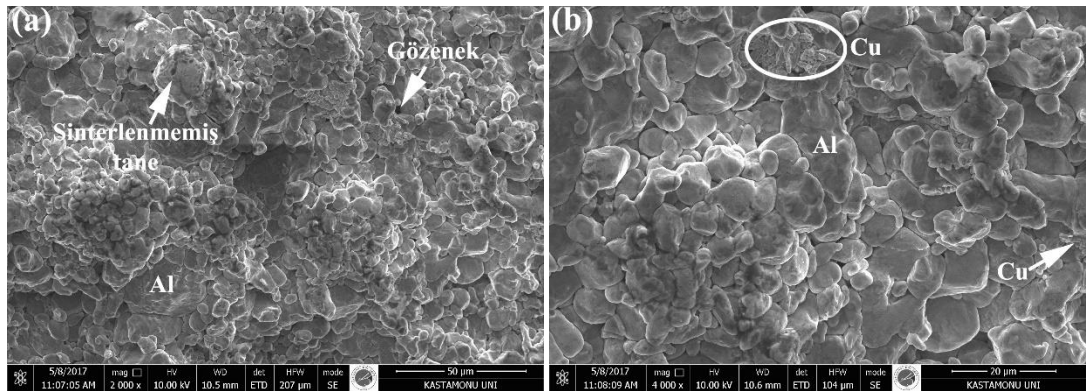
8.5. Üç Noktalı Eğme Testi Sonuçları

Al matrisli hibrit kompozitlerin çapraz kırılma dayanımını belirlemek için gerçekleştirilen üç noktalı eğme deneyi 50 kN kapasiteli üniversal tip çekme cihazında ASTM B 528-83a standardına göre ve 0.1 mm/dk deney hızında yapılmıştır. Üç noktalı eğme testi için 40 mm x 10 mm x 10 mm ebatındaki numuneler kullanılmıştır. Her bir numune için üç noktalı eğme testi beşer kez tekrar edilmiştir. Değerlerin ortalaması alınarak ilave partiküllerin etkisi yorumlanmıştır. Kompozitlerin çapraz kırılma dayanımı üzerine bor karbür, hegzagonal bor nitrür ve grafit ilavesinin etkisi Grafik 8.4’de görülmektedir. AlCu, AlCu-10hBN, AlCu-8hBN-2Gr, AlCu-5hBN-5B₄C, AlCu-10B₄C, AlCu-8B₄C-2Gr ve AlCu-4hBN-4B₄C-2Gr kompozitlerinin çapraz kırılma dayanımları (ÇKD) sırasıyla, 105 MPa, 112 MPa, 115 MPa, 121 MPa, 171 MPa, 155 MPa ve 133 MPa’dır. Burada takviyelendirilmiş kompozitlerin ÇKD, takviyesize göre oldukça artmıştır. Bu durum sertlikte olduğu gibi partiküllerin dislokasyon hareketini engellemesiyle açıklanabilir. Bor karbürü numunelerin ÇKD diğerlerine göre daha yüksektir. Bunu sebebi hem bor karbürün yüksek sertliğe sahip olması hem de bu çalışmada kullanılan bor karbürün matrise göre oldukça küçük tane boyutuna sahip olmasıdır.



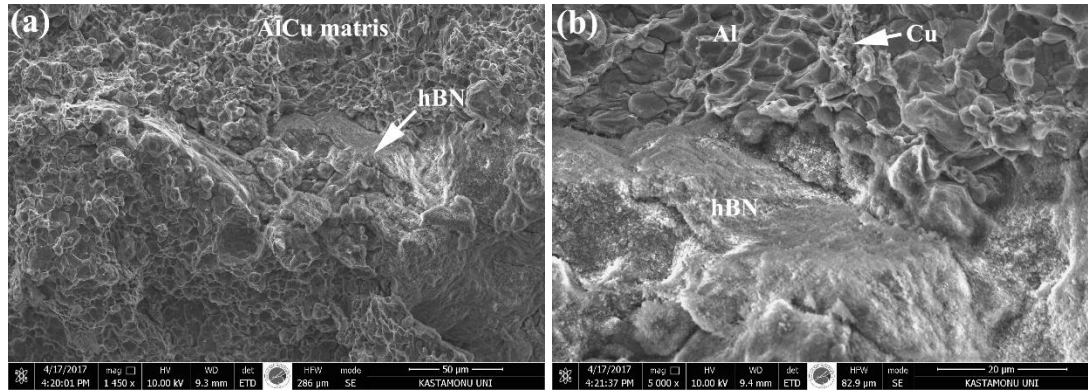
Grafik 8.4. Al matrisli hibrit kompozitlerin çapraz kırılma dayanımı değerleri grafiği

Takviyesiz AlCu matrisinin üç noktalı eğme testi sonra numunenin kırık yüzeylerinden alınan SEM fotoğrafı Fotoğraf 8.9'da verilmiştir. Fotoğrafa göre bazı taneciklerin tam olarak sinterlenerek boyun vermediği anlaşılmaktadır. Bu durum, presleme basıncının veya sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresinin yetersizliğinden kaynaklanabilir. Ayrıca yabancı impüritelerin varlığı da sinterlenebilirliği olumsuz etkilemektedir. Az da olsa yapıda gözenek oluşumu meydana gelmiştir. Kırılma yüzeyinden kırılma şeklinin taneler arasından ayrılma şeklinde olduğu belirgin olarak görülmektedir.

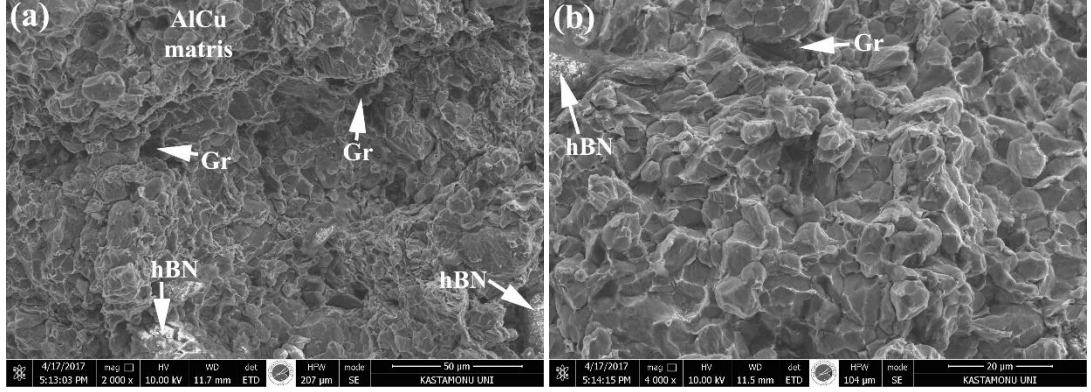


Fotoğraf 8.9. AlCu numunesinin kırık yüzeyinin SEM fotoğrafı (a) 2000X ve (b) 4000X

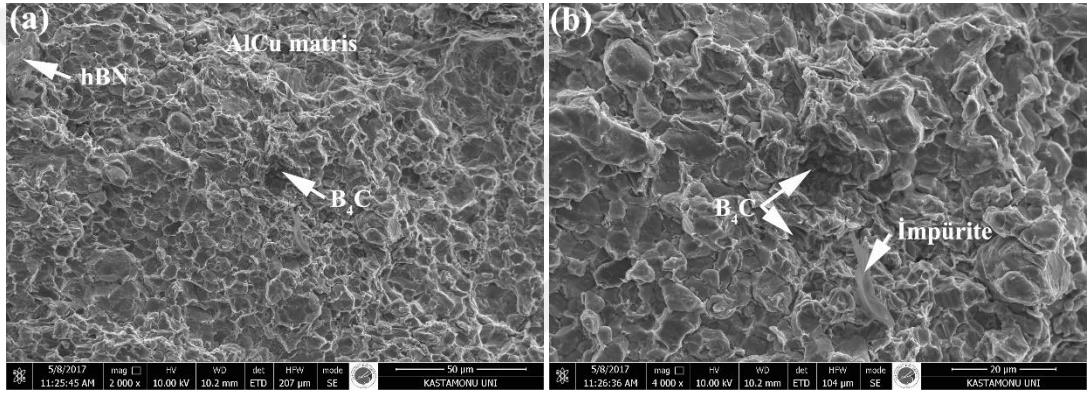
Al matrisine hBN takviyesi edildiğinde, matrisin kaba tane boyutuna sahip hBN taneleri sıkıca tuttuğu görülmektedir (Fotoğraf 8.10). hBN süngerimsi bir yapıya sahiptir. Bu hBN'nin yağlayıcılık özelliğinden kaynaklanmaktadır. Matriste koni-çanak şeklinde bir kırılma şekli mevcut olup, bu sünek kırılmayı temsil etmektedir. AlCu-8hBN-2Gr numunesinin kırılma yüzeyinden (Fotoğraf 8.11) Gr tanelerinin pul şeklinden dolayı ara yüzey boşlukları doldurduğu ve bu sayede ÇKD ve sertlikte de artışa sebep olduğu görülmektedir. Al matrise eşit miktarda B_4C +hBN (%5+%5) ilave edilerek üretilen numunede her iki partikülünde nipten homojen dağıldığı görülmektedir (Fotoğraf 8.12). Bu durum mekanik özellikleri de olumlu etkilemektedir. B_4C 'nin küçük boyutlu olması küçük boşluklara konumlanmasına sebep olmuştur. Yine kırık yüzeyde impüritelerin varlığı da görülmektedir. AlCu-10 B_4C numunesinde B_4C tanecikler yapıda homojen olarak dağılım göstermiştir (Fotoğraf 8.13). Homojen dağılıma matrisin tane boyutu ile takviye partikülün tane boyutunun benzerlik göstermesi veya tane boyutları oranının 1 değerine yakın olması sebep olmaktadır. Bu kompozite % 2 Gr ilave edilmesi ile üretilen AlCu-8 B_4C -2Gr hibrit kompozitin kırık yüzeyinin yapısı AlCu-10 B_4C kompoziti ile benzerlik göstermektedir (Fotoğraf 8.14). Fakat Gr'in sertliğinin B_4C 'den düşük olması kompozitin de düşük sertlik ve ÇKD sergilemesine sebep olmuştur. Bu şekilde ÇKD yüksek, sürtünmesi düşük bir malzeme üretilmiş olur. Çünkü grafit ve hegzagonal bor nitrür katı yağlayıcılardır. Kısmen de gözenek oluşumu meydana gelmiştir. Tüm bileşenlerin yer aldığı AlCu-4hBN-4 B_4C -2Gr hibrit kompozitinde B_4C taneleri çok düşük miktarda kümeleşmiştir (Fotoğraf 8.15).



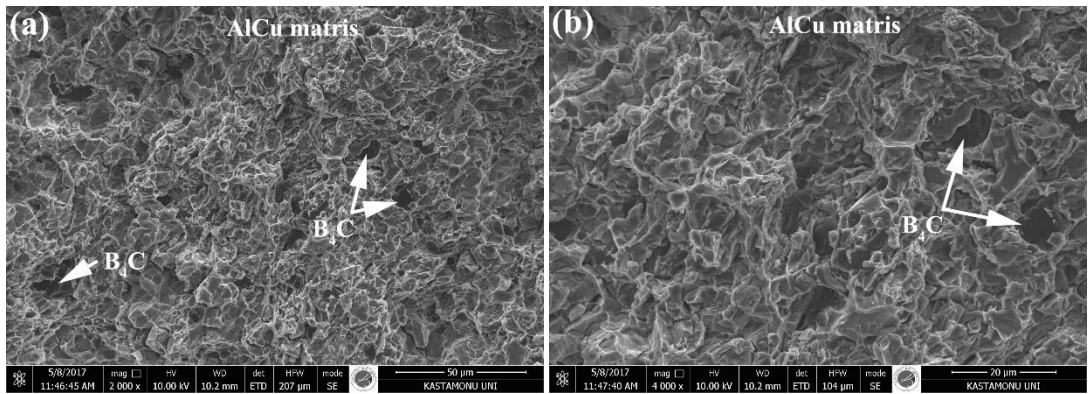
Fotoğraf 8.10. AlCu-10hBN numunesinin kırık yüzeyinin SEM fotoğrafı (a) 1450X ve (b) 5000X



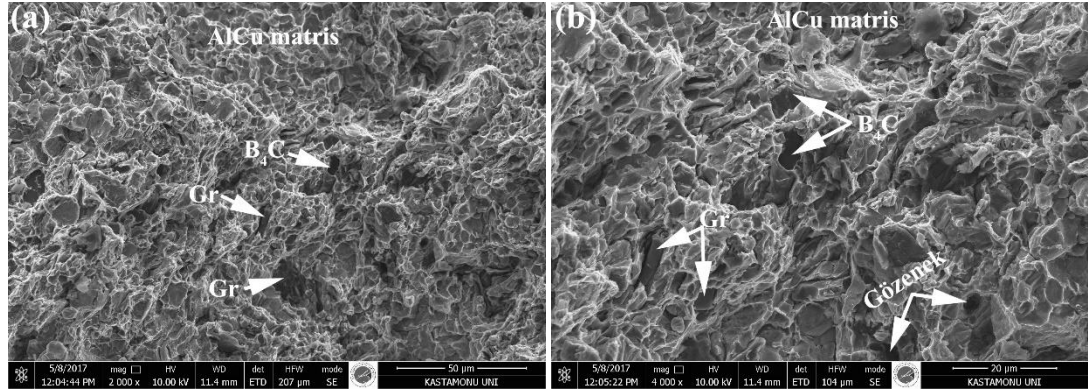
Fotoğraf 8.11. AlCu-8hBN-2Gr numunesinin kırık yüzeyinin SEM fotoğrafı (a) 2000X ve (b) 4000X



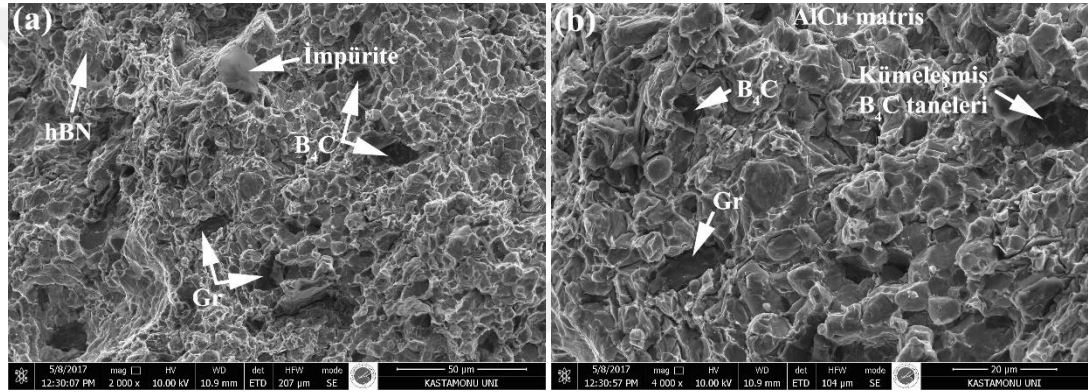
Fotoğraf 8.12. AlCu-5hBN-5B₄C numunesinin kırık yüzeyinin SEM fotoğrafı (a) 2000X ve (b) 4000X



Fotoğraf 8.13. AlCu-10B₄C numunesinin kırık yüzeyinin SEM fotoğrafı (a) 2000X ve (b) 4000X



Fotoğraf 8.14. AlCu-8B₄C-2Gr numunesinin kırık yüzeyinin SEM fotoğrafı (a) 2000X ve (b) 4000X



Fotoğraf 8.15. AlCu-4hBN-4B₄C-2Gr numunesinin kırık yüzeyinin SEM fotoğrafı (a) 2000X ve (b) 4000X

9. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, sıcak presleme tekniği ile üretilen Al matrisli hBN-B₄C-Gr takviyeli hibrit kompozitlerin mikroyapı, sertlik, yoğunluk ve çapraz kırılma dayanım özellikleri deneysel olarak detaylıca incelenmiştir.

- Mikroskobik incelemelere göre AlCu matrisinde takviyeler kısmen homojen olarak dağılmıştır. Tüm kompozitlerde genel olarak mikroyapı benzerdir. Takviye partiküller matris tanelerinin temas noktalarında ve çok az da olsa matrise gömülü bir halde konumlanmışlardır.
- Numunelerin faz analizini tayin etmek için yapılan XRD analizi sonuçlarına göre yapıda takviye elemanlarına göre farklı fazlar oluşmuştur. Fakat taneler arasında herhangi bir kimyasal faz oluşumu söz konusu değildir. Sadece AlCu-10hBN kompozitinde çok az oranda B₂O oluşumu meydana gelmiştir. Bu fazın kompozitlerin üretimi esnasında oluştuğu tespit edilmiştir. Amorf yapı oluşumu meydana gelmemiştir.
- Al matrisli hibrit kompozitlerin deneysel yoğunlukları 2.7189-2.8060 gr/cm³ arasında, bağıl yoğunluklar ise % 92.52-95.09 arasında değişmektedir. Mühendislik uygulamalarında dayanım/yoğunluk oranının yüksek olması arzu edilir. Bu tez çalışmasında hibrit kompozitlerin yoğunlukları düşük çıkmıştır. Kompozitlerin bağıl yoğunlukları sıcak presleme koşullarında birbirlerine yakın çıkmıştır. Bu bize sinterleme parametrelerinin bu üretim için uygun olduğunu göstermektedir.
- Al matrisli hibrit kompozitlerin sertlikleri takviyelerle artış göstermiştir. Matrisin sertliği 38.30 HBN iken, maksimum sertlik AlCu-10B₄C kompozitinde 171.05 HBN olarak ölçülmüştür. Diğer hibrit kompozitlerin sertliği 64.93-129.61 HBN aralığında değişmektedir. Gr ve hBN, B₄C'e göre biraz daha sertlikte düşüşe sebep olurken, B₄C'de doğal sertliğinden dolayı

sertliği oldukça arttırmıştır. Sertikler, takviye partiküllerin matriste dağılım mukavemetlendirme etkisi yaratmasıyla ve/veya dislokasyon hareketini engellemesiyle artmıştır.

- Al matrisli hibrit kompozitlerin çapraz kırılma dayanımı bor karbür, hegzagonal bor nitrür ve grafit ilavesi ile farklılık göstermiştir. En yüksek dayanım AlCu-10B₄C kompozitinde 171 MPa olarak  l   l rken, grafit ve hegzagonal bor nitrür ilavesi ile bu değerlerde düşüş olmuştur.



10. ÖNERİLER

Çalışma sonuçlarının neticesinde şu öneriler yapılabilir:

- Toz karıştırma işlemi bilyalı öğütücüde yapıp aglomerasyonun önüne geçilebilir. Bu şekilde tozlar arasında oluşması muhtemel fazların oluşması sağlanmış olur.
- Numunelere farklı sıcaklıklarda ısıtım işlem yapılarak dayanım arttırılabilir. Isıtım işlem sıcaklıklarına bağılı olarak mekanik özellikler ve mikroyapı özellikleri karşılaştırılabilir.
- Numunelere aşınma ve korozyon testleri yapılarak, aşınma ve korozyon dirençleri incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Bodunrin, M.O., Alaneme, K.K., & Chownb L.H. (2015). Aluminium matrix hybrid composites. *Journal of Materials Research and Technology*, 4(4), 434-445.
- [2] Tjong, S.C. (2014). Processing and deformation characteristics of metals reinforced with ceramic nanoparticles. *Oxford: Elsevier*, 10, 269–304.
- [3] Alaneme, K.K., & Bodunrin, M.O. (2011). Corrosion behavior of alumina reinforced aluminium (6063) metal matrix composites. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 10, 1153-1165.
- [4] Surappa, M.K. (2003). Aluminium matrix composites: challenges and opportunities. *Sadhana* (28), 319–353.
- [5] Kok, M. (2005). Production and mechanical properties of Al₂O₃ particle-reinforced 2024 aluminium alloy composites. *Journal Materials Processes Technology*, 161(3), 381–388.
- [6] Das, D.K., Mishra, P.C., Singh, S., & Pattanaik, S. (2014). Fabrication and heat treatment of ceramic-reinforced aluminium matrix composites – a review. *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, 9(1), 1–15.
- [7] Alaneme, K.K., & Olubambi, P.A. (2013). Corrosion and wear behaviour of rice husk ash-alumina reinforced Al-Mg-Si alloy matrix hybrid composites. *Journal Materials Research Technology*, 2(2), 188–94.
- [8] Sirahbizu, Y.B., Mahapatra, M.M., & Jha, P.K. (2013). Influence of reinforcement type on microstructure, hardness, and tensile properties of an aluminum alloy metal matrix composite. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*; 1(4), 124–30.
- [9] Oghenevweta, J.E., Aigbodion, V.S., Nyior, G.B., & Asuke, F. (2016). Mechanical properties and microstructural analysis of Al-Si-Mg/carbonized maize stalk waste particulate composites. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 28(2), 222-229.
- [10] Bhandakkar, A., Prasad, R.C., & Sastry, S.M. (2014). Fracture toughness of AA2024 aluminum fly ash metal matrix composites. *International Journal of Composite Materials*, 4(2), 108–24.
- [11] Davis, J.R. (1993). *ASM Specialty Handbook: Aluminum and Aluminum Alloys*, ASM International.
- [12] Davis, J.R. (2001). *Alloying: Understanding the Basics*, ASM International.

- [13] Davis, J.R. (1999). *Corrosion of Aluminum and Aluminum Alloys*, ASM International.
- [14] URL-1. Aluminium – Copper Alloys, 25/05/2017 tarihinde www.totalmateria.com/Article73.htm adresinden alınmıştır.
- [15] Yamada, A., Sasabe, H., Osada, Y., Shiroda, Y., & Yamamoto, I. (1989). *Concepts of Hybrid Materials, Hybrid Materials –Concept and Case Studies*, ASM International, OH, USA.
- [16] Makisima, A. (2004). Possibility of Hybrids Materials, *Ceramic Japan*, 39, 90-91.
- [17] Gómez-Romero, P., & Sanchez, C. (2004). *Functional Hybrid Materials*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.
- [18] Materials Science Society of Japan (1993). *Molecular Hybridization and Hybrid Materials, Composite System in Materials*, Shokabo Publishing Co., Tokyo, Japan.
- [19] Altenpohl, D.G. (1998). *Aluminum: Technology, Applications, and Environment*, 6th ed., The Aluminum Association Inc. and TMS.
- [20] Rafiee, M. A., Narayanan, T. N., Hashim, D. P., Sakhavand, N., Shahsavari, R., Vajtai, R., & Ajayan, P. M. (2013). Hexagonal boron nitride and graphite oxide reinforced multifunctional porous cement composites. *Advanced Functional Materials*, 23(45), 5624-5630.
- [21] Ryan K.R., et al., (2002). Tool Material Manufacturing. *Engineering Materials Production Reviews*, 2, 58-60.
- [22] Pierson, H.O. (1996). *Handbook of refractory carbides and nitrides: Properties, characteristics, processing and applications*, Noyes Publications, Westwood, New Jersey, U.S.A.
- [23] URL-2. Graphite, 25/05/2017 tarihinde www.geology.com/minerals/graphite.shtml adresinden alınmıştır.
- [24] Islak, S., Kır, D., & Çelik, H. (2014). Wear Characteristics of Circular cBN/Diamond Saws Produced by Hot Pressing. *Materials Testing*, 56(3), 213-217.
- [25] Kır, D., Islak, S., Çelik, H., & Çelik, E. (2012). Effect of the cBN content and sintering temperature on the transverse rupture strength and hardness of cBN/diamond cutting tools. *Science of Sintering*, 44(2), 235-243.

- [26] Islak, S. (2015). Effect of sintering temperature on transverse rupture strength of hot pressed Cu-TiC composites. *Materials Testing*, 57(7-8), 663-665.
- [27] Mosleh-Shirazi, S., Akhlaghi, F., & Li, D.Y. (2016). Effect of graphite content on the wear behavior of Al/2SiC/Gr hybrid nano-composites respectively in the ambient environment and an acidic solution. *Tribology International*, 103, 620-628.
- [28] Kaushik, N. C., & Rao, R. N. (2016). Effect of applied pressure on high-stress abrasive wear behavior of hybrid Al–Mg–Si composites. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 1350650116684720.
- [29] Umanath, K., Selvamani, S. T., PalanikumarK, K., & Niranjana varma, D. (2014). Metal to Metal Worn Surface of AA6061 Hybrid Composites Casted by Stir Casting Method. *Procedia Engineering*, 97, 703-712.
- [30] Monikandan, V. V., Joseph, M. A., & Rajendrakumar, P. K. (2016). Dry sliding wear studies of aluminum matrix hybrid composites. *Resource-Efficient Technologies*, 2, 12-24.
- [31] Islak, S., Kir, D., & Çelik, H. (2013). Investigation of the usability of cubic boron nitride cutting tools as an alternative to diamond cutting tools for the aircraft industry. *Archives of Metallurgy and Materials*, 58(4), 1119-1123.
- [32] Alaneme, K.K., & Sanusi, K.O. (2015). Microstructural characteristics, mechanical and wear behaviour of aluminium matrix hybrid composites reinforced with alumina, rice husk ash and graphite. *Engineering Science and Technology*, 18(3), 416-422.
- [33] Shoba, C., Ramanaiah, N., & Rao, D.N. (2015). Influence of dislocation density on the residual stresses induced while machining Al/SiC/RHA hybrid composites. *Journal of Materials Research and Technology*, 4(3), 273-277.
- [34] Alaneme, K.K., Adewale, T.M., & Olubambi, P.A. (2014). Corrosion and wear behaviour of Al–Mg–Si alloy matrix hybrid composites reinforced with rice husk ash and silicon carbide. *Journal of Materials Research and Technology*, 3(1), 9-16.
- [35] Saravanakumar, A., Sasikumar, P., & Sivasankaran, S. (2014). Synthesis and Mechanical Behavior of AA 6063-x wt.% Al₂O₃-1% Gr (x= 3, 6, 9 and 12wt.%) Hybrid Composites. *Procedia Engineering*, 97, 951-960.
- [36] Alaneme, K.K., Akintunde, I.B., Olubambi, P.A., & Adewale, T.M. (2013). Fabrication characteristics and mechanical behaviour of rice husk ash–Alumina reinforced Al-Mg-Si alloy matrix hybrid composites. *Journal of Materials Research and Technology*, 2(1), 60-67.

- [37] Selvam, J. D.R., Smart, D.R., & Dinaharan, I. (2013). Synthesis and Characterization of Al6061-Fly Ashp-SiCp Composites by Stir Casting and Compcasting Methods. *Energy Procedia*, 34, 637-646.
- [38] Umanath, K., Selvamani, S.T., Palanikumar, K., & Sabarikreeshwaran, R. (2014). Dry Sliding Wear Behaviour of AA6061-T6 Reinforced SiC and Al₂O₃ Particulate Hybrid Composites. *Procedia Engineering*, 97, 694-702.
- [39] Ahmad, F., Lo, S.J., Aslam, M., & Haziq, A. (2013). Tribology behaviour of alumina particles reinforced aluminium matrix composites and brake disc materials. *Procedia engineering*, 68, 674-680.
- [40] Alaneme, K. K., & Ajayi, O. J. (2015). Microstructure and mechanical behavior of stir-cast Zn–27Al based composites reinforced with rice husk ash, silicon carbide, and graphite. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 29(2), 172–177

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Khlad F.G. AWATH
Doğum Yeri ve Yılı : 23/7/1981 / Libya
Medeni Hali : Evli
E-posta : Khaledal3bedy81@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Alsabaa Men April
Lisans : Omar Almuktar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine
Mühendisliği Bölümü