

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SICAK PRESLEME YÖNTEMİ İLE Al_2Cu ve h-BN KATKILI ALÜMİNYUM
VE ALÜMİNYUM ALAŞIM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN AŞINMA
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burak Samed DOĞU

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Programı

ARALIK 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SICAK PRESLEME YÖNTEMİ İLE Al_2Cu ve h-BN KATKILI ALÜMİNYUM
VE ALÜMİNYUM ALAŞIM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN AŞINMA
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Burak Samed DOĞU
(506171225)**

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU

ARALIK 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506171225 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Burak Samed DOĞU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı, SICAK PRESLEME YÖNTEMİ İLE Al_2Cu ve h-BN KATKILI ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Murat BAYDOĞAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üye. Selim YILDIRIM
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : 15 Kasım 2019
Savunma Tarihi : 11 Aralık 2019





Aileme,



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca, çalışmalarım ve araştırmalarımın tüm deneyim ve bilgisini benimle paylaşan, yol gösteren ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU'na gösterdiği sabır ve emekten dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam esnasında hiçbir zaman benden yardımlarını esirgemeyen Araş. Gör. Doğan ÇETİNER'e sonsuz desteğinden ve sabrından dolayı teşekkürlerimi sunarım. Laboratuvarlarının imkanlarını ihtiyacım olduğunda benden esirgemeyen hocalarım Prof. Dr. Lütfi ÖVEÇOĞLU ve Dr. Duygu Ağaoğulları'na teşekkürlerimi sunarım. İhtiyacım olan her yardımı, değerli vaktini ve en önemlisi de dostluğunu benden sakınmayan Araş. Gör. Dr. Sezgin CENGİZ'e teşekkürlerimi bir borç bilirim. Laboratuvar çalışmalarında her zaman bana destek olan Araş. Gör. Mertcan KABA ve Öğr. Gör. Faiz MUHAFFEL'e teşekkürlerimi sunarım. Karakterizasyon çalışmalarımın yardımlarını esirgenemeyen, Araş. Gör. Sıdika MERTDİNÇ ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak bugünlere gelmemi sağlayan, her koşulda tüm zorluklara rağmen destekçim çok kıymetli aileme sonsuz teşekkür ederim, iyi ki varsınız.

Aralık 2019

Burak Samed DOĞU
(Metalurji ve Malzeme Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI	3
1.1 Alüminyum Temel Özellikleri	3
1.2 Alüminyum Alaşımları	4
3. ALÜMİNYUM MATRİS KOMPOZİTLER	9
3.1 Alüminyum 7075 Alaşımlı Kompozit Çalışmaları	20
3.2 AlSi12 Alaşımlı Kompozit Çalışmaları	25
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	27
4.1 Alüminyum Matris Kompozit Üretimi	27
4.2 Karakterizasyon Çalışmaları	29
4.3 Sertlik Ölçümleri	30
4.4 Aşınma Testleri	30
5. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	31
5.1 Al ₂ Cu İntermetaliğinin Optimizasyonu	31
5.2 XRD Analizleri	32
5.3 Optik Mikroskop Görüntüleri	33
5.4 Sertlik Testi Sonuçları	42
5.5 Aşınma Deneyi Sonuçları	43
5.6 Mikro-Ark Oksidasyon Çalışmaları	48
6. GENEL SONUÇLAR	53
KAYNAKLAR	55
EKLER	59
ÖZGEÇMİŞ	63



KISALTMALAR

XRD	: X-ışınları Difraktometresi
HV	: Vickers Sertlik
HRB	: Brinell Sertlik
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
Al₂Cu	: Alüminyum-Bakır İntermetalığı
AlSi12	: Alüminyum-Silisyum Alaşımı
h-BN	: Hegzagonal Bor Nitrür
MAO	: Mikro-Ark Oksidasyon



SEMBOLLER

°C	: Santigrat Derece
g	: Gram
µm	: Mikrometre
s	: Saat
sn	: Saniye
K	: Kelvin
m	: Metre
N	: Newton
cm	: Santimetre
dk	: Dakika
GPa	: Gigapascal
ρ	: Yoğunluk
MPa	: Megapascal



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Alüminyum metalinin fiziksel özellikleri.....	4
Çizelge 2.2 : Dövme alüminyum alaşımları için sertleştirme mekanizmaları	5
Çizelge 3.1 : 7075/Al-SiC kompozit numunelerinin porozite değerleri	12
Çizelge 3.2 : 7075/ TiB ₂ numunelerinin sertlik sonuçları	14
Çizelge 3.3 : Alüminyum/TiB ₂ numunelerinin aşınma parametreleri ve sonuçları ..	14
Çizelge 3.4 : 5051 alaşımının TiO ₂ oranına bağlı Brinell sertlik sonuçları	15
Çizelge 3.5 : Döküm yöntemi ile hazırlanan 6061/Al ₂ Cu numunelerin çekme testi sonuçları	19
Çizelge 3.6 : Karıştırmalı döküm ile hazırlanan 6061/ Al ₂ Cu numunelerin çekme testi sonuçları.....	19
Çizelge 3.7 : Alüminyum esaslı intermetalik bileşiklerinin fiziksel özellikleri	19
Çizelge 3.8 : 7075 alaşımının içeriği	20
Çizelge 3.9 : 7075/nano-MgO numunelerinin çekme testi sonuçları	21
Çizelge 3.10 : 7075/nano-MgO numunelerinin darbe testi sonuçları	21
Çizelge 3.11 : 7075/nano-MgO numunelerinin sertlik testi sonuçları	21
Çizelge 3.12 : 7075/SiC/TiC numunelerinin mekanik test sonuçları	23
Çizelge 3.13 : 7075/Al ₂ O ₃ /Gr numunelerinin bileşik varyasyonları	24
Çizelge 3.14 : 7075/Al ₂ O ₃ /Gr numunelerinin aşınma ve sürtünme katsayılarının sonuçları	24
Çizelge 3.15 : AlSi12/Al ₂ O ₃ numunelerinin porozite değerleri	26
Çizelge 4.1 : Sıcak presleme işlemi için uygulanan parametreler.	28
Çizelge 4.2 : MAO işlemi için uygulanan parametreler.	29
Çizelge 5.1 : AlSi12/Al ₂ Cu (%10, 20 ve 30) numunelerinin sürtünme katsayısı sonuçları.	32
Çizelge 5.2 : AlSi12/Al ₂ Cu (%10, 20 ve 30) numunelerinin sertlik sonuçları.....	32
Çizelge 5.3 : Sıcak presleme ile elde edilen numunelerin sertlik sonuçları.	43
Çizelge 5.4 : Numunelerin aşınma testi sonrası sürtünme katsayısı sonuçları.....	44
Çizelge 5.5 : Numunelerin aşınma oranı sonuçları.....	46
Çizelge 5.6 : Numunelerin teorik ve gerçek yoğunlukları.....	48
Çizelge 5.7 : Numunelerin kaplama özellikleri.	49



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması	6
Şekil 2.2 : Alüminyum alaşımlarında kullanılan bazı alaşım elementleri	7
Şekil 2.3 : Alüminyum içerisinde kullanılan alaşım elementlerinin sıcaklığa bağlı çözünürlükleri	7
Şekil 2.4 : Al-Cu denge diyagramı.	8
Şekil 3.1 : Sıcak presleme işlemi	10
Şekil 3.2 : Farklı oranlarda Al ve SiC içerikleri ile sertlik değişimi	12
Şekil 3.3 : Numunelerin TiO ₂ oranına bağlı sertlik testi sonuçları	13
Şekil 3.4 : Numunelerin TiO ₂ oranına bağlı çekme testi sonuçları	13
Şekil 3.5 : 6061/TiAl ve Ti ₃ Al numunelerinin Vickers sertlik sonuçları	15
Şekil 3.6 : 6061 alaşımının çeşitli katkı malzemeleri ile oluşturduğu kompozitlerin çekme testi sonuçları	16
Şekil 3.7 : Aşınma hacim kayıplarının kayma mesafesi ve Al ₂ O ₃ partiküllerine bağlı değişimleri	16
Şekil 3.8 : 6061 alaşımının Al ₃ Ti ve Al ₃ Zr ile oluşturduğu kompozitlerin sertlik sonuçları	17
Şekil 3.9 : 6061 alaşımının Al ₃ Ti ve Al ₃ Zr ile oluşturduğu kompozitlerin aşınma oranı sonuçları	17
Şekil 3.10 : 6061/Al ₂ Cu kompozitinin FESEM görüntüleri (a) %0, (b) %5, (c) %10, (d) %15	18
Şekil 3.11 : 6061/Al ₂ Cu kompozitinin optik mikroskop görüntüleri (a) döküm ortamı (b)karıştırmalı döküm	18
Şekil 3.12 : 7075/MgO numunelerinin Brinell sertlik sonuçları	22
Şekil 3.13 : 7075/MgO numunelerinin farklı yük ve sabit hızda (200 rpm) aşınma oranı sonuçları	22
Şekil 3.14 : 7075/MgO numunelerinin farklı yük ve sabit hızda (400 rpm) aşınma oranı sonuçları	23
Şekil 3.15 : AlSi12/karbon nanotüp sertlik testi sonuçları	25
Şekil 3.16 : AlSi12/karbon nanotüp çekme testi sonuçları	25
Şekil 4.1 : Al ₂ Cu peletlerini toz haline getirmek için kullanılan havan.	27
Şekil 4.2 : Sıcak pres ünitesi.....	28
Şekil 4.3 : MAO ünitesi ve işlem sırasında numune yüzeyinde oluşan mikroarklar.	29
Şekil 4.4 : Çalışmada kullanılan karşıt hareketli Tribotech aşınma cihazı.	30
Şekil 5.1 : AlSi12/Al ₂ Cu (%10, 20 ve 30) numunelerinin sürtünme katsayısı grafikleri.	31
Şekil 5.2 : 7075 alaşımı ile hazırlanan kompozitlerin XRD paternleri.....	33
Şekil 5.3 : AlSi12 alaşımı ile hazırlanan kompozitlerin XRD paternleri.	33
Şekil 5.4 : Al ₂ Cu takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin optik mikroskop görüntüleri (50x, 100x).....	35
Şekil 5.5 : Al ₂ Cu takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin optik mikroskop görüntüleri (200x, 500x).....	36

Şekil 5.6 : 7075/Al ₂ Cu ve AlSi12/Al ₂ Cu numunelerinin T6 prosesi sonrası optik mikroskop görüntüleri (50x, 100x).....	37
Şekil 5.7 : 7075/Al ₂ Cu ve AlSi12/Al ₂ Cu numunelerinin T6 prosesi sonrası optik mikroskop görüntüleri (200x, 500x).....	38
Şekil 5.8 : Al ₂ Cu ve h-BN takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin optik mikroskop görüntüleri (50x, 100x).....	39
Şekil 5.9 : Al ₂ Cu ve h-BN takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin optik mikroskop görüntüleri (200x, 500x).....	40
Şekil 5.10 : Al ₂ Cu ve h-BN takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin T6 işlemi sonrası optik mikroskop görüntüleri (50x, 100x).	41
Şekil 5.11 : Al ₂ Cu ve h-BN takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin T6 işlemi sonrası optik mikroskop görüntüleri (200x, 500x).	42
Şekil 5.12 : Aşınma izlerinin 2-D profil sonuçları (a) Al ₂ Cu takviye edilmiş numunelerin presleme sonrası ve T6 işlemi sonrası grafikleri (b) Al ₂ Cu+h-BN takviye edilmiş numunelerin presleme sonrası ve T6 işlemi sonrası grafikleri	45
Şekil 5.13 : 7075/Al ₂ Cu+T6 ve AlSi12/Al ₂ Cu+T6 aşınma izlerinin SEM görüntüleri (100x, 500x, 1000x ve 2500x).....	47
Şekil 5.14 : MAO yöntemi ile kaplamanan 7075/Al ₂ Cu+T6 ve AlSi12/Al ₂ Cu+T6 numunelerin XRD paternleri.....	49
Şekil 5.15 : MAO yöntemi ile kaplamanan 7075/Al ₂ Cu+T6 ve AlSi12/Al ₂ Cu+T6 numunelerinin yüzey ve kesit SEM görüntüleri.	50
Şekil 5.16 : MAO yöntemi ile kaplanmış 7075/Al ₂ Cu+T6 ve AlSi12/Al ₂ Cu+T6 numunelerinin farklı yükler altında sürtünme katsayı grafikleri.	51
Şekil 5.17 : MAO yöntemi ile kaplanmış 7075/Al ₂ Cu+T6 ve AlSi12/Al ₂ Cu+T6 numunelerin aşınma yüzeylerinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri	52
Şekil A. 1 : Katkısız numunelerin sürtünme katsayılarının grafiği	60
Şekil A. 2 : Kompozitlerin sıcak presleme sonrası sürtünme katsayılarının grafiği..	61
Şekil A. 3 : Kompozitlerin T6 işlemi sonrası sürtünme katsayılarının grafiği	61

SICAK PRESLEME YÖNTEMİ İLE Al_2Cu ve h-BN KATKILI ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

ÖZET

Alüminyum alaşımları son dönemde geleneksel malzemelere kıyasla iyi seviyedeki kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı ön plana çıkmaktadır. Endüstriyel alanda çelikten sonra en çok kullanılan metallerin başında gelmektedir. Özellikle yüksek mukavemet ve tokluk ile birlikte ağırlık kazancından dolayı havacılık ve otomotiv sektörlerinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Alüminyum ve alüminyum alaşımları çeşitli bileşimler ile kompozit üretiminde çok yönlü bir yapıya sahiptir. Bu nedenle alüminyum matris kompozitlerin endüstriyel sektördeki çalışmaları artmaktadır. Alüminyum matris kompozitleri alüminyum alaşımının kullanım alanına bağlı olarak istenilen ölçüde mekanik özellikleri göstermediği durumlarda çeşitli katkı malzemeleri ve üretim yöntemleri ile üretilebilmektedir. 7075 alüminyum alaşımı yüksek mukavemet ve korozyon direncine sahip olmasına karşın özellikle savunma sanayi, otomotiv ve havacılık sektörlerinde istenilen aşınma direnci ve sertlik değerlerini her zaman karşılayamamaktadır.

Alüminyum matris kompozitlerde kullanılan oksit, karbür, nitrür ve intermetalik yapıları katkı malzemeleri aşınma davranışı ve sertlik gibi mekanik özellikleri geliştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu kompozitlerde; porlu yapı, katkı maddelerinin iyi tutunamaması veya dağılımlarının homojen olmaması temel sorunlar arasındadır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, ilave edilen malzeme ve üretim yöntemlerinin çeşitliliği ile verimi arttırmaya yoğunlaşmıştır.

Sıcak presleme tekniği ile düşük sıcaklıklarda ve kısa sürelerde yüksek yoğunluklu malzeme üretimi gerçekleştirilirken, aynı zamanda presleme ile sinterleme işlemlerinin tek seferde gerçekleştirilmesiyle düşük maliyetli bir kompozit üretim tekniğidir. Alüminyum alaşımlarından farklı olarak çeşitli metallerin ve bu metallerin alaşımlarının üretilmesine olanak sağlamaktadır. Özellikle sıvı hal ile üretilmeyen ve sinterleme sıcaklığı düşük olan parçalar için sıcak presleme yöntemi öne çıkmaktadır. Kompozit üretiminde yaygın bir şekilde kullanılan karıştırılmalı döküm yönteminin aksine bu yöntemle yüksek yoğunluklu bir yapı elde edilebilmektedir.

Alüminyum-bakır (Al_2Cu) intermetalizi yüksek mekanik özelliklerinin yanında düşük yoğunluğa sahip olması nedeniyle kompozit üretiminde önemli katkı malzemelerinden birisidir. Aynı zamanda hegzagonal bor nitrür (h-BN) yüksek yağlağıcılık özelliği ve düşük yoğunluğu ile son dönemlerde kompozitlerde kullanılan katkı malzemelerdendir. Bu çalışmada sıcak presleme yöntemi ile saf alüminyum, alüminyum 7075 ve alüminyum silisyum ($AlSi12$) alaşımlarına Al_2Cu ve h-BN katkıları ilave edilmiş ve üretilen kompozitlerin aşınma ve sertlik özelliklerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Sıcak presleme işlemi sonrasında elde edilen kompozitlerin ısıtma işlem öncesi ve sonrası aşınma davranışları ve sertlik değerleri karşılaştırılarak incelenmiştir. Isıtma işlem prosesi olarak T6 yöntemi kompozitlere uygulanmıştır.

Alüminyum matrisli kompozitlerin, X-ışını difraksiyonu analizleri, kesit incelemeleri ve sertlik ölçümleri yapılarak karakterize edilmiş, ardından numunelere aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda numunelerin teorik ve gerçek yoğunlukları hesaplanmıştır. Yoğunluk hesaplamaları sonucunda kompozitlerin katkısız alüminyum ve alüminyum alaşımlarına nazaran yoğunluklarının daha yüksek olduğu görülmüştür.

Deney sonuçları değerlendirildiğinde, genel olarak sıcak presleme yöntemi ile üretilen kompozitlerin içerisinde bulunan katkılar homojen bir dağılım göstermişlerdir. Al_2Cu intermetalik, saf alüminyum, alüminyum-silisyum ve 7075 alaşımlarının sertlik ve aşınma davranışlarını olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir. Hegzagonal bor nitrür (h-BN) katkı malzemesinin aşınma testi sırasında sürtünme katsayısını düşüreceği öngörülmesine rağmen Al_2Cu intermetalik bulunan numuneye h-BN ilavesi gerçekleştirildiğinde sürtünme katsayısının arttığı gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışmalara ek olarak en iyi sonuç veren numuneler mikro-ark oksidasyon (MAO) yöntemi ile kaplanmıştır. Kaplanan numunelerin aşınma davranışları incelenmiş, kaplamaların sertlikleri ölçülmüş ve yüzey ile kesit SEM analizleri gerçekleştirilmiştir.

.

INVESTIGATION OF ABRASION BEHAVIOR OF ALUMINUM AND ALUMINUM ALLOY REINFORCED with Al_2Cu and h-BN PRODUCED by HOT PRESSING

SUMMARY

Aluminum and its alloys have gained significant importance in last decades with their good chemical and physical properties instead of traditional metallic materials. Aluminum is one of the most abundant elements in the earth's crust. Therefore, it is one of the most used metals after steel in the industrial applications such as automotive, aerospace, telecommunication, marine etc. However, the low hardness, low wear resistance and high friction coefficient of aluminum and its alloys have a possibility to shorten the service life of aluminum alloys and restrict their usage. Aluminum alloys are generally alloyed with elements such as copper, magnesium, zinc, silicon, manganese, and lithium. Also, chromium, titanium, zirconium, lead, bismuth, and nickel can be added as minor elements in aluminum alloys. Aluminum alloys are divided into two main groups; forging alloys and casting alloys. Many alloys are treated by heat treatment for further improvement in their mechanical properties. These processes include solution heat treatment, quenching, and precipitation, or aging. Some of both cast and forged alloys are described as heat treatable.

Although composite materials are as old as human civilization, they became widespread after the Second World War. A composite material is a material produced by the physical combination of monolithic compounds and having unique properties compared to their monolithic forms. Nowadays, with developing new technologies, conventional materials fall behind the requirements. Therefore, the most prominent features of composite materials compared to conventional materials are lightness, high hardness, abrasion resistance, and durability. The aim of this study is to improve the mechanical properties of the composite structures with production methods and reinforcements.

In aluminum matrix composite materials, various reinforcements can be used. Ceramics, oxides, intermetallic materials, nitrates and many other structures are used as reinforcements in the production of aluminum matrix composites. Low-weight metals, such as aluminum, magnesium, and titanium, are among the most popular metals chosen as matrix materials. Aluminum is one of the most effective matrix materials and low weight is an important criterion especially in the aerospace and automotive industry. Enhanced mechanical properties of composites by using inexpensive additives have been more and more attractive due to economical issues. Al_2O_3 , SiC, B₄C, AlN and C (graphite) are the most commonly used additives in metal matrix composites. Recently, carbon nanotubes have also been used in producing composites.

The path of production of any composite part plays a vital role in determining the final properties of the composite. There are many techniques applied in the

manufacture of metal matrix composite products. The industrial production of aluminum matrix composites can be classified into three main groups. These are solid-state processes, liquid state processes, and in-situ processes. Powder metallurgy, infiltration, extrusion, casting are widely used in the production of metal matrix composites. Among these methods, the stir casting technique is one of the most preferred methods due to the high production number and the production of various sizes and shapes. In the stir casting process, the formation of composites is carried out by reinforcements into the molten metal being mixed. Generally, this technique is accomplished by reinforcing the selected molten metal matrix. This technique is also very simple and one of the most widely used methods commercially.

On the other hand, graphite molds are generally used today in hot pressing. If protective gas sections are used for graphite molds in hot press, the service life of the molds can be longer. Hot pressing technique can be carried out using single or double action. The lower support part may be fixed in the system. The force required for pressing is given by the upper part. The main reasons for using this method are; lower cost, pressing and sintering process can be done at one time, the structure of the produced part is smooth and the production can be done at low temperatures.

Hot pressing technique is one of the most advantageous methods to produce metal matrix composites due to the various properties. Unlike stir casting, it is a technique that can be applied to metals and materials with low sintering and melting temperature. Hot pressing technique is a method in which heat and pressure are used together to produce a material with reduced porosity. This method can be used for parts that are impossible to produce in a liquid state and which have low sintering temperature. Although the interface of the reinforcement with the matrix in the stir casting is good, it is difficult to obtain high homogeneity. Although the infiltration technique produces a dense component, such as in hot pressing, a high proportion of residual stress occurs in contrast to hot pressing. Physical deformations are minimized by the hot-pressing method.

Aluminum-copper (Al_2Cu) intermetallic is used in composite production due to its high mechanical properties and low-density. At the same time, hexagonal boron nitride (h-BN) is one of the reinforcements used in composites due to high retention and low density. In this study, we aimed to improve the abrasion behavior and hardness of composites reinforced by Al_2Cu and h-BN and produced by the hot-pressing methods. Al and Cu powders have been pressed and exposed to heat treatment to synthesis Al_2Cu according to the Al-Cu phase diagram. The obtained pellets were powdered to use in composite production. Pure aluminum, aluminum 7075 and aluminum-silicon (AlSi12) alloy were used as a matrix. Also, samples that only hot-pressing applied were compared with heat-treated conditions.

For the determination of the phases in the composites, phase analyses were performed by an X-ray diffractometer (XRD). Wear tests were carried out at room temperature on a reciprocating wear tester. Surface roughness of samples was measured by a surface profilometer. Wear surfaces and cross-sections of samples were examined by optical microscope and scanning electron microscope (SEM). Composite density differences were investigated by using the Archimedes method. Determining density helped to compare specimens with their before reinforced states. Evaluated results also revealed how much is the enhanced in abrasion behavior and an increase in hardness with an increase in density.

Obtained composites by hot-pressing showed a homogeneous distribution and had a low porous structure. Samples reinforced with Al_2Cu showed that improved abrasion behavior and hardness. Although h-BN material was thought to reduce the coefficient of friction, samples that reinforced with both h-BN and Al_2Cu showed a higher coefficient of friction than only reinforced samples with Al_2Cu . The same situation has occurred in the hardness of materials. Specimens that were reinforced with h-BN negatively affected abrasion behavior and the hardnesses of composites. When the optical microscope images are examined, it was determined that h-BN materials did not hold the matrix well.

Micro-arc oxidation (MAO) was applied to samples showing the best results. Wear tests results showed that MAO coatings provided superior wear resistance as compared to the uncoated samples. For both of the samples, coating hardness, surface roughness and coating thickness were measured. Also, surfaces and cross-sections of MAO samples were examined by scanning electron microscope (SEM). Samples examined with SEM showed that the interface of coating with 7075 reinforced with Al_2Cu material was better than the AlSi12 composites. Also, large quantities of pores and micro-cracks were observed in the coating region on AlSi12 composites. These observed pores and micro-cracks caused to decrease in hardness of the MAO coating of AlSi12 .



1. GİRİŞ

Alüminyum ve alüminyum alaşımları düşük yoğunlukları, gösterdikleri iyi kimyasal ve fiziksel özellikler ile günümüzde en çok ilgi gören metalik malzemelerdendir. Alüminyum elementi yer kabuğunda en çok bulunan elementlerden biridir ve otomotiv ve makine gibi endüstriyel alanlara bakıldığında, çelikten sonra kullanılan en önemli malzeme alüminyum alaşımlarıdır. Ancak alüminyum ve alaşımlarının düşük sertlik, düşük aşınma direnci ve yüksek sürtünme kat sayısına sahip olması alüminyum alaşımlarının servis ömrünü ve kullanım alanlarını da kısıtlamaktadır.

Alüminyumun dezavantajlarının etkilerinin azaltılması veya ortadan kaldırılması için çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Bunların başında kompozit olarak kullanılması veya ısıtılma işlemleri bulunmaktadır. Günümüzde gelişen teknoloji ile geleneksel malzemeler ihtiyaçlara yeterince cevap verememektedir. O yüzden geleneksel malzemelere göre kompozit malzemelerin en belirgin özellikleri hafiflik, yüksek sertlik, aşınma direnci ve sağlamlıklarıdır. Alüminyum matris kompozitlerin mekanik özelliklerini daha ileriye taşımak amacı ile çeşitli takviye malzemeler ve üretim yöntemlerine odaklanılmıştır.

Alüminyum matrisli kompozit malzemelerde katkı maddelerinin takviye teknikleri (partikül, fiber vb.) ile ilave edilen malzemeler çeşitlilik göstermektedir. Seramikler, oksitler, intermetalikler, nitrürler ve daha bir çok yapı katkı olarak alüminyum ve alaşımlarının kompozit üretiminde kullanılmaktadır. Metal matrisli kompozitlerin elde edilmesinde yaygın olarak toz metalurjisi, ekstrüzyon, infiltrasyon ve karıştırmalı döküm gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında karıştırmalı döküm tekniği yüksek üretim sayısı, çeşitli boyutlar ve şekillerde üretilmesinden kaynaklı olarak en çok tercih edilen yöntemlerden birisidir.

Sıcak presleme tekniği metal matrisli kompozitlerin üretilmesinde kullanılan çeşitli avantajlara sahip yöntemlerden birisidir. Karıştırmalı dökümün aksine daha kompakt, porozitesi daha düşük, segregasyon riski bulunmayan ve düşük ergime sıcaklığına sahip metaller içinde uygulanabilen bir tekniktir. Sıcak presleme tekniği porozitesi azaltılmış malzeme üretmek amacı ile ısı ve basıncın birlikte kullanıldığı bir

yöntemdir. Sıvı hal ile üretme imkanı olmayan ve sinterleme sıcaklıkları düşük olan parçalar için bu yöntem kullanılabilir. Karıştırmalı döküm de matris ile takviye malzemenin arayüzü iyi olmasına rağmen yüksek homojenlik elde etmek zorlaşmaktadır. Aynı zamanda yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirildiğinden dolayı matris ve katkı malzemesi arasındaki ıslanabilirlik düşüktür. İnfiltrasyon tekniğinin sıcak preslemedeki gibi yoğun bir parça elde edilmesine karşın sıcak preslemenin aksine yüksek oranda kalıntı gerilmesi meydana gelmektedir. Sıcak presleme yöntemi ile fiziksel deformasyonlar minimize edilmektedir.

Bu çalışmada, sıcak presleme yöntemi kullanılarak saf alüminyum, AlSi12 ve 7075 alaşımına h-BN ve çalışma kapsamında üretilen Al_2Cu ilaveleri ile oluşan kompozitlerin aşınma ve sertlik özelliklerinin geliştirilmesi veya bir adım öteye taşınması hedeflenmiştir. Çalışma sonunda ise en iyi sonuç veren numunelere mikro-ark oksidasyon ile kaplama yapılmıştır. Aynı zamanda kaplanan numunelerin de aşınma davranışları incelenmiştir.

2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

2.1 Alüminyum Temel Özellikleri

Alüminyum latince ışık anlamına gelir ve en bol bulunan metallik elementtir. Oksijen (%47) ve silikondan (%47) sonra yer kabuğunun (ağırlığının %8'i) üçüncü bileşenidir (%28). Alüminyum doğal halde asla metal olarak bulunmaz; çok reaktif olduğundan her zaman diğer elementlerle birleşir. En yaygın olarak bilinen bileşikler oksitler ve boksit kaynaklı hidroksitler, sülfatlar ve klorit ile kompleksleştirilen suda çözünür formlarıdır. Alüminyum özellikle dikkat çeken fizikokimyasal özelliklere sahip gümüş-gri bir metaldir. Yüzeyde koruyucu bir alümina tabakası oluşması sebebiyle hava ile temasında zarar görmez, bu özellik ile havada veya suda korozyona karşı çok dayanıklı olmasını sağlamaktadır. Bu gibi özelliklerin yanında tamamen geri dönüştürülebilir [1].

Alüminyum ve alaşımları sağladığı kombinasyonların özellikleri ile çok yönlü ve ekonomik olması sayesinde en çok kullanılan metallerden birisidir. Alüminyum $2,7 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğa sahip olup çeliğin yalnızca 3 de 1'i ağırlığındadır. Hafif ve yüksek mukavemete sahip alüminyum alaşımları havacılık, otomotiv, kara veya deniz araçları gibi güçlü yapıların oluşmasında büyük avantaj sağlamaktadır [2]. Alüminyum çeşitli oksidasyonlara karşı direnç gösterir. Oksijene mağruz kalmış bir alüminyum yüzeyi çok ince pasif bir alüminyum oksit tabakası oluşturur. Aynı zamanda uygun bir şekilde alaşımlandırılmış ve işlenmiş alüminyum alaşımının da çeşitli kimyasal ve fiziksel ajanlara karşı korozyon dayanımı da yüksektir. Alüminyum normalde mükemmel bir elektrik ve termal iletkendir fakat bazı alaşımlarının elektrik direnci yüksektir. Bu alaşımlar yüksek torklu elektrik motorlarında kullanılabilir. Alüminyum ferromanyetik özellik göstermediğinden elektrik ve elektronik endüstrisinde çokca kullanılır. Bu gibi özelliklerinin yanında kıvılcımlanmaz (yanıcı değil ve bazı patlayıcı malzemelerden alaşım yapabilmektedir), zehirli değildir (yiyeceklerin korunmasında önemli bir yere sahiptir). Alüminyumun bazı özellikleri Çizelge 2.1'de verilmektedir.

Çizelge 2.1 : Alüminyum metalinin fiziksel özellikleri [3,4].

Malzeme	Değerler
İsim	Alüminyum
Sembol	Al
Atom Numarası	13
Atom Ağırlığı	26,98
Yoğunluk	2.7 g/cm ³
Poisson Oranı	0,35
Kristal Yapısı	YMK
Ergime Noktası	660
Kaynama Noktası	2519

2.2 Alüminyum Alaşımları

Son yıllarda teknolojinin ilerlemesiyle birlikte geleneksel olarak kullanılan malzemeler yerine alüminyum alaşımları yüksek mukavemet, tokluk ile birlikte düşük yoğunluğa sahip olması ve yüksek aşınma direnci gibi özelliklerinden dolayı tercih edilmekte ve kullanımı yaygınlaşmaktadır. Alüminyum alaşımının özellikle yüksek teknolojiye sahip yapılarda hızla kullanımı artmaktadır. Kullanımında dikkat çeken seviyelerde performans ve ekonomik kazancının yanı sıra çevresel etkileri de gözlemlenmiştir. Alüminyum alaşımları ile geliştirilmiş malzemelerde malzeme ömrünün artması, enerji kazancı, düşük seviyede bakım maliyeti bu alaşım ile oluşturulan ürünlerin artmasında önemli faktörlerden bazılarıdır [5]. Alüminyum alaşımları bu gibi özellikleri sayesinde otomotiv, havacılık, deniz taşıtlarında ve inşaat sektöründe yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Alüminyum alaşımları genellikle bakır, magnezyum, çinko, silisyum, manganez ve lityum gibi elementlerle alaşım yapmaktadır. Düşük oranda krom, titanyum zirkonyum, kurşun, bizmut ve nikel gibi elementlerde eklenmektedir. 300'ün üzerinde dövme alüminyum alaşımı arasından 50 tanesi yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [4].

Alüminyum alaşımları iki ana gruba ayrılır; dövme alaşımları ve döküm alaşımları. Bir çok alaşım ısıtılma işlemi ile faz çözünürlüğüne dayanmaktadır. Bu işlemler çözelti ısıtılma işlemi, su verme ve çökeltme, ya da yaşlandırma içerir. Hem döküm hem de dövme alaşımlarının bazıları ısıtılma işlemi yapılabilir olarak tanımlanmaktadır. Dövme alaşımlarının büyük bir çoğunluğu bunun yerine çeşitli tavlama işlemleri ile

deformasyon sertleşmesini tercih etmektedir [6]. Dövme alaşımlarını sınıflandırması için dört basamaklı sistem kullanılmaktadır:

- 1xxx: alaşımlandırılmamış (saf) kompozisyon, öncelikli olarak elektrik ve kimyasal endüstrilerde kullanılmaktadır.
- 2xxx: Alaşımın içinde bakır öncelikli kullanılan alaşım elementidir, yüksek mukavemetten dolatı uçaklarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.
- 3xxx: Alaşımın içinde manganez öncelikli kullanılan alaşım elementidir, genellikle mimari uygulamalarda kullanılmaktadır.
- 4xxx: Alaşımın içinde silisyum öncelikli kullanılan alaşım elementidir, kaynak çubuklarında kullanılmaktadır.
- 5xxx: Alaşımın içinde magnezyum öncelikli kullanılan alaşım elementidir, botlarda ve benzeri araçlarda çevresel faktörlerden ötürü kullanılmaktadır.
- 6xxx: Alaşımın içinde magnezyum ve ve silisyum öncelikli kullanılan alaşım elementleridir. Mimari uygulamalarda ve otomotiv parçalarında kullanılmaktadır.
- 7xxx: Alaşımın içinde çinko öncelikli kullanılan alaşım elementidir. Bunun yanı sıra bakır, magnezyum, krom ve zirkonyum ile çeşitlendirilebilir. Yüksek mukavemet isteyen uygulamalarda ve uçaklarda kullanılmaktadır. 7xxx serisi en güçlü alüminyum alaşımıdır.
- 8xxx: Çeşitli kompozisyonlarla karakterize edilen alaşımlardır. 8xxx serisi alaşımları kalay, lityum ve/veya demir içerebilir
- 9xxx: Gelecekte oluşturulacak alaşım elementleri için

Isıl işlem uygulanabilir (çökelti sertleşmesi) dövme alaşımları arasında 2xxx, 6xxx, 7xxx ve bazı 8xxx alüminyum alaşımları yer almaktadır. Dövme alaşımları için sertleştirme mekanizmaları Çizelge 2.2’de verilmektedir.

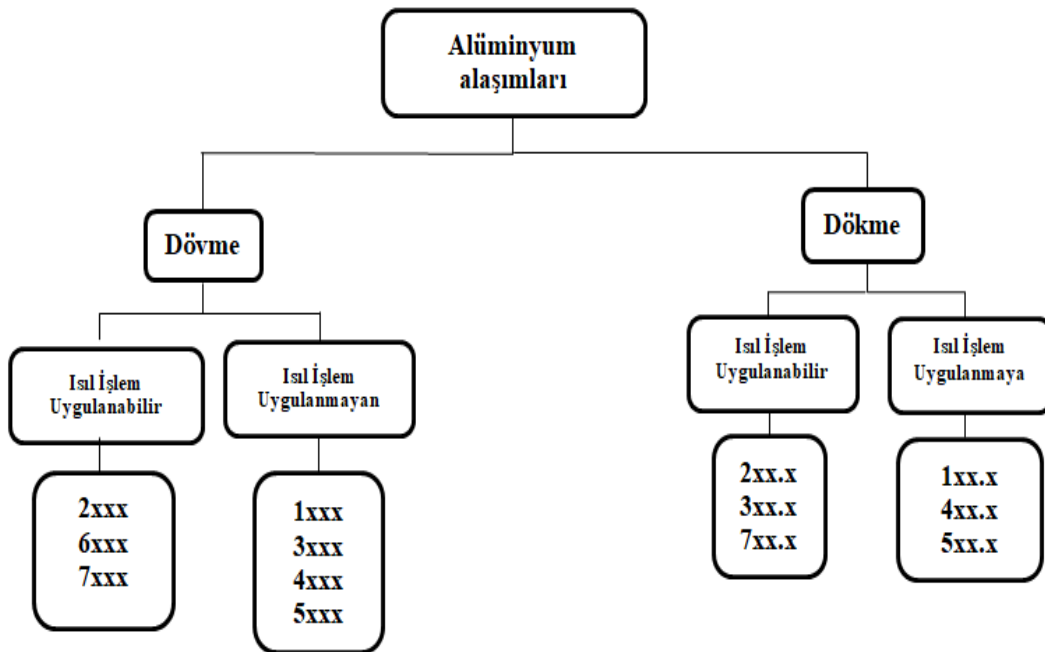
Çizelge 2.2 : Dövme alüminyum alaşımları için sertleştirme mekanizmaları [5].

Deformasyon Sertleşme Alaşımları	Çökelti Sertleşme Alaşımları
Pure Al	Al-Cu
Al-Mn	Al-Cu-Mg
Al-Si	Al-Cu-Li
Al-Mg	Al-Mg-Si
Al-Fe	Al-Zn
Al-Fe-Ni	Al-Zn-Mg
	Al-Zn-Mg-Cu

Döküm alüminyum alaşımları üç basamak ve bir ondalık değer ile ifade edilir;

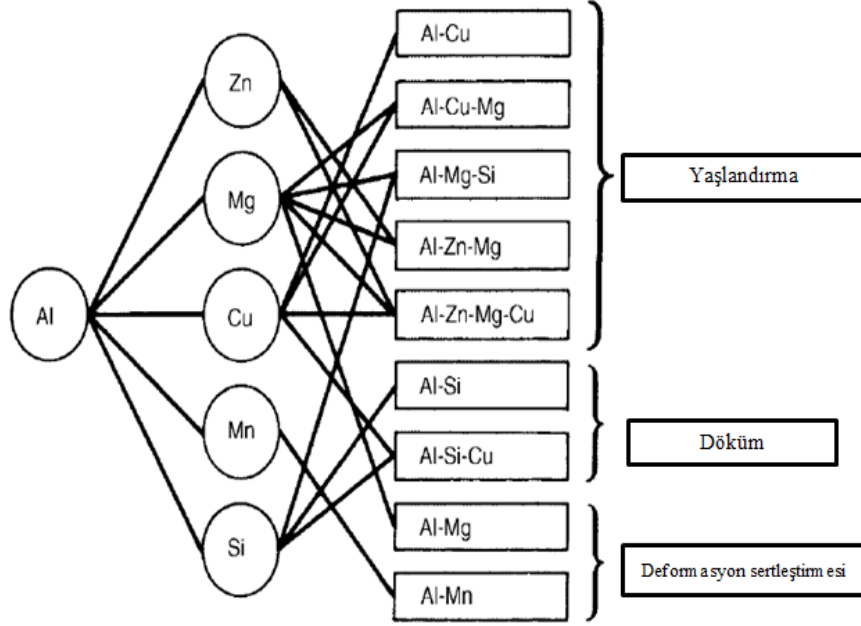
- 1xx.x: Kontrollü alaşımlandırılmamış (saf) kompozisyon, özellikle pervane üretiminde kullanılmaktadır.
- 2xx.x: Alaşımın içinde bakır öncelikli kullanılan alaşım elementidir. Diğer alaşım elementleri ile özelleştirilebilmektedir.
- 3xx.x: Alaşımın içinde silisyum öncelikli kullanılan alaşım elementidir. Bakır ve magnezyum gibi diğer alaşım elementleri ile özelleştirilebilmektedir.
- 4xx.x: Alaşımın içinde silisyum öncelikli kullanılan alaşım elementidir
- 5xx.x: Alaşımın içinde magnezyum öncelikli kullanılan alaşım elementidir
- 6xx.x: Kullanılmamaktadır.
- 7xx.x: Alaşımın içinde çinko öncelikli kullanılan alaşım elementidir. Bakır ve magnezyum gibi diğer alaşım elementleri ile özelleştirilebilmektedir.
- 8xx.x: Alaşımın içinde kalay öncelikli kullanılan alaşım elementidir.
- 9xx.x: Kullanılmamaktadır.

Isıl işlem yapılabilir döküm alaşımları arasında 2xx, 3xx ve 7xx serisi bulunmaktadır. Dökme alaşımlarının dövme alaşımlarına göre yüksek miktarlarda silisyum kullanılabilmektedir. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması Şekil 2.1’de verilmektedir.

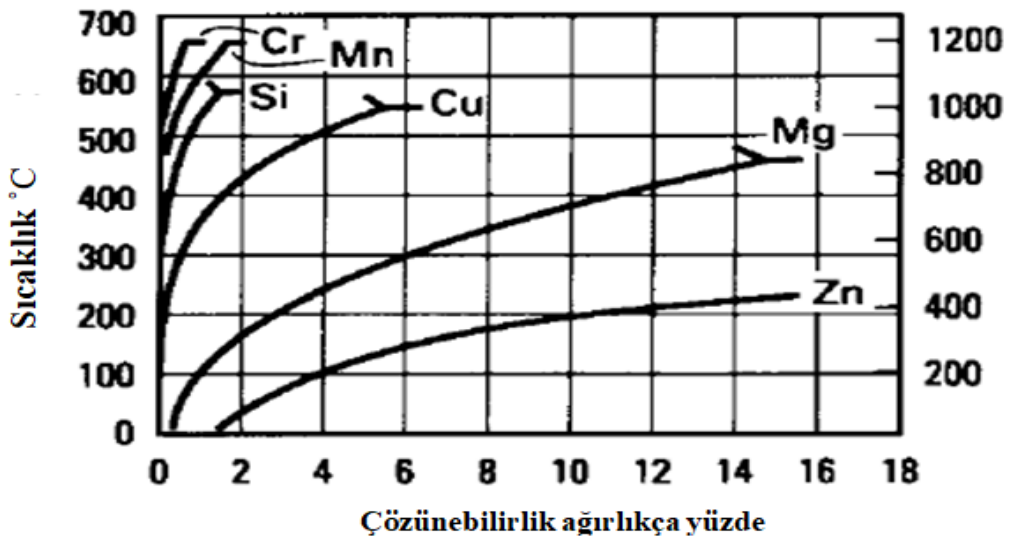


Şekil 2.1 : Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması [5].

Alaşımlandırmanın en önemli nedeni mukavemeti, sertliği, aşınma direncini, sürünme ve yorulma özelliklerini arttırmaktır. Bu gibi özellikleri özelleştirmek için farklı alaşım elementleri ve kombinasyonları etkilidir. Günümüzde mukavemet artışı sağlamasından dolayı en çok kullanılan alaşım elementlerden bazıları; bakır, magnezyum, manganez, silisyum ve çinkodur (Şekil 2.2). Bu elementlerin hepsi alüminyumun içerisinde katı çözünürlüğe sahiptir ve sıcaklık artışı ile çözünürlükleride artmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.2 : Alüminyum alaşımlarında kullanılan bazı alaşım elementleri [7].



Şekil 2.3 : Alüminyum içerisinde kullanılan alaşım elementlerinin sıcaklığa bağlı çözünürlükleri [8].

8

3. ALÜMİNYUM MATRİS KOMPOZİTLER

Günümüzde alüminyum matris kompozitleri havacılık, otomotiv endüstrisinde ve diğer mühendislik uygulamalarında çok fazla talep gören bir malzemedir. Alüminyum matris kompozitler taşımacılıkta ve çeşitli sektörlerde popüler olmasının nedeni diğer malzemelere kıyasla daha düşük ses ve yakıt tüketiminden dolayıdır. Kompozit malzemeler insan medeniyeti kadar eski olmasına rağmen yaygınlaşması ikinci dünya savaşından sonra gerçekleşmiştir. Kompozit malzeme bir malzemenin monolitik bileşiklerinin fiziksel kombinasyonu ile üretilen malzemelerdir. Diğer çoklu fazlardan oluşan kompozitler için günümüzde ayırt edici tanımlama bir veya daha fazla fazın oluşturduğu faz geçişleri ile kitle üretiminden meydana gelmektedir [10]. Endüstride ve malzeme bilimcilerin kompozit tanımı ise farklı fiziksel kombinasyonların var olan bileşenlerle yeni bir malzeme eldesidir. Kompozitler şu şekilde sınıflandırılmakta;

1. Matris (polimer,seramik, metal ve karbon)
2. Onların katkı maddeleri (oksitler, karbürler, nitrür)
3. Şekil (filament, kısa fiberler, ipliksi ve partiküller)
4. Dağılımı
5. Üretim aşaması

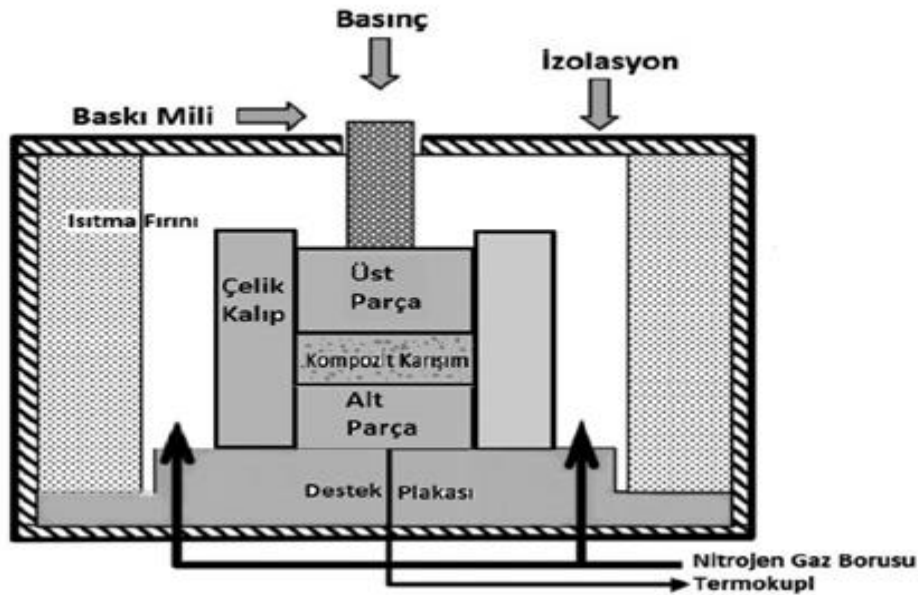
Diğer iki sınıf ise (d) karbon-karbon kompozitler ve (e) hibrit matris kompozitler. Kompozitlerde matris metal veya metal alaşımdan meydana geldiğinde metal matris kompozit olarak adlandırılmaktadır. Diğer bileşenler ise matrise gömülürler ve güçlendirmek amacı ile kullanılır. Genellikle SiC, C, Al₂O₃, SiO₂, B, BN, B₄C, AlN gibi katkı ilaveleri kullanılmıştır [11].

Herhangi bir kompozit parçanın üretiminde izlenen yol kompozitin nihai özelliklerinin belirlenmesinde hayati bir rol oynamaktadır. Metal matris kompozit ürünlerinin geliştirilmesinde uygulanmakta olan bir çok teknik vardır.

Alüminyum matris kompozitlerin endüstriyel alanda üretimini üç ana grupta sınıflandırılabilir. Alüminyum matris kompozitlerin endüstriyel alanda üretimini üç ana grupta sınıflandırılabilir.

1. Katı hal süreci (toz metalurjisi)
2. Sıvı hal süreci (döküm)
3. İn-situ (yerinde oluşan) yöntemi

Kullanılan yöntemlerin birbirlerine kıyasla bazı avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Katı hal prosesi içinde yer alan sıcak presleme yönteminin yaygın olarak kullanılan bazı yöntemlere göre bazı avantajlarından bahsedilecek olursa sıcak presleme tekniği porozitesi azaltılmış bir parça üretmek için ısı ve basıncın kullanıldığı bir metoddur. Sıvı hal ile üretilmeyen ve sinterlemesi düşük olduğu parçalar için bu yöntem kullanılır. Alüminyum metal matris kompozit eldesinde genel olarak kullanılan karıştırmalı dökümün aksine daha düşük sıcaklıklarda çalışma imkanı sağlamakta. Matris ile katkının arayüzü iyi olmasına rağmen yüksek homojenlik elde etmek zorlaşmaktadır. Aynı zamanda yüksek sıcaklıkta gerçekleştirildiğinden dolayı matris ve katkı malzemesinin arasındaki ıslanabilirlik düşüktür. İnfiltrasyon tekniğinin sıcak preslemede ki gibi yoğun bir parça elde edilmesine rağmen sıcak preslemenin aksine yüksek oranda kalıntı gerilmesi meydana gelmektedir. Sıcak presleme yöntemi ile fiziksel deformasyonlar minimize edilmekte (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : Sıcak presleme işlemi [12].

Genellikle günümüzde sıcak preslemede grafit kalıplar kullanılır. Sıcak presleme işleminde grafit kalıplar için koruyucu gaz bölümleri kullanılırsa kalıpların ömrü daha uzun olmaktadır. Sıcak pres tekniğinde tek veya çift hareketli kullanılarak

yapılabilir. Sistemde alt destek parçası sabit olabilir. Preslemesi için gereken kuvvet üst kısım ile verilir [12]. Bu yöntemin kullanılmasının temel nedenleri;

- Maliyetinin ucuz olmasından
- Presleme ve sinterleme işleminin tek seferde ve aynı anda yapılabilmesi,
- Üretilen parçanın yapısının düzgün olması
- Düşük sıcaklıklarda üretim yapılabilmesi
- Yöntemin kısa sürede gerçekleşmesidir

Sıcak presleme yöntemi üç farklı ısıtma tekniği kullanılmaktadır;

- Endirekt ısıtma
- İndüksiyonla ısıtma
- Direkt ısıtmadır

Sıcak preste basınç ısınmış toza statik veya dinamik olarak tek bir yönden veya çeşitli yönlerden uygulanır. Kontrollü atmosferde sıcak toz yada preslenmiş kompakt yapının oksidasyondan korunmaya ihtiyacı vardır.

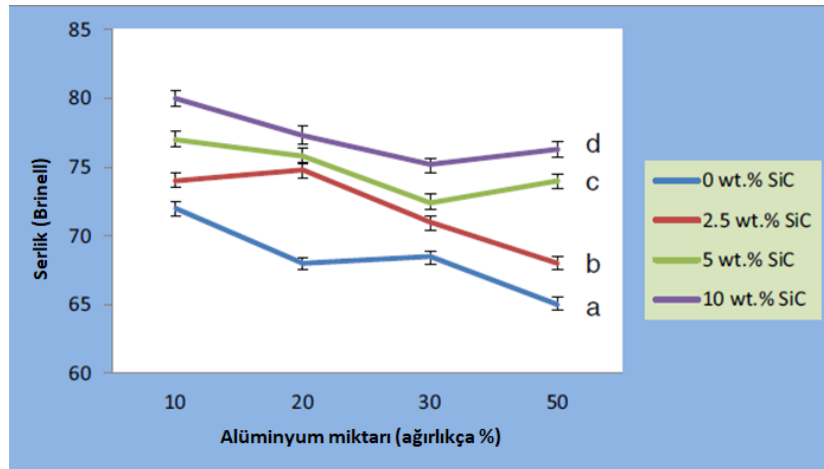
Sıcak pres yüksek kalite ürün üretmesine rağmen çelik, pirinç ve benzer metallerde ekonomik açıdan kullanımı elverişli değildir. Olumsuz etkileri arasında, düşük üretim oranı, cihazın aşınması, koruyucu bir atmosfere ihtiyaç duyması vardır. Fakat çok eksenli olmayan sıcak pres yöntemi ile silindirik sementit karbür kalıplar, aşınma parçaları üretilmektedir. Bu metod aynı zamanda silisyum nitrür üretiminde kullanılmaktadır. Sıcak preste zimbaların mümkün olduğunca kalıbın içerisine girmesi tavsiye edilmektedir. Soğuk pres işlemine kompaktlaşma daha kısa sürede olmaktadır.

Canakci ve Varol [13], toz metalurjisi ve sıcak presleme yöntemi ile A7075/Al-SiC kompozitlerin mikroyapı ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Farklı oranlarda eklenen Al ve SiC'ün oluşturduğu kompozit yapıda Al miktarı arttıkça sinterleme öncesi yoğunluğun arttığı SiC'de ise tam tersi etki gösterdiği gözlemlenmiştir. Sıcak presleme sonrası son yoğunluğun ise Al ve SiC miktarı arttıkça düştüğü gözlemlenmiştir.

Aynı zamanda SiC miktarından artmasıyla kompozitin sertliğinin arttığı kanıtlanmıştır (Şekil 3.2). 7075/Al-SiC kompozitinin teorik yoğunluğu sıcak presleme öncesi ve sonrası yoğunlukları Çizelge 3.1'de gösterilmektedir.

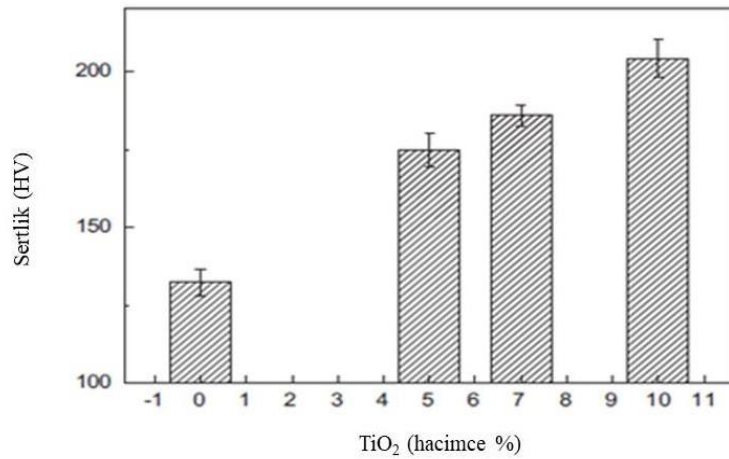
Çizelge 3.1 : 7075/Al-SiC kompozit numunelerinin porozite değerleri [13].

Test	Kompozisyon	Teorik Yoğunluğu(g/cm ³)	Pişme öncesi porozite (%)	Sıcak Pres sonrası porozite (%)
C1	7075 talaş	2,81	24,7331	2,3486
C2	7075-10%wt Al	2,799	20,9718	2,4652
C3	7075-20%wt Al	2,788	19,2253	2,5108
C4	7075-30%wt Al	2,777	16,7447	3,3129
C5	7075-50%wt Al	2,755	14,0835	2,7949
C6	7075-10%wt Al-2.5%SiC	2,809	21,3955	3,1328
C7	7075-20%wt Al-2.5%SiC	2,798	20,3717	4,2474
C8	7075-30%wt Al-2.5%SiC	2,787	18,8016	4,808
C9	7075-50%wt Al-25%SiC	2,765	16,6004	4,4846
C10	7075-10%wt Al-5%SiC	2,819	26,1795	5,5339
C11	7075-20%wt Al-5%SiC	2,808	23,6467	5,698
C12	7075-30%wt Al-5%SiC	2,797	20,2002	6,7215
C13	7075-50%wt Al-5%SiC	2,775	18,6306	7,8198
C14	7075-10%wt Al-10%SiC	2,839	30,1515	7,2561
C15	7075-20%wt Al-10%SiC	2,828	28,0764	7,6379
C16	7075-30%wt Al-10%SiC	2,817	24,7781	8,1647
C17	7075-50%wt Al-10%SiC	2,795	22,898	8,9445

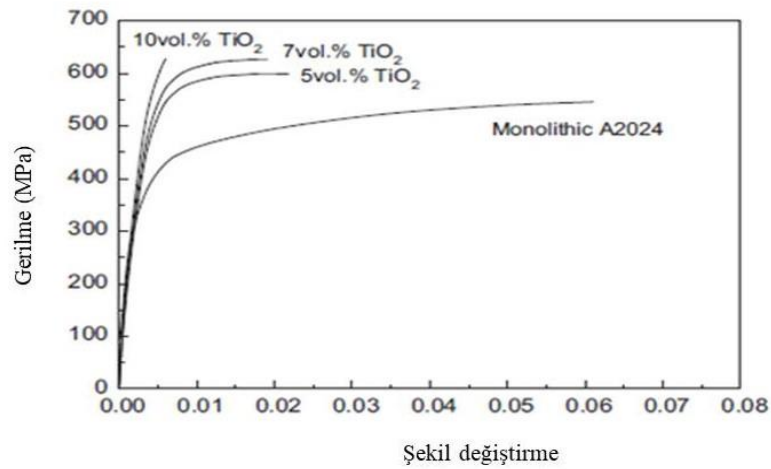


Şekil 3.2 : Farklı oranlarda Al ve SiC içerikleri ile sertlik değişimi [13].

- Azimi ve arkadaşları [14], 7075 matrisine ağırlıkça %5 TiC takviyesi ile nanokompozit üretmişlerdir. Mekanik alaşımlandırma ve ardından sıcak presleme işlemlerinden sonra son ürünü elde etmişlerdir. Sıcaklık artışı ile sertlik artışı gözlenmesine rağmen 450 °C’de tane büyümesinden dolayı sertlik tekrardan düşmeye başlamıştır. İdeal parametreleri olan 400 ve 600 MPa’da en yüksek sertlik artışını gözlemlemişlerdir.
- Shin ve arkadaşları [15] sıcak pres yöntemi ile elde edilen 2024/nano TiO₂ kompozitinin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Sıcak presleme sonrasında yüksek yoğunluklu ve yüksek dağılıma sahip numuneler elde etmişlerdir. TiO₂ içeriğinin artması ile sertlik artışı gözlemlenmiştir. Sertlik ve çekme testi sonuçları Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’te verilmektedir.



Şekil 3.3 : Numunelerin TiO₂ oranına bağlı sertlik testi sonuçları [15].



Şekil 3.4 : Numunelerin TiO₂ oranına bağlı çekme testi sonuçları [15].

Chandana ve arkadaşları [16] A7075 alaşımına ile ağırlıkça %4, 6 ve 8 oranlarında TiB₂ eklemişlerdir. Kompozit nitrojen kontrollü ortamda ergiyik metalin içerisine TiB₂ ilavesi ile karıştırılmalı döküm yöntemi ile elde edilmiştir. Bu proses esnasında ağırlıkça %1 oranında magnezyum ilavesi ile ıslanabilirliği arttırmak istemişlerdir. Numunelere 500 gramda Vickers sertlik testi yapılmıştır Ağırlıkça farklı oranlarda 7075 alaşımına eklenen TiB₂'nin sertlik sonuçları Çizelge 3.2'de ki gibidir.

Çizelge 3.2 : 7075/ TiB₂ numunelerinin sertlik sonuçları [16].

Test Sayısı/Kompozisyonlar	4%	6%	8%
1	94,4	105,5	125
2	109,2	100,3	128
3	105,2	110,2	130,5
4	106,2	116,6	138,5
5	105,2	117,6	142,1
ORTALAMA	104,4	110	132,82

Metal matris kompozitlerde ilave maddesinin aşınma üzerindeki etkisi dağılımı boyutu ile değişmektedir. Genellikle katkı maddesinin miktarı arttıkça aşınma direncide artmaktadır. TiB₂ ilavesinin aşınma üzerindeki etkisi farklı yüklerde, hızlarda ve kayma mesafeleriyle değerlendirilmiştir. Çizelge 3.3'te farklı parametrelerle aşınma oranları gösterilmektedir.

Çizelge 3.3 : Alüminyum/TiB₂ numunelerinin aşınma parametreleri ve sonuçları [16].

Deneme	Yük (N)	Hız (m/s)	Kayma mesafesi(m)	Ağırlıkça Yüzde (%)	Aşınma Oranı
1	10	1.4	1000	6	1,5
2	20	1.4	1500	4	1,8
3	30	1.6	1000	4	2,0
4	20	1.6	500	6	1,6
5	10	1.6	1500	8	1,4
6	30	1.2	1500	6	2,2
7	10	1.2	500	4	1,8
8	20	1.2	1000	8	1,7
9	30	1.4	500	8	2,1

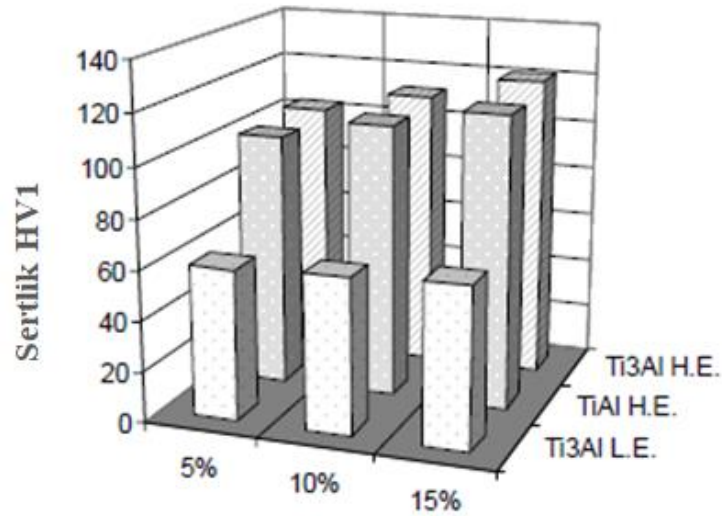
Lata ve arkadaşları [17] 5051 alaşımına farklı oranlarda (%5, 10, 15) TiO₂ ekleyerek alüminyum matris kompozit elde etmişlerdir. 1200 °C'de döküm yöntemiyle üretilen kompozit ergiyik 5051 üzerine TiO₂ katkı maddesinin ilavesi ile elde edilmiştir. Başlangıçta sertliği artış gösteren kompozitin %15 oranında ki ilavesi ile tekrardan

sertliğinde düşüş gerçekleşmiştir. Farklı oranlarda ilave edilen TiO_2 'nin Brinell sertlik testinin sonuçları Çizelge 3.4'te gösterilmektedir.

Çizelge 3.4 : 5051 alaşımının TiO_2 oranına bağlı Brinell sertlik sonuçları [17].

TiO_2 (ağırlıkça %)	Sertlik (kg/mm^3)
5	42,20
10	83,11
15	70,64

Adamiak [18] çalışmasında TiAl ve Ti_3Al iki tip intermetalik ile alüminyum matris kompoziti sonucunda mikroyapı ve özelliklerini incelemiştir. Metal matris olarak 6061 alüminyum alaşımını kullanmıştır. Her iki intermetalik malzemesi ile farklı iki tip mekanik alaşımlandırma uygulamıştır. Bunlardan biri yüksek enerjili (H.E.) diğeri ise düşük enerjilidir (L.E). Tozlar soğuk preslemeden sonra ise sıcak ekstrüzyona mağruz kalmışlardır. Çalışmanın amacı, mikroyapının analizi ve sertlik testi ile değişimleri gözlemlemektir. Her iki alaşımı farklı yüzdelerde (%5, 10 ve 15) alüminyum alaşımına ilave edilmiştir. Sertlik sonuçları Şekil 3.5'de verilmektedir.

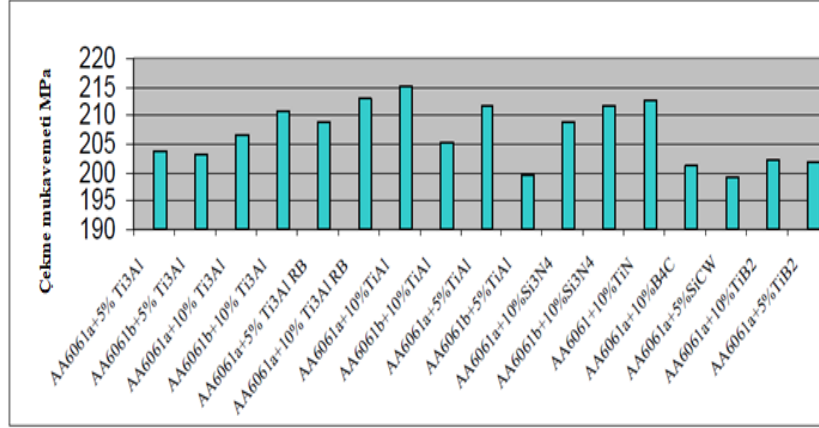


Şekil 3.5 : 6061/ TiAl ve Ti_3Al numunelerinin Vickers sertlik sonuçları [18].

İntermetalik ilavesi yapılmamış 6061 alaşımın sertlik ve mukavemeti sırasıyla 50 HV_1 ve 200 MPa 'dır. Yüksek enerjili Ti_3Al intermetalik ilavesi ile sertlik yaklaşık 120 HV_1 ve mukavemet ise yaklaşık 400 MPa olmaktadır.

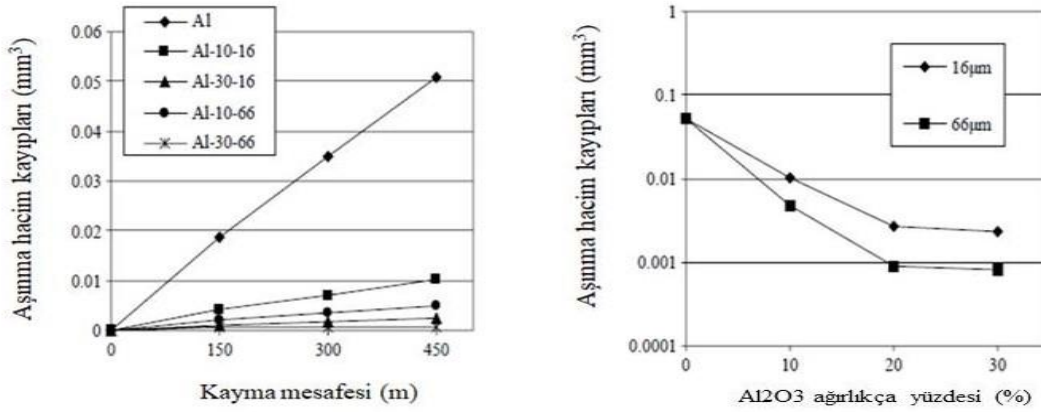
Costa ve arkadaşları [19] 6061 alüminyum alaşımına %5 B_4C , TiAl , Ti_3Al , TiB_2 , SiC_w ve 10 % of TiAl , Ti_3Al , TiB_2 , TiN and Si_3N_4 ilavelerini önce 20 dakika elle

kariştırmadan sonra 530°C ve 350 MPa’da ekstrüzyon ile üretmişlerdir. Si₃N₄ ve SiC dışındaki ilaveler homojen bir dağılım göstermiştir. Elde edilen varyasyonların mukavemet sonuçları şekil 2.9’da gösterilmektedir.



şekil 3.6 : 6061 alaşımının çeşitli katkı malzemeleri ile oluşturduğu kompozitlerin çekme testi sonuçları [19].

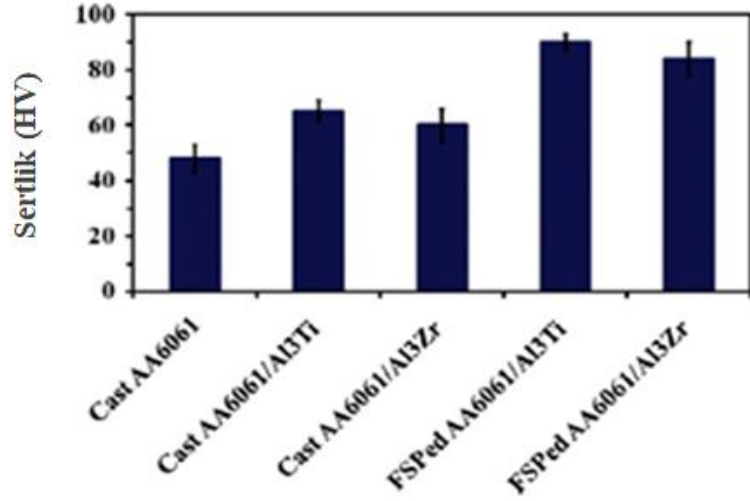
Kök [20] 2024 alüminyum alaşımına Al₂O₃ takviyesini vortex metodu ile elde edip aşınma davranışlarını incelemiştir. Aşınma direncinin Al₂O₃ partiküllerinin yüzdesi ve boyutu arttıkça arttığı gözlemlenmiştir. Farklı parametrelerde hazırlanmış numunelerin aşınma oranları şekil 3.7’de gösterilmektedir.



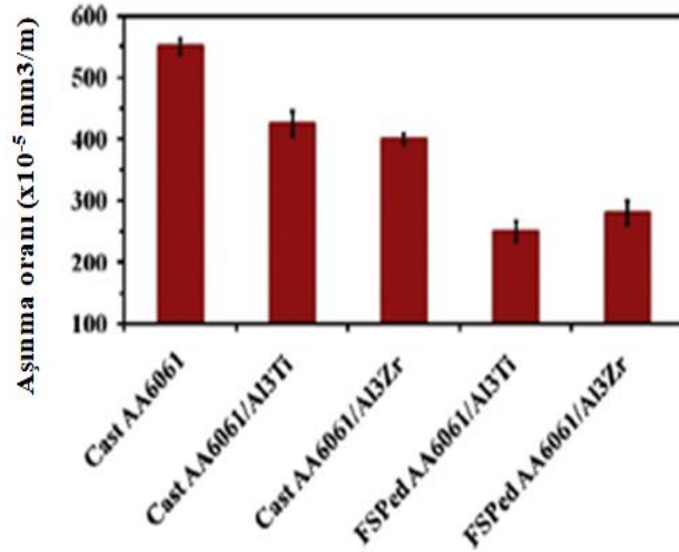
şekil 3.7 : Aşınma hacim kayıplarının kayma mesafesi ve Al₂O₃ partiküllerine bağlı değişimleri [20].

Dinaharan ve arkadaşları [21] 6061 alüminyum alaşımı ile Al₃Ti ve Al₃Zr intermetaliklerinin ilave edilerek kariştırmalı döküm yöntemi ile elde ettikleri kompozitin sertlik ve aşınma özelliklerini incelemişlerdir. Al₃Ti ve Al₃Zr intermetaliklerinin eldesini inorganik tuzlar olan K₂TiF₆ ve K₂ZrF₆ yardımı ile elde

etmişlerdir. Elde edilen kompozitlerin sertlikleri ve aşınma oranları Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'de verilmektedir.

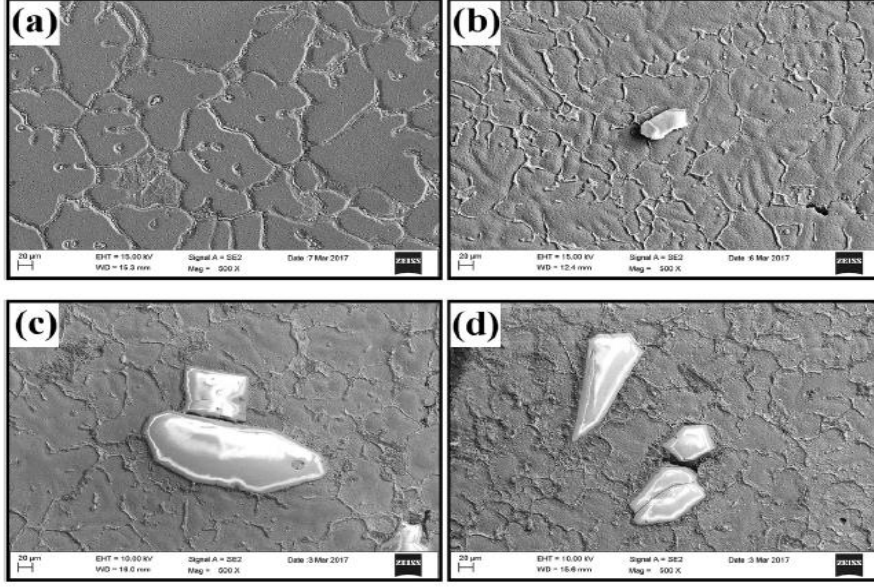


Şekil 3.8 : 6061 alaşımının Al₃Ti ve Al₃Zr ile oluşturduğu kompozitlerin sertlik sonuçları [21].



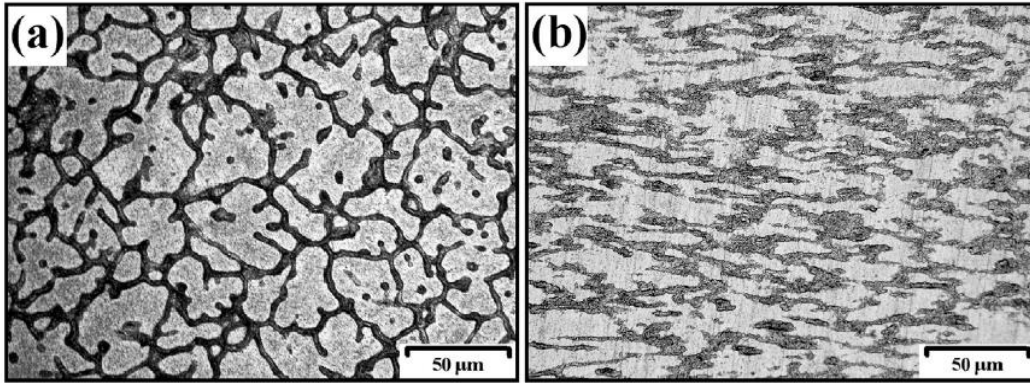
Şekil 3.9 : 6061 alaşımının Al₃Ti ve Al₃Zr ile oluşturduğu kompozitlerin aşınma oranı sonuçları [21].

Dinaharan ve arkadaşlarının bir diğer çalışmasında ise [22] 6061 alüminyum alaşımına karıştırılmalı döküm ve normal döküm yöntemleri ile farklı ağırlıkça oranlarda (%0, 5, 10 ve 15) Al₂Cu intermetalik takviyesi ile üretilen kompozitlerin mekanik davranışlarını araştırmışlardır. 6061/Al₂Cu kompozit numunelerinin FESEM görüntüleri Şekil 3.10'te gösterilmektedir.



Şekil 3.10 : 6061/Al₂Cu kompozitinin FESEM görüntüleri (a) %0, (b) %5, (c) %10, (d) %15 [22].

Normal dökümden sonra Al₂Cu partiküllerinde irileşme gözlemlenmiştir. Aynı zamanda porlar ve segregasyonlar bulunmuştur. Karıştırmalı döküm sonrasında ise tane iriliğinde bir azalma gözlemlenmemiş ve porlu yapı ile segregasyonlar tamamen kaybolmuştur. Şekil 3.11 'te ise optik görüntüleri verilmektedir.



Şekil 3.11 : 6061/Al₂Cu kompozitinin optik mikroskop görüntüleri (a) döküm ortamı (b)karıştırmalı döküm [22].

Bunun yanı sıra yoğun plastik deformasyondan ötürü oluşan çoklu dislokasyon yoğunluğu, karıştırmalı dökümden sonra da gözlenlenmiştir. Normal döküm sonrası çekme özellikleri Çizelge 3.5'da verilmektedir. Karıştırmalı döküm sonrasındaki çekme özellikler ise Çizelge 3.6'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.5 : Normal döküm yöntemi ile hazırlanan 6061/Al₂Cu numunelerin çekme testi sonuçları [22].

Al ₂ Cu (%)	Akma Mukavemeti (MPa)	Maksimum çekme mukavemeti (MPa)	Uzama (%)
0	73	152	6,5
5	85	160	5,5
10	103	175	4,1
15	115	189	3,6

Çizelge 3.6 : Karıştırılmalı döküm ile hazırlanan 6061/ Al₂Cu numunelerin çekme testi sonuçları [22].

Al ₂ Cu (%)	Akma Mukavemeti (MPa)	Maksimum çekme mukavemeti (MPa)	Uzama (%)
0	97	192	12,3
5	127	215	10,2
10	152	255	8,5
15	168	280	8

Özellikle seramik partiküllerle kompozit üretimleri çok fazla araştırmaya konu olmuştur. Termal kararlılık, yüksek sertlik ve görece düşük ağırlık gibi özellikler seramiklerin kullanılmasını arttıran faktörlerden bazılarıdır. Aynı zamanda son dönemlerde popüler olan diğer katkı maddeleri ise intermetalik malzemelerdir. Bunların yanında alüminyumca zengin intermetalik Al₃Ti, Al₃Zr, Al₃Ni, Al₂Cu ve Al₃C₄ gibi partiküller kullanılabilir olası katkı maddeleridir (Çizelge 3.7). Bu malzemeler düşük yoğunluk, yüksek modülüs, yüksek ergime sıcaklığı, geri dönüştürülebilirlik ve düşük termal genleşme gibi özelliklere sahiptir [23,24].

Çizelge 3.7 : Alüminyum esaslı intermetalik bileşiklerinin fiziksel özellikleri [23,24].

İntermetalik Yapı	Kristal Yapısı	Kafes Sabiti	Elastisite Modülü (GPa)	Yoğunluk(g/cm ³)	Ergime Noktası (K)
Al ₃ Ti	Tetragonal	3,849	166-230	3,366	1610
Al ₃ Zr	Tetragonal	4,372	196-205	4,125	1850
Al ₃ Ni	Ortorombik	3,589	116-140	4,00	1160
Al ₂ Cu	Tetragonal	4,819	81-158	4,382	820

3.1 Alüminyum 7075 Alaşımli Kompozit Çalışmaları

Geçtiğimiz son 70 yılda, Alüminyum 7075 alaşım malzemeleri otomobil, havacılık ve denizcilik uygulamalarında, Amerikan askeri silahlarında, bisikletlerde vb. bir çok alanda arzu edilen bileşenlerde farklı yapılarda kullanılmaktadır. Bu malzemeler aynı zamanda düşük ağırlık ve yüksek mukavemet sağladığından bu malzemelere olan talep artmıştır [25].

Al-7xxx serisindeki alaşımlar aynı zamanda alüminyum-çinko alaşımı olarak adlandırılmaktadır. Bunun nedeni yüzde 5-6 civarında çinko içermelerindendir.

Çizelge 3.8 : 7075 alaşımının içeriği [25].

Bileşen	Zn	Si	Fe	Ti	Cu	Mn	Mg	Cr	Diğer	Esas
Yüzde	5,1-6,1	0,40	12,3	0,20	1,2-2,0	0,30	2,1-2,9	0,18-0,28	0,65	Al

Bu seri ilk olarak gizli bir şekilde Japon firması olan Sumitomo Metal tarafından 1943 yılında bulunmuştur. Alüminyum alaşımı matris olarak kullanılmakta ve eklenti olarak arzu edildiği gibi tekli veya çoklu partiküller halinde SiC, Al₂O₃, Gr, TiO₂, B₄C, AlN gibi malzemeler takviye edilebilmektedir. Bu çalışmalar farklı alanlarda kullanımını arttırmaktadır. Son dönemlerdeki çalışmalar metal matris kompozitlerin fiziksel özellikleri (termal genleşme, yoğunluk), mekanik özellikleri (çekme ve basma davranışları), aşınma özelliklerini çeşitli takviyeler ile değiştirmeye yöneliktir [26].

Alüminyum metal matris kompozitlerin sistemi, kombinasyonu veya karıştırma prosesleri için ikiden fazla makro, mikro veya nano yapılar farklı kimyasal kompozisyonları gösterebilir. Ayrıca eklenen bu yapılar faz içerisinde çözünmezler. Alüminyum matris kompozitler çok fazla varyasyonda mekanik davranış ve kimyasal kompozisyon göstermesinden dolayı kullanım alanında bir o kadar çeşitlenmiştir.

7075 alaşımı (Al-Zn-Mg-Cu) ısıtıl işlem uygulanabilir bir malzeme olmakla birlikte yaşlandırma ile en çok tercih edilen ısıtıl işlem yöntemi mekanik özelliklerini arttırdığından dolayı T6 prosesidir. Uygun bir çözelti işleminin koşulları malzemenin mekanik özelliklerini arttırmada çok önemli bir yere sahiptir.

Son zamanlarda, döküm ve çözelti işlemi görmüş Al-Zn-Mg-Cu alaşımlarının mikroyapıları üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle η (MgZn₂), T(Al₂Mg₃Zn₃), S(Al₂CuMg), θ (Al₂Cu), Al₇Cu₂Fe, Al₁₃Fe₄ ve Mg₂S bazı intermetalik

yapılar bu çalışmalar ile elde edilmiştir [27,28]. Bir çok çalışma bu intermetalik fazları ısıtma işlemi ile geliştirmeyi amaçlamıştır.

- Peng ve diğerleri Al-Zn-Mg-Cu alaışımının ısıtma işlemi sırasında üç çeşit ikinci fazın geliştirilmesi üzerine çalışmıştır; düşük sıcaklıkta $MgZn_2$ çökme sıcaklığının aralığı, $MgZn_2$ 'nin orta sıcaklıkta çözünmesi ve kalınlaştırılması, Orta ve yüksek sıcaklıklarda Al_2CuMg 'nin çözünmesi [29].
- Xu ve arkadaşları $MgZn_2$ yapısının $475^\circ C$ sıcaklıkta tuttuktan sonra tamamen çözünebilirliğini araştırmışlardır. Oysa ki Al_2CuMg partiküllerinin çözünmesi 7150 alaışımında çok zordur [30].

Prasad ve arkadaşları [31] karıştırmalı döküm yöntemi ile 7075/nano-MgO kompozit eldesinin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Bu testlerin sonuçları Çizelge 3.9, Çizelge 3.10 ve Çizelge 3.11'de verilmektedir. Çekme testinin sonuçlarında MgO oranı arttıkça çekme mukavemetinde arttığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 3.9 : 7075/nano-MgO numunelerinin çekme testi sonuçları [31].

Numune	Kompozisyon	Maksimum çekme mukavemeti (MPa)	Maksimum Yük (kN)
A	100%Al7075	50,887	5,220
B	95%Al7075+5%MgO	137,042	13,500
C	90%Al7075+10%MgO	197,211	19,800

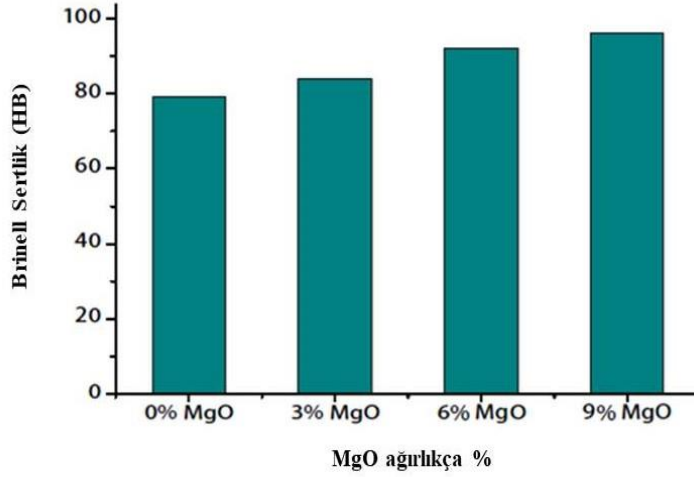
Çizelge 3.10 : 7075/nano-MgO numunelerinin darbe testi sonuçları [31].

Numune	Kompozisyon	Gözlemlenen Değer (Joules)
A	100%Al7075	2
B	95%Al7075+5%MgO	2
C	90%Al7075+10%MgO	2

Çizelge 3.11 : 7075/nano-MgO numunelerinin sertlik testi sonuçları [31].

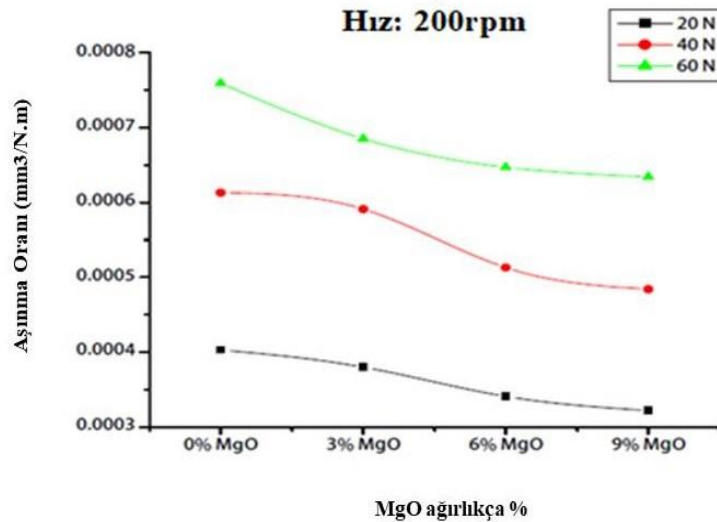
Specimen	Kompozisyon	Gözlemlenen Değer (HB)
A	100%Al7075	96,8
B	95%Al7075+5%MgO	92,1
C	90%Al7075+10%MgO	100

Rao ve Govindaraju [32] aşınma özelliklerini ve sertlik davranışını incelemek için farklı ağırlıkça oranlarda MgO ile 7075 alaşımını karıştırmalı döküm yöntemi kullanılarak üretmişlerdir. MgO oranları arttıkça kompozitin sertliğinde artış gözlemlenmiştir (Şekil 3.12).

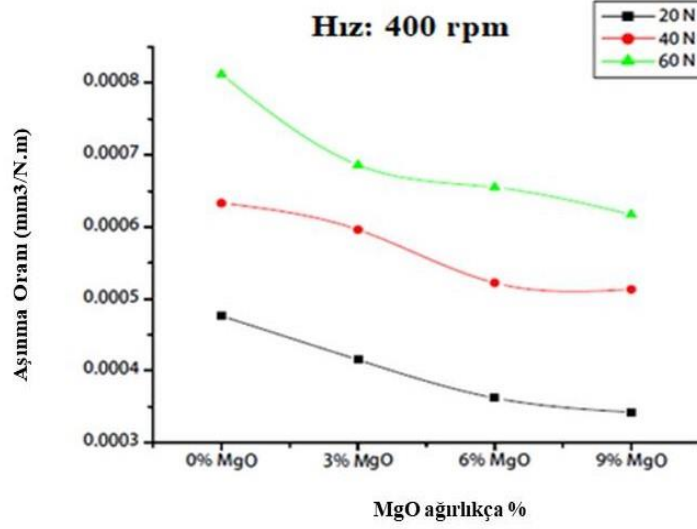


Şekil 3.12 : 7075/MgO numunelerinin Brinell sertlik sonuçları [32].

Aşınma davranışını incelemek üzere farklı yükler ve farklı hızlarda aşınma oranları hesaplanmıştır. MgO oranı arttıkça aşınma direnci arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 3.13) ve (Şekil 3.14).



Şekil 3.13 : 7075/MgO numunelerinin farklı yük ve sabit hızda (200 rpm) aşınma oranı sonuçları [32].



Şekil 3.14 : 7075/MgO numunelerinin farklı yük ve sabit hızda (400 rpm) aşınma oranı sonuçları [32].

Ravi [33] 7075/SiC/TiC hibrit metal matris kompozitini karıştırmalı döküm yöntemi ile üretilen mekanik özelliklerini incelemiştir. Her iki katkı maddesinin ağırlıkça %5 oranlarında alüminyum alaşımına ilave edilmiştir. Çizelge 3.12’de elde edilen hibrit kompozitin mekanik özellikleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.12 : 7075/SiC/TiC numunelerinin mekanik test sonuçları [33].

Test	Maksimum Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	Sertlik (HB)	Akma Gerilmesi (N/mm ²)	Darbe Mukavemeti (Joules)
7075	320	95	310	2,31
7075/SiC	330	140	319	2,62
7075/TiC	345	195	328	3,34
7075/SiC/TiC	368	229	351	4,2

Anitha ve arkadaşları [34] kontrollü atmosfer ortamında karıştırmalı döküm yöntemi ile 7075/Al₂O₃/Gr hibrit kompozitinin aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Aşınma davranışlarını incelerken ağırlıkça farklı oranlarda Al₂O₃ ve Gr eklemişlerdir. Aynı zamanda aşınma testi için farklı yük ve kayma mesafeleri uygulanmıştır. Çizelge 3.13'te oluşturulan ve test edilen kompozitin varyasyonları verilmektedir. Aşınma testinin sonuçları Çizelge 3.14'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.13 : 7075/Al₂O₃/Gr numunelerinin bileşik varyasyonları [34].

Test	Parametreler	Birim	1	2	3
1	Al ₂ O ₃	Ağırlıkça %	0	3	-
2	Gr	Ağırlıkça %	2	4	6
3	Uygulanan Yük	N	10	20	30
4	Kayma Mesafesi	m	1000	1500	2000

Çizelge 3.14 : 7075/Al₂O₃/Gr numunelerinin aşınma ve sürtünme katsayılarının sonuçları [34].

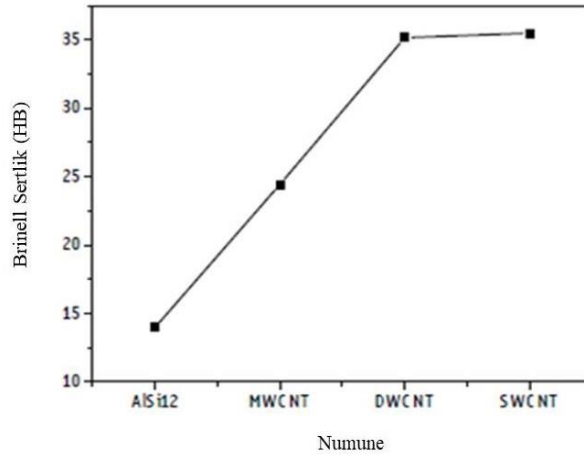
Test	Al ₂ O ₃ ağırlıkça%	Gr ağırlıkça%	Uygulanan Yük (N)	Kayma Mesafesi (m)	Aşınma	Sürtünme Katsayısı
1	0	2	10	1000	58,33	0,144
2	0	2	20	1500	117,65	0,222
3	0	2	30	2000	166,37	0,282
4	0	4	10	1000	39,33	0,115
5	0	4	20	1500	155,02	0,205
6	0	4	30	2000	161,41	0,245
7	0	6	10	1500	45,03	0,113
8	0	6	20	2000	118,83	0,165
9	0	6	30	1000	139,27	0,18
10	3	2	10	2000	52,11	0,160
11	3	2	20	1000	106,78	0,155
12	3	2	30	1500	125,47	0,258
13	3	4	10	1500	38,23	0,128
14	3	4	20	2000	110,511	0,164
15	3	4	30	1000	127,19	0,246
16	3	6	10	2000	46,78	0,122
17	3	6	20	1000	96,25	0,170
18	3	6	30	1500	81,32	0,198

- Topçu ve diğerleri [35], yaptıkları çalışmada B₄C takviyeli Al matrisli kompozit malzemleri toz metalurjisi yöntemi ile üretmiş ve farklı ağırlıkça

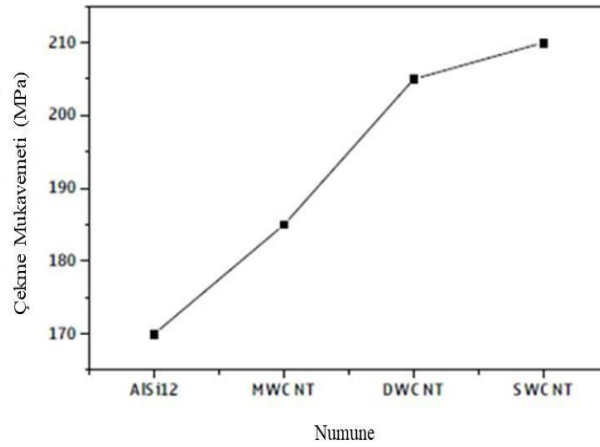
B₄C oranları ile sinterleme sıcaklığının parçaların yoğunluk, sertlik, darbe direnci ve sürünme değerlerine olan etkilerini araştırmışlardır. Sonuçlar sonucunda sinterleme sıcaklığı arttıkça yoğunluk değerlerinin teorik yoğunluğa yaklaştığı, sertlik değerlerinin ise B₄C oranı ve sinterleme sıcaklığı ile doğru orantılı arttığı gözlemlenmiştir.

3.2 AlSi12 Alaşımli Kompozit Çalışmaları

Srinivasulu ve arkadaşları [36] toz metalurjisi yöntemi ile AlSi12 alaşımına tekli, çiftli ve çoklu karbon nano tüp ilavesi ile elde ettikleri kompozit yapının mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Şekil 2.15 ve Şekil 2.16’da sırası ile kompozitin sertlik ve gerilme mukavemet sonuçları verilmektedir. Sertlik ölçümleri 160 kN yük altında uygulanmıştır.



Şekil 3.15 : AlSi12/karbon nanotüp sertlik testi sonuçları [36].



Şekil 3.16 : AlSi12/karbon nanotüp çekme testi sonuçları [36].

Dolata [30] infiltrasyon yöntemi ile elde edilen AlSi12/Al₂O₃ kompozitinin tribolojik özelliklerini incelemiştir. İlave edilen farklı porozitelere sahip Al₂O₃ varyasyonları Çizelge 3.15'te verilmektedir. Katkısız AlSi12, AlSi12/Al₂O₃-1, AlSi12/Al₂O₃-2 sürtünme katsayılarının sonuçları sırasıyla 0,40, 0,23, 0,28.

Çizelge 3.15 : AlSi12/Al₂O₃ numunelerinin porozite değerleri [30].

Test	Malzeme	Hacimce Al ₂ O ₃	Por Boyutu (µm)
P0	AlSi12 matris	-	-
P1	AlSi12/Al ₂ O ₃ -1	22	350-550
P2	AlSi12/Al ₂ O ₃ -2	18	300-1100

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Alüminyum Matris Kompozit Üretimi

7075 alüminyum alaşımı sahip olduğu yüksek dayanım ile havacılık sektöründe ve otomotiv sanayinde çok sık kullanılmaktadır. Yüksek dayanımına rağmen 7075 serisinin aşınma direnci ve sertliği düşük kalmaktadır. AlSi12 alaşımı da düşük yoğunluğa sahip, düşük maliyetli alaşım olduğundan otomotiv sektöründe ve havacılıkta kullanılmaktadır. Bu alaşım ise yüksek korozyon direncine sahip olmasına karşın düşük aşınma direnci ve düşük sertlik göstermektedir.

Al_2Cu intermetalik alüminyum alaşımıyla uyumlu olacağı, sertlik ve aşınma direncini arttıracığı düşünüldüğünden katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. Al_2Cu intermetalik alüminyum-bakır faz diyagramına bağlı olarak her iki metalin tozlarının uygun oranlarda karıştırıldıktan sonra sıcak presleme yöntemi uygulanmış ve elde edilen peletler 24, 48 ve 72 saat $550^{\circ}C$ 'de ısıtılma işlemi görmüşlerdir. XRD paternlerinden elde edilen sonuçlara göre 72 saat ısıtılma işlemi görmüş Al_2Cu intermetalik çalışmalarda kullanılmıştır. Oluşan intermetalikler ise toz haline getirilip kompozite eklenmiştir (Şekil 4.1).

Alüminyum matris ve Al_2Cu intermetaliklerinin oluşturacağı kompozite toz halinde bir yağlayıcı olarak kullanılan h-BN malzemesi sürtünme katsayısını düşürebileceği düşünüldüğünden ilave edilmiştir.



Şekil 4.1 : Al_2Cu peletlerini toz haline getirmek için kullanılan havan.

Havan yardımıyla toz haline getirilen Al_2Cu intermetalği homojen dağılım gösteren boyutlara sahip değildir. Elle karıştırılan tozların sıcak presleme işlemi için tek yönlü sıcak pres ünitesi maksimum 200 bar kapasitelidir. Sıcak presleme yöntemi ile toz halde karıştırılan kompozitler çapı 21.5 mm olan peletler halinde elde edilmiştir. Her bir numunenin presleme sonrası ve ısıtma işlemi sonrası aşınma davranışları kıyaslanmıştır. Şekil 4.2’de işlemde kullanılan sıcak presleme cihazının fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 4.2 : Sıcak pres ünitesi.

Yaklaşık 2.5 gram olacak şekilde hazırlanan tozlar sıcak preslemenin alt ünitesine dökülerek Çizelge 4.1’de verilen parametrelerde presleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.1 : Sıcak presleme işlemi için uygulanan parametreler.

Parametre	Değer
Sıcaklık (°C)	200
Basınç (bar)	100
Süre (dk)	15

Yapılan performans testleri sonucunda en iyi sonuç veren numunelere mikro-ark oksidasyon (MAO) yöntemi ile kaplama işlemi yapılmıştır. Kullanılan MAO ünitesi 30 kW güç kapasitelidir. Şekil 4.3’te işlemde kullanılan mikro-ark oksidasyon cihazı ve işlem esnasında numunenin fotoğrafı verilmektedir.



Şekil 4.3 : MAO ünitesi ve işlem sırasında numune yüzeyinde oluşan mikro-arklar.

İşlem için kaplanacak numune güç kaynağına anot olarak bağlanırken, katot olarak paslanmaz çelik kap kullanılmıştır. Kaplama işlemi için belirlenen optimum parametreler Çizelge 4.2’te verilmiştir. MAO yöntemi sabit voltaj, değişken akım şartlarıyla uygulanmıştır.

Çizelge 4.2 : MAO işlemi için uygulanan parametreler.

Parametre	Değer
Pozitif Voltaj (V)	500
Negatif Voltaj (V)	90
Frekans	625 Hz
Süre	8 dk

İşlem için kullanılan elektrolitin içeriği 10 g/L NaAlO_2 , 2 g/L KOH, 2 g/L Na_3PO_4 olarak belirlenmiştir. Kaplama işlemi sonunda elektrolit içerisinde çıkarılan numuneler saf su içerisine daldırılarak yüzeyleri temizlenip oda sıcaklığında kurutulmuştur.

4.2 Karakterizasyon Çalışmaları

Numunelerin faz analizleri için X-ışını difraksiyonu (XRD) incelemeleri, GBC MMA 027 marka XRD cihazında $\text{CuK}\alpha$ tüp kullanılarak, $10-90^\circ$ arasında 2° derece/dakika hızla ile taranarak yapılmıştır. Numuneler arasından en yüksek sertlik ve aşınma direnci gösteren kompozitlerin aşınma yüzeylerinin görüntüleri ve kaplama sonrasındaki incelemeleri EDS donanımlı HITACHI TM-1000 marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yapılmıştır.

Numune kesitlerinin incelenebilmesi için peletlerin ortadan kesilmiş iç yüzleri sıcak bakalite alınmıştır. Ardından bakalite alınmış numuneler 240, 320, 400, 600, 800,

1000, 1200, 2500 meş SiC zımpara ile zımparalanmıştır. Zımparalama sonrası sırasıyla 1 µm alümina ve 0,05 µm silika içeren çözeltiler ile parlatma işlemi yapılmıştır.

Numunelerin kesit incelemesi için optik görüntüleri LEICA DM750M ICC50 markalı cihazla yapılmıştır. Kesitlerin 50x, 100x, 200x, 500x büyüklüklerde görüntüleri çekilmiştir.

4.3 Numunelerin Sertlik Ölçümü

Kompozitlerin sertlik ölçümleri Wilson Tukon 1102 marka Vickers sertlik cihazı ile bakalit içerisine alınmış numunelerin kesitlerinden 1 kg yük uygulanarak yapılmıştır.

4.4 Aşınma Testleri

Aşınma testleri öncesi numunelerin yüzey pürüzlülükleri ince zımparalama ile azaltılmıştır. Aşınma testleri sırasında ortam nem seviyesi %30'un altında tutulmuştur. Aşınma testlerinden sonra numuneler üzerinde oluşan izlerin iki boyutlu profilleri Veeco Dectac 6M profilometre cihazında, 12,5 µm'lik uç ve 3 mg yük altında, 12 sn boyunca 2 mm'lik mesafe taranarak ölçülmüştür.

Numunelerin aşınma davranışlarını incelemek için aşınma testleri kuru ortamda Şekil 4.4'te görülen karşıt hareketli Tribotech aşınma cihazında yapılmıştır. Aşındırıcı olarak 6 mm çapında Al₂O₃ top kullanılmıştır. Aşınma deneylerinde her bir numune 10 mm/sn hız, 1 N yük altında, 25000 mm kayma mesafesinde ve 5 mm uzunluğunda aşınma izi oluşturularak yapılmıştır.

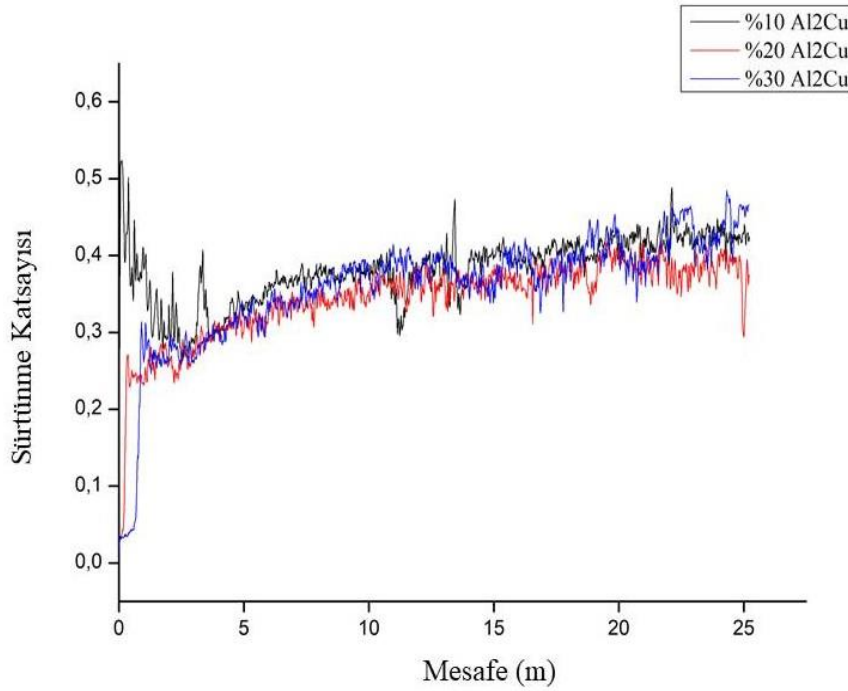


Şekil 4.4 : Çalışmada kullanılan karşıt hareketli Tribotech aşınma cihazı.

5. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

5.1 Al₂Cu İntermetalığının Optimizasyonu

Matrise ilave edilecek Al₂Cu intermetalığının hacimce optimum miktarını belirlemek adına AlSi12 alaşımına hacimce %10, 20 ve 30 oranlarında eklenerek ön çalışma yapılmıştır. Bu ön çalışmada numunelerin aşınma testinde elde edilen sürtünme katsayıları ve sertlik değerleri dikkate alınmıştır. Sırasıyla numunelerin sürtünme katsayılarının grafiği Şekil 5.1’de ve sayısal değerleri Çizelge 5.1’de verilmektedir. Numunelerin sertlik sonuçları Çizelge 5.2’de verilmektedir. Sonuçlar doğrultusunda çalışmada matrislere eklenecek Al₂Cu miktarı %30 olarak belirlenmiştir. Yüksek oranda yoğunluk artışı istenmediğinden dolayı %30 üzerinde ki değerler kullanılmamıştır.



Şekil 5.1 : AlSi12/Al₂Cu (%10, 20 ve 30) numunelerinin sürtünme katsayısı grafikleri.

Çizelge 5.1 : AlSi12/Al₂Cu (%10, 20 ve 30) numunelerinin sürtünme katsayısı sonuçları.

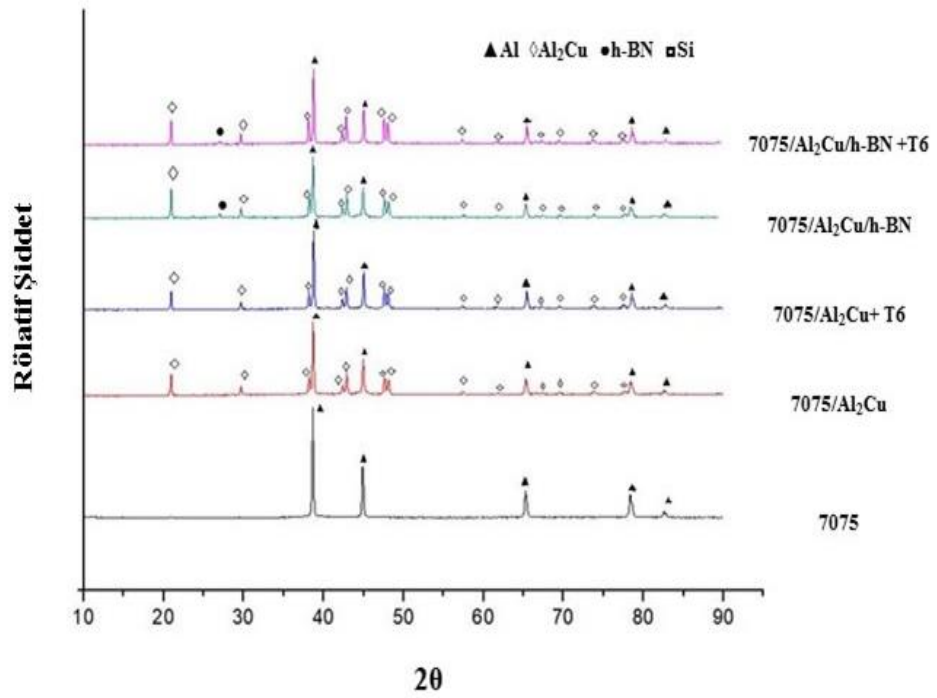
Numuneler	Sürtünme Katsayısı	Teorik Yoğunluk (g/cm ³)
AlSi12/%10Al ₂ Cu	0,382	2,87
AlSi12/%20Al ₂ Cu	0,344	3,04
AlSi12/%30Al ₂ Cu	0,359	3,21

Çizelge 5.2 : AlSi12/Al₂Cu (%10, 20 ve 30) numunelerinin sertlik değerleri.

Numuneler	Sertlik (HV1)
AlSi12/%10Al ₂ Cu	115
AlSi12/%20Al ₂ Cu	120
AlSi12/%30Al ₂ Cu	137

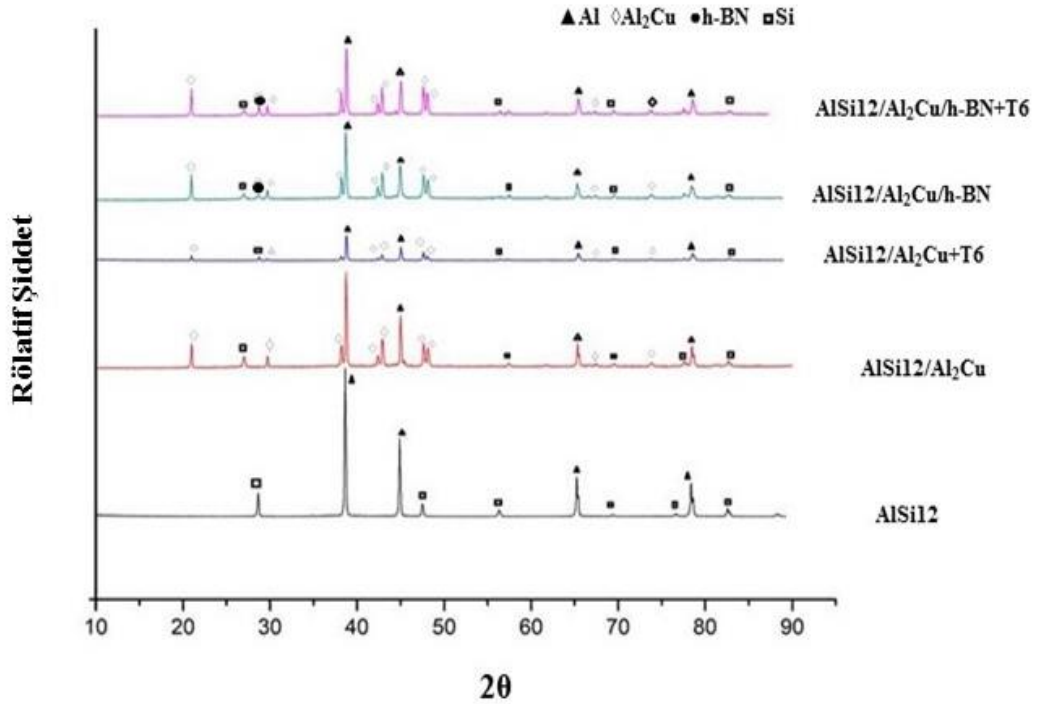
5.2 XRD Analizleri

7075 alaşımı ve katkı maddelerinin ilavesi ile hazırlanan kompozit malzemelerinin XRD paternleri Şekil 5.2’de verilmektedir. Üretilen kompozit yapıların tümünde başarılı bir şekilde Al₂Cu intermetalığının yapıya kazandırıldığı görülmektedir. Aynı zamanda h-BN içeren kompozitlerde bu katkı malzemesinin oluşturduğu fazların pikleri de görülmektedir. Alüminyum piklerinin bulunduğu yerlerde aynı zamanda Al-Zn fazı bulunmaktadır. Baskın bir şekilde Al ve Cu elementleri bulunduğundan dolayı düşük miktarda bulunan çinkonun alüminyum içerisinde çözünmesiyle oluşan yapı alüminyum piklerinin altında kalmaktadır. AlSi12 alaşımı ve katkı maddelerinin ilavesi ile hazırlanan kompozit malzemelerinin XRD paternleri Şekil 5.3’de verilmektedir.



Şekil 5.2 : 7075 alaşımı ile hazırlanan kompozitlerin XRD paternleri.

AlSi12 ile hazırlanan kompozit numunelerinin hepsinde Al_2Cu fazının yapıya kazandırıldığı görülmektedir. Aynı zamanda h-BN içeren kompozitlerde bu katkı malzemesinin oluşturduğu fazların pikleri de görülmektedir.

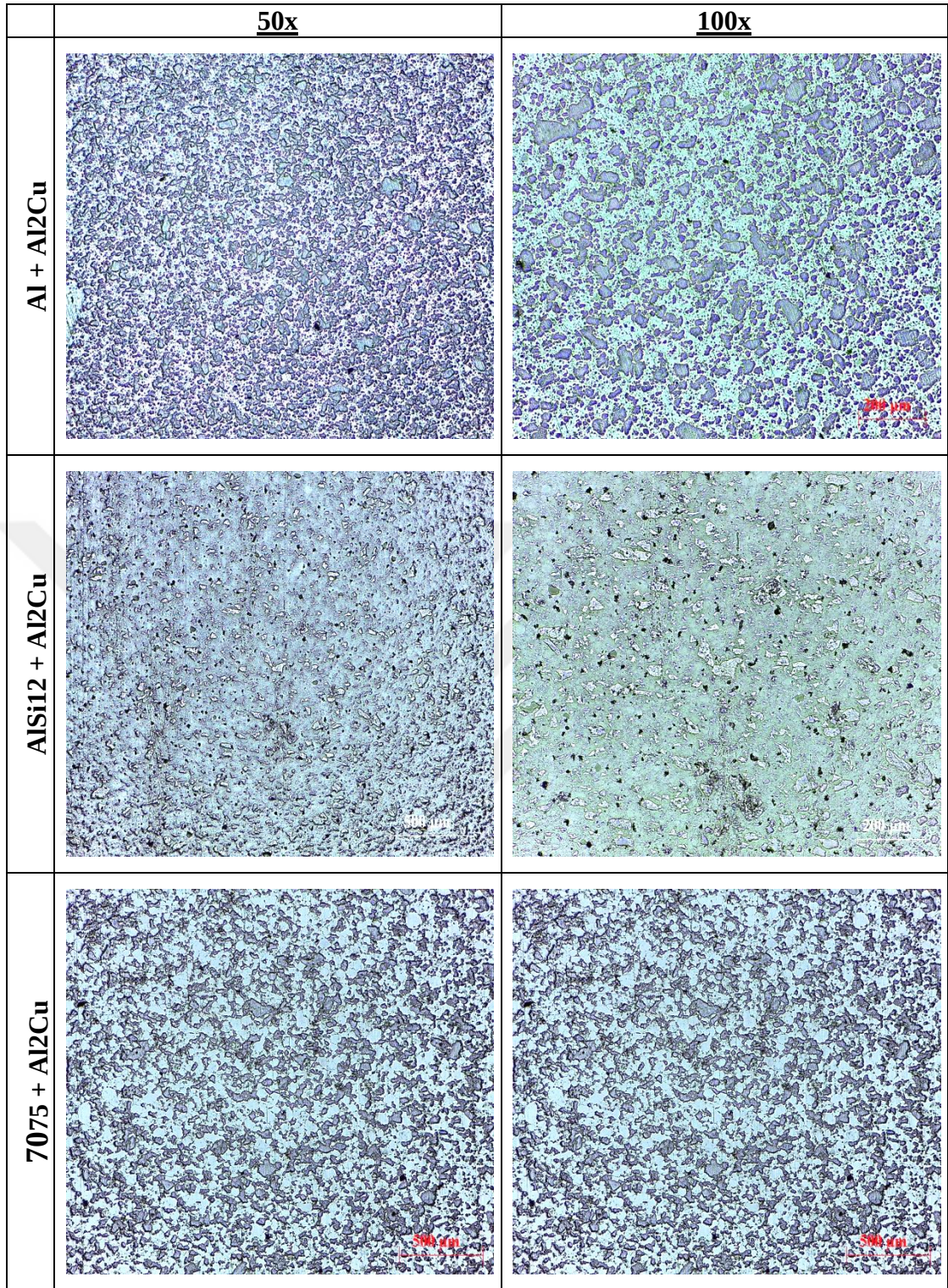


Şekil 5.3 : AlSi12 alaşımı ile hazırlanan kompozitlerin XRD paternleri.

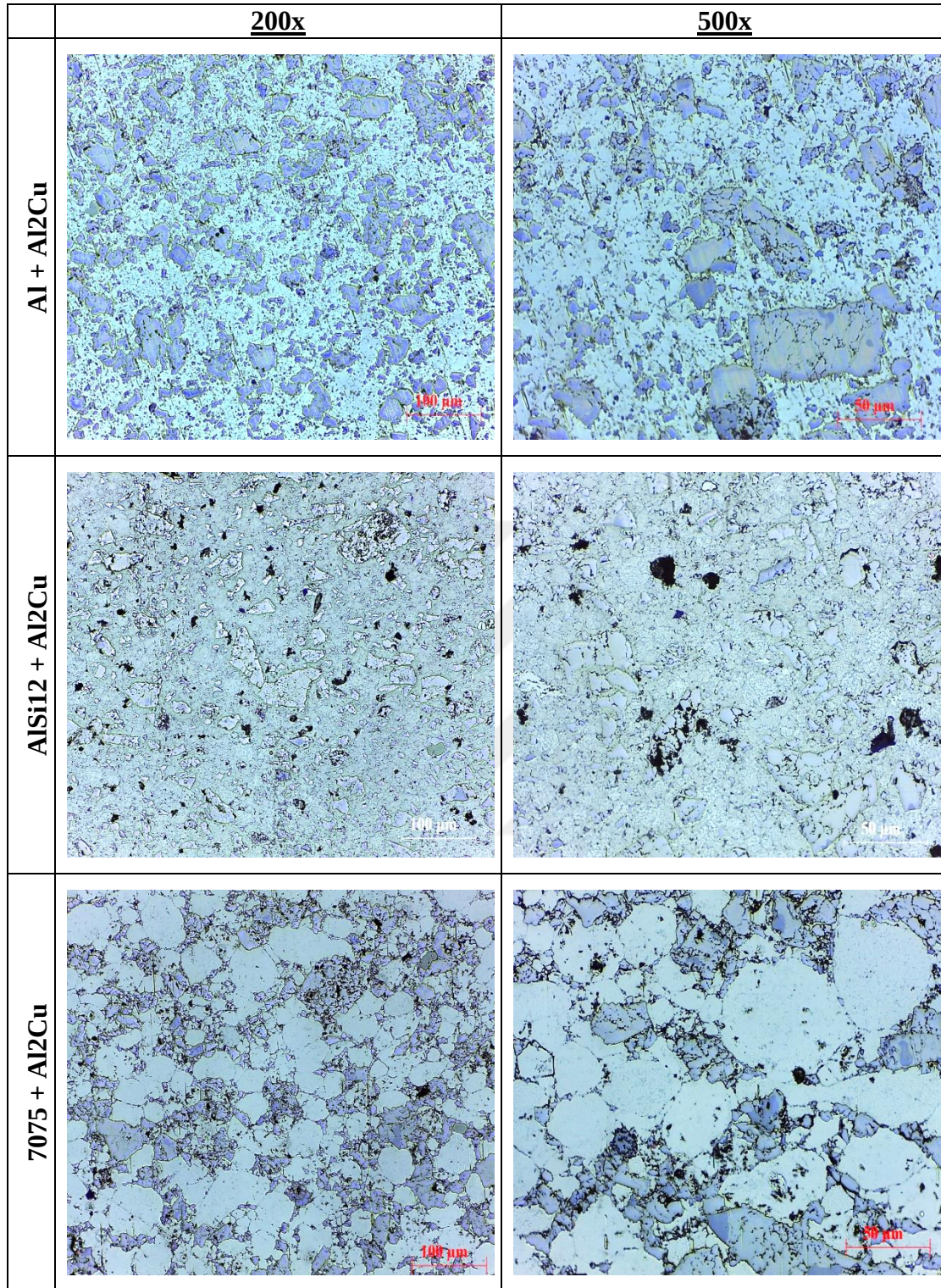
5.3 Optik Mikroskop Görüntüleri

Farklı parametrelerde sıcak pres yöntemiyle üretilen kompozitlerin metalografik işlemlerden sonra kesit görüntüleri optik mikroskop ile incelenmiştir (Şekil 5.4). Optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde katkı olarak kullanılan ilave maddelerin homojen bir dağılım gösterdiği görülmektedir. Pres yöntemi ile ürettiğimiz ardından ısıt işlem ile nihai intermetalik yapısını elde ettiğimiz Al_2Cu malzemesi havan yardımı ile toz haline getirildiği için homojen boyutlara sahip değildir.

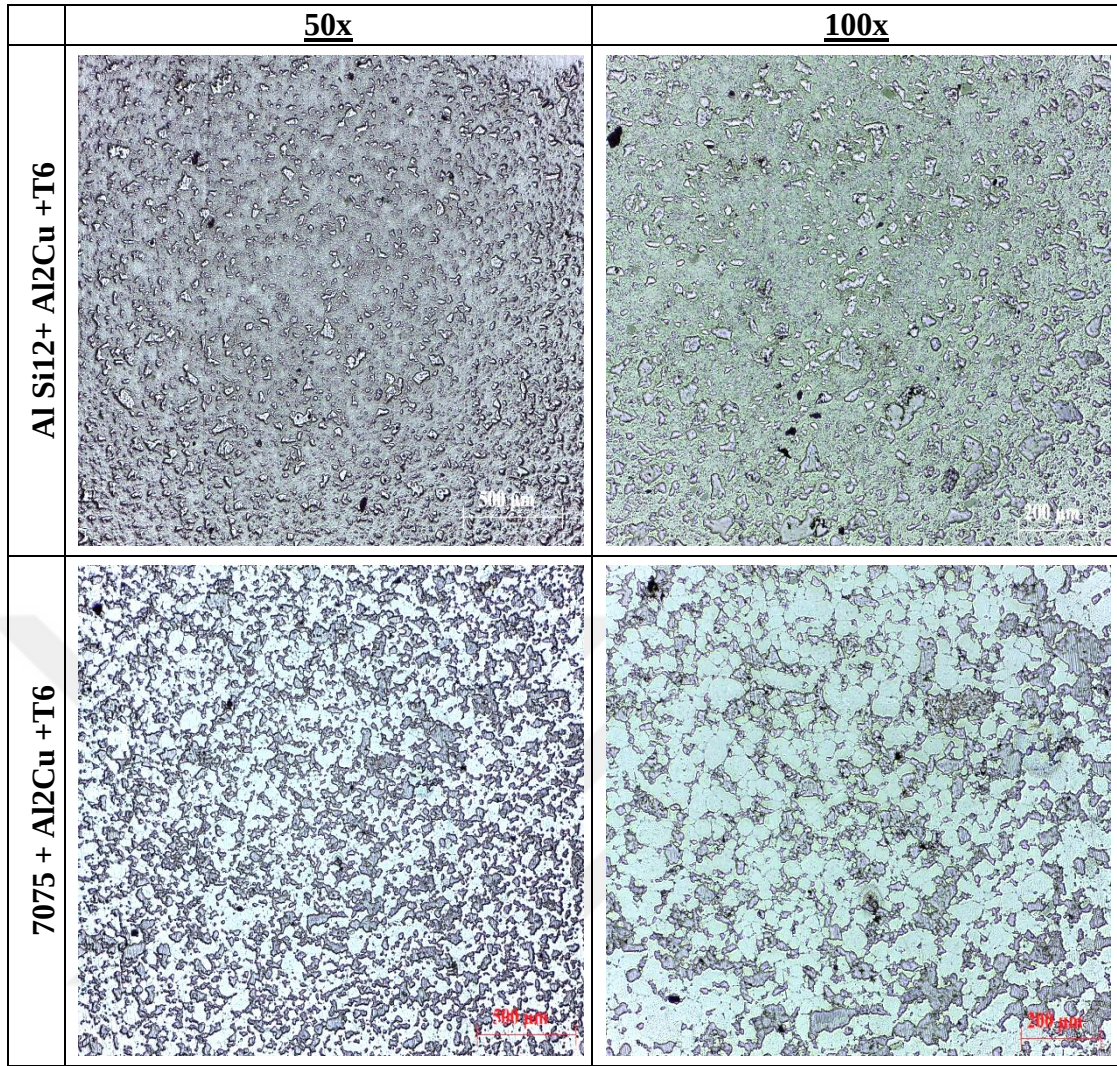




Şekil 5.4 : Al₂Cu takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin optik mikroskop görüntüleri (50x, 100x).

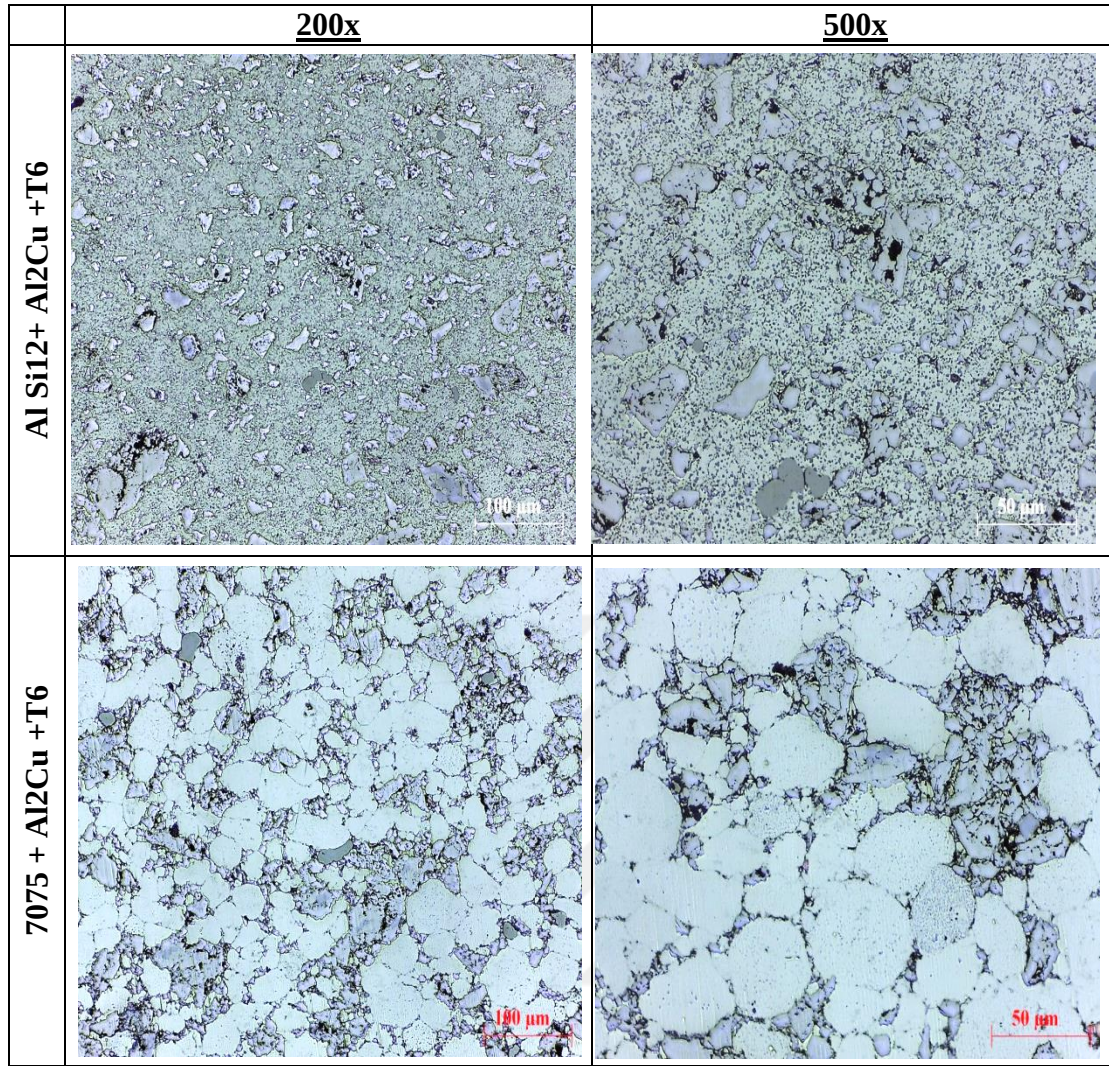


Şekil 5.5 : Al₂Cu takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin optik mikroskop görüntüleri (200x, 500x).



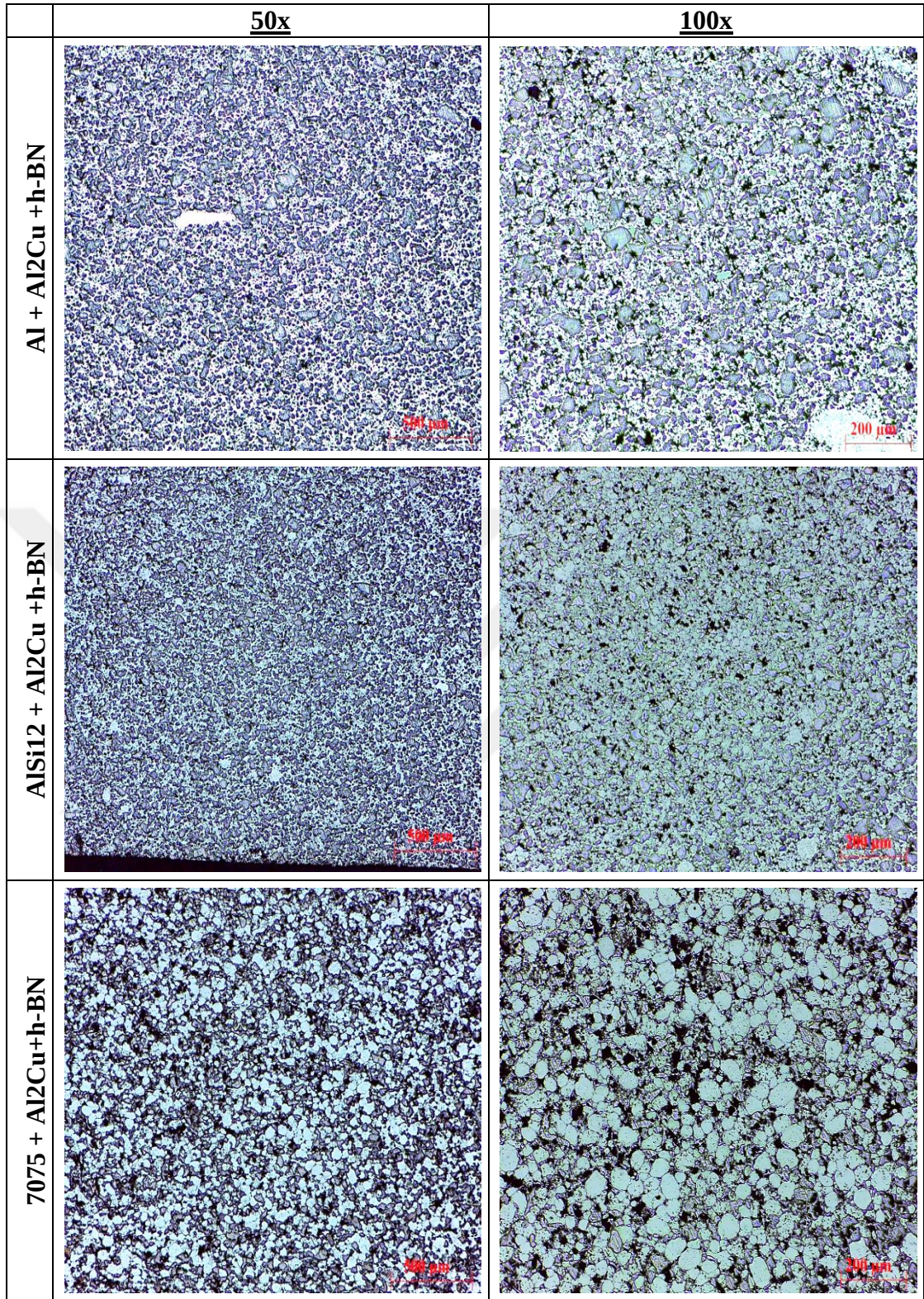
Şekil 5.6 : 7075/Al₂Cu ve AlSi12/Al₂Cu numunelerinin T6 prosesi sonrası optik mikroskop görüntüleri (50x, 100x).

Elle karıştırılan intermetalik tozların sıcak presleme sonrası homojen bir dağılım gösterdikleri ve kompakt bir yapıya sahip oldukları görülmektedir. AlSi12/Al₂Cu kompozitinin kesit görüntülerine bakıldığında ısıtıl işleminden önce bazı delaminasyonlar görülmesine karşın ısıtıl işleminden sonra bu kusurların azaldığı gözlemlenmektedir. Aynı zamanda AlSi12/Al₂Cu kompozitinin optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde silisyumlu yapıların daha belirgin hale geldiği gözlemlenmiştir (Şekil 5.5).

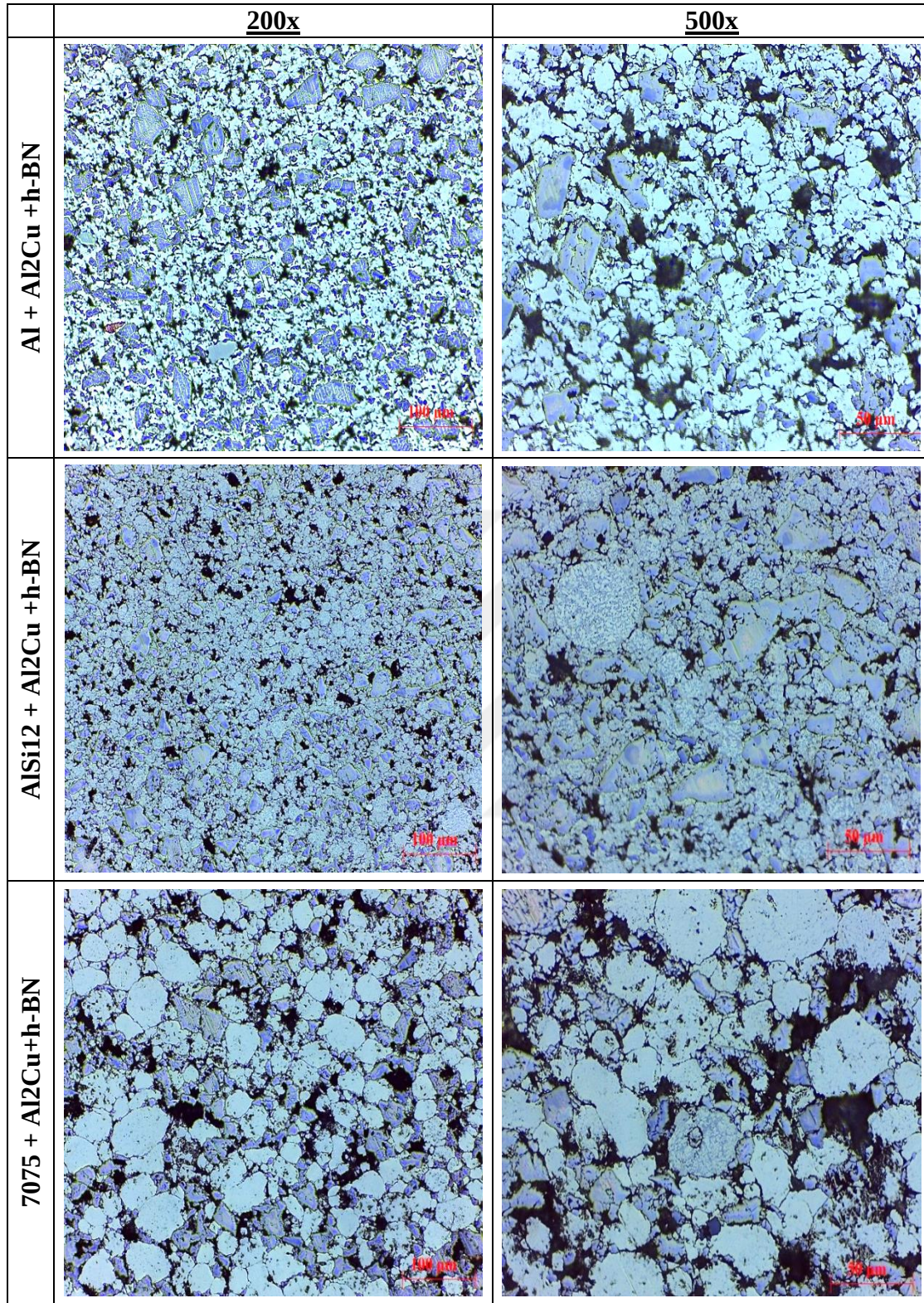


Şekil 5.7 : 7075/Al₂Cu ve AlSi12/Al₂Cu numunelerinin T6 prosesi sonrası optik mikroskop görüntüleri (200x, 500x).

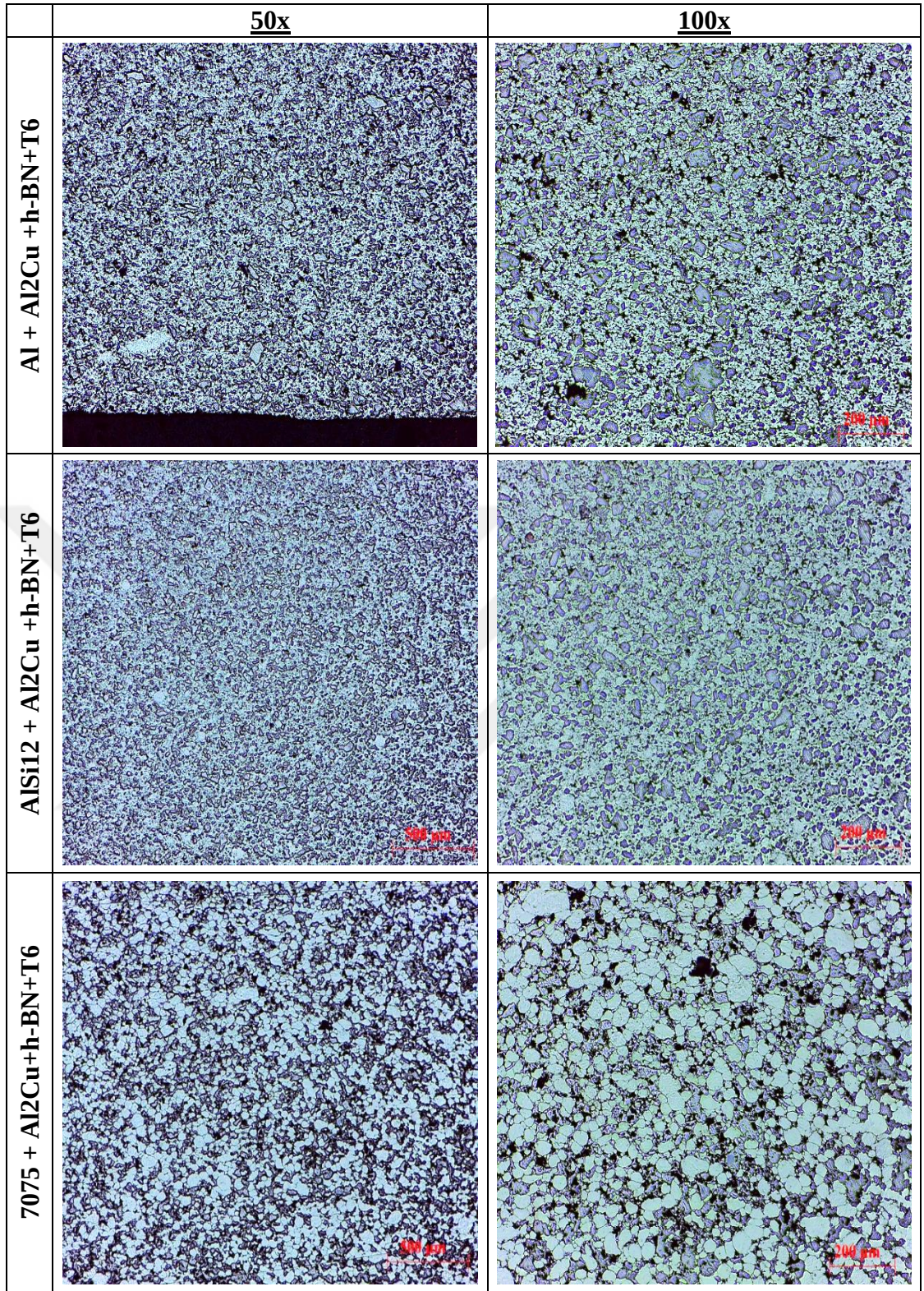
h-BN takviyesinden sonra incelenen kompozitlerde h-BN malzemesinden kaynaklı çok sayıda delaminasyonlar görülmektedir. Katkı maddelerinin homojen bir dağılım göstermesine ve kompakt bir yapıya sahip olmasına karşın h-BN malzemesinin iyi tutunamamasından kaynaklı bu boşluklu yapıların mekanik özellikleri olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir (Şekil 5.6). Isıl işlem sonrasında bu yapıların az miktarda azaldığı yine de h-BN katkısı olmayan numunelere kıyasla aşınma davranışının olumsuz etkilendiği belirlenmiştir (Şekil 5.7).



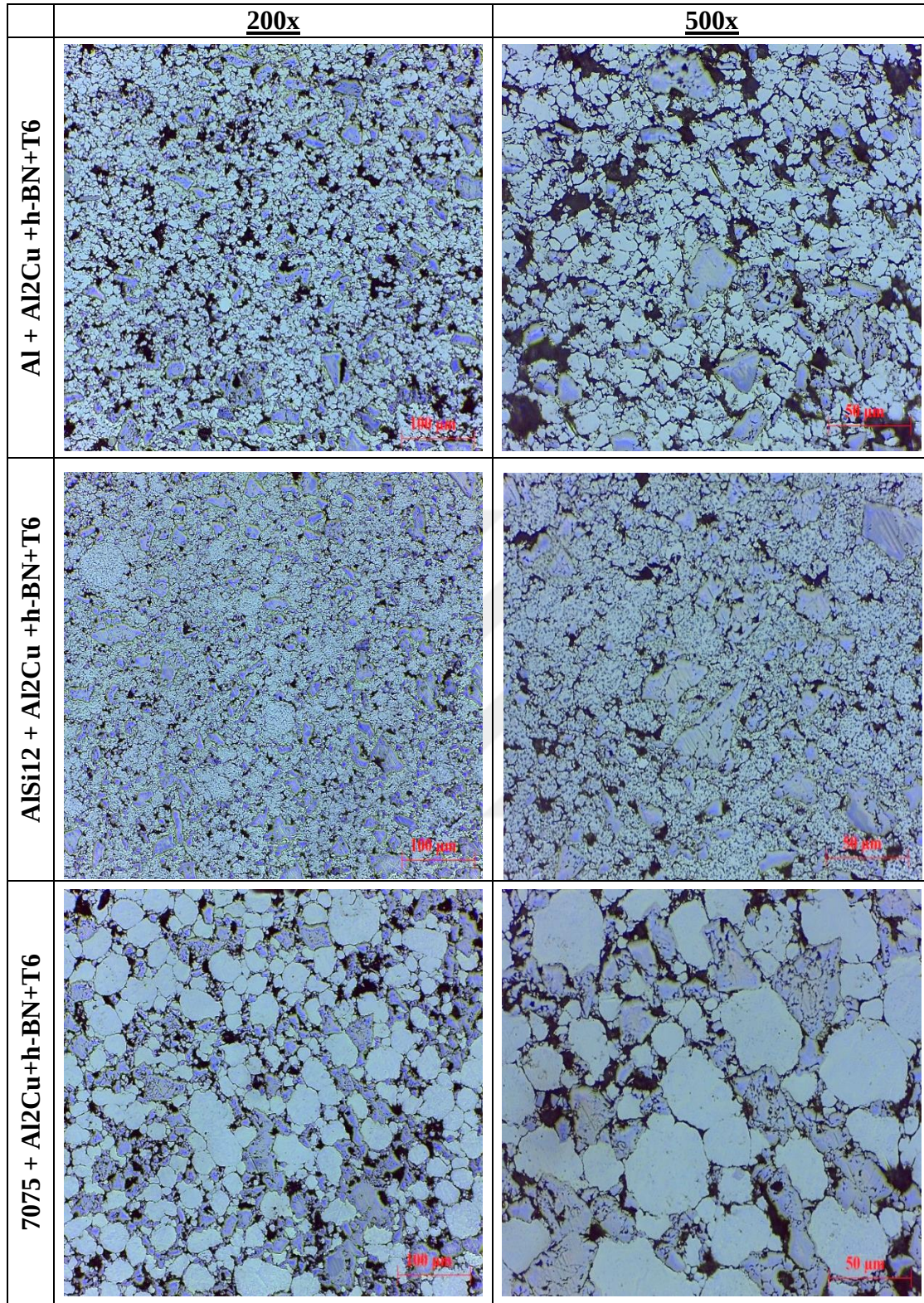
Şekil 5.8 : Al₂Cu ve h-BN takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin optik mikroskop görüntüleri (50x, 100x).



Şekil 5.9 : Al₂Cu ve h-BN takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin optik mikroskop görüntüleri (200x, 500x).



Şekil 5.10 : Al₂Cu ve h-BN takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin T6 işlemi sonrası optik mikroskop görüntüleri (50x, 100x).



Şekil 5.11 : Al₂Cu ve h-BN takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin T6 işleminin sonrası optik mikroskop görüntüleri (200x, 500x).

5.4 Sertlik Testi Sonuçları

Sıcak presleme ile üretilen numunelerin kesit görüntüleri incelendikten sonra sertlik ölçümleri Wilson Tukon 1102 marka Vickers sertlik cihazı ile 1 kg yük altında yapılmıştır. Hazırlanan kompozitlerin sertlik sonuçları Çizelge 5.3’de verilmektedir.

Çizelge 5.3 : Sıcak presleme ile elde edilen numunelerin sertlik değerleri.

Numuneler	Sertlik (HV ₁)
7075	104
7075+T6	155
7075+Al ₂ Cu	129
7075+Al ₂ Cu+T6	140
7075+Al ₂ Cu+h-BN	110
7075+Al ₂ Cu+h-BN+T6	116
AlSi12	57,9
AlSi12+ T6	81,5
AlSi12+ Al ₂ Cu	125
AlSi12+ Al ₂ Cu+T6	137
AlSi12+ Al ₂ Cu+h-BN	109
AlSi12+ Al ₂ Cu+h-BN+T6	107
Al	48,5
Al+ Al ₂ Cu	80

Farklı alüminyum matrisli kompozitlerin sertlik sonuçları incelendiğinde en yüksek sertliği 7075 alaşımının katkısız ve katkılı halleri vermektedir. 7075 alaşımından sonra ise en yüksek değeri AlSi12’nin intermetalik malzeme ile oluşturduğu kompozit yapı vermektedir. Bu çalışma neticesinde Al₂Cu intermetalikliğinin eklenen üç farklı alüminyum matris fazında da sertliği artırıcı yönde etki ettiği gözlemlenmiştir. Diğer bir eklenti olan h-BN ise presleme sonrası matrise iyi tutunamamasından dolayı delaminasyonlar meydana gelmiştir. Bu delaminasyonların sertliği düşürdüğü test sonuçları ile belirlenmiştir.

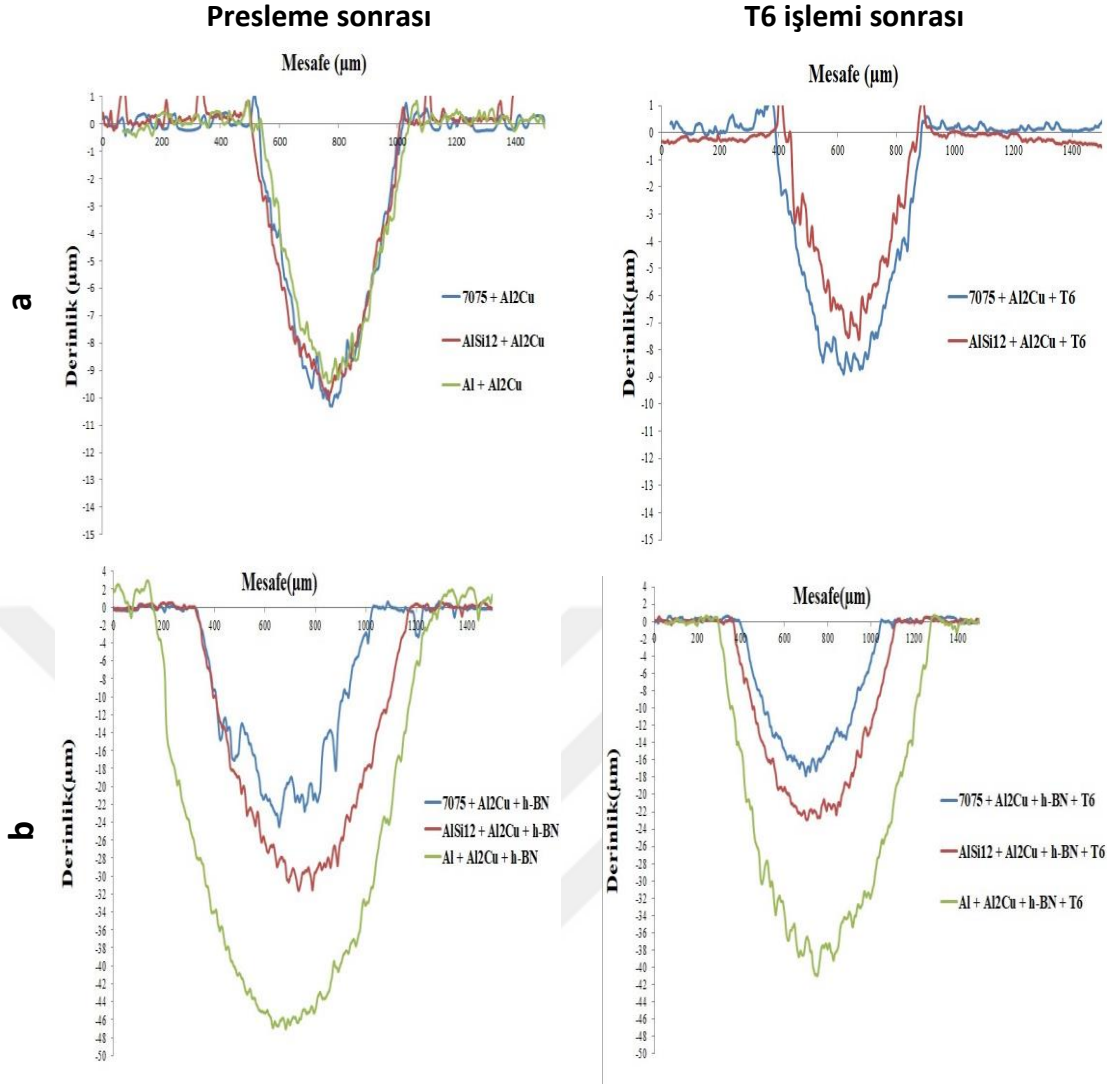
5.5 Aşınma Deneyi Sonuçları

Alüminyum matrisli kompozitlerin aşınma performanslarını incelemek adına 10 mm/sn hızında, 1 N yük altında ve 25 m toplam aşınma mesafesinde karşıt hareketli Tribotech aşınma cihazında aşınma deneyleri yapılmıştır. Kompozitlerin yüzey pürüzlülükleri ince zımparalama ile azaltılmıştır. Numunelerin ortalama sürtünme katsayıları Çizelge 5.4’de gösterilmektedir. Sürtünme katsayılarının grafikleri Ek A’da verilmektedir.

Çizelge 5.4 : Numunelerin aşınma testi sonrası ortalama sürtünme katsayısı sonuçları.

Numuneler	Değer
7075	0,34
7075+T6	0,30
7075+Al ₂ Cu	0,31
7075+Al ₂ Cu+T6	0,29
7075+Al ₂ Cu+h-BN	0,49
7075+Al ₂ Cu+h-BN+T6	0,44
AlSi12	0,40
AlSi12+ T6	0,41
AlSi12+ Al ₂ Cu	0,35
AlSi12+ Al ₂ Cu+ T6	0,30
AlSi12+ Al ₂ Cu+h-BN	0,52
AlSi12+ Al ₂ Cu+h-BN+T6	0,53
Al	0,38
Al+ Al ₂ Cu	0,34

Sıcak presleme yöntemi kullanılarak hacimce %30 Al₂Cu içeren numunelerin sürtünme katsayılarının görece düştüğü gözlemlenmiştir. Alüminyum matris ve Al₂Cu ile oluşan kompozit yapılara hacimce %10 h-BN takviyesi uygulandığında ise sürtünme katsayılarının arttığı gözlemlenmiştir. Aşınma deneyi sonrasında oluşan izlerin profilometre ile farklı noktalardan ölçülen 2-boyutlu profillerinin ortalaması Şekil 5.8’de verilmektedir.



Şekil 5.12 : Aşınma izlerinin 2-D profil sonuçları (a) Al₂Cu takviye edilmiş numunelerin presleme sonrası ve T6 işlemi sonrası grafikleri (b) Al₂Cu+h-BN takviye edilmiş numunelerin presleme sonrası ve T6 işlemi sonrası grafikleri.

$$W = \frac{V}{d.P} \quad (5.1)$$

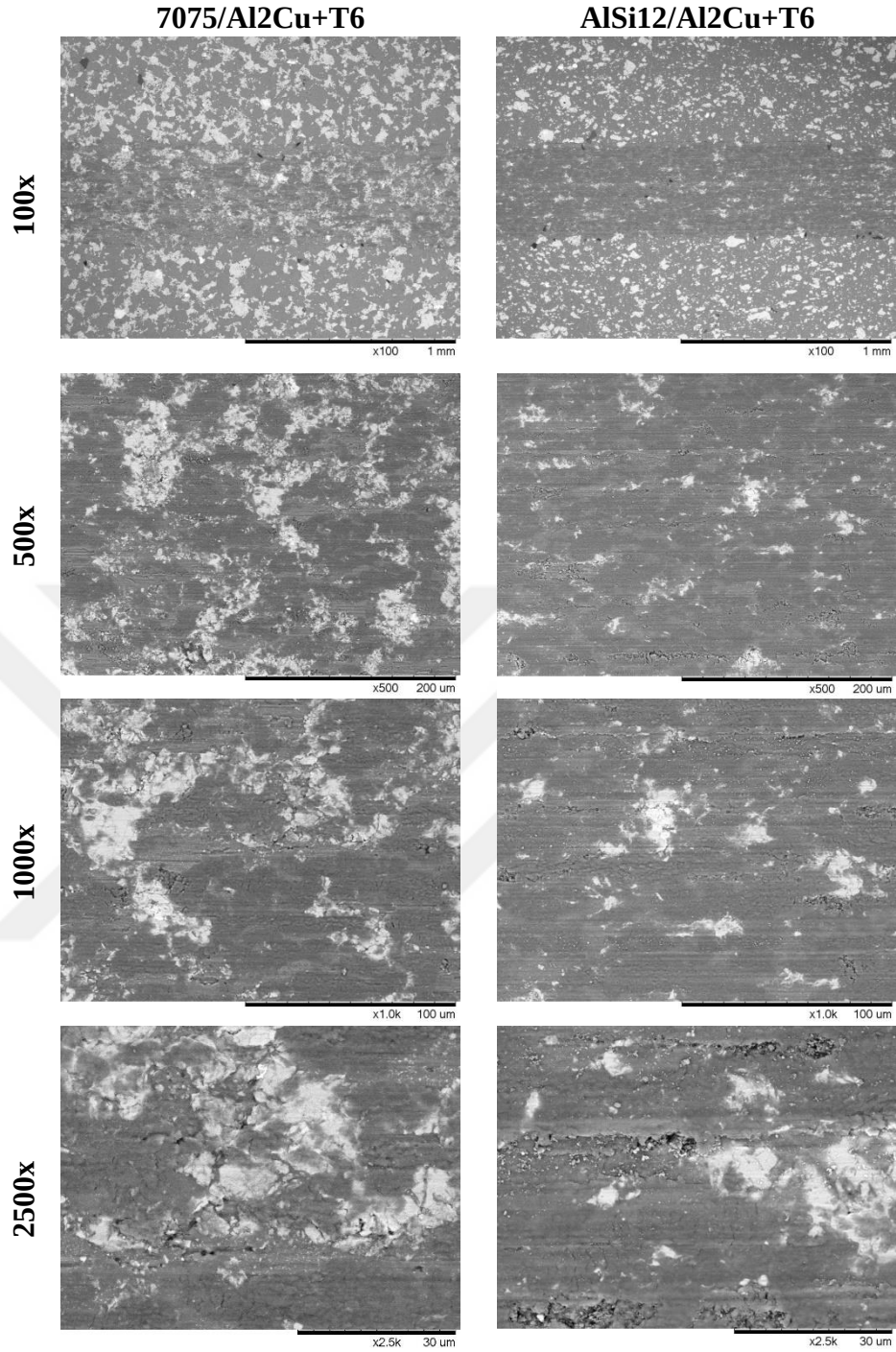
“W” aşınma oranı, “V” aşınma hacim kaybı, “d” kayma mesafesi, “P” uygulanan yük. Aşınma testleri yapılan numunelerin aşınma oranları Denklem 5.1’e bağlı olarak hesaplanmıştır. Her numune için kayma mesafesi 25 m, 1 N yük ve 5 mm uzunluğu aynıdır. Numunelerin aşınma oranlarının sonuçları Çizelge 5.5’te verilmektedir.

Çizelge 5.5 : Numunelerin aşınma oranı sonuçları.

Numuneler	Hacim (mm ³)x10 ⁻³	Aşınma Oranı (mm ³ /N.m)x10 ⁻⁴
7075	8,5	3,4
7075+T6	4,55	1,81
7075+Al ₂ Cu	4,48	1,79
7075+Al ₂ Cu+T6	2,99	1,10
7075+Al ₂ Cu+h-BN	12,5	5
7075+Al ₂ Cu+h-BN+T6	8,46	3,38
AlSi12	8,5	3,4
AlSi12+T6	17,2	6,8
AlSi12+ Al ₂ Cu	4,27	1,70
AlSi12+ Al ₂ Cu+T6	2,6	1,04
AlSi12+ Al ₂ Cu+h-BN	21,4	8,57
AlSi12+ Al ₂ Cu+h-BN+T6	12,5	5
Al+ Al ₂ Cu	3,6	1,44

Sıcak presleme yöntemi ile elde edilen hacimce %30 Al₂Cu içeren numunelerin aşınma oranlarının düştüğü gözlemlenmiştir. Al₂Cu ilave edilen kompozitlerin arasından en çok dikkat çekenler 7075/Al₂Cu+T6 ve AlSi12/Al₂Cu+T6 numuneleridir. Alüminyum matris ve Al₂Cu ile oluşan kompozit yapılara hacimce %10 h-BN takviyesi ilave edildiğinde ise aşınma davranışını olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir.

Aşınma testlerinin sonuçları incelendiğinde en iyi aşınma davranışını göstermekte olan 7075/Al₂Cu+T6 ve AlSi12/Al₂Cu+T6 numunelerinin aşınma izlerinin SEM görüntüleri Şekil 5.9'de verilmektedir.



Şekil 5.13 : 7075/Al₂Cu+T6 ve AlSi12/Al₂Cu+T6 aşınma izlerinin SEM görüntüleri (100x, 500x, 1000x ve 2500x).

SEM görüntüleri incelenendiğinde iki numunede de aşınma izlerinde düşük miktarda delaminasyonlar görülmektedir.

Aşınma oranlarına bakıldığında 7075 kompozitinin görece AlSi12 matrisli kompozite kıyasla görece daha düşüktür. Aşınma oranlarının sonuçları 2-boyutlu profil sonuçlarını destekler niteliktedir.

SEM görüntüleride aşınma testleri sonrasında elde ettiğimiz sonuçları destekler niteliktedir. Hazırlanan tüm numuneler arasında en yüksek aşınma direncine 7075/Al₂Cu+T6 ve AlSi12/Al₂Cu+T6 kompozit malzemeleri sahiptir.

Üretilen kompozit yapıların ne kadarlık bir yoğunluk değişimi olduğunu hesaplamak için Arşiment yöntemi ile yoğunlukları hesaplanmıştır. Numunelerin teorik ve gerçek yoğunlukları Çizelge 5.6’da verilmektedir.

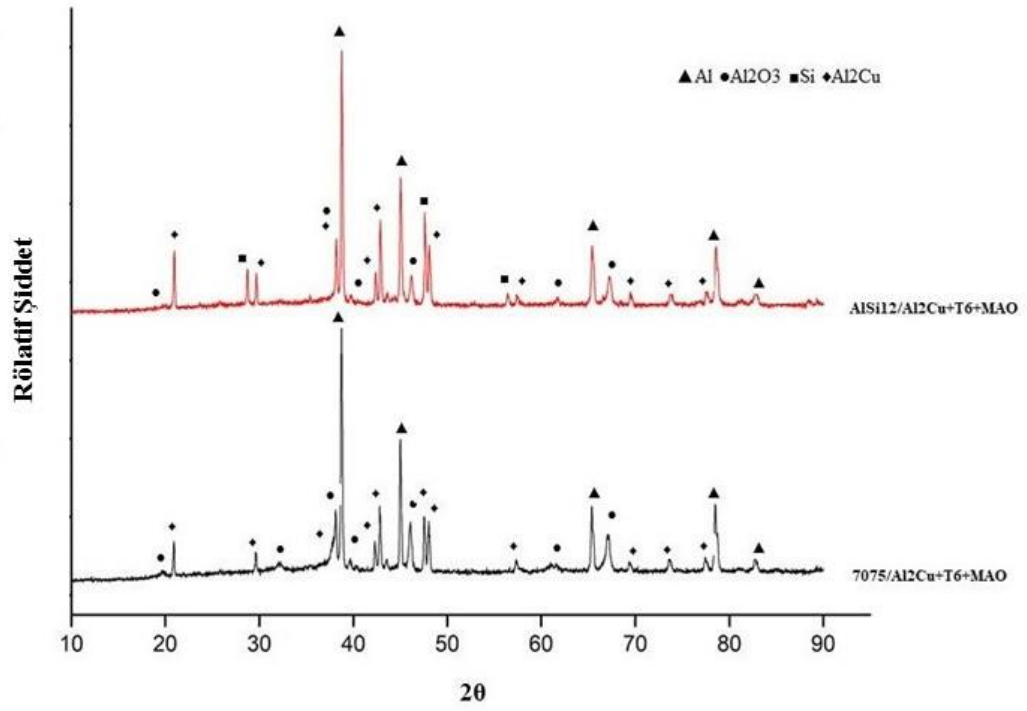
Çizelge 5.6 : Numunelerin teorik ve gerçek yoğunlukları.

Numuneler	Teorik Yoğunluk (g/cm ³)	Gerçek Yoğunluk (g/cm ³)
7075	2,81	2,64
7075+T6	-	2,63
7075+Al ₂ Cu	3,29	2,93
7075+Al ₂ Cu+T6	-	2,99
7075+Al ₂ Cu+h-BN	3,24	2,97
7075+Al ₂ Cu+h-BN+T6	-	2,99
AlSi12	2,66	2,48
AlSi12+T6	-	2,46
AlSi12+ Al ₂ Cu	3,82	2,82
AlSi12+ Al ₂ Cu+T6	-	2,84
AlSi12+ Al ₂ Cu+h-BN	3,14	2,87
AlSi12+ Al ₂ Cu+h-BN+T6	-	2,87
Al	2,7	2,55
Al+ Al ₂ Cu	3,22	3,00
Al+ Al ₂ Cu+h-BN	3,17	2,83
Al+ Al ₂ Cu+h-BN+T6	-	2,75

5.6 Mikro-Ark Oksidasyon Çalışmaları

İncelenen numuneler arasından en iyi sonuç veren iki kompozit numuneyi 10 g/L NaAlO₂, 2 g/L KOH, 2 g/L Na₃PO₄ içeren elektrolit içerisinde MAO yöntemi ile kaplanmıştır.

Numunelerin XRD paternleri Şekil 5.10’da verilmiştir. Bu paternler incelendiğinde tüm kaplamalarda ortak olarak kübik Al₂O₃ fazı görülmektedir. Aynı zamanda kompozit üretiminde kullanılan Al₂Cu intermetalığının fazları her iki numunede de görülmektedir. MAO yapılan AlSi12/Al₂Cu kompozitinin XRD paternlerine bakıldığında kompozitten kaynaklı olarak silisyum fazı görülmektedir.

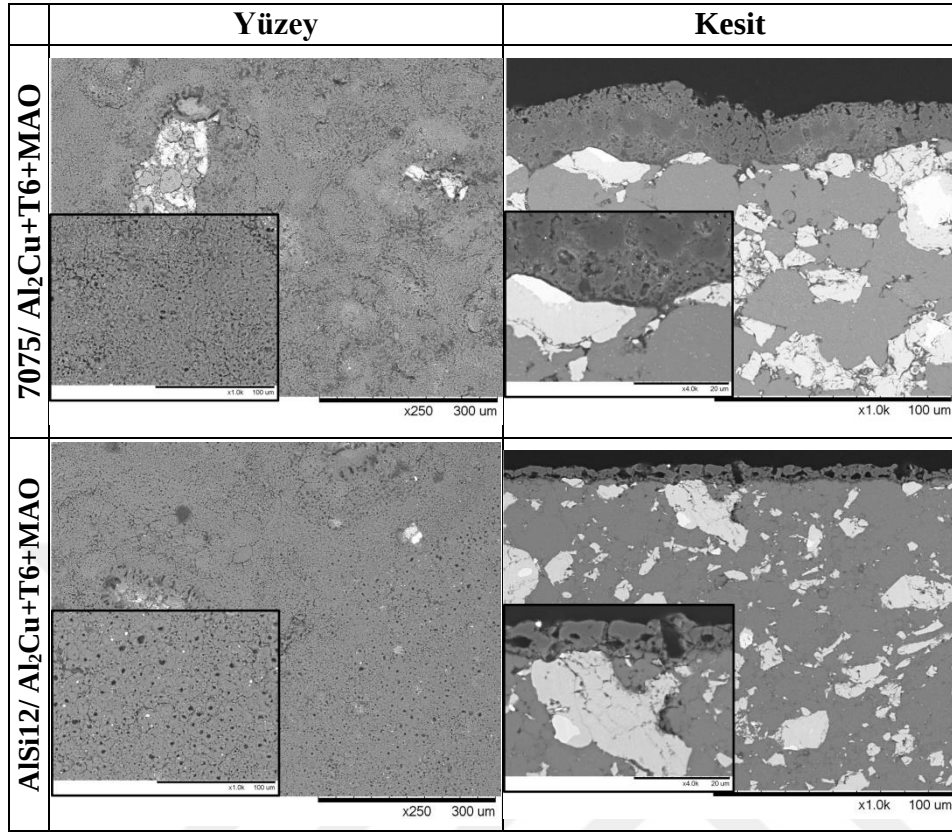


Şekil 5.14 : MAO yöntemi ile kaplanan 7075/Al₂Cu+T6 ve AlSi12/Al₂Cu+T6 numunelerin XRD paternleri.

Numunelerin kaplama kalınlığı, yüzey pürüzlülüğü ve sertlik değerleri Çizelge 5.7 gösterilmektedir.

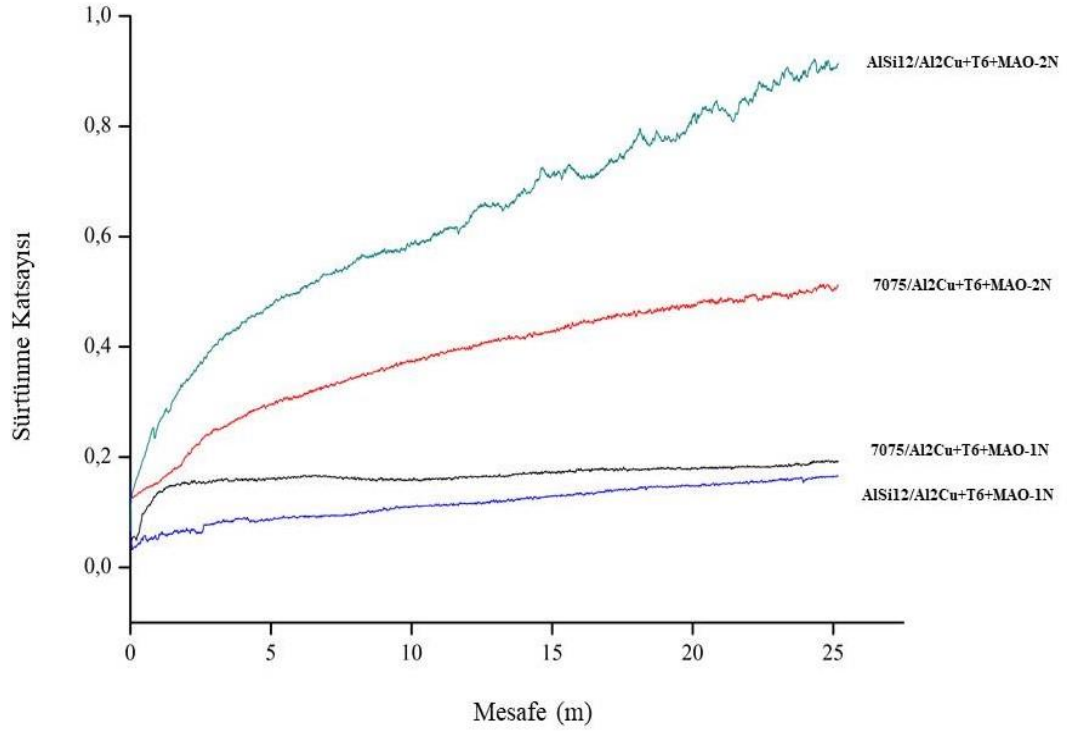
Çizelge 5.7 : Numunelerin kaplama özellikleri.

Özellikler	7075/Al ₂ Cu+T6+MAO	AlSi12/Al ₂ Cu+T6+MAO
Pürüzlülük	2,52689	1,30930
Ortalama Kaplama Kalınlığı (µm)	22,99	14,34
Sertlik (HV _{0,025})	910	730



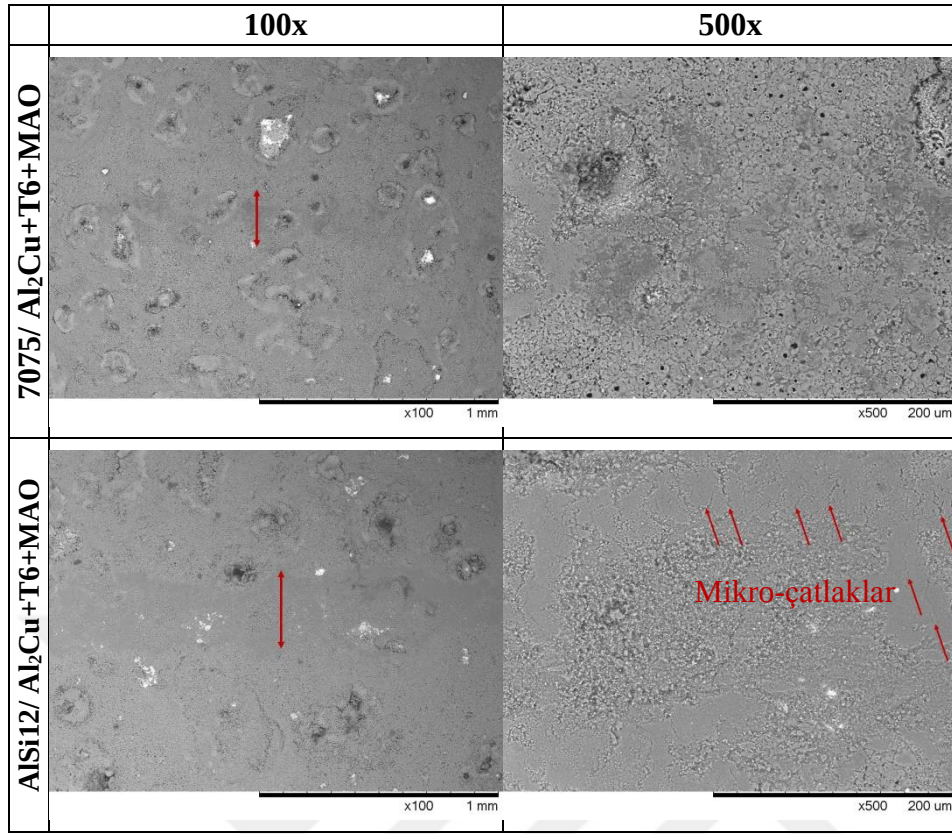
Şekil 5.15 : MAO yöntemi ile kaplanan 7075/Al₂Cu+T6 ve AlSi12/Al₂Cu+T6 numunelerinin yüzey ve kesit SEM görüntüleri.

Numuneler incelendiğinde Al₂O₃ bazlı bir kaplama elde edilmiştir. Kaplanmış numunelerin yüzey SEM görüntüleri incelendiğinde genel olarak kaplamanın başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği fakat iri taneli bazı intermetalik yapıların tam olarak oksitlenmediği gözlemlenmiştir (Şekil 5.11). Kesit SEM görüntüleri incelendiğinde ise 7075/Al₂Cu+T6 kompoziti üzerine uygulanan kaplamanın AlSi12/Al₂Cu+T6 kompozitine kıyasla daha iyi tutunduğu ve kaplama kalınlığının daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda AlSi12'ye sahip kaplamanın kesit göründüleri incelendiğinde mikro-çatlaklar ve yüksek oranda porozite görülmektedir. Meydana gelmiş olan mikro-çatlaklar ve poroziteler sertlik kaybına neden olmaktadır.



Şekil 5.16 : MAO yöntemi ile kaplanmış 7075/Al₂Cu+T6 ve AlSi12/Al₂Cu+T6 numunelerinin farklı yükler altında sürtünme katsayı grafikleri.

Her iki kaplamaya 1, 2, 3 ve 4 N yükler altında aşınma testi uygulandı. 3 ve 4 N uygulanan testler sırasında cihaz kapasitesini aştığından dolayı test durduruldu. 7075/Al₂Cu+T6 altlığı sahip numunenin 1 ve 2 N yükler altında gerçekleştirilen testler sonucunda ortalama sürtünme katsayıları sırasıyla 0,166 ve 0,382'dir. AlSi12/Al₂Cu+T6 altlığı sahip kaplamanın 1 ve 2 N yükler altında gerçekleştirilen testler sonucunda ortalama sürtünme katsayıları ise sırasıyla 0,117 ve 0,632'dir (Şekil 12). Başarıyla gerçekleştirilmiş testlerin aşınma oranları çok düşük olduğundan 2-D profilleri ölçülememiştir. Numunelerin aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri incelendiğinde sadece karşıt alumina bilyanın neden olduğu parlatma etkisi görülmektedir (Şekil 5.13). Ancak AlSi12 numunesinde yüksek büyütmelelerde SEM görüntüleri incelendiğinde mikro çatlaklar görülmektedir.



Şekil 5.17 : MAO yöntemi ile kaplanmış 7075/Al₂Cu+T6 ve AlSi12/Al₂Cu+T6 numunelerin aşınma yüzeylerinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri.

6. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada alüminyum matrisli yapının dayanımını ve sertliğini iyileştirmek amacıyla Al_2Cu ve h-BN ilaveleri ile elde edilen numuneler kompakt ve düşük poroziteli olması için sıcak presleme yöntemi ile üretilmişlerdir. Üretilen kompozitlerin aşınma deneyleri, faz analizleri, SEM ve OM incelemeleri ve sertlik testleri yapıp elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır;

1. Alüminyum ve bakır tozları karıştırılıp sıcak presleme ile peletler haline getirilmiştir. Sonrasında gerçekleştirilen ısıtıl işlem ile Al_2Cu intermetalik yapısı elde edilmiş ve havanda öğütülerek toz haline başarılı bir şekilde getirilmiştir.
2. Alüminyum matrisi için toz hallerinde kullanılan saf alüminyum, $AlSi12$ ve 7075 alaşımları yine toz halinde ilave edilen Al_2Cu ve h-BN malzemeleri ile elle karıştırıldıktan sonra sıcak presleme yöntemiyle kompakt ve düşük poroziteli kompozitler başarılı bir şekilde elde edilmiştir.
3. Sadece Al_2Cu ilavesi yapılan kompozitlerde önemli bir sertlik artışı gözlemlenmiştir. Aynı numunelerin üzerinde T6 ısıtıl işlemi sonrasında da sertlik artışı başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Sertlik deneyleri sonucunda en yüksek sertlikleri sırasıyla 140 ve 137 HV_1 ile 7075/ Al_2Cu +T6 ve $AlSi12/Al_2Cu$ +T6 kompozitleri vermiştir. İlave edilen h-BN malzemesinin ise iyi tutunamadığından dolayı oluşan delaminasyonlar ile sertliğin düşmesine neden olmuştur. T6 ısıtıl işlemi sonrasında görece sertlik artışı olmasına karşın sadece Al_2Cu ilave edilen numunelere kıyasla daha düşük kalmıştır.
4. Aşınma deneyleri sonucunda Al_2Cu ilavesi yapılan kompozitlerde aşınma direncini artırıcı yönde etkilemiştir. Numunelerin T6 ısıtıl işlemi sonrasında sürtünme katsayılarının düştüğü ve profilometre sonuçlarına bakıldığında derinliğin azaldığı gözlemlenmiştir. ısıtıl işlem sayesinde kompozit yapıların aşınma dirençleri ileri seviyeye taşınmıştır. Sertlik sonuçlarında olduğu gibi aşınma direncini de h-BN olumsuz etkilemiştir. Sürtünme katsayısının bu

artışı h-BN katkısının yapıya iyi tutunamamasından oluşan boşluklardan kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

5. 7075/Al₂Cu+T6 ve AlSi12/Al₂Cu+T6 yüzey SEM görüntülerinde çok az miktarda delaminasyonlar gözlemlenmiştir. AlSi12 kompozitinin aşınma yüzeyine paralel olarak meydana gelen aşınma izleri görece 7075 kompozitine kıyasla fazladır.
6. En iyi sonuç veren iki kompozit 7075/Al₂Cu+T6 ve AlSi12/Al₂Cu+T6 numunelerine MAO yöntemi ile kaplama yapılmıştır. Kaplama işlemi sonrasında aşınma davranışlarında ciddi bir artış gözlemlenmektedir. Her iki numune içinde aşınma oranları çok düşük olduğundan 2D-profilleri ölçülememiştir. Kesit görüntüleri incelendiğinde 7075 alaşımı kompozit ile kaplamanın arayüzeyi, AlSi12 alaşımı kompozite kıyasla daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. AlSi12/Al₂Cu+T6 numunesinde oluşturulan kaplamada bulunan porozite ve çatlaklar diğer numuneye kıyasla daha fazladır. Bunun sebebi olarak silisyumun MAO kaplamasında oluşturmuş olabileceği camı yapı olduğu düşünülmektedir. Kaplama sertlikleri kıyaslandığında 7075 alaşımına sahip kompozit yapısındaki kaplama sertliği 910 HV_{0,025} iken AlSi12'de 730 HV_{0,025} olarak hesaplanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **C.Gourier-Frery**, (2004) Aluminum, EMC-Toxicology-Pathology, 1, 79-95
- [2] **C.Subramanian**, Black Cat Blades Ltd, Canada, Wear properties of aluminium-based alloys
- [3] **A.Aid, A.Benhamena, B.Mostefa**, (2012) Effect of Hardening Induced by Cold Expansion on Damage Fatigue Accumulation and Life Assessment of Aluminum Alloy 6082 T6, Materials Research, 15, 981-985
- [4] **T.Alam, A.Husain Ansari**, (2017) Review on aluminium and its alloys for automotive applications, International Journal of Advanced Technology in Engineering Science, 5
- [5] **F.Nturanabo, L.Masu and J. Kirabira**, Novel Applications of Aluminium Metal Matrix Composites, Web of Science
- [6] **J.R. Davis**, Aluminum and Aluminum Alloys, in Metals Handbook Desk Edition, 2nd ed, ASM International, 1998, p 417–505
- [7] **J.E. Hatch**, Aluminum: Properties and Physical Metallurgy, American Society for Metals, 1984
- [8] **N.Kamkar, A.Nekahi, K.Deighani, Mohammad A. Mirzaie**, (2010) Using Response Surface Method to Optimize the Bake-Hardening Condition of Al5052, The journal of Minerals, Metal and Materials Society, 139
- [9] **C.Subramanian**, Black Cat Blades Ltd, Canada, Wear properties of aluminium-based alloys
- [10] **DB. Miracle**, Metal matrix composites — from science to technological significance. Comp Sci Technol 2005;65:2526–40.
- [11] **JW Kaczmar, K . Pietrzak, W. Włosin-Åski**, The production and application of metal matrix composite materials. MaterProc Technol 2000;106:58–67.
- [12] **S.GÜNEŞ**, 2019, Sıcak Preslenmiş Metal Matris Kompozitlerde SiC Katkısının Malzeme Özelliklerine Etkisi, Makine Mühendisliği
- [13] **A.Canakci, T.Varol**, (2014), Microstructure and properties of AA7075/Al-SiC composites fabricated using powder metallurgy and hot pressing, 268, 72-79
- [14] **A.Azimi, A.Shokuhfar, O.Nejadseyfi**, (2015), Mechanically alloyed Al7075-TiC nanocomposite: Powder processing, consolidation and mechanical strength, Materials and Design, 66, 137-141
- [15] **J.H. Shin, H.J. Choi, D.H. Bae**, (2014), The structure and properties of 2024 aluminum composites reinforced with TiO₂ nanoparticles, Materials Science and Engineering A, 607, 605-610

- [16] **A.Chandana, I. Lawrence, S. Jayabal**, (2018), Characterization of Particulate-Reinforced Aluminum 7075 Aluminum 7075/TiB₂ Composites, *Materialstoday Proceeding*, Volume 5, Issue 6, Part 2, 14317-14326
- [17] **S.Lata, A.Pandey, Labhansh, A. Sharma, K. Meena, R. Rana, R.Lal**, 2018, An Experimental Study and Analysis of the Mechanical Properties of TitaniumDioxide Reinforced Aluminum (AA 5051) Composite, *Materials Today: Proceedings*, 5, 6090-6097
- [18] **M. Adamiak**, 2006, Selected properties of the aluminium alloy base composites reinforced with intermetallic particles, *Division of Materials Processing Technology and Computer Techniques in Materials Science, Institute of Engineering Materials and Biomaterials, Silesian University of Technology*,
- [19] **C. Costa, L. Aguiar, V. Borrás**, Properties of AA6061 Aluminum Alloy Reinforced with different Intermetallics and Ceramics Particles, *Universidade do Estado de Santa Catarina – CCT/UDESC – Brasil – Campus universitário*
- [20] **M.Kök**, (2016) Abrasive wear of Al₂O₃ particle reinforced 2024 aluminium alloy composites fabricated by vortex method, *Composites: Part A*, 37, 457-464
- [21] **I. Dinaharan , G. Ashok Kumar , S.J. Vijay , N. Murugan**, (2014), Development of Al₃Ti and Al₃Zr intermetallic particulate reinforced aluminum alloy AA6061 in situ composites using friction stir processing, *Materials and Design*, 63, 213-222
- [22] **I. Dinaharan , M. Balakrishnan , J. David Raja Selvam , E.T. Akinlabi**, (2019), Microstructural characterization and tensile behavior of friction stir processed AA6061/Al₂Cu cast aluminum matrix composites, *Journal of Alloys and Compounds*, 781, 270-279
- [23] **Wu JM, Li ZZ.**, Contributions of the particulate reinforcement to dry sliding wear resistance of rapidly solidified Al-Ti alloys. *Wear* 2000;244:147–53.
- [24] **Y. Watanabe, Y. Hattori, H. Sato**, Distribution of microstructure and cooling rate in Al–Al₂Cu functionally graded materials fabricated by a centrifugal method. *J Mater Process Technol* 2015;221:197–204.
- [25] **F. Tóptan, AC. Alves, I. Kerti, E. Ariza, LA. Rocha**, Corrosion and tribocorrosion behaviour of Al–Si–Cu–Mg alloy and its composites reinforced with B₄C particles in 0.05 M NaCl solution. *Wear* 2013;306:27–35
- [26] **WF. Smith, J. Hashemi**, (2008) *Materials Science and Engineering*, New Delhi Press: Tata McGraw Hill Education Private Limited;
- [27] **CONG Fu-guan, ZHAO Gang, JIANG Feng, TIAN Ni, LI Rui-feng.**, Effect of homogenization treatment on microstructure and mechanical properties of DC cast 7X50 aluminum alloy [J]. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2015, 25(4): 1027–1034

- [28] **L. Rokhlin L, T. V. Dobatkina, N. R. Bochvar, E. V. Lysova**, Investigation of phase equilibria in alloys of Al–Zn–Mg–Cu–Zr–Sc system [J].Journal of Alloys and Compounds, 2004, 367(1–2): 10–16.
- [29] **A.Chandana, I. Lawrence, S. Jayabal**, Investigation of phase equilibria in alloys of Al–Zn–Mg–Cu–Zr–Sc system [J].Journal of Alloys and Compounds, 2004, 367(1–2): 10–16.
- [30] **A. Dolata**, (2017), Tribological Properties of AlSi12-Al2O3 interpenetrating Composite Layers Composite Layers in Comparison with Unreinforced Matrix Alloy, Faculty of Materials Engineering and Metallurgy, Silesian University of Technology
- [31] **T.Prasad, P. Chinna Sreenivas Rao, B. Vijay Kiran**, Investigation of Mechanical Properties of Al 7075 with Magnesiumoxide Nano Powder MMc, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, 60-65
- [32] **K.V. Sreenivasa Rao, Govindaraju**, (2017), Sliding wear Behavior of Cast Al-7075 Alloy Reinforced with MgO Particulates, Materials Today: Proceedings, 4, 11096 11101
- [33] **B.Ravi**, (2017), Fabrication and Mechanical Properties of Al7075-SiC-TiC Hybrid Metal Matrix Composites, International Journal of Engineering Science Invention,6, 12-19
- [34] **P.Anitha, U. Shrinivas Balraj**, (2017), Dry Sliding Wear Performance of Al/7075/Al2O3p/Grp Hybrid Metal Matrix Composites, Hybrid Metal Matrix Composites, Materials Today: Proceedings,4,3033-3042
- [35] **I. Topçu, N. Güllüoğlu**, (2009), Processing and Mechanical Properties of B4C Reinforced Al Matrix Composites Journal of Alloys and Compounds,482(1-2), 516-521
- [36] **K. Srinivasulu Reddy , D. Sreedhar , P. Nagesh , G. Janardhana Raju**, (2015) Fabrication and Mechanical Properties of AlSi12 Nano Particulate Composite, Procedia Materials Science, 10, 149 – 158

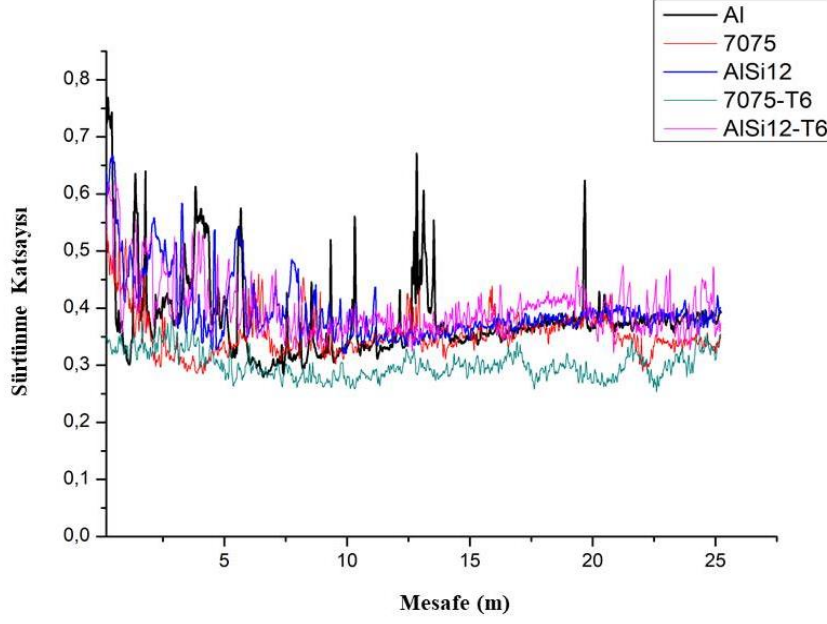


EKLER

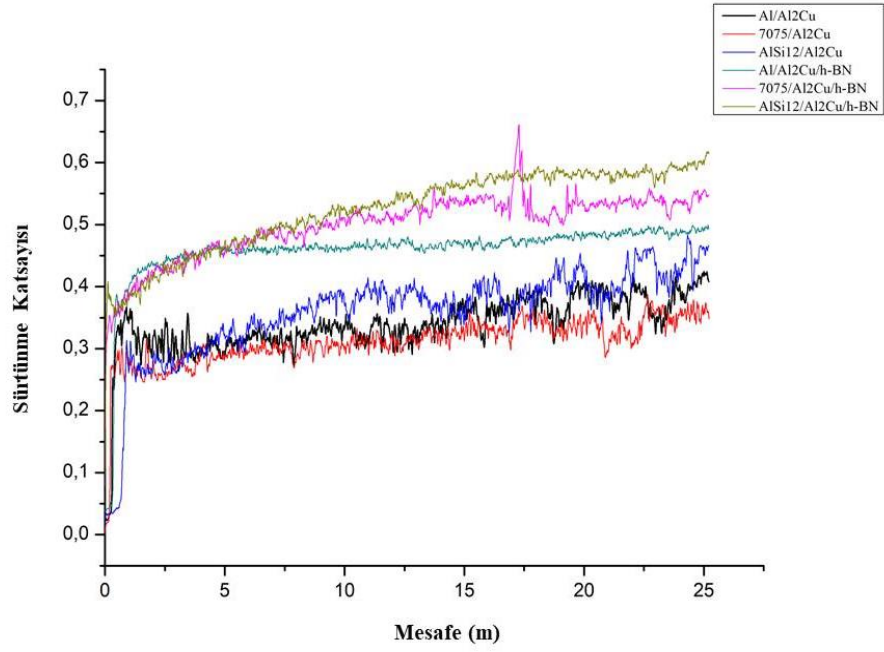
EK A: Numunelerin Sürtünme Katsayı Grafikleri



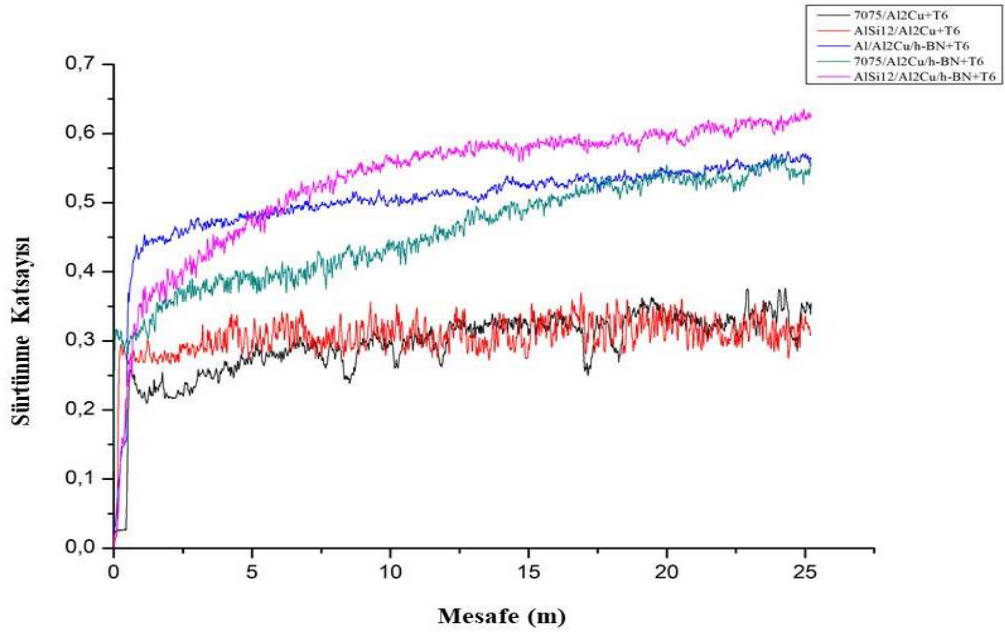
EK A



Şekil A. 1 : Katkısız numunelerin sürtünme katsayılarının grafiği.



Şekil A. 2 : Kompozitlerin sıcak presleme sonrası sürtünme katsayılarının grafiği



Şekil A. 3 : Kompozitlerin T6 işlemi sonrası sürtünme katsayılarının grafiği



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Burak Samed DOĞU
Doğum Tarihi ve Yeri : 20.10.1993 / İstanbul
E-posta : burakdoguu1@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Bölümü