



SEYDİŞEHİR
AHMET CENGİZ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

T.C.

NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ

SEYDİŞEHİR AHMET CENGİZ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

SAF ALÜMİNYUMUN TOZ

METALURJİSİ İLE ÜRETİMİ VE

ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

LİSANS TEZİ

TEZ DANIŞMANLARI:

Doç. Dr. Hakan GÖKMEŞE

Dr. Öğr. Üyesi Şaban BÜLBÜL

AHMET KÜRŞAT ARICI

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİNDE TASARIM I PROJESİ

Ocak-2022

Seydişehir / Konya

Her Hakkı Saklıdır

PROJE BİLDİRİMİ

Bu projedeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve proje yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Ahmet Kürşat ARICI

.../.../...

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında bana yol gösteren ve her zaman yardımcı olan danışman hocalarım Doç. Dr. Hakan GÖKMEŞE ve Dr. Öğr. Üyesi Şaban BÜLBÜL'e, hiçbir türlü desteğini esirgemeyen aile fertlerime, deneylerin yapımında tezgah ve teçhizat imkanı sağlayan Necmettin Erbakan Üniversitesi Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi'ne ve bu çalışmada emeği geçen herkese teşekkür ederim.

İçindekiler

ÖZET.....	vi
SUMMARY.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	x
1. BÖLÜM.....	1
1. GİRİŞ.....	1
2.BÖLÜM.....	3
2. Toz Metalürjisi	3
2.1. Toz metalürjisi imalat safhaları	4
2.1.1. Karıştırma	4
2.1.2. Presleme (yoğunlaştırma safhası).....	5
2.1.3. Sinterleme.....	5
2.1.4. Son işlemler	6
3. BÖLÜM.....	7
3. Kompozit malzemeler.....	7
3.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler	11
3.2. Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemeler	14
3.2.1. ALMK uygulamaları ve kullanım alanları	16
3.3. Hibrit Kompozit malzemeler	17
4. BÖLÜM.....	18
4. AŞINMA	18
4.1. Zamanla Gelişen Aşınma.....	19
4.2. Aniden Meydana Gelen Aşınma.....	19
4.3. Aşınmaya Etki Eden Faktörler	19
4.4. Aşınma Mekanizmaları.....	20

5. BÖLÜM.....	21
5. Literatür Araştırması.....	21
6. BÖLÜM.....	23
6. Materyal ve Yöntem	23
6.1. Kullanılan Malzeme ve Özellikleri.....	23
6.2. Deney Numunelerinin Üretilmesi.....	24
6.2.1. Toz Karışımların Hazırlanması	24
6.2.2. Toz Karışımlarının Preslenmesi	26
6.2.3. Ham Numunelerin Sinterlenmesi	27
6.2.4. Zımparalama ve Parlatma	29
6.2.5. Dağlama.....	29
6.3. Deney Numunelerine Uygulanan Testler	30
6.3.1. Yoğunluk Ölçümü	30
6.3.2. Sertlik Ölçümü.....	31
6.3.3. Optik Mikroskop ile Mikroyapı İncelemeleri.....	32
7.BÖLÜM.....	33
7. Test Sonuçları ve Tartışma	33
7.1. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirmesi.....	33
7.2. Sertlik Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	34
7.3. Mikroyapı İncelemeleri ve Değerlendirilmesi.....	35
8.BÖLÜM.....	38
8.Sonuçlar ve Öneriler	38
9.BÖLÜM.....	39
9. Kaynaklar Dizini.....	39

ÖZET

Günümüzde sanayide ve teknolojiye meydana gelen gelişmeler sonucunda geleneksel malzemeler, endüstrinin ihtiyaçlarını tek başına karşılayamayacak duruma gelmiştir. Buna bağlı olarak, yeni ve gelişmiş malzeme eksikliğini gidermek amacıyla kompozit malzemeler ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada %98.9 saflıkta Saf Alüminyum, toz metalürjisi yöntemi ile üretilmiştir. Yüksek enerjili bilyalı değirmende 30 dakika süre ile 300 rpm hızda karıştırıldıktan sonra elde edilen toz karışımları 11 Mpa yük altında tek eksenli hidrolik pres ile preslenerek kompakt hale getirilmiştir. Preslenen numuneler yoğunluk ölçümlerinin ardından 580°C sıcaklıkta Argon (Ar) atmosferi altında 1 saat süre ile sinterleme işlemine tabi tutulmuştur. Sinterleme sonrası numunelerin yeni yoğunluklarının ölçümleri yapılmış ve sinterleme öncesi yoğunlukları ile karşılaştırması yapılmıştır. Ölçüm sonrasında numunelere mikroyapı ve mekanik özelliklerin belirlenebilmesi için gerekli hazırlık işlemleri uygulandıktan sonra mikro ve makro sertlik ölçümleri yapılmış, optik mikroskop ile mikroyapı analizleri gerçekleştirilerek bulunan sonuçlar değerlendirilmiştir. Böylece toz metalürjisi ile üretilen Saf Alüminyumun mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aktif karbon, metal matrisli kompozitler, SiC, toz metalürjisi

SUMMARY

Today, as a result of the developments in the industry and technology, traditional materials have become unable to meet the needs of the industry alone. Accordingly, composite materials have emerged in order to eliminate the lack of new and advanced materials.

In this study, Pure Aluminum with 98.9% purity was produced by powder metallurgy method. After mixing at 300 rpm for 30 minutes in a high-energy ball mill, the obtained powder mixtures were compacted by pressing with a uniaxial hydraulic press under a load of 11 MPa. After the density measurements, the pressed samples were subjected to sintering at 580°C under Argon (Ar) atmosphere for 1 hour. After sintering, measurements of the new densities of the samples were made and compared with the densities before sintering. After the measurement, necessary preparation procedures were applied to determine the microstructure and mechanical properties of the samples, micro and macro hardness measurements were made, microstructure analyzes were performed with an optical microscope and the results were evaluated. Thus, the microstructure and mechanical properties of Pure Aluminum produced by powder metallurgy were investigated.

Keywords: Activated carbon, metal matrix composites, SiC, powder metallurgy

SİMGELER VE KISALTMALAR

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
Mpa	: Megapascal
°C	: Santigrat derece
µm	: Mikrometre
mL	: Milimetre
gr	: Gram
mm	: Milimetre
kg	: Kilogram
m	: Metre
s	: Saniye
dk	: Dakika
mg	: Miligram
ρ	: Yoğunluk
F	: Kuvvet
d	: Devir
E	: Elastisite modülü
V	: Numune hacim
L	: Numune uzunluğu
W	: Numune genişliği
Al	: Alüminyum
AA7075	: Alüminyum 7075 alaşımı
Ar	: Argon
C	: Karbon
Si	: Silisyum
SiC	: Silisyum karbür
MMK	: Metal Matrisli Kompozit
SEM	: Scanning Electron Microscopy (Taramalı Elektron Mikroskobu)
TM	: Toz Metalürjisi
HV	: Hardness Vickers

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Toz metalürjisi uygulama şeması.	3
Şekil 2. Yüksek Enerjili Bilyalı Değirmen	4
Şekil 3. Kompozit malzemelerin takviyesine göre sınıflandırılması	8
Şekil 4. Kompozit malzemelerin malzemesine göre sınıflandırılması	8
Şekil 5. MMK üretiminde endüstriyel firmalar tarafından kullanılan matris malzemelerinin kullanım oranları	12
Şekil 6. Aşınma – Zaman Bağıntısı grafiği.....	18
Şekil 7. Bir tribolojik sistemin şematik olarak gösterimi.....	20
Şekil 8. Deneylerde kullanılan Al tozunun boyut dağılımı.....	23
Şekil 9. Toz karışımlarının hazırlanmasında kullanılan hassas terazi.	25
Şekil 10. Toz karışımlarının karıştırılmasında kullanılan karıştırıcı.....	25
Şekil 11. Tozların preslenmesinde kullanılan hidrolik pres.....	26
Şekil 12. Presleme sonrası elde edilen numuneler.....	27
Şekil 13. Sinterleme işleminde; a) Kullanılan fırın. b) ve c) Sinterlenmek üzere fırın içerisine yerleştirilmiş olan numuneler.....	28
Şekil 14. Parlatma ve zımparalama işleminde; a) ve b) kullanılan makineler, c) ve d) işlem gören numuneler.....	29
Şekil 15. Sertlik ölçümlerinde kullanılan cihaz.	31
Şekil 16. Mikroyapı görüntülerinin elde edilmesinde kullanılan optik mikroskop.	32
Şekil 17. Saf Al numunelerde gözenekliliğin sinterleme sıcaklığına bağlı değişimi.....	34
Şekil 18. Saf Al numunelerinde sertliğin sinterleme sıcaklığına bağlı değişimi.	35
Şekil 19. 100micron yakınlştırılmış Saf Al mikroyapısı.....	36
Şekil 20. 200micron yakınlştırılmış Saf Al mikroyapısı.....	37

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Farklı malzeme grupları ve bu gruplara ait genel özellikler.	9
Tablo 2. Çeşitli kompozit malzemeler ve uygulama alanları	10
Tablo 3. Takviye malzemelerinin MMK malzemelerin özelliklerine etkisi ve üretilen kompozitlerin uygulama alanları.	13
Tablo 4. Alüminyum alaşımlarının çekme özellik değerleri	15
Tablo 5. Alüminyumun genel özellikleri.	15
Tablo 6. Deneylerde kullanılan malzemenin genel özellikleri.	23
Tablo 7. Saf Al numunelerine ait yoğunluk ölçüm değerleri.	33
Tablo 8. Saf Al numunelerine ait sertlik ölçüm değerleri.	34

1. BÖLÜM

1. GİRİŞ

Endüstriyel uygulamalarda kullanılacak malzemelerde olması arzu edilen özellikler genellikle düşük maliyet, dayanım, tokluk ve hafifliktir. Geleneksel malzemelerde dayanım, ısı işlem ile artırılabilir. Ancak darbe dayanımı, aşınma dayanımı, tokluk ve hafiflik gibi özelliklerin hepsinin geleneksel malzemelerde aynı anda bir arada bulunması mümkün olmamaktadır [1]. Bu sebeple, malzeme bilimi alanında yüksek mukavemet ve aşınma direncine sahip, düşük yoğunluklu, korozyon direnci iyi olan hafif malzemelerin üretilmesi ve geliştirilmesi üzerine birçok çalışma gerçekleştirilmektedir [2]. Bu çalışmalarla birlikte teknoloji alanında gerçekleştirilen faaliyetlerin ve kaydedilen ilerlemelerin günden güne hız kazanması, geleneksel malzemelerin yeni uygulama alanlarında yetersiz kalmasına sebep olmakta ve kullanımını sınırlamaktadır. Böylece ileri teknoloji uygulamalarının ihtiyaçlarını karşılayabilecek özelliklere sahip yeni malzemelerin üretilmesi zorunlu hale gelmektedir [3].

Kompozit malzemeler en genel halde, iki veya daha fazla malzemenin makroskobik yapıda bir araya getirilmesiyle yeni bir malzemenin yapılması olarak tanımlanabilir. Burada amaç, kullanılan malzemelerin birbirlerinin zayıf yönlerini iyileştirmek ve istenilen yönde daha üstün özellik sağlayan bir malzeme elde etmektir. Örneğin metal matrisli bir kompozitin yapısında takviye (fiber) malzemesi olarak çelik ve matris olarak alüminyum kullanılabilir. Böylece alüminyumun hafifliğinden ve çeliğin de alüminyuma göre daha mukavemetli yapısından faydalanılmış olunur.

Günümüzde modern teknolojinin üstün özelliklere sahip malzemeye olan ihtiyacı gittikçe artmaktadır. Özellikle yüksek mukavemetin yanında, aynı zamanda hafifliğinde istendiği yapılara ihtiyaç duyulmaktadır. Kullanım yerine bağlı olarak istenilen bu gibi özelliklerin aynı malzemede aynı anda bulunması mümkün değildir. Birbirlerinin zayıf yönlerini düzeltecek şekilde üstün özelliklerin bir araya getirilmesi ile kompozit malzemeler üretilmiştir. İstenilen özelliklere sahip malzemelerin üretiminin yanında çalışma ömrü ve çalışma esnasında uğrayabilecekleri hasarlara karşı davranışlarının bilinmesi de önem taşımaktadır.

Toz metalürjisi genel olarak, malzeme tozlarının oda sıcaklığı veya daha yüksek sıcaklıklarda, üretilecek parça şekline uygun kalıp boşluğuna sahip kalıplar içerisinde, istenen basınç değerleri altında şekillendirilmesi ve ardından bağlanma amacıyla bir fırında

sinterlenmesi ile gerçekleştirilen üretim yöntemidir [4]. Toz metalürjisi yöntemi ergitme ve döküm işlemlerini içermemesi sebebiyle diğeri üretim yöntemlerine göre daha ekonomik bir yöntemdir [5]. Ayrıca bir sıvı hal üretim yöntemi olan döküm yönteminde sıklıkla görülen matris takviye arası kimyasal tepkime ve homojen dağılım problemi, toz metalürjisi yöntemi ile aşılabilmektedir [6, 7]. Tüm bu özellikleri sayesinde toz esaslı seri üretim parçaları, başta otomotiv, havacılık, uzay ve savunma sanayisi olmak üzere pek çok alanda kullanılmakta ve geleneksel malzemelere kıyasla maliyet ve üretilbilirlik açısından çok daha avantajlı olmaktadır [8, 9].

Bu tez çalışmasında saf alüminyum tozu hidrolik pres ile preslenerek ve gerekli işlemlerden geçirilerek numuneler elde edilmiştir. Elde edilen numunelerin optimum değeriinin belirlenebilmesi için çeşitli karakterizasyon işlemleri yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı günümüz endüstrisinde kullanılan Saf Alüminyumun mikroyapı ve karakteristik özelliklerini incelemek ve yüksek mukavemette düşük yoğunlukta malzeme üretmektir. Bilindiğı gibi özellikle havacılık, otomotiv, savunma ve uzay endüstrisinde hafif yoğunluklu yüksek dayanımlı malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Daha da iyi sonuçlar elde edilebilmesi için gelişmiş ülkelerde bu konudaki çalışmalar hızla sürdürülmektedir.

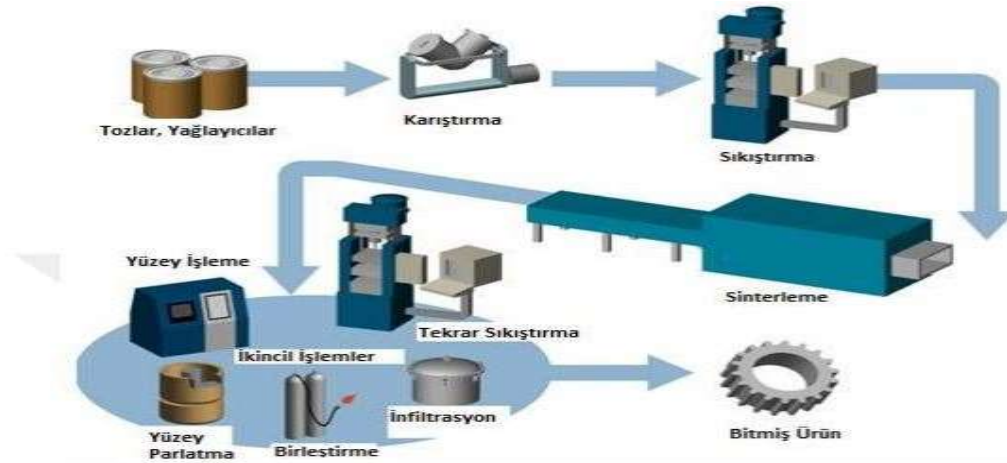
2.BÖLÜM

2. Toz Metalürjisi

Toz metalürjisi; farklı boyut, şekil ve paketlenme özelliği ne sahip metal tozlarının sağlam, hassas ve yüksek performanslı parçalara dönüştürüldüğü işlemler bütünüdür. TM yöntemi, tozların preslenmesi ve daha sonra parçacıkların sinterleme yolu ile ısıl bağlanması basamaklarını içermektedir. TM yönteminin kullanım alanının diğer üretim teknolojilerine oranla hızla artmasına sebep olan etkenlerin başında üretim para metrelerinin nispeten daha düşük enerji tüketimine neden olması, reaktif malzemelerin yüksek oranda kullanılabilirliği ve düşük operasyon maliyetleridir. Sahip olunan bu özellikler ile TM verimlilik, enerji ve hammadde gibi günümüz kaygılarını ortadan kaldırmaktadır. Bunların sonucu olarak, TM konusu sürekli gelişmekte ve geleneksel metal şekillendirme proseslerinin yerini almaktadır [10].

19. yüzyıldan bu yana toz metalürjisi kullanılmakta ve gelişmektedir. Yine 20. yüzyılda elektrik kontakları, gözenekli rulmanlar, sement karbürler toz metalürji yöntemiyle üretilmiştir [11]. Kullanılan sarf malzemelerin düşük maliyetli olması, seri üretime elverişli olması ve elde edilen nihai ürünle fazla işlem gerektirmeden malzemenin elde edilmesi toz metalürjisinin tercih sebepleridir [12].

Toz metalürjisi yöntemi ile kompozit malzeme üretiminde mekanik alaşımlama bilyeli değirmene konulmuş toz karışımının bilyelerden yüksek enerjili çarpma etkisiyle yapılan öğütme (tozları harmanlama ve karıştırma) işlemidir. Yapılan işlem tozların homojen olarak dağılımı ve tane boyutunun inceltilmesi açısından önemlidir [11,13].



Şekil 1. Toz metalürjisi uygulama şeması.

2.1. Toz metalürjisi imalat safhaları

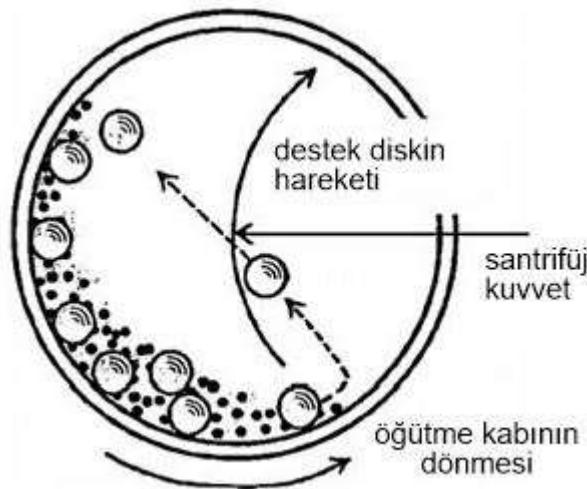
2.1.1. Karıştırma

Homojen tane boyutunu elde etmek ve de preslemeyi kolaylaştıracak yağlayıcıları ilavesinde bulunmak için yapılmaktadır. Buradaki asıl olan amacımız toz içerisinde yığılmaları engellemek. Rutubet sonucunda yapı içerisindeki topaklanma ve yığınlara engel olmaktır [14].

Bu işlemden homojen toz karışımı sağlanmazsa elde edilen tozların partikülü büyük olan kısmı üstte, küçük olanı altta kalır. Presleme sırasında düzgün sıkıştırma olmadığından dolayı elde edilen ürünler de gözeneklilikler görülmektedir. Karıştırma işleminde ortam şartları da büyük önem arz etmektedir çünkü nemli ortamda toz üzerinde topaklanma yani aglomerasyonlar görülür bu da homojen toz elde edilmesine engel olmaktadır. Aglomerasyon içeren tozlardan istenilen mekanik, kimyasal ve fiziksel geri dönüşler alınamamaktadır.

Farklı boyutta olan tozlar düzensizlik yarattığı gibi oluşacak ürünün yoğunluğuna da etki etmekte, pres sonrası elde edilen numunenin alt ve üst tabakası aynı yoğunlukta olmamaktadır [15].

Karıştırma işlemini uygun bilyeli değirmende istenilen süre ve bilye çapında yapıldığı zaman elde edeceğimiz ürünlerin saflık ve homojenlik açısından problem yaşatmayacaktır. Bu işlemlerin hepsinde ortam sıcaklık ve nem değerlerine dikkat edilmelidir [14].



Şekil 2. Yüksek Enerjili Bilyalı Değirmen [16].

2.1.2. Presleme (yoğunlaştırma safhası)

Sıkıştırma işleminde ilk dikkat edilmesi gereken nokta tozları sıkıştıracağımız kalıptır. Tozlara uygun olarak kalıp seçimi yapılmalıdır. Burada tozlar kalıba alınır ve sistemin rahatlaması için eser miktarda yağlayıcı-bağlayıcı eklenir. Presleme; kalıp içindeki tozlara kuvvet uygulanarak partiküllerin sinterlemeye kadar form kazanmasıdır. Toz bu forma girerken yoğunluğu artar. Kalıba uygulanan kuvvet tozların cinsine göre değişiklik göstermektedir.

Presleme işlemi çok önemlidir, çünkü oluşacak ürünün yoğunluğu, özellikleri buna bağlıdır ve numunede homojenlik aranır. Proses şu şekilde işler;

Preslenecek numuneler istenilen kalıpta birleştirilir.

TM prosesinde en kritik basamaklardan birisidir çünkü tozun yoğunluğunu ve yoğunluğun tüm üründe homojen dağılımını düzenler. Nihai özellikler yoğunlukla değişir, homojen özellikler de homojen yoğunluk gerektirir. Presleme prosesi aşağıda listelenen ana görevlere sahiptir:

Tozları istenilen şekilde birleştirmek, sinterlemeden kaynaklanan değişimleri istenen boyutlarda göstermek, gözeneklilik miktarına dikkat etmek ve gereken kuvveti sağlamaktır.

Sıkıştırma işlemlerinde genellikle tek yönlü presler kullanarak yapılmaktadır. Bu presle sıkıştırmaya geleneksel yöntemle sıkıştırma da denmektedir. Preslerden güç istendiği için hidrolik yağlı olanlar tercih edilmektedir [15].

Tek yönlü pres kalıp üzerine kuvvet uygular. Kalıp altında bulunan zımba tozların çıkışını engeller, üst kısımdan uygulanan hidrolik güç ile birlikte aradaki tozlar kuvvet altında kalıbın şeklini alır. Kuvvetlenme süresi tamamlandıktan sonra pres kolu kaldırılır ve alt zımba çıkarılarak yoğunlaşan toz, kalıp formunda elde edilir [14].

2.1.3. Sinterleme

Sinterleme işleminde kalıp içerisinde çıkarılan yoğunluk kazanmış olan numune ergime sıcaklığı altında ısıya maruz bırakılarak tozların birbiri içerisinde bağ oluşturarak parçanın şeklini ve mukavemet kazanması işlemidir. Burada ısı altında bağlar güçlenir, malzeme istenilen mukavemeti, dayanım ve özellikleri kazanır [17].

2.1.4. Son işlemler

Sinterleme sonrası isteğe göre şu işlemler yapılabilir: Yapıda oluşan porların tamamlanması, yağı içerisine çektirme, sıkıştırma veya yeniden sinterleme yapma durumu, yüzeyi kaplama ve sertleştirme, işlemlerin sonunda (montaj, yüzey parlatma, yaşlandırma vb.) [14].

3. BÖLÜM

3. Kompozit malzemeler

Malzemeye birden farklı özelliği tek malzeme içerisinde toplamak veya ilave özellik kazandırmak amacıyla iki ya da daha fazla malzemenin makro seviyede karıştırılması veya birleştirilmesiyle elde edilen malzemeye kompozit malzeme olarak isim verilmektedir. Herhangi bir ürüne kompozit malzeme diyebilmemiz için ana malzeme ve takviye malzemesinden oluşmalıdır [18].

Alaşımlı kompozit malzemelerin üstün özellikleri şunlardır;

- Mukavemet/yoğunluk değeri yüksek
- Rijitlik/yoğunluk değeri yüksek
- Korozyon dayanımı yüksek
- Aşınma direnci yüksek
- Sıcaklık dayanımı yüksek
- Kimyasal direnç yüksek
- Hava koşulları ve UV Işınlara karşı dayanım
- İyi termal ve ısı iletkenliği
- Çok iyi elektrik ve termik yalıtım özelliği
- Hafiflik
- Estetik
- İşlenebilirlik
- Akustik Özellik
- Kalıcı renklendirme
- Titreşim sönümleme [19]

Kompoziti oluşturan iki temel bileşen vardır. Bunlar; matris ve takviye olarak adlandırılmaktadır [20]. Kompozitlerde matrisin görevleri; takviye elemanlarını çevrelemek ve korumak, gelen yükü takviye elemanlarına iletmek, kompozit parçanın son şeklini almasını sağlamaktır. Takviyelerin görevleri ise; kompozite yüksek mekanik özellikler sağlamak, kompozite gelen yükü taşımak ve matrisi istenen yönlerde katkılandırmaktır [21, 22].

Kompozitlerde matris ve takviyenin özellikleri, hacim oranları, aralarında bulunan bağın durumu mekanik özellikler üzerinde etkili olmaktadır. Ayrıca, takviye elemanının morfolojisi, yapı içindeki yönelimi ve farklı üretim parametreleri gibi diğer değişkenlerde bu özellikleri etkilemektedir. Kompozit malzemelerde yapıyı oluşturan matris ve takviye fazları birbiri içinde çözünmemelidir. Fakat az miktarda gerçekleşen çözünürlük, aralarındaki bağ güçlendirecek olması bakımından bazı durumlarda olumlu da olabilmektedir. Kompozit malzemelerin üzerine gelen yük ve gerilmelerin, matris üzerinden takviye malzemesine iletimi, matris-takviye arayüzeyi aracılığı ile gerçekleşmektedir. Bu sebeple kompozitlerde matris-takviye arayüzeyi ve özellikleri, mekanik ve fiziksel özellikleri önemli ölçüde etkilemektedir [23].

Kompozitler, üretimlerinde kullanılan matris malzemesinin türüne göre; polimer matrisli kompozitler, metal matrisli kompozitler ve seramik matrisli kompozitler olmak üzere sınıflandırılmaktadır [21, 22]. Takviye malzemesinin morfolojisine göre ise; elyaf(fiber) takviyeli, parçacık(partikül) takviyeli ve tabakalı(yapısal) kompozitler olmak üzere sınıflandırılmaktadır.



Şekil 3. Kompozit malzemelerin takviyesine göre sınıflandırılması [24].



Şekil 4. Kompozit malzemelerin malzemesine göre sınıflandırılması [25].

İleri teknoloji uygulamalarında, malzemelerde olması beklenen belli birtakım özellikler mevcuttur. Bu uygulamalar genellikle taşımacılık, havacılık, sualtı ve biyomühendislik alanlarındaki uygulamalar olmaktadır. Örnek olarak, uçak mühendisleri yüksek dayanımlı ve düşük yoğunluğa sahip olmasının yanında aşınma, darbe ve korozyona da dayanıklı olan yapısal malzemelere her geçen gün daha çok ihtiyaç duymaktadırlar. Bunlar, geleneksel malzemelerde aynı anda bir arada elde edilemeyecek özellik bileşimleridir. Bu durum, monolitik malzemelerde dayanımın artmasıyla yoğunluğun da genellikle artıyor olması ve yine aynı şekilde artan dayanım ve rijitlik ile tokluğun azalmasından ileri gelmektedir. Bu bağlamda, yeni kompozitlerin üretimi üzerine çalışmalar yürüten araştırmacılar, mühendisler ve bilim insanları istenen özellikleri aynı anda bir arada elde edebilmek amacıyla metal, polimer ve seramik malzemeleri bir araya getirerek değişik özellik kombinasyonları sağlamaya çalışmaktadırlar [24].

Tablo 1. Farklı malzeme grupları ve bu gruplara ait genel özellikler.

METALLER	SERAMİKLER	POLİMERLER
✓ Orta ve yüksek yoğunluk ✓ Orta ve yüksek ergime noktası ✓ Orta ve yüksek elastik modül ✓ Reaktif ✓ Sünük	✓ Düşük yoğunluk ✓ Yüksek ergime noktası ✓ Çok yüksek elastik modül ✓ Reaktif değil ✓ Gevrek	✓ Çok düşük yoğunluk ✓ Düşük ergime noktası ✓ Çok düşük elastik modül ✓ Çok reaktif ✓ Sünük ve gevrek

Kompozit malzemelerde farklı malzeme türlerine (metal, seramik, polimer) ait üstün özelliklerin bir araya getirilmesi ile en iyi özelliklerin tek malzemedeki toplanabilmesi önemli avantajlar oluşturur. Bunlar;

- ✓ Yüksek dayanım
- ✓ Yüksek rijitlik
- ✓ Yüksek yorulma dayanımı
- ✓ Yüksek aşınma direnci
- ✓ Yüksek sıcaklık kapasitesi
- ✓ İyi korozyon direnci

✓ İyi ısı iletkenlik

✓ Düşük ağırlık

gibi özelliklerin bir arada elde edilebilmesi sonucu ortaya çıkan avantajlar olmaktadır.

Kompozit malzemeler gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde gittikçe artan bir şekilde birçok farklı ve yeni alanda tercih edilmektedir. Çok uzun bir süre boyunca, çoğunluk olarak havacılık endüstrisindeki ihtiyaçlara yönelik geliştirilmeye devam eden bu malzemeler son dönemde birçok farklı amaç için yine başta havacılık olmak üzere otomotiv, savunma ve denizcilik endüstrisinde ve sağlık, inşaat, taşımacılık sektörlerinde önemli ölçüde kullanılmaktadır [26].

Tablo 2. Çeşitli kompozit malzemeler ve uygulama alanları [27].

Endüstrisi	Uygulama alanları	Kullanılan kompozit malzemeler
Uçak	Uçak kanatları ve gövdesi, helikopter pervaneleri, iniş ve çıkış kapıları, payandalar döşeme kirişleri, çerçeveler, vantilatör ve türbin kanatları	B/Al, SiCw/Al, Gr/Al, Cam/epoksi, C/epoksi, B/epoksi, Kevlar/epoksi, süper alaşımlar
Uzay	Uzay yapıtları, antenleri, robot kolları	B/Al, B/Mg, Gr/Mg
Otomotiv	Gövde parçaları, tampon ve çamurluklar, ön ve arka paneller, aks mili, yaylar, itme çubukları ve piston kolları	Kevlar/epoksi, SiCw/Al, B/Al
Gemi	Gemi teknesi, gemi güvertesi	Kevlar/epoksi, cam/epoksi
Tıp	Röntgen masaları, protezler ve tekerlekli sandalyeler	B/Al, SiC/Al
Kimya	Borular, basınçlı kaplar ve tanklar	Cam/epoksi, karbon/epoksi
Spor	Oltalar, golf kulüpleri, yüzme havuzları	B/epoksi, C/epoksi, B/Al, Gr/Al, SiCw/Al,

3.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler

Metal matrisli kompozit (MMK) var olan malzemelerin veya malzeme gruplarının kullanılmasının doğru olmadığı çok yüksek kritik ısı değeri olan yerlerde kullanılmak üzere hizmet veren ileri malzeme grubu içerisindeki malzemedir. Üstün mukavemet özelliği gösteren, yüksek sıcaklık performansı sebebiyle MMK, monolitik metallere çok yüksek fiyatlarda olduklarında dolayı uzay endüstrisi için önem arz eden değerli bir malzemelerdir. MMK malzemelerin levha şeklinde üretimi, döküm şeklinde üretimi ve TM de dahil olacak şekilde birden fazla üretimi vardır [15].

Metallerle kıyaslandıklarında MMK malzemelerin pek çok avantajı bulunmaktadır. MMK malzemelerin geleneksel metallere göre üstünlükleri şunlardır [28]:

- ✓ Düşük yoğunluk
- ✓ Yüksek mukavemet ve elastiklik modülü
- ✓ Yüksek tokluk ve darbe dayanımı
- ✓ Yüksek elektriksel ve ısı iletkenlik
- ✓ Yüksek yüzey sertliği ve yüzey çatlaklarına karşı düşük hassasiyet
- ✓ Sıcaklık farklarına ve termal şoklara karşı düşük hassasiyet [28; 33].

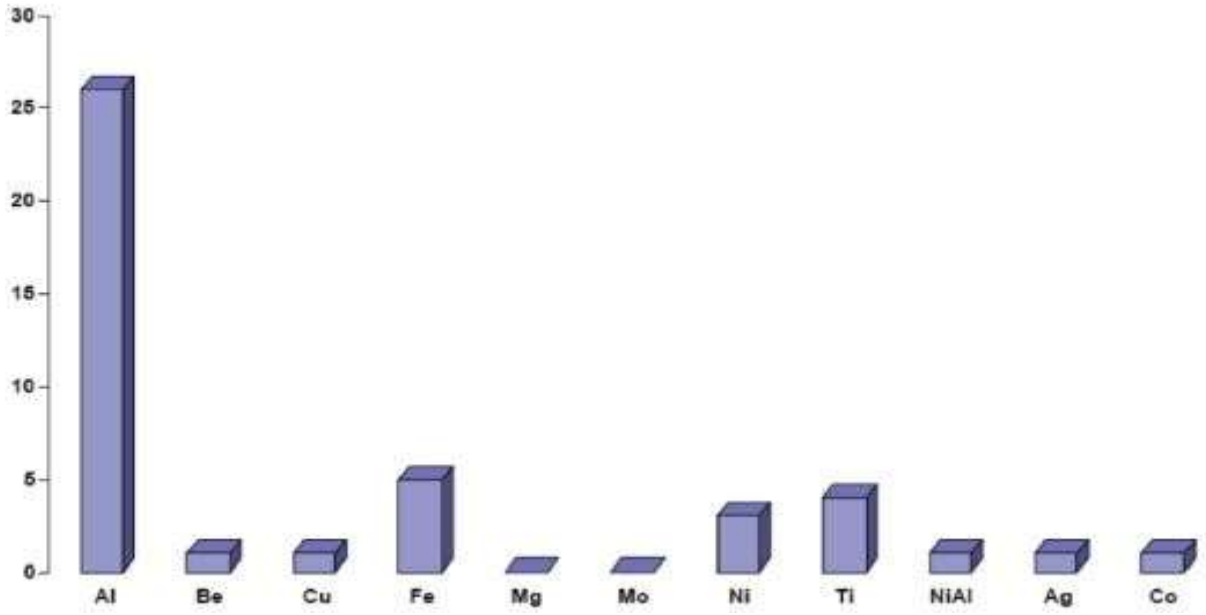
Fakat bu malzemelerin üstün özelliklerinin yanı sıra bir takım sınırlayıcı özellikleri de bulunmaktadır. Bunlar:

- ✓ Zor ve karmaşık üretim süreçleri ve yüksek üretim maliyetleri,
- ✓ Kompozit malzemelerin sünekliğinin metallere oranla düşük olması,
- ✓ Firmalar ve üreticilerin geliştirmekte olan bir malzeme grubu olması nedeniyle kompozitler hakkında metaller kadar bilgi birikimine sahip olmamasıdır [33].

Metal matrisli kompozitler metal matris ve takviye malzemesi olmak üzere iki bileşenden meydana gelmektedir [29]. Kompozit yapı içinde daha sert olan ve daha yüksek dayanım sergileyen faz takviye olarak adlandırılmaktadır [30, 31]. Diğer faz ise baz malzeme olan fakat daha düşük dayanım ve sertlik gösteren matris olarak tanımlanır [29, 31].

Metal matrisli kompozitlerde takviye elemanı seçimi, üretilecek kompozitin özelliklerini belirleyici olması açısından önem taşımaktadır. Bu sebeple takviye elemanının doğru seçilmesi ve özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Kullanım yerlerine göre

değişmekle birlikte, metal matrisli kompozitlerde takviye malzemelerinden beklenen özellikler genel olarak yüksek dayanım, düşük yoğunluk, yüksek elastiklik modülü, yüksek sıcaklıklarda özelliklerini koruma, matrisle uyumlu olma ve ekonomiklik gibi özellikler olmaktadır [32]. Şekil 5’de metal matrisli kompozit üretiminde endüstriyel firmalar tarafından kullanılan matris malzemelerinin kullanım oranları verilmiştir [33].



Şekil 5. MMK üretiminde endüstriyel firmalar tarafından kullanılan matris malzemelerinin kullanım oranları [33].

Tablo 3’de takviye malzemelerinin MMK malzemelerin mekanik özelliklerine etkisi ve üretilen kompozitlerin uygulama alanları verilmiştir [34].

Tablo 3. Takviye malzemelerinin MMK malzemelerin özelliklerine etkisi ve üretilen kompozitlerin uygulama alanları.

Takviye	Matris	Metot	Özellikler	Uygulamalar
TiO ₂	Saf Al	Toz metalürjisi	Sertlik, yoğunluk ve aşınma direnci artar, süneklik azalır.	Otomotiv ve havacılık.
ZrB ₂	AA7075	In situ	Sertlik ve çekme gerilmesi artar, yoğunluk azalır.	Otomotiv, havacılık, denizcilik ve nükleer endüstrisi.
Sic	Al	Toz metalürjisi	Yoğunluk ve sertlik değerleri etkilenir.	Motor yatakları, pistonlar, piston segmanları ve silindir gömlekleri.
Grafit	Çinko alaşım (ZA 27)	Vorteks döküm	Süneklik, çekme ve basma dayanımı artar, sertlik azalır.	Motor yatakları, pistonlar, piston segmanları ve silindir gömlekleri.
Al-20Cu-10Mg alaşım	AA 2024	Karıştırma döküm (Stir casting)	Sertlik, çekme dayanımı, akma dayanımı ve elastikiyet modülü artar.	Uçak yapıları, perçinler, kamyon tekerlekleri ve vida makinesi ürünleri.
Uçucu kül (flyash)	Al 6061	Sıkıştırma döküm (Squeeze casting)	Sönümleme kapasitesi artar.	Otomobil, denizaltı ve havacılık endüstrisi.

3.2. Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemeler

Çok değerli olan alüminyum malzemesi, dünya yüzeyinde yaygın olan elementlerden biri ve dünya yüzey kabuğunun %8'ini tek başına oluşturmaktadır. Alüminyumun elementinin keşfedilmesi ve üretim sürecinin hızla geliştirilmesi, diğer metal malzemelere oranla yeni olmasına rağmen şu an diğer tüm demir dışı metal malzemelerden daha fazla miktar da üretilmektedir [35].

Alüminyumun yapmış olduğu bilinen alaşımların; çökelme sertleşmesi ile dayanım değerlerini artırabilme kabiliyetleri, yoğunluk değerleri düşük, her ortamda yüksek korozyon direnci, üstün elektrik ve ısı iletkenliği, kolay işlene bilmeleri, transfer ve lojistiğin kolay olmaları sebebiyle, rekabet içinde bulunduğu malzemelere göre mukayese edildiğinde büyük olumlu etki sağlayarak gelişmiş uygulama alanlarında kullanılır hale gelmiştir. Alüminyum malzeme özellikleri içerisinde dikkat çeken faktör düşük yoğunluktur ($2,7 \text{ g/cm}^3$) bu değer, pirinç ($8,53 \text{ g/cm}^3$), bakır ($8,93 \text{ g/cm}^3$), çelik ($7,83 \text{ g/cm}^3$) vb. malzemelerden yaklaşık üçte bir değerine eşittir [36,37].

ALM kompozit malzemeler içerisinde kullanılan başlıca matris alaşımına ait özelliklerin bulunduğu değerler Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Alüminyum alaşımlarının çekme özellik değerleri [38].

Malzeme	Temper	%0,2 Akma Mukavemeti (Mpa)	Çekme Mukavemeti (Mpa)	% Uzama
1100	O	35	90	35
5083	O	112	260	22
201	T6	410	480	13
2024	T8	450	480	6
6061	T6	275	310	12
6063	T6	215	240	12
7075	T73	430	500	13
201	T6	345	415	5
213	T633	185	220	0,5
355	T6	235	280	1
356	T6	265	310	1
357	T6	221	283	3

Bir metal matris olarak alüminyumun tercih edilmesinin sebebi; yüksek dayanım, düşük yoğunluk, yüksek dayanım, kolay işlenebilirlik, piyasadaki bulunabilirliği ve fiyatı gibi özellikleridir. Alüminyumun bu özellikleri alüminyum matrisli kompozit malzemelerde takviye malzemelerin yardımıyla daha da iyileştirilebilir. Çizelge 5’te alüminyumun genel özellikleri verilmiştir.

Tablo 5. Alüminyumun genel özellikleri.

Özgül Ağırlığı	g/cm ³	2,78
Ergime Isısı	KJ/kg	-390
Ergime Sıcaklığı	°C	660
Elektrik İletim Katsayısı	m/Ωmm ²	40
Isı İletim Katsayısı	W/mK	230
Elastiklik Modülü	GPa	66

3.2.1. ALMK uygulamaları ve kullanım alanları

Malzeme mühendisliği alanındaki son 25 yıldır yapılan en büyük atılımlardan biri metal matrisli kompozitlerin geliştirilmesi olmuştur. Sıra dışı özellikleri sayesinde üreticilerden ve kullanıcılardan büyük oranda talep görmektedir. MMK’larda elde edilmek istenen dayanımı, aşınma dayanımı ve rijitliği en yüksek; en hafif malzemeyi elde etmektir. Yayınlanan birçok makale alüminyum matrisli kompozitlerle ilgilidir. Hafifliği, alaşımlanma kabiliyet, ısıl işlem görebilmesi ve üretim esnekliği ilgi odağı olmasının sebebi olmuştur [39].

ALMK’ler üstün özelliklerinden dolayı, önemini arttıran ve yeni kullanım alanları bulan bir malzeme grubudur. Alaşım metallerle kıyaslandığında gösterdiği mekanik özellikler, havacılık ve otomotiv sektörlerinde alaşım metallerinin yerini almasını sağlamaktadır. Yapısal uygulamalarda da özel bir yere sahip olan, ALMK kullanım nedenleri aşağıda sıralanmaktadır;

- Düşük yoğunluk
- Yüksek dayanım ve tokluk
- Üretim proseslerinin çeşitliliğe uyum
- Korozyon direnci
- Termal şok direnci
- Şekillendirilebilirlik [40].

Al MMK’ler başta otomotiv, havacılık, uzay, savunma ve elektronik endüstrisinde olmak üzere, yüksek sıcaklık dayanımı ve iyi aşınma direncine gereksinim duyulan uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Al MMK kullanılarak üretilen araçlarda ağırlığın %10 oranında düşürülmesiyle, yakıt tüketiminde %5 tasarruf sağlanmaktadır. Sürtünme dayanımının fazla olmasının istendiği uygulamalar için ise, takviye boyutları artırılarak uygun maliyetli parçalar üretilebilmektedir [31].

Al MMK’ler yüksek ısıl iletkenliğe, düşük ısıl genleşme katsayısına, yüksek özgül dayanıma ve sertliğe sahiptir. Bu özellikleri, Al MMK’lerin 1980’lerin sonlarında uzay uygulamaları için dikkat çekmelerini sağlamıştır. Uçak yapımında ise Al MMK’lerin kullanımı gövde malzemeleri ve motor malzemeleri için olmak üzere iki geniş kategoriye ayrılmıştır [41,42].

3.3. Hibrit Kompozit malzemeler

Aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla elyaf çeşidinin bulunması olasıdır. Bu tip kompozitlere hibrit kompozitler denir. Bu alan yeni tip kompozitlerin geliştirilmesine uygun bir alandır. Örneğin, kevlar ucuz ve tok bir elyaftır ancak basma kuvveti düşüktür. Grafit ise düşük tokluğa sahip, pahalı ancak iyi basma kuvveti olan bir elyaftır. Bu iki elyafın kompozit yapısında bir arada bulunması ile elde edilen hibrit kompozitin tokluğu grafit kompozitten daha iyi aynı zamanda maliyeti daha düşük ve basma mukavemeti de kevlar elyafı kompozitten daha yüksek olmaktadır.

Farklı tiplerdeki hibrit kompozitler aşağıdaki gibi gruplandırılabilir; 1. Matris içinde iki ya da daha fazla tabaka içerirler. Her tabaka belirli bir yöndeki takviyeleri içerir ve her bir tabakada belirli bir tip elyaf kullanılmıştır. Tabakalar amaca göre istenilen şekilde yerleştirilirler 2. İki ya da daha fazla elyaf karışım halinde aynı tabakada yer alır ve tabakalar istenilen şekilde birleştirilerek hibrit kompozit elde edilir. 3. Reçine matrisli tabakalar ve metal matrisli tabakalar gibi farklı kompozit yapıları içeren süper hibritler elde edilebilir. Süper hitridlerde tabakalar bir yapışkan malzeme ile birleştirilirler [12].

4. BÖLÜM

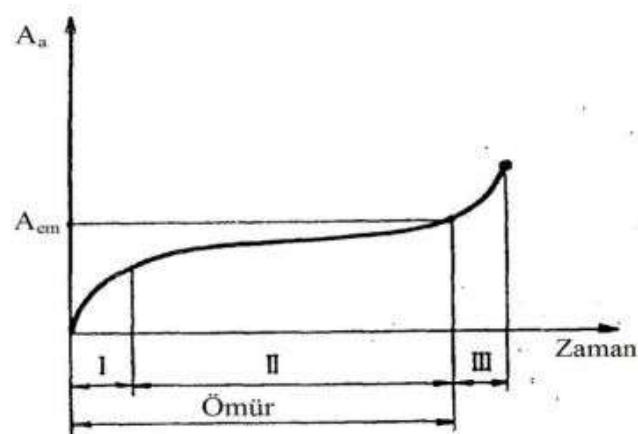
4. AŞINMA

Aşınma, sürtünme halinde bulunan yüzeylerde malzemenin mekanik etkenler etkisiyle kopup ayrılmasıdır [43]. DIN 50320’de “aşınma; malzeme yüzeylerinden, mekanik nedenlerle küçük parçacıkların ayrılması sonucu, arzu edilmeyen şekilde meydana gelen değişiklik” olarak tanımlanmaktadır. Aşınma nedeniyle yüzeyler ilk şekillerini kaybederler, parçalar arasındaki boşluklar artar ve amaçlanan fonksiyon normal şekilde yerine getirilemez. Yüzeylerin talaş kaldırarak işlenmesi, taşlanması, parlatılması vb. işlemlerin aşınma olayı olarak kabul edilmeyişinin nedeni ise bu işlemlerin istenilerek ve kontrollü yapılmasıdır. Kimyasal, termal, elektriksel ve fiziksel nedenlerle eskime veya yüzeyden büyük parçaların kırılarak ayrılması da aşınma olayı olarak düşünülmemektedir.

Mühendislik malzemelerinde görülen yıpranmanın aşınma sayılabilmesi için aşağıdaki şartların mevcut olması gerekir [44]:

1. Mekanik bir etken olması,
2. Sürtünmenin (bağıl hareketin) olması,
3. Hareketin devamlı olması,
4. Malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi.

Aşınma pratik uygulamalarda zamanla gelişen aşınma ve aniden meydana gelen aşınma olarak iki grup altında incelenir. Şekil 6’da görüldüğü üzere makina elemanına ait, çalışma şartlarına bağlı olarak müsaade edilen bir aşınma sınırı (A_{em}) belirlenirse, aşınma-zaman diyagramından makina elemanının normal çalışma zamanı (ömrü) tespit edilebilir. Parça ömrünün sonlarına doğru parça değiştirilmeli veya parçanın bakımı yapılmalıdır.



Şekil 6. Aşınma – Zaman Bağıntısı grafiği.

4.1. Zamanla Gelişen Aşınma

Zamanla gelişen aşınma Şekil 6’da görüldüğü üzere üç kademedede gerçekleşir;

I. Aşama (Rodaj Safhası): Bu aşama eş çalışacak parçaların birbirine alışma safhasıdır. Bu bölümde parçaların ilk çalışması sırasında büyük bir aşınma meydana gelir. Oluşan bu aşınma daha sonra oluşacak aşınmayı büyük ölçüde etkiler. Bu sebeple parçaların rodajlarının iyi yapılması ve kısa sürede gerçekleştirilmesi, bu kısmı etkileyen en önemli unsurdur. Genellikle rodaj, yüksüz ve normal hızdan daha düşük hızlarda yapılır. Rodajın iyi ve kısa sürede gerçekleştirilmesi için bu safhada özel yağlar kullanılır.

II. Aşama: Bu aşamada aşınma çalışma sırasında temas noktalarında meydana gelir.

III. Aşama: Bu aşamada artan aşınma hızı ile şiddetli aşınma meydana gelir.

4.2. Aniden Meydana Gelen Aşınma

Parçaların yüzeyleri çok hızlı bir şekilde bozulur veya bazı hallerde birbirine kilitlenir ve çalışmaz duruma gelir. Genellikle eş çalışan parçaların seçiminde yapılan hatalardan veya yağlamanın yetersiz olmasından meydana gelen aşınma şeklidir.

4.3. Aşınmaya Etki Eden Faktörler

- 1 -Ana malzeme (aşınan),
- 2-Karşı malzeme (aşındıran),
- 3-Ara malzeme,
- 4-Yük,
- 5-Hareket.

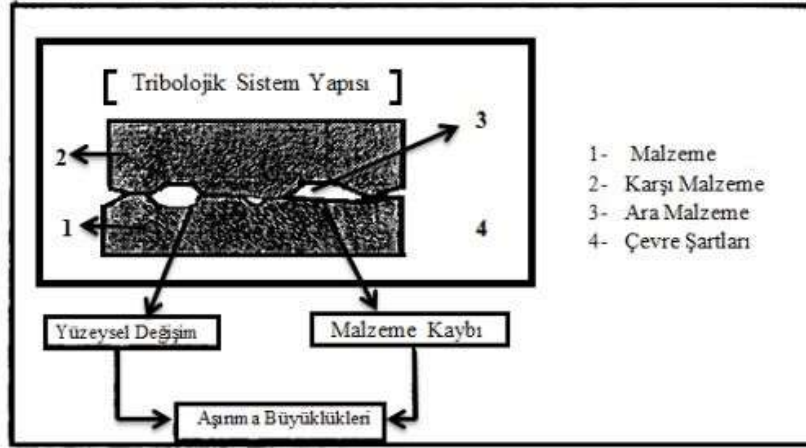
Ayrıca sıcaklık da 6. parametre olarak bunlara ilave edilebilir. Bu parametreler iki grupta toplanabilir.

A. Şekil ve malzeme

B. Gerekli enerji

Aşınan parçanın, aşındıran ve ara malzeme tarafından aşındırılması olayı yani yüzey ve şekil değişikliği sürekli izlenmektedir. Aşınan ve aşındıran malzeme beraberce “aşınma çifti” olarak tanımlanır. Aşınma çifti arasındaki “ara malzeme” sert taneli, sıvı, gaz ve buhar halinde

olabilir. Aşınma parçacıkları da ara malzeme gibi etki yaparak aşınma olayına katılırlar. Aşınma çifti ile ara malzemeye birlikte “aşınma kombinasyonu” denilir. Aşınma çifti arasındaki relatif hareket aşınmanın cinsini belirler. Yük, statik, dinamik veya darbe şeklinde olabilir. Tribolojik sistemde küçük bir değişiklik aşınmayı çok şiddetli etkiler. Bu değişiklikler dinamik parametreler, çevre parametreleri veya malzeme parametreleri olabilir [45].



Şekil 7. Bir tribolojik sistemin şematik olarak gösterimi.

4.4. Aşınma Mekanizmaları

Metal parçaların kullanıldığı ortamlara göre aşınma durumları şu malzeme grupları ile olmaktadır.

1. Metal – Metal
2. Metal – Ametal
3. Metal – Sıvı

Bu sınıflandırmanın, yağlamanın olduğu veya olmadığı durumlar, kayma veya yuvarlanma sürtünmesi dolayısıyla aşınma şeklinde kısımlara da ayrılması gerekir. Ayrıca şartlar değişebilir ve önceden metal – metal olan durum, metal – ametal haline dönüşebilir veya başlangıçtaki yeterli olan yağlama sonradan yetersiz kalabilir. Bu nedenlerden dolayı yukarıdaki sınıflandırma gerçek mühendislik pratiğinde kullanılabilirliğini kaybedebilir ve bunun yerine yaygın olan terimlerle gruplandırma tercih edilir.

Aşınma olayına etki eden bir ya da birkaç etken değişik aşınma mekanizmalarını ortaya çıkarır. Bu aşınma mekanizmaları, abrasif aşınma %50, adezif aşınma %15, erozif aşınma %8, korozyon aşınması %8, kimyasal aşınma %5, ve diğerleri %14 olmak üzere endüstride değişen oranlarda karşımıza çıkmaktadır. Bu aşınma mekanizmalarından en çok karşılaştığımız ise abrasif aşınmadır [46].

5. BÖLÜM

5. Literatür Araştırması

Kalaycıoğlu çalışmasında, toz metalürjisi yöntemiyle üretilen SiC ile takviye edilmiş Al₂O₃ matrisli kompozit malzemelerde takviye oranı ve takviye tane boyutunun mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisini incelemiştir. Yapılan deneyler sonucunda, presleme basıncının artmasıyla gözenekliliğin azaldığını ve mekanik özelliklerin iyileştiğini tespit etmiştir. Takviye tane boyutunun küçülmesiyle sıkıştırılabilirliğin arttığı ve dolayısıyla ham yoğunluğun arttığı sonucuna varmıştır. Artan takviye oranıyla ise sertlik ve gözenekliliğin arttığını, yoğunluğun azaldığını belirlemiştir [47].

Ay çalışmasında, toz metalürjisi yöntemi ile Al₇₀Si₃₀ alaşımına farklı oranlarda Ti ve B₄C takviye edilerek üretilen kompozit malzemelerin aşınma davranışlarını incelemiştir. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda, artan Ti takviye oranıyla yoğunluğun ve sertliğin arttığını, artan B₄C takviye oranıyla ise sertliğin arttığını fakat yoğunluğun azaldığını belirlemiştir. Hem Ti hem de B₄C takviyeli numunelerde artan takviye oranıyla ağırlık kayıplarının azaldığını gözlemlemiştir. En yüksek sertliğin en yüksek takviye oranları olan %6 Ti ve %9 B₄C takviye oranlarında takviyelenen kompozit numunelerinden elde edildiğini tespit etmiştir. Aşınma testleri sonucunda ise, artan kayma mesafesiyle ağırlık kayıplarının yani aşınmanın arttığını ve ardından yapılan SEM incelemeleri değerlendirildiğinde test sırasında yüzeyden kopan parçaların tekrar yüzeye kaynaklandığını ve bu durumun artan takviye oranlarıyla fazlaştığını belirtmiştir [48].

Venkatesh ve Harish çalışmalarında, toz metalürjisi tekniğiyle, farklı oranlarda ve tane boyutlarında SiC katkılı olarak üretilen Al kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Gerçekleştirdikleri incelemeler sonucunda, sinterleme sonrası hem yoğunluğun hem de sertliğin arttığını doğrulamışlardır. Yine aynı özelliklerin hem takviye oranına hem de takviye tane boyutuna bağlı olarak değiştiğini tespit etmişlerdir.

Sinterleme sonrası uygulanan ısıtma işleminin sertliği ve yoğunluğu artırdığını belirlemişlerdir. Isıtma işlemi sonrası yoğunluğun, artan SiC takviye oranı ve azalan SiC tane boyutu ile arttığı sonucuna varmışlardır. Isıtma işlemi sonrası sertliğin ise, artan takviye oranıyla arttığını fakat azalan tane boyutu ile düştüğünü saptamışlardır. Sonuç olarak sinterleme sonrası uygulanan ısıtma işleminin kompozit malzeme özelliklerini etkilediği kanısına varmışlardır [49].

Jeevan vd. yaptıkları çalışmada, toz metalürjisi yöntemi ile ürettikleri Al-SiC kompozitlerin presleme, sinterleme ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda, artan SiC oranıyla sertlik ve basma dayanımının arttığını tespit etmişlerdir. Tozların preslenmesi sırasında, nihai ürünün şekil ve kalitesinin başlangıç toz karışımının özelliklerine bağlı olduğunu belirlemişlerdir. Buna bağlı olarak istenen kompozit özelliklerini elde etmek için basım öncesi toz karışımın dikkatli bir şekilde hazırlanması gerektiğini ve boyutlandırma için uygun toleransların seçilmesinin önemini vurgulamışlardır [50].

Karaşoğlu ve Karaoğlu çalışmalarında, toz metalurjisi ile üretilen SiC takviyeli Al matrisli kompozit malzemelerde, yağlayıcı olarak kullanılan çinko stearat katkısının, sinterleme yardımcısı olarak Mg katkısının ve sinterleme atmosferi olarak azot ortamın, malzemenin yoğunluğuna, sertliğine, iç yapısına ve basma dayanımlarına etkisini araştırmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda, yağlayıcı ilavesiyle ham ve sinter sonrası yoğunlukların düştüğünü, buna bağlı olarak sertlik ve mukavemetin de düştüğünü tespit etmişlerdir. Sinterleme yardımcısı olarak ilave edilen Mg, %1 oranında ilave edildiğinde yüksek yoğunluk değerleri elde edildiğini, bu oranın %3' e çıkarılmasıyla ise yoğunluk değerlerinin azaldığını, buna rağmen Mg oranının artmasıyla sertlik ve mukavemetin artmaya devam ettiğini belirlemişlerdir. Sinterleme atmosferi olarak hava yerine azot ortamın kullanılmasının ise; yoğunluk, sertlik ve mukavemeti artırdığını saptamışlardır [51].

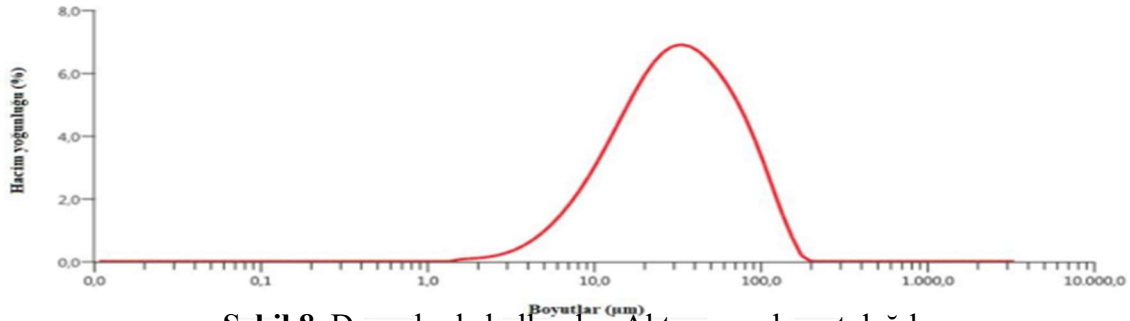
6. BÖLÜM

6. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada toz metalürjisi yöntemi ile üretilen Saf Al'nin karakteristik özellikleri araştırılmış ve incelenmiştir. Üretim esnasında bütün parametreler sabit tutulmuştur. Üretilen numunelerin mikro yapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla elde edilen numunelerin yoğunluk ve sertlik ölçümleri yapılmış, optik mikroskop ile gerekli mikro yapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir.

6.1. Kullanılan Malzeme ve Özellikleri

Deneylerde matris malzemesi olarak, boyut dağılımı Şekil 8'de verilen, Deha Toz Metal firmasından temin edilen, ortalama 40 μm boyut ve %98 üzeri saflıktaki saf Al tozları kullanılmıştır.



Şekil 8. Deneylerde kullanılan Al tozunun boyut dağılımı.

Çalışmada kullanılan Al tozunun genel özelliklerinden olan yoğunluk, ergime sıcaklığı ve sertlik değerleri çizelge 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Deneylerde kullanılan malzemenin genel özellikleri.

Malzeme	Yoğunluk (g/cm ³)	Ergime Sıcaklığı (°C)	Sertlik (HV, kg/mm ²)
Al	2.7	660	16.7

6.2. Deney Numunelerinin Üretilmesi

Deney numuneleri üretilirken izlenen adımlar sırası ile verilmiştir.

6.2.1. Toz Karışımların Hazırlanması

Deneyisel çalışmaların başlangıcında, üretilecek numuneler için presleme öncesi kalıba doldurulacak toz miktarı hesaplanmıştır. Yani istenen ölçülerde deney numunelerinin üretilmesi için gerekli olan toz karışımlarının ağırlık hesapları yapılmıştır. Bu miktar, toz karışımın yoğunluğuna ve üretilecek numune boyutlarına bağlıdır. Deneylerde üretilecek numuneler silindirik numuneler olup boyutları; çap 12mm ve yükseklik 10.44mm olacak şekilde belirlenmiştir. Buna bağlı olarak numune hacmi eşitlik 6.1'den 0.00118 cm^3 olarak hesaplanmıştır. Bu değerden yola çıkarak ise üretilecek numune ağırlıkları adet başına olmak üzere eşitlik 6.2'den hesaplanmıştır.

$$V = \pi r^2 h \quad (6.1)$$

$$W = \rho \cdot V \quad (6.2)$$

Burada;

V: Hacim (g/cm^3)

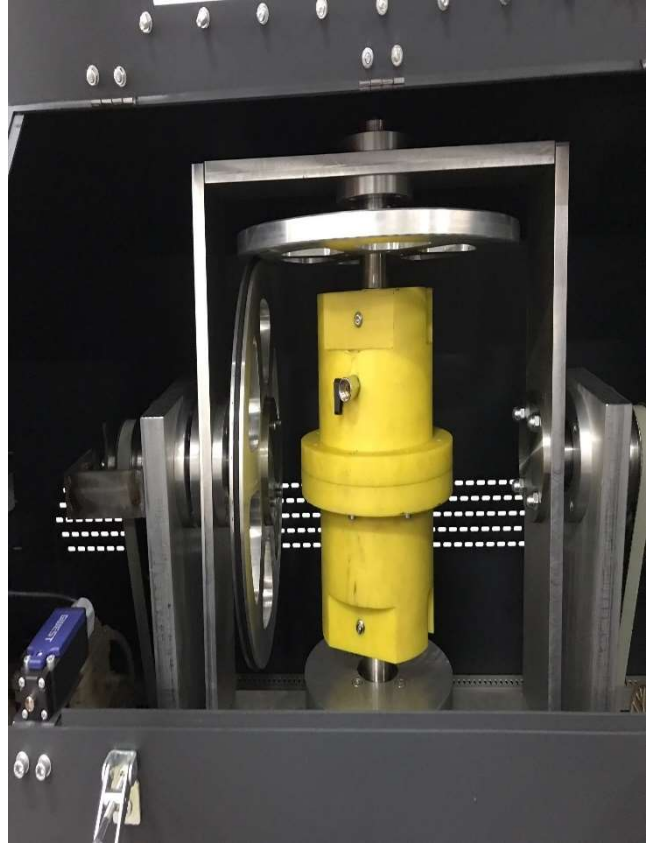
W: Ağırlık (g)

ρ : Yoğunluk (g/cm^3)

Bu değerlere bakıldığında, bir adet numune için kalıba doldurulacak toz miktarının yaklaşık 3 gram olduğu saptanmıştır. Toplamda 2 numune üretilmiştir. Her numune için adet başına ağırlık ortalama 7g olarak alındığından, üretilecek grubun ağırlığı 14g olarak hesaplanmıştır. Fakat kalıba doldurma sırasında oluşabilecek veya presleme sırasında tozun kalıp duvarlarına sıvanması ile gerçekleşebilecek kayıplar dikkate alınarak, karışım ağırlığı 20g olarak belirlenmiştir ve tozlar 20g halinde hazırlanmıştır. Bu karışımlar Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi Merkezi Laboratuvarlarında bulunan 0.0001g hassasiyete sahip JJ224BC Electronic Scale marka terazide tartılarak hazırlanmıştır. Şekil 9'da kullanılan hassas terazi görülmektedir. Homojen dağılımlı toz karışımlar elde etmek amacıyla yapılan karıştırma işlemleri de yine Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi Merkezi Laboratuvarlarında bulunan Mechatrosoft marka yüksek enerjili bilyalı değirmende 300rpm hızda, 1 saat süre ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 10'da kullanılan karıştırıcı verilmiştir.



Şekil 9. Toz karışımlarının hazırlanmasında kullanılan hassas terazi.



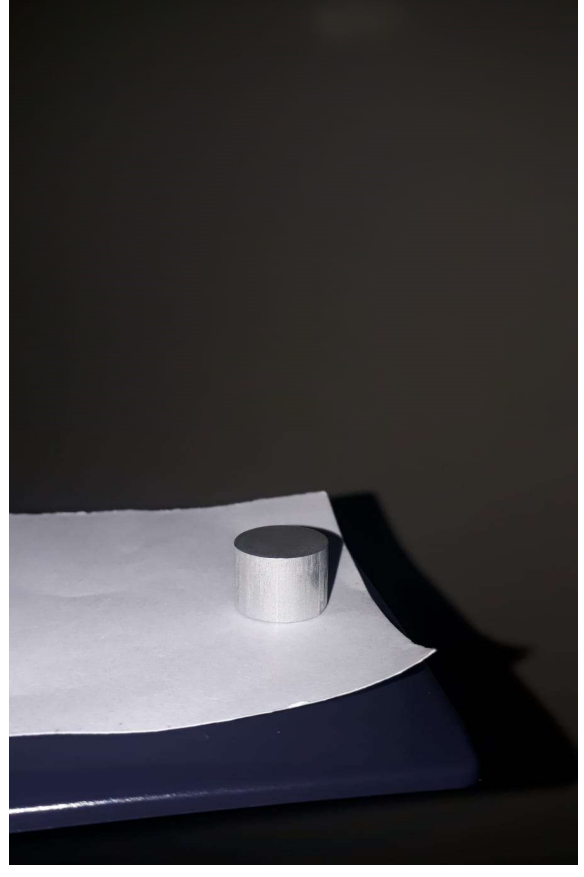
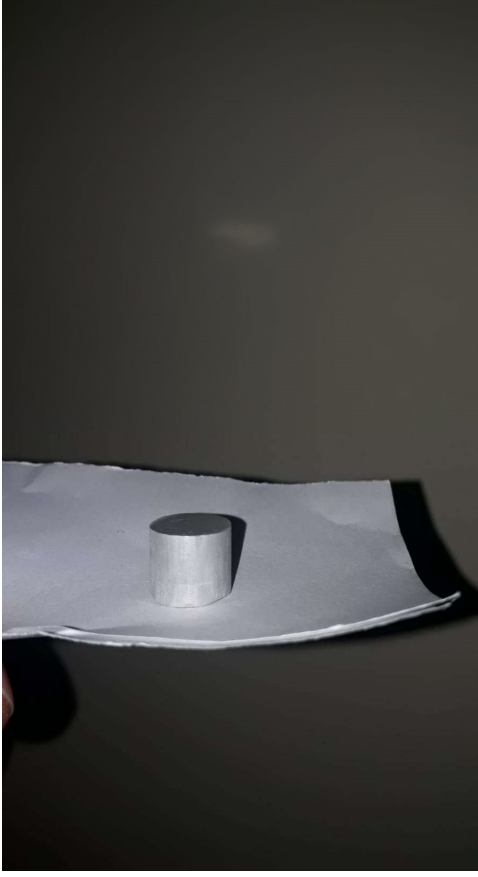
Şekil 10. Toz karışımlarının karıştırılmasında kullanılan karıştırıcı.

6.2.2. Toz Karışımlarının Preslenmesi

Hazırlanan toz karışımları Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi Merkezi Laboratuvarlarında bulunan 60 tonluk hidrolik preste tek yönlü ve eksenel olarak, 11 Mpa basınç altında presleme işlemine tabi tutulmuş ve bu şekilde ham numunelerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen ham numuneler Şekil 12’de verilmiştir. Presleme basıncı seçiminde yapılan literatür çalışmaları ve gerçekleştirilen ön deneyler belirleyici olmuştur. Presleme işlemi öncesi kalıp duvarları ve zımbanın çevresi, sürtünmeyi ve kalıp aşınmasını azaltmak, numunelerin presleme sonrası kalıptan daha kolay çıkmasını sağlamak amacıyla çinko stearat ile yağlanmıştır. Presleme işleminde kullanılan hidrolik pres Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 11. Tozların preslenmesinde kullanılan hidrolik pres.



Şekil 12. Presleme sonrası elde edilen numuneler.

6.2.3. Ham Numunelerin Sinterlenmesi

Presleme işlemi sonrası elde edilen ham numunelerin sinterleme öncesi ham yoğunluk ölçümleri yapılmış ve ardından numuneler sinterleme işlemine tabi tutulmuştur. Sinterleme işlemi, atmosfer kontrollü, kare boru tip Thermnevo Nevola marka ısıtma işlem fırınından gerçekleştirilmiştir. Sinterlemenin gerçekleştiği fırın ve sinterlenen numuneler Şekil 13’de gösterilmiştir. Sinterleme argon gazı atmosferinde 580°C’de 1 saat süre ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 13. Sinterleme işleminde; a) Kullanılan fırın. b) ve c) Sinterlenmek üzere fırın içerisine yerleştirilmiş olan numuneler.

6.2.4. Zımparalama ve Parlatma

Sinterlenen numunelerden alınan ölçümlerin ve görüntülerin doğru olması açısından her numune sırası ile 400, 600, 800 ve 1200 gritli zımparalarda yüzey temizleme işlemi görmüştür. Yüzey temizleme işleminden sonra numunenin mikroyapısının daha net görülebilmesi için yüzey çizikleri giderilene kadar 1 mikronluk alümina süspansiyon ve parlatma keçesi ile parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 14’de zımpara ve parlatma makineleri ve işlem gören numuneler verilmiştir.



Şekil 14. Parlatma ve zımparalama işleminde; a) ve b) kullanılan makineler, c) ve d) işlem gören numuneler.

6.2.5. Dağlama

Numunenin tanecik boyutları ve matrislerin belirginleşmesi için, %5 HF %95H₂O'dan oluşan çözelti içerisinde 90 saniye süre ile dağlanmıştır.

6.3. Deney Numunelerine Uygulanan Testler

Üretilen numuneler, mikroyapı ve mekanik özelliklerinin tayininin yapılabilmesi için çeşitli testlere tabi tutulmuştur. Bu testler; yoğunluk ölçümü ve sertlik ölçümü gibi mekanik testler ile optik mikroskop ile yapılan mikroyapı inceleme testlerinden oluşmaktadır. Bu testler öncesi numunelere çeşitli metalografik numune hazırlama işlemleri uygulanmıştır.

6.3.1. Yoğunluk Ölçümü

Yoğunluk ölçümleri, sinterleme öncesi ve sinterleme sonrası olmak üzere iki defa gerçekleştirilmiştir. Bunun amacı sinterleme ile yoğunluk değerlerindeki değişimi ortaya koymaktır. Daha sonra numunelerin hesaplanan teorik yoğunlukları ve sinterleme sonrası deneysel yoğunlukları kullanılarak Eşitlik 6.3 ile % gözeneklilik oranları ve Eşitlik 6.4 ile yoğunluk yüzdeleri hesaplanmıştır.

$$\%gözenek = \frac{\rho_{teorik} - \rho_{deneysel}}{\rho_{teorik}} \times 100 \quad (6.3)$$

$$\%p = \frac{\rho_{deneysel}}{\rho_{teorik}} \times 100 \quad (6.4)$$

Burada;

$\rho_{deneysel}$: Deneysel yoğunluk (g/cm³)

ρ_{teorik} : Teorik yoğunluk (g/cm³)

%gözenek : Gözeneklilik yüzdesi

%p : Yoğunluk yüzdesi

6.3.2. Sertlik Ölçümü

Sertlik ölçümleri, Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi Merkezi Laboratuvarlarında bulunan Hardway marka mikrosertlik ölçüm cihazında Vickers (HV) cinsinden gerçekleştirilmiştir. Optimum sonuçlar elde etmek amacıyla, her numune için yüzeydeki üç farklı noktadan ölçüm alınıp bu değerlerin aritmetik ortalaması hesaplanarak sertlik değeri olarak belirlenmiştir. Kullanılan sertlik ölçüm cihazı Şekil 15’te verilmiştir.

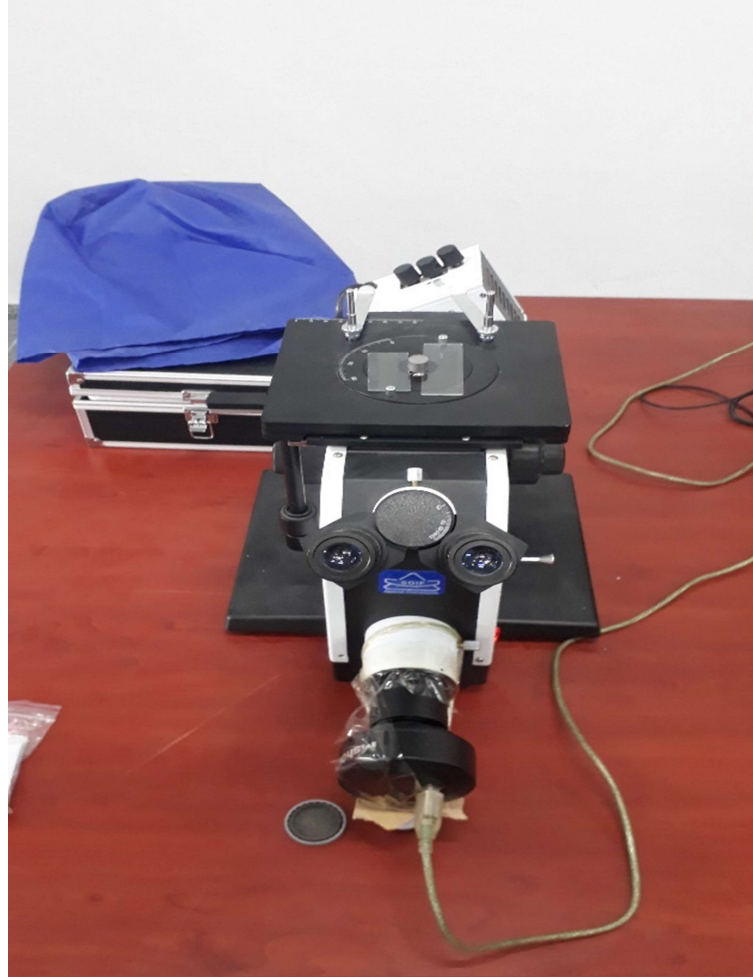


Şekil 15. Sertlik ölçümlerinde kullanılan cihaz.

6.3.3. Optik Mikroskop ile Mikroyapı İncelemeleri

Üretilen numunelerin mikroyapısal karakterizasyon çalışmaları; optik mikroskop ile incelemeleri gerçekleştirilerek yapılmıştır. Bu çalışmalardan önce numunelere gerekli metalografik numune hazırlama işlemleri (zımparalama, parlatma) uygulanmıştır.

Hazırlığı biten numunelerin mikroyapı görüntüleri, Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi Merkezi Laboratuvarlarında bulunan So1f marka optik mikroskop ile elde edilmiştir. Kullanılan optik mikroskop Şekil 16’da verilmiştir.



Şekil 16. Mikroyapı görüntülerinin elde edilmesinde kullanılan optik mikroskop.

7.BÖLÜM

7. Test Sonuçları ve Tartışma

Numuneye uygulanan test sonuçları incelenmiştir.

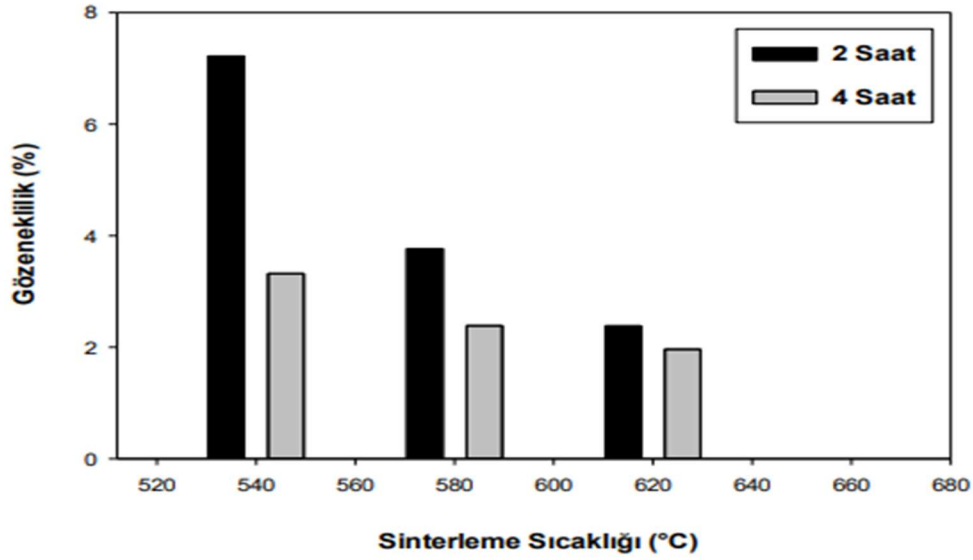
7.1. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirmesi

Üretilen numunelere yapılan yoğunluk ölçüm işlemleri, sinterleme öncesi ham yoğunlukların ölçümü ve sinterleme sonrası gerçek yoğunluk değerlerinin ölçümü olmak üzere iki kere gerçekleştirilmiştir. Bunun amacı, sinterleme sonrası numunelerde meydana gelen yoğunluk değişimlerini gözlemleyebilmektir. Gerçekleştirilen yoğunluk ölçümlerinin sonuçları, Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Saf Al numunelerine ait yoğunluk ölçüm değerleri.

Malzeme	Takviye Oranı (%)	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Sinterleme Süresi (saat)	Sinterleme Öncesi (g/cm ³)	Sinterleme Sonrası (g/cm ³)	Teorik Yoğunluk (g/cm ³)	Deneyisel Yoğunluk (%)	Gözeneklilik (Porozite) (%)
Al	0	540	2	2.450	2.505	2.700	92.781	7.219
			4	2.534	2.603		96.836	3.173
		580	2	2.540	2.610		96.683	3.317
			4	2.506	2.636		97.616	2.384
		620	2	2.535	2.636		97.621	2.379
			4	2.535	2.647		98.040	1.960

Yoğunluk ölçüm sonuçlarına bakıldığında, sinterleme süresi ve sıcaklığı ile numunenin yoğunluk değerlerinde bir artış olduğu görülmektedir. Artan sinterleme sıcaklığı ve süresinde ergime sıcaklığına yaklaşılacak sıcaklıklarda atomların bağ koparma enerjilerinin artmasıyla Al taneleri arasında difüzyonun arttığı, dolayısıyla gözeneklerin küçüldüğü, buna bağlı olarak da yoğunluğun arttığı düşünülmektedir. Sonuç olarak, sinterleme sıcaklığı ve süresinin artmasıyla gözenekliliğin azaldığı, yoğunluğun arttığı ve hesaplanan teorik yoğunluk değerlerine yaklaştığı belirlenmiştir. Topçu vd., Kevenlik ve Venkatesh ve Harish tarafından yapılan çalışmalarda da bu sonuçlara benzer sonuçlara ulaşılmıştır [49, 52, 53].



Şekil 17. Saf Al numunelerde gözenekliliğin sinterleme sıcaklığına bağlı değişimi.

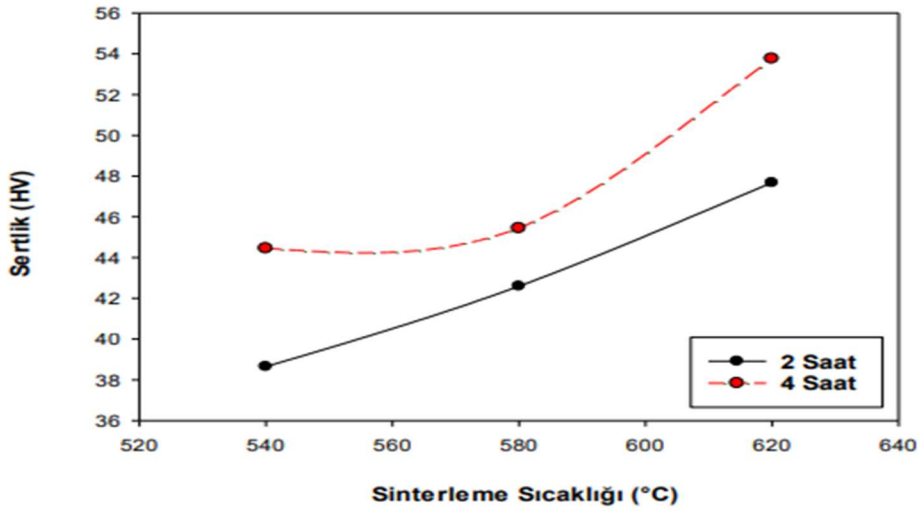
7.2. Sertlik Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Numunelerin sertlik ölçümleri Hardway marka mikrosertlik ölçüm cihazında gerçekleştirilmiştir. Optimum sonuçlar elde etmek amacıyla, numunenin üç farklı noktasından ölçüm alınarak elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması hesaplanmış ve numuneye ait sertlik değeri olarak belirlenmiştir. Gerçekleştirilen sertlik ölçümleri sonuçları Saf Al için Çizelge 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Saf Al numunelerine ait sertlik ölçüm değerleri.

Malzeme	Takviye Oranı (%)	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Sinterleme Süresi (saat)	Sertlik (HV)			Sertlik Ortalaması (HV)
Al	0	540	2	53,800	71,110	70,950	65,287
			4	67,780	65,790	62,260	65,277
		580	2	71.54	56.52	62.96	63.673
			4	64.300	54.050	74.160	64.170
		620	2	55.430	62.500	74.180	64.037
			4	70.950	53.800	71.110	65.287

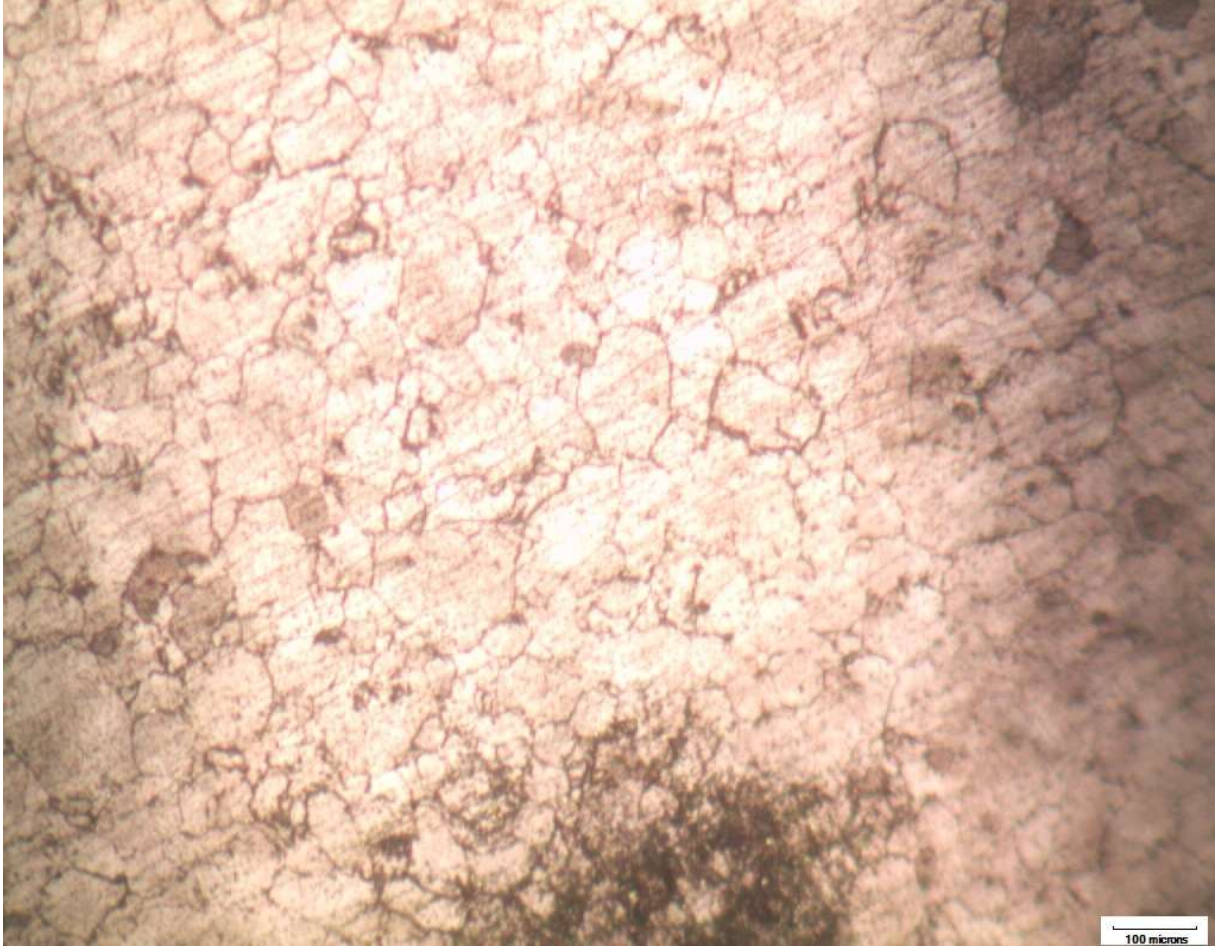
Sertlik ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde, sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresi ile numunelerin sertliklerinde artış olduğu belirlenmiştir. Artan sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresi ile sertlik artışının ise, sıcaklığın artmasına bağlı olarak difüzyonun artması ve taneler arası genişlemenin kolaylaşıp fazlalaşarak bağlanmanın artması, taneler arasında ve tane sınırlarında yoğun olarak bulunan gözeneklerin küçülmesi, böylece daha mukavim ve yoğunluğu teorik yoğunluğa daha yakın bir yapının elde edilmesi sonucu olduğu düşünülmektedir. Bu sonuçlar Keçeli, Kevenlik, Işık, Venkatesh ve Harish ve Selvakumar vd. tarafından yapılan çalışmalarda da benzerlik göstermektedir [26, 41, 49, 53, 54].



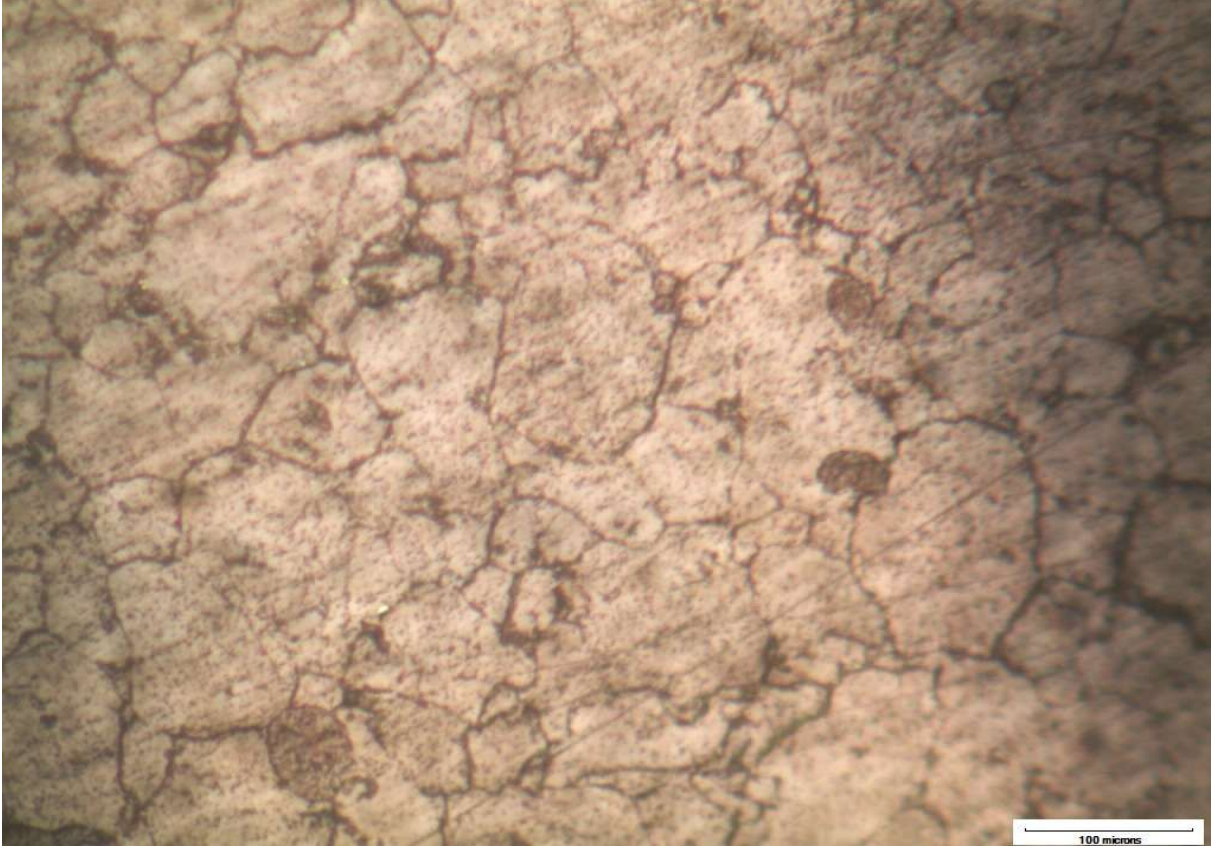
Şekil 18. Saf Al numunelerinde sertliğin sinterleme sıcaklığına bağlı değişimi.

7.3. Mikroyapı İncelemeleri ve Değerlendirilmesi

Mikroyapı incelemelerini gerçekleştirmek amacıyla Saf Al numunesine ait optik mikroskop ile mikroyapı görüntüleri alınmış ve incelenmiştir. Şekil 19-20’de sırasıyla 100micron ve 200micron’luk yakınlaştırılmış mikroskop görüntüleri görülmektedir.



Şekil 19. 100micron yakınlaştırılmış Saf Al mikroyapısı.



Şekil 20. 200micron yakınlaştırılmış Saf Al mikroyapısı.

Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde numune için karıştırma süresinin yapıda homojene yakın bir dağılım elde edilmesi açısından yeterli geldiği belirlenmiştir. Sinterleme süresindeki artışın gözenekliliği azalttığı net bir şekilde görülebilmektedir. Metalografik numune hazırlama aşamasında gerçekleştirilen zımparalama ve parlatma işlemlerinin sağlıklı yapılmamasından kaynaklı yüzey çizikleri ve dağlama işlemi sırasında numunenin bazı bölgelerinde meydana gelen yanıklar ve kopan parçalara ait boşlukların meydana gelmesi ile bozukluklar oluşmuştur. Bu görüntüler etkin sonuç vermese de örnek olması açısından paylaşılmıştır.

8.BÖLÜM

8.Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada Saf Al, 3 farklı sinterleme sıcaklığında ve 2 farklı sinterleme süresinde üretilen numunelerin mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Farklı üretim parametrelerinin bu özellikler üzerine etkisi değerlendirilerek elde edilen sonuçlar şu şekilde yorumlanmıştır:

- ✓ Numunelerde artan sinterleme sıcaklığı ve süresiyle sertlik ve yoğunluk artmış, gözeneklilik ise azalmıştır. Bu durumun artan sinterleme sıcaklığının atomlar arası difüzyonu hızlandırması sebebiyle taneler arası bağlanmanın artması ve böylece gözeneklerin küçülmesi sonucu meydana geldiği yorumlanmıştır.
- ✓ Alınan mikroyapı görüntülerinden 1 saat olarak belirlenen karıştırma süresinin yapıda homojen bir dağılım elde edilmesi açısından yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Mikroyapı görüntülerinden de gözenekliliğin arttığı ve bu gözeneklerin çoğunlukla matris tane sınırlarında meydana geldiği sonucuna ulaşılmıştır.

Bu çalışmadan elde edilen veriler ışığında daha sonra gerçekleştirilecek çalışmalar için şu öneriler verilebilir:

- ✓ Aynı koşullarda üretilen numunelere daha yüksek presleme basınçları uygulanarak sonuçları değerlendirilebilir veya farklı bir üretim yöntemi kullanılabilir.
- ✓ Üretilen numuneler için aşınma testleri gerçekleştirilerek sonuçları değerlendirilebilir.

9.BÖLÜM

9. Kaynaklar Dizini

- 1- Kalaycıoğlu, A. S. (2010). SiC Tane Katkılı Alüminyum Kompozitlerin Toz Metalurjisi ile Üretimi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- 2- Çiftçi, İ., (2003). Alüminyum Esaslı Kompozitlerde Takviye Oranı ve Boyutunun Mekanik Özellikler ve İşlenebilirlik Üzerine Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- 3- Acılar, M. (2002). Al/SiC Kompozitlerin Vakum İnfiltrasyon Yöntemi ile Üretimi ve Aşınma Davranışlarının Araştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- 4- Fayed, M. E., ve Otten, L. (1997). Handbook of Powder Science & Technology (2nd ed.). NewYork: Chapman & Hall.
- 5- Huda, M. D., Hashmi, M. S. J.,ve El-Baradie, M. A. (1995). MMCs: materials, manufacturing and mechanical properties. In Key Engineering Materials, 104-107, 37-64.
- 6- Akoral, E. (2003). Toz Metalurjisi Yöntemi ile Al-SiC Kompozit Malzeme Üretimi ve İşlenebilirliğinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- 7- Göde, C. (2011). TM ile Üretilmiş Alumix-231 SiCp ve B4Cp Kompozitlerin Farklı Üretim Yöntemlerinin Mekanik Özelliklere Etkisi. Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- 8- Ekici, E. (2012). Alüminyum Matrisli B4C Takviyeli ve Grafit Katkılı Kompozitlerin Üretilmesi, Mekanik Özellikleri ve Frezede İşlenebilirliğinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- 9- Kurt, A.O. (2004). Toz Üretim Yöntemleri ve Sinterleme. Sakarya Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, 4-34.
- 10- Türk Toz Metalurjisi Derneği, 2005. Toz Metalurjisi Üretim Teknikleri, Ankara. <http://www.turktoz.gazi.edu.tr/makale.html>

- 11-** Korucu S. ve Soy G., “Alüminyum Matrisli Kompozitlerde Tungsten Karbür ve Grafen Takviyelerinin Mekanik Özelliklere Etkileri Üzerine Bir Araştırma“ Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7 (2019) 1466-1487, (2019).
- 12-** Bilgili, E. Z., Salamcı, E., Asan, A., Ünal, R. ve Valov R., “Elmas Nano Parçaçık Takviyeli Krom Kaplanmış Gözenekli Toz Metal Parçaların Korozyon Davranışlarının Araştırılması” Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Dergisi, 31:3 (2016) 579-587, (2016).
- 13-** Eısay, A. M. S., “Alüminyum/biyokütle kaynaklı aktif karbon kompozitlerinin üretimi ve karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, KASTAMONU, (2019).
- 14-** Kumdalı, F., 2008, “ Aluminyum Matrisli B4C Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 15-28
- 15-** Biçer, A. B., 2009, “ Toz Metalurjisi Yöntemiyle Poroz Alüminyum, Titanyum İntermetalik Kompozitlerin Üretimi ”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2-3, 8-9-19.
- 16-** <http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/bilyal-ogutme-yuksek-enerji-high-energy.html>
- 17-** Akın, G.,2006, “Toz Metalurjisi Yöntemiyle Alüminyum Matrisli Bor Karbür Takviyeli Kompozitlerin Üretilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 7-21.
- 18-** K, Erdoğan., 2006, “ Kompozit Malzemelerden Yapılan Yaprak Yaylarının Analizi ” , Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2
- 19-** Asi, D., 2018, “ Polimer Matrisli Kompozit Malzemelerde İlave Olarak Kullanılan Parçacıkların Geometrisinin Kompozit Malzemelerin Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerine Etkisinin Araştırılması ”, Doktora Tezi, Uşak Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uşak, 13-14, 18
- 20-** Schwartz, M. M. (1984). Composite Materials Handbook (2nd ed.). New York: McGraw-Hill.
- 21-** Teti, R. (2002). Machining of composite materials. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 51(2), 611-634.

- 22-** Şahin, Y. (2015). Kompozit Malzemelere Giriş (3. Baskı). Ankara: Seçkin.
- 23-** Hull, D., ve Clyne, T. W. (1996). An Introduction to Composite Materials (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- 24-** Callister, W. D., Rethwisch, D. G. (2014). Malzeme Bilimi ve Mühendisliği [Materials Science and Engineering] (8. Baskı) (C. Bindal, K. Genel, M. Demirkol, R. Artır, M. Bakkal, S. A. Parasız, Çev.; K. Genel, Ed.). Ankara: Nobel.
- 25-** Karaman, Y. (2011). Toz Metalurjisi Yöntemi ile MgO Takviyeli Al Esaslı Kompozit Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi
- 26-** Işık, E. (2014). SiC Takviyeli Al-12Si Matrisli Kompozitin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi ve Aşınma Davranışının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- 27-** Şahin, Y. (2015). Kompozit Malzemelere Giriş (3. Baskı). Ankara: Seçkin.
- 28-** Ibrahim, I. A., Mohamed, F. A., ve Lavernia, E. J. (1991). Particulate reinforced metal matrix composites-a review. Journal of Materials Science, 26(5), 1137-1156.
- 29-** Srivatsan, T. S., Ibrahim, I. A., Mohamed, F. A., ve Lavernia, E. J. (1991). Processing techniques for particulate-reinforced metal aluminium matrix composites. Journal of Materials Science, 26(22), 5965-5978.
- 30-** Boutman, L.J. ve Krack, R.H. (1974). Composite Materials (Vol.4). London: Academic Press.
- 31-** Uygur, İ., ve Saruhan, H. (2004). Alüminyum esaslı metal matris kompozit malzemelerin mekanik özellikleri. SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8(1), 167-174.
- 32-** Onat, A. (2015). Kompozit Malzemeler. Ders notu, Makina ve Metal Teknolojileri Bölümü, Sakarya Meslek Yüksek Okulu, Sakarya Üniversitesi, Sakarya. Erişim adresi: http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/78375/31395/kompozit_malzemeler_ders_notu.pdf
- 33-** Kalemtaş, A. (2014). Metal matrisli kompozitlere genel bir bakış. Putech&Composites, 22, 18- 30.

- 34-** Singh, S., Gangwar, S., ve Yadav, S. (2017). A Review on Mechanical and Tribological Properties of Micro/Nano Filled Metal Alloy Composites. *Materials Today: Proceedings*, 4(4), 5583-5592.
- 35-** European Aluminium Association, Aluminium: A history, <http://www.eaa.net/en/aboutaluminium/aluminium-history/>, 9 Mayıs 2011
- 36-** Cayron, C., 2000, “TEM Study of Interfacial Reactions and Precipitation Mechanisms in Al₂O₃ Short Fiber or High Volume Fraction SiC Particle Reinforced Al-4Cu-1Mg 78 0.5 Ag Squeeze-Cast Composites”, Doktora Tezi, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne.
- 37-** Bonollo, F., Urban, J., Bonatto, B. ve Botter, M., (2005). "Gravity and low pressure die casting of aluminium alloys: a technical and economical benchmark", *La Metallurgia Italiana*, 97(6):23-32.
- 38-** Pandey, A.B., (1992). "Metallic matrices", *ASM Handbook Vol. 21*, Ed. Miracle, D.B. ve Donaldson, L., ASM International, Metals Park, OH, 396–402.
- 39-** Başar, F. E., 2011, “Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Basıncısız Sinterleme ile Üretimi ve Karakterizasyonu” Yüksek Lisans Tezi, Antalya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 35-36.
- 40-** Polat, S. F., 2019, “Al₂O₃, TiB₂ Parçacık Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Sıcak Presleme ile Üretimi ve Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Antalya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 15-25.
- 41-** Keçeli, Z. (2007). Characterization Investigations of Powder and Sintered Al-SiC and Al-B₄C Composites Developed via Mechanical Alloying. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- 42-** Burg, T., ve Crosky, A. (2001). *Materials for Aeronautical Engineering Published Course Materials*. University of New South Wales, Australia.
- 43-** Ludema, C.K. (1996). *Friction, Wear, Lubrication, A Textbook in Tribology*, 107- 108.
- 44-** Akkurt, M. (1986). *Makina Elemanları ve Konstrüksiyonu Kürsüsü*, Cilt 2, İstanbul: Birsen Yayınevi.
- 45-** Bhushan, B. (2000). *Modern Tribology Handbook*, CRC Yayınevi.

- 46-** TMMOB. (2003). II. Ulusal Demir-Çelik Sempozyumu ve Sergisi: Bildiriler Kitabı, Yay. No: E/2003/336, Ankara.
- 47-** Kalaycıoğlu, A. S. (2010). SiC Tane Katkılı Alüminyum Kompozitlerin Toz Metalurjisi ile Üretimi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- 48-** Ay, H. (2014). Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretilen AA7075 Alüminyum Alaşımına Ti ve B4C İlavesinin Aşınma Davranışı Üzerine Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- 49-** Venkatesh, B., ve Harish, B. (2015). Mechanical properties of metal matrix composites (Al/SiCp) particles produced by powder metallurgy. International journal of engineering research and general science, 3(1), 1277-84.
- 50-** Jeevan, V., Rao, C. S. P., ve Selvaraj, N. (2012). Compaction, sintering and mechanical properties of Al-SiCp composites. International Journal of Mechanical Engineering and Technology., 3(3), 565-573.
- 51-** Karaşoğlu, M., ve Karaoğlu, S. (2014). Toz Metalurjisi ile Üretilen Alüminyum Matrisli Kompozitlerde Proses ve Malzeme Değişkenlerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkilerinin İncelenmesi. Mühendis ve Makina, 55(649), 17-23.
- 52-** Topcu, I., Gulsoy, H. O., Kadioglu, N., ve Gulluoglu, A. N. (2009). Processing and mechanical properties of B4C reinforced Al matrix composites. Journal of Alloys and Compounds, 482(1-2), 516-521.
- 53-** Kevenlik, O. F. (2013). Toz Metalurjisi Yöntemi ile SiC Takviyeli Al 2014 Esaslı Kompozit Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- 54-** Selvakumar, V., Muruganandam, S., ve Senthilkumar, N. (2017). Evaluation of mechanical and tribological behavior of Al-4% Cu-x% SiC composites prepared through powder metallurgy technique. Transactions of the Indian Institute of Metals, 70(5), 1305-1315.