

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ VE ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN Al+Si MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN
AŞINMA DAYANIMLARININ İNCELENMESİ

Kübra ASLAN

AĞUSTOS 2022

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN Al+Si MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN
AŞINMA DAYANIMLARININ İNCELENMESİ

Hazırlayan
Kübra ASLAN

Danışman
Prof. Dr. Serkan ÖZEL

Jüri Üyeleri
Prof. Dr. Serkan ÖZEL
Dr. Öğr. Üyesi Tayfun ÇELİK
Dr. Öğr. Üyesi Yunus SAYAN

AĞUSTOS 2022

ONAY

Kübra ASLAN tarafından hazırlanan “**Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilen Al+Si Matrisli Kompozitlerin Aşınma Dayanımlarının İncelenmesi**” adlı tez çalışması 26/08/2022 tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Prof. Dr. Serkan ÖZEL

(Başkan)(Danışman)

Dr. Öğr. Üyesi Tayfun ÇETİN

(Üye)

Dr. Öğr. Üyesi Yunus SAYAN

(Üye)

Bu tezin kabulü, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../...gün ve .../... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Mehmet Bakır ŞENGÜL
Enstitü Müdürü

BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS ETİK BEYANI

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre hazırlamış olduğum “**Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilen Al+Si Matrisli Kompozitlerin Aşınma Dayanımlarının İncelenmesi**” adlı tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez hazırlanırken tüm aşamalarda bilimsel etik ilkelerine uygun davrandığımı, tez kapsamında sunulan tüm verileri bilimsel etik ilkelerine uygun elde ettiğimi, tezde faydalandığım tüm eserlere atıf yaptığımı ve kaynaklar kısmında bu eserleri gösterdiğimi beyan ederim.26/08/2022

Kübra ASLAN



ÖZET

TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN Al+Si MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN AŞINMA DAYANIMLARININ İNCELENMESİ

Kübra ASLAN

Yüksek Lisans Tezi

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Serkan ÖZEL

Ağustos 2022, 59 sayfa

Bu çalışmada Al+Si matrisli kompozit malzeme toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiştir. Toplam 8 adet numune üzerinden çalışmalar yapılmıştır. Al+Si tozuna ağırlıkça %5, %10 ve %15 Cr₂O₃ oranında takviye edilmiştir. T/M yöntemiyle üretilen numuneler mekanik karıştırıcılarda 45 dev/dk homojen karışımdan sonra farklı oranlarda dört farklı numune yapılmıştır. Tüm numuneler 15 mm yüksekliğe ve 12 mm çapa sahiptir. Elde edilen türler daha sonra 500 MPa sabit basınçta ve 500 °C sıcaklıkta 60 dakika boyunca sinterlenmiştir. Sonra, öncekilerle aynı olan dört yeni numune hazırlanmıştır. Bu numuneler ise öncekilerle aynı basınç ve sürede ancak 600 C'de sinterlenmiştir. Üretilen Al+Si matrisli kompozit malzemelerin yüzdelik oranları değiştirilerek mikroyapı, sertlik ve aşınma dayanımları gibi mekanik özellikleri incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Toz Metalurjisi, Al+Si, Aşınma Dayanımı, Kompozit Malzemeler.

ABSTRACT

ANALYSIS OF ABRASION RESISTANCE OF Al+Si MATRIX COMPOSITES PRODUCED BY POWDER METALLURGY METHOD

Kübra ASLAN

Master Thesis

Bitlis Eren University Graduate Education Institute

Department of Machine Engineering

Advisor: Prof. Dr. Serkan ÖZEL

2022, 59 pages

In this study, composite material with Al+Si matrix was produced by powder metallurgy method. Studies were carried out on a total of 8 samples. Al+Si powder is supplemented with 5%, 10% and 15% Cr₂O₃ by weight. Samples produced by T/M method were mixed homogeneously at 45 rpm in mechanical mixers. Four different species having different proportions were obtained after homogeneous mixing. All species have a height of 15 mm and diameter of 12 mm. The obtained species later sintered at 500 MPa constant pressure and a temperature of 500 C for 60 minutes. Thereafter, four new samples were prepared which are identical to the previous ones. Then, these samples were sintered at the same pressure and time as the previous ones, but at 600 C. The mechanical properties of the reinforcement powders such as microstructure, hardness and abrasion resistance were investigated.

Keywords: Powder Metallurgy, Al+Si, Abrasion Resistance.

TEŞEKKÜR

Bu alıőmamda beni her zaman destekleyen ve alıőmamın tm aőamalarında her trl yardımı gösteren değerli bilgilerini benimle paylaőan, kendisine ne zaman danıősam bana kıymetli zamanını ayırıp, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Serkan ÖZEL'e, deney aşamasında desteğini esirgemeyen Yüksek Lisans arkadaőlarım Mahmut KAAR, Mevlan YÜREK ve Tural HAMİDLİ'ye, tüm eğitim hayatım boyunca bana her konuda yardımını esirgemeyen her zaman teővik eden sabırla dinleyen baőta kıymetli babam ve tüm aileme sonsuz teşekkür ederim.

ÖNSÖZ

Bu tez kapsamında Al+Si matrisli kompozit malzemelerin takviye toz eklenerek farklı oranlarda karıştırılarak ve 2 farklı sıcaklıkta numunelerin; mikroyapı, sertlik, aşınma dayanımı gibi mekanik özelliklerinin deneyleri ve araştırması yapıp Al+Si kompozitine karşılık yüzdelik oranları ve sıcaklıkları değiştirilmiş malzemelerin aşınma dayanımları araştırılmıştır.



İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖNSÖZ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Toz Metalurjisi.....	2
1.1.1. Toz Metalurjisi Nedir	2
1.1.2. Toz Metalurji Yönteminin Aşamaları.....	3
1.1.2.1. Tozların Üretimi	3
1.1.2.2. Harmanlama ve Karıştırma.....	7
1.1.2.3. Presleme.....	7
1.1.2.4. Sinterleme	9
1.1.3. Toz Metalurji Yönteminin Avantajları	9
1.1.4. Toz Metalurjisinin Kullanım Alanları	11
1.2. Kompozit Malzemeler	12
1.2.1. Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları	12
1.2.2. Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri.....	13
1.2.3. Kompozit Malzemelerin Aşınma Dayanımları.....	13
1.3. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları	14
1.3.1. Al Alaşımları	14
1.3.2. Al+Si Alaşımları.....	15
1.3.3. Al+Cu Alaşımları	17
1.3.4. Al-Mg TM Alaşımları	17
1.4. Aşınma	18
1.4.1. Aşınma Nedir.....	18
1.4.2. Aşınmayı Etkileyen Faktörler.....	19
1.4.3. Aşınma Çeşitleri	20
1.4.3.1. Adhesif Aşınma	20
1.4.3.2. Abrasif Aşınma.....	20

1.4.3.3. Yorulma Aşınması.....	21
1.4.3.4. Korozi Aşınma	22
2. MATERYAL VE YÖNTEM	24
2.1.Kullanılan Malzemeler	24
2.2. Tozların Üretilmesi	24
2.2.1. Tozların Karıştırılması.....	24
2.2.2. Tozların Preslenmesi ve Sinterlenmesi.....	24
2.2.2. Tozların Zımparalanması ve Parlatılması.....	25
2.3.Metalografik Muayene.....	26
2.3.1.SEM + EDS Cihazı.....	26
2.3.2. XRD Cihazı	27
2.4. Mikrosertlik Deneyi.....	27
2.5. Aşınma Deneyi	28
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	29
3.1. Kullanılan Tozların Karakterizasyonu.....	29
3.2. 500°C de Sinterlenen Numunelerin Karakterizasyonu	31
3.3. 600°C de Sinterlenen Numunelerin Karakterizasyonu	39
3.4. Mikrosertlik İncelemesi	48
3.5. Aşınma Deney Sonuçları	50
4. SONUÇ	51
5. KAYNAKLAR.....	54
ÖZGEÇMİŞ.....	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
1.1.Saf Al özellikleri.....	14
2.1. Kullanılan numunelere ait parametreler.....	37



ŞEKİLLER DİZİNİ

1.1. Toz metalurji yöntemiyle üretilmiş parçalara örnekler	3
1.2. Toz metalurji yöntemiyle üretim aşamaları.....	4
1.3. Mekanik yöntemle üretim.....	4
1.4. Kimyasal yöntemle üretim.....	5
1.5. Elektroliz yöntemiyle üretim	6
1.6. Atomizasyon yöntemiyle üretim	7
1.7. Tek yönlü presleme cihazı.....	8
1.8. Sinterleme esnasında nokta teması bağlarının gelişimi.....	9
1.9. İmal usullerinin enerji kullanımını ve verimlilik kıyaslanması.....	10
1.10. Toz metalurjinin kullanım alanları.....	11
1.11. Al – Si faz diyagramı.....	16
1.12. Tribolojik sistemin gösterimi	19
1.13. Adhezyon aşınmasının oluşum aşamaları. a)İki farklı partiküllü bölgenin teması b)Bir parçadan partikül kopuk Diğer malzemeye geçişi. C)Uzamış olan partikülün diğer yüzeydeki partikülle teması sonucu yüzeyde malzeme kopmasının oluşumu.....	20
1.14. Abrasif aşınmanın oluşum aşamaları a)İki elemanlı abrasif aşınması b)Üç elemanlı abrasif aşınması c) Erozyon aşınması	21
1.15. Yüzey yorulmasındaki çatlak oluşum aşamaları	22
1.16. Genel aşınma çeşitlerinin gösterimleri (a) Adhezif aşınma (b) Abrasif aşınma (c) Yorulma aşınması (d) Korozyon aşınması	23
2.1. a) Tek yönlü presleme cihazı, b) Sinterleme fırını	25
2.2. Zımparalama – parlatma cihazı	26
2.3. SEM cihazı	26
2.4. XRD cihazı	27
2.5. Mikrosertlik ölçüm cihazı.....	27
2.6. Abrasiv aşınma cihazı.....	28
3. 1. Al+Si tozundan alınan a) SEM fotoğrafı, b) 1 Nolu EDS analizi.	29
3.2. Cr ₂ O ₃ tozundan alınan a) SEM fotoğrafı, b) 1 Nolu EDS analizi	30
3.3. Al+Si 500°C a) 100 µm b) 50 µm	31
3.4. 500°C’de sinterlenmiş Al+Si esaslı numuneden alınan a) SEM fotoğrafı, b) 1 Nolu EDS analizi c) 2 Nolu EDS analizi	32
3.5. %5 500°C a) 100 µm b) 50 µm.....	33

3.6. %10 500°C a) 100 µm b)50 µm.....	34
3.7. %15 500°C a) 100 µm b)50 µm.....	35
3.8. 500°C’de sinterlenmiş % 15 Cr ₂ O ₃ takviyeli numuneden alınan a) SEM fotoğrafı, b) 1 Nolu EDS analizi c) 2 Nolu EDS analizi d) 3 Nolu EDS analizi e) 4 Nolu EDS analizi f) 5 Nolu EDS analizi	38
3.9. 500°C’de sinterlenmiş Al+Si+%15 Cr ₂ O ₃ esaslı numuneden alınan XRD analizi	39
3.10. Al+Si 600°C a) 100 µm b)50 µm	40
3.11. 600°C’de sinterlenmiş Al+Si esaslı numuneden alınan a) SEM fotoğrafı, b) 1 Nolu EDS analizi c) 2 Nolu EDS analizi d) 3 Nolu EDS analizi e) 4 Nolu EDS analizi F) 5 Nolu EDS analizi	42
3.12. %5 600°C a) 100 µm b)50 µm.....	43
3.13. %10 600°C a) 100 µm b)50 µm.....	44
3.14. %15 600°C a) 100 µm b)50 µm.....	45
3.15. 600°C’de sinterlenmiş % 15 Cr ₂ O ₃ takviyeli numuneden alınan a) SEM fotoğrafı, b) 1 Nolu EDS analizi c) 2 Nolu EDS analizi d) 3 Nolu EDS analizi	47
3.16. 600°C’de sinterlenmiş Al+Si+%15 Cr ₂ O ₃ esaslı numuneden alınan XRD analizi	48
3.17. Numunelerin mikrosertlik grafiği.....	48
3.18. Farklı sinterleme sıcaklıkları ve % Cr ₂ O ₃ ilave edilen numunelere ait aşınma miktarı grafiği	50

1. GİRİŞ

Mühendislik malzemelerinin önemli üretim tekniklerinden biri olan toz metalurjisi yöntemiyle imalat zamanla artış göstermektedir. Toz metalurji imalat yönteminde ki farklı üretim teknikleri, karmaşık geometriye sahip makine parçalarında ki minimum düzeydeki tolerans, yüksek üretim hızında, maximum kalite ve üretim maliyetinin düşük olması tercih edilmesinde önemli etkenlerdendir [1]. Gün geçtikçe iyileştirilmekte olan ve teknolojik gelişmelerle daha da çok kullanılan mühendislik malzemelerinde ki beklentiler kullanımıyla paralel olarak artış göstermektedir.

Kompozit malzemeler iki yada daha fazla farklı malzemenin bir araya getirilmesiyle beklentileri karşılayacak forma getirilmiş malzeme gruplarıdır. Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen parçaların verimliliğini artırmak amacıyla metal matris alaşım elementleri ya da farklı partiküller katkılanarak, farklı konstrüksiyon da talep edilen özellikleri barındıran yeni malzemelerin üretimine olanak sağlamaktadır. Böylelikle birçok uygulama ağına ulaşabilen yeni ürünlerin temin edilmesi mümkündür [2]. Kompozit malzemelerin kullanılmaya başlanması öncelikle uzay ve havacılık alanında iken ilerleyen süreçlerde kullanım ağını genişleterek otomotiv sektörü olmak üzere birçok sektörde kullanılmaya başlanmıştır. Kompozit malzemenin üretim aşamasında matris yapı olarak polimer, seramik yada metal bulunabilir. Metal matrisli kompozitlerin (MMK) yapı elemanı olarak tercih edilmesinde; yüksek sertliği, aşınma direnci gibi mekanik özelliklerinin yanı sıra düşük termal genişleme özelliklerinin bir arada bulunmasıdır [3-6]. İmalatı yapılan metal matrisli kompozitler arasında alüminyum matrisli malzemeler diğer metal matrisli malzemelere göre ön plandadır. Alüminyum matrisli kompozitlerde (AMK) elde edilmiş olan mekanik özellikler; sertlik, mukavemet, tokluk ve aşınma direnci gibi özelliklerde ki gelişmeler Alüminyum ve Alüminyum alaşımlarına göre daha iyi olduğundan bu malzemelerin kullanımı üzerinde bir ivme kazanmasında büyük rol oynamıştır [7].

Farklı makine parçalarının çalışma sırasında birbiriyle temasıyla beraber oluşan aşınmalar, parça üzerinde boyutsal değişimlere sebebiyet vermektedir. Örneğin; çalışan parçaların ritminde bozulmalar, kısa zamanda parçanın değişimleri, sürtünmeden kaynaklı malzeme kayıplarına neden olmakta üretim ve hizmet maliyetini artıran sonuçlar vermektedir. Bu netice sonucunda, metaller üzerindeki aşınmanın minimum düzeye indirilmesi ve maximum düzeyde kontrolünün takip edilmesi beklenen, talep edilen bir durumdur. Aşınma, “ iki yüzey arasındaki hareketten kaynaklanan, bir yada iki yüzeyin üzerinden toz partikülün aşınmasıyla azalması” olarak tanımlanabilir [8]. Aşınma direncinin bağlı olduğu değerler; parçacıkların

miktarına, ebatına, yayılımına, matrisli takviye parçacıkların sertliğine ve kırılma tokluğu şeklinde sıralanabilir [9].

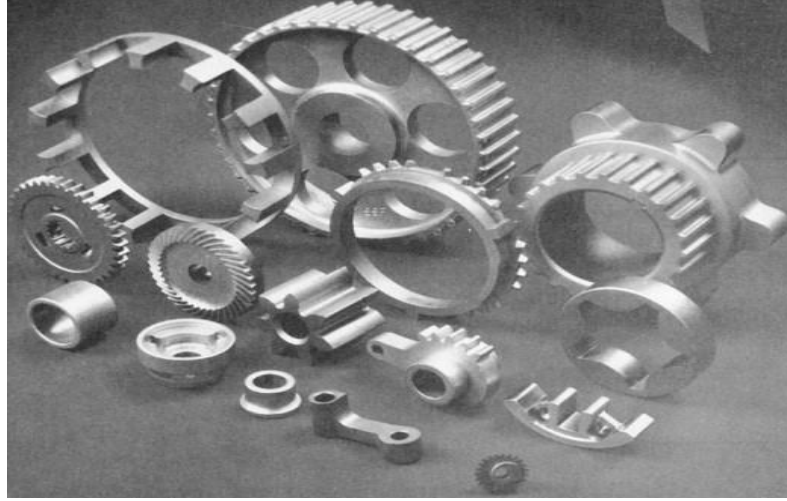
Yapılan bu çalışmada Al+Si matrisli ve %5, %10 ve %15 oranında Cr₂O₃ takviye malzemesi eklenerek MMK homojen karışımı gerçekleştirilmiştir. Farklı sıcaklık ve Mpa'da mekanik testlere tabi tutularak, Cr₂O₃ tozunun kompozit malzeme üzerindeki aşınması takip edilmiştir. Takviye malzemesi ilave edilerek malzeme üzerindeki mikroyapı ve aşınması takip edilecek olup, aşınma deneyinde iyileşmeler beklenmektedir.

1.1.Toz Metalurjisi

1.1.1. Toz Metalurjisi Nedir

1800'lü yıllardan bu yana metal imalat yöntemleri içerisinde kendine yer bulan toz metalurjisiyle imalat yöntemi endüstrinin ilerlemesiyle gelişme göstermektedir [10]. Toz Metalurjisi yöntemleri geleneksel olarak malzemelerin üretimi için kullanılmıştır [11]. Toz metalurji yöntemi metal ve metal alaşımlarının belirli boyutlardaki partiküllere bağlayıcıların ve yağlayıcıların ilavesiyle parçaların sinterleme yani ısı işlem uygulanarak mukavemet kazandırılma işlemidir. İnce partiküllü metalik parçacıkların üretimi, işlenmesi, düzgün bir şekilde elde edilmesi ve teknolojiye kazandırılması işlemidir [12]. Sonrasın da ise bu malzemenin ana bileşeni olan elementin ergime sıcaklığının altındaki sıcaklıkta sinterleme işlemine tabii tutulur. Toz partiküllerin temas ettiği yüzeyler arasında güçlü bir bağ oluşturulmuş olup, böylelikle talep edilen özellikler elde edilir [13].

Genellikle çok sayıdaki küçük toz taneciklerinin bir araya getirilerek ekonomik bir şekilde üretilmesine olanak sağlamaktadır. Üretilen bu parçaların boyutlarındaki hassasiyet beklenileni karşılamaktadır. Hali hazır da var olan metal işleme teknolojileri içerisinde toz metalurjisiyle imalat bünyesinde sunduğu birçok seçenektan dolayı en kapsamlı üretim ve şekillendirme aşamalarına sahiptir. Toz metalurjisinin diğer yöntemlerden ayıran ve üstün kılan en önemli faktör ise karmaşık geometriye sahip yüksek kalite ve minimum düzeydeki malzeme kaybı ile ekonomik olarak parça üretilmesidir [14]. Geniş üretim ağına sahip olan bu yöntemle ilgili araştırmalar gün geçtikçe ilerlemektedir [15].



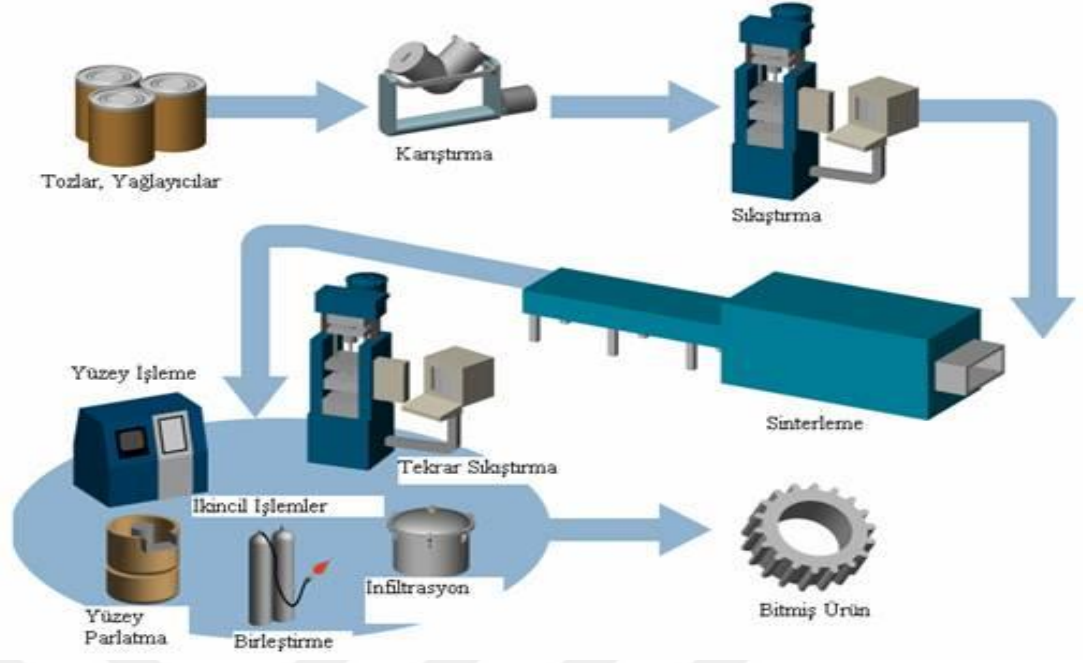
Şekil 1.1. Toz metalurji yöntemiyle üretilmiş parçalara örnekler

İmalat yöntemlerinden olan döküm, kaynak, talaşlı imalat ve plastik şekil verme gibi yöntemlerde üretilmesinin zor yada olanaksız olan farklı alaşımların toz metalurji yöntemiyle ürün olarak elde edilmesi oldukça kolay olmaktadır. Molibden, tungsten, platin gibi metallerin ergime sıcaklıklarının çok yüksek olmasından dolayı bu parçaların üretiminde de revaçtadır. Ayrıca bu yöntemin kullanılmasıyla dökümde (yolluk ve besleyiciden kaynaklanan kayıplar) ve talaşlı imalatta oluşabilecek kayıplarında önüne geçilmektedir. T/M, bu kayıp miktarının azaltılması ve diğer üretim tekniklerine göre işçiliğinin de az olmasından dolayı ekonomik üretim olanağı sunmaktadır. Bu yöntemle parça imalatı uzun zamandır kullanılmakta olan bir yöntemdir [16].

1.1.2. Toz Metalurji Yönteminin Aşamaları

1.1.2.1. Tozların Üretimi

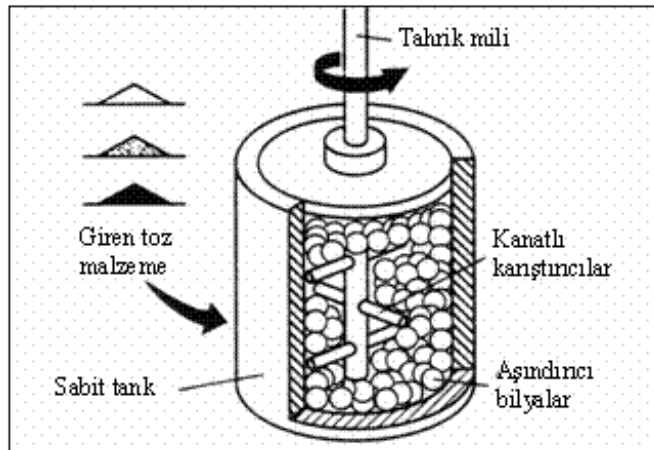
Tozlara şekil kazandırma aşamasında, tozların yoğunluk miktarı yaklaşık olarak görünür yoğunluk ile eşit kabul edilmektedir. Toz malzemelere uygulanan basınç miktarının artırılması ile toz tanecikleri arasındaki noktasal teması bozar ve basınç miktarının artmasıyla birlikte gözeneklilik oranı azalır. Aynı zaman da basınç miktarının artmasıyla birlikte plastik deformasyon ve yoğunlukta artar [17].



Şekil 1.2. Toz metalurji yöntemiyle üretim aşamaları

➤ Mekanik Yöntemler

Bu yöntem kendi içerisinde dört başlık altında incelenir; darbe, aşındırarak öğütme, kesme ve basma. Darbe, malzemenin üzerine uygulanan çok seri ve tekrarlı uygulamalar olup malzemenin çok daha küçük parçalara ayrılması işlemidir. Aşındırarak öğütme, iki parçanın hareketinden kaynaklanan sürtünmenin etkisiyle toz partiküllerin boyutunun küçülmesi işlemidir. Kesme, malzeme üzerinden parça ayrılmasıdır, talaşlı imalatta olduğu gibi. Basma, basma kuvvetlerinin etkisiyle malzemenin kırılma anına kadar şekil değişimine tabi tutulup toz haline gelme işlemidir [18].

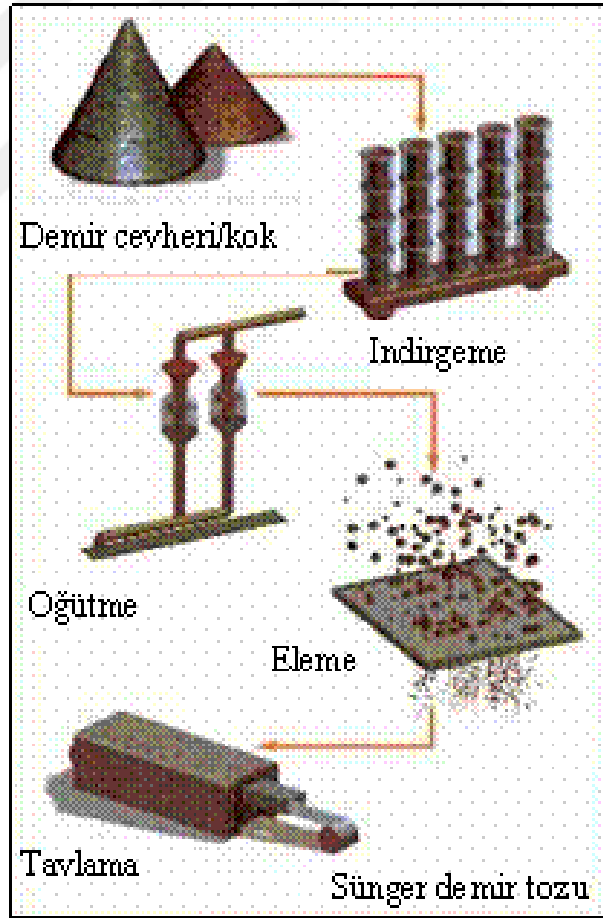


Şekil 1.3. Mekanik yöntemle üretim

- Kimyasal Yöntemler

Bu yöntem genel olarak demir tozlarının imalatında kullanılmaktadır. Bu imalat tekniğinde seçilen cevher toz haline getirilir, kok ile karıştırılır, karışımı sağlanan malzemeler indirgemenin olduğu sürekli fırından geçirilir ve kek şeklinde sünger demir elde edilir. Sünger demir daha sonra toz haline getirilir, metalik olmayan malzemeler ayrıştırılır ve eleme işlemi yapılır. Toz taneciklerinin saflığını ham malzemeler belirlemektedir. Düzensiz süngerimsi olan toz tanecikler yumuşak ve kolay preslenebilir bu özelliklerinden dolayı ham mukavemeti iyi olan ürünler elde edilir. Yine aynı şekilde refrakter metaller de oksitlerinin hidrojenle indirgenmesiyle üretilirler [19].

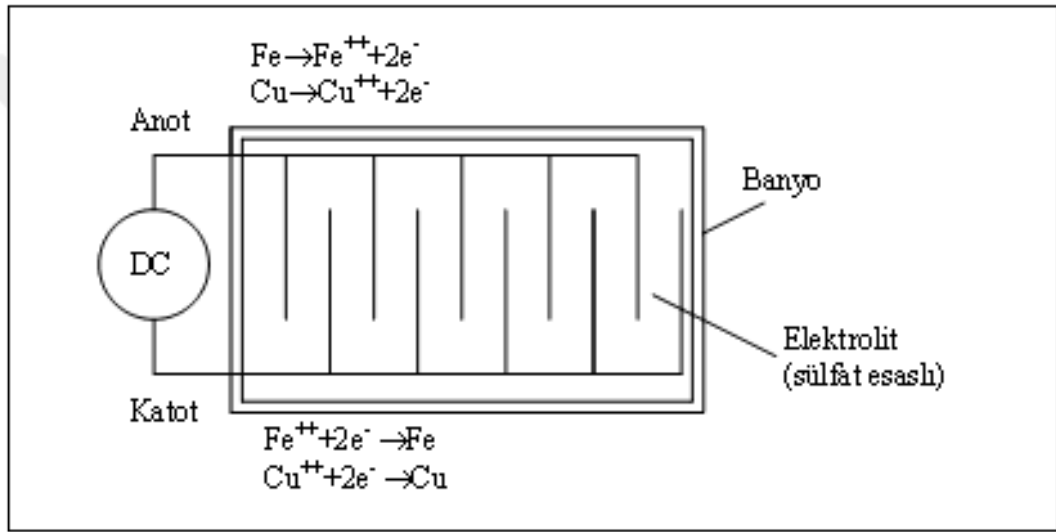
Genel olarak tozların kimyasal saflıkları, elektrolitik ve atomizasyon yöntemlerinde daha yüksek olmasına rağmen kimyasal indirgeme yöntemi ile istenilen toz boyutları ve şekli kolaylıkla üretilebilmektedir [20].



Şekil 1.4. Kimyasal yöntemle üretim

- Elektrolizle Üretim Yöntemleri

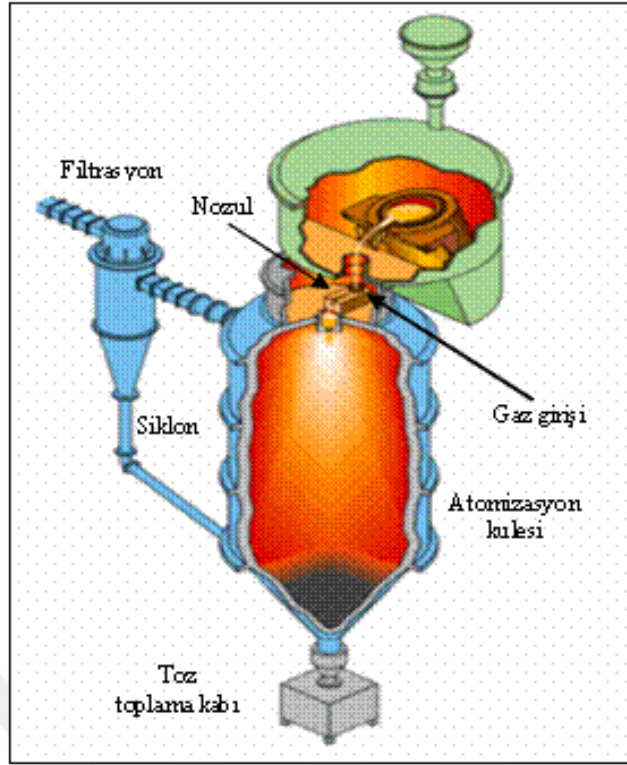
Bu yöntemde hücrenin katot çubuğu üzerinde metal tozlarını biriktirme işlemi yapılabilir. Şekil 1.5'te şematik olarak gösterilmiş olan çevrimin başlaması işlemi hücreye uygulanan voltaj altında anodun çözünmesidir. Elektrolit içinde taşınım katot üzerinde bulunan birikintinin saflaştırılma işleminde kullanılır. Katot üzerinde yapışmış olan bu birikintilerden arındırılır, yıkanır, kurutulur ve öğütülerek toz haline getirilir. Sonra ki aşamada gerilmeleri minimum seviyeye indirmek ve uçuculuk özelliği bulunduran maddeleri gidermek amacı ile tavlama işlemine tabii tutulur [18].



Şekil 1.5. Elektroliz yöntemiyle üretim

- Atomizasyon Üretim Yöntemleri

Bu yöntem de yüksek sıcaklıktaki gaz tarafından atomize edilen metal eriyiği içermektedir. Ergiyiklerin damlacıklara ayrılması prensibine dayanır. Oluşan bu damlacıkların donarak parçacık haline getirilir. Bu yöntem genellikle metaller, alaşımlar ve intermetalikler için kullanılmakta olup polimer ve seramik malzemelere de uygulanmaktadır [18]. Tozların boyut skalasının geniş olmasına rağmen genel olarak atomize olacak toz boyutu 150µm den daha küçüktür [21].



Şekil 1.6. Atomizasyon yöntemiyle üretim

1.1.2.2. Harmanlama ve Karıştırma

Toz metalurji yönteminde çoğunlukla toz partiküller kullanıldığı için, toz malzemeler presleme işleminin öncesinde homojen bir dağılım sağlayacak şekilde karıştırılması gerekmektedir. Karıştırma işleminde asıl amaç ise homojen bir karışım elde etmektir. Farklı boyut, geometri ve yoğunluktaki tozların homojen olarak karıştırılmış olması imal edilecek olan parçanın performansını oldukça etkilemektedir [22].

Toz metalurji yöntemiyle kompozit malzeme üretimi esnasında alaşımlama bilyeli değirmene konulmuş toz partikül karışımının yüksek enerjili çarpma etkisiyle oluşan öğütme işlemidir. Bu işlem toz partiküllerin homojen olarak dağılımını ve tane boyutunun küçültülmesi bakımından önemlidir [23,24].

1.1.2.3. Presleme

Herhangi bir imalat yöntemiyle üretilmiş olan toz partiküller sıkıştırma işlemine tabii tutularak oluşturulacak olan yeni parçanın özelliklerini kapsayacak hale getirilmiş olur. Sıkıştırma ve şekillendirme gevşek durumda bulunan toz partiküllerinin mukavemetinde

iyileştirme olacak şekilde işleme tabii tutulacağı basamaktır. Tozların daha çok tercih edilen şekillendirme ve yoğunluk kazandırma yöntemi kalıp içerisinde sıkıştırma işlemidir. En çok kullanılan yöntem ise toz partikülün bir kalıp içerisinde tek yönlü olarak sıkıştırılma işlemine tabi tutulmasıdır. Küçük ve sert parçaların sıkıştırılması zor olduğu için bağlayıcılar gereklidir [25].

- Tek Yönlü Sıkıştırma

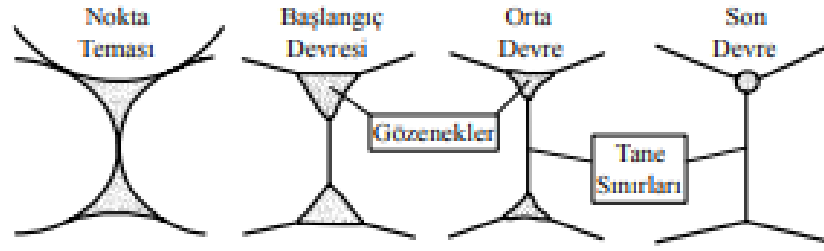
Tek yönlü sıkıştırma işleminde deformasyonun başlamasıyla birlikte, toz partiküller kendi arasında ve toz kalıbının içinde gerçekleşen sürtünme, basınç dağılımında düzensizlik meydana getirmektedir. Bu düzensizlik uygulanmış olan basıncın dağılımı önemli oranda etkilemektedir. Toz partiküllerin yoğunluğu, hareketli zımbanın yakınlarında daha yüksek iken sabit zımbanın yakınlarında daha düşüktür. Bu miktarların değişmesi iş parçasının boy/ çap oranına bağlıdır. Kullanılan kalıbın ömrünün uzun olması ve toz partiküllerin kalıp duvarını çizmemesi ve aşındırmaması için tercih edilen kalıbın sert olması gerekmektedir. Dolayısıyla kalıpların sert metal malzemelerden yapılması gereklidir. Tek yönlü sıkıştırmada, ilk aşamada kalıp içerisine doldurulan toz miktarının yüksekliğinin çapa oranı ($Y/Ç$), presleme aşamasından sonra ki yoğunluk dağılımı için son derece önemli olup bu durum dağılımı etkilemektedir. Bu yüzden sınırın, $Y/Ç \leq 4$ olması tavsiye edilmiştir [26].



Şekil 1.7. Tek yönlü presleme cihazı

1.1.2.4.Sinterleme

Sinterleme işleminde, toz partiküllerin birbirine difüze olmasına ve üretilen malzemelerin mekanik, kimyasal ve fiziksel özelliklerinde arttırıcı etki yapmaktadır [27]. Sinterleme işleminde ilk aşamadaki toz partiküllerin nokta temaları oldukça önemlidir. Sinterleme işleminde malzemeler iç aşamaya tabii tutulmaktadır; Başlangıç devresi, orta devre ve son devredir. (Şekil 1.8).



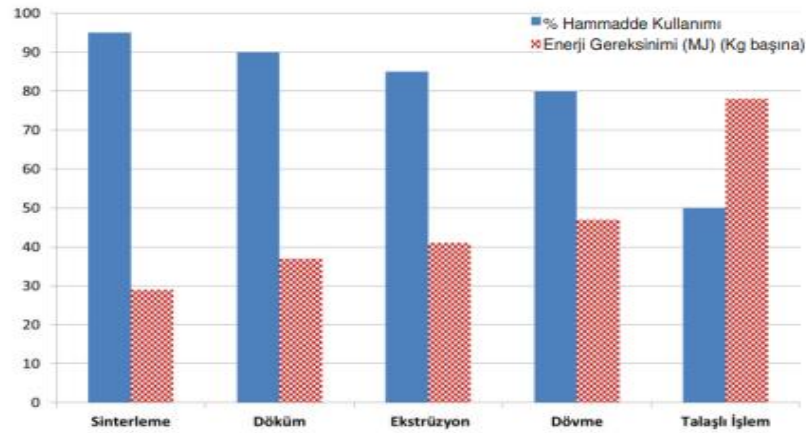
Şekil 1.8. Sinterleme esnasında nokta teması bağlarının gelişimi [28]

Sinterleme işleminde tek bileşenli yapılarda metal mutlak ergime sıcaklık derecesinin altındaki bir sıcaklığa tabii tutulurken, iki veya daha fazla bileşenli yapılarda çoğunlukla ergime sıcaklık derecesi en düşük olan bileşenlerin ergime sıcaklık derecesinin üzerindeki sıcaklıkta olması gerekmektedir. Sinterleme sıcaklıkları genel olarak ana malzemelerin ergime sıcaklık derecesinin %70- 80'i olmaktadır; bazı refrakter malzemeler de ergime sıcaklık derecesinin %90'ına yükselmektedir [16].

1.1.3. Toz Metalurji Yönteminin Avantajları

T/M yöntemiyle imalatı yapılan parçalar, diğer imalat teknikleriyle üretilen parçalar ile karşılaştırıldığında genellikle yüzeylerinin pürüzsüz olması ve sonrasında ek bir işleme gerek duyulmaması gibi üstünlükleri bulunmaktadır. T/M yönteminin ilk seri üretimiyle imalatında yapılan malzemenin aşağı yukarı %97'sinin kullanıldığı saptanmıştır. Bu bilgi doğrultusunda parçanın daha ekonomik ve istenilen formda üretiminin olması, diğer tekniklerle üretimi ve işlenmesi güç olan parçaların üretimini de kolayca gerçekleştirmektedir. Uygulanacak olan basınç miktarının değiştirilmesiyle parçaların daha nitelikli ve net şekilde üretimlerinin yapılması sağlanabilir [29].

T/M diğer yöntemlere göre birincil avantajı, malzemenin daha verimli kullanılmasında yatmaktadır. Diğer avantajlarının yanı sıra daha büyük şekil esnekliği ve azaltılmış işlem basamakları bulunmaktadır [30]. Diğer bir büyük avantajı ise tozların ürüne dönüşmesi aşamasındaki enerji harcamasının minimum seviyelerde olmasıdır. (Şekil 1.9). Şekil 1.9'daki verilere göre, talaşlı imalat yönteminde tozların ürüne dönüşme miktarı %50 iken bu oran Toz Metalurji yöntemiyle bu miktar %95'lere çıkmaktadır. Yine 1 kg parça üretimi için talaşlı imalat yönteminde yaklaşık olarak 78 MJ enerji gerekiyorsa toz metalurji yöntemiyle bu rakam talaşlı imalatla gereken enerji ihtiyacının yarısından da azdır [16]. Diğer imalat tekniklerine göre üretim hızları yüksektir. Karmaşık geometriye sahip parçaların üretimi kolaydır. Kontrollü gözeneklilik ile üretimin mümkün olması bu yöntemin başka bir avantajıdır. Böylece kendinden yağlamalı yataklar ve metalik filtre imalatları sağlanabilmektedir. WC-Co gibi seramik metal kompozit malzemelerin dökümü yada talaşlı imalatı mümkün değildir. Fakat bu yöntemle üretimine olanak sağlanmıştır. Yine diğer imalat yöntemleriyle alaşım haline getirilmesi zor olan, ergime sıcakları arasındaki büyük farklar olan metallere üretimi kolayca sağlanmaktadır. Mikro yapı incelemelerini yapılması ve kontrolünün yapılmasında diğer bir üstünlüğüdür.



Şekil 1.9. İmal usullerinin enerji kullanımı ve verimlilik kıyaslanması [31]

Toz metalurjisi yönteminin genel olarak avantajları aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- ✓ Malzeme kaybı oldukça azdır,
- ✓ Üretim hızlarının yüksek olması, işçiliğe duyulan ihtiyacın azalması,
- ✓ Maliyetinin düşük olması,
- ✓ Yüzey pürüzlülüğün düzgün olması,
- ✓ Karmaşık geometriye sahip parçaların imalatına olanak sağlaması,
- ✓ Yüksek ergime sıcaklıklarına sahip parçaların imalatının yapılması,

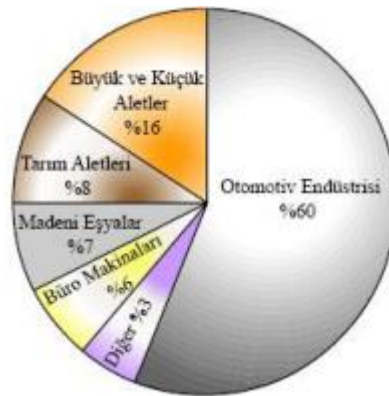
- ✓ Yoğunluğu yüksek parçaların üretimi,
- ✓ Metal alaşımlarının ve metal matrisli kompozitlerin imalatı [32].

1.1.4. Toz Metalurjisinin Kullanım Alanları

Toz metalurjisi çok farklı alanlarda tercih edilmektedir. Otomotiv sektörü olmak üzere tercih edildiği alanlar;

- ✓ Tungsten lamba filamentlerinde,
- ✓ Dişli çarklarında,
- ✓ Ortopedik gereçlerde,
- ✓ Yağlamasız yataklarda,
- ✓ Elektrik kontaklarında,
- ✓ Ofis makina parçalarında,
- ✓ Yüksek sıcaklık filtrelerinde,
- ✓ Uçak fren balatalarında,
- ✓ Jet motor parçalarında,
- ✓ Kaynak elektrotlarında,
- ✓ Katalizörlerde,
- ✓ Lehimleme aletlerinde,
- ✓ Yüksek sıcaklık filtrelerinde,
- ✓ Nükleer güç yakıt elemanlarında,
- ✓ Devre levhalarında,
- ✓ Dişçilikte

şeklinde sıralanabilir[33].



Şekil 1.10. Toz metalurjisinin kullanım alanları

1.2. Kompozit Malzemeler

Günümüzde teknolojinin gelişme göstermesiyle birlikte ihtiyaçlarda artış göstermektedir. İstenilen özellikteki malzemelerin ihtiyacını da artık tek bir malzeme karşılayamaz durumda olması, kompozit malzemelere olan ihtiyacı da her geçen gün arttırmıştır [34]. Çevremizden örnek verecek olursak ahşap, selüloz ve lignin' den birleşiminden oluşmuş kompozit malzemedir. Hindistan, Yunanistan ve diğer birkaç ülkede yüzyıllardır kil ve bambu ağaçları kullanılarak evler inşa edilmektedir [35]. Kompozit malzemeler güçlü, daha mukavemetli ve her bir bileşenin özelliklerinden daha üstündür [36].

Kompozit malzemeler incelendiğinde başlıca iki farklı faz gözlenir. Bunlardan biri, kompozit malzemenin bünyesinde farklı şekil ve miktarlarda bulunmakta olup takviye fazı olarak adlandırılmaktadır. Diğeri ise ana malzemenin yanında hacim olarak daha fazla olan matris malzemedir. Bu malzemelerden takviye olarak kullanılacak malzeme kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliklerini, matris olarak kullanılacak malzeme ise plastik deformasyona geçiş aşamasında meydana gelebilecek çatlağın ilerlemesini önleyecek pozisyonda olup, kompozit malzemenin kopma süresini geciktirmelidir. Matris/takviye elemanın malzemeye uygun seçilmesi, yöntemin fiziksel ve mekanik özelliklerinin üzerinde etkisini oldukça arttırmaktadır [37].

1.2.1. Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları

Bu aşamada kompozit malzemelerin sağladığı avantaj ve dezavantajlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- ✓ Korozyona ve kimyasallara karşı dirençlidirler.
- ✓ Üretim esnasında ilave edilen pigmentler sayesinde istenen renkte üretilebilirler.
- ✓ Kompozitlerin özgül ağırlıkları düşüktür yani çoğu malzemeye göre hafiftirler.
- ✓ Malzemelerin kullanıma uygun şekilde seçilmesiyle elektriksel özellikleri değiştirilebilir. İyi bir iletken ya da yalıtkan formunda üretilebilirler.
- ✓ Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden yapıldıklarında ısıl dayanımları yüksektir.
- ✓ Üretim aşamasında ihtiyaç duyulan üretim alanı küçüktür ve ağır sanayide kullanılan yöntemlere nazaran daha basit metotlarla üretilirler. Dolayısı ile bu da yatırım maliyetlerini düşürücü bir etkendir.

- ✓ Bazı malzemelere oranla pahalı olmalarına karşın, kalitenin öncelikli olduğu alanlarda en üst sırada yer almaktadırlar.
- ✓ Malzemedeki tasarruf sağlanmasına neden olurlar.

Bu özelliklerinin yanı sıra birde dezavantajları vardır. Aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- ✓ Kompozit malzemenin bünyesinde bulunan hava kabarcıkları malzemenin yorulma özelliği üzerinde olumsuz etki bırakmaktadır.
- ✓ Bazı malzemelerde hassas üretimden bahsedilemez. Örneğin; delik delme ve kesmenin yapılacağı işlemlerde liflerde açılma yapacaktır bu da hassas imalatı elverişsiz kılar.
- ✓ Geri dönüşümleri söz konusu değildir.
- ✓ Anizotropik yapıdaki kompozit malzemelerin dizayn ve kullanımları kısıtlıdır.
- ✓ Kompozit malzemelerin kırılma yapıda olması sebebiyle amaçlanan alan, dışında kullanılmaları halinde zarar görürler, onarımları problemler teşkil eder.

Kompozit malzemeler, dezavantajlarına rağmen farklı alternatifler sunduklarından çelik ve alüminyuma göre kullanım alanlarına göre üstün avantajlara sahiptirler [38].

1.2.2. Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Malzemeler tam yoğunluğa getirilmiş olsalar bile mikroyapı hatalarından dolayı kötü özellikler görülebilir. Bu sebeple toz metalurjisi ile üretilmiş malzemelerde ilk önce sertliğinin ve dayanımının incelenmeleri yapılması uygun görülmektedir. Bir sonraki aşamada ise tokluk, sünekliliğinin değerleri incelenmelidir. Son aşamada ise yorulma değerleri ve kırılma tokluğu değeri incelenmelidir [39].

1.2.3. Kompozit Malzemelerin Aşınma Dayanımları

Üretilen malzemelerin kullanıldıkları yerlerde en çok karşılaşılan problemlerden bir tanesi aşınmadır. Aşınma çalışma verimini düşürmektedir. Yapılan araştırmalarda makine parçalarındaki bozulmaların % 75'nin sürtünen yüzeylerden aşınma sonucu olduğu bilinmektedir. Bu sebeple aşınma dayanımı ile ilgili çalışmalar önem kazanmıştır. Aşınma dayanımı malzemenin iç yapısına bağlı olduğu kadar, malzemenin çalışma koşullarındaki maruz kaldığı etkilere de bağlıdır. Aşınma mekanizması kendisini yavaş yavaş gösteren bir yıpranma faktörüdür [25]. Genel olarak sertliği yüksek malzemelerin aşınma dirençleri de yüksektir [39].

Kompozit malzemelerle birlikte kullanılan takviye elemanları yumuşak matris içerisinde sert fazlar oluşturarak aşınma ve toklukta artış sağlamaktadır. Aşınma dayanımı parçacık miktarına, boyutuna, dağılımına, takviye elemanı ile matrisin sertliğine ve kırılma tokluğuna bağlı olarak değişmektedir [40].

Aşınmanın yüksek, yağlamanın da yeterli seviyede olmadığı durumlarda aşınma dayanımı yüksek özellikli malzemeler kullanılarak malzemelerin 42 ömrü uzatılmaktadır. Bu sebeple MMK kompozitler birçok araştırmacı tarafından ilgi görmektedir. MMK kompozitlerin aşınma ve sürtünme özellikleri çok iyi olması sebebiyle fren diskleri, şaftlar, silindir gömleği, piston gibi otomotiv sanayinde, uçak sanayinde, elektrik kontaktörleri gibi daha fazla aşınmaya maruz kalmış alanlarda tercih edilmektedir [41].

1.3. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları

1.3.1. Al Alaşımları

Alüminyum doğada en çok bulunan elementtir. Alüminyum ve alaşımları, iyi ısı ve elektrik iletkenliği, düşük yoğunluk, şekillendirilebilme, iyi korozyon direncine sahiptirler ve hafiftir. Çeliklerle karşılaştırıldıklarında, çeliklerin ağırlığının yaklaşık üçte biri kadardır. Ayrıca bu alaşımlar sünek karakterli bir malzemedir ve işlenmesi kolaydır. Bu nedenle, alüminyum ve alaşımlarının havacılık ve otomotiv sektöründe kullanımı her geçen gün daha da artmaktadır [42].

Çizelge 1.1. Saf Al Özellikleri

Al Özellikleri	
Maddenin hali	Katı
Yoğunluk	2,70 g/cm ³
Sıvı haldeki yoğunluğu	2,375 g/cm ³
Ergime noktası	933,47°K
	660,32 °C
Kaynama noktası	2792°K
	2519 °C
Ergime Isısı	10,71 kJ/mol
Buharlaştırma ısısı	294,0 kJ/mol
Isı kapasitesi	24,2 J/(mol·K)

Günümüzde Al matrisli kompozitler havacılık, uzay endüstrisinde, otomobil endüstrisinde oldukça talep gören malzemelerdir. Al matrisli kompozit malzemeler ulaşım sektöründe de geniş bir ağı sahiptir. Gürültü seviyesinin az olması, daha düşük yakıt tüketimi olması gibi sunduğu avantajlar kullanımını arttırmıştır [43]. Ayrıca metalik alaşımların takviyesiyle düşük aşınma direçlerine sahiptirler. Al ve Al alaşımları bu özelliklerinden dolayı matris malzemesi olarak tercih edilip takviye malzemelerle aşınma direnci üzerinde çalışmalar yapılmaktadır [44].

Ürün kalitesinin iyi olması ve ekonomik sebepler Al matrisli kompozit (AMK) malzemelerin üretim tekniklerini belirleyen en önemli faktörlerdendir. Bu konu da yapılan çalışmalar arasında Al matrisli kompozit (AMK) malzemelerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi ve ekonomik üretim gerçekleştirilmesi amacıyla yeni üretim teknikleri geliştirilmesi önemli yer tutmaktadır [45].

Kompozitlerde Alüminyum ve alaşımları, metaller içerisinde en çok tercih edilen malzeme grubudur. Saf alüminyum, düşük mekanik özellikler göstermesi ve döküm kabiliyetinin kötü olması gibi istenmeyen özellikler taşır fakat alaşımlama yapıldığında bu özellikler iyileştirilebilmektedir.

Alüminyum alaşımlarının tercih sebebi

- a. Dayanım özgül ağırlık oranı yüksekliği
- b. Elektriksel iletkenlik-özgül ağırlık oranı yüksekliği
- c. Korozyona karşı dirençli olmaları
- d. Elastiklik durumunun daha iyi olması [46].

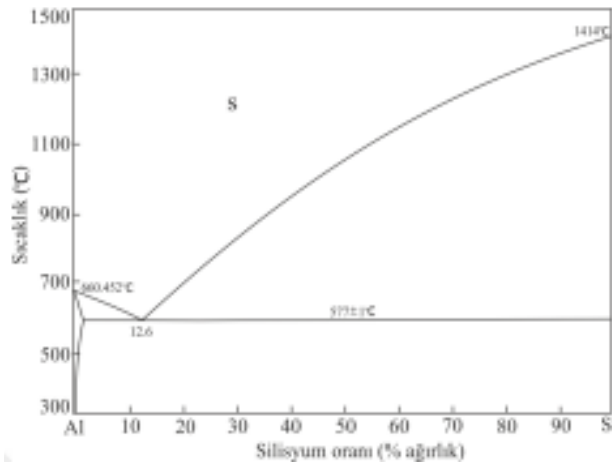
Silisyum, alüminyum döküm alaşımlarının tartışmasız en önemli alaşım elementidir. Bunun nedeni çok iyi dökülebilirlik sağlayarak kalıbı tam doldurma ve dökümden sonra katılma sırasında sıcak yırtılma veya ısıl gerilme çatlağı oluşturmamasıdır.

1.3.2. Al+Si Alaşımları

Al+Si bazlı alaşımlar dökümü en fazla yapılan alüminyum alaşımıdır. Silisyum elementinin özgül ağırlığının alüminyum elementinin özgül ağırlığından düşük olması alüminyum silisyum alaşımlarının özgül ağırlık miktarını düşürür. Silisyum elementi alüminyum elementinin genleşme katsayısını olumsuz etkilerken sertliğini artırmaktadır. Genleşme katsayısının üzerindeki bu etkiden dolayı piston yapım aşamasında tercih edilmekte olup, uçak ve otomobil sektöründe fazlasıyla kullanılmaktadır [47]. Toz metalurji yönteminde alüminyum

silisyum alaşımları; yüksek aşınma dayanımı, yüksek dayanım, düşük termal genleşme vb. özelliklerinden dolayı ön plana çıkmıştır. Hiperötektik Al+Si alaşımlarının geleneksel döküm teknikleri ile üretiminde, silisyumun geniş birincil silisyum fazı olarak katılması mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilemektedir. Bu özelliğinden dolayı, döküm tekniğiyle imalatı yapılacak olan Al+Si alaşımlarında alaşım elementi olarak ilave edilecek Si oranı belirli bir miktarda olmalıdır. Bu nedenle Al+Si alaşımlarının TM yöntemiyle yapılacak olan imalatı döküm tekniğine göre üstünlükleri vardır [48].

Al+Si alaşımlarına ısı işlemleri uygulanarak parçanın sertliğini, mukavemetini ve sünekliğini iyileştirebiliriz. Bahsi geçen ısı işlemlerinin en çok bilinenleri yada standart kullanılanları, tavlama, dökümden sonra kontrollü soğutma ve doğal yaşlandırma (T1), çözündürme ve doğal yaşlandırma (T4), dökümden sonra kontrollü soğutma ve yapay aşırı yaşlandırma (T5), çözündürme ve yapay yaşlandırma (T6) ve çözündürme ve aşırı yaşlandırma (T7) ısı işlemleridir. Bu ısı işlemlerinden özellikle T4, T5 ve T6 özellikle sertlik ve mukavemeti artırma amaçlı uygulanırken, diğerleri ise daha kararlı içyapı elde etme ve sünekliği artırma amaçlı uygulanmaktadır. Ancak, sertlik ve mukavemetin artmasını sağlayan döküm sonrası hızlı soğutma (katılaştırma) ve ısı işlemleri Al+Si alaşımlarının yapısal kararlılığını olumsuz etkilemektedir[49].



Şekil 1.11. Al – Si faz diyagramı

Al+Si faz (denge) diyagramı Şekil 3.4'de verilmiştir. Bu faz diyagramında silisyumun alüminyum içerisindeki oda sıcaklığında çözünürlük miktarının çok düşük olduğu, fakat sıcaklığın artmasıyla bu çözünürlük miktarının artarak 577 °C'de yaklaşık olarak %2 seviyelerine kadar ilerlediği görülmektedir. Bu diyagramda ayrıca sıvı olarak birbiri içinde

tamamen çözülmüş halde bulunan alüminyum ve silisyumun %12,6 silisyum oranında ve 577 °C sıcaklıkta ötektik dönüşüm ile katılaştığını göstermekte [50].

Al+Si alaşımlarının ağırlık olarak % 12,6'dan az silisyum içeren alaşımlara ötektik altı, % 10 – 13 silisyum içeren alaşımlara ötektik, % 12,6'dan fazla silisyum içeren alaşımlara ise ötektik üstü alaşımlar olarak adlandırılmaktadır [51].

1.3.3. Al+Cu Alaşımları

Bakır ticari olarak kullanılan alüminyum alaşımlarının içerisinde özellikle ısıl işleme dayanım artışı sunduğundan dolayı kullanımı oldukça fazladır. Al-Cu alaşımlarının kullanımı günümüzde toz metal alüminyum alaşımlarının içerisinde en çok dikkat çeken alaşımlardandır. [52]. Al-Cu alaşımları birçok araştırmaya konu olmuştur. Al-Cu alaşımlarının konu olduğu bu çalışmalara sinter şartlarının ve hammadde alaşımının sinterleme sonrası özelliklerine etkisi araştırılmıştır [53]. Al-Cu alaşımlarına ilave edilen Mg katkısı ve Si katkısının elementel karışımlarının mekanik özelliklerini iyileştirmektedir [54,55]. Alüminyum alaşımlarına ilave edilen bakır; sertlik, dayanım, yüksek dökülebilirlik ve işlenebilirlik kolaylığı gibi avantajlar sunarken diğer yandan sünekliği ve korozyon direncine olumsuz yönde etkilemektedir [56].

Bakır dövme alaşımları içerisinde, % 3-5 arasında tercih edilmekte olup daha fazla oranda alaşımın işlenebilirliğini, elektrik iletkenliğini ve korozyon direncini düşürmektedir [57]. Dövme alaşımlarında ise % 12'ye kadar Cu takviye olarak kullanılabilir. Cu, Al+Si alaşımlarında dayanımı artırırken alaşımın deniz suyuna, zayıf asitlere ve kötü atmosfer şartlarına karşı korozyon direncini azaltmaktadır. Al+Si alaşımlarında Cu takviyesi düşük termal genleşme katsayısı olarak gözlemlenebilir [58].

1.3.4. Al+Mg TM Alaşımları

Endüstriyel uygulamalarda kullanılan Magnezyum ve alaşımlarının zamanla kullanımının artacağı düşünülmekte olup, en büyük nedenin ise hafif olması öngörülmektedir. Bununla birlikte magnezyum matrisli kompozit malzemelerin kullanımı da artış gösterecektir [59]. Mg, Al alaşımlarına takviye edilen önemli alaşımlardan birisi olup, alaşımın dayanımını artırıp, iyi derecede oksidasyon-korozyon direnci kazandırıp, kaynaklanabilirliğini arttırmaktadır [57]. Ayrıca, magnezyum alaşımın dökülebilirliğini düşürmektedir [58]. Ayrıca Mg ötektik altı Al+Si alaşımlarında demirin mekanik özellikler üzerinde bıraktığı kötü etkileri gidermekte olup

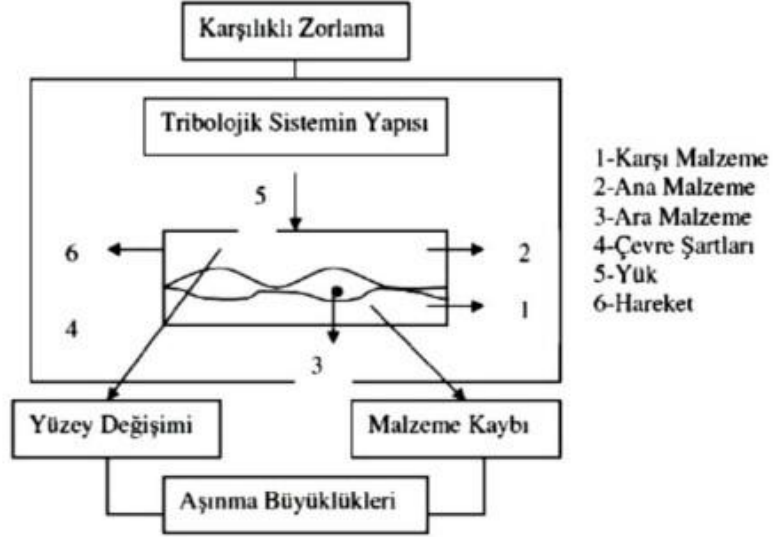
dayanım, korozyon-oksidasyon ve aşınma dirençlerini iyileştirmekte bunlara ilaveten sünekliği azaltmaktadır [60].

1.4. Aşınma

1.4.1. Aşınma Nedir

Genel olarak aşınmanın tanımlanması malzeme kaybı olarak ifade edilmektedir. Aşınmanın bir diğer tanımı ise işlem görecekt olan parçanın yüzeylerine katı, sıvı ve gazların temasıyla birlikte parçadan partiküllerin ayrılması olarak tanımlanmıştır [61]. Çoğu zaman ise yüzeydeki hasarlardan dolayı, aşınmalar gözlemlenebilir. Birbirleriyle temas halinde olan parça yüzeyinden partiküller ayrılabilir, bu durumda parçasının özelliklerinde farklılık gözlemlenebilir. Bahsi geçen bu durumda malzeme kaybı küçük miktardadır. Partiküller bir yüzeyden ayrılırken diğer yüzeyin bünyesine dahil olabilir yada yüzeyden koparak ayrılabilir. Parçanın bir yüzeyinden diğer yüzeyine geçiş yapan partiküller zarar görmüş olsalarda yüzeydeki hacmi veya ağırlığı etkilemezler. Bir parçanın aşınma üzerindeki hasarından bahsedecek olursak malzeme kaybını dikkate almamız gerekir. Ancak hacmi veya ağırlığında değişiklik olmayan parçalarda partiküllerin yer değiştirmelerinden kaynaklı hasarlarda aşınma olarak geçmektedir. Aşınma hasarı gerçekte malzeme kaybıyla meydana gelmektedir [62].

Aşınmanın tanımı, birbirleri ile temas halinde çalışan malzeme yüzeylerinden mekaniksel etkilerden kaynaklı parça uzaklaşması sonucunda meydana gelen bir hasar mekanizması olarak ifade edilir. Aşınmanın hasar mekanizması olarak kabul edilebilmesi için, malzeme yüzeyleri arasında bir yüzeyden diğerine izafi hareket gerçekleşmesi ve parça yüzeylerinin ikisinde de ya da tek bir tanesinde malzemedeki kayıp olması gerekir. Bu tanıma ek olarak malzeme standartlarına göre oluşturulmuş sistemlerde ayrı bir aşınma tanımı yer almaktadır. Örnek olarak, Alman Standartlar Enstitüsü tarafından oluşturulan 50320 numaralı DIN standardına bakılırsa; sürekli olarak çalışan bir sistem düşünüldüğünde bu sistemin işleyişinde yer alan parçaların diğer parçalarla etkileşiminin bir sonucu olarak mekanik etkilerden kaynaklı yüzeyden malzeme kaybı ile sonuçlanan ve arzu edilmeyen bir bozulma olarak ifade edilmektedir [63]. Aşınma ve sürtünmenin olduğu sistemler tribolojik sistem olarak adlandırılır. Mühendislik malzemelerinde meydana gelen aşınma ve sürtünme olaylarını belirlemek için mekanik sistemleri tribolojik sistem olarak düşünmek gerekir. Aşınma ve sürtünme olayını bir bütün olarak incelenmelidir. Şekil 1.12’de tribolojik sistemin gösterimi verilmiştir.



Şekil 1.12. Tribolojik sistemin gösterimi [64]

1.4.2. Aşınmayı Etkileyen Faktörler

Malzemeye uygulanacak yükün miktarı, yüzeyin pürüzlülük derecesi ve sertlik değeri, kayma hızı ve mesafesi, işlem süresi ve uygulanan çevrim sayısı aşınmayı genel olarak etkileyen bileşenlerdir. Bu faktörlerin yanı sıra malzemelerin birbirleri ile çalışabilirliğine uygun olarak seçilmesi, yüzeye uygulanabilecek olan işlemler, yağlayıcılık özelliği olan malzeme kullanımı, çevresel koşullar ve parçaların geometrisel özellikleri gibi etkenlerin aşınma davranışı üzerinde ciddi bir etkisi söz konusudur [65].

Aşınmayı etkileyebilecek bazı faktörleri nedenleri ile kısaca açıklayalım:

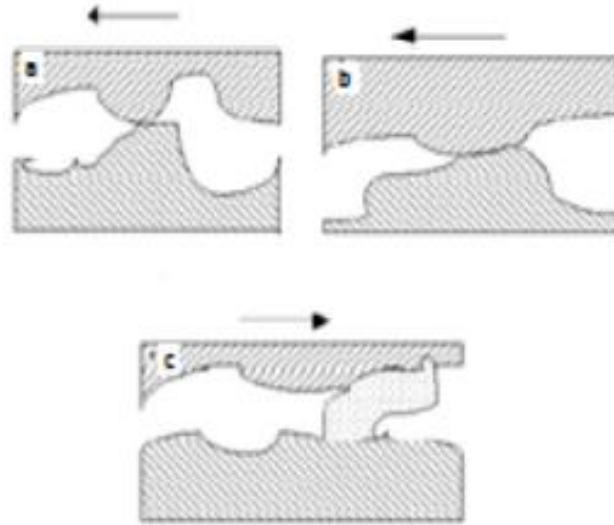
- ✓ Malzeme seçimi: doğru yapılmadığı takdirde beklenen performans elde edilemediği gibi maddi kayıplar yaşamamıza neden olabilmektedir.
- ✓ Sürtünme: sürtünme katsayısının düşük olması durumda büyük oranlarda aşınma meydana gelme söz konusu olabilmektedir.
- ✓ Yüzeye uygulanan yük: doğru orantılı bir biçimde artış söz konusu yapılan çalışmalarda gözlenebilmektedir.
- ✓ Sürtünme mesafesi: artması dahilinde aşınma oranındaki zamana bağlı artış söz konusu olabilmektir.
- ✓ Yüzey sertliği: en önemli parametredir. Sertlik artması ile aşınma azaltılabilir.
- ✓ Yağlama: aşınmaya karşı önleyici etmenlerden olan yağlama ile sürtünen yüzeyler arasındaki bir tanesi de yağlamadır. Sürtünen yüzeyler arasındaki yağlama ile metal metal teması ve soğuk kaynaklanma önlenir [66].

1.4.3. Aşınma Çeşitleri

1.4.3.1. Adhesif Aşınma

Adhesif aşınma, adhezyon aşınmasının diğer adı olarak bilinmektedir. Aşınma mekanizmaları arasında sıklıkla karşılaşılmaktadır ve genel olarak hasarların hızlanmasına sebep olabilecek bir etkisi söz konusu değildir. Tanımı en bilinen hali ile iki tarafın bağlantı içinde çalıştığı ve arada izafi bir hareketin mevcut olduğu, yüzeylerden birinden parçacıkların kopup uzaklaşarak öteki yüzey üzerine yapışma işlemi neticesinde yüzeyler arasında meydana gelen malzeme aktarımı şeklinde açıklanabilir [67].

Etkileşim halinde bulunan yüzeylerin temas bölgelerinde sertliği yüksek parçacıklar yer alıyorsa adhesif aşınma meydana gelmez. Çünkü parçacıkların sertliğinin yüksek olması abrasif aşınma türüne geçişe sebep olmaktadır. Bundan dolayı adhesif aşınma, abrasif aşınmaya sebep olabilecek herhangi bir etken maddenin bulunmadığı durumlarda ortaya çıkan aşınma mekanizması şeklinde karşımıza çıkmaktadır [65].



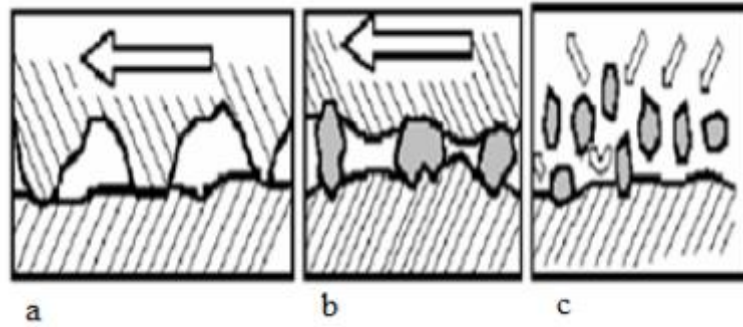
Şekil 1.13. Adhezyon aşınmasının oluşum aşamaları. a)İki farklı partiküllü bölgenin teması b)Bir parçadan partikül kopuk diğer malzemeye geçişi. c)Uzamış olan partikülün diğer yüzeydeki partikülle teması sonucu yüzeyde malzeme kopmasının oluşumu

1.4.3.2. Abrasif Aşınma

Abrasif aşınma, çizilme veya abrazyon aşınması şeklinde de adlandırılmaktadır. Adhesif aşınmada olduğu gibi yavaş bir hasar burada söz konusu değildir. Meydana gelen hasarlar

oldukça yüksek hızda gerçekleşir. Malzemenin yüzeyi kendisinin sertlik değerinden daha yüksek olan parçacıklarla etkileşime girdiğinde, sertliği yüksek olan parçacıkların malzemenin yüzey bölgelerinden parçaları koparması ile oluşmaktadır [67]. Burada gerçekleşen aşınma olayının mekanizması diğerlerine göre bir hayli farklılık göstermektedir. Öncelik olarak fiziksel şekilde gerçekleşmediği için, sistemde yer alan yüksek sertliğe sahip parçacıklardan kaynaklı malzemenin deformasyona uğraması söz konusudur.

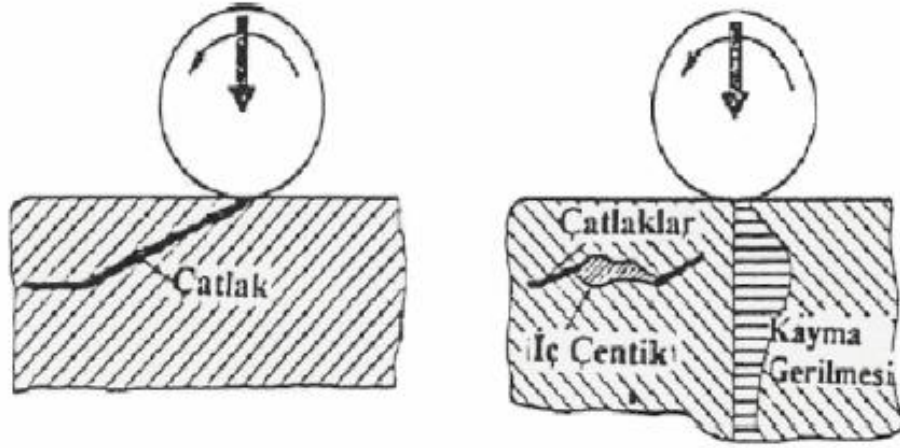
Abrasif aşınmadan korunmak amacıyla uygulanabilecek yöntemler: Malzeme yüzeylerinin sertliği arttırılmalıdır. Ara yüzeylerde geçirgenlik sağlamayan bir sistem oluşturularak malzemelerin ara yüzeyine yerleşebilecek sertliği yüksek madde girişinin önüne geçilmelidir. Makine elemanları ve sistem parçalarında yer alan talaş, çapak gibi her türlü atık malzeme uzaklaştırılmalıdır. Şekil 1.13'te abrasiv aşınmanın çeşitleri görülmektedir. Bu aşınma; iki elemanlı, üç elemanlı ve erozyon aşınması olarak üçe ayrılır [68].



Şekil 1.14. Abrasif aşınmanın oluşum aşamaları a)İki elemanlı abrasif aşınması b)Üç elemanlı abrasif aşınması c) Erozyon aşınması [69]

1.4.3.3. Yorulma Aşınması

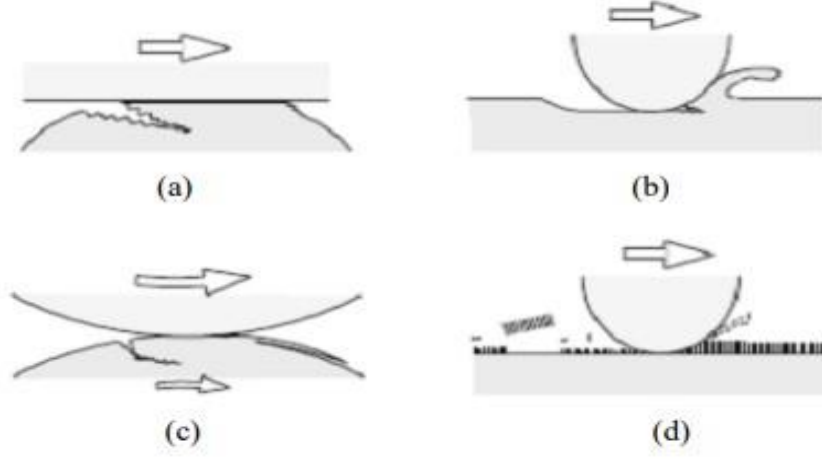
Tipik olarak temas olayının gerçekleştiği bölgelerde minik çukur oluşumu görüntüsü ile ortaya çıkar. En çok rulman, dişli çark vb. sistem parçalarında, Şöyle ki yuvarlanarak hareket eden parça yüzeylerinde gözlemlenir. Aslında malzemenin yorulmasından kaynaklanmaktadır. Parçalardaki temas alanı az olduğu için yüzey bölgelerinde “Hertz” adı verilen basınç oluşumu gerçekleşir. Bu basınçla beraber yüzeyin alt kısmında kayma gerilmeleri meydana gelir. Zorlanmanın etkisiyle malzeme yorulması başlayarak en üst seviye gerilme değerinin olduğu bölgede minik boşluk oluşumları başlar. Zaman içerisinde boşlukların yüzey bölgesine hareketiyle beraber büyüme gerçekleşir ve bu boşlukların çukur haline dönüşmesi ile sonuçlanır [70].



Şekil 1.15. Yüzey yorulmasındaki çatlak oluşum aşamaları

1.4.3.4. Korozyon Aşınma

Malzeme yüzeylerinin ortamda bulunan havayla etkileşime girmesiyle beraber aşınma oranının yükselmesini engelleyen oksit tabakası ve öteki tabakalar oluşmuş olur. Ayrıca bilhassa kimyasal madde bulunduran ortamlara maruz kalan makine elemanları yüzey bölgeleri de kimyasallarla tepkime oluşturarak ince ve sertliği yüksek tabakalar ortaya çıkarırlar. Değişen yük ile birlikte tabakaların kırılması ve kırılan parçacıkların yerlerini terk ederek uzaklaşması sayesinde aşınma parçacıkları oluşur. Geride kalmış olan temiz bölgede yüzeylerde tepkime sonucunda yine tabaka oluşumu gözlemlenir ve yük uygulandığında yine kırılma gerçekleşir. Olayın böyle tekrarlanarak sürmesi olayına korozyon aşınması adı verilir. Aşınma oluşumunu en çok etkileyen etken pas olmakla beraber pas oluşumu oksitlenmeyi beraberinde getirmektedir. Korunma amaçlı oksidasyon olayını engellemeye yarayan özel yağlayıcı maddeler tercih edilmelidir. Buna ek olarak fosfat ya da sülfid bileşiklerini içeren kaplamalar yüzeylere uygulanabilir [67].



Şekil 1.16. Genel aşınma çeşitlerinin gösterimleri. (a) Adhezif aşınma (b) Abrasif aşınma (c) Yorulma aşınması (d) Korozyon aşınması



2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada Al+Si tozuna ilave olarak farklı oranlarda Cr₂O₃ takviye edilmiş olup, malzemenin aşınma dayanımının incelenmesini deneysel olarak incelenmiştir.

2.1. Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada Al+Si tozu ve Al+Si tozuna Cr₂O₃ ilave edilerek oluşan kompozit malzemelerin mikroyapısı, sertliği ve aşınma direnci incelenmiştir.

Çizelge 2.1. Kullanılan numunelere ait parametreler

Numune Numarası	Al+Si Oranı	Cr ₂ O ₃ Tavkiye Oranı	Kullanılan Sıcaklık
1	% 100	%0	500 °C
2	% 100	% 0	600 °C
3	% 95	%5	500 °C
4	% 95	% 5	600 °C
5	% 90	% 10	500 °C
6	% 90	% 10	600 °C
7	% 85	% 15	500 °C
8	% 85	% 15	600 °C

2.2. Tozların Üretilmesi

2.2.1. Tozların Karıştırılması

Matris malzemesi olarak Al+Si tozu içerisine ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında ve takviye malzemesi olarak Cr₂O₃ ilave edilerek homojen karışım sağlamak adına mekanik karıştırıcıda 45 dev/dk 45 dk karıştırılmıştır.

2.2.2. Tozların Preslenmesi ve Sinterlenmesi

Homojen karışım sağlanan tozlar 15 mm yüksekliğinde ve 12 mm çapında silindir şeklinde 500 MPa basınçta tek yönlü olarak preslenmiştir.

Preslenen bu numuneler 500 °C – 600°C’de 60 dk sinterlenmiştir. Sinterleme işlemini Bitlis Eren Üniversitesi İleri Araştırma Laboratuvarında Şekil 2.1’de bulunan Protherm marka fırında yapılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 2.1. a) Tek yönlü presleme cihazı, b) Sinterleme fırını

2.2.2. Tozların Zımparalanması ve Parlatılması

Sinterlenmesi tamamlanmış numunelerin mikroyapı altında incelemek, yüzey kalitesini arttırmak için su altında zımparalama işlemine tabii tutulur. 320, 600, 800 ve 1200 grit’lik zımparalar kullanılarak Şekil 2.2’de bulunan cihazla yüzeyde partikül seviyesini minimum düzeye indirilmiştir. Yüzeyi elmas partikül içeren süspansiyon ile Şekil 2.4’te bulunan cihazla parlatılmış olup, yüzeyin mikroyapı altında incelenebilirliğini etkin kılabilmek amacıyla 95 ml saf suyun içerisine ilave olarak, 2,5 ml HNO₃, 1,5 ml HCL ve 1 ml HF (Keller’s) dağlayıcıyla 30- 35 saniye dağlanmış ve yüzeyi alkol ile temizlenmiş ve kurutulmuştur.

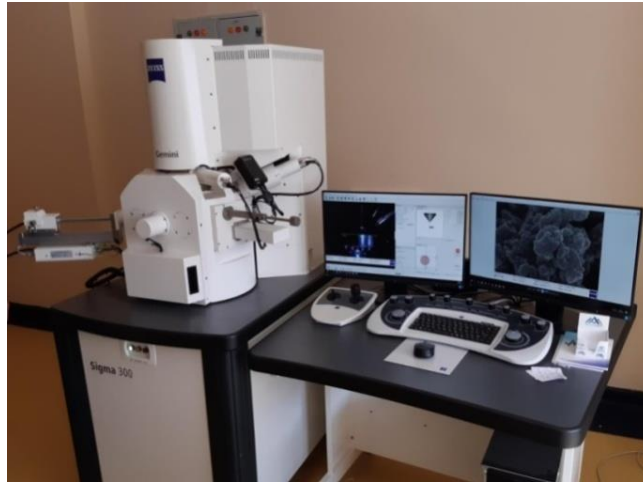


Şekil 2.2. Zımparalama – parlatma cihazı

2.3. Metalografik Muayene

2.3.1. SEM + EDS Cihazı

Numuneler SEM mikroskobuyla numune yüzeyini tarayarak yüzeydeki tane sınırları ve faz yapıları incelenen numunelerin farklı büyütmedeki numunelerin noktasal boyutlarda incelenmesine olanak tanıyacak şekilde çıktı alınmasını sağlar. SEM mikroskobunun diğer bir bölümünü oluşturur. EDS cihazında numunelerin yapısını ve aşınma yaşanan yüzeylerin küçük boyutlarda grafiklere aktarılması ve görüntü alınmasını sağlayan cihazdır. Bu işlemlerin analizi Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilim ve Uygulama Merkezi Laboratuvarında bulunan Şekil 2.3'te vermiş bulunduğumuz ZEISS markalı cihazda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.3. SEM Cihazı

2.3.2. XRD Cihazı

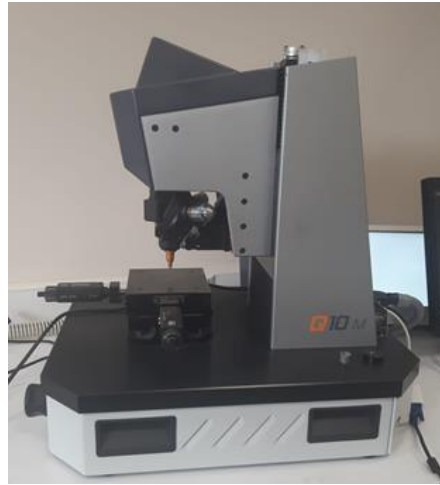
Numunelerin kristallografik özelliklerinin ve içerdikleri fazların belirlenmesini, tane boyutu sağlayan, numuneye zarar vermeden gerçekleşen bir işlemdir. Numuneye uygulanan X-ışını difraksiyonu sonucu kristal yapısını incelemeye olanak sağlar. Bu işlemlerin analizi ise İnönü Üniversitesi Bilimsel Teknolojik Araştırma Laboratuvarında bulunan Şekil 2.4'te vermiş olduğumuz Rigaku marka cihazda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.4. XRD Cihazı

2.4. Mikrosertlik Deneyi

Numunelerin mikrosertlik deneyi Bitlis Eren Üniversitesi Yahya Eren İleri Araştırma Merkezinde bulunan Şekil 2.5'te verilmiş olan Qness Q10M marka cihazla Vickers Sertlik yöntemiyle HV0,5 skalasını kullanarak her numune için 5 farklı bölgeden ölçümler yapılarak ortalama değerler alınmıştır.



Şekil 2.5. Mikrosertlik ölçüm cihazı

2.5. Aşınma Deneyi

Numunelerin aşınma deneyi Batman Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Numuneye uygulanan 3 N yük ve 100 m aşınma mesafesi uygulanmış olup, 10^{-3} hassasiyete sahip terazide numunelerin aşınma öncesi ve sonrasında tartımı yapılarak aşınma kaybı kütleli olarak hesaplanmıştır. Bu işlemler Turkyusmarka ball-on-ring abrasiv aşınma cihazında gerçekleştirilmiştir.

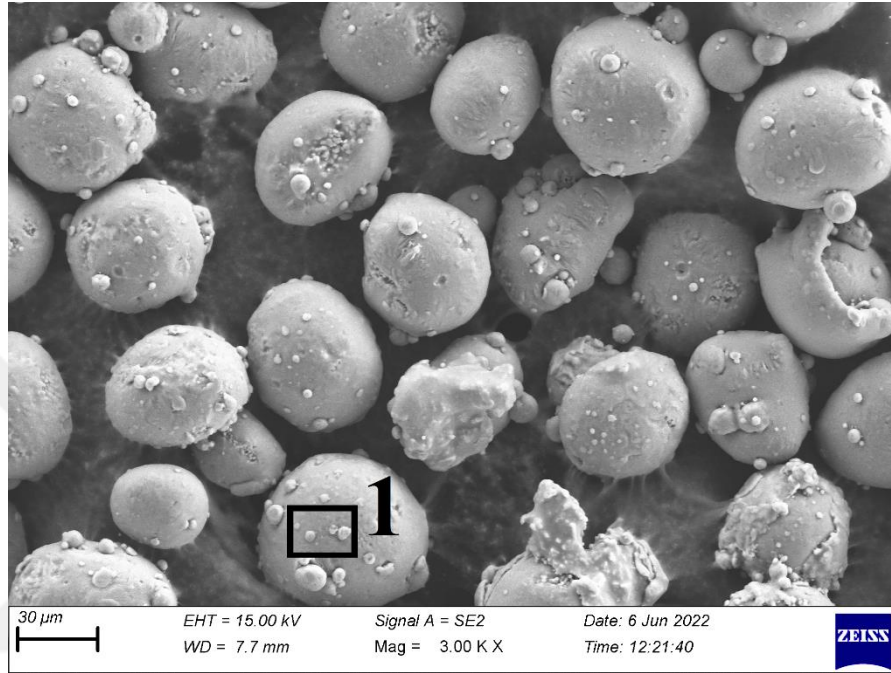


Şekil 2.6. Abrasiv aşınma cihazı

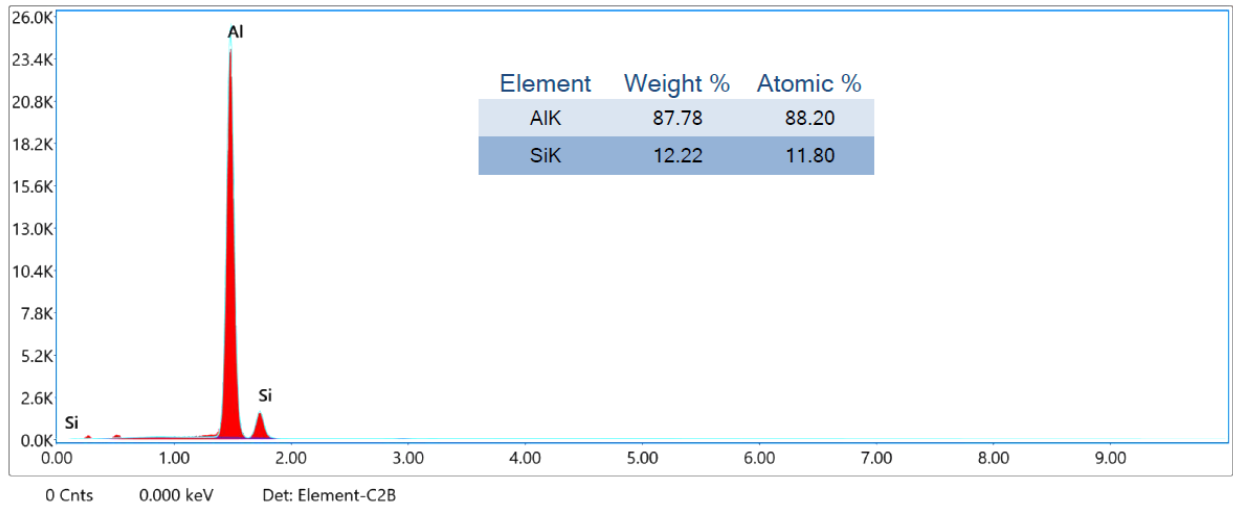
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Kullanılan Tozların Karakterizasyonu

Bu çalışmada Al+Si ve Cr₂O₃ tozları kullanılmıştır. Şekil 3.1’de Al+Si tozuna, Şekil 3.2’de Cr₂O₃ tozuna ait SEM fotoğrafı ve EDS analizi görülmektedir.



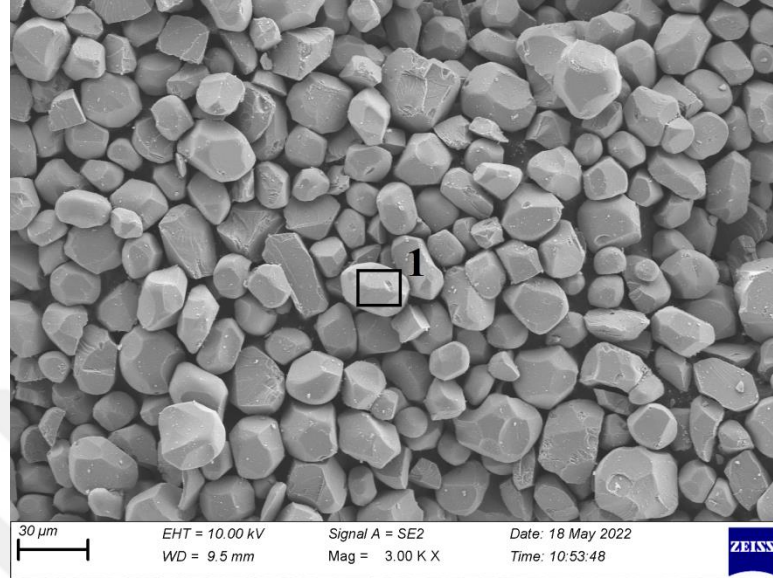
(a)



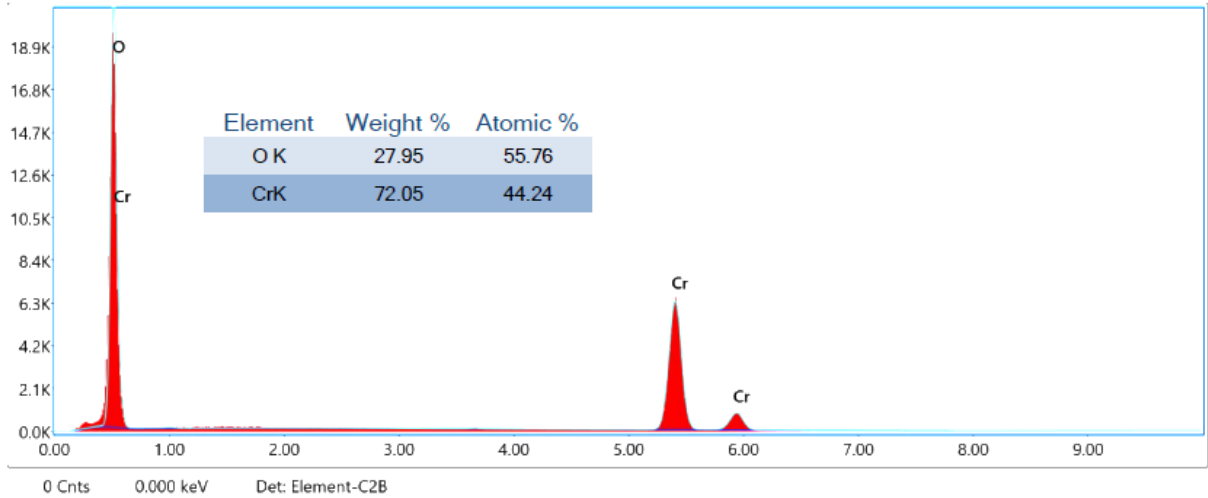
(b)

Şekil 3. 1. Al+Si tozundan alınan a) SEM fotoğrafı, b) 1 nolu EDS analizi

1 nolu alandan alınan EDS analizinde Al elementi ve Si elementinin varlığı görülmektedir. Al+Si tozu hazır karışım olan ve %12 Si ihtiva eden bir tozdur. EDS analizine göre Al elementi içerisinde %12.22 Si elementi tespit edilmiştir.



(a)

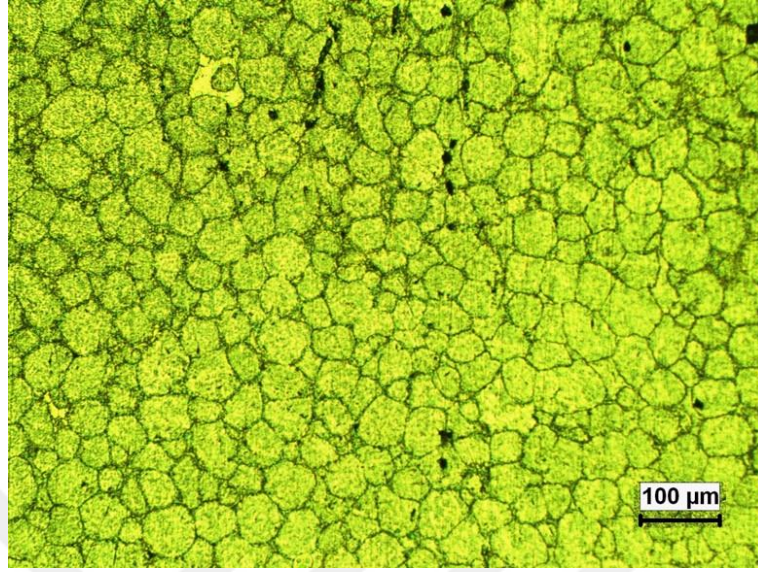


(b)

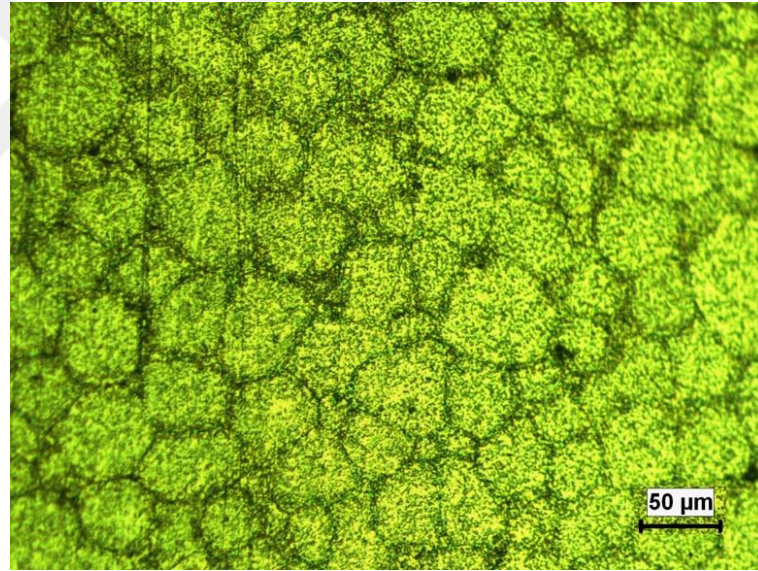
Şekil 3.2. Cr₂O₃ tozundan alınan a) SEM fotoğrafı, b) 1 nolu EDS analizi

Şekil 3.2-b'de verilen 1 nolu bölge EDS analiz sonucundan da anlaşıldığı gibi Cr ve O elementlerinin varlığı görülmektedir. Cr₂O₃ tozundan alınan EDS analizinde %72.05 Cr ve %27.95 O element yüzdeleri tespit edilmiştir. Bu değerlerle Cr ve O elementleri ile oksit bileşiğinin mevcut olduğu söylenebilmektedir.

3.2. 500°C de Sinterlenen Numunelerin Karakterizasyonu



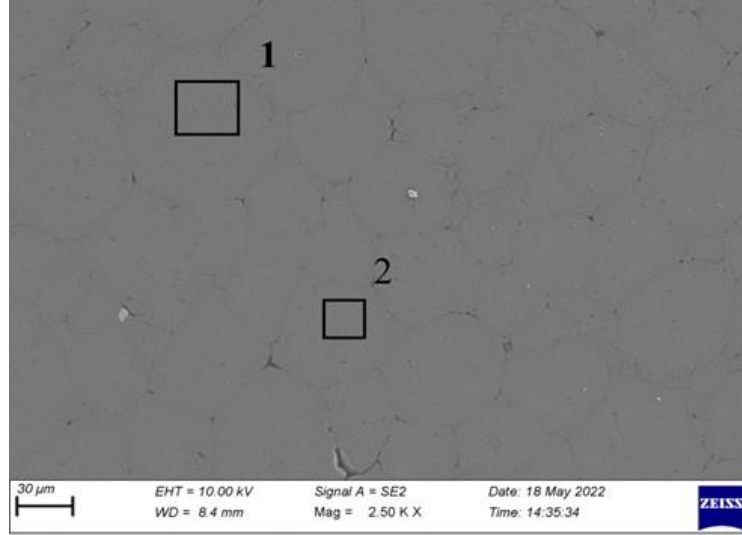
(a)



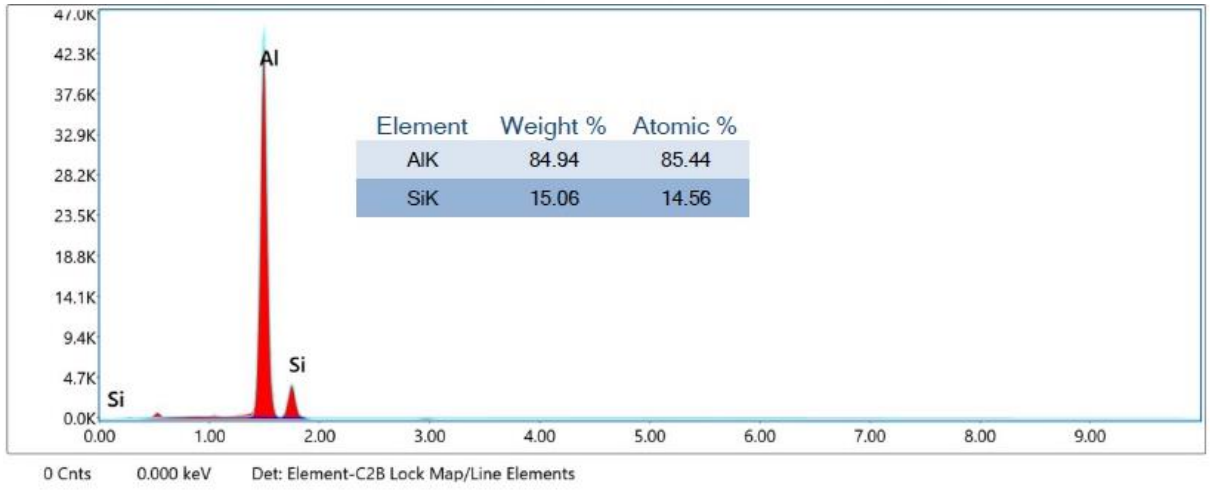
(b)

Şekil 3.3. Al+Si 500°C a) 100 µm b) 50 µm

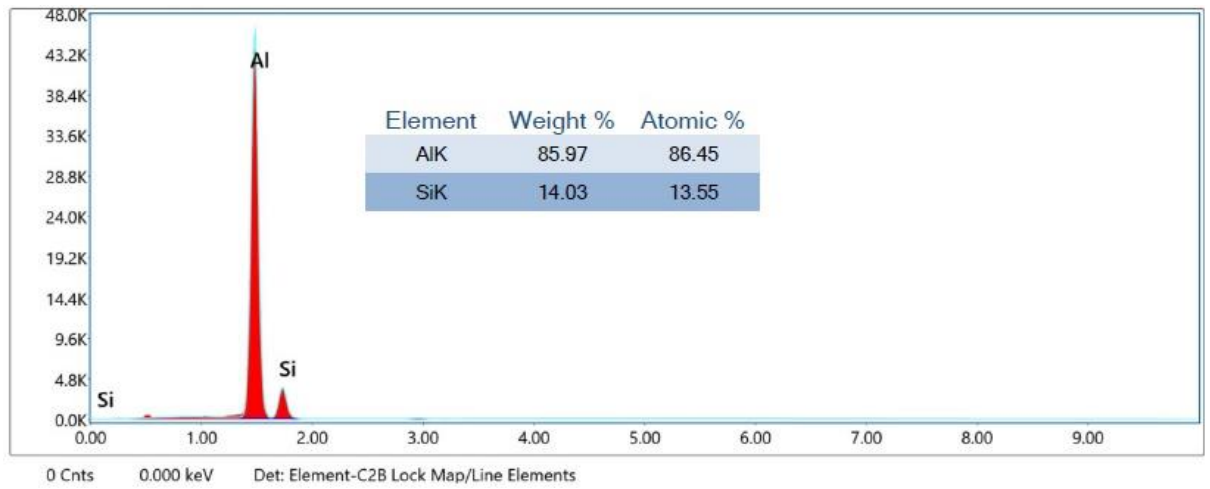
Şekil 3.3'te Al+Si tozunun presleme sonrası 500°C'de sinterlenmiş numuneye ait optik mikroyapı resimleri görülmektedir. Mikroyapı da tane sınırları net bir şekilde görülmektedir. Eş eksenli tanelerden oluşan yapıda, gözeneklerin mevcut olduğu görülmektedir. Toz metalürjisi ile imal edilen numunelerde gözenek kaçınılmazdır. Gözeneklerinde tane sınırlarında mevcut olduğu Şekil 3.3'te görülmektedir.



(a)



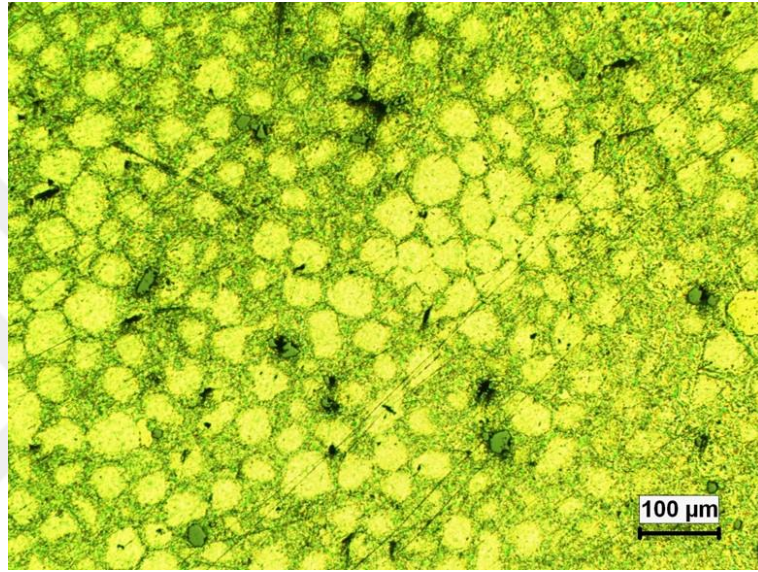
(b)



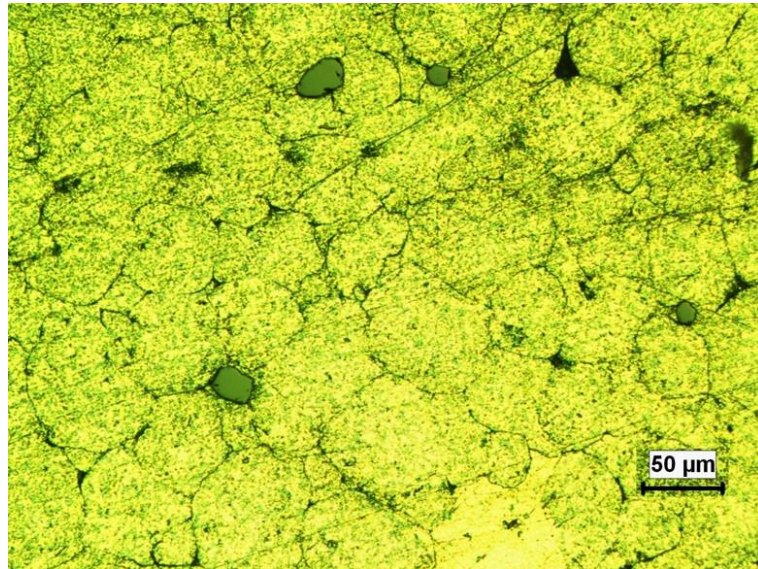
(c)

Şekil 3.4. 500°C’de sinterlenmiş Al+Si esaslı numuneden alınan a) SEM fotoğrafı, b) 1 nolu EDS analizi c) 2 nolu EDS analizi

500°C’de sinterlenmiş Al+Si esaslı numuneden alınan SEM fotoğrafı ve EDS analiz sonuçları Şekil 3.4’te görülmektedir. Al+Si ötektik yapıların tane içi ve tane sınırlarında mevcut olduğu düşünülmektedir. 1 nolu EDS alanında % 84,94 Al ve % 15,06Si elementlerinin mevcut olduğu görülmektedir (Şekil 3.4-a). Bu EDS sonucunda 1 nolu alanda Al+Si ötektik yapısına sahip intermetalik bileşiklerden oluştuğu düşünülmektedir. 2 nolu EDS alan analizinde de yaklaşık yüzdelik miktarlarda mevcut Al+Si ötektik yapının mevcut olduğu düşünülmektedir.



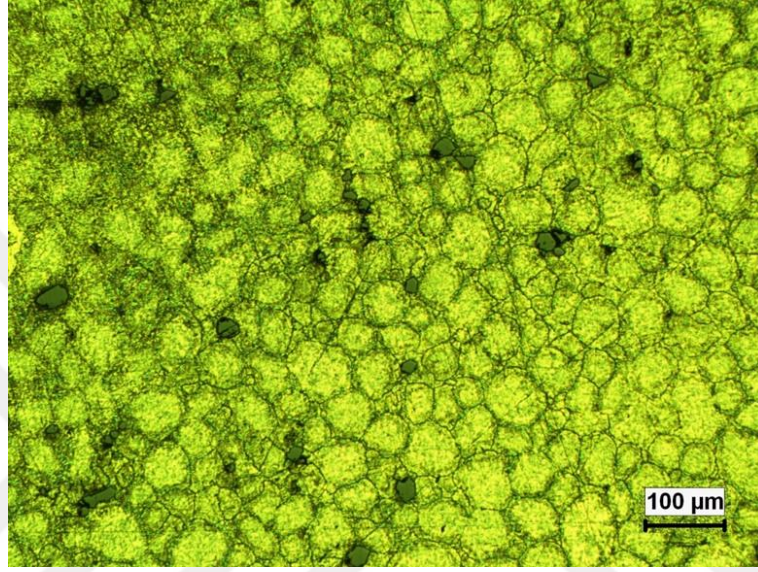
(a)



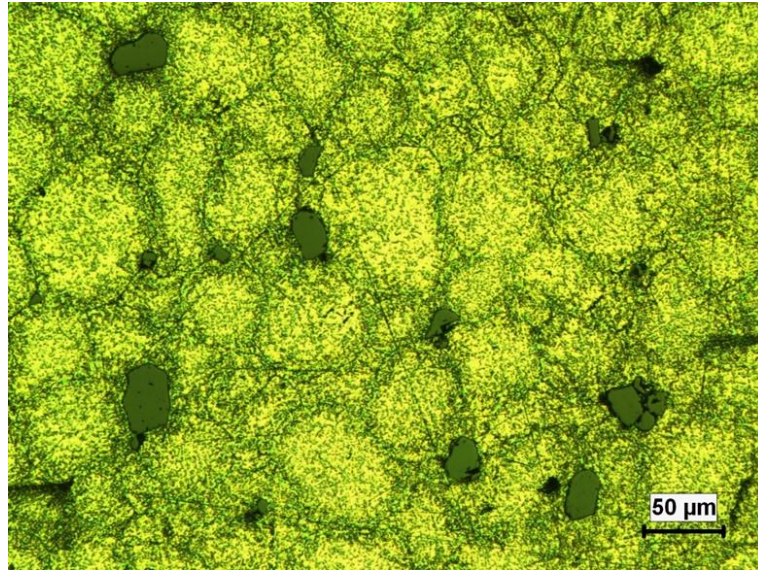
(b)

Şekil 3.5. %5 500°C a) 100 µm b) 50 µm

Şekil 3.5'te Al+Si+%5 Cr₂O₃ tozunun presleme sonrası 500°C'de sinterlenmiş numuneye ait optik mikroyapı resimleri görülmektedir. Bu numunede de mikroyapı da tane sınırları görülmektedir. Eş eksenli tanelerden oluşan yapıda, tane içi ve tane sınırlarında Al+Si ötektik yapısına sahip intermetalik bileşiklerin mevcut olduğu düşünülmektedir. Tane sınırlarında siyah renkte gözeneklerinde mevcut olduğu ve %5 ilave edilen Cr₂O₃ oksit bileşiği ile Al+Si numunesine göre gözenekliliğin bir miktar daha arttığı Şekil 3.5'te görülmektedir.



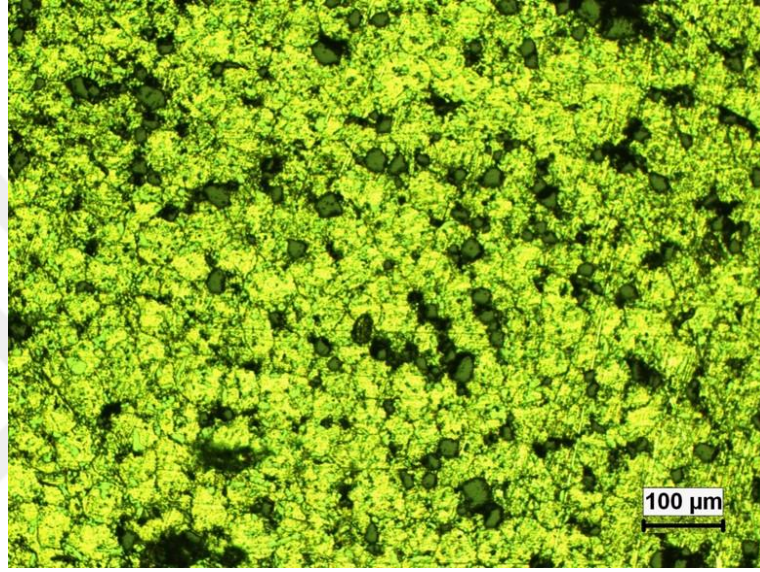
(a)



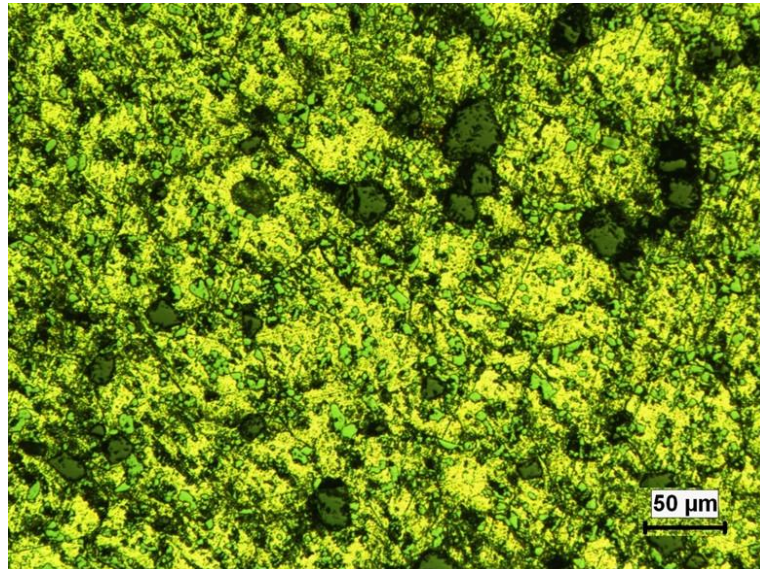
(b)

Şekil 3.6. %10 500°C a) 100 µm b)50 µm

Şekil 3.6'da Al+Si+%10 Cr₂O₃ tozunun presleme sonrası 500°C'de sinterlenmiş numuneye ait optik mikroyapı resimleri görülmektedir. Bu numunede de mikroyapı da tane sınırları görülmektedir. Eş eksenli tanelerden oluşan yapıda, Al+Si ötektik yapının tane içi ve tane sınırlarında mevcut olduğu görülmektedir. Al+Si matris yapı içerisine ilave edilen %10 Cr₂O₃ tozunun homojen olarak dağılım sergilediği optik mikroyapı resimlerinde görülmektedir (Şekil 3.6). Mikroyapıda kısmi gözeneklilikte görülmektedir. İlave edilen Cr₂O₃ tozunun artması ile gözenek miktarında fazla bir değişiklik olmamıştır.



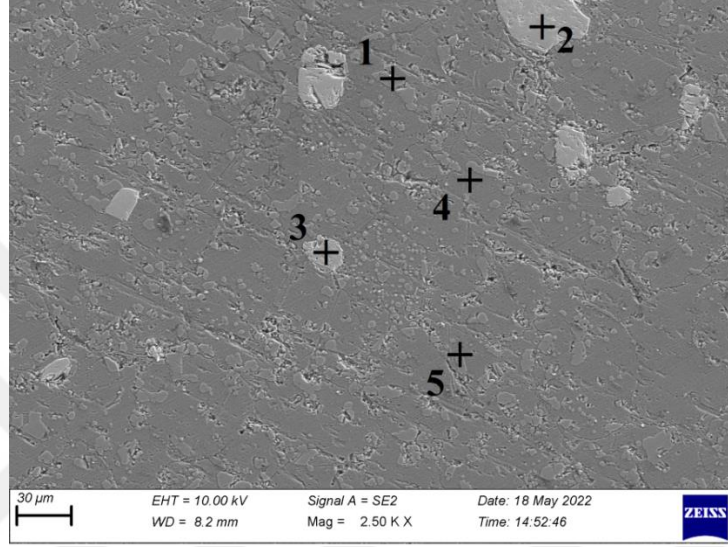
(a)



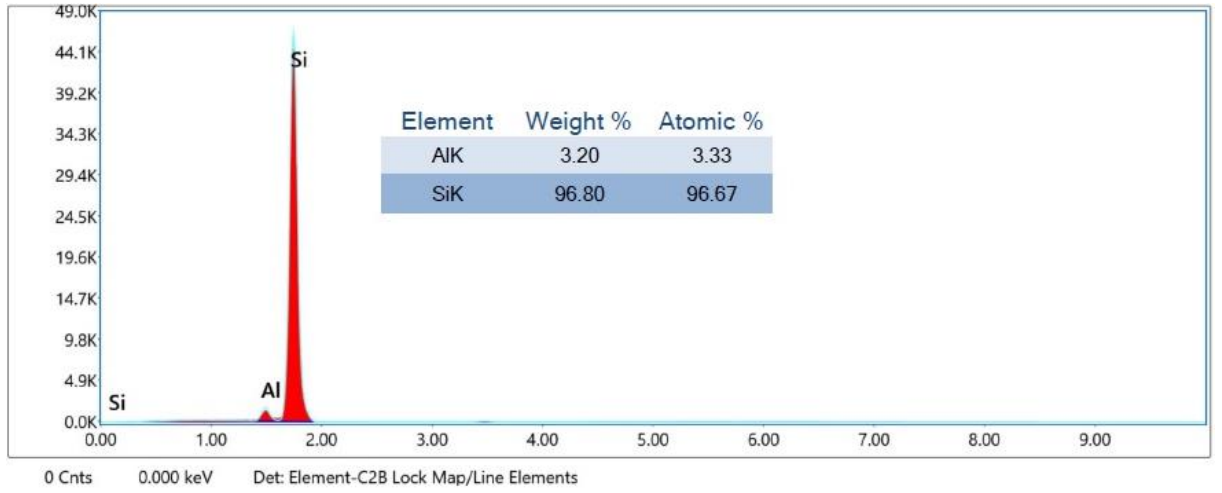
(b)

Şekil 3.7. %15 500°C a) 100 µm b)50 µm

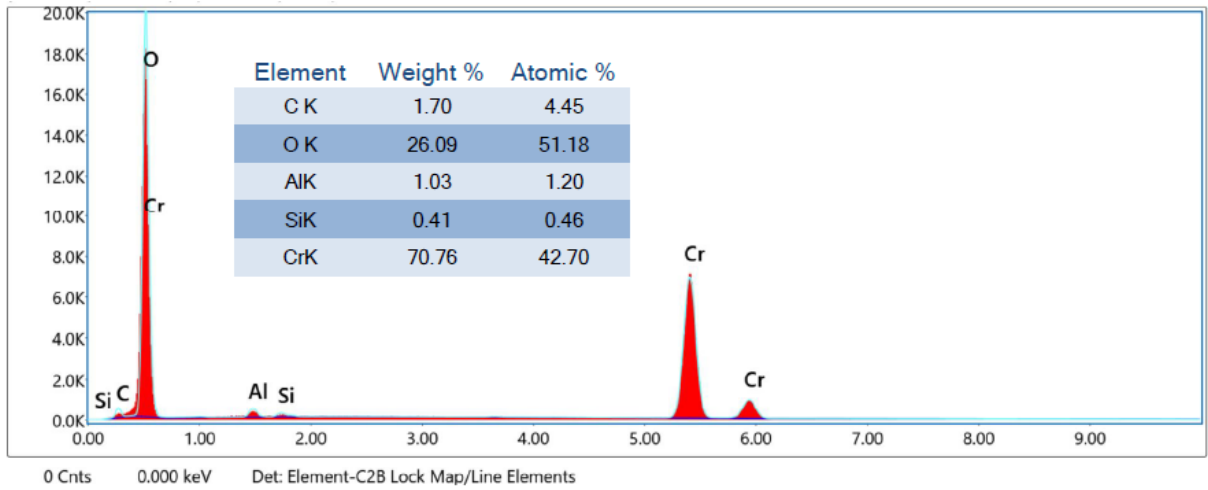
Şekil 3.7'te Al+Si+%15 Cr₂O₃ tozunun presleme sonrası 500°C'de sinterlenmiş numuneye ait optik mikroyapı resimleri görülmektedir. Bu numunede de mikroyapı da tane sınırları görülmektedir. Al+Si matris yapı içerisine ilave edilen %15 değerindeki Cr₂O₃ tozu ile gözeneklilik oldukça artmıştır. Al+Si ötektik yapı intermetalik bileşikleri tane sınırı ve tane içlerinde görülmektedir. İlave edilen Cr₂O₃ tozu etrafında gözenek miktarının daha yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 3.7).



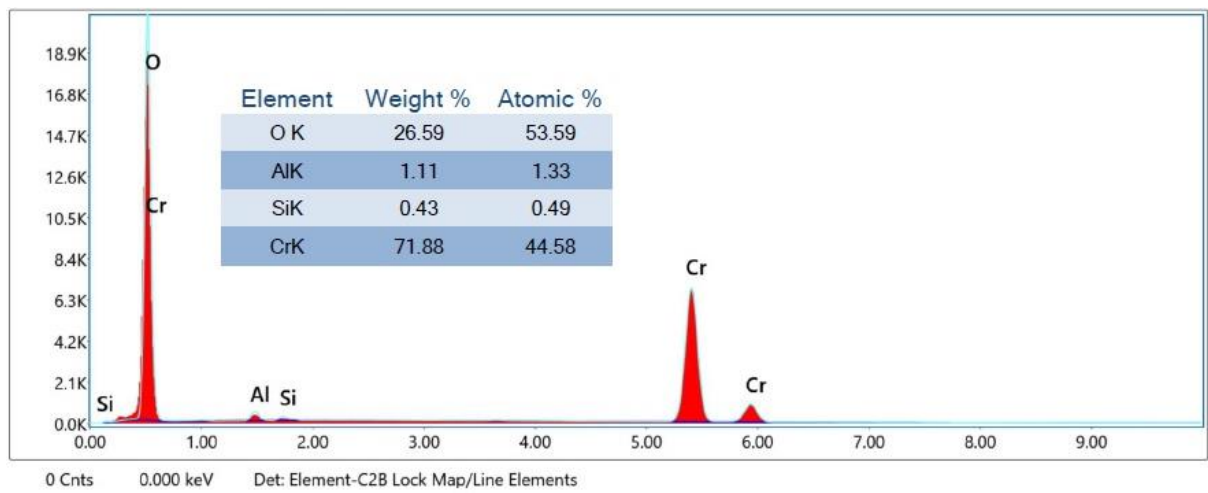
(a)



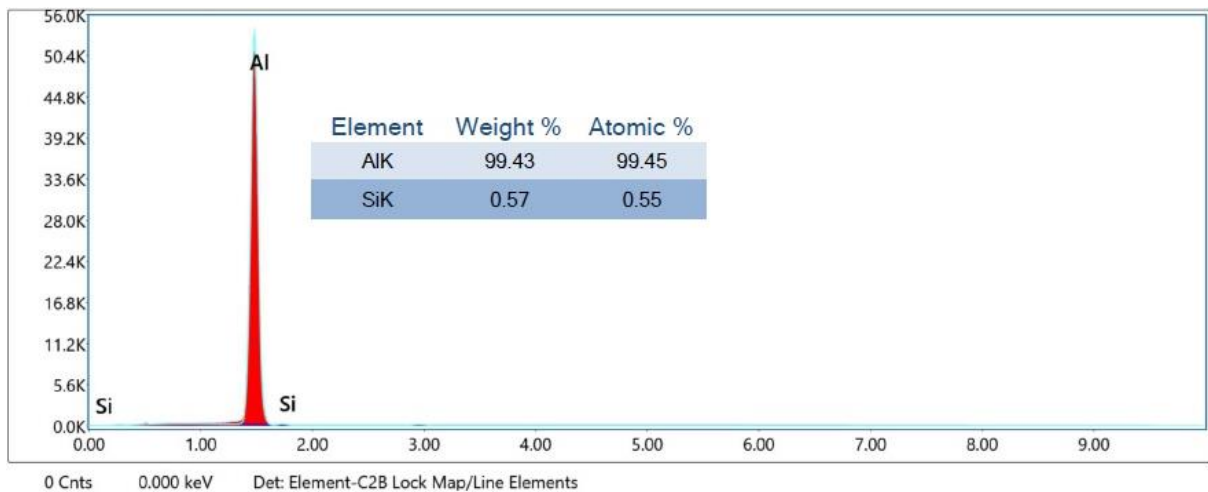
(b)



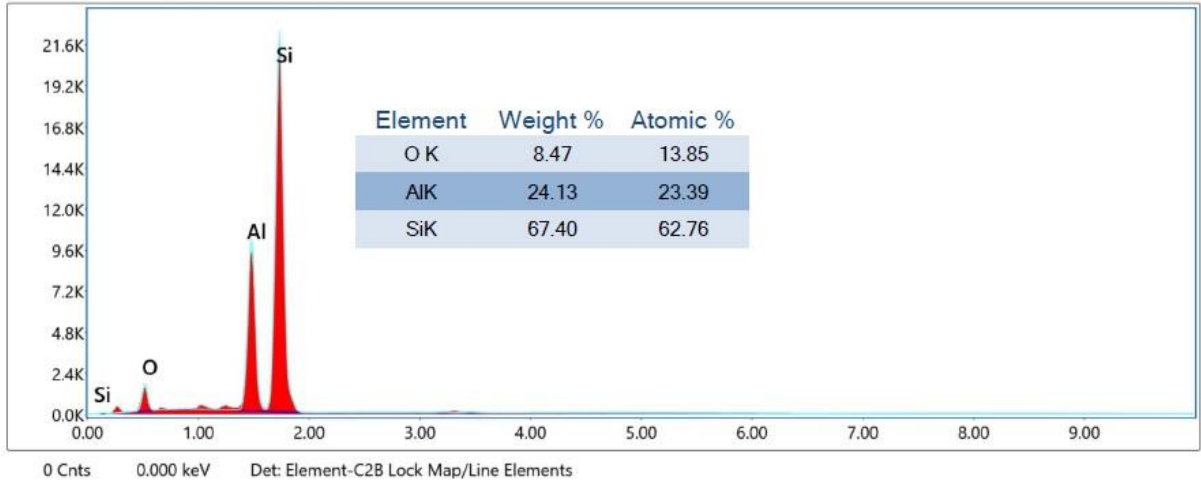
(c)



(d)



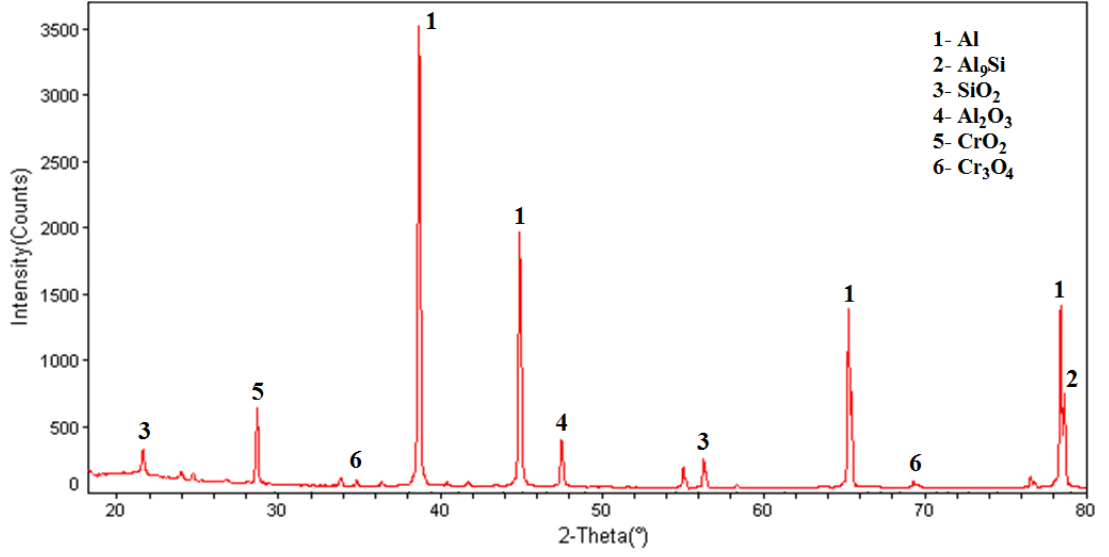
(e)



(f)

Şekil 3.8. 500°C’de sinterlenmiş % 15 Cr₂O₃ takviyeli numuneden alınan a) SEM fotoğrafı, b) 1 nolu EDS analizi c) 2 nolu EDS analizi d) 3 nolu EDS analizi e) 4 nolu EDS analizi f) 5 nolu EDS analizi

500°C’de sinterlenmiş Al+Si+%15 Cr₂O₃ numunesinden alınan SEM fotoğrafı ve EDS analiz sonuçları Şekil 3.8’te görülmektedir. Matris yapısı, tane sınırları ve toz partiküllerinden EDS analizleri alınmıştır. 1 nolu açık gri renkteki alandan alınan Şekil 9-b’de verilen EDS analizinde Al ve Si elementlerinin varlığı görülmektedir. 1 nolu alanın % 96,80 Si değeri ile Si elementince zengin olduğu ve matris Al elementinde % 3,20 değeri ile mevcut olduğu görülmektedir. Bu alanda oksitlenmenin olmadığı anlaşılmaktadır. 2 ve 3 nolu EDS analizlerinde her iki alanında Cr, Si, Al ve O elementlerinden oluştuğu görülmektedir. Her iki noktada ağırlıkça matris içerisine ilave edilen Cr₂O₃ ten oluştuğu düşünülmektedir. Az miktarda matris yapısı olan Al ve Si elementleri mevcuttur. 2 nolu alanda tespit edilen C elementinin SEM analizi esnasında, numune ve tozları yapıştırırken kullanılan karbon banttandır geldiği düşünülmektedir. 4 nolu noktadan alınan EDS analizinde de matris yapısı olan Al elementinin %99,43 gibi yüksek bir değerde olduğu görülmektedir. Ayrıca bu noktada az miktarda da %0,57 Si elementi tespit edilmiştir. 5 nolu noktadan alınan EDS analizinde %67,4 Si, %24,13 Al ve %8,47 O elementleri tespit edilmiştir. Bu noktada matris yapıda tozların oksitlenmiş olduğu düşünülmektedir.

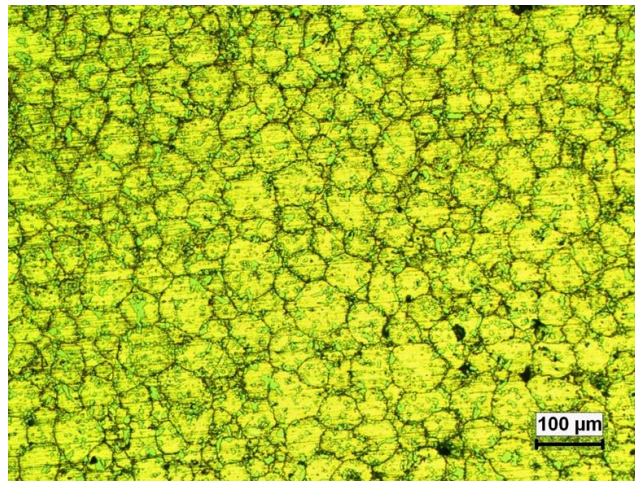


Şekil 3.9. 500°C’de sinterlenmiş Al+Si+%15 Cr₂O₃ esaslı numuneden alınan XRD analizi

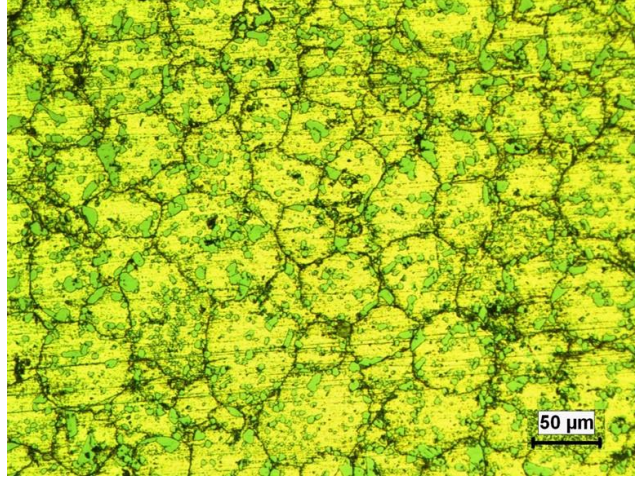
Al+Si+%15 Cr₂O₃ toz karışımından elde edilen ve 500°C’de sinterlenmiş numuneden alınan XRD analizi Şekil 3.9’da görülmektedir. XRD analizi sonucunda farklı tür bileşiklerin oluştuğu tespit edilmiştir. Ana faz matris tozu olan Al olarak tespit edilmiştir. Bunun yanında Al, Si ve %15 oranında ilave toz olarak kullanılan Cr₂O₃ bileşiğine bağlı olarak Al, Al₉Si, Al₂O₃, CrO₂ ve Cr₃O₄ bileşiklerinin de oluştuğu tespit edilmiştir.

500°C’de sinterlenmiş Al+Si+%15 Cr₂O₃ numunesinden alınan EDS analizlerinde (Şekil 9) tespit edilen elementler ile aynı numuneden alınan XRD analizinde tespit edilen bileşiklerin uyum sağladığı görülmüştür.

3.3. 600°C de Sinterlenen Numunelerin Karakterizasyonu



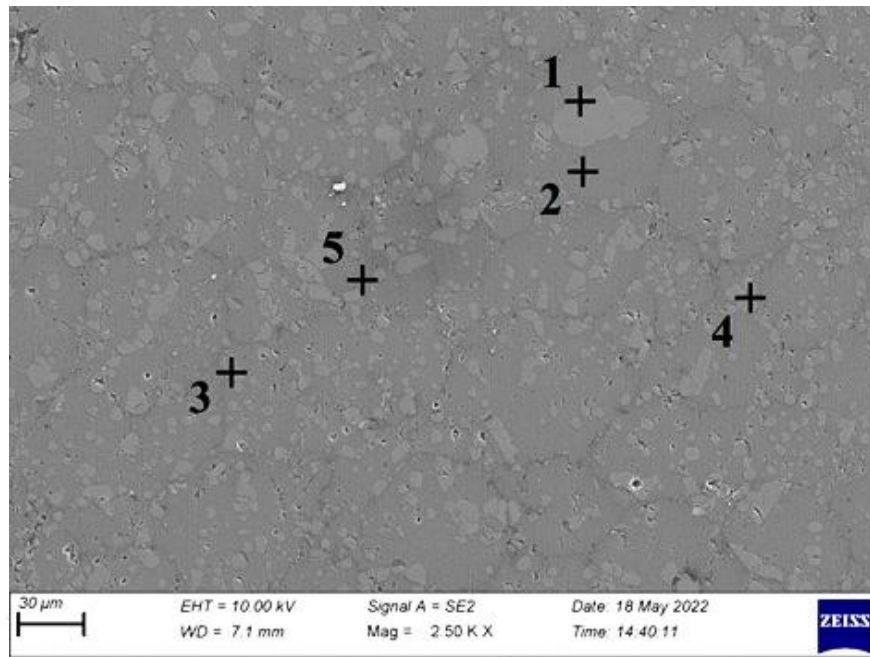
(a)



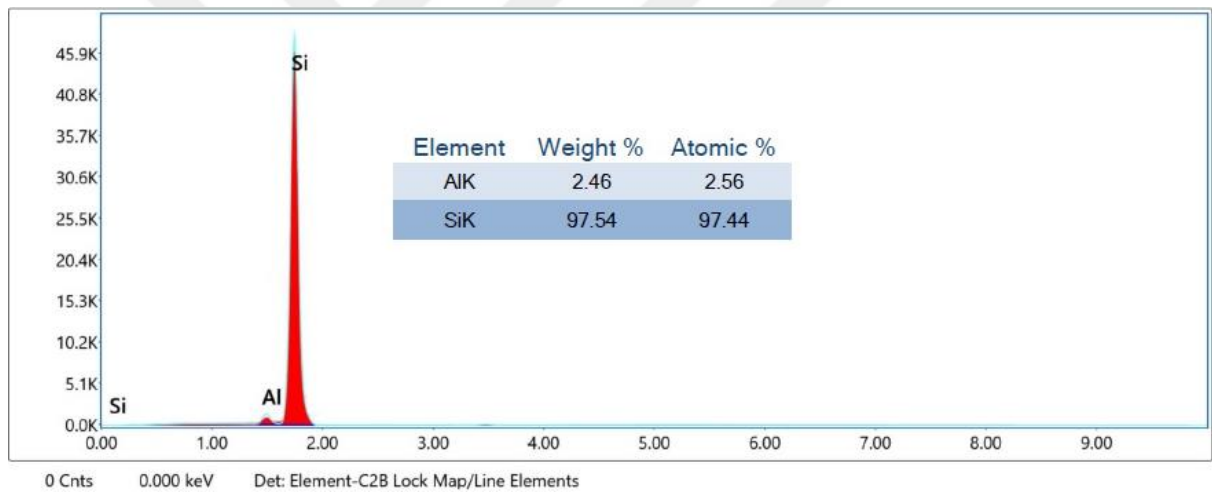
(b)

Şekil 3.10. Al+Si 600°C a) 100 µm b)50 µm

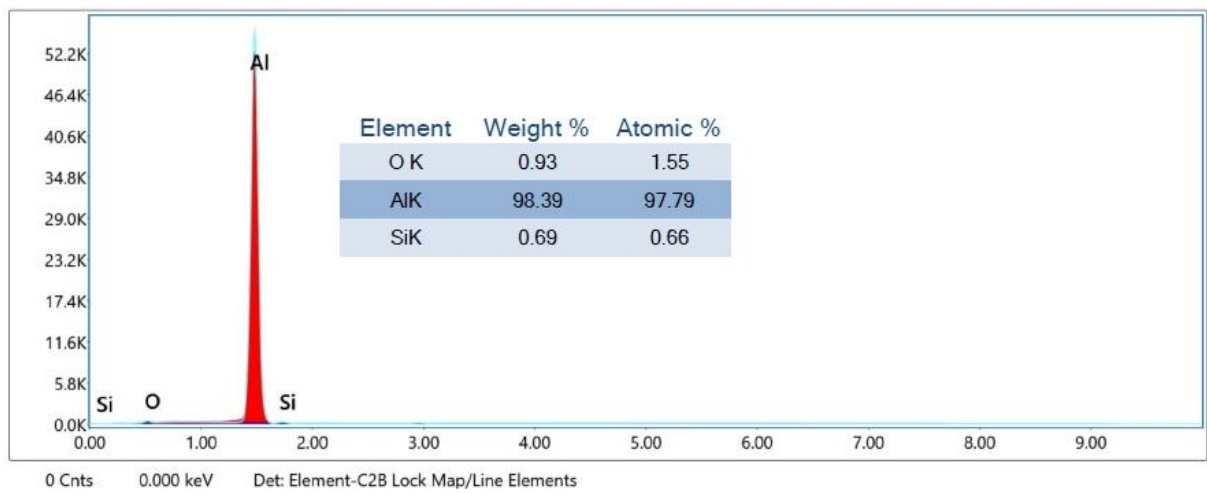
Şekil 3.10'da Al+Si tozunun presleme sonrası 600°C'de sinterlenmiş numuneye ait optik mikroyapı resimleri görülmektedir. Mikroyapı da tane sınırları net bir şekilde görülmektedir. Eş eksenli tanelerden oluşan yapıda, Al+Si ötektik yapının tane sınırları ile birlikte sinterleme sıcaklığının artmasıyla tane içlerinde de çökelti oluşturularak çözüldüğü görülmektedir. Al+Si ikili denge diyagramına bakıldığında (Şekil 1.11) Al+Si tozu içerisindeki yaklaşık %12 Si miktarında 600°C sinterleme sıcaklığının olmasıyla sıvı faz sinterlemesinin olduğu görülmektedir. Sıvı faz durumunda oluşacak ötektik fazın tanelerin ıslatılmasında etkili olacağından taneler arası bağ kuvvetinin artması ve buna bağlı olarakta üretilecek olan Toz metal malzemenin dayanımında artışın sağlanacağı düşünülmektedir [71]. Tane sınırlarında siyah renkte gözeneklerinde mevcut olduğu Şekil 10'da görülmektedir.



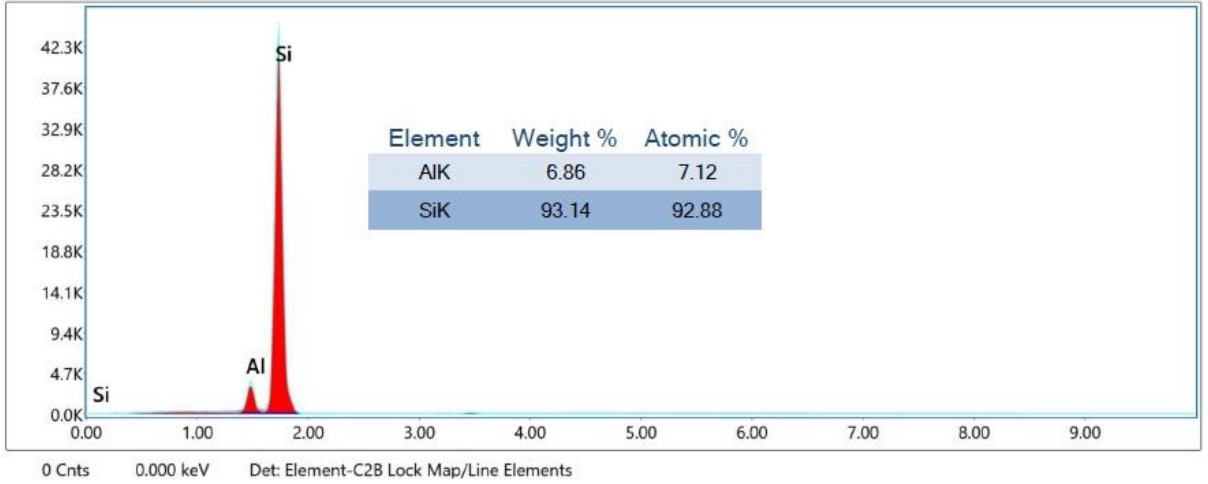
(a)



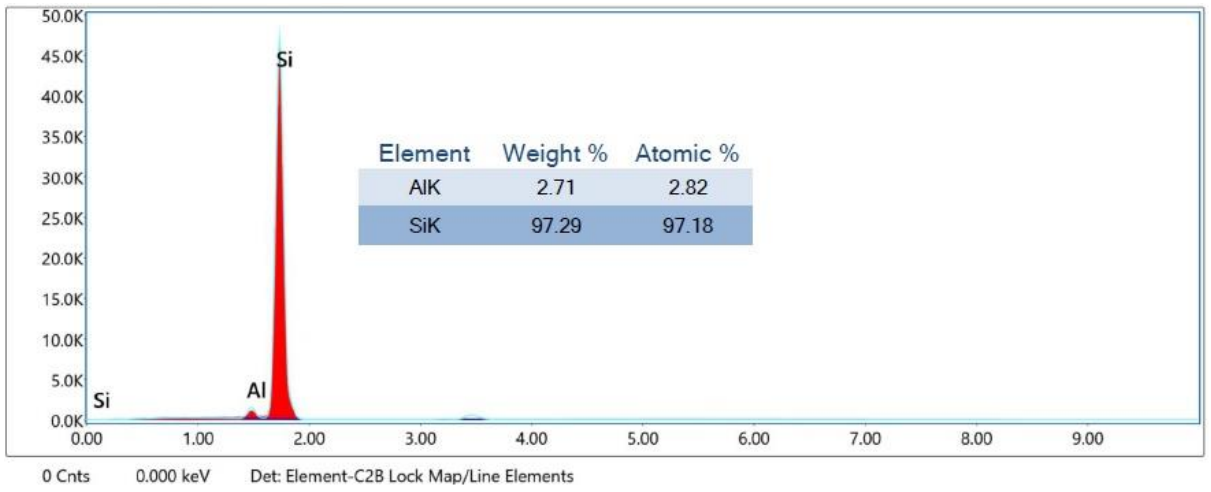
(b)



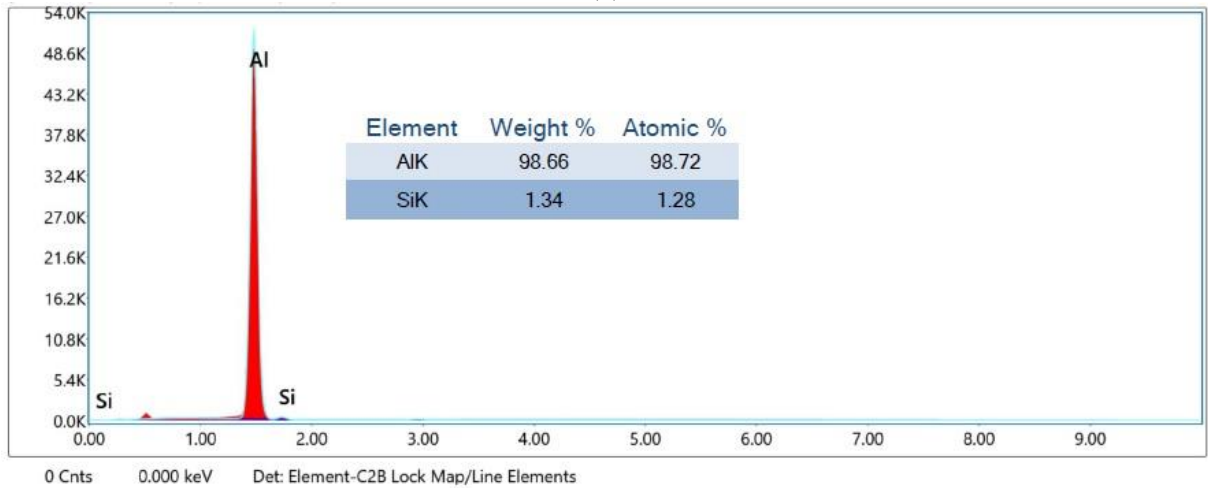
(c)



(d)



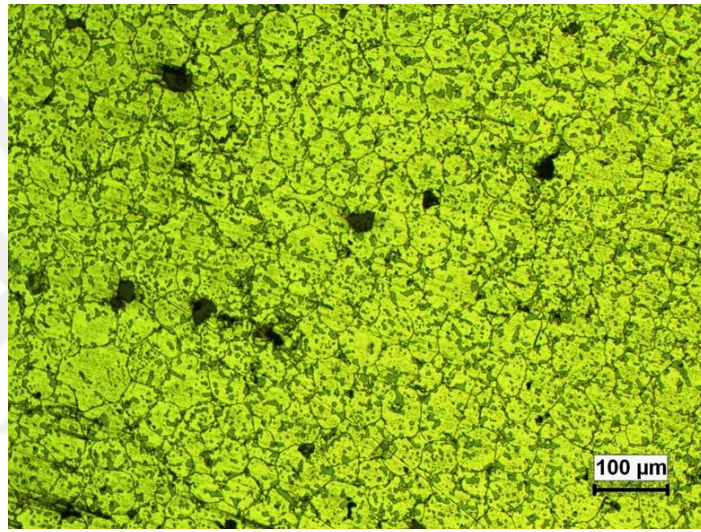
(e)



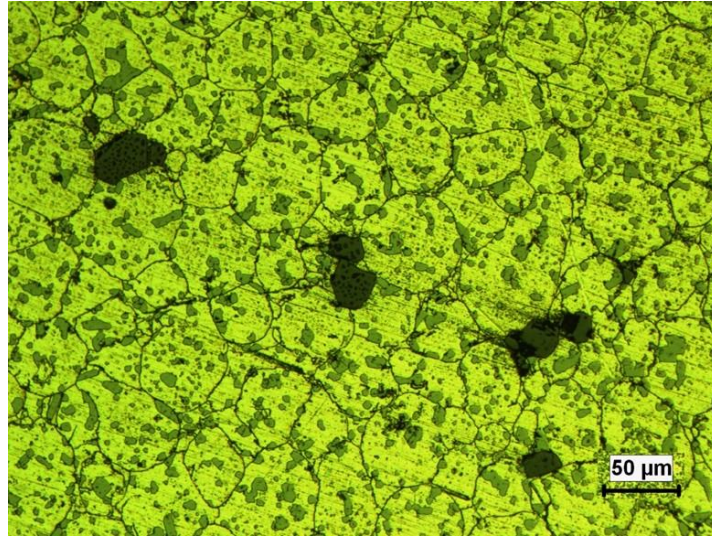
(f)

Şekil 3.11. 600°C’de sinterlenmiş Al+Si esaslı numuneden alınan a) SEM fotoğrafı, b) 1 nolu EDS analizi c) 2 nolu EDS analizi d) 3 nolu EDS analizi e) 4 nolu EDS analizi f) 5 nolu EDS analizi

600°C’de sinterlenmiş Al+Si esaslı numuneden alınan SEM mikroyapı resmi ve EDS analizleri Şekil 11’de verilmiştir. 1 nolu noktadan alınan EDS analizinde ötektik yapı oluşumundaki Si elementinin yoğun olduğu açık renkli bölgede %97,54 Si ve % 2,46 Al elementleri tespit edilmiştir. 2 nolu noktadan alınan EDS analizinde matris yapıya ait Al ile birlikte Si ve O elementleri tespit edilmiştir. O elementinin varlığı Al+Si tozunun oksitlenmiş olabileceğini göstermektedir. 3 ve 4 nolu noktalardan alınan EDS analizinde Si elementinin ağırlıkça fazla olduğu görülmektedir (Şekil 3.11-d ve e). 3 ve 4 nolu noktalarında ötektik Al+Si alaşımı olduğu düşünülmektedir. 5 nolu noktadan alınan EDS analizinde tane sınırına yakın noktadan alındığı ve bu noktanın matris Al elementi açısından yoğun olduğu görülmektedir.



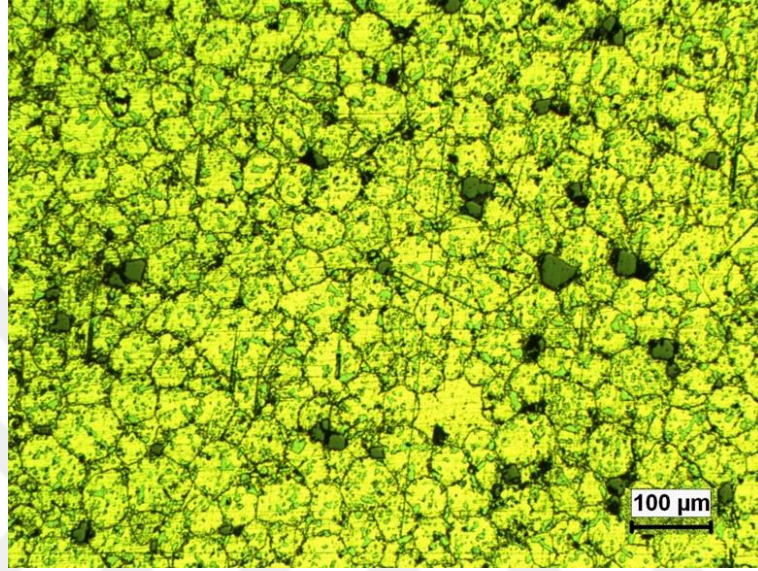
(a)



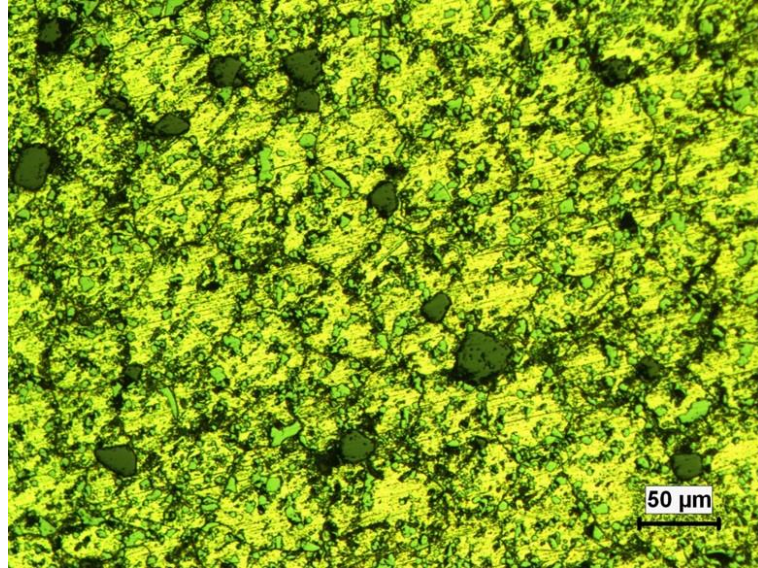
(b)

Şekil 3.12. %5 600°C a) 100 µm b)50 µm

Şekil 3.12’de Al+Si+%5 Cr₂O₃ tozunun presleme sonrası 600°C’de sinterlenmiş numuneye ait optik mikroyapı resimleri görülmektedir. Bu numunede de mikroyapı da tane sınırları görülmektedir. Eş eksenli tanelerden oluşan yapıda, tane sınırları ve tane içlerinde ötektik yapı sinterleme sıcaklığının artmasıyla çökeltiler oluşturularak varlığını göstermektedir. Tane sınırlarında siyah renkte gözeneklerinde mevcut olduğu görülmektedir.



(a)

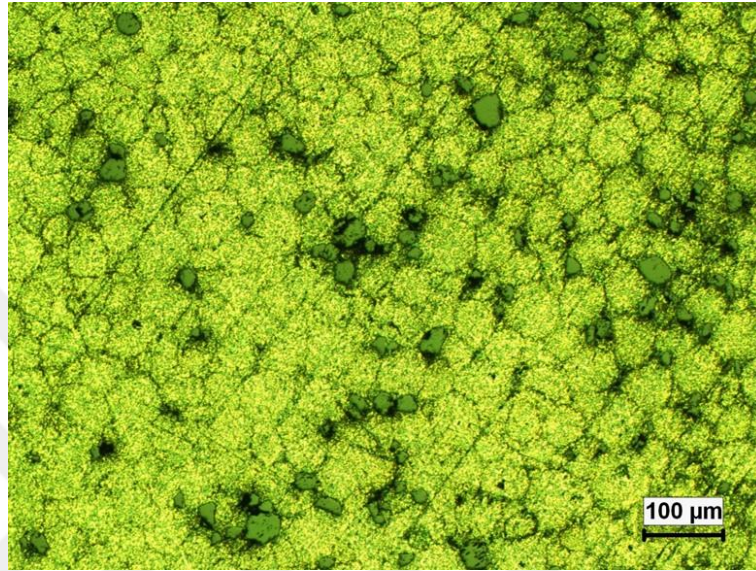


(b)

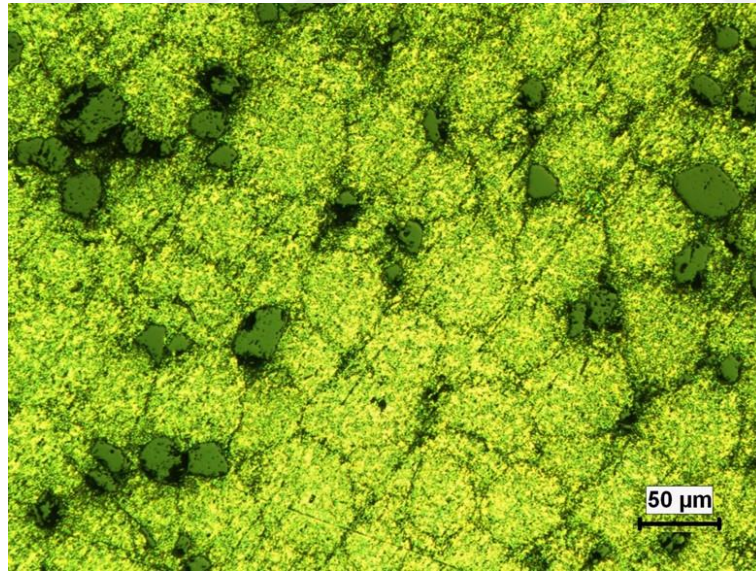
Şekil 3.13. %10 600°C a) 100 µm b)50 µm

Şekil 3.13’te Al+Si+%10 Cr₂O₃ tozunun presleme sonrası 600°C’de sinterlenmiş numuneye ait optik mikroyapı resimleri görülmektedir. Bu numunede de mikroyapı da tane sınırları

görülmektedir. Eş eksenli tanelerden oluşan yapıda, tane içi ve tane sınırlarında çökeltiler görülmektedir. %10 değerinde ilave edilen Cr_2O_3 oksit tozunun da sinterleme esnasında tane sınırlarında yerleştiği ve gözenek miktarında %5 Cr_2O_3 ilaveli numuneye göre fazla bir farkın olmadığı Şekil 3.13-b de görülmektedir. Cr_2O_3 ilavesinin homojen olarak dağıldığı mikroyapıdan anlaşılmaktadır.



(a)

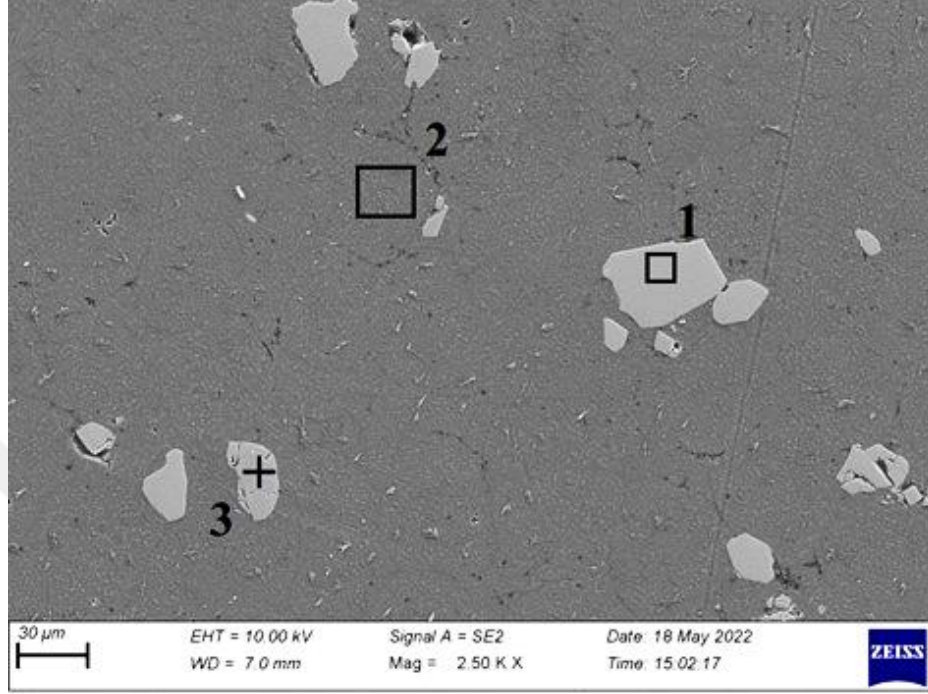


(b)

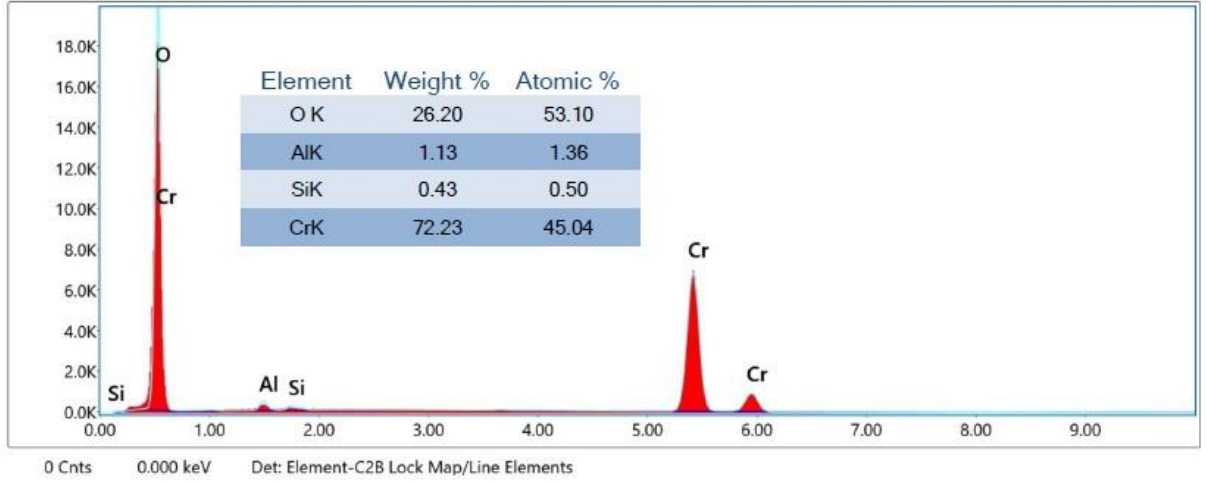
Şekil 3.14. %15 600°C a) 100 µm b)50 µm

Şekil 3.14'te Al+Si+%15 Cr_2O_3 tozunun presleme sonrası 600°C'de sinterlenmiş numuneye ait optik mikroyapı resimleri görülmektedir. Bu numunede de mikroyapı da tane sınırları görülmektedir. Eş eksenli tanelerden oluşan yapıda, tane içi ve tane sınırlarında ötektik yapının

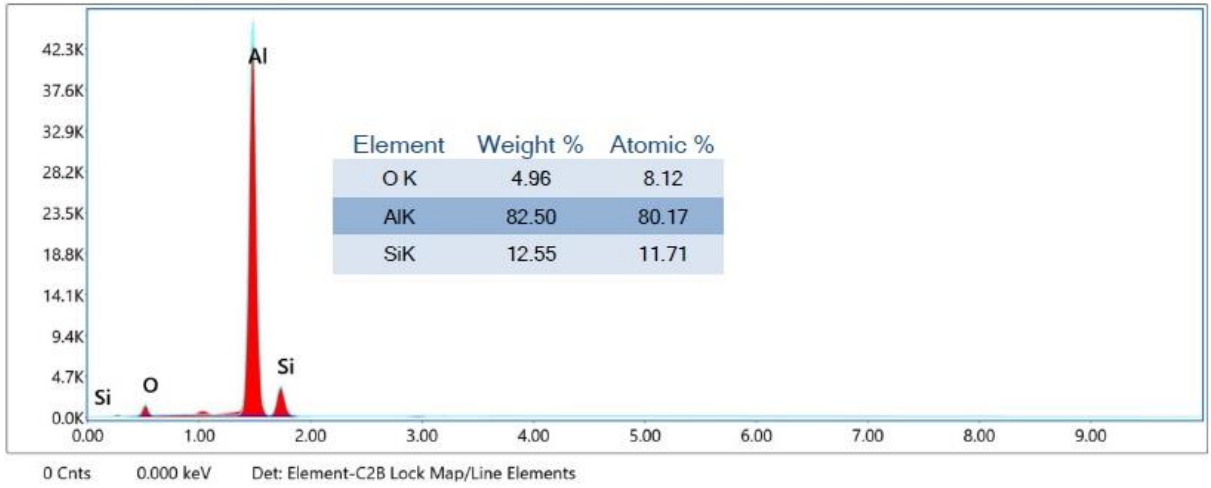
mevcut olduğu görülmektedir. Gözenek ve ilave Cr_2O_3 tozu, sinterleme esnasında genellikle tane sınırlarında yerleştiği Şekil 3.14-b de görülmektedir. Cr_2O_3 toz ilavesinde homojen olarak partikül dağılımı mikroyapı resminde görülmektedir (Şekil 3.14).



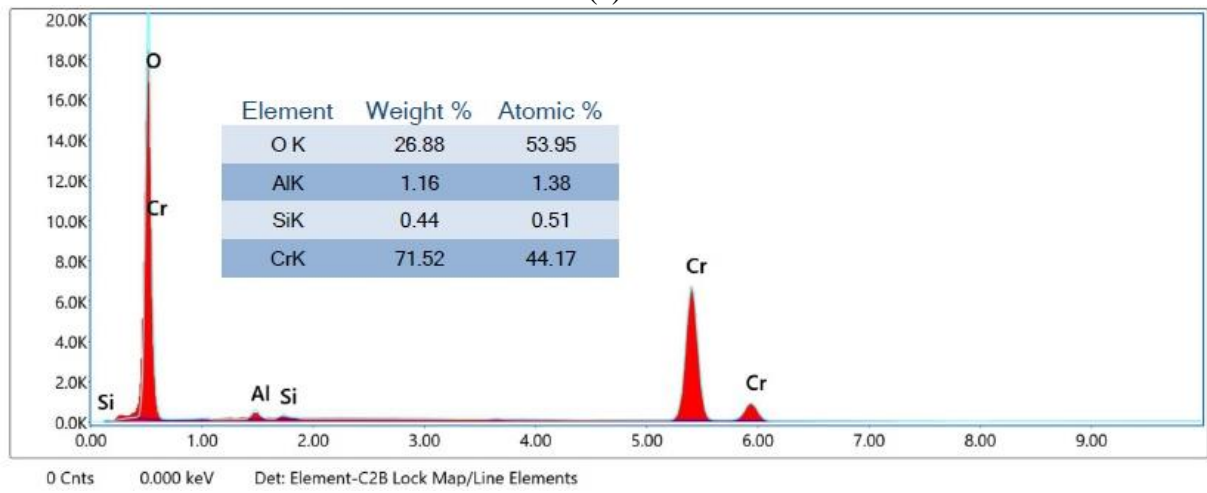
(a)



(b)



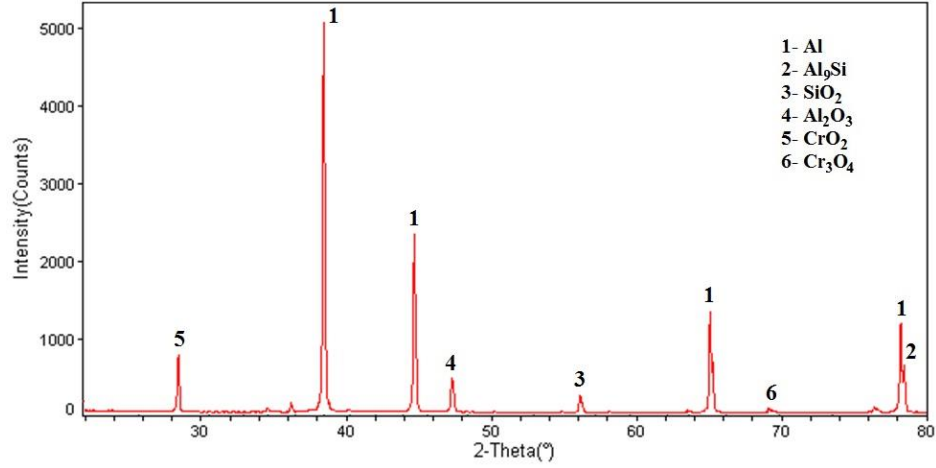
(c)



(d)

Şekil 3.15. 600°C’de sinterlenmiş % 15 Cr₂O₃ takviyeli numuneden alınan a) SEM fotoğrafı, b) 1 nolu EDS analizi c) 2 nolu EDS analizi d) 3 nolu EDS analizi

600°C’de sinterlenmiş Al+Si+%15 Cr₂O₃ numunesinden alınan SEM fotoğrafı ve EDS analiz sonuçları Şekil 3.15’te görülmektedir. Matris yapı ve ilave edilen toz partiküllerinden EDS analizleri alınmıştır. 1 nolu alandan alınan EDS analizinde ilave edilen Cr₂O₃ toz partikülü olduğunu %72,23 Cr ve %26,20 O elementlerinin varlığından anlamaktayız. Bu alanda eser miktarda Al ve Si elementleri de mevcuttur. 2 nolu alandan alınan EDS analizinde ise matris yapıya ait Al ve Si elementlerinin varlığı görülmektedir. Ayrıca tespit edilen O elementinin varlığı ile matris tozun oksitlenmiş olduğu düşünülmektedir. 3 nolu alandan alınan EDS analizinde %71,52 Cr ve %26,88 O elementleri tespit edilmiştir. Bu alanında ilave edilen Cr₂O₃ toz partikülü olduğu düşünülmektedir. Ayrıca eser miktarda Al ve Si elementleri de tespit edilmiştir.

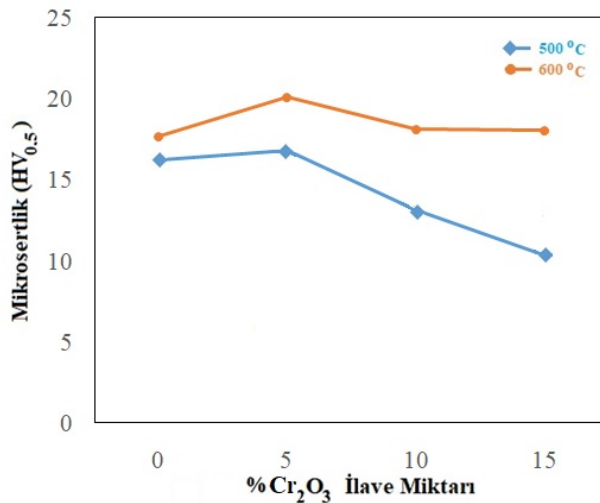


Şekil 3.16. 600°C’de sinterlenmiş Al+Si+%15 Cr₂O₃ esaslı numuneden alınan XRD analizi

Al+Si+%15 Cr₂O₃ toz karışımından elde edilen ve 600°C’de sinterlenmiş numuneden alınan XRD analizi Şekil 91’de görülmektedir. XRD analizi sonucunda farklı tür bileşiklerin oluştuğu tespit edilmiştir. Ana faz matris tozu olan Al olarak tespit edilmiştir. Bunun yanında Al, Si ve %15 oranında ilave toz olarak kullanılan Cr₂O₃ bileşiğine bağlı olarak Al, Al₉Si, Al₂O₃, CrO₂ ve Cr₃O₄ bileşiklerinin de oluştuğu tespit edilmiştir.

600°C’de sinterlenmiş Al+Si+%15 Cr₂O₃ numunesinden alınan EDS analizlerinde (Şekil 3.16) tespit edilen elementler ile aynı numuneden alınan XRD analizinde tespit edilen bileşiklerin uyum sağladığı görülmüştür.

3.4. Mikrosertlik İncelemesi

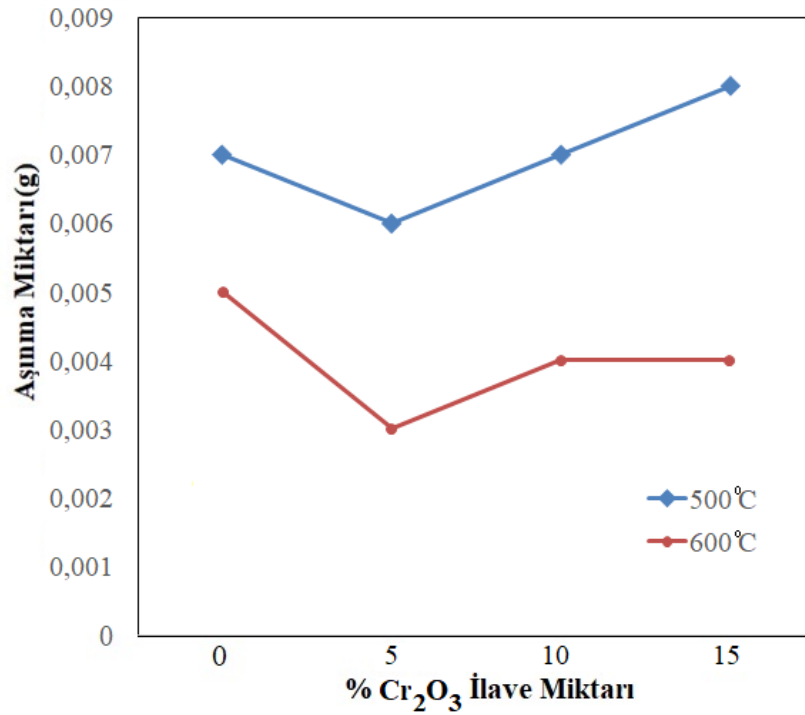


Şekil 3.17. Numunelerin mikrosertlik grafiği

Farklı sinterleme sıcaklıklarına bağı olarak Al+Si tozu ve içerisinde farklı oranlarda (%5, 10, 15) Cr₂O₃ tozu ilave edilerek elde edilen numunelerin sinterleme sonrası mikrosertlik değerleri Şekil 3.17’de verilmiştir. Al içerisinde Si tozunun ilave edilmesi ile elde edilen numunelerin 500°C sinterleme sıcaklığında sinterlenmesi sonucu mikrosertlik değeri 16,19 HV olarak ölçülmüştür. Al+Si tozu içerisinde %5 Cr₂O₃ tozu ilave edilerek elde edilen numunede 16,8 HV, %10 Cr₂O₃ tozu ilave edilerek elde edilen numunede 13,15 HV, %15 Cr₂O₃ tozu ilave edilerek elde edilen numunede ise 10,33 HV mikrosertlik değerleri ölçülmüştür. Cr₂O₃ tozu ilave edilmesi ile mikroyapı fotoğraflarında da görüldüğü üzere (Şekil 3.14) mikroyapı da gözenek kısmen artmıştır. En fazla gözenek %15 Cr₂O₃ ilave edilen numunede tespit edilmiştir. Gözenek miktarındaki bu artışa bağı olarak mikrosertlik miktarında az miktarda düşüş tespit edilmiştir. 500°C sinterleme sıcaklığında sinterlenen numunelerden en düşük mikrosertlik değeri %15 Cr₂O₃ ilavesine sahip numune tespit edilmiştir.

Sinterleme sıcaklığının 600°C olduğu numunelerin mikrosertlik değerleri incelendiğinde, Al içerisinde Si tozunun ilave edilmesi ile elde edilen numunede 17,68 HV, Al+Si tozu içerisinde %5 Cr₂O₃ tozu ilave edilerek elde edilen numunede 20,10 HV, %10 Cr₂O₃ tozu ilave edilerek elde edilen numunede 18,12 HV, %15 Cr₂O₃ tozu ilave edilerek elde edilen numunede ise 18,04 HV mikrosertlik değerleri ölçülmüştür. Sinterleme sıcaklığının 600 °C olduğu bu toz karışımında, Al+Si denge diyagramı incelendiğinde (Şekil 1.11), % 12 Si ilavesi ve 600 °C sıcaklığın olduğu bölgede sıvı faz sinterlemesinin gerçekleştiği görülmektedir. Sıvı faz sinterlemesi ile farklı türde Al_xSi_y tip intermetalik bileşiklerinin oluştuğu ve bu bileşiklerinde mikrosertlik değerini arttırdığı düşünülmektedir.

3.5. Aşınma Deney Sonuçları



Şekil 3.18. Farklı sinterleme sıcaklıkları ve % Cr₂O₃ ilave edilen numunelere ait aşınma miktarı grafiği

Farklı sinterleme sıcaklıkları ile Al+Si tozu içerisine farklı oranlarda (%5, 10, 15) Cr₂O₃ katılarak elde edilen numunelere ait aşınma miktarını gösteren grafik Şekil 3.18’de verilmiştir. Al+Si+%15 Cr₂O₃ tozu ilave edilerek 500°C de sinterlenmesi ile elde edilen numunede en fazla aşınma miktarı elde edilmiştir. Al+Si toz karışımı içerisine ilave edilen Cr₂O₃ tozu ile aşınma miktarının arttığı görülmektedir. Mikrosertlik grafiği ile de uyum sağlayan bu davranışta Cr₂O₃ tozu ilavesi, artan gözenek miktarına bağlı olarak aşınma miktarıda arttırmıştır. 600°C sinterleme sıcaklığı ile sinterlenen numunelerin tümünde aşınma miktarının 500°C ile sinterlenen numunelere göre düştüğü görülmektedir. Mikroyapı incelemelerinde matris tozu olan Al+Si toz karışımının 600°C sinterleme sıcaklığında sıvı faz sinterlemesinin olduğu ve buna bağlı olarak farklı Al_xSi_y tip bileşiklerin oluştuğu düşünülmektedir. Buna bağlı olarak artan mikrosertlik miktarıyla aşınma deneyi esnasında düşüşün oluştuğu düşünülmektedir. Sinterleme sıcaklığının artmasına bağlı olarak aşınma miktarı düşmüştür. En düşük aşınma miktarı %5 Cr₂O₃ ilave edilen ve 600°C de sinterlenen numunede tespit edilmiştir.

4. SONUÇ

Toz metalürjisi yöntemi kullanılarak Al+Si tozu içerisine %5, 10 ve 15 oranlarında Cr₂O₃ tozu karıştırılmıştır. Karıştırılan tozlar preslenerek elde edilen numunelere 500°C ve 600°C sıcaklıklarda sinterleme işlemi uygulanmıştır. Elde edilen numunelerin mikroyapı karakterizasyonu yapılarak, mikrosertlik ve aşınma deneyi sonrası aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

500°C sıcaklıkta sinterlenen numunelerde;

1. Al+Si numunesinde en düşük gözenek miktarı elde edilmiştir. Cr₂O₃ ilave edilmesi ile gözenek miktarı artmıştır.
2. Mikroyapı incelemelerinde, eş eksenli tanelerden oluşan Al+Si matrisli mikroyapı görüntüleri elde edilmiştir.
3. XRD analizi sonucunda farklı tür bileşiklerin oluştuğu tespit edilmiştir. Ana faz matris tozu olan Al olarak tespit edilmiştir. Bunun yanında Al, Si ve %15 oranında ilave toz olarak kullanılan Cr₂O₃ bileşiğine bağlı olarak Al, Al₉Si, Al₂O₃, CrO₂ ve Cr₃O₄ bileşiklerinin de oluştuğu tespit edilmiştir.
4. Cr₂O₃ tozu ilave edilmesi ile gözenekler tane sınırlarında daha belirgin hale gelmiştir. Cr₂O₃ tozları da tane sınırlarına yerleşmişlerdir.
5. 500°C de sinterlenen numunelerde Cr₂O₃ tozu ilavesi ile artan gözenek miktarına bağlı olarak mikrosertlik değeri düşmüştür. 500°C de sinterlenen numuneler içerisinde en yüksek mikrosertlik değeri Al içerisine Si tozunun ilave edilmesi ile elde edilen numunede 16,19 HV olarak ölçülmüştür. Cr₂O₃ tozu ilave edilmesi ile mikroyapı fotoğraflarında da görüldüğü üzere (Şekil 3.14) mikroyapı da gözenek kısmen artmıştır. En fazla gözenek %15 Cr₂O₃ ilave edilen numunede tespit edilmiştir. Gözenek miktarındaki bu artışa bağlı olarak mikrosertlik miktarında az miktarda düşüş tespit edilmiştir. 500°C sinterleme sıcaklığında sinterlenen numunelerden en düşük mikrosertlik değeri %15 Cr₂O₃ ilavesine sahip numune tespit edilmiştir.
6. Al+Si+%15 Cr₂O₃ tozu ilave edilerek 500°C de sinterlenmesi ile elde edilen numunede en fazla aşınma miktarı elde edilmiştir.

600°C sıcaklıkta sinterlenen numunelerde;

1. Al+Si numunesinde gözenek miktarı elde edilmiştir. Cr₂O₃ ilave edilmesi ile gözenek miktarı artmıştır.
2. Mikroyapı da eş eksenli tanelerden oluşan Al matrisli mikroyapı görüntüleri elde edilmiştir. Sinterleme sıcaklığının artmasıyla sıvı faz sinterlemesi meydana gelmiştir. Sıvı faz sinterlemesinin bir sonucu olarak tane sınırı ve tane içerisinde çökeltiler meydana gelmiştir.
3. Tane sınırı ve içerisinde meydana gelen çökeltiler, Al_xSi_y tipi bileşiklerden oluştuğu düşünülmektedir.
4. XRD analizi sonucunda farklı tür bileşiklerin oluştuğu tespit edilmiştir. Ana faz matris tozu olan Al olarak tespit edilmiştir. Bunun yanında Al, Si ve %15 oranında ilave toz olarak kullanılan Cr₂O₃ bileşiğine bağlı olarak Al, Al₉Si, Al₂O₃, CrO₂ ve Cr₃O₄ bileşiklerinin de oluştuğu tespit edilmiştir.
5. Cr₂O₃ tozu ilave edilmesi ile gözenekler tane sınırlarında daha belirgin hale gelmiştir. Cr₂O₃ tozları da tane sınırlarına yerleşmişlerdir.
6. Al içerisine Si tozunun ilave edilmesi ile elde edilen numunede 17,68 HV, Al+Si tozu içerisine %5 Cr₂O₃ tozu ilave edilerek elde edilen numunede 20,10 HV, %10 Cr₂O₃ tozu ilave edilerek elde edilen numunede 18,12 HV, %15 Cr₂O₃ tozu ilave edilerek elde edilen numunede ise 18,04 HV mikrosertlik değerleri ölçülmüştür. Sinterleme sıcaklığının 600 °C olduğu bu toz karışımında, Al+Si denge diyagramı incelendiğinde (Şekil 1.11), %12 Si ilavesi ve 600 °C sıcaklığın olduğu bölgede sıvı faz sinterlemesinin gerçekleştiği görülmektedir. Sıvı faz sinterlemesi ile farklı türde Al_xSi_y tip intermetalik bileşiklerinin oluştuğu ve bu bileşiklerinde mikrosertlik değerini arttırdığı düşünülmektedir.
7. Mikroyapı incelemelerinde matris tozu olan Al+Si toz karışımının 600°C sinterleme sıcaklığında sıvı faz sinterlemesinin olduğu ve buna bağlı olarak farklı Al_xSi_y tip bileşiklerin oluştuğu düşünülmektedir. Buna bağlı olarak artan mikrosertlik miktarıyla aşınma deneyi esnasında düşüşün oluştuğu düşünülmektedir. Sinterleme sıcaklığının artmasına bağlı olarak aşınma miktarı düşmüştür. En düşük aşınma miktarı %5 Cr₂O₃ ilave edilen ve 600°C de sinterlenen numunede tespit edilmiştir.

Deney sonuçları incelendiğinde presleme basıncının 500 MPa dan daha yüksek bir değerde yapılabileceği önerilmektedir. Ayrıca sinterleme sıcaklığı 500°C nin üzerindeki bir sıcaklıkta yapılması mikroyapı ve gözeneklilik açısından daha iyi olacağı düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Özel S, Çelik E, Turhan H, 2009. The Investigation of Microstructure and Mechanical Properties of Cu-Al/B₄C Composites Produced by Using Hot Pres. E-Journal of New World Sciences Academy, 4 (1): 106-112.
- [2] Çolak Y, Turhan H, 2016. Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretilen Al-Si/B₄C Kompozit Malzemenin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 28 (2): 259-266.
- [3] Harrigan Jr WC, 1998. Commercial Processing of Metal Matrix Composites. Materials Science and Engineering: A, 244(1): 75-79.
- [4] Rosso M. 2006. Ceramic and Metal Matrix Composites: Routes and Properties. Journal of Materials Processing Technology, 175(1-3): 364-375.
- [5] Kırmızı G, Arık H, Çinici H, 2019. Experimental Study on Mechanical and Ballistic Behaviours of Silicon Carbide Reinforced Functionally Graded Aluminum Foam Composites. Composites Part B: Engineering, 164: 345-357.
- [6] Deuis RL, Subramanian C, Yellup JM, 1996. Abrasive Wear of Aluminium Composites—A Review. Wear, 201(1-2): 132-144.
- [7] Halil A, 2019. Toz Metalurjisi Metoduyla Al-SiC Kompozit Malzeme Üretimi ve Aşınma Özelliklerinin Araştırılması. Gazi University Journal Of Science Part C: Design and Technology, 7(3): 741-754.
- [8] Al-Samarai RA, Haftirman AK, Al-Douri YA, 2012. Effect of Load and Sliding Speed On Wear and Friction of Aluminum-Silicon Casting Alloy. International Journal of Scientific and Research Publications, 2(3): 1 – 4.
- [9] Aluminum Association, 1984. Aluminum: properties and physical metallurgy. ASM international. Ohio.
- [10] Ocak AO, 2019. Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilen Az91 Alaşımının Mekanik Özellikleri Üzerine Alaşım Elementlerinin Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [11] Gutmanas EY, 1990. Materials with Fine Microstructures by Advanced Powder Metallurgy. Progress in Materials Science, 34(4): 261-366.
- [12] Picken JR, 1981. Aluminium Powder Metallurgy Technology for High-Strength Applications. Journal of Materials Science, 16(6): 1437-1457.

- [13] Demirel M, 2007. Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilen Metal Matrisli Kompozitlerde Ni₃Al Metaller Arası Bileşik Takviyesinin Aşınma Davranışına Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Elazığ.
- [14] Kurbanoglu C, Durak E, Tunay RF, Karaaslan R, 2001. Değişken Yüklü T/M Esaslı Kaymalı Yataklardaki Sürtünme Kuvvetinin Ölçülmesi. TMMOB IV. Ulusal Ölçüm Bilim Kongresi, 25-26 Ekim 2001, Eskişehir, s: 33-46.
- [15] Akhtar S, Saad M, Misbah MR, Sati MC, 2018. Recent Advancements in Powder Metallurgy: A review. Materials Today: Proceedings 5(9): 18649-18655.
- [16] Özgün Ö, 2007. Toz Metalurjisi ile Üretilen Alaşımli Çeliklerin Mikroyapı ve Mekanik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Sakarya.
- [17] Demirkesen E, 2003. Kompozit Malzemeler Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [18] Özaydın D, 2015. Toz Metalurjisi ile Üretilen Demir Esaslı Malzemelerde Borlamının Mekanik Özelliklere Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- [19] Topuz A, 2012. Döküm ve Toz Metalurjisi Yöntemleri İle Üretilen AA 2014-Al₄C₃ Metal Matrisli Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [20] Özbek Y, Yıldız K, Alp A, 2005. Röntgen Atık Sularından Gümüş Tozu Kazanımı. 4.Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, 8-22 Mayıs 2005, Sakarya, s: 1221-1227.
- [21] ASM Handbook, 1998. Powder Metallurgy, ASM International, USA.
- [22] German RM, 1998. Powder Metallurgy of Iron and Steel. Jhon Willey and Sons, U.S.A.
- [23] Korucu S, Gürkan SOY, 2019. Alüminyum Matrisli Kompozitlerde Tungsten Karbür ve Grafen Takviyelerinin Mekanik Özelliklere Etkileri Üzerine Bir Araştırma. Düzce Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7(3): 1466-1487.
- [24] Eisay AMS, 2019. Alüminyum/Biyokütle Kaynaklı Aktif Karbon Kompozitlerinin Üretimi ve Karakterizasyonu. Doktora Tezi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Kastamonu.
- [25] Karabulut H, 2011. Toz Metalurjisi Yöntemiyle Al₂O₃, SiC ve B₄C Takviyeli Al Matrisli Kompozit Üretiminde Mekanik Alaşımlama Süresinin Kompozit Özelliklerine Etkisi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- [26] Ekşi A, Kurt AO, 1999. Metal ve Seramik Tozlarının Bilgisayar Kontrollü Tek Eksenli Kalıpta Preslenmesi. 2. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, 15 - 17 Eylül 1999, Ankara, s: 557- 563.
- [27] Bilgili EZ, Salamcı E, Asan A, Ünal R, Valov R, 2016. Elmas Nano Parçacık Takviyeli Krom Kaplanmış Gözenekli Toz Metal Parçaların Korozyon Davranışlarının Araştırılması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Ve Mimarlık Dergisi, 31(3): 579-587.
- [28] German RM, 1996. Sintering Theory and Practice. Nobel Akademik Yayıncılık. Newyork.
- [29] Gündüz S, Erden MA, Karabulut H, Turkmen M, 2016. The Effect of Vanadium and Titanium on Mechanical Properties of Micro alloyed PM Steel. Powder Metallurgy and Metal Ceramics, 55(5): 277-287.
- [30] Froes FHS, 2015. A Historical Perspective of Titanium Powder Metallurgy. Titanium Powder Metallurgy, 1-19.
- [31] Gökçe A, Fındık F, Kurt AO, 2017. Alüminyum ve Alaşımlarının Toz Metalurjisi İşlemleri. Mühendis ve Makina, 58(686): 21-47.
- [32] 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.
- [33] Ataş A, 2003. Alaşımlı Demir Tozu Peletlerinin Sinterleme Sonrası Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [34] Rahimian M, Parvin N, Ehsani N, 2010. Investigation of Particle Size and Amount of Alumina on Microstructure and Mechanical Properties of Al Matrix Composite Made by Powder Metallurgy. Materials Science and Engineering: A, 527(4-5): 1031-1038.
- [35] Erdoğan G, 2016. Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Modal Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [36] Russell A, Lee KL, 2005. Structure-property Relations in Nonferrous Metals. John Wiley&Sons. New York.
- [37] Rosato DV, 1997. Performance, Economics, Performance, Economics. Hanser Publishing. Munich.
- [38] Phillips LN, 1989. Design With Advanced Composite Materials, Springer Verlag. United States.
- [39] Sarıtaş S, Türker M, Durlu N, 2007. Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri, Türk Toz Metalurjisi Yayınları. Ankara.

- [40] Özyay Ç, Haşçalık A, 2004. T/M Yöntemi ile Üretilen Cu-C-Al₂SiO₅ Kompozitinin Abrasiv Aşınma Dayanımı. Journal of Science and Technology of Dumlupınar University, (006): 175-184, 2:175- 184.
- [41] Gültaş A, Şahin Y, Dilipak H, 2000. Zn-Al Esaslı Metal Matriksli Kompozit Malzemelerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Politeknik Dergisi, 3(2): 97-102.
- [42] Nalçacıoğlu C, 2017. Toz Metalürjisi Yöntemi ile Üretilen AA7075 Alüminyum Alaşımlarında T6 Isıl İşlem Parametrelerinin Elektrik İletkenliği ve Korozyon Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [43] Garg P, Jamwal A, Kumar D, Sadasivuni KK, Hussain CM, Gupta P, 2019. Advance Research Progresses in Aluminium Matrix Composites: Manufacturing & Applications. Journal of Materials Research and Technology, 8(5): 4924-4939.
- [44] Demirel M, 2007. Toz Metalürjisi Yöntemiyle Üretilen Metal Matrisli Kompozitlerde Ni₃Al Metaller Arası Bileşik Takviyesinin Aşınma Davranışına Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Elazığ.
- [45] Clyne TW, Withers PJ, 1995. An Introduction to Metal Matrix Composites. Cambridge University Press.U.K.
- [46] Şahin Y, 2000. Kompozit Malzemelere Giriş 1. Gazi Kitabevi, Ankara.
- [47] <https://Malzemebilimi.Net/Aluminyum-Alasimlari.Html> (Erişim tarihi: 07.06.2022)
- [48] Heard DW, Donaldson IW, Bishop DP, 2009. Metallurgical Assessment of A Hypereutectic Aluminum-Silicon P/M Alloy. Journal of Materials Processing Technology 209 (18-19): 5902-5911.
- [49] Davis JR, 2001. Alloying: Understanding The Basics. ASM International.
- [50] Okamoto H, Massalski T, 1993. Guidelines for Binary Phase Diagram Assessment. Journal Of Phase Equilibria, 14(3): 316-335.
- [51] Zamani M, 2017. Al+Si Cast Alloys-Microstructure and Mechanical Properties At Ambient and Elevated Temperatures. Doctoral Dissertation, Jönköping University, School of Engineering, Sweden.
- [52] Gökçe A, Fındık F, Kurt AO, 2014. Effects of Sintering Temperature and Time on the Properties of Al-Cu PM Alloy. In 7th International Powder Metallurgy Conference and Exhibition, 24-28 June 2014, Ankara.
- [53] Kehl W, Fischmeister HF, 1980. Liquid Phase Sintering of Al-Cu Compacts. Powder Metallurgy, 23(3): 113-119.

- [54] Martin JM, Castro F, 2003. Liquid phasesintering of P/M aluminiumalloys: effect of processing conditions. *Journal of Materials Processing Technology*, 143-144(1): 814-821.
- [55] Martin JM, Castro F, 2007. Sintering Response&Microstructural Evolution of An Al-Cu-Mg-Si Premix. *International Journal of Powder Metallurgy*, 43(6): 59-69.
- [56] Töre C, 2012. Mekanik Tasarımda Alüminyum ve Özellikleri. Makine Mühendisleri Odası. Ankara.
- [57] Eruslu N, Altmışoğlu A, Taptık Y, 1990. Alaşımalar Ders Notu, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [58] Turhan S, 2002. Alüminyumun Mekanik Özelliklerine ve Aşınma Davranışına Magnezyumun ve Silisyumun Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [59] Altun H, Şen S, 2006. PVD Tekniğiyle Yapılan Kaplamaların Magnezyum Alaşımalarının Yapısal, Mekanik ve Tribolojik Özelliklerine Etkisi. 11. Uluslararası Malzeme SEMpozyumu Bildiriler Kitabı, s: 1002.
- [60] Canbaz E, 2021. Zr ve/veya V İlavesinin Al-Si Alaşımalarının Yapısal ve Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- [61] Moore MA, 1974. A Review Of Two-Body Abrasive Wear. *Wear*, 27(1): 1-17.
- [62] Çelikyürek İ, 2006. Demir Aluminatların Borlanması ve Aşınma Özelliklerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [63] Söğüt M, 2021. Saf Magnezyumun Mikro Ark Oksidasyonda Değişen Elektrolit Bileşiminin ve İşlem Süresinin Kaplamaların Yüzey Özelliklerine ve Aşınma Dayanımına Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [64] Akça H, İyibilgin O, Gepek E, 2020. Biyomalzemeler ile İmplant Üretimi Sürecinin Biyotriboloji Yönünden Değerlendirilmesi, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8(1): 667-692.
- [65] Durdu S, 2010. Saf Magnezyumun Mikro ark Oksidasyon Yöntemiyle Yüzey Modifikasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- [66] <https://www.mddionline.com/news/understanding-wear-and-friction-medical-grade-stainless-steels> (Erişim tarihi: 21.05.2022)

- [67] Adali R, 2011. Alüminyum-Magnezyum İkili Alaşımlarının MikroarkOksidasyon Yöntemiyle Kaplama Davranışına Magnezyum Miktarının Etkisi.Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- [68] Özdil K, 2006. Alüminyum Esaslı SiC Takviyeli Kompozitlerin Üretimi ve Aşınma Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [69] Halling J, 1975. Principles of Tribology. MacmillanPress. London.
- [70] Şenol E, Ölüç S, 2018. Şeffaf Camların Erozyon Karakteristiğinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Bitirme Çalışması, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Trabzon.
- [71] Gökçe A, 2007. Yapısal Uygulamalar İçin Alüminyum Esaslı Malzemelerin Toz Metalurjisi Kullanılarak Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

ÖZGEÇMİŞ

Eğitim hayatıma Karataş İMKB İlköğretim Okulu'nda başlayıp, ortaokulu Karataş İMKB İlköğretim Okulu'nda ve liseyi Türk Telekom Lisesi'nde tamamladım. 2014 yılında kazanmış olduğum Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik Fakültesi/ Makine Mühendisliği Bölümü'nden 2018 yılında mezun oldum. 2018 yılında Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/ Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisansa başladım ve hala Yüksek Lisans eğitimime devam etmekteyim.

Kübra ASLAN

