

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**DÖKÜM YÖNTEMİ İLE ALÜMİNYUM ESASLI
SİC TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ**

Gökan YILMAZ

**Danışman
Doç. Dr. Hülya DURMUŞ**



MANİSA-2019

**Gökan
YILMAZ**

**DÖKÜM YÖNTEMİ İLE ALÜMİNYUM ESASLI SiC TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN
ÜRETİMİ**

2019

TEZ ONAYI

Gökan YILMAZ tarafından hazırlanan "**DÖKÜM YÖNTEMİ İLE ALÜMİNYUM ESASLI SiC TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ**" adlı tez çalışması 17/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Doç. Dr. Hülya DURMUŞ
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Osman ÇULHA
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Metin YURDDAŞKAL
Dokuz Eylül Üniversitesi

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Gökan YILMAZ



İÇİNDEKİLER

| | |
|---|----|
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. ALÜMİNYUM | 3 |
| 2.1. Alüminyum Döküm Alaşımları..... | 3 |
| 3. Döküm Yöntemleri..... | 8 |
| 3.1. Sürekli Döküm | 8 |
| | 9 |
| 3.2. Kum Kalıba Döküm | 9 |
| 3.3. Metal (Kokil) Kalıba Döküm | 10 |
| 3.4. Hassas Döküm | 12 |
| 3.5. Enjeksiyon Döküm Yöntemleri..... | 12 |
| 4. Kompozit Malzemeler..... | 14 |
| 4.1. Metal Matrisli Kompozitler..... | 14 |
| 4.1.1. Al-SiC Katkılı Kompozitler | 15 |
| 5. MALZEME VE METOD | 17 |
| 5.1. Malzeme | 17 |
| 5.2. Döküm Kompozit Parça Üretim Cihazının Tasarımı ve İmalatı..... | 20 |
| 5.2.1. Etial145-SiC Kompozitlerinin Üretimi | 26 |
| 5.3. Al-SiC Kompozitin Üretim Aşamaları..... | 26 |
| 5.3.1. SiC Ön Isıtma İşlemi..... | 26 |
| 5.3.2. Potada Alüminyumun Ergitilmesi..... | 26 |
| 5.3.3. Vorteks Cihazında Ergimiş Etial145-SiC'ün Karıştırılması | 27 |
| 5.3.4. Kum Kalıba Döküm ile Kompozit Üretimi..... | 29 |
| 5.3.5. Etial145-SiC Döküm Kompozitin Katılaşması..... | 29 |
| 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR | 30 |
| 6.1. Mikroyapı İncelemesi | 30 |
| 6.2. Yoğunluk Ölçümü..... | 31 |
| 6.3. Brinell Sertlik Testi | 32 |
| 6.4. Çekme Testi | 33 |
| 6.5. Üç Nokta Eğme Testi | 34 |
| 6.6. Aşınma Testi | 39 |
| 7. SONUÇ VE ÖNERİLER | 46 |
| 7.1. Sonuçlar..... | 46 |
| 7.2. Öneriler..... | 48 |
| 8. KAYNAKÇA | 50 |

9. ÖZGEÇMİŞ 52



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|------------|-------------------------|
| Al | Alüminyum |
| °C | Santigrat derece |
| dev | Devir |
| dk | Dakika |
| g | Gram |
| MMK | Metal Matrisli Kompozit |
| N | Newton |
| SiC | Silisyum Karbür |



ŞEKİL DİZİNİ

| | |
|--|----|
| Şekil 3.1 Sürekli döküm metodu | 9 |
| Şekil 3.2 Kokil kalıba döküm metodu | 11 |
| Şekil 3.3 Yüksek basınçlı döküm | 13 |
| Şekil 5.1 Öğütmeden önceki SiC' ün “Mastersizer 3000” tane boyut analizi..... | 18 |
| Şekil 5.2 Öğütüldükten sonra SiC' ün “Mastersizer 3000” tane boyut analizi | 19 |
| Şekil 5.3 Öğütülmemiş SiC tozlarının optik mikroskopta görüntüsü | 19 |
| Şekil 5.4 Öğütülmüş SiC tozlarının optik mikroskopta görüntüsü | 20 |
| Şekil 5.5 Üretilen vorteks cihazının teknik resmi | 22 |
| Şekil 5.6 İmal edilmiş vorteks cihazının görüntüsü | 23 |
| Şekil 5.7 Mitsubishi marka 240V-320V frekans inverteri | 25 |
| Şekil 5.8 Vorteks cihazı kontrol paneli görüntüsü | 25 |
| Şekil 5.9 Etial-145-SiC kompozitin vorteks cihazında karıştırılması..... | 28 |
| Şekil 5.10 Dökülmüş alüminyum kompozitlerin soğuması | 29 |
| Şekil 6.1 Etial-145-%5 SiC katkılı kompozitin mikro yapısı | 30 |
| Şekil 6.2 Etial-145-%10 SiC katkılı kompozitin mikro yapısı | 31 |
| Şekil 6.3 Kompozitlerin yoğunluk grafiği | 32 |
| Şekil 6.4 Kompozitlerin sertlik testi sonuç tablosu..... | 33 |
| Şekil 6.5 Kompozitlerin çekme dayanımı grafiği | 34 |
| Şekil 6.6 Üç nokta eğme testi sonuç grafiği Etial145-%0SiC | 35 |
| Şekil 6.7 Üç nokta eğme testi sonuç grafiği Etial145-%5 SiC | 36 |
| Şekil 6.8 Üç nokta eğme testi sonuç grafiği Etial145-%10 SiC | 37 |
| Şekil 6.9 Üç nokta eğme testi grafiği | 38 |
| Şekil 6.10 Profilometre ile aşınma izinin pürüzlülük ölçüm örneği | 41 |
| Şekil 6.11 Aşınma testi sonunda kompozitlerin makro görüntüleri..... | 42 |
| Şekil 6.12 Etial145-%0SiC katkılı kompozitin 5N statik yük altında aşınma yolu görüntüsü (x100 büyütme) | 42 |
| Şekil 6.13 Etial145-%5SiC katkılı kompozitin 5N statik yük altında aşınma yolu görüntüsü (x100 büyütme) | 43 |
| Şekil 6.14 Etial145-%10 SiC katkılı kompozitin 5N statik yük altında aşınma yolu görüntüsü (x100 büyütme) | 44 |
| Şekil 6.15 Etial145-SiC kompozitlerin hacimsel aşınma kayıpları | 44 |

TABLO DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Tablo 2.1 Etial145 fiziksel özellikleri..... | 6 |
| Tablo 2.2 Etial145 döküm özellikleri..... | 6 |
| Tablo 5.1 Etial145'in kimyasal bileşimi (%ağ) | 17 |
| Tablo 5.2 İlave edilen SiC miktarı | 28 |
| Tablo 6.1 Etial45-%0SiC kompozitin eğme testi sonuçları..... | 35 |
| Tablo 6.2 Etial145-%0SiC eğilme dayanımı | 35 |
| Tablo 6.3 Etial145-%0SiC ortalama eğilme dayanımı | 35 |
| Tablo 6.4 Etial45-%5SiC kompozitin eğme testi sonuçları..... | 36 |
| Tablo 6.5 Etial145-%5SiC eğilme dayanımı | 36 |
| Tablo 6.6 Etial145-%5SiC ortalama eğilme dayanımı | 36 |
| Tablo 6.7 Etial45-%10SiC kompozitin eğme testi sonuçları..... | 37 |
| Tablo 6.8 Etial145-%10SiC eğilme dayanımı | 37 |
| Tablo 6.9 Etial145-%10SiC ortalama eğilme dayanımı | 37 |
| Tablo 6.10 Üç nokta eğme testi ortalama çekme kuvvetlerinin kıyaslanması..... | 38 |
| Tablo 6.11 Aşınma deneyi parametreleri | 39 |

TEŞEKKÜR

Çalıőmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve tecrübesi ile lisansüstü öğrenim hayatımın tüm zorlu aőamalarında her yönden yardımcı olan, tecrübeleri ile beni aydınlatan ve desteğini esirgemeyen Sayın Tez Danıőmanım Doç. Dr. Hülya Durmuş'a, yüksek lisans eğitimim sırasında desteği ve tüm mekanik test cihazları konusunda her türlü imkan ve desteği veren Gökhan Eyici'ye, çalıőmalarım sırasında manevi desteğini her zaman hissettiğim değerli arkadaőım Hasan Öztürk'e, numune üretim sürecinde maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen tüm Yazıcılar Makine A.ő çalıőanlarına ve özellikle Murat Yazıcılar'a öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan aileme yürekten teşekkür ederim.

Gökán YILMAZ

Manisa, 2019

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DÖKÜM YÖNTEMİ İLE ALÜMİNYUM ESASLI SiC TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ

Gökan YILMAZ

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hülya DURMUŞ

Döküm yöntemi ile alüminyum esaslı Silisyum Karbür takviyeli kompozit üretimi alüminyumun mekanik özelliklerini iyileştirmek için yapılmıştır. Genellikle toz metalurjisi gibi yöntemlerle üretilen metal matrisli kompozitler sanayideki artan hacim düşünülerek daha seri ve ekonomik olarak üretilmesi için bu tez çalışmasında üretim yöntemi olarak kuma döküm yöntemi seçilmiştir.

(SiC) sanayi şartları altında üretilen en sert malzemelerden biridir. Yüksek sertliğini silisyum ve karbür arasında oluşan kovalent bağ sağlar. Elmasa yakın sertliği ile endüstride aşındırıcı olarak (talaşlı imalat takım uçlarında ve zımparalama elemanlarında) kullanılır. SiC yüksek ısı dayanıma (1800°C kadar) yüksek korozyon dayanımına ve düşük özgül yoğunluğa sahiptir. Bu mükemmele yakın özellikleri ile aynı zamanda rulmanlarda ve kaymalı yataklarda destek elamanı olarak kullanılan üstün özelliklere sahip seramiklerdendir.

Alüminyumun, ağırlığına kıyasla yüksek mukavemeti endüstride birçok alanda kullanılan bir mühendislik malzemesi olmasını sağlamıştır. Alüminyum alaşımlarının dayanım özelliğinin yanı sıra talaşlı imalat ve diğer metotlar ile kolayca şekillendirilebilmesi; inşaat, havacılık, otomotiv ve ambalajlama sektörlerinde kullanılan vazgeçilmez malzemelerden biri haline getirmiştir. Alüminyum alaşımlarının kullanımının büyük bir bölümü taşıtların üretimine aittir. Alüminyum alaşımlarının tüm bu avantajlarına rağmen, aynı sektörlerde kullanılan diğer metal malzemeler göz önüne alındığında aşınma direnci ve korozyon dayanımı düşüktür.

Alüminyum alaşımlarının bahsi geçen bu dezavantajı, bu çalışmanın çözüm arayışına girdiği en büyük sorunlarından biridir. Vazgeçilmez mühendislik malzemelerinden olan alüminyum, SiC gibi çok sert bir malzeme takviyesiyle oluşturulan kompozit ile Etial145 alaşımın aşınma direncinin ve diğer mekanik özelliklerinin artırılması hedeflenmiştir. Oluşturulan bu kompozit, alüminyum gibi hafif ve dayanıklı bir malzemenin aşınmaya maruz kalacağı koşullar altında kullanımı arttıracak, sürekli olarak CO₂ emisyonunun ve ulaşım masraflarının azaltılması için mesai sarf eden havacılık ve otomotiv sektörü için yeni fırsatlar sunacaktır.

Anahtar Kelimeler: Silisyum Karbür, Alüminyum, Alüminyum Kompozit, Vorteks Makinası, Aşınma, SiC

2019, 52 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

PRODUCTION OF ALUMINUM BASED SiC REINFORCED COMPOSITES WITH CASTING METHOD

Gökan YILMAZ

Manisa Celal Bayar University

Graduate School of Applied and Natural Sciences

Department of Engineering Science

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hülya Durmuş

Aluminum SiC composite production by casting method is made to improve the mechanical properties of aluminum. This composite is produced by methods such as powder metallurgy. This is an appropriate approach considering traditional methods. In this thesis, the production method has been changed for the production of series and economic by approach of industrial production.

SiC is one of the hardest materials produced under industrial conditions. This hardness happens because of the covalent bond formed between silicon and carbide. Material is nearly as hard as diamond which is used as an abrasive in the industry (machining tools and sanding elements). SiC has high corrosion resistance with high corrosion resistance and low specific density. It is also one of the outstanding non-oxide ceramics used in bearings and sliding bearings.

The high strength of aluminum compared to its weight has made it an engineering material used in many fields in the industry. It can be shaped easily with aluminum as well as machining and other methods; Construction has become one of the indispensable materials used in aviation, automotive and packaging sectors. 24% of the use of aluminum belongs to the production of vehicles. Despite all these advantages of aluminum, other metal materials used in the same sectors, considering the wear resistance and corrosion resistance is low.

This disadvantage of aluminum is one of the biggest problems of this thesis. It is aimed to increase wear resistance and other mechanical properties with a composite which will be produced with very hard material support such as aluminum, SiC which is one of the indispensable engineering materials. This composite to be created will increase utilization under conditions where a lightweight and durable material such as aluminum will be subject to wear, and will continuously offer new opportunities for the aerospace and automotive industry to reduce CO₂ emissions and transportation costs.

Keywords: (Silicon Carbide, Aluminium, Aluminium Composite, Vorteks Machine, Wearing, SiC)

2019, 52 pages

1. GİRİŞ

Tarih boyunca insanoğlunun akli ve becerisi birçok teknolojik gelişmeyle taçlanmış, ilk çağlardan beri alet, barınak ve araç yapmak için kullandığı hammaddeleri sürekli olarak geliştirmeyi amaçlamıştır. Tarih öncesinde, bakır çağında bakır alaşımları ergittikleri o tarihten bu tarihe kadar hammadde ve malzeme seçimi konusunda çok mesafe kat ettiler Mısır coğrafyasında yaptıkları saman destekli kerpiç tuğlaları geleceğin kompozit malzeme teknolojisine ilham olacağını kendileri bile tahmin edemezdi.

Sürekli olarak artan sanayi üretimi ve gelişen rekabetçi koşullar malzeme ve hammaddeden beklentileri arttırmaktadır. Birinci dünya savaşından sonra Amerika'da keşfedilen cam elyafı modern kompozit malzeme teknolojisinin temellerini atmış ve bugüne kadar gelişmesi için bir başlangıç olmuştur. Bu yapılan buluş ile malzemelerin tek başlarına gösteremediği üstün mekanik özelliklerin başka bir malzeme ile desteklenerek üst düzeye çıktığı keşfedilmiştir. Bu keşif ile hızla artan kompozit malzeme araştırmaları neticesinde birçok farklı kompozit malzeme keşfedilmiş ve yeni kompozit malzemeler üzerinde çalışmalar devam etmektedir.

Partikül destekli alüminyum kompozit üretimi akademik çalışmalarda ve endüstriyel uygulamalarda çok popüler olan bir kompozit üretim metodudur. Alüminyum ve alaşımları hafif olmaları, yüksek korozyon direnci göstermeleri, düşük yoğunlukta olmaları gibi özelliklerinden dolayı MMK'larda matris elemanı olarak kullanımı ön plana çıkmaktadır. Alüminyum matrisli kompozitlerde genellikle SiC, Al₂O₃ ve B₄C gibi sert seramik partiküller takviye malzemesi olarak kullanılmaktadır. SiC ve Al₂O₃'den oluşan seramikler en çok kullanılan partiküllerdir. Spesifik mukavemet, spesifik modül, aşınma dayanımı ve yüksek sıcaklık mukavemeti açısından metal matrisli seramik partikül takviyeli kompozitler iyi özelliklere sahiptir.

Kompozit malzemeler yapısı gereği üretimi pahalı ve zor malzemelerdir. Sürekli artan global rekabet şartlarından en üstün karakterlere sahip malzemeyi, en ekonomik şekilde üretmek şirketler için sürdürülebilirlik açısından çok önemlidir. Üretilen ekonomik kompozit malzemeler, hem şirketlerin karlılığını hem de ürün

kalitesini arttırmaktadır. Bu sebeplerden dolayı kompozit malzeme üretimi için her sene yüksek maliyetli AR-GE yatırımı yapılmaktadır. Bu yatırımlar şirketlerin en önemli bilgi hazinelerinden biri sayılıp gizli tutulmaktadır.

Bu tez çalışmasında da, toz metalurjisi veya basınç altında döküm gibi ileri ve nispeten maliyetli yöntemler kullanılmadan, alüminyumdan parça üretiminde kullanılan en eski ve bilindik yöntem olan kuma döküm yöntemi ile, kompozit üretimi amaçlanmıştır. Bu yöntemin bilinirliği ve ekonomik oluşu nedeniyle üretilecek olan kompozitin hem maliyetinin düşürülmesi hem de seri üretime uygun hale gelecek şekil imalatı hedeflenmiştir.



2. ALÜMİNYUM

Adını Yunancada alum mineraline verilen isim "alumen" den almıştır. Periyodik tablonun III A grubunda bulunur ve atom numarası 13'tür. Atom ağırlığı 26,89'dur: +3 değerlikli olan bu elementin 20°C yoğunluğu 2,7g/cm³, erime noktası 659,8 °C ve kaynama noktası 2450 °C'dir. Özgül ısısı 0.224Cal/g erime ısısı 400Cal/g'dır.

Alüminyum doğada bileşikler halinde bulunan bir elementtir. Yerküre alüminyum %8 bulunma oranıyla karbon ve silisyumdan sonra en sık rastlanan elementtir. Yerküre de bu kadar çok miktarda bulunsa da alüminyum elementinin keşfi 1808 yılında İngiliz bir bilim adamı olan "Sir Humpry Davy" tarafından ancak saptanmıştır. Alüminyumun ticari manada üretilebilmesi ise 1886'da Fransız bilim adamı "Paul Louis Toussaint Héroult" ve Amerikalı bilim adamı "Charles Martin Hall" birbirlerinden tamamen ve habersiz olarak ayrı şekilde geliştirilerek olmuştur. Bu yöntem günümüzde bu iki bilim adamına atıfta bulunacak şekilde "Hall Héroult" adıyla hala kullanılmaktadır, Bahsi geçen üretim yönteminde alüminyum oksitin, ergimiş haldeki kriyolit'in (mineral) içinde çözündürülür üzerinden elektrik akım geçirildiğinde elektrolitin altında alüminyumun sıvı halde biriktiği fark edilmiştir. Bu yöntem keşfedildikten sonra iki yıl içerisinde, 1888 yılında İsviçre'nin "Neuhausen" şehrinde "Schweizerische Metallurgische Gesellschaft" tarafından "Héroult" patentiyle, ve yine 1888 senesinde Amerika Birleşik Devletlerindeki Pittsburgh kentinde "Reduction Company" tarafından "Hall" patentiyle ilk alüminyum elektroliz tesisleri kurulmuştur.

Endüstride kullanılacak olan alüminyum alaşımının hazırlanması , iki adımda gerçekleşir. İlk adımda, "Bayer" metodu vasıtasıyla boksit cevherinden alümina elde edilir. İkinci adımda elektroliz ile alümina'dan alüminyum elde edilir [1].

2.1. Alüminyum Döküm Alaşımları

Alüminyum döküm alaşımları çeşitli standartlar altında tanımlanır Bu rağmen genellikle Aluminum Association (AA) tarafından belirlenmiş olan gösterimlerin alüminyum cinsini göstermek için kullanılmaktadır. Bahsi geçen ifade yöntemlerinde alüminyum döküm alaşımları, alaşımın içerisinde bulunan elementler dikkate

alınarak sınıflandırılır. Alüminyum döküm alaşımları döküm özellikleri üzerindeki etkileri dikkate alınarak üç farkı grup altında ele alınıyor.

Baskın alaşım elementleri: Döküm sonunda üretilen parça veya malzemenin özelliklerini ve ergitilmiş alüminyum alaşımının dökülebilirliğini etkileyen karakteristik alaşım elementleridir.

Minör alaşım elementleri: Alüminyum döküm alaşımları içerisinde bulunan bu elementler parça üzerinde veya ergiyikin dökülebilirlik özelliği konusunda direkt olarak etkisi olmayan sadece katılma sürecinde etkileri gözlenen elementlerdir, Ötektik yapıda bazı modifikasyonlara sebep olurlar, birincil dendrit yapısını incelmeye yardımcı olur ya da bazı fazların oluşumuna katkıda bulunan veya engelleyen elementlerdir.

İstenmeyen elementler: Ergiyikin dökülebilirliğine olumsuz etkileriyle beraber, malzemenin mekanik özelliklerini de negatif yönde etkileyen farklı fazların veya döküm kusurlarına neden olabilen elementlerdir.

Alaşım grupları ifade edilirken, alaşımın içinde bulunan baskın alaşım elementleri dikkate alınır. Aluminum Association'nın (AA) alaşım gösterimleri dört basamak sırasından meydana gelmektedir. Üçüncü ve dördüncü basamaklar birbirlerinden bir nokta ile ayrılmaktadır [2].

2xx.x: Alüminyum – Bakır alaşımları: Baskın alaşım elementi bakırdır. Bu alaşım tipinde en bilinen ikincil element magnezyum olsa da diğer alaşım elementleri de kullanılmaktadır, Yüksek mukavemet gibi mekanik özelliklerinin iyi olması beklenen havacılık ve uzay endüstrisinde yaygın olarak talep görmektedir.

3xx.x: Alüminyum – silisyum ve bakır veya magnezyum alaşımları: Baskın alaşım elementi mangandır. Sıvı ve gaz depolama tankları, sıhhi tesisat boruları ve mimari uygulamalarda ve inşaat sektöründe yaygın olarak talep görmektedir.

4xx.x: Alüminyum – silisyum alaşımları: Baskın alaşım elementi olarak silisyum kullanılır. Termal genişleme katsayısı düşük olduğundan , aşınma direnci ve ve silisyumun karakteristik özelliğinden dolayı korozyon dayanımı yüksek

alaşımlardır. Alüminyum plaka üretiminde, kaynaklı konstrüksiyonlarda otomobil parça ve ekipmanları üretiminde yaygın olarak talep görmektedir.

5xx.x: Alüminyum – magnezyum alaşımları: Baskın alaşım elementi magnezyumdur. Alaşım içerisinde bulunan magnezyum oranı arttıkça sertlik ve mukavemet artışı olur fakat bu artışla birlikte üretilen parçanın sünekliğinde de azalır. Tuzlu suya karşı korozyon direnci yüksek olduğundan, Denizde ve deniz altında görev yapacak konstrüksiyonların imalatında kullanılır.

6xx.x: Endüstride fizibil bir kullanım alanı yoktur.

7xx.x: Alüminyum – çinko alaşımları: Baskın alaşımı bakır elementidir. Endüstride magnezyum, krom ve zirkonyum elementleri ilave edilerek kullanılan alaşımları daha yaygındır. Bu gösterimle ifade edilen alüminyum alaşımları endüstride en yüksek mukavemete sahip olan alaşımlardır. Bu sebeple havacılık sistemleri parçalarının üretiminde kritik ve yüksek dayanım gibi mekanik şartların beklendiği komponentlerinin üretiminde kullanılmaktadır.

8xx.x: Alüminyum – kalay alaşımları: Baskın alaşım elementi lityumdur. Lityum elementiyle birlikte çoğunlukla kalay eklentisi de yapılmaktadır. Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte uçak, uzay ve havacılık endüstrisinde kullanılmaya başlanan bir alüminyum alaşımıdır. Yüksek yorulma direncinin yanında iyi tokluk gibi mekanik özelliklere sahiptir. Bu üstün özelliklerinin yanında bahsedilen Al alaşımları ile kıyaslandığında üretim maliyetleri çok yüksektir. Bu sebeple endüstrideki kullanım hacmi de kısıtlıdır [3].

9xx.x: Alüminyum – diğer elementlerin alaşımları: Alüminyum ile diğer alaşım elementleri kullanılarak yapılan alaşımlardır.

Alüminyum alaşımlarını üretim metodu ele alınarak kıyaslandığında iki grup içerisinde dövme ve döküm olarak toplanabilirler. İmal usullerinin farklılaşması aslına üretilen parçadan beklenen mekanik özelliklerinin ve beklenen çalışma koşullarının farklı olduğunu göstermektedir. Dövme alaşımları plastik deformasyon metodu kullanılarak şekillendirilmektedir. Bu sebeple bu alaşımlar döküm alaşımlardan farklı mikro yapı ve kimyasal element bileşimine sahiptirler.

Bahsedilen her iki grup içerisindeki alaşımlar, ısıtma işlemi uygulanabilen ve ısıtma işlemi uygulanamayan alaşımlar olarak iki alt gruba daha ayrılmaktadırlar. Isıtma işlemi uygulanabilen alüminyum alaşımlar 2XXX, 6XXX ve 7XXX serileridir. Isıtma işlemi uygulanamayan alüminyum alaşımlarında ise çökelme sertleşmesi görülmez, dayanımlarının artırılabilmesi sadece soğuk işleme yöntemleriyle mümkün olmaktadır. Bu alaşım grupları, pekleşme, dağılım mukavemetlendirmesi ve katı eriyik mukavemetlendirmesi gibi yöntemler kullanılarak mukavemetlendirilmektedirler. Isıtma işlemi uygulanamayan alüminyum alaşımları ise, 3XXX ve 5XXX serileri olarak iki ana grupta bulunmaktadır [4].

Çalışmamızda kullandığımız ETİ Etial145 alaşımı alüminyum alaşımının firma tarafından verilmiş ticari ismidir. Alaşımdaki silisyum katkısının oranına bakıldığında bu alaşımın piyasada bilinen ismiyle 4000 serisi bir alüminyum olarak adlandırılır. 4000 serisi alüminyumlarda bulunan yüksek orandaki silisyum alüminyum içerisinde çok az ergir ve alümina ile %12 oranında ötektik bileşim yapar. Böylece alaşımın içerisinde bulunan kristaller incilir ve buna bağlı olarak bu alaşımdan elde edilen parçanın mekanik özellikleri artar. Alüminyum alaşımının ergime derecesi eklenen silisyum elementi ile düşürülür. Sıcaklık dayanımının artışı da alaşımın mekanik özelliklerini artırır. Ergime sıcaklığının düşmesi döküm endüstrisinde rekabet etmek için önemli bir parametredir. Böylece döküm parça üretiminin maliyeti düşer.

Tablo 2.1. Etial145 fiziksel özellikleri

| Özgül Ağırlık (gr/cm ³) | Erime Aralığı (°C) | Isısal İletkenlik (cal/cm.s°C) | Korozyon Dayanımı |
|-------------------------------------|--------------------|--------------------------------|-------------------|
| 2,69 | 535-590 | 0,21 | İYİ |

Tablo 2.2. Etial145 döküm özellikleri

| Dökülebilirlik | İşlenebilme | Diğer Kullanım Özellikleri |
|----------------|-------------|--|
| İYİ | İYİ | Kum, kokil kalıba dökümler piston ve diğer motor parçaları imalatı |

Bununla birlikte döküm sanayisi için en iyi özelliklerden biri olan akışkanlığı da artar dökümün kalıp içerisinde ilerlemesi ve kalıbın boşluklarını doldurması

kolaylaşır. Böylece daha kolay bir döküm prosesi gerçekleşir. Artan silisyum oranı da alüminyum alaşımın sertliğini artırır. Sertliği artan alüminyum alaşım talaşlı imalatla işlenmesi daha da kolaylaşır. Yumuşak olan diğer alüminyum alaşımlar talaşlı imalatta işlenirken kesici takıma sıvanırlar ve temiz bir yüzey oluşturularak işlenmesi çok zor olur.



3. DÖKÜM YÖNTEMLERİ

Alüminyum parçaların imalatında kullanılan en yaygın yöntem üretilecek parçanın döküm yöntemi ile imal edilmesidir. Döküm yöntemleri teknolojik gelişmelerle ve ihtiyaçların değişmesiyle birlikte çeşitlenmiştir. En eski döküm yöntemlerinden biri olan kuma döküm ile birlikte endüstride sıklıkla kullanılan farklı döküm yöntemi türleri de bulunmaktadır.

3.1. Sürekli Döküm

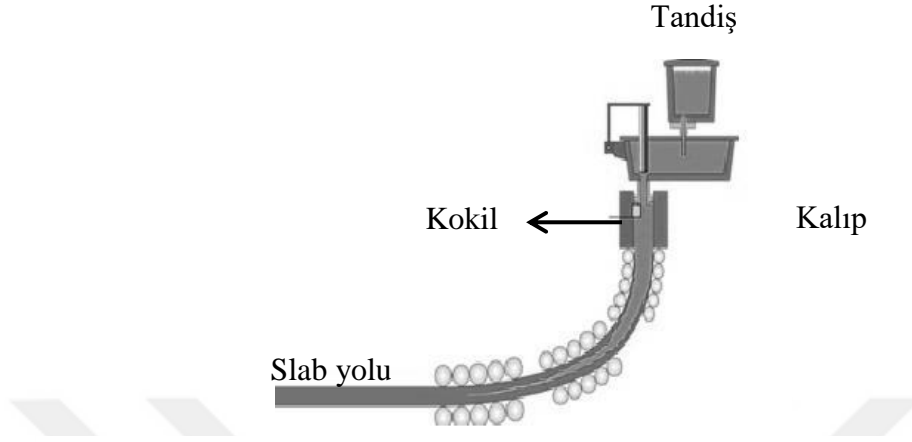
Sürekli döküm, su ceketli bakır kalıplardan ve soğutma takviyeli merdane sistemleri yardımıyla belirli ve basit geometrilerin üretilmesini sağlayan döküm yöntemine verilen isimdir. Sürekli döküm, potanın ve tandişin içerisinde bulunan ergimiş alüminyumun (metalin) kalıp değiştirme işlemi yapılmadan aynı kesitte, su veya soğutucu farklı bir akışkan ile soğutulan ve iki ucu açık bir kalıptan geçirilerek katı hale gelene kadar yapılan döküm yöntemidir.

Pota veya Tandiş altında bulunan ergimiş metalin aktığı delik, sürgü sistemi ile açıp kapanabilir. Hidrolik mekanizma ile kontrol edilen bu sürgü sistemi, potadan tandişe olan ergimiş alüminyum (metal) akışını kontrol altında tutar.

Bu sürgünün kontrolüyle potadan tandişe akan ergimiş metal, izole edilmiş bir ortamın içerisine aktarılır [5].

Ergimiş haldeki metal, kokilin üst ağzından içeriye doğru kalıba dökülür ve buna eş zamanlı olarak aynı kütledeki metal kalıbın altından, kalıp dışına doğru çekilir. Ergime noktasının az da olsa altına inen alüminyum, Kokilden çıkan alüminyum ergiyik değildir fakat alüminyumun çeperi soğumaya başlamıştır. Çeperi kabuk oluşturmaya rağmen ve dökümün iç bölgesi ergime sıcaklığının çok az üzerinde bulunan sıvı metalden oluşmaktadır. Dayanıklı bir çeperin oluşması çok önemlidir. Dışarıya çekilen ingotun sıcaklığının azalması ikinci soğuma bölgesinde de devam eder. Kokil, sürekli olarak soğutulan bir sistem olup, döküm metali bu sistemin içerisinden geçmektedir. Kokilin kesitleri dairesel, kare dikdörtgen ve buna benzer prizmatik kesitler olabilir.

Kokil, birbirinin içerisinde geçmiş olan iki ana parçadan meydana gelmektedir. Bu parçaların arasında ergimiş halde bulunan metalin soğutulması için kullanılan soğutma sıvısı bulunmaktadır.



Şekil 3.1. Sürekli döküm metodu

Şekil 3.1.'i inceleyecek olursak, “tandişten” çıkan ergimiş halde bulunan metal kokilden çıktıktan sonra çeperden içeriye olacak şekilde yavaşça soğumaya başlar. Merdanelerde bulunan soğutma sistemlerinin de yardımıyla merdane arasında geçerken de soğumaya devam eder. Şekil 3.1. üzerinde görüleceği üzere, koyu renkli kısım kabuğun oluşmaya başladığı ve katılaşma sürecinin dışarıdan içeriye doğru devam ettiği gösterilmektedir.

Katılaşma süresince, merdanelerin aralarından nozullar vasıtası ile kademeli olarak soğutma suyu püskürtülmektedir.

3.2. Kum Kalıba Döküm

Metallerin dökümünde çok uzun yılladır kullanılan, ucuz ve kolay bir yöntemdir. Alüminyumun ergime sıcaklığının da düşük olması göz önüne alındığında alüminyumdan parça üretimi için az üretim adetlerinde bile ekonomik bir üretim metodudur. Parçaların üretileceği kalıplar refrakter özelliğe sahip kumlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Kum kalıba döküm yöntemi “harcanan kalıp” yöntemidir, Parça katılaşma sonrasında içerisinde bulunan kalıp bozularak parça ancak çıkartılabilir fakat kalıp üretiminde kullanılan kum tekrar tekrar özelliğini bozulana

dek kalıp yapımında kullanılabilir. Dökülecek her parça için yeniden kalıp hazırlamak gereklidir.

Kalıplama işlemi kalıp (döküm) kumundan oluşturulan bir model etrafına mekanik zorlama ile sıkıştırılması ve sonrasında modelin kalıptan çıkartılması ile yapılır. Kalıplar genel olarak iki parça oluşmakta ve kalıpta, yolluk sistemi ve karmaşık parçaların imal edilebilmesi için eriyebilen maçalar, açılı kalıp ayırıcıları gibi diğer kalıplama elemanları da bulunabilir. Parça içerisindeki yatakların, kanalların gibi boşlukların elde edilmesi için maçaların kullanılması yaygın olarak kullanılabilen bir yöntemdir [6].

3.3. Metal (Kokil) Kalıba Döküm

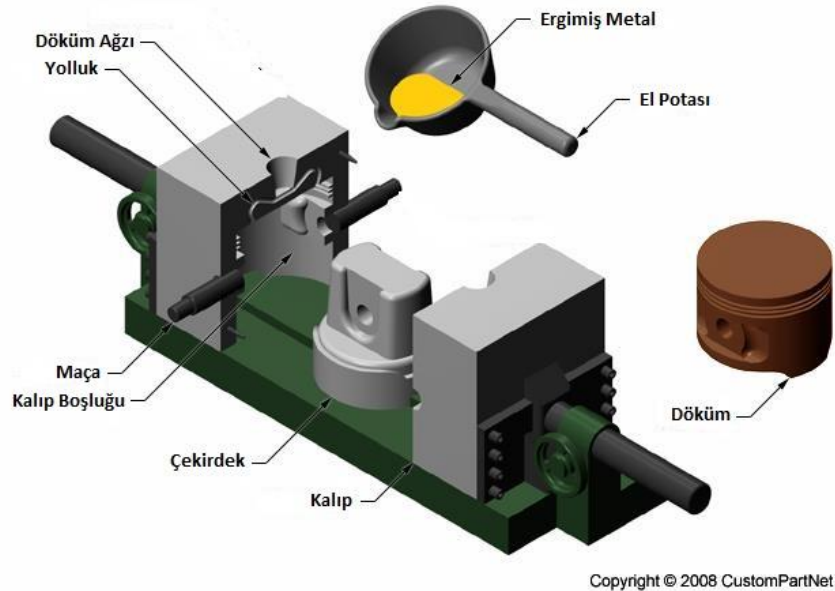
İki veya daha fazla sayıda döküm yapılmasına izin veren kalıplar “kokil kalıp” olarak adlandırılırlar. Kokil ismi ise, sürekli döküm yönteminde anlatıldığı gibi çelik üretimi yapmak için ergitilmiş metalin içine döküldüğü kalın kesitli kalıp çeşidinden gelmektedir. Kokil kalıplar karmaşık geometrilere sahip, boyut toleranslar aralıkları dar olan ve adet olarak aynı parçadan çok sayıda üretilecek döküm parçalar için tercih edilen bir yöntemdir. Adet sayısının fazla olması sebebiyle dökülen metalin gerektirdiği şartlar nedeniyle, refrakterliği nispeten yüksek olması için kalıp malzemesi olarak özel kalite dökme demir veya çelik kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklıkların gerekli olmadığı düşük sıcaklıkta eriyen metallerin üretimi için maliyetleri düşürmek için bronz kalıplar da kullanılır.

Kokil kalıplar maliyetlerin nispi olarak yüksek olması nedeniyle üretilen bir kokil kalıptan çelik benzeri alaşımların üretiminde 3.000-10.000 adet, alüminyum gibi daha düşük sıcaklıklarda eriyen metaller için ise 10.000-100.000 adet arasında parça bu döküm yöntemi ile üretilebilir. Kokil kalıba dökümde katılaşmadaki soğuma hızı, kum kalıba döküm yöntemine göre çok daha hızlı gerçekleştiğinden döküm ile üretilen parçanın içyapısı kuma döküm yöntemine göre daha ince tanelidir. Üretilen parçaların boyutsal hassasiyeti kullanılan kalıba bağlı olarak 0,25 mm küçük olup parçanın yüzeylerinde yüzey temizleme işlemi gerektirmeyecek ve çok az olacak kadar yüksek yüzey kalitesine sahiptir. Metal kalıplarında kullanılan maçalar metal, kum benzeri malzemelerden üretilebilir. Kalıbın ömrünü daha da arttırabilmek için kalıp boşluğu refrakter malzemelerle kaplanabilir. Alçı, kil ve

seramik gibi refrakter malzemelerden üretilen kalıplar az onarım ile farklı parçaların üretiminde çok defa kullanılabilirler bu sebeple sürekli kalıp özelliği taşıyan bu kalıplara da kokil kalıp denmektedir [7].

Seramik türevleri, kokil kalıp yapımında sıklıkla kullanılan malzemelerdir. Seramik kalıplar yardımıyla yüksek sıcaklıklara dayanabilen ve birden çok döküm yapılabilen kalıplar üretilmektedir. Bu dayanıklı kalıplara “sürekli kalıplar” dense de “dayanıklı kalıp” tanımı daha doğrudur. Sürekli kalıp üretimi içinse uygun malzeme grafitir ve grafit esaslı refrakter malzemelerdir. Grafitten yapılacak olan kalıpların işlenmesi ve onarımı kolaydır. Yüksek sıcaklıklara dayanan, termal genişmesi az, ısı iletimi iyi olan kalıp gerecektir. Kokil kalıp üretiminde sıklıkla tercih edilen malzeme dökme demirdir. Dökme çelik ve blok çelik kalıp üretiminde nadiren de olsa kullanılabilir. Kokil kalıp içerisinde maça görevi görecek olan kısımlar ise ısıya dayanıklı çelik veya kumdan kabuk maça olarak da yapılabilir [8].

Piston ve otomobil yedek parça sanayinin imalatında özel şartlar geçerlidir. Pistonlar, yüksek sürtünme etkisiyle yüksek sıcaklık ve mekanik yüklere maruz kalırlar. Alüminyumdan imal edilen pistonlar yüksek dayanıma, termal ısı dayanıma ve düşük ağırlığa sahiptirler. [9].



Şekil 3.2. Kokil kalıba döküm metodu

3.4. Hassas Döküm

Keşfi çok eski çağlara kadar dayanan bu üretim yöntemi, modern üretim yöntemleri içinde oldukça yüksek öneme sahip bir döküm. Hassas döküm yöntemi, ismini boyutsal kararlılığı ve yüzey kalitesinde ziyade talaşlı imalat gibi işleme yöntemleri kullanılarak üretilmesi zor olan karmaşık geometrili parçaların üretiminde kullanılan ya da yüksek sertliği gibi mekanik özellikleri nedeniyle talaşlı imalatı or metallerden üretilecek olan parçaların tek adımda üretilmesi için kullanılan bir döküm yöntemidir. Yöntemin hassaslığı ise kalıp yapımında kullanılan aynı zamanda harcanabilen modelden gelmiştir. Üretilen modeller, düşük ergime sıcaklığına sahip kolay şekillenebilen ve maliyeti düşük olan mum veya benzeri bir plastik bazlı malzemedan üretilmektedir. Bu döküm yöntemine piyasa verilen “Mum kalıba döküm” ismi de kullanılan modelin mumdan üretilmesinden gelmektedir. Ergimiş metalin sıcaklığı ile metal kalıba döküldüğünde model ergiyerek kalıptan uzaklaşarak kalıplarda ayırma yüzeyi oluşmaz, Kullanılan modelin malzemesine ve kalıp malzemesinin tipine bağlı olarak yüzey kalitesi boyutsal toleranslar kum kalıba döküm yöntemine yakın veya daha yüksektir. Hassas döküm, geometrik olarak final tasarıma yakın bir imalat sağladığı için döküm sonrasındaki talaşlı imalat işlemleri minimum seviyededir.

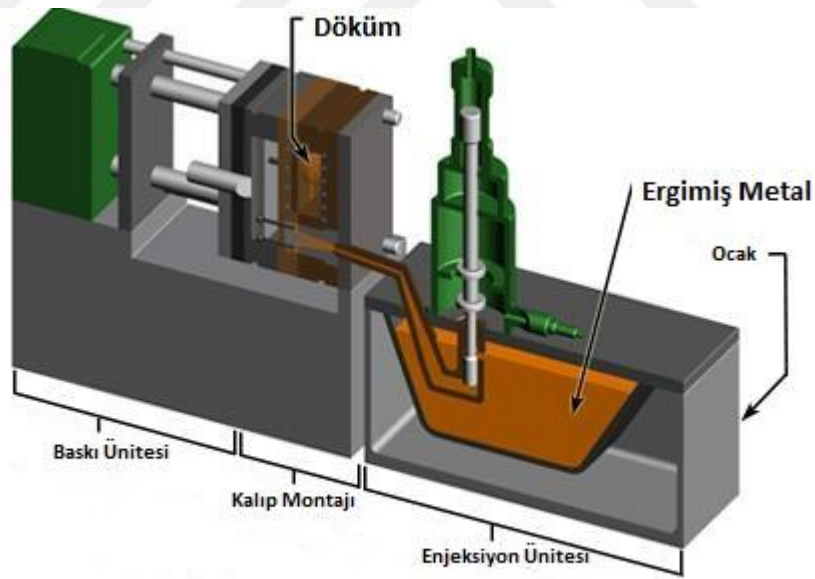
Hassas döküm yöntemi temel olarak iki farklı grupta incelenebilir kabuk ve dereceli döküm bu iki farklı grubun ismidir. “Kabuk” hassas döküm yönteminde model veya model salkımı çevresine katmanlı olacak şekilde seramik çeper oluşturulur. Dereceli hassas döküm yönteminde kalıp, boş silindirik bir derece içerisinde oluşturulur. Dereceli hassas döküm genellikle kuyumculuk endüstrisi ve ziyet eşyası üretiminde ve ağız içi protezlerin üretiminde kullanılır.

3.5. Enjeksiyon Döküm Yöntemleri

Enjeksiyon döküm yöntemi ergiyik hale getirilmiş alüminyumun basınç altında kalıba enjekte (doldurulma) yöntemi ile gerçekleştirilir. Bu yüksek basınç sayesinde alüminyum kalıp içerisine çok hızlı ve tam olarak dolar ve karmaşık geometrilerin kalıptan parça içerisinde boşluk kalmadan doldurulması sağlanır. Ergiyik halde bulunan alüminyum parça tamamen katı faza geçen kadar basınç, kalıba uygulanmaya devam eder. Kalıp açıldıktan sonra kalıp içerisinde bulunan iticiler sayesinde parça kalıp dışarısına itilir ve proses tamamlanır.

Enjeksiyon döküm yöntemindeki yüksek basınç ergimiş alüminyumun kalıp içerisinde doldurulması için 10- 80 atmosfer (atm) altında gerçekleşir. Bu yüksek basınç karmaşık geometrilerin dökülmesini mümkün kılar. Talaşlı imalat ile üretilmesi zor ve maliyetli olan parçaları hatta üretilmesi mümkün olmayan parçaların bile üretilmesi mümkün hale gelir. Enjeksiyon döküm yöntemi ile üretilen parçalar genellikle yüksek yüzey kalitesine sahip olduğu için tekrar talaşlı imalat üretim sürecine girmezler. Parçaların yüzeyleri kalıplardaki hızlı soğutma sistemleri nedeniyle ince taneli ve mukavemetli olurlar.

Enjeksiyon kalıpları karmaşık ve üretimi pahalı kalıplar olduğu için yüksek adetli üretimlerde ancak karlı hale gelirler bu sebeple parçanın geometrisine ve talaşlı imalatla üretim değerine göre en az 2000 adedi geçmesi gerekir. Enjeksiyon kalıp ile alüminyum parça üretim yöntemi adetlerin yüksekliği sebebiyle seri üretimin gerçekleştiği sektörlerde ve en çok otomotiv, otomotiv yan sanayi beyaz eşya sektörü, dayanıklı tüketim mallarının üretimi gibi sektörlerde tercih edilir [11].



Şekil 3.3. Yüksek basınçlı döküm metodu

4. KOMPOZİT MALZEMELER

İki veya daha fazla sayıda malzemenin oluşturduğu ve malzemelerin tek başlarına göstermedikleri bazı üstün özelliklerini yeni malzemeye aktardıkları ve bu birleşme sayesinde oluşan malzemelere kompozit malzemeler olarak adlandırılır. Kompozit malzemeler takviye elemanı ve matris elemanı olarak adlandırılacak iki farklı malzemenin bir araya getirilmesiyle oluşturulur. Takviye eleman oluşan kompozit malzemenin mekanik mukavemetinin %90'lık bir kısmını sağlar. Kompozit malzemeye takviye sağlayan fiberler (lifler) tek başına bu kadar yüksek mekanik mukavemet özellikler göstermezler genel olarak gevrek yapıya sahiptirler kompozit malzeme içerisinde bulduklarında bu gevrek özellikleri değişir.

Matris olarak adlandırılan kısım kompozit malzemenin hacimsel olarak büyük bir kısmını oluşturur ve görsel karakterini meydana getirir. Matris elyafların bir arada kalmasını sağlar ve elyafların arasında gerilim aktarımını sağladığı için kompozit yapının mekanik özelliklerinden dolayı olarak sorumludur. Aynı zamanda elyafları fiziksel ve kimyasal dış etkilerden korur. Matris kompozit yapının bir malzeme olarak ortaya çıkmasını ana yapıdır. Matris malzemesi olarak metal alaşımları ve seramik malzemeler kullanılabilir. Matris olarak yaygın olarak reçineler de kullanılmaktadır [12].

4.1. Metal Matrisli Kompozitler

Mevcutta bulunan metal malzemelerin kullanım sıcaklığının artması üzerine çok daha yüksek sıcaklıklarda kullanılacak ve yüksek özgül mukavemete sahip malzemelere ihtiyaç duyulması nedeniyle ilk metal matrisli kompozitler 1960'lı yılların başlarında üretilmeye başlanmıştır.

Kompozit üretmekteki en önemli amaç kompozit malzemenin üretileceği malzemelerin mekanik özelliklerinden daha yüksek mekanik özellikler elde etmek için imal edilirler. Kompozit üretmekteki temel amaç kompozit malzemelerde bulunan ve bu malzemelerin tek başına gösteremediği üstün özellikleri kompozit malzeme vasıtasıyla kullanılmaktadır. Kompozit malzeme arttırılması beklene bazı mekanik özellikler aşağıdaki gibidir.

- Mekanik dayanım, çekme ve eğilme dayanımı, darbe dayanımı,
- Yorulma dayanımı,
- Aşınma direnci,
- Korozyon direnci,
- Yüksek sıcaklığa dayanım,
- Isıl iletkenlik,
- Kırılma tokluğu,
- Elektrik iletkenliği veya yalıtkanlık,
- Akustik iletkenlik, ses yalıtımı veya sesin absorbe edilmesi,
- Ağırlık,
- Rijitlik,
- Görsellik

Kompozit malzeme oluşturulurken amaç malzemenin birim maliyetinin düşürülmesi de hedeflenebilmektedir. Bu maksatla kompozit malzeme üretiminde daha farklı yöntemler kullanılmaktadır. Genelde ortak olan temel prensip, bileşenlerin zayıf yönlerinin iyileştirilerek daha nitelikli yapının elde edilmesidir [13].

Alüminyum esaslı partikül takviyeli metal matrisli kompozitler havacılık, otomobil, kimya sektörlerinde kullanılan yüksek seviyede performans gösteren malzemelerdir. Taşımacılık endüstrisinde, artan ihtiyaçlar nedeniyle, yüksek elastisite modülüne ve yüksek aşınma direncine sahip malzemelere ihtiyaç vardır.

Aşınma direnci, sertlik, yorulma direnci, sürtünme katsayısı, ısıl iletkenlik gibi özellikleri geliştirmek için destek malzemesi kullanılır. Gelişen araştırma ve yöntemlerle birlikte MMK'ların otomobillerin fren parçalarının üretiminde, havacılık endüstrisinde, yapısal bileşenlerinin üretiminde, elektrik elektronik endüstrisinde ve diğer birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır [14].

4.1.1. Al-SiC Katkılı Kompozitler

Silisyum karbür günümüzce sıklıkla kullanılan yapısal seramiklerdendir. 1970'li yıllardan itibaren birçok farklı uygulamaları keşfedilmiştir. Silisyum karbür silisyum nitrürle karşılaştırıldığında silisyum karbürü üretmek için kullanılan

hammadeler daha ekonomiktir. Bu sebeple üretilen ürünlerdeki maliyetler silisyum nitrürden daha ekonomik olması sebebiyle rekabet koşulları yüksektir. Karbür bileşikler sınıfında bulunan silisyum karbürün, atom ağırlığı 40,1 g/mol'dür ve silisyum karbürün yoğunluğu 3,21 g/cm³ tür. Silisyum karbür literatürde "SiC" olarak ifade edilmektedir. Silisyum ve karbür atomları doğada en çok bulunan bileşiklerden olsa da silisyum karbür doğada serbest olarak bulunmaz sadece endüstriyel koşullarda insan eliyle üretilebilir. Silisyum karbür çok sert, aşındırıcı bir malzeme olduğundan, yüksek sürtünme mukavemetine sahiptir.

Silisyum karbürün aşınmaya karşı dirençli olmasının yanında tüm alkalilere ve asitlere karşı inerttir. Aynı zamanda yüksek ısıya karşı da dayanıklıdır. Bu üstün özellikler silisyum karbürü zor çalışma koşulları altında kullanılmak için üstün karakterli bir aşındırıcı, seramik malzeme yapar.

SiC kullanıldığı kompozit uygulamaları, kumlama enjektörlerinde, otomotiv su pompası contalarında, rulmanlar çeşitlerinde, pompa bileşenlerinde sürtünmeye çok sık maruz kalan komponentlerde kullanılmaktadır. Silisyum karbürün ısı kararlılığı nedeniyle enjektör oluklarında, fırın silindirlerinde kullanılmaktadır [15].

5. MALZEME VE METOD

5.1. Malzeme

Numune Alüminyum oluşturmak için ETİ Alüminyum A.Ş.' den tedarik edilen alaşımlı külçeler kullanılmıştır. Kullanılan alüminyumun ETİ Alüminyum A.Ş. kullanılan isim kodu (E-145) piyasada bilinen ismi ise Etial145'tir

Kullanılan Etial-145 alüminyumun kimyasal bileşimi Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Etial145'in kimyasal bileşimi (%ağ)

| Alaşımın Kimyasal Analizi % | | | | | | | |
|-----------------------------|------|-------------|----------|------|-----------|------|-----------|
| Eti-Norm | Fe | Si | Cu | Mn | Mg | Zn | Ni |
| Etial145 | 0,60 | 11,00-13,00 | 0,8-1,50 | 0,20 | 0,80-1,40 | 0,20 | 0,80-1.30 |

Etial145 endüstride kuma dökümü kolay olan alüminyum alaşımlardan biridir. Aynı zamanda talaşlı imalatta işlenmesi kolay ve korozyona olan direnci nedeniyle piyasada en çok kullanılan alüminyum alaşımlardan biridir.

SiC tozların Boroptik temin edilmiştir. Firmadan kendi kod birimleriyle adlandırdıkları F120 siyah SiC tozu temin edilmiştir. SiC tozunun tane büyüklüğü (125 mikron – 90 mikron) aralığındadır. Boroptik firmasında %98'den yüksek saflık ve üstü siyah silisyum karbür tozunun otojen öğütülmesi, asitle yıkanması ve FEPA (Federation of European Producers of Abrasives products) veya müşteri isteğine özel olarak sınıflandırılması işlemlerini gerçekleştirmektedir.

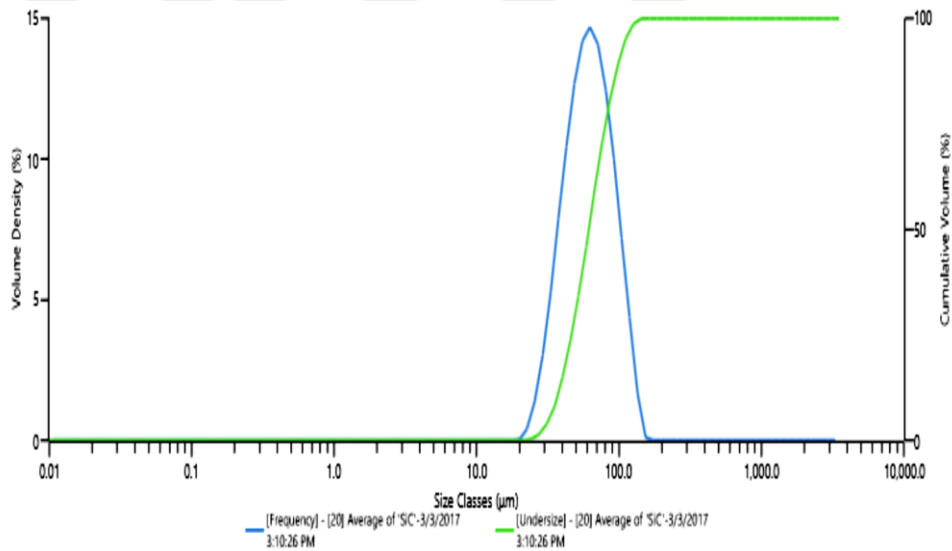
Temin edilen SiC tozları mekanik öğütme cihazı ile daha da küçük tane boyutlarına öğütülmüştür. Bu öğütmenin amacı SiC tozlarının çok daha homojen bir şekilde karışımın içine karışması hedeflenmiştir. SiC tozların tane boyut analizi "Mastersizer 3000" cihazında yapılmıştır. Daha sonra optik mikroskopta incelenen tozların hem tane boyutu hem de şekli üzerinde tartışılmıştır.

"Mastersizer 3000" toz boyut işlemlerinde kullanılan, 10nm ile 3,5mm aralığında ölçüm yapan tek partikül ölçümü yapabilen bir boyut ölçüm cihazıdır.

Mikron altı aralığında istisnai çözünürlük sağlamaktadır. Cihazın bir detektör sistemi vardır ve bu sistemde kırmızı ışın ve mavi ışın kullanılır. Parçacık boyutu birçok ürünün üretim aşamasında önemli bir parametredir.

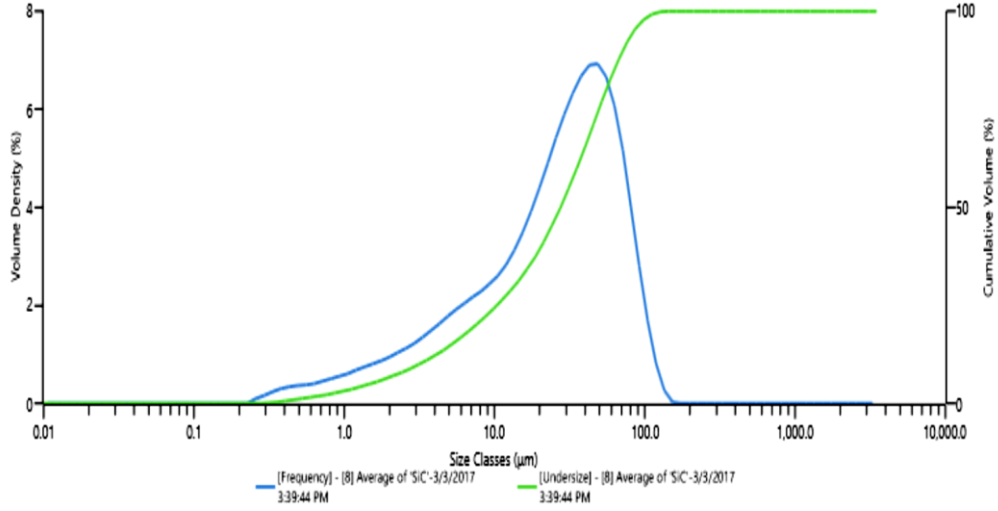
Boyut ölçüm işlemi “Mastersizer 3000” cihazında yapılmıştır. Cihaz kalibre edildikten sonra SiC' ün bilgileri girilmiştir. Malzemenin bir ışını ne kadar absorbladığı ve ne kadar yansıttığı bilgileri cihaza girilmelidir, çünkü tozun yansıttığı ışın bu bilgilere bağlıdır. Girilen bilgilerden sonra ıslak dağıtma ünitesine SiC eklenir ve dağılımı sağlanır. İşlem başlatıldığında pervanelerden yansıyan ışınlar sayesinde toz boyut analizi gerçekleştirilmektedir.

Doğruluğun sağlanması açısından öğütmeden önceki ve sonraki tozların 3'er kez ölçümleri alınmıştır.



Şekil 5.1. Öğütmeden önceki SiC' ün “Mastersizer 3000” tane boyut analizi

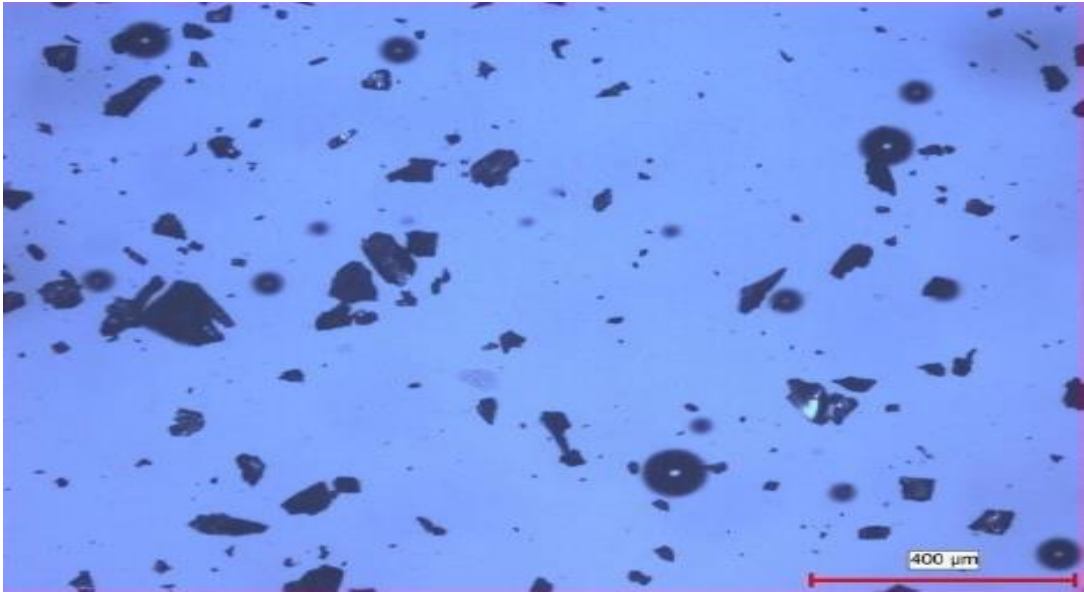
Şekil: 5.1'den anlaşılacağı üzere SiC' ün toz boyutu için %10' u 36,8 mikronun altında, %50' si 61,7 mikronun altında ve %90' ı 99,7 mikronun altındadır. Yani öğütülmeden önce tozların büyük bir kısmı 61,7 mikronun altındadır.



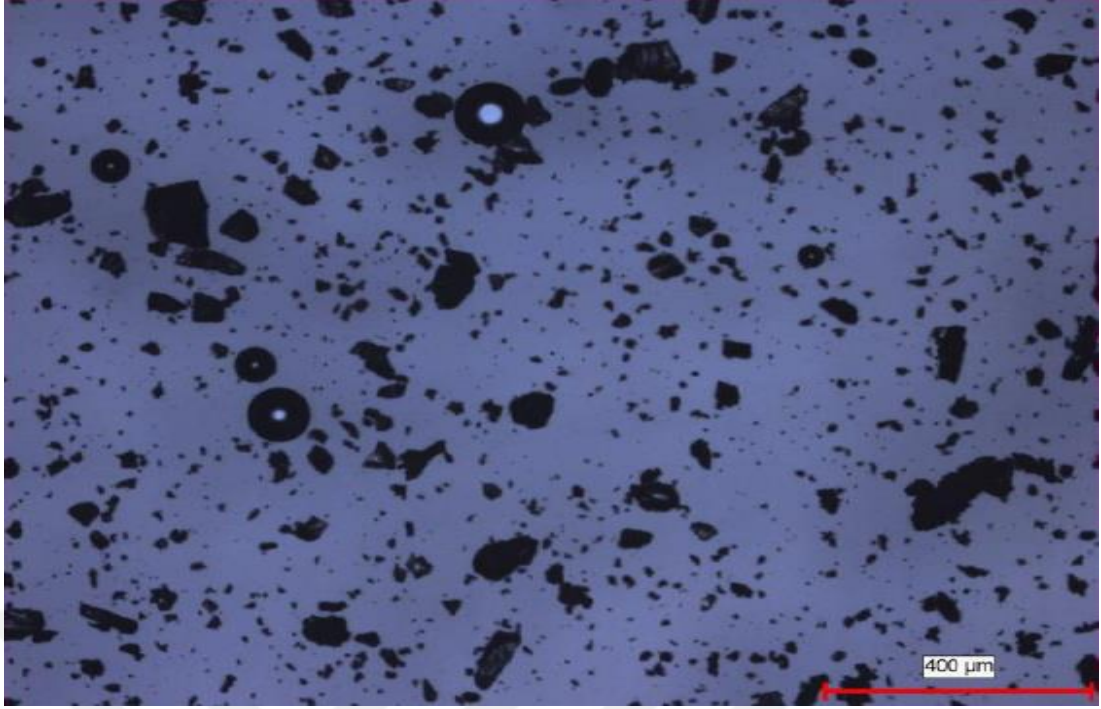
Şekil 5.2. Öğütüldükten sonra SiC' ün “Mastersizer 3000” tane boyut analizi

Şekil 5.2.'ye göre ise tozların %10'u 3,15 mikronun altında, %50'si 27,6 mikronun altında ve %90'ı ise 71,5 mikronun altındadır. Yani öğütme işlemi istediğimiz sonucu vererek tozların boyutunun düşmesini sağlamıştır.

Şekil 5.3. ve Şekil 5.4.' de SiC tozlarına ait optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Görüntülere göre tozların öğütüldükten sonra 30 mikron boyutlara kadar düştüğü ve daha küresel bir şekil aldıkları görülmüştür. Optik mikroskop görüntüleri de mastersizer cihazıyla yaptığımız analizi doğrular nitelikte sonuç vermiştir.



Şekil 5.3. Öğütülmemiş SiC tozlarının optik mikroskopta görüntüsü



Şekil 5.4. Öğütülmüş SiC tozlarının optik mikroskopta görüntüsü

5.2. Döküm Kompozit Parça Üretim Cihazının Tasarımı ve İmalatı

Vorteks cihazı alüminyuma eklenen seramik vb. malzemelerin alüminyum alaşım içerisinde homojen olarak karıştırılmasını sağlayan basit olarak seramik malzemedeki karıştırma çubuğu olan bir karıştırıcıdır. Bu karıştırıcı yüksek devir sayılarında dönerek ergimiş halde bulunan alüminyumu karıştırır. Böylece kompozit oluşturmak için eklenen seramik vb. malzemelerin ergimiş metal içerisinde dağılarak karışmasına olanak sağlar.

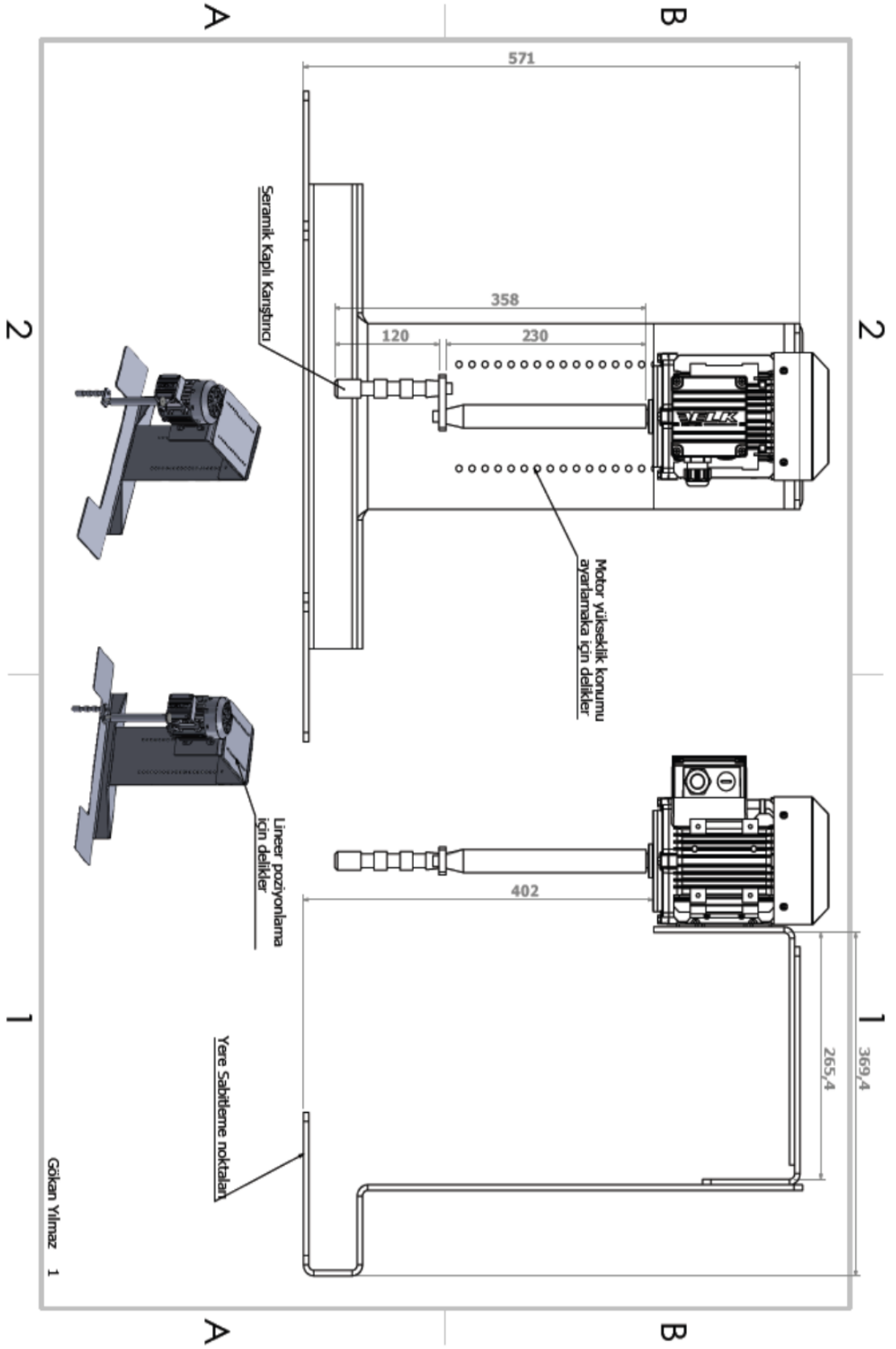
Matris içerisine eklenen takviye malzemenin, matris içerisinde homojen olarak dağılması önemlidir. Kompozit malzemenin matrisi içerisinde takviye malzemenin oluşturduğu aglomerasyonlar (topaklanmalar) malzemenin mekanik özelliklerini düşürülebilir ve yükselmesi beklenen mekanik özelliklerin azalmasına sebep olabilir.

Piyasada döküm sanayinde kullanılmak üzere satılan vorteks cihazı entegre edilmiş döküm potaları, bulunmaktadır. Bu karmaşık vorteks cihazları endüstri kullanımının neredeyse %90 maliyetler sebebiyle satın alamadığı pahalı cihazlardır. Bu cihazı, numuneleri oluşturmak için kendi imkânlarımızla Yazıcılar A.Ş. bünyesinde normal bir vorteks cihazının çok daha altında bir bütçeye imal edilmiştir.

Vorteks cihazı basit olarak trifaze elektrik ile çalıştırılan bir motorun dikey şekilde ayaklar vasıtası ile asılması dikey pozisyonda duran motorun mil kısmına eksantrik kaçıklık yaratacak bir flanş bağlanmasıyla karbür karıştırma çubuğunun ergimiş metali karıştırmasına olanak sağladığı bir düzenektir. Şekillerde ve fotoğraflarda daha ayrıntılı olarak açıklanan vorteks cihazının hız ayarı inverter (frekans değıştirici) yardımı ile yapılmaktadır.

Vorteks cihazı farklı boydaki ergitme potalarının da kullanılabilmesi için manuel olarak en ve boy yüksekliği yapılabilecek şekilde tasarlanmıştır.





Gökkan Yılmaz 1

Şekil 5.5. Üretilen vorteks cihazının teknik resmi



Şekil 5.6. İmal edilmiş vorteks cihazının görüntüsü

Trifaze asenkron elektrik motoru, sargıları ile aldığı elektriği rotoru üzerinden dönme mekanik enerjisine çeviren makinedir. Rotor sargılarına enerji statorda oluşan manyetik alan vasıtasıyla aktarılır. Rotor ve stator arasında bir elektriksel iletim bulunmamaktadır.

Stator sargılarından alternatif akım geçtiğinden manyetik devrede alternatif akımın değişme periyoduna bağlı bir periyodik alan oluşturur. Oluşan alana alternatif alan denmektedir. Monofaz elektrik motorlarında alternatif alanın her harmoniği iki adet döner alana ayrılabilir. Döner alanlardan birisi saat yönünde dönerken diğeri saat yönünün tersi yönde döner ve her iki alanın açısal hızı aynıdır. Trifaz asenkron motorlarda ise birbirinden farklı 120° faz olan akımlar statorun sargılarından geçerek üç farklı alternatif alan oluştururlar. Çalışma prensibi göz önüne alındığında asenkron motorlara indüksiyon motorları da denmektedir. Asenkron motorlar bakım gerektirmeyen veya çok az gerektiren kullanımı ekonomik olan motor çeşitleridir. Yük altında çalışırken devir sayıları kömürlü motorlar ile kıyaslandıklarında çok az değişiklik göstermektedir. Güç elektroniğini yöntemleri kullanılarak yani inverterler sayesinde devir sayıları çok kolay değiştirilebilir. Elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren diğer makinelere göre daha ekonomiktir [16].

Frekans Konvertörü (Inverter), motor sürücüler asenkron motorların hızını, frekansı değiştirerek ayarlayan elektriksels ekipmanlardır. Motorun farklı hızlarda çalışması sürücüler tarafından ayarlanabilir. Sürücüler hızı değiştirirken motorun torkunu, empedansını, manyetik akısını etkilemezler. Gerekli hız komutlarının alınması ve parametre ayarlarının yapılabilmesi için üzerlerinde ekranları bulunur. Endüstride sıklıkla kullanılırlar.

Direkt, yıldız üçgen, soft starterla yol verme ve çalıştırma şekillerinde motor sabit hızda çalışır. Hızın bir kontrolü yoktur. Sürücülerde ise hız kontrol edilir. Herhangi bir AC motorun hızı, stator kutup sayısı ile ters orantılı ve besleme geriliminin frekansı ile doğrudan orantılıdır. Bu nedenle, bir AC motorun hızını değiştirmek için, frekansı veya stator kutup sayısını değiştirmemiz gerekir. Her motor için stator kutuplarının sayısı sabit olduğundan çalışma esnasında değiştirilemez. Besleme geriliminin frekansı değiştirilerek, motorun hızı değiştirilebilir. Motor hızı düşürülmek istenirse frekans azaltılır, hız artırılmak istenirse frekans artırılır.

Bir frekans invertörünün amacı, özellikle yukarıdaki parametrelere kesinlikle uyarak bir AC motorun hızını kontrol etmeyi amaçlar. Burada, motorun hızı, giriş geriliminin büyüklüğünün yanı sıra frekansın sabit bir oranda değiştirilmesiyle de değişmektedir ve böylece motor, düşük hızlarda bile sabit bir tork sağlayabilmektedir. [17]

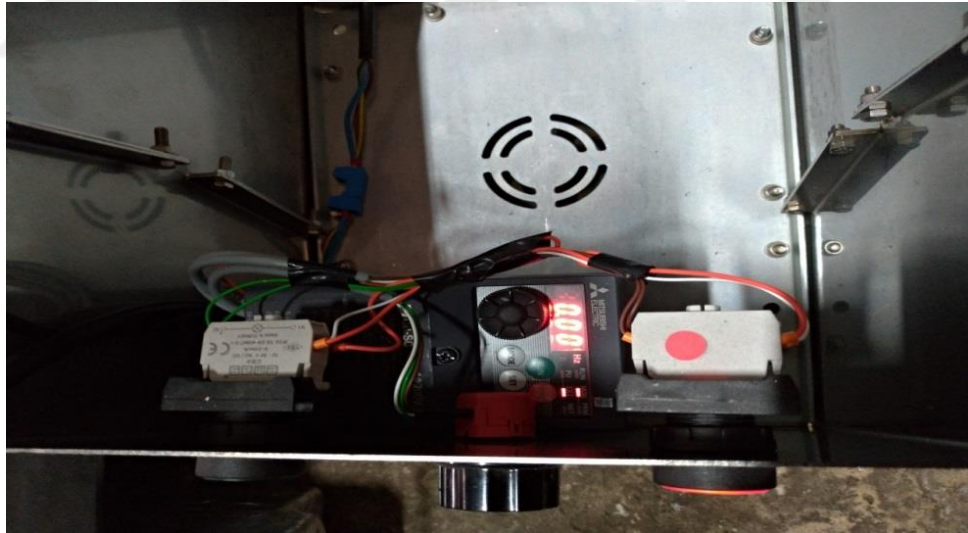
Yaptığımız vorteks makinasından inverterdan frekans çıkış hızı 10-50Hz arasında değiştirilebilmektedir. Cihazda asenkron motorun sürülmesi için Mitsubishi marka FR-D720S model bir inverter kullanılmıştır. Standart 1500 dev/dk hızla 0,75 kW gücündeki motor karıştırma esnasında 25 Hz hızla yani 750 dev/dk hızla karıştırma işlemini yürütmüştür. Makine ilk çalışmaya başladığında 25 Hz frekansına çıkması için parametresi ayarlanmıştır ayrıca üzerinde bulunan potansiyometre vasıtası ile frekansı 50Hz'e yani 1500 dev/dk kadar artabilmekte ve 10Hz yani 150 dev/dk'ya kadar düşürülebilmektedir.



Şekil 5.7. Mitsubishi marka 240V-320V frekans inverteri

Şekil 5.7.'de Vorteks cihazında kullanılan AC inverter gösterilmiştir. Inverter yüksek sıcaklıklara dayanıksız olduğu için çelik bir muhafaza içine alınmıştır.

Şekil 5.8.'de ise cihazda kullanılan invertirin, start stop butonlarının ve potansiyometrenin yerleşimi verilmiştir.



Şekil 5.8. Vorteks cihazı kontrol paneli görüntüsü

Karbürden imal edilmiş bir çubuk olan döküm karıştırma çubukları numune karıştırmada kullanılabilecek uygun seçenektir. Seramik yapıları itibariyle kolay bir şekilde kırılmaları endüstriyel uygulamalarda kullanım alanını azaltmıştır. Numune üretimi gibi alanlarda ise hafif olmaları, çok yüksek sıcaklıklara kadar dayanımları bu ürünün kullanım avantajları arasındadır.

Bu tez çalışmasında ise metal esaslı herhangi bir karıştırma çubuğu yüksek devirlerde dönerek, ergimiş alüminyum karıştırmak için uygun değildir. Yüksek devirde ergimiş alüminyum içerisinde dönen ve ergime noktası alüminyumdan daha yüksek bir metal karıştırma çubuğu kullanılsa dahi bu metalin de dönme sırasındaki mekanik sürtünme ve sıcaklık nedeniyle aşınmaya hatta yüzeyinin ergimeye başladığı görülecektir.

5.2.1. Etial145-SiC Kompozitlerinin Üretimi

Etial145-SiC kompozitleri kütlece %0, %5 ve %10 SiC takviyesi ile oluşturulmuştur. Proses başına ergitmek için 500g Etial145 alüminyum alaşımı kullanılmıştır.

Tablo 5.2. İlave edilen SiC miktarları

| | |
|-----------------------------------|-----|
| %0 katkılı kompozit üretimi için | 0g |
| %5 katkılı kompozit üretimi için | 25g |
| %10 katkılı kompozit üretimi için | 50g |

5.3. Al-SiC Kompozitin Üretim Aşamaları

5.3.1. SiC Ön Isıtma İşlemi

SiC tozlarının ıslanması arttırmak için kompozit malzeme oluşturmadan önce SiC tozlarının ısıtılması işlemidir. Oda sıcaklığında bulunan SiC ergimiş alüminyum içerisine atıldığında iki malzeme arasındaki sıcaklık farkı SiC tozunun metal matrisi içerisinde homojen olarak dağılmasına engel olacaktır. Daha homojen bir karışım oluşturmak ve aglomerasyonları engellemek için SiC tozları 30 dk boyunca 450 °C bir ön ısıtmaya maruz bırakılmıştır. Bu ön ısıtma sırasında ayrıca SiC tanecikleri üzerinde ön ısıtma işleminden kaynaklı olarak bir koruyucu oksit tabakası oluşumu hedeflenmiştir.

5.3.2. Potada Alüminyumun Ergitilmesi

Hassas karışım oranlarını bozmamak ve doğru sonuçlar almak için 500g olarak kesilen alüminyum parçaları 900°C sıcaklığa ayarlanan fırın içerisinde ergitilmiştir. Bu şekilde bir döküm yöntemi tercih edilmesinin sebebi ergitme potasının içerisinden alınan ergimiş alüminyumun her defasında hassas olarak alınamaması ve tartılamamasıdır. Ergimiş alüminyumun ağırlığının tartılması konvansiyonel yöntemlerle imkansızdır. Bu sebeple ergitilecek alüminyumun ağırlığı

daha önceden tartılarak, ergitilmiş ve her numune üretimi için bu proses tekrarlanmıştır.

Normal şartlar altında Etial145'in erime sıcaklığı 535°C-590°C arasındadır. (Sıcaklık değerleri "Eti Alüminyum'un" sitesinden alınmıştır). Ergitme fırını 900°C'ye ayarlanmış ve sıcaklığın sabitlenmesi beklenmiştir. Sıcaklığın erime derecesinin bu seviyede üzerine çıkarılması vorteks cihazının karıştırma yaptığı esnada sıcaklığın hızlı olarak düşüşüdür. Uzun süre boyunca yapılacak karıştırma işlemi SiC desteğinin homojen olarak karışmasını sağlayacaktır. Bu sebeple ergimiş halde bulunan kompozitin katılma noktasına yaklaşımadan döküm prosesinin tamamlanması için alüminyum alaşımı ergime sıcaklığının daha üstündeki bir sıcaklıkta ergitilmiştir.

5.3.3. Vorteks Cihazında Ergimiş Etial145-SiC'ün Karıştırılması

Ergitilen alüminyum alaşımının sıcaklığı fırın içerisinde sabitlenip 10 dakika beklendikten sonra ergimiş alüminyum, pota içerisinde vorteks cihazının karıştırma çubuğunun altına yerleştirilmiş cihaz çalıştırılıp 25Hz (750devir/dakika) toplam karıştırma süresi ise 3 dakika olacak şekilde karıştırma işlemi başlatılmıştır.



Şekil 5.9. Etial145-SiC kompozitin vorteks cihazında karıştırılması

Karıştırma hızı çok yüksek olduğu için alüminyumun sıcaklığı çok hızlı bir şekilde azalmıştır. Bu hızlı sıcaklık azalmasını nispeten engellemek için karıştırma işlemi sırasında ergitme potası sürekli olarak şalama ile ısıtılmaya devam edilmiştir. Karıştırma işlemi devam ederken uzun saplı kürek vasıtası ile azar azar ilave edilmeye başlanmıştır. SiC tozu topaklanmayı engellemek için vorteks içerisine bir defada eklenmemiştir.

Magnezyum oksitin (MgO) destek malzemesi olarak kullanıldığı başka bir çalışma da ise kompoziti oluşturmak için vorteks cihazının 500 dev/dk çalıştırıldığı ergimiş alüminyum alaşımın vorteks cihazıyla karıştırılmaya başlandığı sıcaklık ise 750 °C olarak rapor edilmiştir [18].

SiC ilavesi bittikten sonra vorteks cihazı çalışmaya 45 saniye boyunca daha devam etmiş, süre toplam olarak 3 dakikaya ulaştığında ise karıştırma işlemi sonlandırılmıştır. Karıştırma işlemi mekanik zorlama ile SiC taneciklerinin alüminyum alaşım içerisine homojen bir şekilde karıştırılması sağlanmaya çalışılmıştır.

5.3.4. Kum Kalıba Döküm ile Kompozit Üretimi

Vorteks cihazında karıştırılan ergiyik halde bulunan kompozit karışım, katılaşma sıcaklığına yaklaşmadan, vorteks cihazı durdurulmuş malzeme içerisinde dağılmış halde bulunan SiC tozlarının çökmesine müsaade edilmeden kum kalıba dökülmüştür. Dökülen potada kalan ergimiş alüminyum veya cüruf her döküm işlemi sonunda temizlenmiştir.

5.3.5. Etial145-SiC Döküm Kompozitin Katılaşması

Kum kalıba dökülen Etial145-SiC kompozitler oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Kalıplardan çıkarılan kompozitler karışmayacak şekilde markalanmıştır.



Şekil 5.10. Dökülmüş Etial145-SiC kompozitlerinin soğutulması aşaması

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

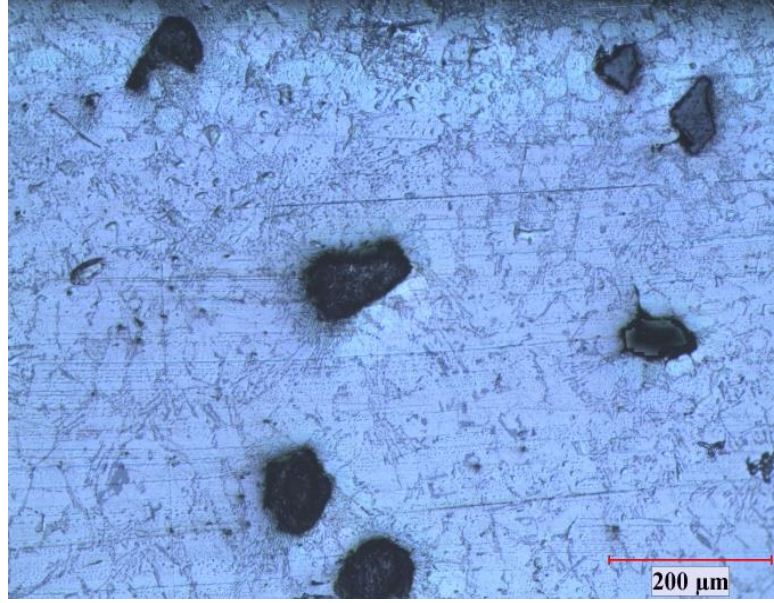
6.1. Mikroyapı İncelemesi

SiC normal şartlar altında alüminyum içerisinde karışmayan ve topaklanarak alüminyum içerisinde segragasyon alanları oluşturan bir malzemedir. Vorteks cihazı olmadan SiC'un alüminyum içerisinde konvansiyonel karıştırılması mümkün değildir. Vorteks cihazı SiC'ün kompozit içerisinde homojen olarak karışmasını sağlamıştır.

Soltani ve arkadaşları (2017)'da çalışmalarında SiC'ün homojene yakın dağıldığını ve matris malzemesi ile iyi birleştiğini vurgulamışlardır [19].



Şekil 6.1. Etial145-%5 SiC katkılı kompozitin mikro yapısı

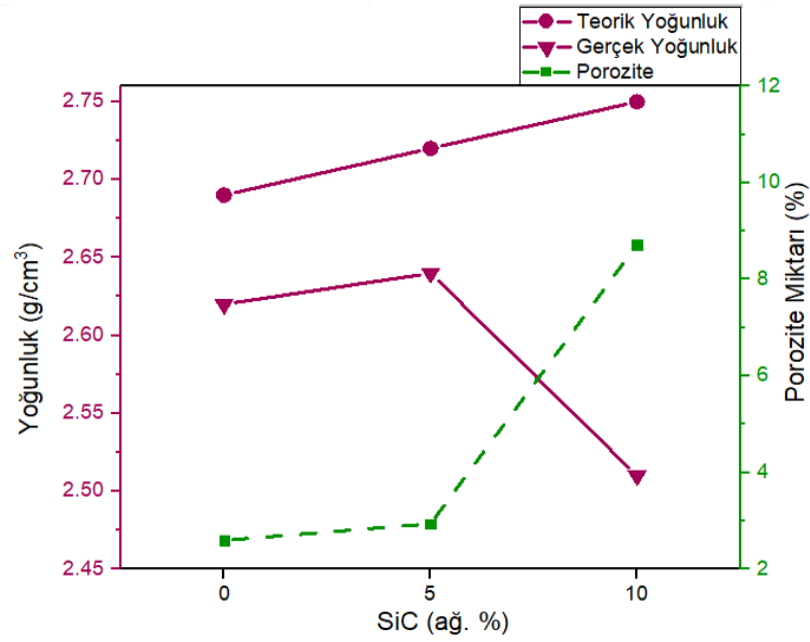


Şekil 6.2. Etial145-%10 SiC katkılı kompozitin mikro yapısı

6.2. Yoğunluk Ölçümü

Artan destek kütlesiyle beraber kompozitlerin yoğunluğu azalmıştır. Bu durum SiC daha düşük yoğunluğa sahip olmasındandır. Yoğunluğun düşmesindeki diğer bir etken ise kompozit üretimi sırasında yapılan hızlı karıştırma işlemi nedeniyle ergimiş kompozit içerisine hava sıkışması ve kompozitin dökümü esnasında oluşan porozite sebebiyledir [20].

Çalışmamızda numuneler üzerinden yaptığımız yoğunluk ölçümünde matrise ilave edilen SiC oranının artmasıyla porozitenin arttığı gözlemlenmiştir. Artan porozite miktarı ise numunelerdeki gerçek yoğunluk değerini düşürmektedir. En fazla karışım oranı %10'luk numunede olduğu için porozitesi en yüksek olan ve en düşük yoğunluğa sahip olan numune %10 SiC katkılı olan numunedir (Şekil 6.3).



Şekil 6.3. Kompozitlerin yoğunluk grafiği

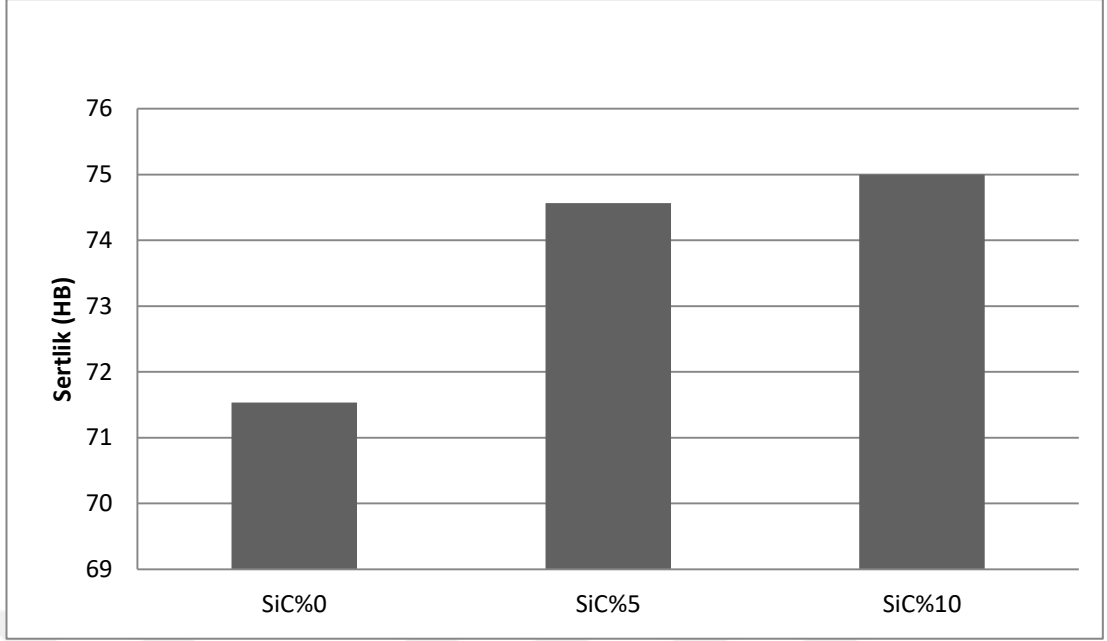
Adib ve Ahmed (2016)' in yaptıkları benzer çalışmada da gerçek yoğunluğun eklene SiC oranının artışına bağlı olarak azaldığı bildirilmiştir [20].

6.3. Brinell Sertlik Testi

Numunelerin Brinell sertlik testi sonuçlarının ortalaması alınıp kıyaslamalar yapılmıştır. Aynı numunenin 3 farklı bölgesinden alınan sertlik sonuçları tabloda gösterilmiştir. Sertlik testi yapmak için, malzeme parlatılmış ve her defasından düz bir yüzeyden ölçüm alınmıştır. Test 6,25 kilogram yük altında gerçekleşmiştir.

Brinell sertlik testi sonuçları incelendiğinde alınan sertlik örneklerinde en yüksek sertliğin 78,9 HB ile %10 SiC katkıli kompozitte olduğu görülmüştür. Bu yapılan ölçümlerin ortalamaları alındığında takviyesiz alüminyum alaşımının en yüksek sertlik değerinden bile %8,9 artan sertlik değerinin sebebi kompozit eleman içerisinde takviye görevi üstlenen ve sertliği çok yüksek olan SiC katkısından kaynaklanmaktadır. Bu artışı %6,2 oranla yine aynı sebeplerde dolayı %5SiC takviyesi izlemiştir.

Ghauri ve arkadaşlarının (2016) çalışmasında da SiC takviye oranının artması ile sertlik değerlerinde bir artış kaydedilmiştir [21].



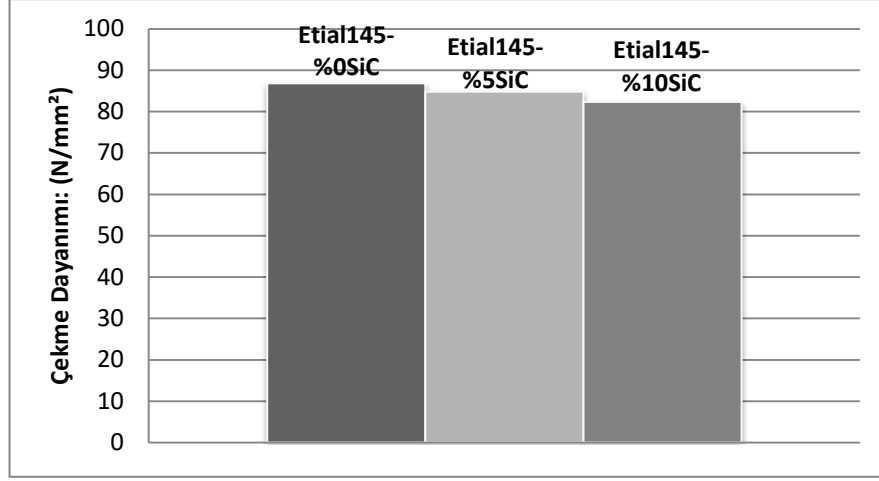
Şekil 6.4. Kompozitlerin sertlik testi sonuçları

Test sonuçlarından da görüleceği üzere alaşım içerisine eklenen SiC katkısının Etial145-SiC kompozitinin sertliğini arttırdığı tespit edilmiştir. Alüminyum alaşımın ve üretilen kompozitlerin sertlikleri kıyaslandığında malzemelerin sertlik sıralaması kütlece SiC%10>SiC%5>SiC%0 olacak şekilde gerçekleşmiştir. En yüksek sertlik değeri kütlece %10 SiC katkısı içeren kompozitte görülmüştür.

6.4. Çekme Testi

Her çekme testi için Etial145-SiC kompozit numunelerden 2 adet imal edilmiştir. Numunelerin çekme testi sonuçlarının ortalaması alınıp kıyaslamalar yapılmıştır. Grafikler çekme testi cihazından alınan grafikleridir.

Çekme testi sonuçlarından da anlaşılacağı üzere çekme dayanımı en yüksek numune içerisinde SiC desteğinin yapılmadığı numunedir. Bununla sebebi SiC tozları alüminyum alaşım içerisinde bir çentik etkisi yaratarak gerilmenin bu alan üzerinde birikmesine ve malzemenin daha düşük bir değerde kopmasına sebep olmuş olabilir.



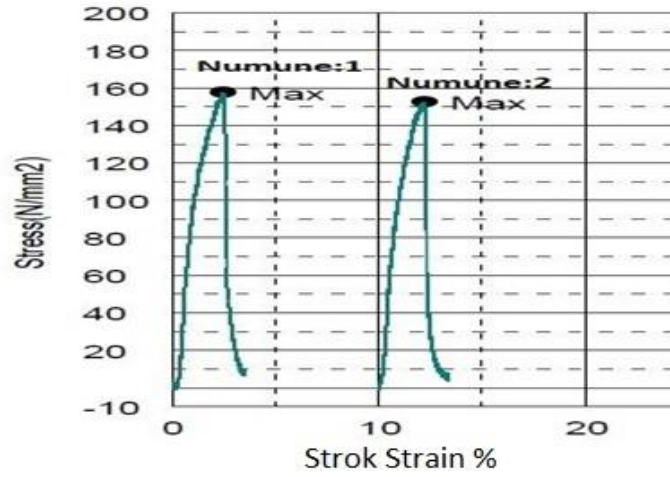
Şekil 6.5. Kompozitlerin çekme dayanımı grafiği

Şekil 6.5'den de anlaşılacağı üzere ortalama değerlerde SiC takviyesiz olan alüminyum alaşımın çekme mukavemeti daha fazladır. Bu durum malzeme içerisindeki SiC tanelerinin oluşturduğu, çentik etkisi veya aglomerasyonlar sebebiyle olduğu yargısına ulaşılabilir.

6.5. Üç Nokta Eğme Testi

Her üç nokta eğme testi numunesinden 2 adet döküm yöntemiyle imal edilmiştir. Numunelerin üç nokta eğme testi sonuçlarının ortalaması alınıp kıyaslamalar yapılacaktır. Grafikler üç nokta eğme testi cihazından alınan grafikleridir.

Numune:1-2:



Şekil 6.6. Eğme testi sonuç grafiği Etial145-%0SiC

Tablo 6.1. Etial45-%0SiC kompozitin eğme testi sonuçları

| Name | YP_Strain | Max_Force | Max_Disp | Max_Stress | Max_Strain |
|-----------|-----------|-----------|----------|------------|------------|
| Parameter | 0,1 %/FS | | | | |
| Units | % | kN | mm | N/mm2 | % |
| 1 - 1 | -- | 1,46250 | 1,06800 | 157,676 | 2,42268 |
| 1 - 2 | -- | 1,41562 | ,97900 | 152,622 | 2,22079 |

Tablo 6.2. Etial145-%0SiC eğilme dayanımı

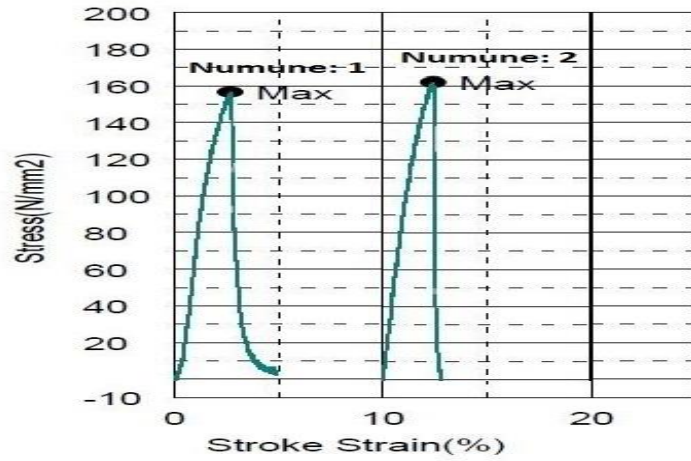
| | |
|------------------------|---------------------------|
| Üç Nokta Eğme Testi: 1 | 157,676 N/mm ² |
| Üç Nokta Eğme Testi: 2 | 152,622 N/mm ² |

Tablo 6.3. Etial145-%0SiC ortalama eğilme dayanımı

| |
|---|
| Etial145-%0SiC Üç Nokta Eğme Testi Ortalama Eğme Dayanımı |
| =155,149 N/mm ² |

Numune döküm yöntemiyle imalatı sırasında kütlece %5 SiC tozu eklenerek imal edilmiş numunenin grafik sonuçlarıdır.

Numune 1-2:



Şekil 6.7. Üç nokta eğme testi sonucu grafiği Etial145-%5 SiC

Numune:1-2:

Tablo 6.4. Etial45-%5SiC kompozitin eğme testi sonuçları

| Name | YP_Strain | Max_Force | Max_Disp | Max_Stress | Max_Strain |
|-----------|-----------|-----------|----------|-------------------|------------|
| Parameter | 0,1 %/FS | | | | |
| Units | % | kN | mm | N/mm ² | % |
| 1 - 1 | -- | 1,45313 | 1,18400 | 156,665 | 2,68582 |
| 1 - 2 | -- | 1,50312 | 1,07700 | 162,056 | 2,44310 |

Tablo 6.5. Etial145-%5SiC eğilme dayanımı

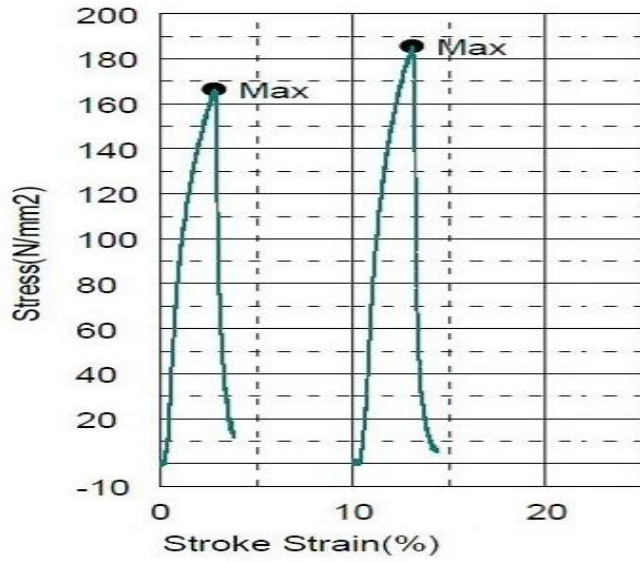
| | |
|------------------------|---------------------------|
| Üç Nokta Eğme Testi: 1 | 156,665 N/mm ² |
| Üç Nokta Eğme Testi: 2 | 162,056 N/mm ² |

Tablo 6.6. Etial145-%5SiC ortalama eğme dayanımı

| |
|---|
| Etial145-%5SiC Üç Nokta Eğme Testi Ortalama Eğme Dayanımı |
| =159,361 N/mm ² |

Numune döküm yöntemiyle imalatı sırasında kütlece %10 SiC tozu eklenerek imal edilmiş numunenin grafik sonuçlarıdır.

Numune:1-2:



Şekil 6.8. Eğme testi sonuç grafiği Etial145-%10 SiC

Numune:1-2:

Tablo 6.7. Etial45-%10SiC kompozitin eğme testi sonuçları

| Name | YP_Strain | Max_Force | Max_Disp | Max_Stress | Max_Strain |
|-----------|-----------|-----------|----------|------------|------------|
| Parameter | 0,1 %/FS | | | | |
| Units | % | kN | mm | N/mm2 | % |
| 1 - 1 | -- | 1,54375 | 1,22800 | 166,436 | 2,78563 |
| 1 - 2 | -- | 172187 | 1,36600 | 185,640 | 3,09868 |

Tablo 6.8. Etial145-%10SiC eğme dayanımı

| | |
|------------------------|---------------------------|
| Üç Nokta Eğme Testi: 1 | 166,436 N/mm ² |
| Üç Nokta Eğme Testi: 2 | 185,640 N/mm ² |

Tablo 6.9. Etial145-%10SiC ortalama eğme dayanımı

| |
|--|
| Etial145-%10SiC Üç Nokta Eğme Testi Ortalama Eğme Dayanımı |
| =176,038 N/mm ² |

Üç nokta eğme testi yapıldığında çıkan sonuçların ortalamasının kıyaslaması sütun grafiklerinde verilmiştir.

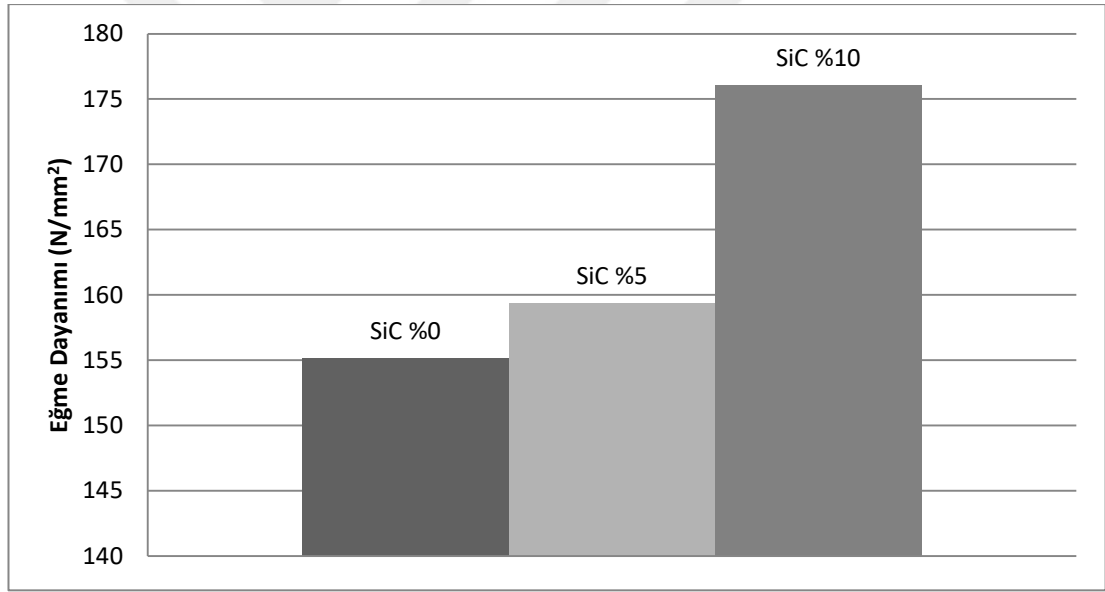
Test raporlarından çıkan sonuçlara göre tekil bazda bakıldığında en fazla eğilme dayanımı kütlece %10 SiC katkılı kompozitte görülmüştür. Üç nokta eğme testinde katkısız alüminyum alaşıma göre %17,7 düzeyinde bir artış gözlenmiştir. Bu

dayanımı %2.02'lik artışla %5SiC takviyeli kompozit takip etmiştir. Çekme deneyinin aksine üç nokta eğme testinde yaşanan artış. Maksimum eğilme kuvvetine maruz olan kesit alanındaki SiC tozlarının malzeme içerisindeki homojen dağılımından dolayı gerçekleşmektedir

Üç nokta eğme testinde, çekme testinde olduğu gibi SiC tozlarının numunenin herhangi bir yerinde oluşturacağı çentik etkisi veya bölgesel topaklanmalar gibi sebepler numune üzerinde mukavemet azalmasına sebep olmamıştır.

Tablo 6.10. Üç nokta eğme testi ortalama eğme dayanımları

| | |
|--------------------------|---------------------------|
| Etial145-%0SiC Kompozit | 155,149 N/mm ² |
| Etial145-%5SiC Kompozit | 159,361 N/mm ² |
| Etial145-%10SiC Kompozit | 176,038 N/mm ² |



Şekil 6.9. Üç nokta eğme testi grafiği

Üç nokta eğme testi sonuçlarına bakıldığında SiC takviyesi arttıkça malzemenin eğilme dayanımı performansının arttığı gözlenmiştir.

Yapılan testte de üç nokta eğme dayanımı SiC%10>SiC%5>SiC%0 olacak şekilde sonuçlanmıştır.

6.6. Aşınma Testi

Etial145 alaşımına SiC katkısı ilave ederek oluşturduğumuz kompozitte beklediğimiz en büyük mekanik iyileşmelerden biri ise aşınma direnci arttırılmasıdır. Alüminyum sanayide kullanılan çelik alaşımlarla kıyaslandığında çok daha yumuşak ve sürtünme dayanımı az olan bir metaldir. SiC gibi yüksek sertlikte hatta endüstri aşındırıcı olarak kullanılan bir malzemedir.

Aşınma testinde numuneler üzerine etkiyen statik yük değiştirilerek iki farklı test uygulanmıştır. İlk testte aşındırıcı üzerinde bulunan ve numunelere etki eden yük 2N iken diğer test düzeneğinde aşındırıcı üzerinde bulunan ve numunelere etki eden yük 5N'dur

Aşınma testi sonucunda yüzeyde oluşan iz profilometre ile ölçülüp alanı hesaplanmış ardından aşınma yolu ile çarpılıp aşınan hacim kaybı bulunmuştur.

Tablo 6.11. Aşınma deneyi parametreleri

| Deney Parametreleri | |
|-----------------------|------------|
| Radyus | 5,05 |
| Doğrusal Hız | 15,00 cm/s |
| Yük | 5N |
| Duruş Birimi | Metre |
| Aşındırıcı Bilye Çapı | 6,00mm |
| Aşındırıcı Geometrisi | Bilye |
| Sıcaklık | 20 °C |
| Nem | %50 |

Profilometrede çıkan sonuçlardan aşınan hacime ulaşmak için profilometre çıktısında oluşan yüzey profilinin iki pik noktası arasında kalan kısım aşınan kesit olarak kabul edilmiştir. İki pik noktası arasında kalan kısım için malzeme yüzeyinin olduğu hat tespit edilmiş ve altında kalan grafik alan hesaplanabilecek geometrik şekillere ayrılarak aşınan hacmin kesit profilinin alanı hesaplanmıştır.

Kesit profilinin alanı hesaplandıktan sonra deney parametrelerinde bulunan aşındırıcı partnerin numuneye temas ettiği noktanın numune merkezine olan uzaklığı

yarıçap olarak kabul edilmiş ve hesaplanan alan ve yarıçapın oluşturduğu dairenin çevresi çarpılarak aşınan hacime ulaşılmıştır.

SiC takviyesiz numune için profilometreden çıkan iz alanı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Kesit profilinin alanı} \times 2 \times \pi \times r == 77.738,71 \text{ mikrometre}^3$$

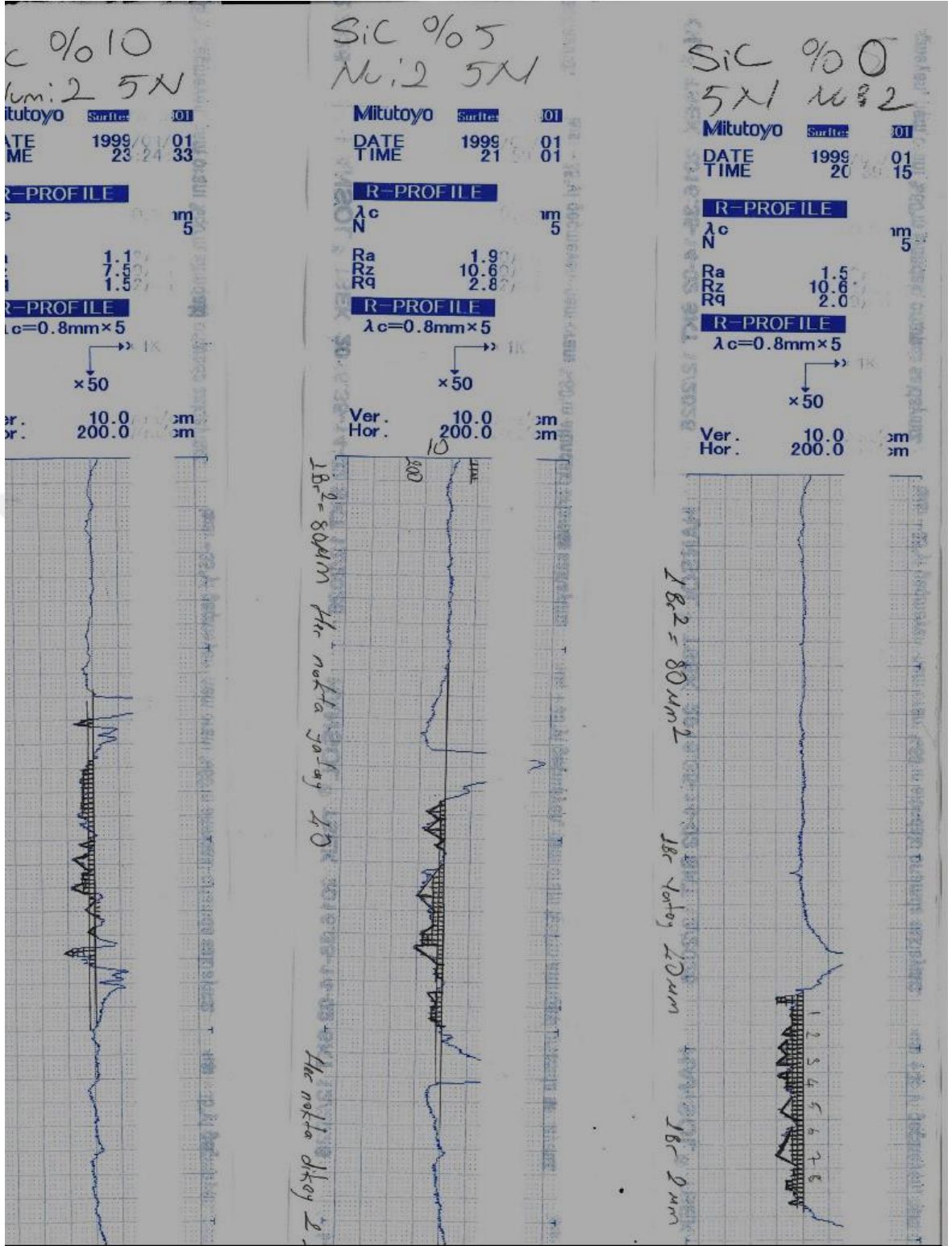
%5 SiC takviyeli kompozit için profilometreden çıkan iz alanı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Kesit profilinin alanı} \times 2 \times \pi \times r == 59.969,86 \text{ mikrometre}^3$$

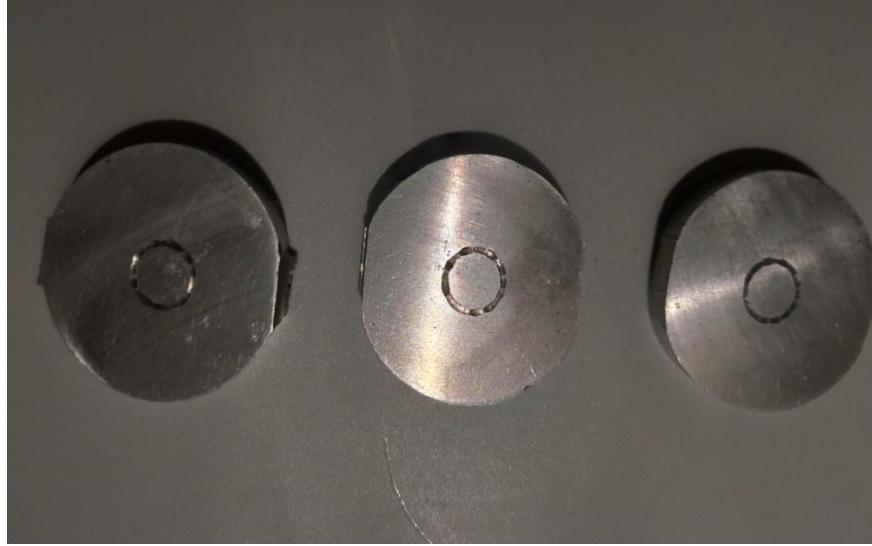
%10 SiC katkılı kompozit için profilometreden çıkan iz alanı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Kesit profilinin alanı} \times 2 \times \pi \times r == 45.691,32 \text{ mikrometre}^3$$

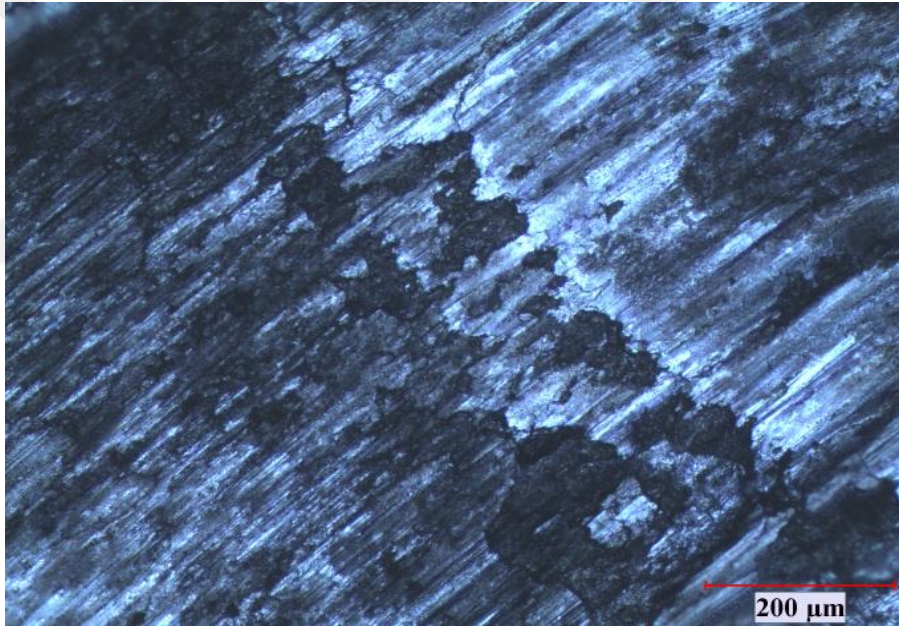
Aşınma testi sonucunda numunelerde oluşan aşınma görüntüsü ve numunelerin profilometre ölçümü sonucunda ortaya çıkan grafik aşağıdaki gibidir.



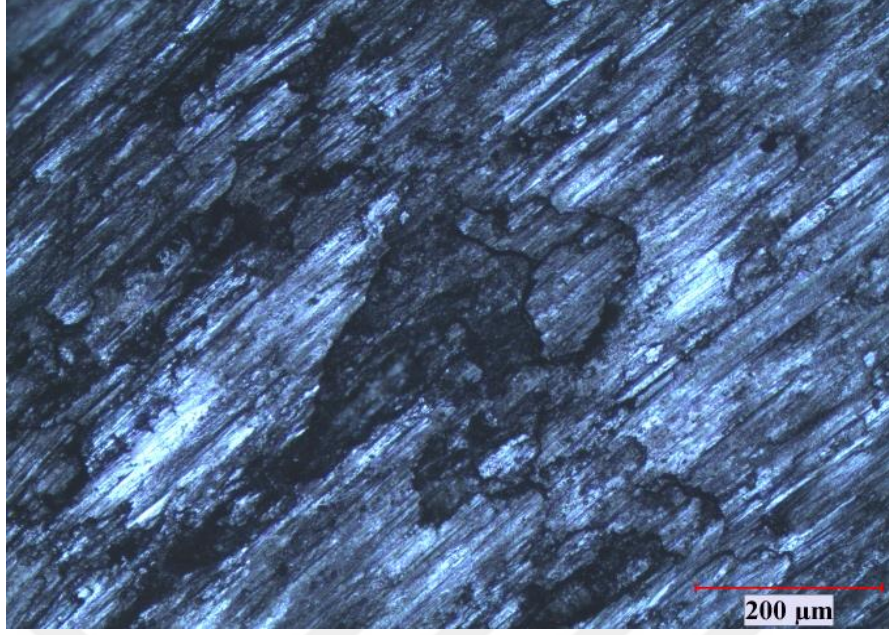
Şekil 6.10. Profilometre ile aşınma izinin pürüzlülük ölçüm örneği



Şekil 6.11. Aşınma testi sonunda kompozitlerin üst yüzey makro görüntüleri

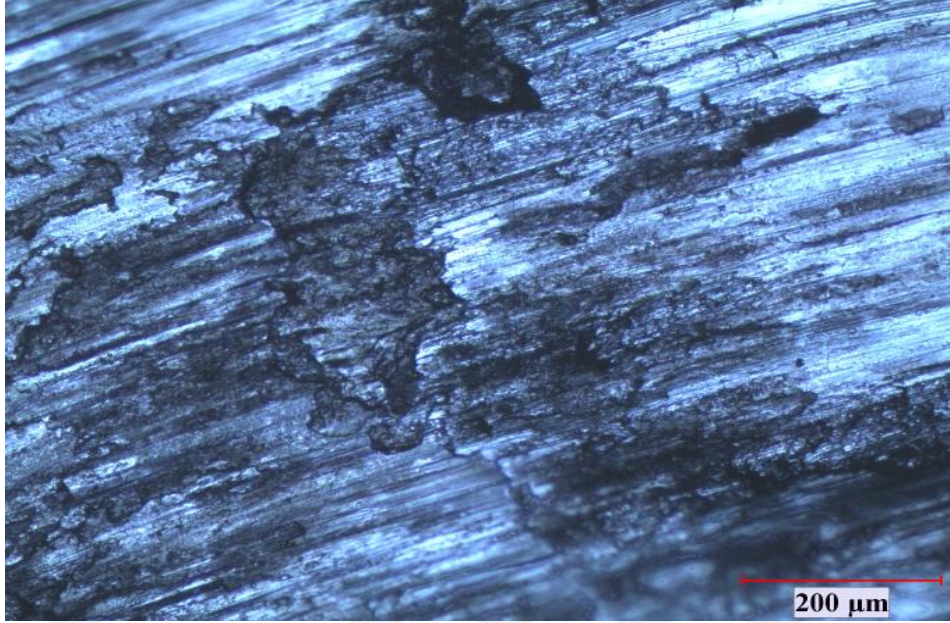


Şekil 6.12. Etial145-0SiC katkılı kompozitin 5N statik yük altında aşınma yolu görüntüsü (x100 büyütme)



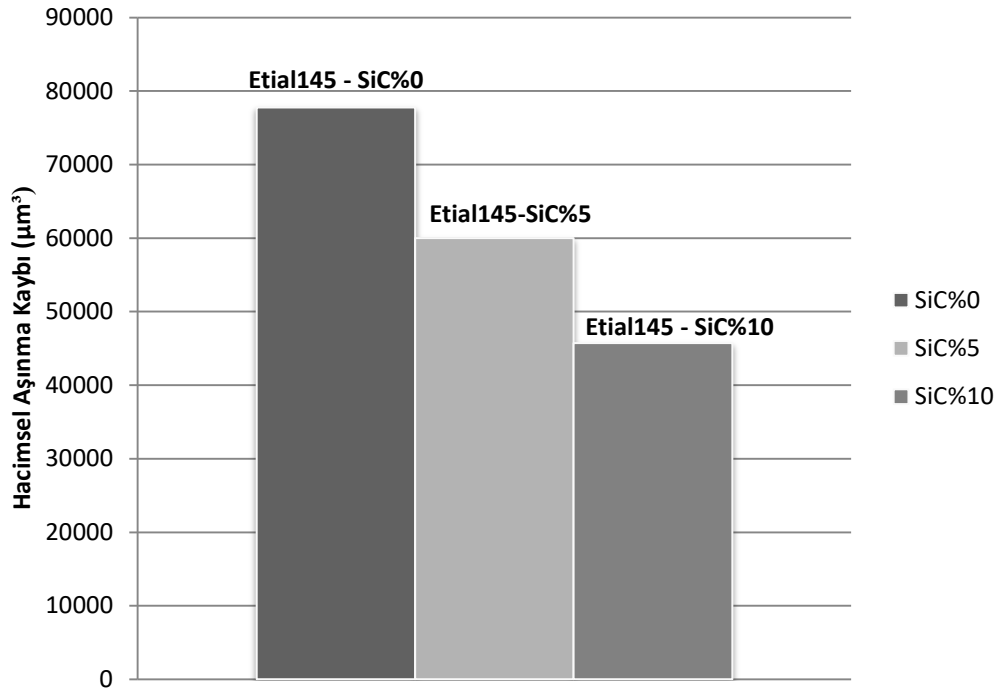
Şekil 6.13. Etial145-%5SiC katkılı kompozitin 5N statik yük altında aşınma yolu görüntüsü (x100 büyütme)

Şekil 6.13 te görüldüğü gibi %5 SiC takviyesi ile aşınan ve kopan parçalar tekrar aşınma yüzeyine yapışmıştır.



Şekil 6.14. Etial145-%10 SiC katkılı kompozitin 5N statik yük altında aşınma yolu görüntüsü (x100 büyütme)

SiC takviye miktarının artması yapışma ve kopma durumunu daha da arttırmıştır. Çukurlar bazı bölgelerde yapışmalar görülmüştür (Şekil 6.14).



Şekil 6.15. Etial145-SiC kompozitlerinin hacimsel aşınma kayıpları

Matris içerisinde dağılan SiC tozlarının sertliği sayesinde aşınma dayanımı yüksek oranda artmıştır (Şekil 6.15). Aşınan hacim sıralaması yapıldığında SiC%0>SiC%5>SiC%10 olarak gerçekleşmiştir. SiC katkısı arttıkça aşınma direnci artmıştır. SiC %10 katkı olan kompozitte, katkısız alüminyum alaşıma göre, aşınma direnci %35 oranında artmıştır. SiC %5 katkı oranı olan kompozitte ise katkısız alüminyum alaşıma göre ise %15 oranında artış göstermiştir.



7. SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Etial145 alüminyum alaşımını etüvde ergiterek ve vorteks makinası yardımıyla kütlece %0-%5-%10'luk SiC desteği ilave ederek, kuma döküm yöntemiyle MMK imal ettik. Kompozit malzeme üretmekteki nihai amaç kompoziti oluşturan malzemelerin bir araya gelerek daha üstün özelliklerde yeni bir malzeme oluşturmaktır. Üretilen Numuneler:

- Çekme testine
- Üç nokta eğme testine
- Brinell sertlik testine
- Aşınma testine

tabi tutuldular. Mekanik testler sonucunda Etial145-SiC kompozitinin mekanik performansı ölçülerek aşağıdaki sonuçlara ulaşıldı. Bununla birlikte malzemenin mikro yapısı da incelenerek MMK'daki matris içerisindeki SiC tozunun dağılımı karakterize edilmiştir.

- 1) En bilinen, en ekonomik ve en kolay döküm yöntemi yani kuma döküm yöntemi kullanılarak, enjeksiyon döküm benzeri nispeten pahalı olan döküm yöntemleri kullanılmadan Etial145-SiC kompozitleri üretilebilir.
- 2) Döküm işi ile uğraşan firmalara ilham olacak ve vorteks metodunu daha basit ve ekonomik hale getirecek hangi açıdan bakılırsa bakılsın MMK üretimini ulaşılabilir kılacak yeni bir üretim metodu ve primitif bir vorteks cihazı ile SiC tozlarının Etial145 içerisinde homojen olarak aglomerasyonlar (topaklanmalar) oluşturmada dağılımı sağlanmıştır.
- 3) SiC tozunun mekanik öğütme, ön ısıtma benzeri ön işlemlere tabi tutulmadan, vorteks cihazı ve benzeri karıştırıcılar olmadan Alüminyum alaşımları içerisinde homojen olarak karıştırılması mümkün değildir.
- 4) Ön ısıtma işlemi ile SiC taneciklerinin yüzeyi oksitlenmiş ve ıslatılabilirliği artırılmıştır.

- 5) SiC tozunun mekanik öğütme ve ısıtma gibi öncül işlemlerle Etial145 ergiyiği içerisinde daha kolay dağıldığını, ıslatılabilirliğinin arttığını ve bununla beraber ergiyik içerisinde homojen olarak karıştığı mikroyapı incelemeleri ile gözlemlenmiştir.
- 6) Brinell sertlik testi sonuçları incelendiğinde kompozit malzeme içerisinde SiC tozu desteğinin kütlece oranı arttıkça malzemenin sertliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Sertlikte bu artış malzeme içerisinde destek görevi gören yüksek sertlikteki SiC tozlarından kaynaklanmaktadır.
- 7) Yapılan çekme testi sonucunda kompozit içerisindeki SiC katkısının arttıkça çekme mukavemetinin düştüğü gözlemlenmiştir. Bu durum daha önceki literatür araştırmalarında benzerlik göstermektedir Çekme testinde görülen nispi düşüşler Matrisin deformasyon sertleşmesi, dislokasyonlarda oluşan artış, alt tane boyutunun azalması ve SiC aglomerasyonlarının oluşturduğu çentik etkisi bu düşüşe sebep olarak gösterilebilir.
- 8) Üç Nokta Eğme testinde ise, çekme testi sonuçlarının tersine bir durum gerçekleşmiştir. Matris içerisinde dağılan ince tane dağılan katı parçacıklar mukavemetin artışına sebebiyet verirler. Bu mukavemet artışının oluşabilmesi için matris içerisinde katının kompozitin tamamına homojen olarak dağılması önemlidir. Üç nokta eğme testinde dayanımda görülen artış kesmeye maruz bırakılan kesitte bulunan SiC parçacıkların homojen olarak dağılmasıdır. Üç nokta eğme testi, çekme testi ile kıyaslandığında nispeten malzemenin genelinden bağımsız kesme kuvvetine maruz bırakılan kesitin içerisindeki homojen dağılım ile alakalıdır. Bu sebepten dolayı üç nokta eğme testinde artan SiC takviyesiyle birlikte mukavemet artışı görülmüştür.
- 9) Aşınma testi SiC katkısının kendine has özelliklerinin yüksek oranda fark yarattığı mekanik testlerden biri olarak gerçekleşmiştir. Çalışmada da üzerinde durulduğu üzere SiC tozu endüstride kullanılan ve insan eli üretilebilen en sert bileşiklerden biridir. Etial145 alaşımı içerisine destek malzemesi olarak karıştırılan SiC tozu aşınmaya bırakılan numunenin aşınma dayanıma katkıda bulunmuştur.

SiC katkısının kütlece %10 olduğu numunede aşınmaya karşı gösterilen direnç katkı malzemesi konulmayan numune ile karşılaştırıldığında %70 daha fazla aşınma dayanımı göstermiştir. Bu aşınma dayanımını %30 artışla %5 SiC katkılı numune takip etmiştir. Çekme testinde görülen nispi düşüşlerle birlikte değerlendirildiğinde SiC katkısı ile güçlendirilmiş numunelerde görülen, bu muazzam aşınma direnci artışı çalışmamızda elde edilen en önemli sonuçlardan biridir.

7.2. Öneriler

- 1) Daha homojen bir SiC tozu dağılımı elde edilmek istenirse döküm esnasında alüminyum alaşımın atmosferik ortamdan uzaklaştırılması tavsiye edilebilir. Ergimiş alaşım vorteks cihazının karıştırma etkisi sebebiyle daha geniş yüzeyden atmosferde serbest halde bulunan oksijene maruz kalmakta yüksek sıcaklığın da etkisiyle hızlı bir şekilde oksitlenmektedir. Oksitlenen alaşım hem SiC tozunun homojen olarak karışmasına engel olmakta hem de ergimiş alaşım üzerinde bir cüruf katmanı oluşturmaktadır.

Ergimiş alaşımın atmosferdeki oksijenden korunması için inert gaz üflenerek veya havasız ortamda vorteks işlemi uygulanarak daha verimli sonuçlar görülebilecektir. Çalışmamızda kuma döküm yöntemine odaklandığımız için bu tür işlemler yöntemimizi ileri döküm yöntemleri kademesine taşıyacak ve odaklandığımız asıl yöntemden uzaklaşmamıza sebep olacaktır. Bu sebeple bu adımlar çalışmamızda uygulanmamıştır.

- 2) Ergimiş alüminyum alaşımın metal esaslı bir malzeme ile karıştırılması uygun değildir. Çalışmamızda olduğu gibi karıştırma için karbür (seramik esaslı) karıştırıcı kullanmak uygundur. Metal esaslı karıştırıcılar ergimiş alüminyum alaşımın karıştırıcıdan farklı malzemeler kapmasına sebep olacaktır.
- 3) Nispeten çok düşük yatırımlar ile imal edilen vorteks cihazı alüminyumun mekanik özelliklerini arttırmak amacıyla kullanılabilir. Döküm endüstrisi alanında hizmet gösteren firmalar bu cihaza veya bu cihaz referans alınarak geliştirilen farklı vorteks cihazlarına çok minimal yatırımlarla ulaşabilirler.

Bu yatırım hem bu firmaların kompozit imal ederek ekonomiye katkısına hem de imalat sektörüne çok daha ucuza kompozit tedarik edilebilmesine katkı sağlayacaktır.



8. KAYNAKÇA

- [1] Kasaplar, G. Alüminyum Yüzeyindeki Oksit Tabakasının Okzalik Asit Anodizing Yöntemiyle Geliştirilmesi. Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 2008,17-7, 95-104.
- [2]Çetin, A. Alüminyum Döküm Alaşımları. Foseco Dökümhane Bölümü. İstanbul, Türkiye, 2017, 85.
- [3] Eker, A. Al ve Alaşımları. Ders notu. İstanbul, 2008, 16.
- [4] Başer, T. A. Alüminyum Alaşımları ve Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı, Mühendis ve Makine. 2012, 53/ 635, 51-58.
- [5] Szekeres, S. Continuous Casting Systems-An Introduction. Brimacombe Continuous Casting. Vancouver-B.C Canada, 2007, 25.
- [6] Aran, A. Kum kalıba döküm. Döküm teknolojisi. 2007, 12, 34-36.
- [7] Gülmez, T. MAK 351 İmal Usülleri. İTÜ Makine Fakültesi. İstanbul, Türkiye, 2014, 107.
- [8] Pehlivanlı, Z. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvar Föyü. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü. Kırıkkale-Türkiye, 2018, 79.
- [9] Chemezov, D. Metal Mold Casting Of Cast Iron And Aluminium Pistons. International Scientific Journal. 2018, 05, 122-141.
- [10] Güler, A., Çiğdem, M. Dereceli Hassas Döküm Yüzey Kalitesi Ve Boyutsal Hassasiyet. İstanbul Sanayi Odası - Yıldız Teknik Üniversitesi İstanbul. 2012, 106.
- [11] Şelte, A. Metal Enjeksiyon Kalıplama Teknolojisi. Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Metalurji Mühendisleri Odası Dergisi. 2017, 159, 14-19.
- [12] Korkmaz, A. H. Fiber Takviyeli Elastik Malzemelerin Sürekli Ortam Hasar Mekanizmasına Dayalı Bünye Denklemlerinin Modellenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta, 2009, 95, (Yüksek Lisans Tezi).
- [13] Kalemtaş, A. Metal Matrisli Kompozitlere Genel Bir Bakış. Muğla Sıtkı Kocaman Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü. Muğla, 2014, 13.
- [14] Shelke, R., Patil, H., Kalyankar, N.. Study of Properties of Al LM-25/SiC fabricated by using Stir Casting Method and Wear Analysis by RSM. International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS). 2018, 115-118.
- [15] Ögünç, H. Sıcak Presleme İle Sinterlenmiş α -SiC Matrisli B₄C Kompozitlerinin Özelliklerinin İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006, 74, (Yüksek Lisans Tezi).

- [16] Gülbahçe, M. Asenkron Motorun İç Yapısı. İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İstanbul, 2009, 43.
- [17] Turan, M. Asenkron Motorlarda Hız Ayarı Ve Frenleme. Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi., Sakarya, 2014, 9 .
- [18] Calin, R., Pul, M., Pehlivanli, Z. O. The effect of reinforcement volume ratio on porosity and thermal conductivity in al-mgo composites. Department of Metallurgical and Materials Engineering 2012 1-5.
- [19] Soltani, S., Azari Khosroshahi, R. Taherzadeh Mousavian, R. et al. Rare Met. (2017) 36: 581. <https://doi.org/10.1007/s12598-015-0565-7>.
- [20] Adnan, A. A., Rashed, A., Muhammad, B. H., Masum, B. Fabrication and Characterization of Aluminium-Rice Husk Ash Composite Prepared by Stir Casting Method. Rajshahi University Journal of Science & Engineering. 2016, s.9-18.
- [21] Ghauri, K., Ali, L., Ahmad, A., Ahmad, R., Din, K., Chaudhary, I., & Karim, R. Synthesis and Characterization of Al/SiC Composite Made by Stir Casting Method. Pakistan Journal Of Engineering And Applied Sciences. 2013, 1.12, 102-110.

9. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı Gökan Yılmaz
Doğum Yeri ve Yılı Bulgaristan, 1991
Medeni Hali Bekar
Yabancı Dili İngilizce
E-posta gkn.ylmz@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise Bursa Hürriyet Anadolu Lisesi 2009
Lisans 2014 Manisa Celal Bayar Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans Manisa Celal Bayar Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü 2019 (halen)

Mesleki Deneyim

Yazıcılar Makina A.Ş. 2014-2019
Durmazlar Makina A.Ş. 2019-(halen)