

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Karıştırmalı Döküm Yöntemi İle SiC Takviyeli Al Esaslı Kompozit Üretimi ve
Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi

Niyazi Selçuk CİLASUN

ŞUBAT 2013

*Beni bugüne kadar büyüten
canım anneme...*

ÖZET

Karıştırmalı Döküm Yöntemi İle SiC Takviyeli Al Esaslı Kompozit Üretimi ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi

CİLASUN, Niyazi Selçuk

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Recep ÇALIN

Şubat 2013, 99 Sayfa

Kompozit malzemeler, geçtiğimiz asırda geliştirilmiş ve kullanım alanı hızla artan bir mühendislik malzemesi grubudur. Pek çok farklı kompozit malzeme ve üretim türü mevcut olup her geçen gün bunlara yenileri eklenmektedir. Bu kompozit malzemelerden birisi metal matrisli kompozitlerdir (MMK). Metal matrisli kompozitler, başta Al olmak üzere Ti, Mg ve bunların alaşımları gibi hafif metal ve alaşımları matris olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Takviye elemanı olarak ise Al_2O_3 , SiC, SiO_2 , TiC ve MgO gibi seramik ve refrakterler yaygın olarak kullanılmaktadır. Metal matrisli kompozitlerin üretilmesinde karıştırmalı döküm, toz metalurjisi, in-situ, ve infiltrasyon (içsüzme) gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada Al matrisli SiC parçacık takviyeli kompozit malzemenin karıştırmalı döküm yöntemi ile üretilmesinde, parametrelerin etkileri araştırılmıştır. Sıcaklık, dönme hızı, süre, takviye hacim oranı ve matrisin ve takviyenin fiziksel ve kimyasal özellikleri, karıştırmalı dökümde önemli parametrelerdir. Bu parametrelerin, gözeneklilik ve mikro yapı, sertlik, kırılma dayanım ve aşınma üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Kompozit malzemelerin gözenekliliği, karıştırmalı dökümü zorlaştıran şartlarda artmaktadır. Al₂₀₁₄-SiC kompozitlerinin aşınmasında adhezyon ve abrasiv aşınma görülmesine rağmen, 10 N yük altında etkin aşınma mekanizmasının sıvanma olduğu görüldü.

Anahtar Kelimeler: Karıştırmalı Döküm, Metal Matrisli Kompozitler, Al Matrisli Kompozitler, Al 2014, SiC, Mekanik Özellikler

ABSTRACT

Production of SiC Reinforced Al Matrix Composite By Melt Stirring Method
and Investigation of Its Abrasive Strength

CİLASUN, Niyazi Selçuk

Kırıkkale University

Graduate Scholl Of Natural And Applied Sciences

Department Of Mechanical Engineering, M.Sc Thesis

Supervisor: Assoc.Prof.Dr.Recep ÇALIN

February 2013, 99 Pages

Composite materials are one group of engineering materials that were developed in last century and have being used in an increasing ratio. There are different types of composite materials and production methods and new type of these materials and production methods have being developed. One type of these materials is metal matrix composites (MMC). In metal matrix composites, light metals such as Mg, Ti and especially Al are used as matrix. As for reinforcement, some ceramics and refractories such as Al_2O_3 , SiC, SiO_2 , TiC and MgO have being commonly used. Different methods such as melt stirring method, casting, powder metallurgy, in-situ and infiltration are used for composite production. In this study, effect of parameters in production of Al matrix SiC reinforced composite by melt stirring method, has been investigated. Temperature, duration, reinforcement volume ratio, rotational speed and chemical and physical properties of matrix and reinforcement are important parameters in melt stirring method. In this parameters, effect of porosity and micro structure, hardness, wear have been investigated. The porosity of composite materials, increased in case of the conditinos make difficult in casting processes. Although, adhesion and abrasion took place during the wear of Al2014-SiC composites, smearing appeared to be the most effective mechanism for the materials tested under 10 N load.

Key Words: Melt Stirring Method, Metal Matrix Composites, Al Matrix
Composit, Al 2014, SiC, Mechanical Properties

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezimi yazdığım süreçte karşılaştığım zorlukların çözümünde bana yol gösteren, tezimin tamamlanmasında büyük katkı sağlayan, beni hep daha iyisini ortaya koymam için yönlendiren ve yardımlarını, desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Recep ÇALIN'a, teşekkürü bir borç bilir şükranlarımı sunarım.

Kırıkkale End. Mes. Lisesi Hid. Pinömatik bölüm şefi A. Hamdi MAHMUTOĞLU'na, elektron mikroskobu incelemelerindeki yardımlarından dolayı G.Ü. Tek. Eğt. Fak. Öğretim Görevlisi Sinan AKYÖN'e, sertlik ölçümlerindeki yardımlarından dolayı G.Ü. Tek. Eğt. Fak. Öğretim Görevlisi Zemzem TORTUM'a, tez yazımında yardımlarından dolayı Seda SEVİNÇ 'e, teşekkür ederim.

Tez çalışmalarımnda bana destek olan hocalarım, Yrd. Doç. Dr. Muharrem PUL'a, Yrd. Doç.Dr. Osman BİCAN'a, Yrd. Doç. Dr. Zühtü PEHLİVANLI'ya teşekkür ederim.

Yüksek lisans ders aşamasında ve tezimi hazırlamam esnasında da desteğini ve anlayışını esirgemeyen kurumuma, değerli iş arkadaşlarım Mehmet İŞLER, Osman DAŞTAN, Erol TEKEL, Murat NARTGÜN, Mustafa ŞAHİNLİ, Musa DEMİR, Murat PEKER ve Vedat ÜLTEN'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımnda desteğini esirgemeyen ve bu günlere gelmem için büyük fedakârlıklar gösteren aileme şükranlarımı bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

SAYFA

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
1 GİRİŞ	1
2 KOMPOZİT MALZEMELER	3
2.1 Kompozitler	3
2.2 Kompozit Malzemelerin Özellikleri	3
2.3 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları	4
2.4 Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri	5
2.5 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	6
2.5.1 Tekflament.....	7
2.5.2 Uzun ve Kısa Elyaf(fiber).....	8
2.5.3 Parçacık	9
2.5.4 Laminant (Katmerli)	9
2.6. Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları	10
2.7. Metal Matrisli Kompozitleri	11
2.7.1 MMK'ler İçin Matris Malzemeler	11
2.8. Silisyum karbür (SiC).....	12
2.9. Kompozitlerin Üretim Şekilleri	14
2.9.1 Katı Hal İşlemleri	15
2.9.2 İn-situ İşlemler.....	16
2.9.3 Sıvı Hal İşlemler	16
3 MALZEMELERDE AŞINMA	19

3.1	Giriş.....	19
3.2	Aşınma	19
3.3	Aşınmanın Temel Nedenleri.....	20
3.4	Aşınmayı Etkileyen Faktörler.....	21
3.4.1	Ana Malzemeye Bağlı Faktörler	22
3.4.2	Karşı Malzemeye Bağlı Faktörler ve Aşındırıcının Etkisi	22
3.4.2.1	Ortamın Etkisi	22
3.4.2.2	Servis Koşulları	22
3.5	Temel Aşınma Mekanizmaları	23
3.5.1	Abrasif Aşınma.....	24
3.5.2	Difüzyon Aşınması.....	25
3.5.3	Oksitlenme Aşınması	26
3.5.4	Yorulma ve Tabakalaşma Aşınması	26
3.5.5	Adhezif Aşınma	27
4	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	28
4.1	Malzeme ve Metod.....	28
4.2	Matris Al'ün Ergitilmesi	29
4.3	Karıştırma İşlemi	33
4.4	Aşınma Testi	33
4.5	Kum Kalıbın Hazırlanması ve Döküm İşlemi	36
4.6	Ergitme Sıcaklığı.....	37
4.7	Takviye Hacim Oranı	37
4.8	Sertlik	37
4.9	Yoğunluk ve Gözeneklilik Belirlenmesi	39
4.10	Parametrelerin Belirlenmesi	39
5	SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	40
5.1	Gözeneklilik, Mikro Yapı ve Sertlik	40
5.1.1	Sıcaklığa Bağlı Deneysel Çalışmalar	40
5.1.2	Dönme Hızına Bağlı Deneysel Çalışmalar	46
5.1.3	Süreye Bağlı Deneysel Çalışmalar	50
5.2	Aşınma	54
5.2.1	Takviye Hacim Oranına Göre Deneysel Çalışmalar	55

5.2.2	Uygulanan Kuvvete Göre Deneysel Çalışmalar	58
5.2.3	Uygulanan Aşındırıcı Partikül Büyüklüğüne Göre Deneysel Çalışmalar.....	62
6	SONUÇ VE ÖNERİLER	66
	KAYNAKÇA.....	69
	EKLER	79
	EK 1) SİC PARTİKÜLLERİNİN EDS FOTOSU.....	79
	EK 2) ÜRETİLEN PARÇALARIN SERTLİK DEĞERLERİ	83
	EK 3) ÜRETİLEN PARÇALARIN % GÖZENEK DEĞERLERİ	84
	EK 4) TANE BOYUTUNUN BULUNMASI.....	85

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları.....	5
4.1 Alüminyum 2014'ün Fiziksel Özellikleri	28
4.2 Alüminyum 2014'ün Kimyasal Bileşimi.....	28
4.3 SİC'ün Fiziksel Özellikleri ve Kimyasal Bileşimi	29
5.1 700, 750, 800°C Sıcaklıklarda, %3, %6, %12 Takvite Hacim Oranında, Üretilen Kompozitlerin Gözenek Miktarları ve Sertlik Değerleri.....	40
5.2 750°C Sıcaklıkta, %12 Takviye Hacim Oranında, 250 dev/dak, 500 dev/dak, 750 dev/dak Dönme Hızlarında, 4 Dakika Sürede, Üretilen Kompozitlerin Sertlik ve % Gözenek Değerleri	47
5.3 750°C Sıcaklıkta, %6 Takviye Hacim Oranında, 500 dev/dak, Dönme Hızlarında, 2, 4, 6 Dakika Sürede, Üretilen Kompozitlerin Sertlik ve % Gözenek Değerleri	50
5.4 30N Yükte, 150, 240, 320 Meshte ve %3, %6, %12 Takvite Hacim Oranında Üretilen Kompozitlere Göre Aşınma Miktarları.....	55
5.5 10N, 20N, 30N Yükte, 320 Meshte ve %3, %6, %12 Takvite Hacim Oranında Üretilen Kompozitlere Göre Aşınma Miktarları	59

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Takviye Elemanının Şekline Göre Kompozit Çeşitleri	7
2.2 Sürekli Fiber Takviyeli MMK Şematik Yapısı.....	8
2.3 Kısa Elyaf Takviyeli Matrisli Kompozitin Şematik Yapısı	9
2.4 Rastgele Düzlemsel Yönlendirilerek Takviyelendirilmiş MMK Yapısı	10
3.1 Tribolojik Sistemin Şematik Gösterimi.....	21
3.2 Temel Aşınma Mekanizmaları.....	23
3.3 Abrasif Aşınma Mekanizmaları	24
4.1 Karıştırma (vorteks) Döküm Deney Düzeneği	30
4.2 Karıştırmalı Döküm Deney Düzeneği	31
4.3 Karıştırma İşlemi	31
4.4 Karıştırma İşlemi	32
4.5 Karıştırma İşlemi	32
4.6 Dirençli Ergitme Ocağı ve Karıştırma Ünitesi	33
4.7 Aşınma Test Cihazı.....	34
4.8 Aşınma Cihazı.....	34
4.9 Aşınma İşlemleri.....	35
4.10 Aşınma İşlemleri	35
4.11 Deney Numunelerinin Kum Kalıba Dökümü.....	36
4.12 Vickers Ölçme Deney Düzeneği.....	38
4.13 Vickers Ölçme Deney Düzeneği.....	38
5.1 700, 750, 800°C Sıcaklıklarda, %3, %6, Takvite Hacim Oranında, 500 dev/dak Dönme Hızında, 4 Dakika Sürede Üretilen Kompozitlerin % Gözenek Miktarları.....	41
5.2 700, 750, 800°C Sıcaklıklarda, %3, %6, %12 Takvite Hacim Oranında, 500 dev/dak Dönme Hızında, 4 Dakika Sürede Üretilen Kompozitlerin Sertlik Değerleri.....	42
5.3 92,53 µm takviye tane boyutuna sahip, 800 °C sıcaklıkta, %6 SiC takviyeli, 500 d/dak devir sayılı, 4 dakikada üretilmiş kompozitlerin mikro yapısı.....	43

5.4	92,53 µm takviye tane boyutuna sahip, 750 °C sıcaklıkta, %6 SiC takviyeli, 500 d/dak devir sayılı, 4 dakikada üretilmiş kompozitlerin mikro yapısı.....	44
5.5	92,53 µm takviye tane boyutuna sahip, 700 °C sıcaklıkta, %6 SiC takviyeli, 500 d/dak devir sayılı, 4 dakikada üretilmiş kompozitlerin mikro yapısı.....	44
5.6	92,53 µm takviye tane boyutuna sahip, 800 °C sıcaklıkta, %3 SiC takviyeli, 500 d/dak devir sayılı, 4 dakikada üretilmiş kompozitlerin mikro yapısı.....	45
5.7	92,53 µm takviye tane boyutuna sahip, 800 °C sıcaklıkta, %6 SiC takviyeli, 500 d/dak devir sayılı, 4 dakikada üretilmiş kompozitlerin mikro yapısı.....	45
5.8	92,53 µm takviye tane boyutuna sahip, 800 °C sıcaklıkta, %12 SiC takviyeli, 500 d/dak devir sayılı, 4 dakikada üretilmiş kompozitlerin mikro yapısı.....	46
5.9	750°C Sıcaklıkta, 250 dev/dak, 500 dev/dak, 750 dev/dak Dönme Hızlarında, Üretilen Kompozitlerin % Gözenek Miktarları.....	47
5.10	92,53 µm takviye tane boyutuna sahip, 750 °C sıcaklıkta, %12 SiC takviyeli, 250 d/dak devir sayılı, 4 dakikada üretilmiş kompozitlerin mikro yapısı.....	48
5.11	92,53 µm takviye tane boyutuna sahip, 750 °C sıcaklıkta, %12 SiC takviyeli, 500 d/dak devir sayılı, 4 dakikada üretilmiş kompozitlerin mikro yapısı.....	49
5.12	92,53 µm takviye tane boyutuna sahip, 750 °C sıcaklıkta, %12 SiC takviyeli, 500 d/dak devir sayılı, 4 dakikada üretilmiş kompozitlerin mikro yapısı.....	49
5.13	750°C Sıcaklıkta, %6 Takviye Hacim Oranında, 500 dev/dak, Dönme Hızlarında, 2, 4, 6 Dakika Sürede, Üretilen Kompozitlerin % Gözenek Miktarları.....	51
5.14	750°C Sıcaklıkta, %6 Takviye Hacim Oranında, 500 dev/dak, Dönme Hızlarında, 2, 4, 6 Dakika Sürede, Üretilen Kompozitlerin Sertlik Değerleri.....	52

5.15	92,53 µm takviye tane boyutuna sahip, 750 °C sıcaklıkta, %6 SiC takviyeli, 500 d/dak devir sayılı, 2 dakikada üretilmiş kompozitlerin mikro yapısı.....	53
5.16	92,53 µm takviye tane boyutuna sahip, 750 °C sıcaklıkta, %6 SiC takviyeli, 500 d/dak devir sayılı, 4 dakikada üretilmiş kompozitlerin mikro yapısı.....	53
5.17	92,53 µm takviye tane boyutuna sahip, 750 °C sıcaklıkta, %6 SiC takviyeli, 500 d/dak devir sayılı, 6 dakikada üretilmiş kompozitlerin mikro yapısı.....	54
5.18	30N Yükte, 150, 240, 320 Meshte ve %3, %6, %12 Takvite Hacim Oranında Üretilen Kompozitlere Göre Aşınma Miktarları.....	56
5.19	30 N Yükte, % 3 Takviye Hacim Oranında, 4 Dakikada, 500dev/dak da, 700 °C 'de Üretilen kompozitin Aşınma Fotoğrafı.....	57
5.20	30 N Yükte, % 6 Takviye Hacim Oranında, 4 Dakikada, 500dev/dak da, 700 °C 'de Üretilen kompozitin Aşınma Fotoğrafı.....	57
5.21	30 N Yükte, %12 Takviye Hacim Oranında, 4 Dakikada, 500dev/dak da, 800 °C 'de Üretilen kompozitin Aşınma Fotoğrafı.....	58
5.22	10N, 20N, 30N Yükte, 320 Meshte ve %3, %6, %12 Takvite Hacim Oranında Üretilen Kompozitlere Göre Aşınma Miktarları.....	60
5.23	10 N Yükte, %6 Takviye Hacim Oranında, 4 Dakikada, 500dev/dak da, 800 °C 'de Üretilen kompozitin Aşınma Fotoğrafı.....	61
5.24	20 N Yükte, %6 Takviye Hacim Oranında, 4 Dakikada, 500dev/dak da, 800 °C 'de Üretilen kompozitin Aşınma Fotoğrafı.....	61
5.25	30 N Yükte, %6 Takviye Hacim Oranında, 4 Dakikada, 500dev/dak da, 750 °C 'de Üretilen kompozitin Aşınma Fotoğrafı.....	62
5.26	10N, 20N, 30N Yükte, 150, 240, 320 Meshte ve %3 Takvite Hacim Oranında Üretilen Kompozitlere Göre Aşınma Miktarları.....	63
5.27	10 N Yükte, %3 Takviye Hacim Oranında, 4 Dakikada, 500dev/dak da, 150 Mesh'te, 800 °C 'de Üretilen kompozitin Aşınma Fotoğrafı.....	64
5.28	20 N Yükte, %3 Takviye Hacim Oranında, 4 Dakikada, 500dev/dak da, 240 Mesh'te 800 °C 'de Üretilen kompozitin Aşınma Fotoğrafı.....	64
5.29	30 N Yükte, %3 Takviye Hacim Oranında, 4 Dakikada, 500dev/dak da, 320 Mesh'te, 800 °C 'de Üretilen kompozitin Aşınma Fotoğrafı.....	65

1. GİRİŞ

Günümüz metal malzemelerinin birçok özellikleri gelişen teknolojinin ihtiyacına cevap veremeyince, daha üstün özelliklere sahip kompozit malzemeler üretilmeye başlanmıştır ve bu konuda hızlı bir gelişme sürecine girilmiştir. Kompozit malzemeler klasik malzemelere göre çok daha hafif ve sağlamdırlar. Yapılan çalışmalar neticesinde bu malzemelerin mekanik, kimyasal ve elektrik özelliklerinin iyileştirilmesi mümkün olmuştur. Kompozit malzemeler yaygın şekilde havacılık, deniz taşıtları, otomotiv, inşaat, askeri ve uzay teknolojisi alanlarında kullanılmaktadır [1, 2].

Metal Matriksli Kompozitler (MMK)'in özelliklerini iyileştirmek için metal matriks içerisine güçlü seramik takviye elemanları eklenmektedir. En yaygın kullanılan takviye elemanları SiC, Al₂O₃ ve TiC fiberleri ve partikülleridir. Metallerin süneklik ve tokluğu, seramiklerin yüksek mukavemet ve yüksek elastik modüllü özellikleri ile birleştirilmeleri neticesinde son derece önemli mühendislik malzemeleri ortaya çıkmaktadır [3, 4].

Şahin, Roebock ve diğ. bu üstünlüklerinin yanında mekanik özelliklerin ve düşük yoğunluğun daha çok önem kazandığını belirtmişlerdir [5, 6]. Kompozit malzemelerin üretiminde bütün mühendislik malzemeleri yaygın olarak kullanılmakta ve her geçen gün farklı takviye elemanları denenmektedir. Alüminyum, magnezyum, silisyum ve alaşımları MMK üretiminde, hafif ve sünek olmalarından dolayı en çok kullanılan matris malzemeleridir. Alüminyum gibi doğada çok bulunan, işleme kolaylığına sahip, hafif, korozyon direnci ve takviye edilebilirlik gibi özelliklere sahip malzemeler genel tercih sebebini teşkil eder. Bu özelliklerini, takviye elemanı sayesinde daha da geliştirerek, yüksek çekme mukavemeti, ergime sıcaklığı, ısı kararlılık, kolay üretilebilirlik özelliklerinin artırılması söz konusudur. Alüminyum alaşımlarının düşük ergime sıcaklıkları onların kullanılmasında problemdir. Yüksek sıcaklık uygulamalarında Ti ve alaşımları kullanılmaktadır.

Alüminyum matrisli kompozitlerin üretilmesinde SiC, Al₂O₃ , C ve SiO₂ gibi farklı takviye elemanları kullanılmaktadır. Bunların özellikleri geliştirilerek uzay, havacılık ve birçok ticari alanda kullanılmaktadır [7]. Alüminyum matrisler kısa fiberler(viskerler), uzun (sürekli) fiberler ve parçacıklarla güçlendirilerek kompozit üretiminde kullanılmaktadırlar.

MMK'ler katı ve sıvı hal işlemlerinin uygulandığı, birçok üretim yöntemleriyle sıkıştırılmalı döküm, karıştırmalı döküm ve püskürtme çökmesi gibi sıvı hal işlemleridir [8, 9].

Düşük yoğunluğa ve ergime sıcaklığına, iyi dökülebilirliğe, iyi mekanik ve fiziksel özelliklere ve birçok seramik takviye malzemesini kolay ıslatabilmesi dolayısıyla alüminyum alaşımlarının, kompozit malzemelerde matris olarak kullanımda başta gelmektedir [39,40].

Son yıllarda çeşitli alüminyum alaşımlarının SiC ve Al₂O₃ gibi seramiklerin partikül ve kısa fiberleriyle takviye edilerek elde edilen kompozitler önemli miktarda ilgi uyandırmıştır [41,42]. Kompozitlerin ekonomik olarak elde edilebilmeleri neticesinde ticari uygulama alanları artmıştır. Bunlara örnek olarak; kısa alimüna fiberlerle takviyeli Toyota dizel motor pistonları, SiC partikülleri ile takviye edilmiş piston kol ve diğer aksesuarları gösterilebilir[47,48]. SiC veya Al₂O₃ ile takviye edilmiş alüminyum alaşım matrisli kompozitlerin uzay ve otomotiv endüstrileri uygulanmaktadır. Pistonlar, silindir kafaları gibi malzemelerin kullanımı tribolojik özelliklerinin çok önemli olduğu yerlerde gittikçe artmaktadır [43,44,45]. Bu kompozitlerin üretiminde genellikle karıştırma ve infiltrasyon teknikleri kullanılmaktadır [46].

Bu çalışmada Al matris ve SiC takviye ile karıştırmalı döküm yöntemiyle kompozitler üretilmiştir. Bu çalışmada sıcaklık, karıştırma hızı, takviye hacim oranı ve süre parametreler olarak kullanılmıştır. Üretilen kompozitlerde parametrelerin gözenek, mikro yapı, sertlik, aşınma özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır.

2. KOMPOZİT MALZEMELER

2.1 Kompozitler

Kompozit malzeme iki ya da daha fazla değişik malzemenin en iyi özelliklerini yeni ve tek bir malzemedede toplamak amacıyla, makro düzeyde birleştirilmesi ile oluşturulan malzemeler olarak adlandırılır [10]. Kompozitler hakkında uygun bir ortak tanım yoktur. Fakat herhangi bir tanım genellikle şu noktaları içermelidir.

- Kompozit, iki ya da daha fazla fiziksel olarak ayrı ve mekaniksel olarak ayrılabilir malzemelerden meydana gelir.
- Kompozit, iki farklı malzemenin birisinin (takviye malzemesi) diğeri (matris malzemesi) içerisinde dağılımıyla meydana gelir.
- Kompozitlerin özellikleri kompoziti meydana getiren malzemelerin özelliklerinden çok farklıdır. Bazı durumlarda özellikleri çok üstündür.

Mühendislikte, metaller, plastikler ve seramikler olmak üzere üç gurup malzeme yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompozitlerin üretiminde hemen hemen bütün mühendislik malzemeleri matris malzemesi olarak kullanılırken gün geçtikçe farklı takviye elemanları denenmektedir. Kompozit malzeme genellikle parçacık veya elyaf şeklindeki takviye elemanlarıyla güçlendirilmiş bir bağlayıcı (matris) malzemededen müteşekkildir [11].

2.2 Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Kompozit malzemeler çoğunlukla, matris ve destekleyici olmak üzere iki bileşenden meydana gelmektedir. Kompozit malzeme üretimi ile malzemelerin şu özellikleri geliştirilebilmektedir.

- Dayanım
- Korozyon direnci
- Aşınma direnci
- Estetik özeliği
- Ağırlık
- Yorulma ömrü
- Sıcaklığa bağlı davranışı
- Isı yalıtımı
- Termal iletkenlik
- Ses yalıtımıdır

Bu avantajların hepsini aynı zamanda gerçekleştirmek imkânsızdır. Kullanım yerine ve özelliklerine bağlı olarak gereksinim duyulan özellikler artırılır. Böylece uygun kompozit malzemeler kullanılmaktadır [49,50,52].

2.3 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Kompozit malzemelerin dezavantajları göz önüne alındığı takdirde en büyük dezavantajı diğer malzemelere oranla daha pahalı olmasıdır. Bu durum bütün malzemelerin yeni olmaları ve dolayısıyla üretim yöntemlerinin yerleşmemiş ve üreticilerinin yüksek üretim oranlarına erişememiş olmalarından kaynaklanmaktadır. Bu malzemelerde avantaj olarak değerlendirilecek fakat bir dezavantaj olabilecek diğer bir durum da anizotropi gösteren malzemelerin dizaynı ve kullanılmalarında gösterdiği karmaşıklık ve kısıtlamalar olabilmektedirler. Kompozit malzemelerin ticari olarak kullanımı son yıllarda büyük oranda artmıştır. Çizelge 2.1'de tipik kullanım alanları verilmektedir.

Çizelge2.1 Kompozit malzemelerinin kullanım alanları [49].

Uzay	Uzay yapıları
Hava araçları	Uçak, Motor kutuları, ana kirişler, Kanat boşlukları, Ara gövde, Türbin bıçakları
Otomobil	Motor gövdesi, Ara gövde, Piston kolları, Akü plakaları
Elektrik	Motor fırçaları, Pil plakaları
Tıp	Protezler, Tekerlekli sandalye
Spor	Tenis raketleri, Olta çubukları, Bisiklet ve gövdeleri
Tekstil	Mekikler

2.4 Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Ana yapı ve katkı fazının belirlenmesindeki sonsuz seçenek, çok değişik özelliklere sahip kompozitlerin üretimini mümkün kılmaktadır ve özellikle hafifliğin önemli olduğu uygulamalarda pek çok soruna çözüm getirmektedir. Üretilen kompozitler, birbirlerinin açıklarını kapatmakta, her türlü uygulama için geliştirilmiş bir veya birkaç kompozit bulmak mümkün olmaktadır. Kompozitlerin en önemli avantajı, katkı fazı ve ana yapı oranlarının istenen miktarda ayarlanabilmesi ve servis koşullarına en uygun malzemenin üretim öncesi tasarlanabilmesidir [53].

Kompozitlerin elastik özelliklerinin bulunmasında şu varsayımlar yapılmaktadır:

- Fiber matris ve kompozitin elastik davranış gösterdiği,
- Fiber matris ara yüzeyinin mükemmel olduğu,
- Fiberlerin uygulanan kuvvetle paralel olduğu,
- Fiberlerin uniform dağılım gösterdiği kabul edilmektedir [51].

2.5 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozitler genellikle kullanılan matris malzemesi ve takviye elemanının şekline ve cinsine göre sınıflandırılırlar.

Matris malzemesine göre kompozitler;

- Polimer matrisli kompozitler
- Seramik matrisli kompozitler
- Metal matrisli kompozitler

Polimer matrisli kompozitler, düşük yoğunluk, ekonomiklik, kolay üretilebilirlik, mekanik özelliklerinin iyi olmaları ve yalıtkanlık gibi özelliklerinden dolayı endüstride yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Kompozit malzemelerin sıcaklık dayanımını büyük oranda matris malzemesi belirler. Plastik esaslı kompozitlerin ısı dayanımlarının düşük olması onların bir dezavantajıdır. Plastik esaslı kompozitler; yayma yöntemi, basma kalıplama ve transfer kalıplama, soğuk pres kalıplama, helisel sarma, torba kalıp ve profil çekme yöntemleri kullanılarak üretilirler [12].

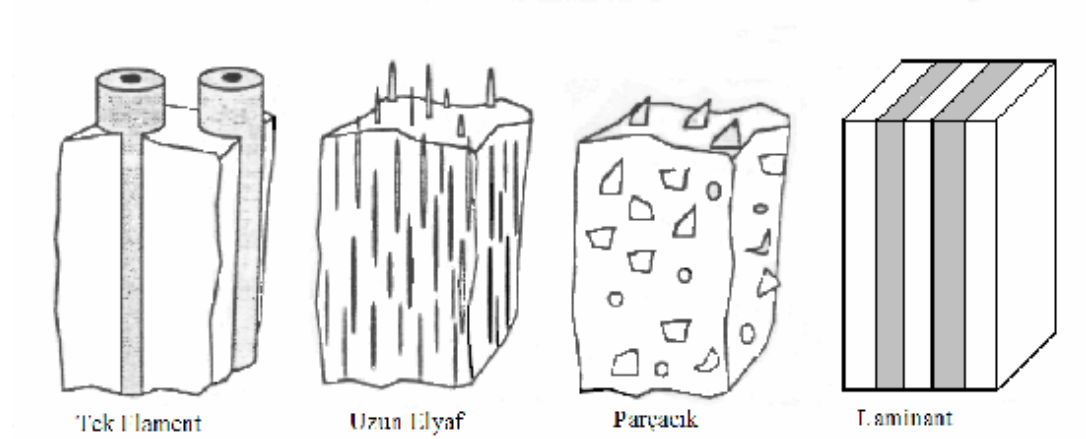
Seramikler ergime sıcaklıkları yüksek, yoğunlukları ve ısı genleşme katsayıları düşük, yalıtkan ve sert malzemelerdir. Ancak aşırı derecede gevrek malzemelerdir. Kimyasal ve ısı etkilere karşı dirençleri yüksektir.

Metaller saf halde yumuşak ve dayanımları düşük ancak alaşım yapılmak suretiyle sınırsız özellikler elde edilebilir.

Metaller çoğunlukla seramik, nadiren refrakter takviye elemanları ile güçlendirilerek metal matrisli kompozit malzemeler üretilmektedir.

Takviye elemanının şekline göre kompozitler;

- Tekflament
- Uzun ve kısa elyaf (fiber)
- Parçacık
- Laminant (Katmerli) olarak sınıflandırılırlar.



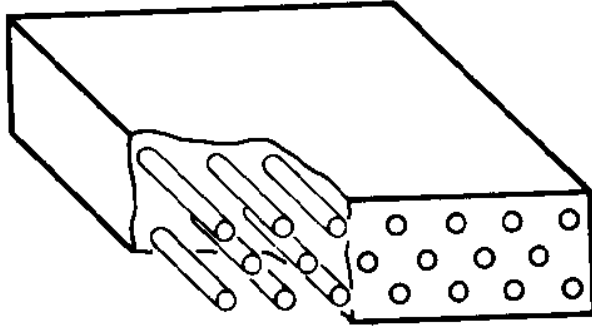
Şekil 2.1 Takviye elemanının şekline göre kompozit çeşitleri

2.5.1 Tekflament

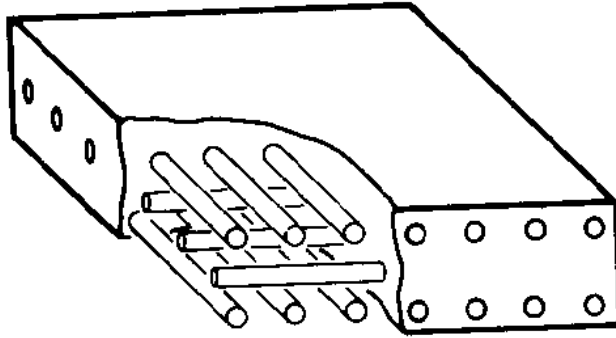
Bu tip kompozitlerde seramik esaslı ve metalik esaslı fiberler kullanılır. Sürekli lifler şeklinde olan bu filamentler en büyükleri 100- 20 m en küçükleri ise 20 m den daha küçük çaplarda üretilir ve kompozit içinde % 10- 70 gibi farklı hacim oranlarında kullanılırlar. Sürekli fiberler uygulamada kullanıldığı yere ve amaca göre tek filamentler halinde kullanılır. Filamentler kimyasal veya fiziksel buharlaştırma ile kaplama yapılarak üretilirler. İlk üretilen sürekli fiber boron ve silisyum karbür esaslı olmasına rağmen, daha sonraki çalışmalarda, düşük yoğunluk, mükemmel ısı direnç ve dayanıma sahip, karbon, silisyum karbür ve alümina esaslı elyaflar kullanılmıştır

Sürekli fiberler yönlendirilebilme özelliklerinden dolayı, diğer takviye elemanlarına göre bazı üstün özelliklere sahiptir. Tek yönde çekme

dayanımına maruz kalan bölgelerde, tek yönde yönlendirilmiş fiberler, fiber doğrultusunda maksimum performans gösterilirler. Buna karşın, fibere dik yönde daha düşük gerilme dayanımı elde edilir. Bunu da karşılamak için Şekil 2.2'de görüldüğü gibi iki boyutlu ve üç boyutlu ve istenilen açıda yönlendirme yapılabilir [33].



a



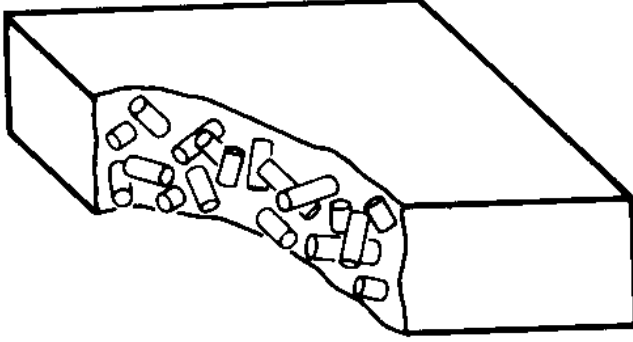
b

Şekil 2.2 Sürekli fiber takviyeli MMK Şematik yapısı (a) Tek doğrultuda yönlendirilmiş, (b) 90° açılı çift doğrultuda yönlendirilmiş [33].

2.5.2 Uzun ve kısa elyaf (fiber)

Kısa fiber veya süreksiz fiber olarak adlandırılan fiberler 0,5- 6 mm uzunluğunda ve yaklaşık 3–5 m çapında üretilirler. Kısa fiberli kompozitler, takviye elemanının eriyik içinde malzemeye birleştirilmesiyle, sıkıştırılmalı dökme ön şekli verilmiş kalıba basınçlı olarak eriyik emdirilerek üretilirler.

Eriyik içinde takviye elemanının hacim oranı, esasında sıvının viskozitesinin yükselmesi ile sınırlıdır. Ön şekil halindeki fiberlere ergimiş metal süzdürülürken hacim oranları önem arz ettiğinden fiber oranı en çok % 35 civarındadır. Bu değer üstündeki uygulamalarda istenilen mekanik ve fiziksel özellikleri elde etmek zorlaşmaktadır. Kısa fiberler genellikle rastgele yönlendirilirler.



Şekil 2.3 Kısa elyaf takviyeli metal matrisli kompozitin Şematik yapısı [54].

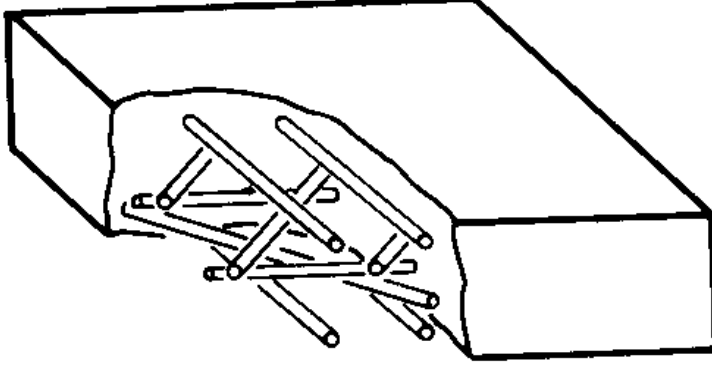
2.5.3 Parçacık

Bu tip kompozitler tek veya iki boyutlu makroskobik parçacıkların veya sıfır boyutlu olarak kabul edilen mikroskobik parçacıkların matris ile oluşturdukları. Pratikte en çok kullanılan takviye elemanları Al_2O_3 ve SiC'den oluşan seramiklerdir. Seramik parçacık takviyeli metal matrisli kompozit malzemeler üstün, özel mukavemet ve özel modül, aşınma dayanımı ve yüksek sıcaklık mukavemetine sahiptir [55,56].

2.5.4 Laminant (Katmerli)

Rastgele düzlemsel yönlendirilerek takviyelendirilmiş MMK"ler kısa fiberlerden oluşurlar. Fakat bu fiberler matris içinde geliş güzel ve rastgele iki boyutlu olarak yönlendirilmişlerdir. Bu tip yönlendirilmiş bazı kompozitler sodyum silikat"dan oluşan orta sululukta bir bağlayıcı ile askıya alınarak

(tutularak) katı ön şekil haline getirilir, bu işlemten sonra preslenir veya santrifüj sistemi ile iyice sıkıştırılıp kurutularak fırınlanır [57].



Şekil 2.4 Rastgele düzlemsel yönlendirilerek takviyelendirilmiş MMK yapısı [57].

2.6 Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları

Kompozit malzemelerin, genellikle kendi baslarına elde edilemeyen, bileşenlerinin en iyi özelliklerinin bir malzemedeki toplanması önemli bir avantaj meydana getirmektedir. Kompozit malzeme üretilmesi ile; rijitlik, yüksek yorulma dayanımı, mükemmel aşınma direnci, yüksek sıcaklık kapasitesi, iyi korozyon direnci, düşük özkütle, çekicilik ve estetik görünüm v.b. özellikler sağlanabilmektedir [58,60].

Uygun matriks/takviye elemanı seçiminin, sistemin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine etkisi büyüktür. Çünkü kompozit içerisinde matriksler tarafından yükün takviye elemanına iletilmesinde matriks ile takviye elemanı arasındaki ara yüzey bağının da kuvvetli olması gerekmektedir.

Bu avantajları yanında; üretim güçlüğü, pahalı olması, işleme problemi, maliyetin yüksek olması ve gerekli yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesinin güçlüğü, diğer malzemeler gibi geri dönüşümün (recycle) olmayışı ve kırılma uzamasının az oluşu gibi dezavantajları vardır [13].

2.7 Metal Matrisli Kompozitler

MMK, ana yapıyı metalin oluşturduğu ve takviye elemanı olarak da seramik ya da refrakter bir takviye elemanın kullanıldığı kompozitlerdir. Bu malzemelerin seçiminde hemen hemen hiçbir sınırlama yoktur. Deneysel çalışmalara bakıldığında çok farklı türlerin kullanıldığı göze çarpar. Son 45-50 yıldır MMK'ler ile ilgili pek çok araştırma yapılmış ve literatürde olumlu şekilde yer almıştır [14-15]. Ancak bunların optimum kullanım şartlarının belirlenmesinde ve pratikte kullanılmasında temel bazı şartlar aranır. Bunları şöyle sıralamak mümkündür;

- Yüksek elastikiyet modülü.
- Yüksek mukavemet.
- Yüksek tokluk ve darbe özellikleri.
- Yüksek elektrik ve termal iletkenlik.
- Isıl şoklar ve sıcaklık değişikliklerine karşı düşük hassasiyet ve iyi sürünme direnci.
- Sürekli mükemmel özellik.
- İyi yüzey dayanımı ve yüzey çatlaklarına karşı düşük hassasiyet.
- Tasarım, üretim, biçimlendirme, birleştirme ve son işleme

bakımından mükemmel teknolojik birikim [16-17].

2.7.1 MMK'ler İçin Matris Malzemeler

Matris malzemeleri takviye elemanlarını bir arada tutarak birkaç kritik fonksiyonu da yerine getirirler. Matris malzemeleri takviye elemanlarına yük aktarımı yaparlarken takviye elemanlarını aşınmaya ve korozyona karşı korurlar. Takviye elemanlarından kırılğan çatlakların yayılmasını engeller. Matris malzemeleri kayma, basma, akma, sürünme, dielektrik ve termo mekanik özelliklerini de belirler [20]. Kompozit malzemelerde matristen

beklenen özellikler başta hafiflik olmak üzere korozyon direnci, kırılma tokluğu ve takviye elemanı ile uyumluluğudur. Metal matrisli kompozitler için hemen hemen bütün mühendislik malzemeleri matris olarak kullanılabilir. Bunların başlıcaları Al, Ti, Mg, Cu, Fe, Co, Mo, ve Ni gibi metaller ile bunların alaşımlarıdır. Alüminyumun hafifliği, işleme kolaylığı, korozyon direnci ve takviye elemanı ile uyumluluğu, en yaygın kullanılan matris malzemesi olmasında etkili olmuştur. Alüminyumun düşük ergime sıcaklığı yüksek sıcaklıklarda kullanımını sınırlandırmaktadır. Bu durumlarda titanyum ve alaşımları çok kullanılan matris malzemelerdir. Ayrıca özellikleri takviye elemanı sayesinde daha da geliştirilerek, yüksek çekme mukavemeti, ergime sıcaklığı, termal kararlılık, kolay üretilebilirlik özelliklerinin artırılması söz konusudur.

Silisyum karbür fiberlerin oksidasyon direnci, yüksek sıcaklıklarda mukavemet ve rijitliğini koruma özelliği bor fiberlerden daha iyidir. Ergimiş alüminyum SiC fiberler üzerindeki etkisi de bor fiberlere göre çok düşüktür. Bu nedenle alüminyum matrikslerin takviyelendirilmesinde kullanılan bor filamentleri SiC ile kaplanır. Bor fiberlere benzer bir yöntemle üretilen silisyum karbürler, uzun kristalli yapıya sahip olmalarına rağmen, yüzeyleri boron fiberlerinkinden daha düzgündür. SiC fiberlerin yanında metalik matrisli kompozitlerde SiC whiskerslerde kullanılır. Bu SiC whiskersler 20×10^{-6} - 51×10^{-6} mm çapında ve 30 mm uzunluğunda üretilirler. Şahin, SiC whiskerslerle üretilen kompozitlerin önemli bir avantajının, ekstrüzyon, haddeleme, kalıpta dövme ve presleme gibi plastik şekil verme tekniklerinin, whiskerslerde mekaniksel bir hasar meydana getirmeden uygulanabilmesi olduğunu belirtmiştir [18].

2.8 Silisyum karbür (SiC)

1960'lı yıllarda plastik ve metal matrisli kompozitler için takviye fazı olarak yüksek özgül dayanım ve elastik modülüne sahip malzemeler üzerinde oldukça yoğun çalışmalar yapılmıştır. Bunlar arasında boron, SiC ve boron

karbür gibi malzemelerde geniş olarak yer almış ve deneysel araştırmaların çoğu boron üzerine odaklanmıştır [59].

Yüksek dayanım, yüksek modül, ve düşük yoğunluğa sahip olan boron elyafın kimyasal buharlaştırma yöntemi ile üretilerek yüksek performanslı kompozitler için geliştiği bilinmektedir. Boron elyafların keza reğineli kompozitlerde takviye elemanı olarak kullanılması daha iyi bilinmesine rağmen bu takviye elemanı da MMK'lerin kullanımında oldukça ilgi uyandırmıştır. Ancak yapılan çalışmalarda, herhangi bir metal matrisle boron elyafın kullanımı halinde bazı dezavantajlar ortaya çıkmıştır. Bu dezavantajlar, SiC elyafın geliştirilmesine yol açmıştır.

SiC'ün üretimine bakılacak olursa; silisyum karbür fiberler, kimyasal buhar fazında yoğunlaştırma ve SiC'den fiber çekilerek üretilir. Takviye elemanı olarak son zamanlarda SiC'e ilgi öncelikle ekonomikliği nedeniyle artmaktadır. Ancak bunlar daha yüksek sıcaklıklarda MMK uygulamalarında alternatif olarak sağlanmaktadır. Çünkü boron elyaf ergimiş alüminyum ile hızla kimyasal reaksiyona uğrayarak mekanik özelliği düşmektedir. SiC'in; parçacık, elyaf ve kaplama yanında whisker türleri de üretilmektedir. Bu whiskerle üretilen kompozitlerde ikinci bir operasyon ekstrüzyon, haddeleme, kalıpta dökme ve presleme gibi plastik sekil verme tekniklerinin mekaniksel bir hasar oluşturmaksızın uygulanabilmesi önemli bir avantajını teşkil etmektedir [61].

Karıştırmalı döküm tekniği yardımıyla da metalik matrisler içerisine SiCw ile takviyelendirme yapılabilir. Ancak kompleks şekilli parçaların, sıcak izostatik presleme tekniği ile üretimi daha ekonomik olarak gerçekleştirilmektedir. Çünkü preslenen parçalarda bitirme operasyonu için az zaman sarf edilir. SiC ile güçlendirilen alüminyum kompozitlerin islenebilirliği diğer takviye elemanlı kompozitlere göre daha iyidir.

2.9 Kompozitlerin Üretim Şekilleri

Metal matrisli bir kompozit malzemenin üretim tekniği; üretilecek parçanın şekline, istenilen mekanik ve fiziksel özelliklere, matrise, takviye elemanı şekli ve türüne göre belirlenir. Her üretim yönteminin kendine özgü avantajları ve dezavantajları mevcuttur.

Üretim yöntemleri; katı faz üretim yöntemleri, sıvı faz üretim yöntemleri, İn-situ Tekniği ve diğer yöntemler olarak sınıflandırılabiliriz. Üretim yönteminin seçiminde, üretilecek mamul veya yarı mamulün önceden belirlenen fiziksel ve mekanik özellikleri değerlendirilip, şu parametreler dikkate alınarak yöntem belirlenmesi yapılır.

- Çalışma sıcaklığı aralığı
- Takviye malzemesi şekli
- Matris malzemesi ile takviye malzemesinin uyumu
- Matris ve takviye malzemelerinin ek işlem gereksinimi
- Matris malzemesi ile takviye malzemesi arasında oluşabilecek reaksiyonlar
- Elde edilecek üründen istenen boyut tamlığı
- Takviyenin matris malzemesi içerisinde dağılımının homojen olması
- Matris-takviye ara yüzey bağının tam olarak sağlanabilmesi.

Üretim yöntemleri;

- Katı hal işlemleri
- İn-situ işlemleri
- Sıvı hal işlemler olmak üzere üç ana grupta toplanabilir [18].

2.9.1 Katı Hal İşlemleri

Katı hal üretim yöntemlerinde matris malzemesinin ergime sıcaklığı altındaki bir sıcaklıkta farklı işlemler uygulanarak kompozit malzeme üretilir. Katı hal üretim yöntemlerinin başlıcaları;

- Toz metalürjisi
- Difüzyonla birleştirme
- Sıcak haddeleme

Toz metalürjisi yöntemi en yaygın kullanılan kompozit malzeme üretim tekniğidir. Bu yöntemle toz halindeki matris ve takviye elemanları birlikte karıştırılarak mekanik olarak alaşımlanır ve istenilen şekli oluşturmak için kalıba konularak preslenir. Preslemeden sonra sinterleme işlemi uygulanır. Sinterleme sonrasında püskürtme veya haddeleme gibi ikincil işlemler son şekil verme için gerekli olabilir.

Difüzyonla birleştirme yönteminde levha veya yaprak şeklindeki matris malzemeleri ile levha veya uzun fiber şeklindeki takviye elemanları üst üste konularak birlikte ergime sıcaklığının altında bir sıcaklıkta preslenerek difüzyon birleşmeleri sağlanır [21]. Matris ve takviye elemanlarının birleşecek yüzeylerinin düzgün, temiz ve oksitsiz olması difüzyonla birleşmenin başarısında önemli bir rol oynar.

Sıcak haddeleme işlemleri difüzyonla birleştirme işlemine benzer. Bu yöntemde levha halindeki matrisler ile bunların arasına konulan fiberler yüksek sıcaklıklarda haddelenir. Daha sonra basınç kaldırılır ve termal uzamalarda uyumsuzluklardan ileri gelen kalıcı gerilmeleri en aza indirmek için, komple parça yavaş şekilde soğumaya bırakılır [19-23]. Geliştirilen yöntemlerle takviye fazının hacimsel oranı % 40'a kadar çıkarılmıştır [25-27].

2.9.2 İn-situ işlemler

Bu tür kompozit üretim tekniklerinde malzeme içerisinde farklı fazların oluşturulması ve bu fazlardan birinin veya bazılarının matris; diğerlerinin de takviye elemanı olarak davranması ile kompozit üretimi sağlanır. Bu işlemlerde farklı birkaç yöntem kullanılır.

- Ötektiklerin yönlü katılaştırılması
- Tercihli yönlendirilmiş metal oksidasyonu
- Ekzotermik reaksiyon işlemi

Ötektik bileşimde olan bir ergiyik kontrollü olarak katılaştırılırsa yan yana dizilmiş iki farklı fazda katılırlar. Fazlardan biri yeterli miktarda ise enerji bakımından fiber oluşturmaya elverişlidirler. Lanxide Corporation [22] tarafından geliştirilen tercihli yönlendirilmiş metal oksidasyonu işlemlerinde Mg ilave edilmiş Al eriyiğinin yüksek sıcaklığa çıkarılmasıyla alümina kabuğun kararsız hale geçmesi ve kılcal hareketlerle seramik parçacıkların ergiyik içerisinde oluşması prensibine dayanmaktadır.

Martin Marietta Corporation [22] tarafından geliştirilen ekzotermik reaksiyon işlemi, farklı karışımların kendi kendine yayılan bir reaksiyonunun oluşturduğu yüksek bir sıcaklığa ısıtılmasıyla intermetalik bileşikler içerisinde çok ince bir dağılımla seramik parçacıklar elde edilir. Bu işlemlerde sıcak izostatik presleme gibi ikincil bir işlemde iyi sonuç alınmaktadır.

2.9.3 Sıvı Hal İşlemler

Sıvı hal üretim işlemleri, ergitilmiş matris malzemelerinin takviye elemanları ile herhangi bir şekilde temasa geçirilerek aralarında bağ oluşturma işlemleridir [24]. Yaygın olarak kullanılan sıvı hal üretim işlemlerini şöyle sıralamak mümkündür.

- İnfiltasyon
- Sıkıştırmalı döküm
- Basınçlı döküm
- Yarı katı döküm
- Karıştırmalı döküm
- Püskürtme çökmesi

İnfiltasyon yöntemi normal atmosferde veya vakumlanmış kalıplarda ön şekil verilmiş (preform) parçalar içerisinde sıvı metalin basınçlı veya basınçsız olarak doldurulması işlemidir [26]. Katılaşma sırasında gözeneklerin yüzeyleri çekirdekleşme bölgeleri olarak davranıp ince tanelerin oluşmasında yardımcı olur. Bu yöntemlerle özellikle magnezyum ve alüminyum alaşım matrisli kompozitler başarı ile üretilmektedir.

Sıkıştırılmalı döküm yönteminde, takviye elemanından oluşan blok parça kalıba yerleştirilerek sıvı metalin kalıp içerisine 70-100 MPa basınç altında dökülmesi ve basınç altında katılaşması ile kompozit malzeme üretilmektedir [30-33]. Basınç altında döküm ve katılaşmadan dolayı parçalarda gözenek, gaz boşlukları ve çekme gibi döküm hataları yok denecek kadar azdır. Sistemin yüksek hidrolik basınç gereksinimi, büyük parçaların üretimine imkan vermemesi gibi dezavantajları söz konusudur. Basınçlı dökümde sıkıştırılmalı döküme benzer fakat kullanılan yükler daha düşüktür. Genellikle 10-15 MPa basınç bu tür dökümler için yeterli görülmekte ve büyük boyutlu parçaların üretilmesi mümkün olmaktadır [28].

Savurma döküm yönteminde de merkezkaç kuvvetinden yararlanılarak, sıvı metal döner kalıp içerisine basınçla gönderilir. Döküm parçaların basınç altında yönlü katılaşması sağlanır. Genellikle silindirik ve simetrik parçaların dökümü yatay eksenli olarak yapılırken, simetrik olmayan parçalar bir dikey yolluk etrafında sıralanarak dökülebilirler. Gaz boşlukları ve inkilüzyonlar merkezkaç kuvvetinin etkisiyle iç yüzeyde toplanırlar. Yoğunluk farklılığının fazla olduğu metallerin dökümünde yaygın olarak segregasyon hatası

görülmektedir [29-31]. Yarı katı döküm işleminde parçacıklar veya kısa fiberlerin sıvıya ilave edilip karıştırılması ve yarı katı hale getirilerek veya önceden yarı katı hale getirilmiş sıvı içerisinde takviye elemanlarının katılarak dökülmesi işlemidir. Bu yöntemde parçacıkların yüzme ve çökme gibi problemlerinin en aza indirilmesi mümkündür [32].

Karıştırılmalı döküm yönteminde takviye elemanları sıvı metal içerisine ilave edilip karıştırılır ve homojen bir karışım sağlandıktan sonra kalıplara dökülerek katılaşmaya bırakılır. Homojen bir yapı elde edilirken gözenek ve boşluklar sistemin başlıca problemidir. Püskürtme çökmesinde bir atomizerden akan sıvı içerisine takviye elemanı tozlarının katılarak atomize edilen yarı katı damlacıkların bir kalıp üzerinde toplanması ile matris ve takviye elemanları karıştırılır. Toz metalürjisi tekniği ile kompozit üretimi sağlanır. Atomize olan tozların hızlı soğumasından dolayı ince tane yapıları elde edilir. Bu metot da alüminyum gibi ergime derecesi nispeten düşük olan metallere uygulanmalıdır. Son parçanın şekli ise atomize etme şartlarına, toplayıcı kalıp hareketine ve şekline bağlıdır [34].

3. MALZEMELERDE AŞINMA

3.1 Giriş

İnsanlığın tükettiği toplam enerjinin büyük bir bölümü kayma sırasında meydana gelen sürtünme kayıplarını yenmek için harcanmaktadır. Yapılan araştırmalarda, daha uygun bağlantı malzemelerinin kullanılması veya daha iyi bir yağlama ile sürtünmenin azaltılabilmesi bugünkü teknolojinin önemli bir sorunudur.

3.2 Aşınma

Makine parçalarının tamiri için sarf edilen işçilik, tamir işinin kural olarak fazlaca mekanize olmaması nedeniyle bu parçaların imalinde sarf edilen işçilikten önemli miktarda fazladır. Dolayısıyla her geçen gün makine parçalarında aşınmaya karşı daha dayanıklı olma özelliği aranmaktadır. Aşınma derecesinin özellikle tasarım aşamasında hesaplanması parçaların aşınma ömrünün önceden saptanmasında önemli rol oynamaktadır. Başlarda tasarım yapılırken, malzemenin aşınma dayanımı hususunda sadece malzeme sertliği ve yükün meydana getirdiği etkiler göz önüne alınmıştır. Oysaki deneyler malzemenin elastik nitelikleri, parçaların çalışma koşulları (yük, hız, sıcaklık), dış koşullar (yağlama ve çevre) ve parçaların birbiri ile temas şekli tasarım özelliklerinin aşınma üzerinde bir o kadar etkisi bulunduğunu göstermektedir.

Aşınma, genellikle yüzey ve yüzey altı bir hasar tipidir. Birbiriyle temasta olan malzeme yüzeyleri, oksit filmleri (tabii tabakalar) ve yağlayıcılar ile korunmaktadır. Fakat mekanik yüklemeler altında oksit tabakasının veya yağlamanın bozulması, iki yüzeyin birbiriyle temasına neden olur. Bu temasla oluşan sürtünme, malzemelerin çalışma şartlarındaki ömrünü ve performansını sınırlayan aşınmaya neden olur [62].

Aşınma, hareketli makine parçalarının ömürlerini ve performanslarını azaltan, parçaların bozulmasına ve kullanılmayacak duruma gelmesine sebep olan bir hasar türü olup, makine ve teçhizatın kullanılmasında çok büyük ekonomik kayıplara (enerji, iş gücü, malzeme v.b.) sebep olmaktadır. Bu nedenle makine ve teçhizat tasarımında aşınmanın çok iyi bilinmesi ve dikkate alınması gerekir. Aşınma ile ilgili terminoloji, ASTM 640'da yer almaktadır. Aşınmayı en aza indirmek için uygun yağlama, malzeme ve tasarım seçimi yapılmalıdır [63,64].

Aşınma, temelde bir yüzey hasarı ve bir yüzey olayıdır. Yüzeyi etkileyen her durum aşınma davranışını etkiler [53].

3.3 Aşınmanın Temel Nedenleri

Aşınma, kendisini yavaş yavaş gösteren bir yıpranma faktörüdür. Genellikle makine hasarlarının % 62'sini kullanma hatalarının, % 38'ini ise teknik eksikliklerin oluşturduğu tahmin edilmektedir [66].

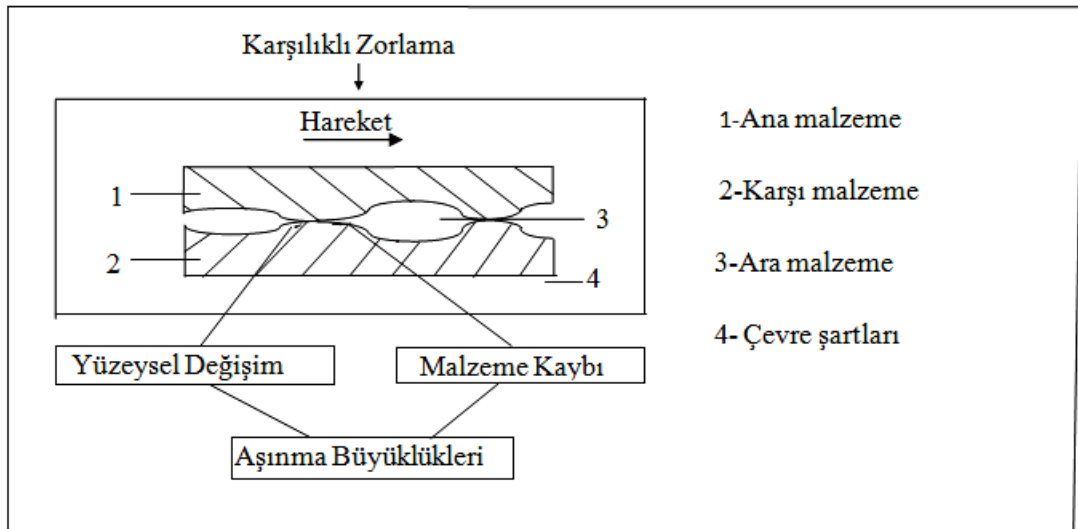
Aşınmanın başlaması ve devam edebilmesi için sürtünme olmalıdır. Sürtünen iki cismin temas alanı, görünen temas alanından küçüktür. En hassas işleme yöntemleri ile de olsa işlenen katı malzemelerin yüzeyi hiçbir zaman düz değildir. Çünkü imalat tekniğinde tam olarak pürüzsüz düz bir yüzeyin elde edilmesi imkânsızdır. Yüzeyi elde etmede kullanılan kesici ve yontucu araçlar ne kadar itinayla hazırlanırsa hazırlansın, işlem sonucu elde edilen yüzey üzerinde mutlaka belirli büyüklükte pürüzlülük, yani yüzeyde birkaç mikron yüksekliğinde mikroskobik pürüzler bulunur [65].

Yüzeylerin temas etmesi halinde ise yüzeylerdeki karşılıklı pürüzler etkileşir. İlk temas birkaç pürüz tepeleri arasında oluşur. Pürüz tepeleri arasındaki girintiler temas etmezler. Gerçek temas alanı, temasta olan pürüzlerin toplam alanıdır. Yükleme şekli ve yük temas alanının büyüklüğünü etkiler. Yük arttıkça ilk temas eden pürüzler şekil değişimine uğrar, yani ezilir ve bunun

sonucu kısa boyutlu yeni pürüzler birbiri ile temas ederler. Yüklemenin temas etmesi ile de pürüz sayısı azalır ve gerçek temas alanı görülen temas alanına yaklaşır .

Yüzey pürüzlüğünün artışı ile aşınma direnci azalır. Temasta olan cisimlere bağıl hareket yaptırabilmek için sisteme bir enerji girer. Bu enerji yük ve hareket şeklindedir. Giriş ile çıkış arasındaki fark, mekanik titreşime, ısı, ses ve sürtünme enerjisine ve aşınmaya dönüşür [67,68].

Bir aşınma sisteminde; Ana malzeme, karşı malzeme, ara malzeme, çevre şartları önemlidir. Tribolojik sistemi oluşturan temel unsurlar;



Şekil 3.1 Tribolojik sistemin şematik gösterimi [63].

3.4 Aşınmayı Etkileyen Faktörler

1) Ana malzemeye bağlı faktörler

2) Karşı malzemeye bağlı faktörler ve aşındırıcının etkisi

- Ortamın Etkisi
- Servis koşulları

3.4.1 Ana Malzemeye Bağlı Faktörler

- Malzemenin kristal yapısı
- Malzemenin sertliği
- Elastisite modülü
- Deformasyon davranışı
- Yüzey pürüzlülüğü
- Malzemenin boyutu

3.4.2 Karşı Malzemeye Bağlı Faktörler ve Aşındırıcının Etkisi

3.4.2.1 Ortamın Etkisi

- Sıcaklık
- Nem
- Atmosfer

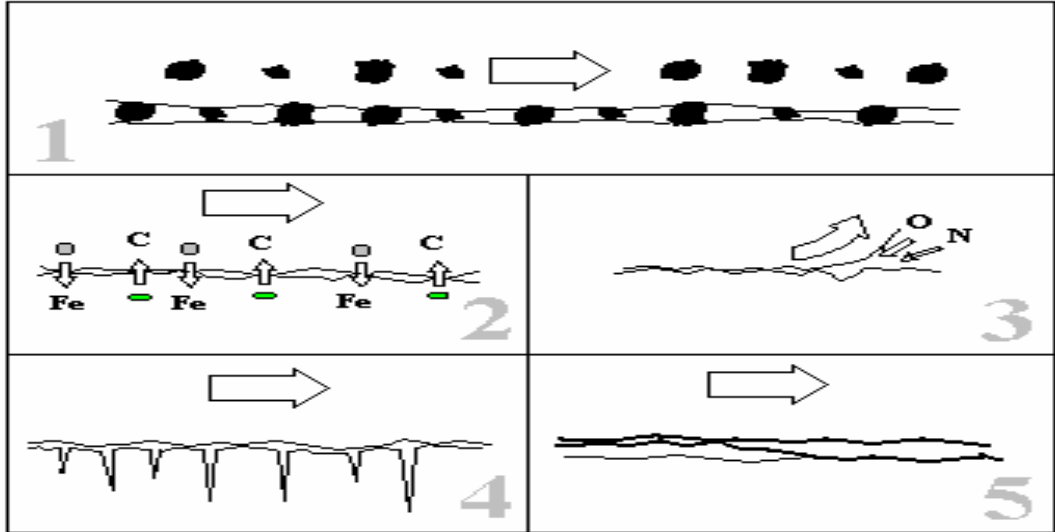
3.4.2.2 Servis Koşulları

- Basınç
- Hız
- Kayma mesafesi [57].

3.5 Temel Aşınma Mekanizmaları

Bir yüzeyin kendisi ile temas halinde olan başka bir yüzey üzerindeki hareketinin sonucunda yüzeylerinden malzemenin uzaklaşmasına aşınma adı verilmektedir. Hem sürtünme hem de aşınma aynı tribolojik temas prosesinin sonucu olarak bir arada meydana gelirler. Genellikle düşük sürtünmenin düşük aşınmaya, yüksek sürtünmenin yüksek aşınmaya sebep olduğunu deneysel sonuçlar göstermektedir. Fakat bu durum genel bir kural değildir. Normal aşınma şartlarında birden fazla temel aşınma mekanizmasının aynı anda etki ettiği durumlara sıkça rastlanır. Bunlar;

- Abrasif aşınma,
- Difüzyon aşınması (atomik yer değiştirme),
- Oksidasyon aşınması,
- Yorulma aşınması(statik veya dinamik),
- Adhezif aşınma [69].

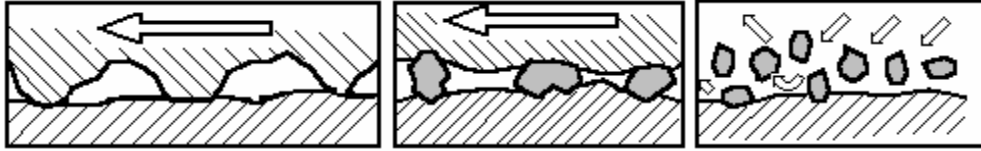


Şekil 3.2 Temel aşınma mekanizmaları 1) Abrasif aşınma, 2) Difüzyon aşınması, 3)Oksidasyon aşınması, 4)Yorulma aşınması, 5)Adhezif aşınma

- Abrasyon,
- Difizyon,
- Oksitlenme,
- Yorulma,
- Adhesyon.

3.5.1 Abrasif Aşınma

Abrasif aşınma; bir yüzeyin temas halinde bulunduğu diğer yüzeyden daha sert olduğu durumlarda veya temas bölgesinde sert taneciklerin bulunduğu durumlarda meydana gelir. Sert yüzeyin yüzey pürüzlülükleri yumuşak yüzeye bastırıldığı zaman yumuşak malzemede plastik akma meydana gelir. Şayet sert yüzey teğetsel olarak hareket ettirilirse dalma meydana gelir ve yumuşak malzemenin yüzeyinde kanallar ve çizikler meydana gelir. Sert yüzeyin geometrisine ve nüfuziyet derecesine bağlı olarak yüzeyden malzeme uzaklaştırılır. Abrasif aşınma, iki elemanlı, üç elemanlı ve erozyon aşınması olarak üç gruba ayrılır. Abrasif aşınma mekanizmaları Şekil 3.3'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Abrasif aşınma mekanizmaları

- İki elemanlı abrazyon,
- Üç elemanlı abrazyon,
- Erozyon [70].

İki elemanlı abrasif aşınma, pürüzlü bir yüzeyin veya sabit aşındırıcı taneciklerin hareketi ile yüzeyden malzemenin kaldırılmasıdır. Üç elemanlı

abrasif aşınma ise, iki yüzey arasında kayma ve yuvarlanma hareketi yapabilen aşındırıcı taneciğin yüzeyden malzeme aldırmasıdır. Serbest bir şekilde akan taneciklerin yüzeyden malzeme kaldırmasına ise erozyon denilmektedir. Abrasif aşınma malzemenin yüzey sertliği ile yakından ilgilidir ancak, mikro yapı da önemli rol oynar[72]. Abrasif parçacık sertliğinin yüzey sertliğine oranı önemlidir. Aşınma direnci yalnızca abrasif parçacıkların ve yüzeyin sertliklerinin oranına bağlı değil aynı zamanda abrasif parçacıkların dayanımına, sekline ve tane boyutuna da bağlıdır[71,73]. Abrasif taneciklerin metal yüzeyini mikro boyutta kazıması plastik olarak şekil değiştirmiş aşınma izleri meydana getirirse de malzeme kaybına neden olmaz. Ancak aşındırıcı taneciklerin yüzeyi bir torna kaleminin malzemeyi kestiği gibi mikro boyutta kesmesi ve yüzeyden talaş kaldırması aşınma izleri yanında malzeme kaybına da sebep olur. Mikro kazıma ve mikro kesme tok bölgede meydana gelir ve aşınma direnci sertliğin artmasıyla artar. Ancak gevrek mikro yapıli bölgelerde mikro çatlaklar parçacık ayrılmalarına sebep olur bundan dolayı aşınma direnci artan sertlikle azalır [73].

3.5.2 Difüzyon Aşınması

Difüzyon aşınmasında, yüzeylerin karşılıklı çalışması sırasında oluşan kimyasal olaylar daha etkili olmaktadır. Karşılıklı çalışan malzemelerin kimyasal özellikleri ve karşılıklı malzemeyle olan birleşme eğilimleri difüzyon aşınması mekanizmasının oluşmasını sağlamaktadır. Karşılıklı çalışan malzemelerin sertliği bu aşınmada çok fazla etkili olmamaktadır. Malzemeler arasındaki metalürjik ilişki, asıl aşınma mekanizmasının büyüklüğünü tayin etmektedir. Mekanizma daha çok sıcaklığa bağlıdır ve bu sebeple yüzeyler arasında yüksek basınç ve yüksek kayma hızlarında daha fazla olmaktadır.

3.5.3 Oksitlenme Aşınması

Pek çok malzeme için oksitlenme oldukça farklı olmakla beraber, metal malzemelerin çoğu için yüksek sıcaklık ve havanın varlığı oksidasyon anlamına gelmektedir. Sürtünme etkisi yüzeyde yüksek sıcaklıkların meydana gelmesine neden olur ve bu sıcaklık artışı kimyasal reaksiyonların sebep olduğu çatlak oluşumunu artırır. Hava çalışan iki yüzey kenarlarından ve abrasif aşınmanın neden olduğu kanallardan içeri girme imkanı bulur. Bu tür aşınma yüksek sıcaklık ve dış havayla temas gerektirdiğinden daha çok kuru kayma aşınmasında meydana gelir.

3.5.4 Yorulma ve Tabakalaşma Aşınması

Yorulma aşınması, genellikle termo-mekanik bir kombinasyondur. Sıcaklık dalgalanmaları ve karşılıklı kaymanın sık sık durup başlaması neticesinde çalışan yüzeylerin kenarlarına düşen yüklerdeki değişimden dolayı kenarlarda çatlaklar ve kırılmalar oluşur. Yorulma büyük bir çatlağın orijini başlatabilir ve malzeme yüzeyinden taneciklerin kopmasını sağlayabilir. Tabakalaşma aşınması; yüzey pürüzlülüklerinin birbiri üzerinde kayması sırasında mikroskobik ölçekte meydana gelen bir yorulma aşınmasıdır. Küçük çatlaklar yüzeyin altında çekirdeklenir. Yüzeyin hemen altında üç eksenli basma gerilmelerinden dolayı çatlak başlangıç yüzeyin hemen altında meydana gelmez. Tekrarlı yükleme ve deformasyonlar, çatlakların genişlemesini, ilerlemesini ve diğer komsu çatlaklarla birleşmesine neden olur. Çatlaklar yüzeye paralel doğrultuda oluşur ve sonuçta uzun ince aşınmış tabakalar meydana gelir [74,75].

3.5.5 Adhezif Aşınma

Adhezyon (yapışma) aşınması belli bir sıcaklık aralığı, karşılıklı çalışan yüzeyler arasındaki yakınlık ve basınç ile oluşan yüklerin kombinasyonu neticesinde oluşur. Bu aşınma mekanizmasında, karşılıklı çalışan yüzeylerde yapışma olup, karşılıklı yüzeylerde malzeme film transferine neden olur. Debrisin bir kısmı karşı yüzeye kaynaklanarak sertleşmekte ve karşı yüzeyin bir parçası haline almaktadır. İşlem devam ettikçe karşı yüzeyde film tabakası oluşmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalar; birçok kayma şartlarında adhezif aşınmanın temel aşınma mekanizması olarak ortaya çıktığını göstermektedir [75].

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada 92,53 µm ortalama büyüklüğünde silisyum karbür takviyeli alüminyum matris kompozitler, karıştırmalı döküm yöntemi ile üretilmiş ve üretim parametreleri ile silisyum karbür takviye hacim oranına bağlı olarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Daha sonra karıştırmalı döküm yöntemi ile SiC parçacık takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemeler üretilmiştir. Mühendislik uygulamalarında malzeme sertliği ve % gözeneklik önemli bir husustur. Yapılan çalışmalarda farklı parametreler olarak takviye hacim oranı , matris sıcaklığı , karıştırma süresi ve hızı alınmıştır. Al-SiC kompozitlerinin mikro yapı özellikleri ve aşınma etkileri incelenmiştir.

4.1 Malzeme ve Metod

Deneysel çalışmalarda matris malzemesi olarak kullanılan Al 2014 ün kimyasal bileşimi Çizelge 4.2'de Alüminyumun fiziksel özellikleri çizelge de verilmiştir. Takviye malzemesi olarak kullanılan SiC ün fiziksel özellikleri ve kimyasal bileşimi Çizelge 4.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Al-2014 Fiziksel Özellikleri

	Yoğunluk [g/cm ³]	Çekme Mukavemeti [MPa]	KopmaUzamas [%]	Sertlik [VSD]
Al-2014	2.8	186	18	45

Çizelge 4.2 Al-2014'ün Kimyasal Bileşimi

İçerik	Al[%]	Cu[%]	Si[%]	Mn[%]	Mg[%]	Zn[%]	Cr[%]	Pb[%]
%Oran	93.1	4.50	0.80	0.80	0.50	0.20	0.10	-

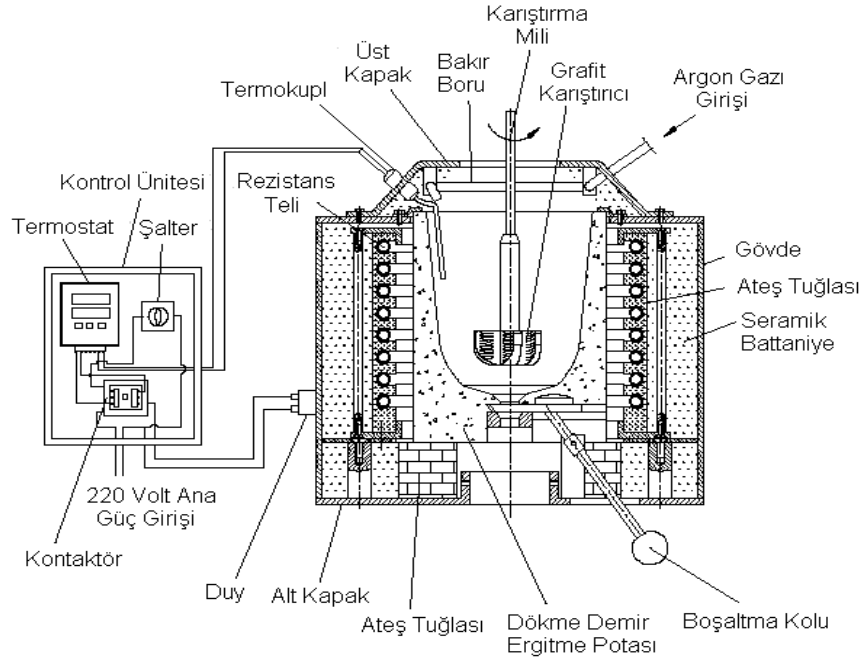
Çizelge 4.3 SiC'ün Fiziksel Özellikleri ve Kimyasal Bileşimi

	Yoğunluk [g/cm ³]	Sertlik [mohs]	SiC [%]	C [%]	Fe ₂ O ₃ [%]	Cl
SiC	3.20	>9.5	98	0.15	0.20	<50 ppm

Deneysel çalışmalarda karıştırmalı döküm yöntemi ile Al 2014 - SiC , %3, %6, %12 takviye oranında ve 700°C, 750°C, 800 °C'de döküm sıcaklığında 250, 500, 750 dev/dk karıştırma oranlarında farklı sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda üretilen malzemelerin sertlik değerleri , % gözenek miktarları , aşınma miktarları , mikro yapı farklılıkları ve kendi arasındaki dönüşümler incelenmiştir.

4.2 Matris Al 2014' ün Ergitilmesi

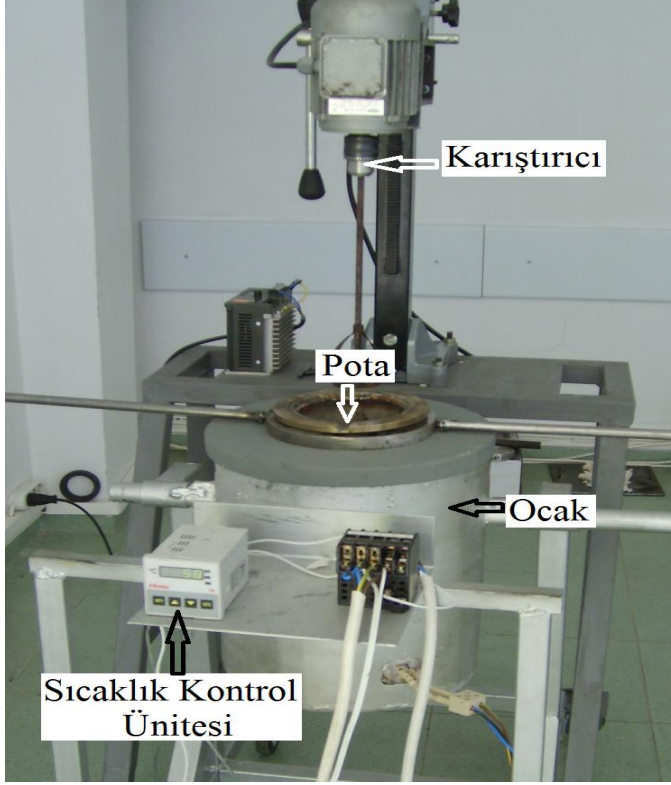
Deneysel çalışmalarda matris malzemesinin ergitilmesi için Şekil 4.1'de görülen elektrikli ergitme ocağı tasarlandı ve kullanıldı. Ocağın imalinde gerekli hesaplamalar yapılarak 2,80 mm çapında nikrotal direnç teli kullanıldı. Ocağın yapımında pota malzemesi olarak Ø 114 x 250 mm ölçülerinde 316 paslanmaz çelik kullanıldı. 316 paslanmaz çeliğinde kimyasal bileşim olarak %12Cr, %0,08Ni, %2,5C bulunmaktadır. 316 paslanmaz çeliği yüksek korozyon direnci ve sürtünme direncinden dolayı kullanılmaktadır. Potanın alt kısmı kaynak ile birleştirildi.



Şekil 4.1 Karıştırma (Vorteks) Döküm Deney Düzeneği

Ocağın yapımında, direnç teli 28 mm çapında sipirler halinde sarıldı. Direnç telinin etrafı bant ile sarılarak refrakter malzemenin sipir aralarına girmesi engellendi. Refrakter nüveyi oluşturmak için 135 mm ve 240 mm çapında sac kalıp hazırlandı. Önce tel 135 mm çapında kalıba sarıldı ve daha sonra 240 mm çapında dış kalıp yerleştirildi. Kalıp boşluğu direnç teli içerisinde kalacak şekilde refrakter malzeme ile dolduruldu. Refrakter malzeme katılaştıktan sonra tel etrafındaki bant, akım verilerek kaldırıldı ve refrakter nüve 700 °C'de iki saat süre ile sinterlendi. Refrakter nüve çelik gövde içerisine yerleştirilerek ısı yalıtımı için etrafı alümina battaniye ile sarıldı. Elektrik bağlantıları dış gövdeden yalıtımlı olarak yapıldı. Çelik gövde ayaklar üzerine tespit edilerek ocağın dönmesi ve gerektiğinde potadaki sıvı metalin dökülebilmesi sağlandı. Potanın üst kısmına flanş kaynatılarak potanın ocak gövdesine oturması sağlandı. Ocak gövdesine, sıcaklık ünitesi tasarlandı ve kullanıldı. Sıcaklık ölçümü için Cr – Ni esaslı ısıl çift kullanıldı. Isıl çift, ocak gövdesine monte edilen elektronik göstergeli sıcaklık kontrol ünitesine

bağlandı. Isıl çift sıvı metale daldırılarak sıcaklık göstergeden okundu. Isıl çift ile elektronik sıcaklık göstergesi arasına kontaktör bağlantısı yapıldı.



Şekil 4.2 Karıştırılmalı Döküm Deney Düzeneği



Şekil 4.3 Karıştırma İşlemi



Şekil 4.4 Karıştırma İşlemi



Şekil 4.5 Karıştırma İşlemi

4.3 Karıştırma İşlemi

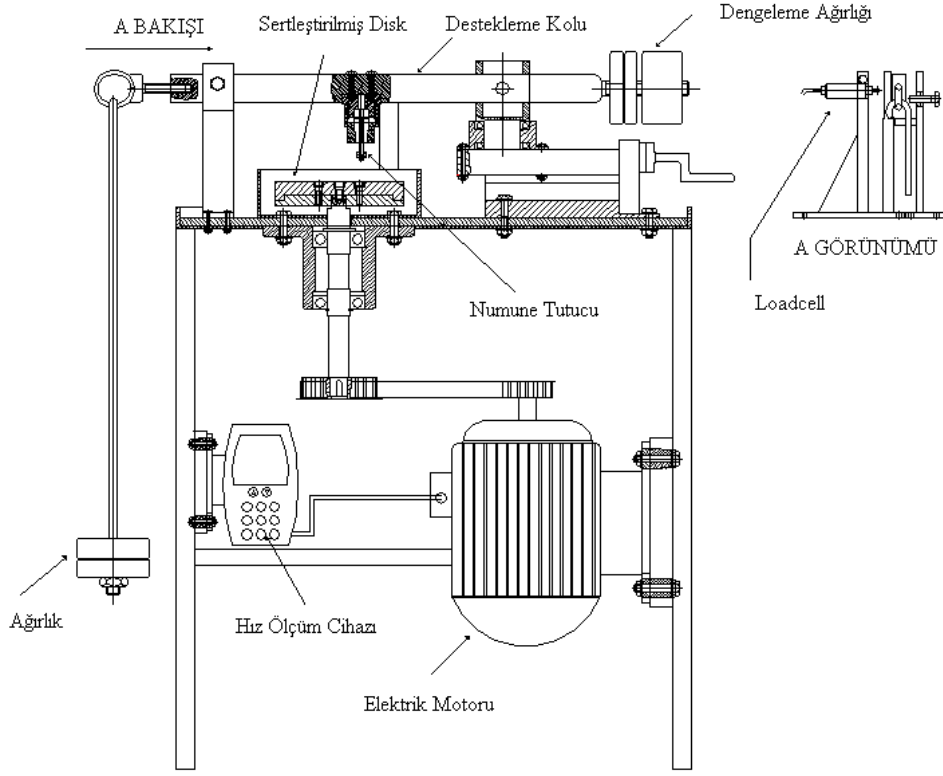
Karıştırma işlemi ayrı ayrı deneyler için 700°C, 750°C, 800°C'de 250 ve 500 dev/dak da 2 , 4 , 6 dakika sürelerde 3, 6 , 12 takviye hacim oranlarında değiştirilerek yapıldı. Karıştırıcı malzemesi olarak çelikten yapılmış silindirik uç kullanıldı. Karıştırma işlemleri yapılırken sıcaklık , süre , takviye hacim oranı ve devir sayıları kendi aralarında kıyaslanarak üretilen kompozitlerin en iyi özellikleri incelendi.



Şekil 4.6 Dirençli Ergitme Ocağı ve Karıştırma Ünitesi

4.4 Aşınma Testi

Aşınma testi oda şartlarında aşınma test cihazı ile yapıldı. Her bir parça için ayrı ayrı 10N, 20N ve 30N ağırlıkları ile 150, 240 ve 320 meshte aşınma miktarları hesaplandı. Aşınma ve sürtünme deneylerinde kullanılan Pin-On-Disk tipi standart deney aparatının şematik resmi şekil 4.2'de verilmiştir. İlerleme hızı 60 d/dak için 0,569m/sn seçildi. Alınan yol 60 d/dak için 17,9 m hesaplandı. İlerleme motoru mil adımı 1,5 mm seçildi. İlerleme motoru saniyede 2 devir hesaplandı ve 3 mm bulundu. Deney süresi 30 sn ölçüldü ve 90 mm yol alındı.



Şekil 4.7 Aşınma Test Cihazı

Aşınma test cihazı fotoğrafları;



Şekil 4.8 Aşınma Test İşlemleri



Şekil 4.9 Aşınma Test İşlemleri



Şekil 4.10 Aşınma Test İşlemleri

Bu cihaz her türlü yük ve kayma hızında çalışma kabiliyetine sahip olacak şekilde tasarlanıp, imal edilmiştir. Farklı kayma şartları ve farklı devirlerde çalışabilmek amacı ile sistem hız kontrol cihazına bağlanarak istenilen hızda kullanılabilir hale getirilmiştir. Böylelikle farklı kayma hızları veya sabit kayma

hızında her periyod da istenilen devir sayıları hassas bir şekilde ayarlanabilmektedir. Yapılan bu deney cihazında farklı kayma hızında ve değişik yükleme şartlarında numuneler test edilmiştir. Numunelerin bağlandığı ve yükün asılacağı taşıyıcı kol tek noktadan yataklanmıştır.

Numune bağlama aparatı kol üzerine monte edilmiştir. İki ucunda ağırlık bulunan taşıyıcı kolun bir tarafındaki ağırlık, sisteme ağırlık asılmadan önce numune üzerine gelen yükü sıfırlamaktadır. Taşıyıcı kolun diğer ucuna asılan ağırlıklar ile de numune üzerine istenilen kuvvet uygulanabilmektedir. Taşıyıcı kolun bağlandığı yatak hem kendi eksenini etrafında dönebilmekte hem de ileri geri hareket edebilmektedir. Hareketli yatağın ileri geri hareketi ile disk üzerine gelen numune disk merkezinden uzaklaşıp yaklaşabilmektedir. Diski döndüren elektrik motoruna bağlanan hız kontrol cihazı ile motorun değişken devirlere ayarlanabilmesi sağlanmaktadır.

4.5 Kum Kalıbın Hazırlanması ve Döküm İşlemi

Karıştırma işlemi bitikten sonra kum kalıba dökmek için kum kalıp döküm sistemi hazırlandı.



Şekil 4.11 Deney Numunelerinin Kum Kalıba Dökümü

4.6 Ergitme Sıcaklığı

Ergitme sıcaklığı 700°C, 750°C ve 800°C'ye kadar ısıtılmıştır. Yapılan deneylerde sıcaklık farklı parametrelerle kıyaslanmıştır. Sıcaklığa bağlı olarak üretilen malzemelerde farklı takviye hacim oranlarına bağlı olarak % gözenek miktarları ve sertlik değerleri ölçüldü.

4.7 Takviye Hacim Oranı

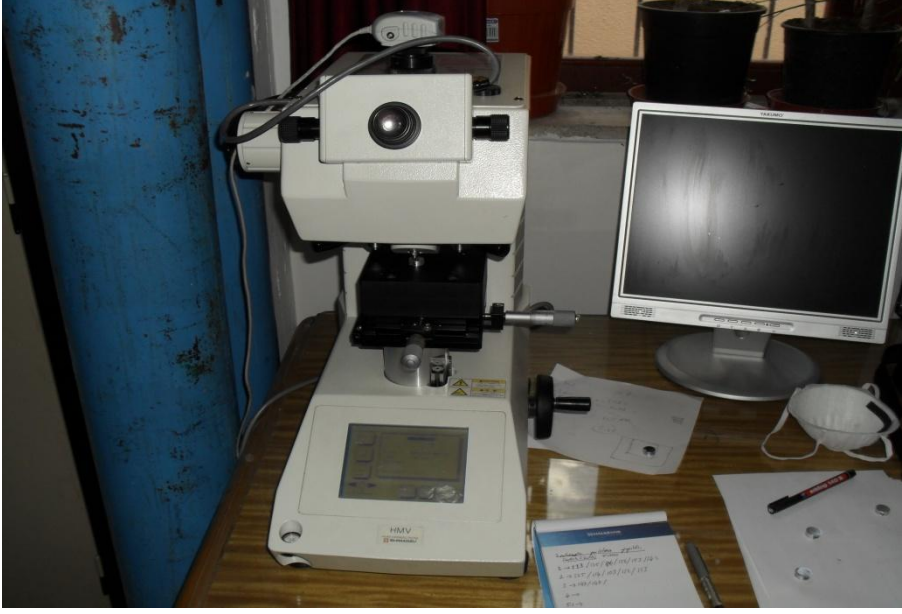
Bu çalışmada Al matris ve SiC takviye ile karıştırmalı döküm yöntemiyle kompozitler üretilmiştir. Takviye hacim oranı %3, %6, %12 olarak belli bir lineer doğrultuda seçildi.

4.8 Sertlik

Sertlik ölçme deneyi her bir numune için en az 5 ölçümün ortalaması alındı. Vickers sertlik ölçme metodu ile deneyler yapıldı.

Vickers sertlik ölçme yöntemi, sertliği ölçülecek malzeme parçasının yüzeyine tabanı kare olan piramit şeklindeki bir ucun belirli bir yük altında daldırılması ve yük kaldırıldıktan sonra meydana gelen izin köşegenlerinin ölçülmesinden ibarettir.

Vickers sertlik değeri, piramit şeklindeki dalıcı ucun belirli bir yük altında ve belirli bir süre uygulanması ile malzeme yüzeyinde meydana getirdiği izin büyüklüğü ile ilgili bir değerdir. Vickers sertliği ölçüsü, geniş çubuklardan saçlara kadar her ölçüde malzeme çeşidine uygulanabilir. Genel olarak numunelerin alt ve üst yüzeyleri, yük bindiği zaman numune hareket etmeyecek veya kaymayacak şekilde düz olmalıdır. Kalınlık olarak da, piramit dalıcı ucun, numunenin öbür yüzeyinde bir çıkıntı meydana getirmeyecek derecede kalın olması yeterlidir.



Şekil 4.12 Vickers Ölçme Deney Düzeneği



Şekil 4.13 Vickers Ölçme Deney Düzeneği

4.9 Yoğunluk ve Gözeneklilik Belirlemesi

Üretilen kompozitlerin yoğunluklarının ölçülmesi Arşimet prensibine göre verilen formüle göre hesaplanmıştır.

$$\text{Deneysel Yoğunluk} = G \text{ havada} / (G \text{ havada} - G \text{ suda})$$

Burada ;

G havada : Kompozitin havada tartılan ağırlığı

G suda : Kompozitin suda tartılan ağırlığı

Kompozitlerin havadaki ağırlıkları tespit edilmiş, daha sonra saf su içerisinde tartılan kompozitlerin ağırlıkları belirlenerek yukarıdaki formüle göre deneysel yoğunlukları hesaplanmıştır.

Deneysel ve teorik yoğunlukları belirlenen kompozitlerin gözenek miktarları aşağıdaki formüle göre belirlenmiştir.

$$\% \text{ Gözenek} = ((d \text{ teorik} - d \text{ deney}) / d \text{ teorik}) \times 100$$

4.10 PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ

Elde edilecek sonuçları etkileyen parametrelerin başında döküm sıcaklığı gelmektedir. Sıcaklık arttıkça, matris malzemesinin takviye malzemesini ıslattığı görülmektedir. Bundan dolayı sıcaklık etkili bir parametre oluşturmaktadır. Artan takviye oranıyla malzemenin sertlik değerinin artması hedeflendiği için takviye önemli parametreler arasındadır. Karıştırma süresi ve devir sayısının malzeme üzerindeki etkisi ise sonuçların ışığında belirlenecektir.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

AL 2014 / SİC kompozitler karıştırmalı döküm yöntemi ile üretildi. Sıcaklık , dönme hızı, süre ve takviye hacim oranı üretim parametreleri olarak kullanıldı. Kompozitlere mikro yapı, gözeneklilik, sertlik ve aşınma testleri yapıldı. Üretim parametrelerinin mikro yapı, gözeneklilik, sertlik ve aşınma özellikleri üzerine etkileri belirlendi.

5.1 Gözeneklilik, Mikro Yapı ve Sertlik

5.1.1 Sıcaklığa Bağlı Deneysel Çalışmalar

Çizelge 5.1' de 700°C, 750°C, 800°C sıcaklıklarda %3, %6, %12 takviye hacim oranında üretilen kompozitlerin gözenek miktarları ve sertlik değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.1 700°C, 750°C, 800°C'de, %3, %6, %12 Takviye Hacim Oranında 500dev/dak'da, 4 dakikada üretilen kompozitlerin % gözenek ve sertlik değerleri

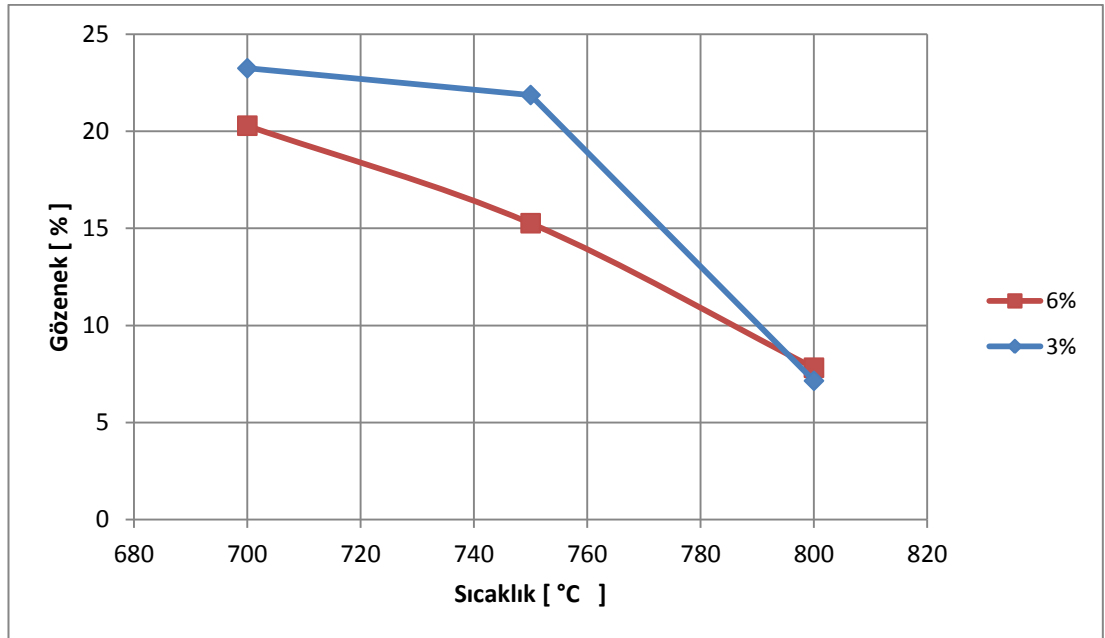
DENEY NO	SICAKLIK °C	T.H.O. %	GÖZ. %	SERTLİK (HV)
1. DENEY :	700	3%	23,25	126,6
2. DENEY :	750	3%	21,87	113,4
3. DENEY :	800	3%	7,14	143,8
4. DENEY :	700	6%	20,325	145,4
5. DENEY :	750	6%	16,218	155,8
6. DENEY :	800	6%	7,825	137,4
7. DENEY :	700	12%	23,44	174,8
8. DENEY :	750	12%	16,76	210
9. DENEY :	800	12%	14,641	227,2

% 3 T-H oranında 700°C, 750°C, 800°C sıcaklıklarda üretilen kompozitlerde sırasıyla %23,25, %21,87, %7,14 gözenek ve 126,6, 113,4, 143,8 HV sertlik değerleri tespit edildi.

% 6 T-H oranında 700°C, 750°C, 800°C sıcaklıklarda üretilen kompozitlerde sırasıyla %20,235, %16,218, % 7,825 gözenek ve 145,4, 155,8, 137,4 HV sertlik değerleri tespit edildi.

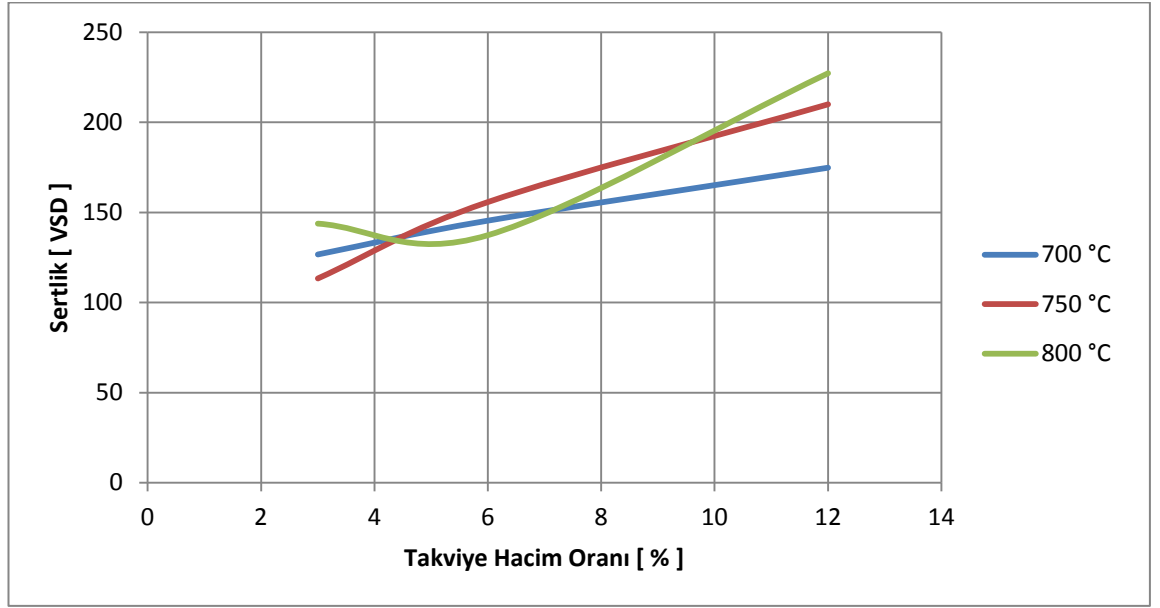
% 12 T-H oranında 700°C, 750°C, 800°C sıcaklıklarda üretilen kompozitlerde sırasıyla %23,44, % 16,76, % 14,641 gözenek ve 174,8, 210, 227,2 HV sertlik değerleri tespit edildi.

Şekil 5.1'de sıcaklık ve takviye hacim oranına bağlı gözenek miktarının değişimi görülmektedir. Çizelge 5.1' de 700°C, 750°C, 800 °C sıcaklıklarda %3 ve %6 takviye hacim oranında üretilen kompozitlerin gözenek miktarları verilmiştir.



Şekil 5.1 700°C, 750°C, 800°C sıcaklıklarda, %3 ve %6 takviye hacim oranlarında, 500dev/dak devir sayısında, 4 dakika sürede üretilen kompozitlerin % gözenek değerleri

Artan sıvı matris sıcaklıklarında kompozitlerin gözeneklerinin azaldığı görülmektedir. Bu durum artan sıcaklıklarda sıvı metalin yüzey geriliminin azalarak ıslatma özelliğinin artmasından kaynaklandığı söylenebilir. Benzer sonuçlar R. Çalın vd., [36] tarafından da söylenmektedir.

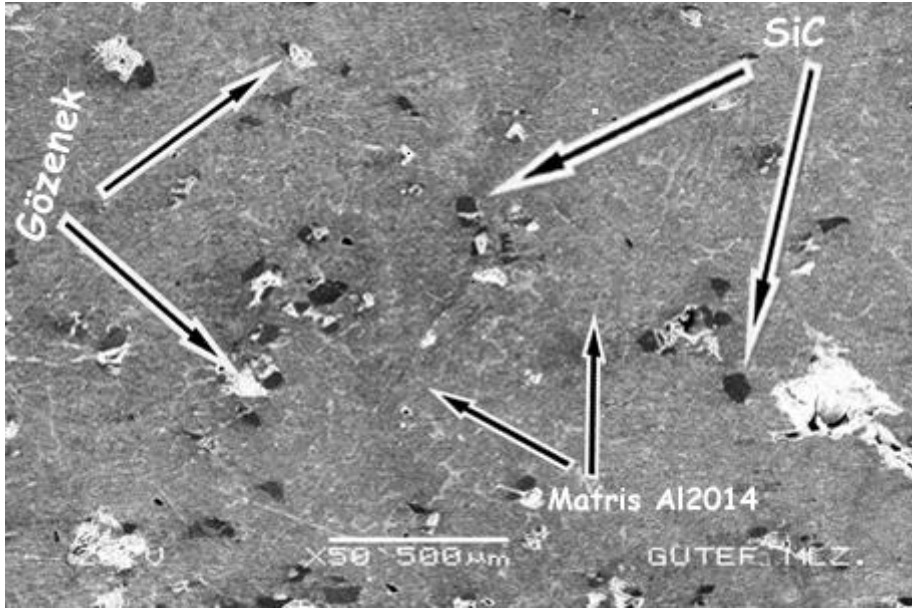


Şekil 5.2 700°C, 750°C, 800°C sıcaklıklarda, %3, %6, %12 takviye hacim oranlarında, 500dev/dak devir sayısında, 4 dakika sürede üretilen kompozitlerin sertlik değerleri

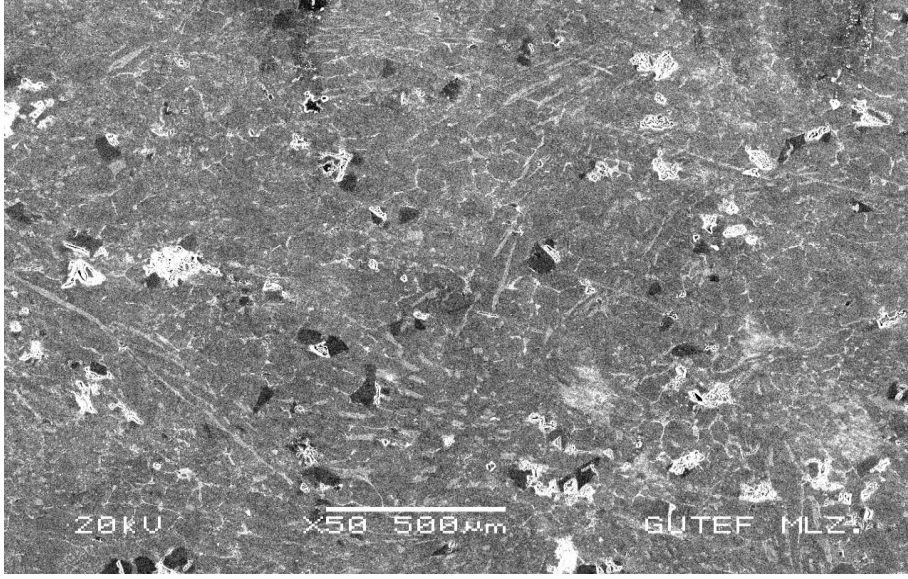
Sertlik kompozit malzemeler için çok önemli bir parametredir. Grafikte her 5 ölçümden alınan sertlik değerleri verilmiştir. Malzeme ve metod bölümünde her bir parça için en az 5 deneme yapılarak ve bunun sonucunda ortalama bir değer alınmıştır. Burada Vickers sertlik ölçme metodu kullanılmıştır. Çizelge 5.1'de her bir kompozit için sıcaklık , takviye hacim oranı , % gözenek miktarları ve sertlik değerleri verilmiştir. Buradan da anlaşılacağı gibi üretilen kompozit malzemeler için sıcaklık arttıkça sertlik artmaktadır. Bunun yanında takviye hacim oranı arttıkça sertlik artmaktadır. Ancak % gözenek miktarı arttıkça sertlikte düşüş gözlenmiştir.

Artan sıvı matris sıcaklıklarında sıvı metalin yüzey gerilimi azaldığından ve matrisle takviye ara yüzeyinin sıvı matris tarafından iyi ıslatılmış olduğundan yüksek sıcaklıklarda daha az gözenek oluşmaktadır.

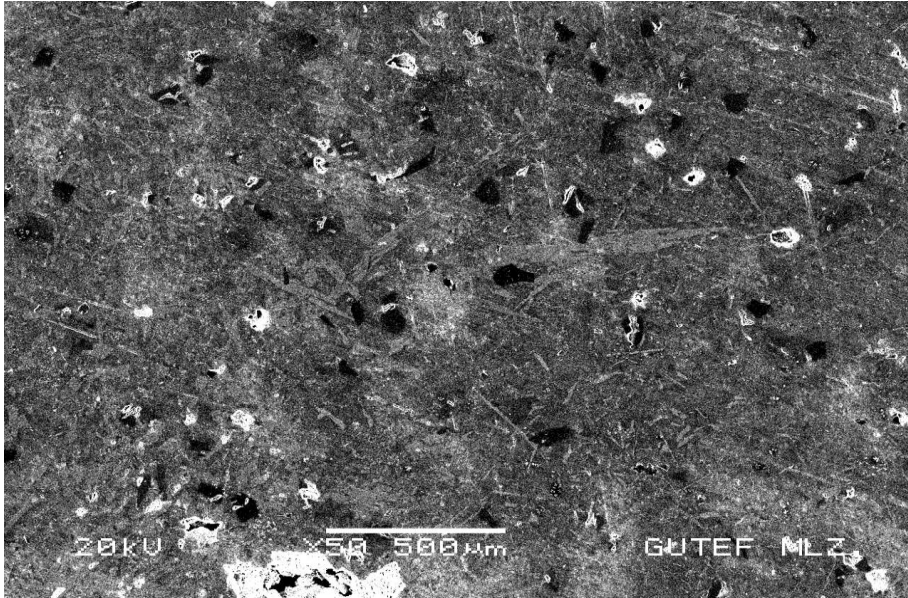
Takviye hacim oranının artmasıyla da kompozit içerisindeki sert SiC partiküllerinin daha fazla olmasından dolayı daha az gözenek görülmektedir. Benzer sonuçlar R. Çalın., M. Pul ., R. Çıtak., U. Şeker., [37] çalışmalarında da görülmektedir.



Şekil 5.3 92,53 µm takviye tane boyutuna sahip, 800 °C sıcaklıkta, %6 SiC takviyeli, 500 d/dak devir sayılı, 4 dakikada üretilmiş kompozitlerin mikro yapısı

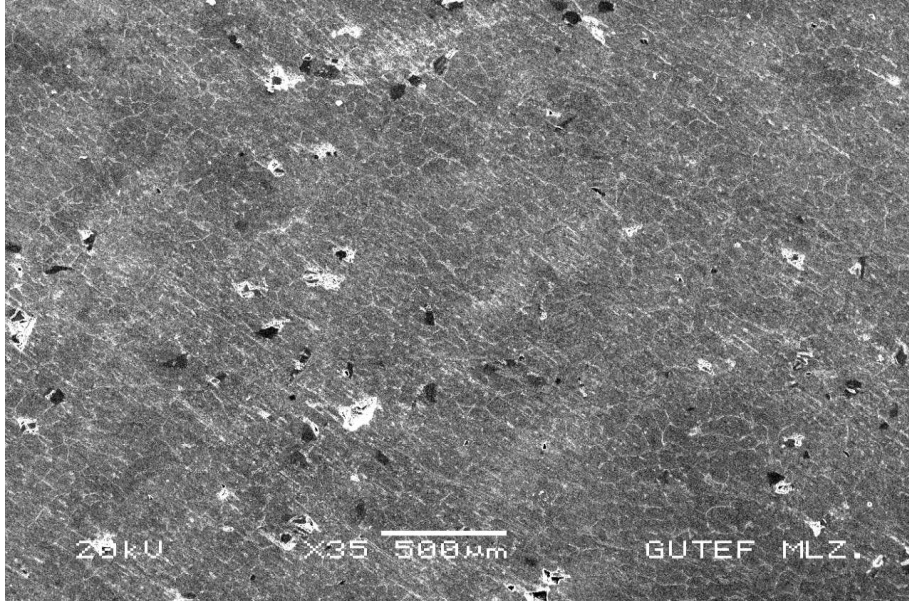


Şekil 5.4 92,53 µm takviye tane boyutuna sahip, 750 °C sıcaklıkta, %6 SiC takviyeli, 500 d/dak devir sayılı, 4 dakikada üretilmiş kompozitlerin mikro yapısı

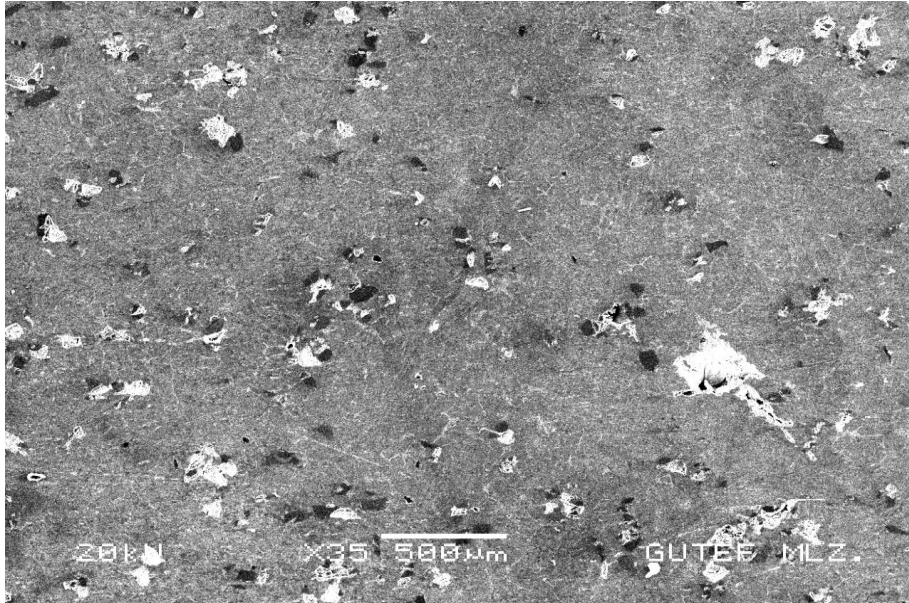


Şekil 5.5 92,53 µm takviye tane boyutuna sahip, 700 °C sıcaklıkta, %6 SiC takviyeli, 500 d/dak devir sayılı, 4 dakikada üretilmiş kompozitlerin mikro yapısı

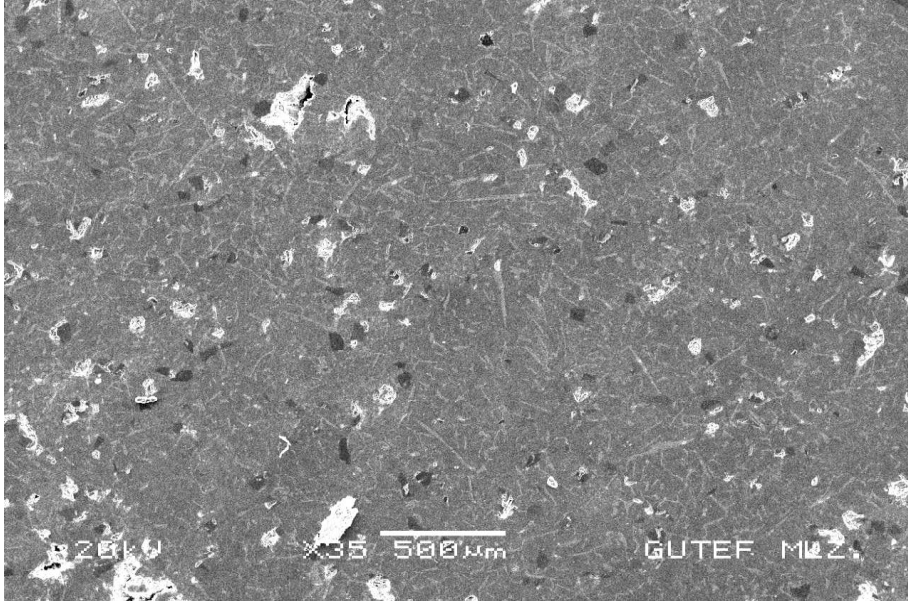
Mikro yapı incelemelerinde Şekil 5.3, 5.4, 5.5'de en fazla gözenek düşük sıcaklıkta görülmektedir.



Şekil 5.6 92,53 µm takviye tane boyutuna sahip, 800 °C sıcaklıkta, %3 SiC takviyeli, 500 d/dak devir sayılı, 4 dakikada üretilmiş kompozitlerin mikro yapısı



Şekil 5.7 92,53 µm takviye tane boyutuna sahip, 800 °C sıcaklıkta, %6 SiC takviyeli, 500 d/dak devir sayılı, 4 dakikada üretilmiş kompozitlerin mikro yapısı



Şekil 5.8 92,53 μm takviye tane boyutuna sahip, 800 °C sıcaklıkta, %12 SiC takviyeli, 500 d/dak devir sayılı, 4 dakikada üretilmiş kompozitlerin mikro yapısı

Kompozitlerde oluşan gözenek Şekil 5.6, 5.7, 5.8'de görüldüğü gibi SiC partiküllerinin etrafında oluşmaktadır. Artan SiC miktarlarında hacmi artan SiC etrafında daha fazla gözenek olduğu görülmektedir. Benzer sonuçlar R. Çalın ., M. Pul ., R. Çıtak ., U. Şeker ., [37] çalışmalarında da görülmektedir.

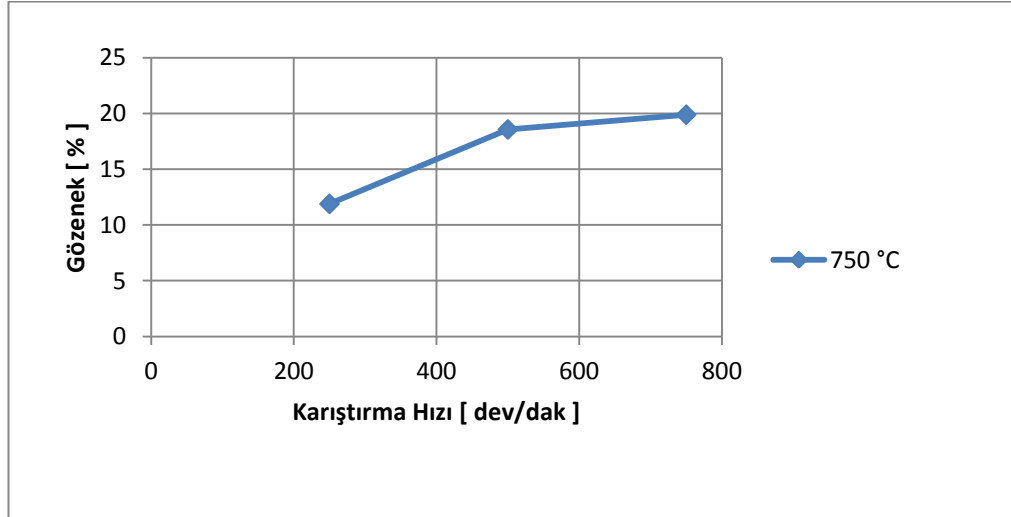
5.1.2 Dönme Hızına Bağlı Deneysel Çalışmalar

Çizelge 5.2' de 750 °C sıcaklıklarda, %12 takviye hacim oranında üretilen kompozitlerin dönme hızları verilmiştir.

Çizelge 5.2 750 °C sıcaklıkta, %12 takviye hacim oranında, 250dev/dak, 500dev/dak, 750dev/dak dönme hızlarında, 4 dakika sürede üretilen kompozitlerin sertlik ve % gözenek ve sertlik değerleri

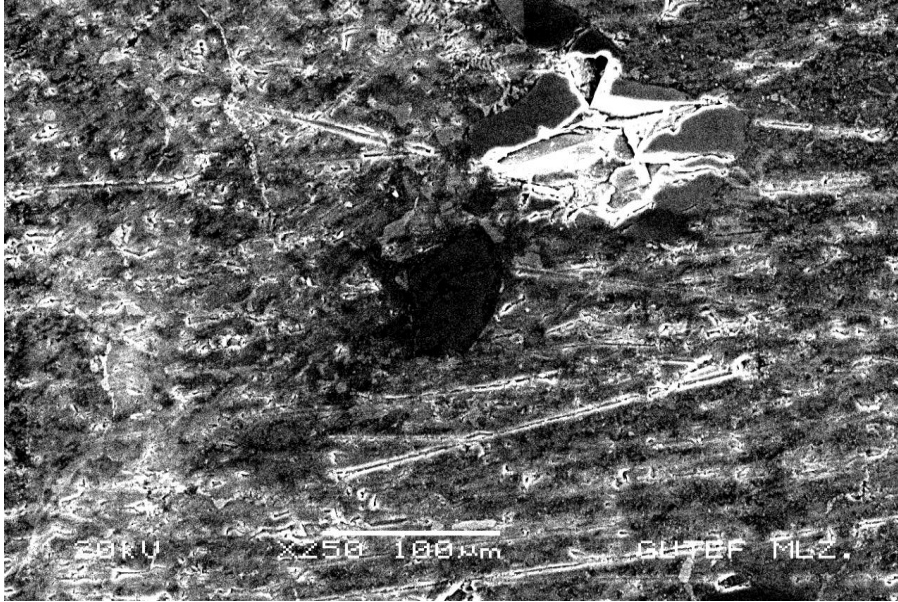
DENEY NO	DÖNME HIZI(Dev/dak)	% GÖZ.	SERTLİK(HV)
1. DENEY :	250	11,903	198,8
2. DENEY :	500	16,76	210
3. DENEY :	750	19,908	245,8

Çizelge 5.2' de 750 °C sıcaklıklarda, %12 takviye hacim oranında, 4dakikada ve 250dev/dak, 500dev/dak, 750dev/dak da üretilen kompozitlerin % gözenek miktarları sırasıyla 11,903, 16,76, 19,908 sertlik değerleri ise 198,8, 210 ve 245,8 HV olarak bulunmuştur. Şekil 5.3'de 750 °C sıcaklıkta farklı dönme hızlarına bağlı gözenek miktarının değişimi görülmektedir.

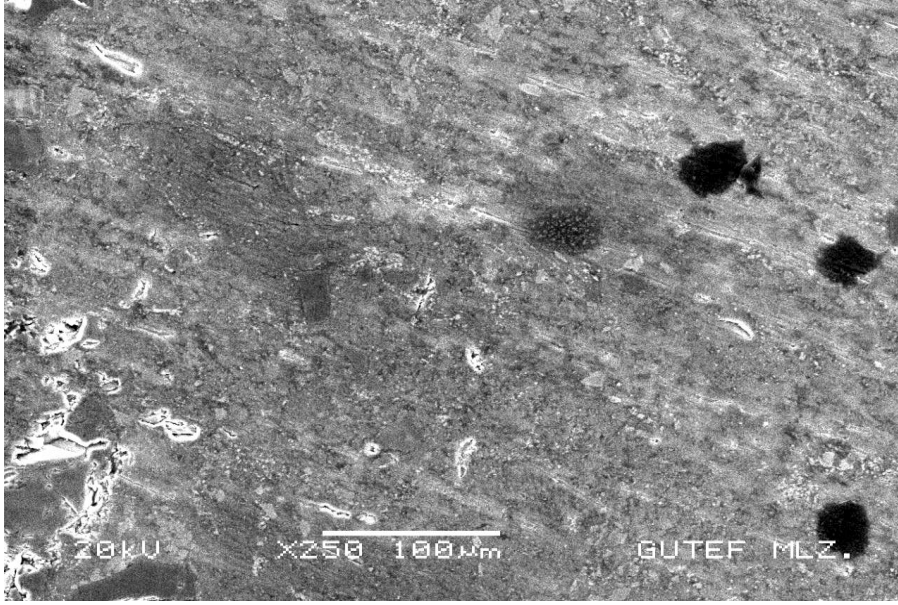


Şekil 5.9 250 d/dak, 500 d/dak, 750 d/dak karıştırma hızında, 750 °C sıcaklıkta üretilen kompozitlerin % gözenek miktarları

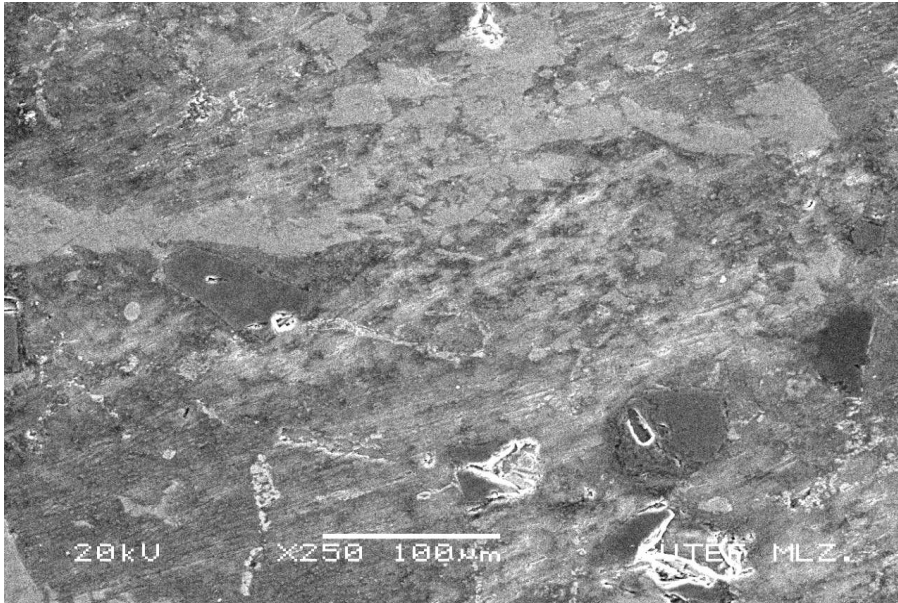
Artan dönme hızlarında gözeneklilik artmaktadır. Bu durum artan dönme hızlarında karışma sırasında hava ya da gazların sıvı metalin içerisine absorbe olduğunu göstermektedir. Dönme hızı 250 dev/dak'dan 500 dev/dak'ya çıkarıldığında % gözenek miktarı %71 oranında artarken , dönme hızını 500 dev/dak 1 / 2 oranında arttırarak 750 dev/dak 'ya çıktığında kompozitin gözenek miktarında %19 artış görülmektedir. Bu durum başlangıçta dönme hızının 2 katı arttığı daha sonraki artışın daha az olduğundan kaynaklandığı söylenebilir. Benzer sonuçlar R. Çalın ., vd [37] çalışmalarında da görülmektedir.



Şekil 5.10 92,53 µm takviye tane boyutuna sahip, 750°C sıcaklıkta, %12 SiC takviyeli, 250 d/dak devir sayılı, 4 dakikada üretilmiş kompozitlerin mikro yapısı



Şekil 5.11 92,53 μm takviye tane boyutuna sahip, 750 °C sıcaklıkta, %12 SiC takviyeli, 500 d/dak devir sayılı, 4 dakikada üretilmiş kompozitlerin mikro yapısı



Şekil 5.12 92,53 μm takviye tane boyutuna sahip, 750°C sıcaklıkta, %12 SiC takviyeli, 750 d/dak devir sayılı, 4 dakikada üretilmiş kompozitlerin mikro yapısı

Mikro yapı incelemelerinde Şekil 5.10 , 5.11 , 5.12'de en fazla gözenek yüksek dönme hızında görülmektedir. Benzer sonuçlar Ferhat Gül [76] tezinde de görülmektedir.

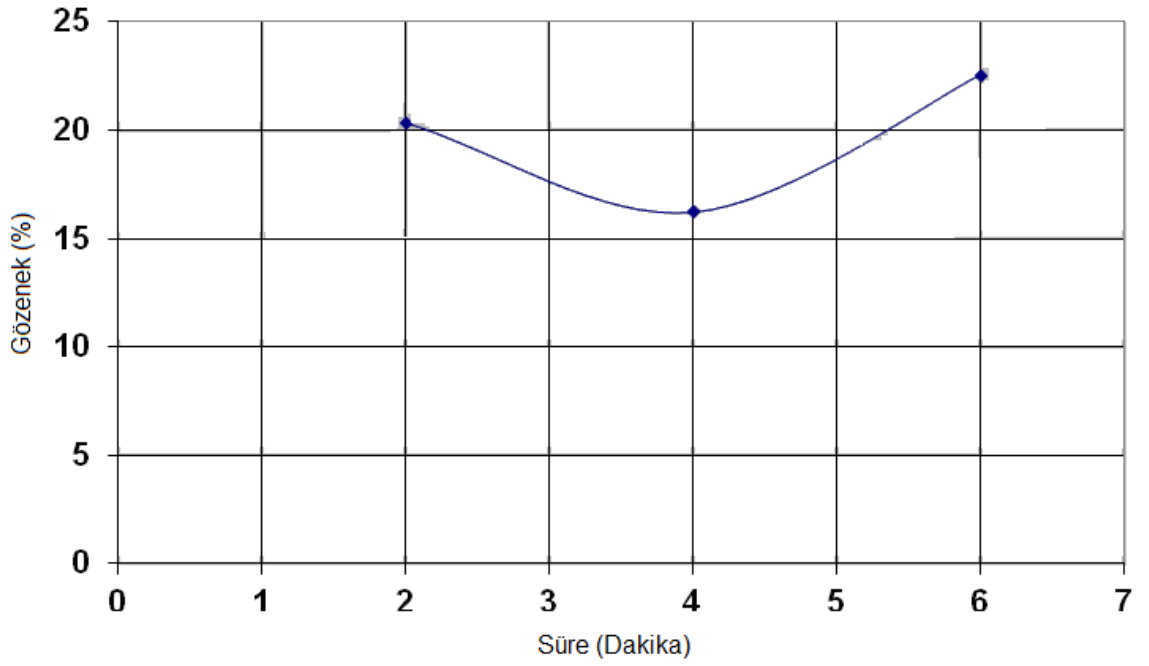
5.1.3 Süreye Bağlı Deneysel Çalışmalar

Karıştırma süresine bağlı yapılan deneylerde 750 °C sıcaklıkta , 500dev/dak dönme hızında, %6 takviye hacim oranında üretim parametreleri sabit tutularak kompozitler üretildi. Karıştırma süresi olarak da 2, 4, 6 dakika sürelerde karıştırma işlemi yapıldı.

Çizelge 5.3 750 °C'de, %6 Takviye Hacim Oranında, 500dev/dak'da, 2, 4, 6 dakikada üretilen kompozitlerin % gözenek ve sertlik değerleri

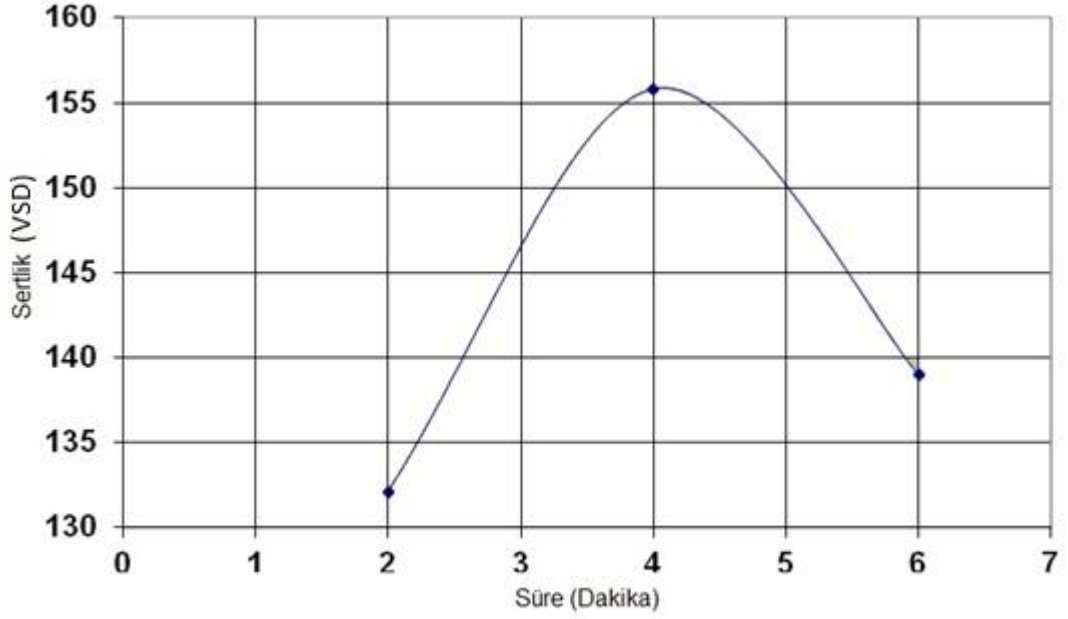
DENEY NO	SÜRE (Dak.)	% GÖZ.	SERTLİK(HV)
1. DENEY :	2	20,34	132,1
2. DENEY :	4	16,218	155,8
3. DENEY :	6	22,52	139

Çizelge 5.3' de görüldüğü gibi 5, 6 ve 7. deneylerde sırasıyla 2, 4, 6 dakika süre parametreleri kullanılmıştır. Yapılan süre değişikliği parametrelerinde, kompozitlerin malzemelerin % gözenek miktarları ve sertliği üzerine etkisi araştırılmıştır. 2 dakika karıştırma süresinde üretilen kompozitlerin gözenek miktarı %20,34 sertlik değeri ise 132,1 HV olarak ölçülmüştür. 4 dakika karıştırma süresinde üretilen kompozitlerin gözenek miktarı %16,218 sertlik değeri ise 155,8 HV olarak ölçülmüştür. 6 dakika karıştırma süresinde üretilen kompozitlerin gözenek miktarı %22,52 sertlik değeri ise 139 HV olarak ölçülmüştür. Şekil 5.4'de üretilen kompozitlerde süre ile değişen % gözenek değerleri verilmiştir.



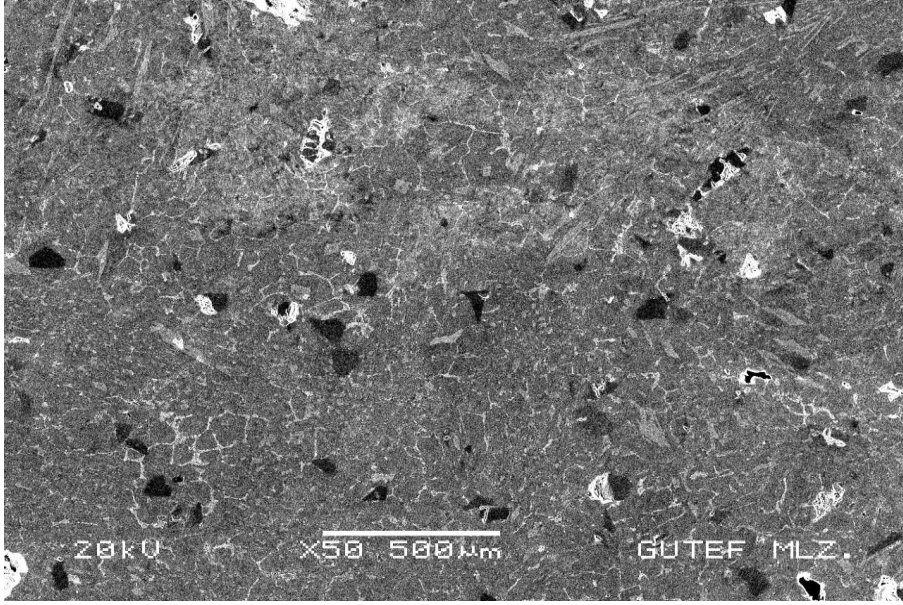
Şekil 5.13 2, 4, 6 dakika sürelerde 750 °C sıcaklıkta, %6 takviye hacim oranında, 500 dev/dak dönme hızında üretilen kompozitlerin % gözenek miktarları

Şekil 5.13'de karıştırma süresinin 2 dakikadan 4 dakikaya çıktığında gözenek miktarında azalma, 4 dakikadan sonrada artma olduğu görülmektedir. Bir çok çalışmada olduğu gibi R. Çalın [38]'in tezinde karıştırmalı dökümle kompozit üretiminde optimum karıştırma süresinin 4 dakika olduğu ifade edilmiştir. Optimum süresinin üzerinde karıştırma yapıldığında sıvı matrisin daha fazla gaz emdiği (absorbe) ettiğinden kaynaklandığı söylenebilir.

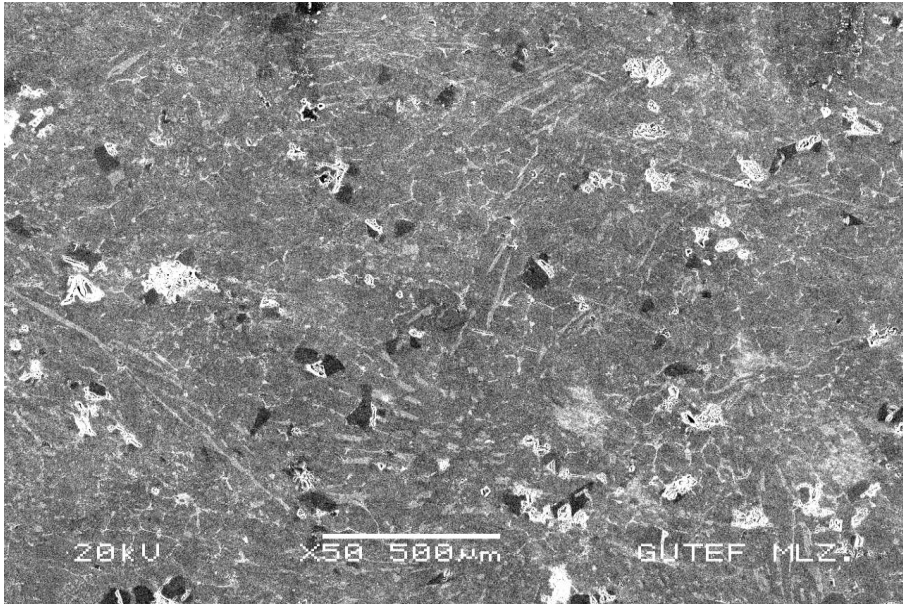


Şekil 5.14 2, 4, 6 dakika sürelerde, 750 °C sıcaklıkta, %6 takviye hacim oranında, 500 dev/dak dönme hızında üretilen kompozitlerin sertlik değerleri

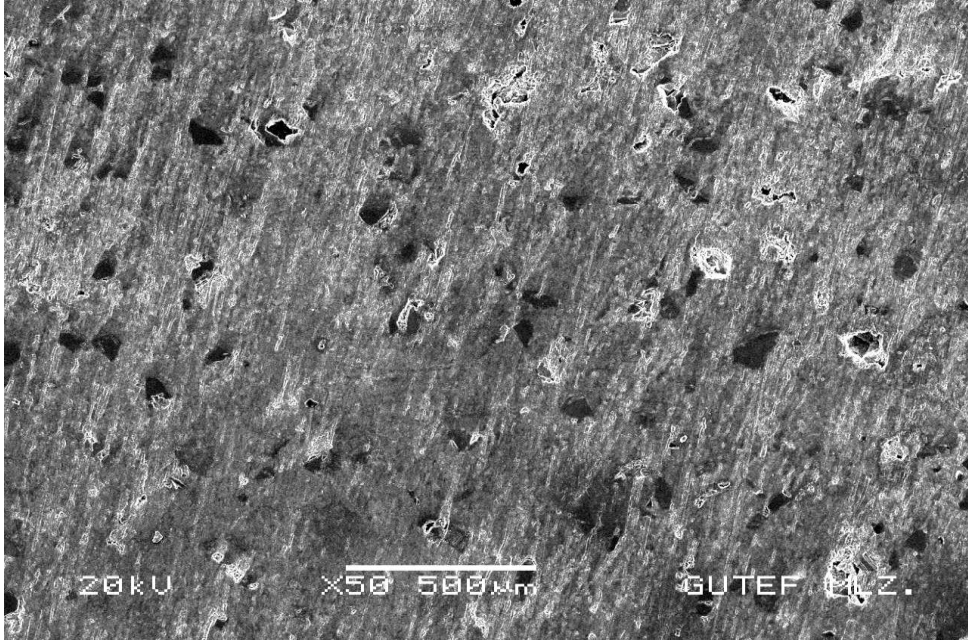
Şekil 5.14'de farklı karıştırma sürelerinde üretilen kompozitlerin sertlik değerleri görülmektedir. Sürenin 2 dakikadan 4 dakikaya çıkarılmasıyla en fazla sertlik değeri elde edildiği görülmektedir. Litaratürlerde de bahsedildiği gibi optimum kurtarma süresinin altında ve üstündeki değerlerde kompozitlerin sertliğin azaldığı görülmektedir. Bu durum üretilen kompozitlerinin gözenek miktarlarından kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 5.15 92,53 µm takviye tane boyutuna sahip, 750 °C sıcaklıkta, %6 SiC takviyeli, 500 d/dak devir sayılı, 2 dakikada üretilmiş kompozitlerin mikro yapısı



Şekil 5.16 92,53 µm takviye tane boyutuna sahip, 750 °C sıcaklıkta, %6 SiC takviyeli, 500 d/dak devir sayılı, 4 dakikada üretilmiş kompozitlerin mikro yapısı



Şekil 5.17 92,53 μm takviye tane boyutuna sahip, 750 °C sıcaklıkta, %6 SiC takviyeli, 500 d/dak devir sayılı, 6 dakikada üretilmiş kompozitlerin mikro yapısı

Şekil 5.15, 5.16 ve 5.17 incelendiğinde en fazla gözenekliliğin 6 dakika sürede elde edildiği görülmektedir. Benzer sonuçlar R. Çalın [38]'in tezinde de görülmektedir.

5.2 Aşınma

5.2.1 Takviye Hacim Oranına Göre Deneysel Çalışmalar

Çizelge 5.4'de 30 N yükte, 150, 240, 320 mesh partikül büyüklüğü ve %3, %6, %12 takviye hacim oranına göre aşınma miktarları verilmiştir.

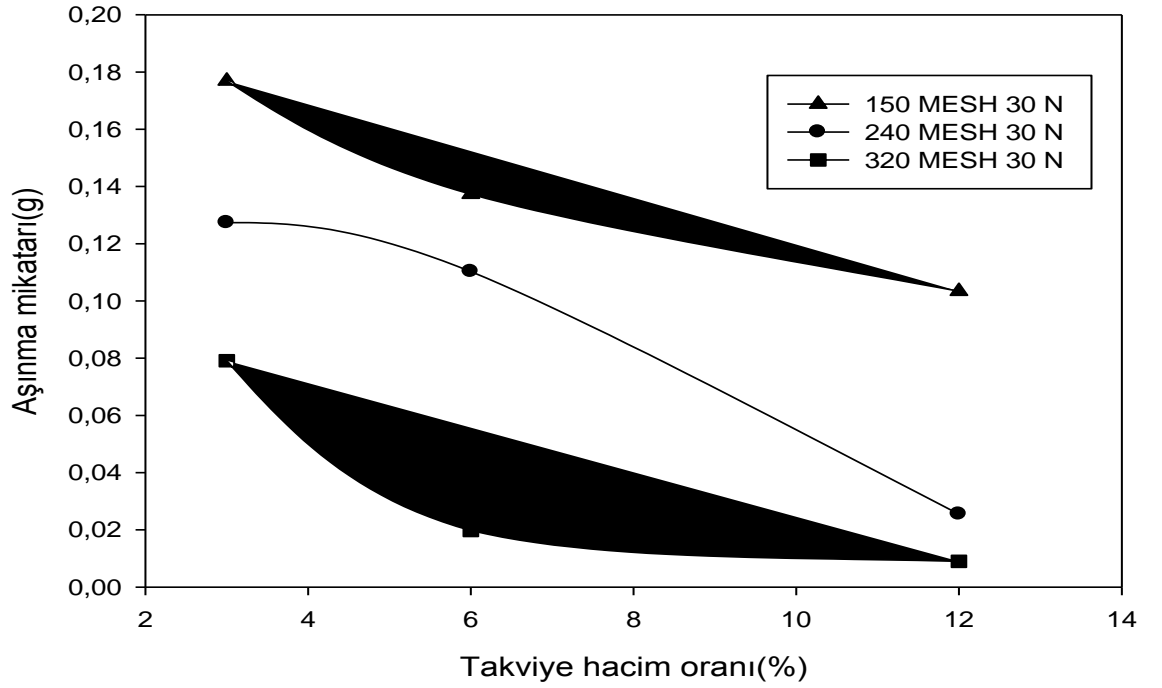
Çizelge 5.4 30 N yükte, 150, 240, 320 mesh partikül büyüklüğü ve %3, %6, %12 takviye hacim oranında, 700 °C sıcaklık ve 500 d/dak dönme hızıyla üretilen kompozitlere göre aşınma miktarları

UYGULANAN KUVVETLER	30 N		
UYGULANAN MESHLER	150	240	320
TAKVİYE SİC ORANI			
3%	1,3664	1,1895	1,0621
	1,1895	1,0621	0,983
AŞINMA MİKTARI	0,1769	0,1274	0,0791
6%			
6%	2,0654	1,9281	1,8178
	1,9281	1,8178	1,798
AŞINMA MİKTARI	0,1373	0,1103	0,0198
12%			
12%	2,4144	2,311	2,2845
	2,311	2,2845	2,2755
AŞINMA MİKTARI	0,1034	0,0255	0,009

%3 takviye hacim oranına göre 150, 240, 320 mesh partikül büyüklüğüne göre aşınma miktarları sırasıyla 0,1769 g, 0,1274 g, 0,0791 g olarak ölçülmüştür.

%6 takviye hacim oranına göre 150, 240, 320 mesh partikül büyüklüğüne göre aşınma miktarları sırasıyla 0,1373 g, 0,1103 g, 0,0198 g olarak ölçülmüştür.

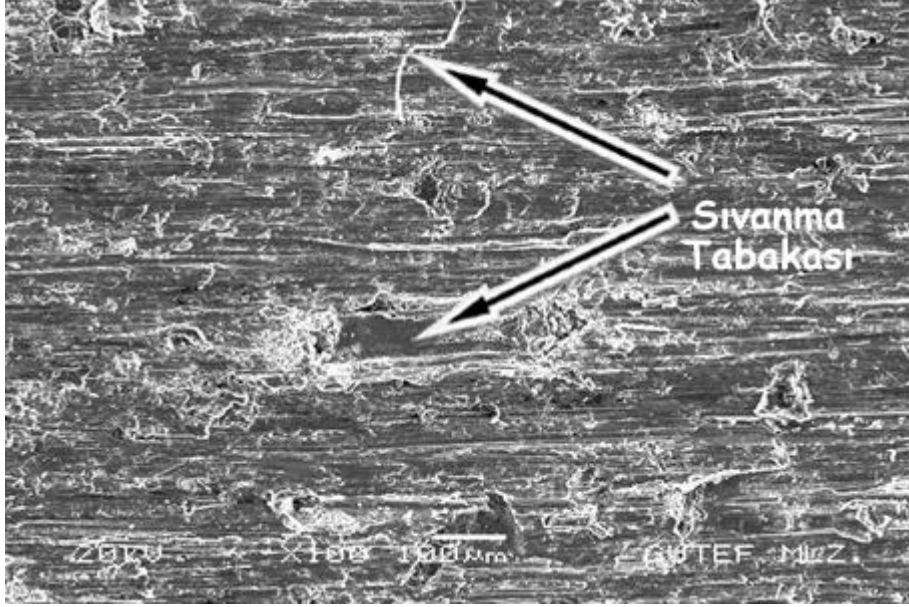
%12 takviye hacim oranına göre 150, 240, 320 mesh partikül büyüklüğüne göre aşınma miktarları sırasıyla 0,1034 g, 0,0255 g, 0,0009 g olarak ölçülmüştür.



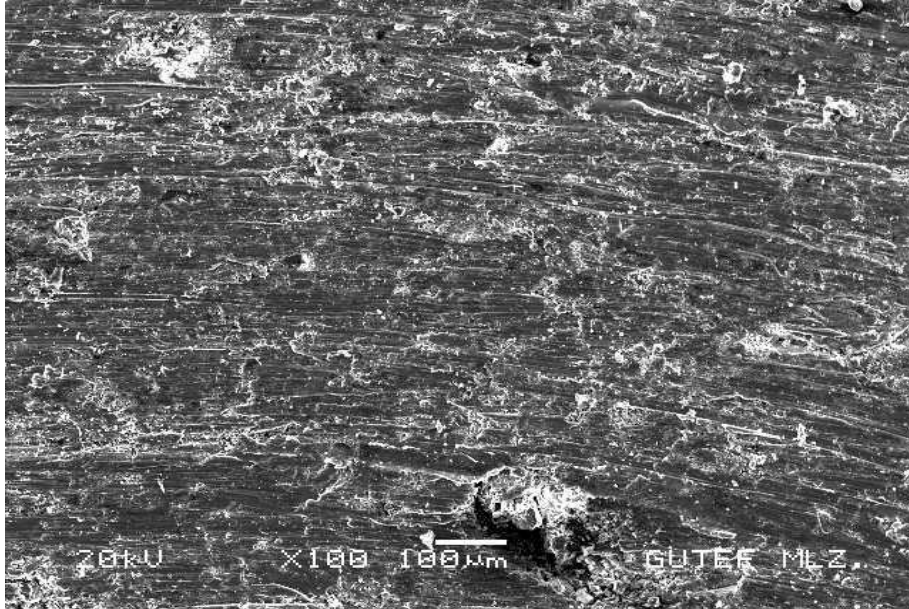
Şekil 5.18 30 N yükte, 150, 240, 320 mesh partikül büyüklüğü ve %3, %6, %12 takviye hacim oranında, 700 °C sıcaklık ve 500 d/dak dönme hızıyla üretilen kompozitlerin göre aşınma miktarları

Şekil 5.18'de aşınma miktarının takviye hacim oranına göre değişimi görülmektedir. Artan takviye hacim oranı ile aşınma miktarının (hacim kaybının) azaldığı görülmüştür. Bu durum alaşımların sertliklerine dayandırılarak açıklanabilir. Şöyle ki adhezif aşınma teorisine göre alaşımların meydana gelen hacim kaybı alınan yolla ve uygulanan yükte doğru orantılı, malzemenin sertliği ile ters orantılı olarak değişmektedir. Benzer sonuçlar R. Çalın ., M. Pul ., G. Küçüktürk ., U. Şeker

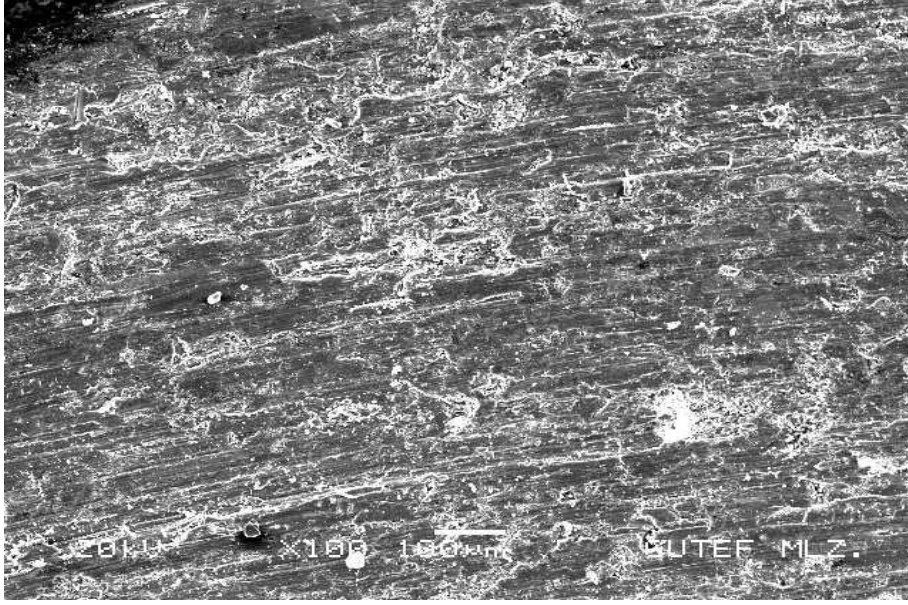
., [34] çalışmalarında da hacim kaybı uygulanan yükte doğru orantılı olarak ve malzemenin sertliği ile ters orantılı olarak değiştiği görülmektedir.



Şekil 5.19 30 N Yükte, % 3 Takviye Hacim Oranında, 4 Dakikada, 500dev/dak da, 700 °C 'de üretilen kompozitin Aşınma Sem Görüntüsü



Şekil 5.20 30 N Yükte, % 6 Takviye Hacim Oranında, 4 Dakikada, 500 dev/dad, 700 °C 'de üretilen kompozitin Aşınma Sem Görüntüsü



Şekil 5.21 30 N Yükte, % 12 Takviye Hacim Oranında, 4 Dakikada , 500 dev/dak, 800°C'de üretilen kompozitin Aşınma Sem Görüntüsü

Sem görüntülerinde de görüldüğü gibi artan takviye hacim oranı ile aşınma miktarının (hacim kaybının) azaldığı görülmüştür. Benzer sonuçlar R. Çalın vd ,. [34] görülmektedir.

5.2.2 Uygulanan Kuvvete Göre Deneysel Çalışmalar

Çizelge 5.5'de 10N , 20N , 30 N yükte, 320 mesh partikül büyüklüğü ve %3, %6, %12 takviye hacim oranına göre aşınma miktarları verilmiştir.

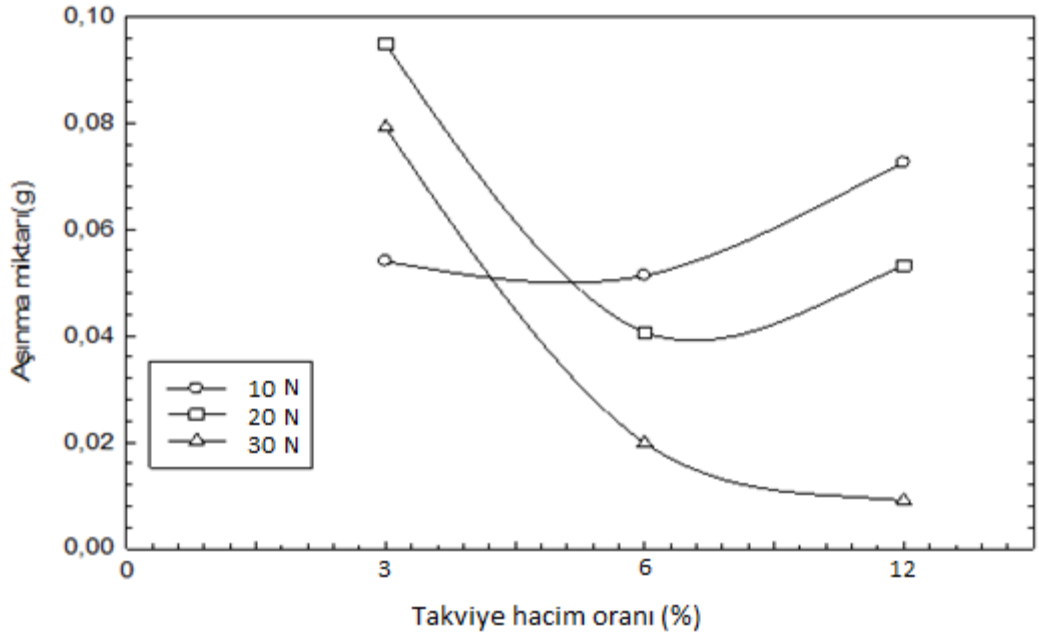
Çizelge 5.5 10N, 20 N, 30 N yükte, 320 mesh partikül büyüklüğü ve %3, %6, %12 takviye hacim oranında, 800 °C sıcaklık ve 500 d/dak dönme hızıyla üretilen kompozitlerin göre aşınma miktarları

UYGULANAN KUVVETLER	⇒	10 N	20 N	30 N
UYGULANAN MESHLER	⇒	320	320	320
TAKVİYE SİC ORANI				
3%	←	2,6262	2,5451	1,0621
	→	2,5722	2,4503	0,983
AŞINMA MİKTARI	⇒	0,054	0,0948	0,0791
6%	←	2,6096	2,4136	1,8178
	→	2,5583	2,373	1,798
AŞINMA MİKTARI	⇒	0,0513	0,0406	0,0198
12%	←	2,3215	2,3961	2,2845
	→	2,249	2,3429	2,2755
AŞINMA MİKTARI	⇒	0,0725	0,0532	0,009

%3 takviye hacim oranı, 10N, 20N, 30N yüklerle ve 320 mesh partikül büyüklüğüne göre aşınma miktarları sırasıyla 0,054 g, 0,0948 g, 0,0791 g olarak ölçülmüştür.

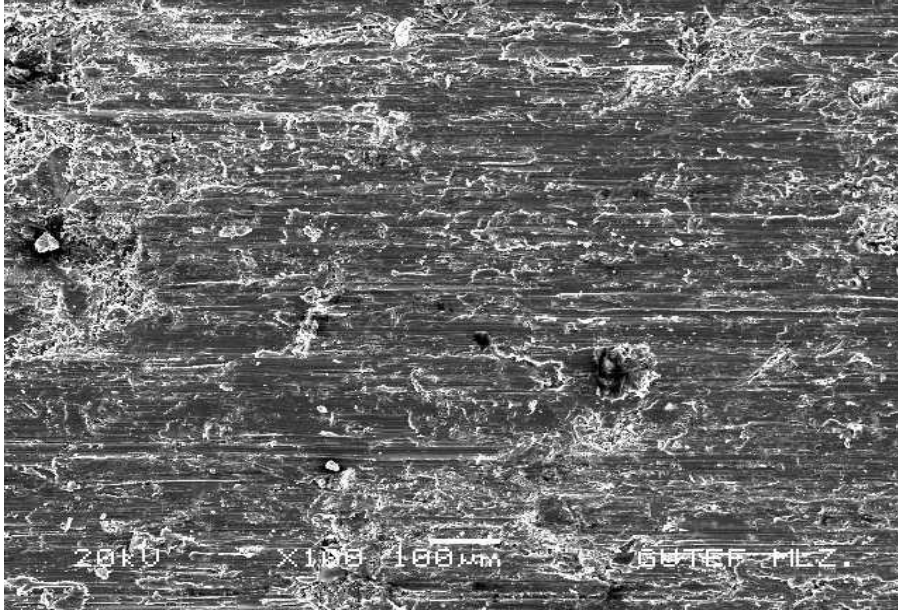
%6 takviye hacim oranı, 10N, 20 N, 30 N yüklerle ve 320 mesh partikül büyüklüğüne göre aşınma miktarları sırasıyla 0,0513 g, 0,0406 g, 0,0198 g olarak ölçülmüştür.

%12 takviye hacim oranı, 10N, 20N, 30N yüklerle ve 320 mesh partikül büyüklüğüne göre aşınma miktarları sırasıyla 0,0725 g , 0,0532 g , 0,0009 g olarak ölçülmüştür.

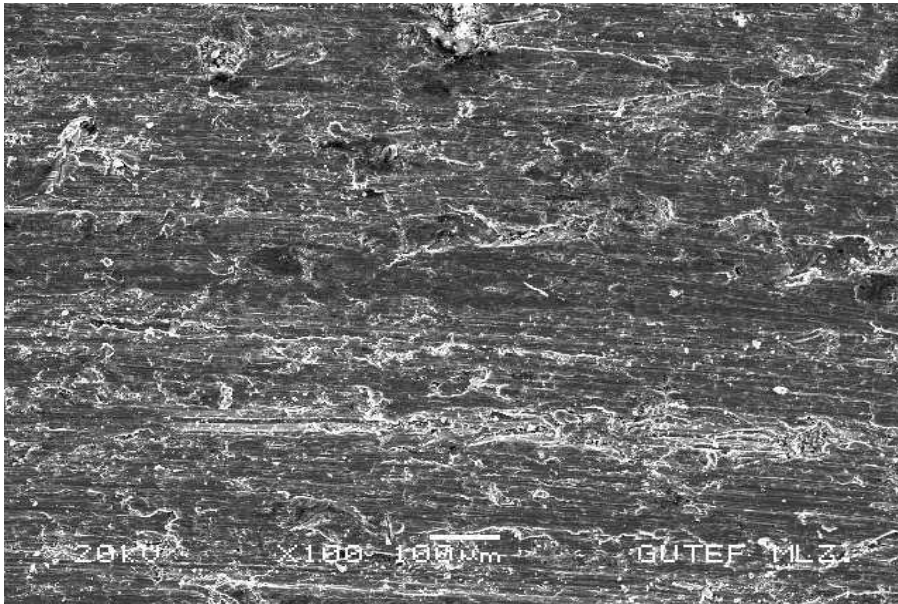


Şekil 5.22 10N, 20N, 30N yükte, 320 mesh partikül büyüklüğü ve %3, %6, %12 takviye hacim oranında, 800 °C sıcaklık ve 500 d/dak dönme hızıyla üretilen kompozitlerin aşınma miktarları

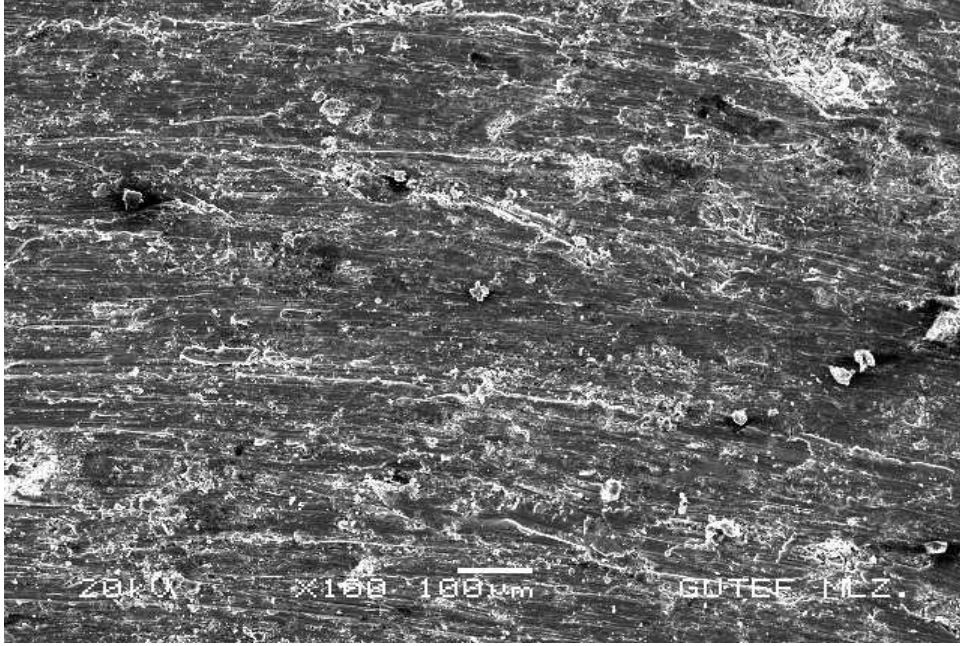
Şekil 5.22’de 10 N, 20 N, 30 N uygulanan kuvvetlere göre üretilen kompozitlerin aşınma miktarları görülmektedir. 10 N yük altında yapılan deneylerde hacim kaybının arttığı ; 20 N ve 30 N yük altında yapılan deneylerde hacim kaybının arttığı gözlenmiştir. Bu durum 10 N’a kadar olan yüklerde malzemedeki etkin aşınma mekanizmasının abrazyon , 20 N ve 30 N’da ise adhezyon olduğunu göstermektedir. Şöyleki SEM ile yapılan incelemeler 20 ve 30 N ‘luk yüklerde malzeme yüzeyinde sıvanma tabakalarının oluştuğunu göstermektedir. Başka bir deyişle aşınma parçacıkları 10 N ‘un üstünde yüklerde basınç etkisiyle yüzeye yapışmakta ve bir sıvanma tabakası oluşturmaktadır. Bu nedenle artan yükte hacim kaybında bir azalma gözlenmiştir. Benzer çalışmalar O. Bican ,. [35] tarafından da hacim kaybında bir azalma gözlenmiştir.



Şekil 5.23 10N Yükte, % 6 Takviye Hacim Oranında, 4 Dakikada, 500 dev/dak, 800°C 'de üretilen kompozitin Aşınma Sem Görüntüsü



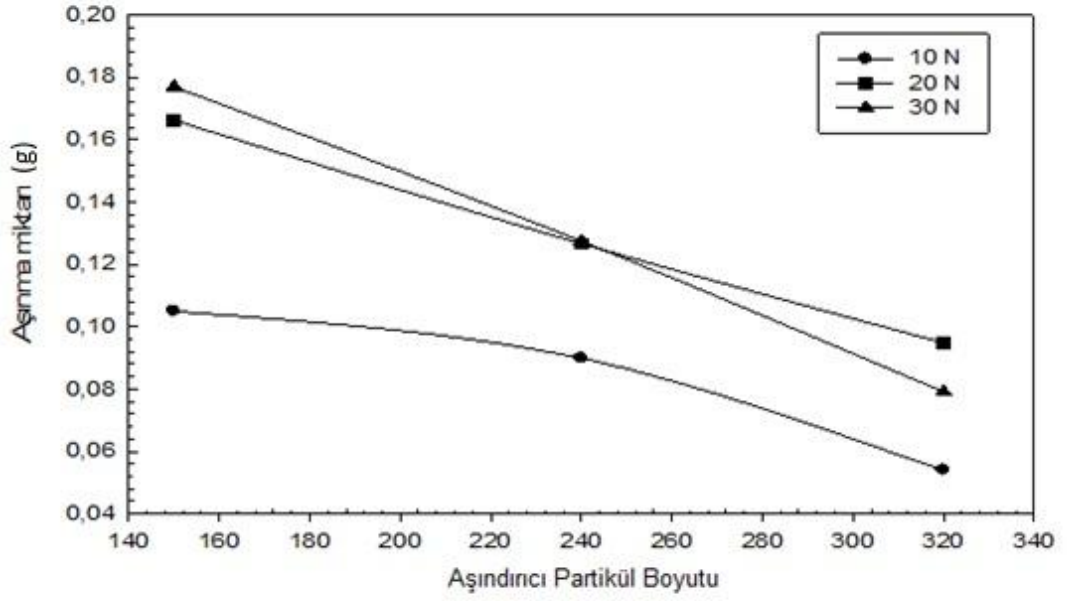
Şekil 5.24 20N Yükte, % 6 Takviye Hacim Oranında, 4 Dakikada, 500 dev/dak ve 800°C 'de üretilen kompozitin Aşınma Sem Görüntüsü



Şekil 5.25 30N Yükte, % 6 Takviye Hacim Oranında, 4 Dakikada, 500 dev/dak ve 750°C 'de üretilen kompozitin Aşınma Sem Görüntüsü

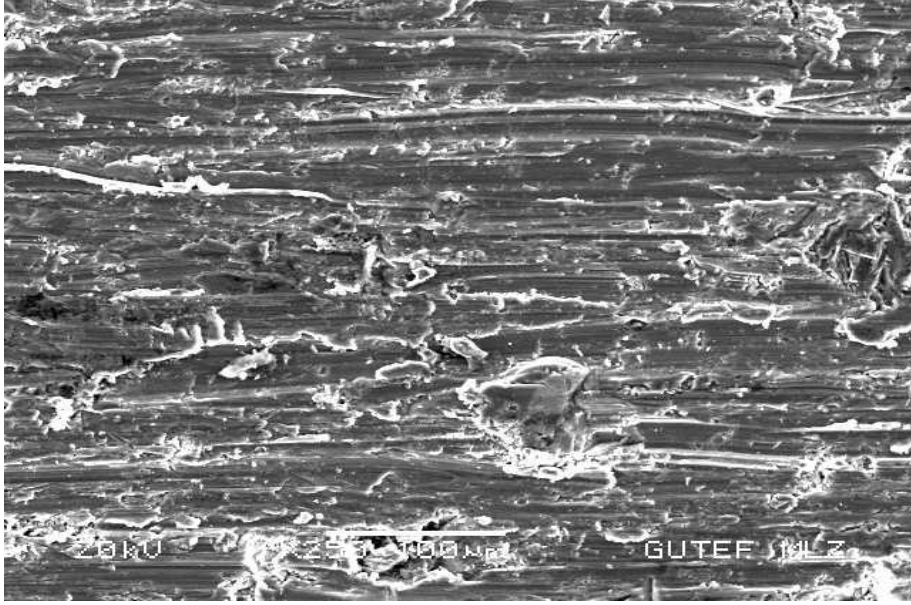
5.2.3 Uygulanan Aşındırıcı Partikül Büyüklüğüne Göre Deneysel Çalışmalar

Yapılan çalışmalarda her bir parça için 150, 240, 320 mesh partikül büyüklüğü kullanıldı. 10 N, 20 N, 30 N yüklerde ve farklı takviye hacim oranlarında bütün mesh partikül büyüklükleri ayrı ayrı test edildi. Şekil 5.4'de uygulanan mesh partikül büyüklüklerinde aşınma değişimi verilmiştir.

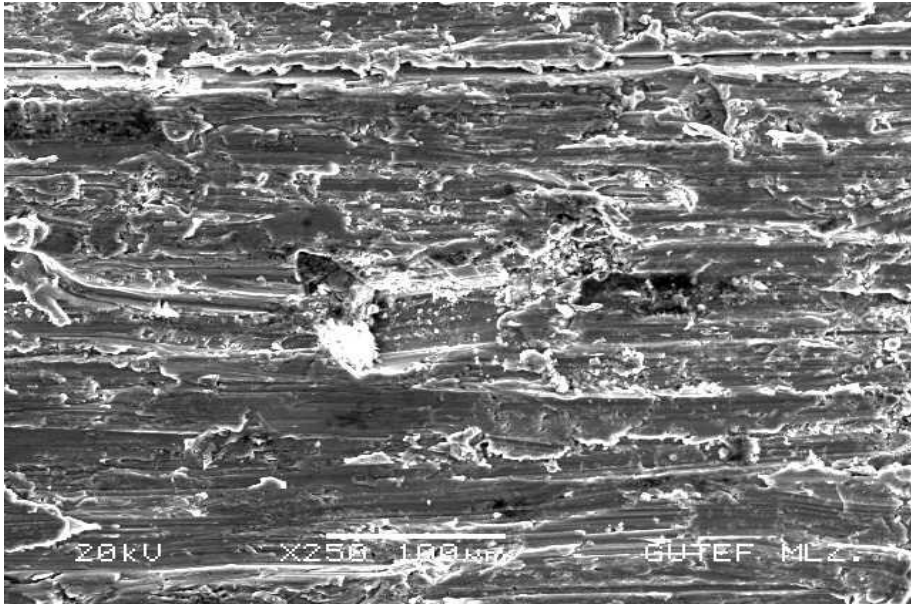


Şekil 5.26 10N, 20N, 30N yükte, 150, 240, 320 mesh partikül büyüklüğü ve %3 takviye hacim oranında, 800 °C sıcaklık ve 500 d/dak dönme hızıyla üretilen kompozitlerin aşınma miktarları

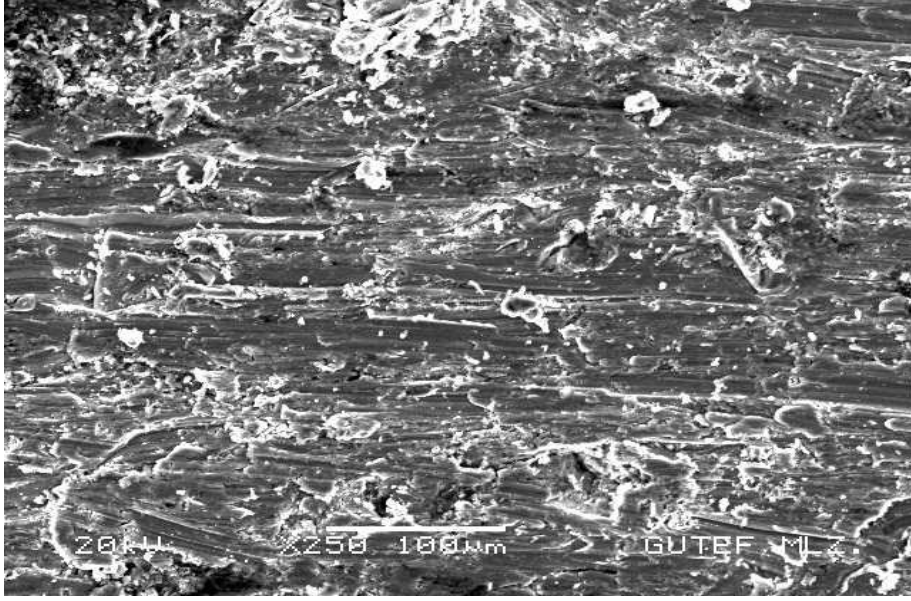
Şekil 5.26'da de görüldüğü gibi mesh boyutuna göre aşınma değişimi görülmektedir. Mesh partikül büyüklüğü boyutu arttıkça abrasiv kağıt içindeki aşınmanın boyutu küçülmektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi mesh partikül büyüklüğü arttıkça aşınma miktarı azalmaktadır. Benzer çalışmalar O. Bican ., [35] tarafından da desteklenmektedir.



Şekil 5.27 10N Yükte, % 3 Takviye Hacim Oranında, 4 Dakikada, 500 dev/dak da ,150 Mesh partikül büyüklüğü, 800°C'de Üretilen Kompozitin Aşınma Sem Görüntüsü



Şekil 5.28 20N Yükte, % 3 Takviye Hacim Oranında, 4 Dakikada, 500 dev/dak da, 240 Mesh partikül büyüklüğü, 800°C'de Üretilen Kompozitin Aşınma Sem Görüntüsü



Şekil 5.29 30N Yükte, % 3 Takviye Hacim Oranında, 4 Dakikada, 500 dev/dak da, 320 Mesh partikül büyüklüğü, 800°C'de Üretilen Kompozitin Aşınma Sem Görüntüsü

Sem görüntülerinde de görüldüğü gibi mesh partikül büyüklüğü miktarı arttıkça aşınma miktarı azalmaktadır. Benzer sonuçlar O. Bican ,. [35] ve R. Çalın ., M. Pul ., G. Küçüktürk ., U. Şeker ., [34] çalışmalarında da görülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

- Artan sıvı matris sıcaklıklarında kompozitlerin gözeneklerinin azaldığı görüldü. Bu durum artan sıcaklıklarda sıvı metalin yüzey geriliminin azalarak ıslatma özelliğinin artmasından kaynaklandığı söylenebilir.
- Artan sıvı matris sıcaklıklarında sıvı metalin yüzey gerilimi azaldığından ve matrisle takviye ara yüzeyinin sıvı matris tarafından iyi ıslatılmış olduğundan yüksek sıcaklıklarda daha az gözenek oluşmaktadır.
- Artan takviye hacim oranlarında kompozitlerin sertlikleri artmaktadır. Takviye hacim oranının artmasıyla da kompozit içerisindeki daha sert SiC partiküllerinin toplam hacimde daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır.
- Artan dönme hızlarında gözeneklilik artmaktadır. Bu durum artan dönme hızlarında karışma sırasında hava ya da gazların sıvı metalin içerisine absorbe olduğunu göstermektedir.
- Karıştırmalı dökümle kompozit üretiminde optimum karıştırma süresinin 4 dakika olduğu ifade edilmiştir. Optimum süresinin

üzerinde karıştırma yapıldığında sıvı matrisin daha fazla gaz emdiği (absorbe) ettiğinden kaynaklandığı söylenebilir.

- Artan takviye hacim oranı ile aşınma miktarının (hacim miktarının) azaldığı görülmüştür. Bu durum alaşımların sertliklerine dayandırılarak açıklanabilir. Şöyleki adhezif aşınma teorisine göre alaşımların meydana gelen hacim kaybı alınan yolla ve uygulanan yükü doğru orantılı, malzemenin sertliği ile ters orantılı olarak değişmektedir.
- 10 N yük altında yapılan deneylerde hacim kaybının arttığı ; 20 N ve 30 N yük altında yapılan deneylerde hacim kaybının azaldığı gözlenmiştir. Bu durum 10 N'a kadar olan yüklerde malzemedeki etkin aşınma mekanizmasının abrazyon , 20 N ve 30 N'da ise adhezyon olduğunu göstermektedir.
- Artan basınç kuvvetiyle hacim kaybında bir azalma gözlenmiştir. Bunu aşınma parçacıklarının 10 N' un üstündeki yüklerde basınç etkisiyle yüzeye yapışmasını ve bir sıvanma tabakası oluşturmasına bağlayabiliriz.

Bu çalışmadan farklı olarak çalışmak isteyen kişilere aşağıdaki nerileriler sunulabilir.

- Al 2014 / SiC kompozitlerin karıştırma döküm yöntemi ile üretilmesinde yüksek takviye hacim oranlarında deneysel çalışmalar yapılabilir. Ayrıca kompozitlere T6 ısıll işlemi uygulanarak bu işlemin mekanik ve termal özellikler üzerine etkileri incelenebilir.

KAYNAKÇA

- [1] Tavman , D.H., “Kompozit malzemelerin savunma sanayinde kullanım” Savunma Sanayinde Teknolojik Gelişmeler Sempozyumu, Ankara, 5-6 (1997).
- [2] Ramesh, C.S., Anwar Khan,A.R., Rvikumar, N. and Savanprabhu, P., “Prediction of wear coefficient of Al6061-TiO2 composites”, Wear, 259: 602-608 (2005).
- [3] Mondal, D.P. and Das, S., “High stress wear behaviour of aluminium hard particle composites: Effect of experimental parameters, particle size and volume fraction” ,Tribology International., xx:1-9 (2005)..
- [4] Zhiqiang, S., Di, Z. and Guobin, L., “Evaluation of dry sliding wear behaviour of silicon particles reinforced aluminium matrix composites”, Materials and Design., 26: 454-458 (2005)
- [5] Şahin, Y., “Kompozit Malzemelere Giriş”, Gazi Kitabevi, Ankara, 67-69 (2000).
- [6] Roebock, B., Gorley, T.A.E. and McCartney, I.N, “Overview, mechanical property test Procedures for metal matrix composites” Mater. Sci. Tech., 5: 12-19 (1989).
- [7] Elomari, S., et al., “Thermal Expansion Behavior of Particulate Metal-MatrixComposites”, Composites Science and Technology 58: 369-376 (1997).

- [8] Şahin, Y., “Kompozit Malzemelere Giriş”, Gazi Kitabevi, Ankara, 91-134 (2000).
- [9] Buhrmaster, C. L., Clark, D. E. And Smart, U., “Spray Casting Aluminum and Al/SiC Composites”, J. Of Metals, 44 (1988).
- [10] Sarıtaş S. “Engineering Metallurgy And Materials”, Ankara, 5-30 (1995).
- [11] Cornie, J. A., et al., “Solidification processing of metal matrix composites”, Ceramic Bulletin The American Ceramic Society, 65: 293-303 (1986).
- [12] Şahin, Y., “Kompozit Malzemelere Giriş”, Gazi Kitabevi, Ankara, 91-134 (2000).
- [13] Lubin, G., “Handbook of composites”, Van Nostrad Reinhold Co., 196 (1982)..
- [14] Ma, Q. S., Chen, Z. H., Zheng, W., Hu, H., “Processing and characterization of particles Si-O-C composites via pyrolysis of polysiloxane SiC or/and Al fillers”, Ceramics International, Elsevier, 31 (N) 8 : 1045-1051 (2005).
- [15] Berghezan, A., “Basic design concepts and spesific methods for the fabrication of metal matrix composites materials”, Advance In Composite Materials, ed., G. Piatti, 5-17 (1978).
- [16] Kreider, K. G., “In Composite Materials”, Ed by K. G. Kreider, Academic Pres, 4 : 1 (1974)..
- [17] Lilholt, H., “Mechanical behavior of composites”, Advance in Composites Materials, 209 (1978).

- [18] Sahin, Y., "Kompozit Malzemelere Giriş", Gazi Kitabevi, Ankara, 67-69 (2000).
- [19] Clyne, T. W., Withers, P. J., "An Introduction to Composite Materials", Cambridge University Press, 319-351 (1993).
- [20] Hull, D., "An Introduction to Composite Materials", Cambridge University Press, 71-79 (1992).
- [21] Tekeli, S., Çetinkaya, C., "Investigation of bonding strength of TZP/Al₂O₃ composites diffusion bonded with similar or dissimilar materials", 10. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, Bildiriler Kitabı, 24-28 Mayıs İstanbul, Cilt III ,1863-1866 (2000).
- [22] Ögel, B., Kaya, G., "Alüminyum-SiC kompozitlerin konvensiyonel sıcak presleme yöntemi ile üretimi", Uluslararası Katılımlı 2. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, 15-17 Eylül, ODTÜ, Ankara, 631-635 (1999).
- [23] Çıtak, R., "Metalik Baryum Alüminyum Başlangıç Tozlarının Düşük Sıcaklıkta Oksidasyonu ile Alüminyum Matrisli Kompozit Üretimi", Doktora Tezi. G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 26-39 (1998).
- [24] Bedir, F., Ögel, B., "TiC ve SiC katkılı Al kompozitlerinin azot atmosferi altında sıcak preslenmesi", 10. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı Cilt III, 24-28 Mayıs İstanbul, 1713-1719 (2000).
- [25] Chou, T. W. et al. 1987, "Non-linear elastic behaviour of flexible fibre composites" Composite, V 16 : 187 (1987).

- [26] Şimşir, M., Güngör, Ö., Ögel, B., “Al-Cu ve Al-Cu-Mg toz karışımlarının azot atmosferi altında sıcak presleme çalışmaları”, 10. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı Cilt III, 24-28 Mayıs, İstanbul, 1781-1788 (2000).
- [27] Bhagat, R. B., “High Pressure İnfiltration Casting Manufacturing Net Shape Composites With a Unique Interface”, Mat, Sci. And Eng., Elsevier Sequoia, A 144 : 243-250 (1991)
- [28] Simith, H. H., and Marchel, D. J., “Effect of Thermal and Thermomechanical Treatment on the Mechanical Properties of Centrifugally Cast Alloy 718” Materials Science and Engineering, A 102 : 161-168 (1988)..
- [29] Cornie, J. A., et al., “Solidification processing of metal matrix composites”, Ceramic Bulletin The American Ceramic Society, 65: 293-303 (1986).
- [30] Akbulut, H., Durman, M., “SiC partikül takviyeli Al-Si metal matriksli kompozitlerin santrifüj dökümü”, 8. Uluslar arası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 6-9 Haziran, Ankara, 687-692 (1995).
- [31] Vives, C. Et al. “Fabrication of Metal Matrix Composites Using a Helical Induction Stirrer”, Mat Sci and Eng., Elsevier Sequoia, A 173 :. 239 (1993).
- [32] Singh, J., et al., “Wear behavior of squeeze cast Al- Al₂O₃-MgO particulate MMC's under dry sliding conditions”, AFS Transactions, 815 (1991).
- [33] Şahin, Y., “Kompozit Malzemelere Giriş”, Gazi Kitabevi, Ankara, 91-134 (2000).

- [34] Çalın, R., Pul, M., Küçüktürk, G ., Şeker, U, “Effects of Reinforcement Volume Fraction on the Abrasive Wear Behaviour of AL-MgO Composites Produced by the Vacuum Intfiltration Method” , Journal of Engineering Tribology (SCI) Vol 225 Issue 2 February 84-90,(2011).
- [35] Bican, O., “Bakır ve Silisyum İçeren Al-25Zn Esaslı Alaşımların Dökülmüş ve Isıl İşlem Görmüş Durumdaki Yapısal , Mekanik ve Tribolojik Özellilerinin İncelenmesi”, Gazi Kitabevi, Karadeniz Teknik Üniveristesi , Trabzon.
- [36] Çalın, R., Citak, R., “Effects of Temperature on Infiltration Height in Producing MgO Reinforced Al Matrix Composite By Vacuum Intfiltration Method” 2nd International Conference on Recent Advances in Composite Materials , 20-23 Feb.2007 New Delhi, India.
- [37] Çalın, R., Pul, M., Çıtak, R., Şeker, U., “The Effects of Reinforcement Ratio on the Composite Structure and Mechanical Properties in Al-MgO Composites Produced by the Stirring Method” , Advanced Composites Letters, Vol, Iss 4,91-96(2011).
- [38] Çalın, R., “Magnezya Parçacık Takviyeli AL Matrisli Kompozitin Vakum İnfiltrasyon Yöntemi İle ve Özelliklerinin İncelenmesi” Gazi Üniversitesi, Ankara(2006).
- [39] Mortensen, A., “Fabrication of particulate reinforced Metal composites” Montreal, PQ, Canada, ASM international, Montreal, 217-233 (1990).
- [40] Howe, J.M., “International Materials Review”, 38: 233- 271 (1993).
- [41] Zhiqiang, S., Di, Z. and Guobin, L., “Evaluation of dry sliding wear behaviour of silicon particles reinforced aluminium matrix composites” ,Materials and Design., 26: 454-458 (2005).

- [42] Surappa, M.K. and Rohatgi, P.K., "Preperation and Properties of cast aluminum ceramik Particle composites",Materials Science, 16: 983 (1981).
- [43] Ramesh, C.S., Anwar Khan,A.R., Rvikumar, N. and Savanprabhu, P., "Prediction of wear coefficient of Al6061-TiO2 composites", Wear, 259: 602-608 (2005).
- [44] Mondal, D.P. and Das, S., "High stress wear behaviour of aluminium hard particle composites: Effect of experimental parameters, particle size and volume fraction" ,Tribology International., xx:1-9 (2005).
- [45] Rohatgi, P.K., "Cast aluminum matrix composites for automotive applications",Journal of Metals, 43 (4): 10-15 (1991).
- [46] Kurnaz, S.C., Akbulut, H. ve Durman, M., "Saffil (\square -Al₂O₃) fiber takviyeli çinko-alüminyum alasımı (ZA12) metal matriksli kompozitlerin infiltrasyon yöntemi ile üretimi ve özelliklerinin incelenmesi", 7. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi, Ankara, 1155 –1164 (1993).
- [47] Donomoto, T., Funatani, K., Miura, N. And Miyake, N., "Ceramic fiber reinforced piston for high performance diesel engines", Journal of Composite Materials, 9-10 (1983).
- [48] Dinwoodie, J., "Automotive applications for MMC's based on short Staple alumina fibres", Journal of Composite Materials, 23-27 (1987).
- [49] Armatlı ,M.K. Havacılık Kompozitleri ve Mukavemet- Maliyet Analizleri, Gazi Üniversitesi Merkez Kütüphanesi (1999).

- [50] Hiçyılmaz ,N., Toz Metalürjisi Yöntemleri ile Elde Edilen Seramik Tanecik Destekli Alüminyum Esaslı Kompozit Malzemelerin Aşınma Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi , Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (1999).
- [51] Köksal, Funda., Al-Cu-SiC ve Al-Cu-B₄C Kompozitlerin Sıcak Presleme Yöntemi İle Üretimi ve Aşınma Özelliklerinin Araştırılması , Yüksek Lisans Tezi , Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta (2008).
- [52] Mondal, P., and Das, S., (2005) High Stress Wear Behaviour of Aluminium Hard Particle Composites: Effect of Experimental Parameters, Particle Size and Volume Fraction, Tribology International,1-9. (2005)
- [53] Cebeci, Hasan Ali., Mekanik Alaşımlama Yöntemi İle Üretilen SiC Takviyeli Alüminyum Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi,Yüksek Lisans Tezi , Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük (2008).
- [54] Hughess, D H., Fibres Reinforcement Composite Materials-Part 2, The Journal Inst. Of Metals and Materials, 45: 359-365, (1986).
- [55] Donomoto T, Funatani K, Miura N and Miyake N Ceramic Fiber Reinforced Piston for High Performance Diesel Engines, Journal of Composite Materials, 9-10, (1983).
- [56] Dinwoodie, J., (1987) Automotive Applications for MMC's Based on Short Staple Alumina Fibres, Journal of Composite Materials, 23-27, (1987).

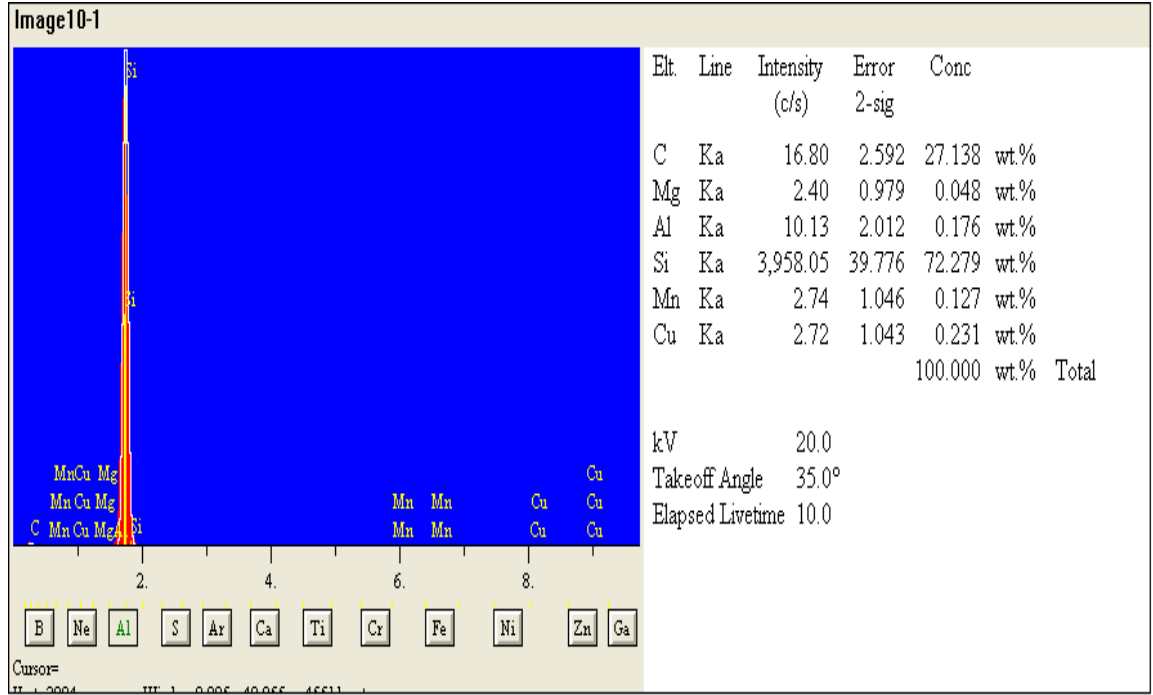
- [57] Sur, G., (2002) Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Üretim ve İşlenebilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi , Gazi Üniversitesi, Ankara (2002).
- [58] Lubin, G., “Handbook of composites”, Van Nostrand Reinhold Co., 196, (1982).
- [59] Şahin, Y., “Kompozit Malzemelere Giriş”, Seçkin Kitabevi , Ankara, 28,61-78 , (2006).
- [60] Kreider, G.K., “Metal matrix composites”, Academic press, New York, 132-135 ,(1974).
- [61] Özkan, S., Alüminyum Matrisli SİC Parçacıklı Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Alaşım Yöntemi İle Üretimi ve Kuru Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi , Gazi Üniversitesi, Ankara (2007).
- [62] Yılmaz, M., Alüminyum Alaşımlarının Aşınma Davranışları, Yüksek Lisans Tezi , Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (1996).
- [63] Turhan, S., (2002) Alüminyumun Mekanik Özelliklerine ve Aşınma Davranışlarına Magnezyumun ve Silisyumun Etkisi, Yüksek Lisans Tezi , İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 64 s. (2002).
- [64] Sun, Y ., Yüksek Krom ve Nikelli Çeliklerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi , İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2004).

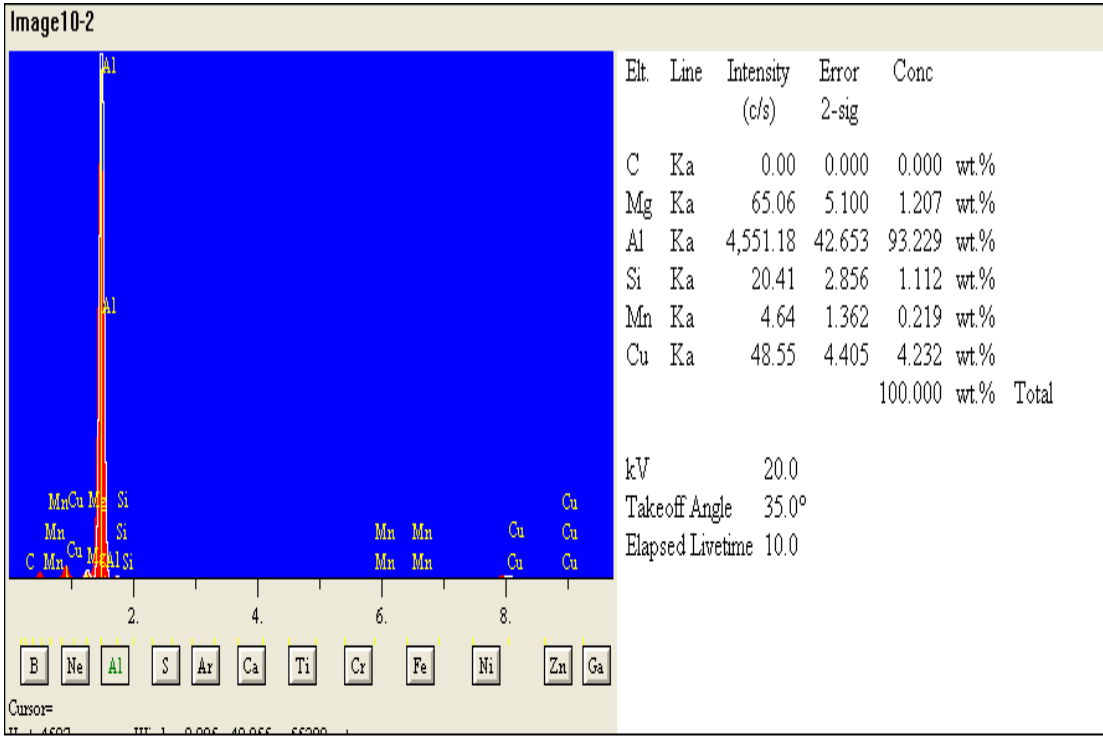
- [65] Cöcen, Ü., Belevi, M., ve Önel, K., Tane Silisyum Karbür Katkılı Alüminyum Alaşımı Bazlı Kompozitlerin Aşınma Davranışı, D.E.Ü Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 7. Denizli Malzeme Sempozyumu, (1997).
- [66] Keleştimur, M H., Makine Yapı Çeliklerinin Abrazif Aşınma Direncinin Yüzey Sertliğine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi , Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 14-31, (1989).
- [67] Odabaş, D., Kuru Sürtünme Şartlarında Termomekanik Faktörlerin AISI 3315 Çeliğinin Aşınma Davranışına Olan Etkilerin Teorik ve Deneysel Araştırılması, Doktora Tezi , E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, (1991).
- [68] İpek, R., AISI 1020 Çeliğinin, Yüzey Sertleştirme İşlemleri Uygulanarak AISI 5155 Çeliğinin Yerine Kullanabilirliğinin Deneysel Araştırılması, Doktora Tezi , E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri ,(1992).
- [69] Lubin, G., "Handbook of composites", Van Nostrad Reinhold Co., 196 (1982).
- [70] 59. Halling, J., "Principles of Tribology", MacMillan Press, London 214-219 (1975).
- [71] Nair, F., "Al/SiCp kompozitlerin ekstürüzyonunda kalıp sürtünme-aşınma özelliklerinin incelenmesi ve değerlendirilmesi", Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 93-97 (2005).
- [72] Karamıs, M.B., "Wear properties of steel plasma nitrided at high temperatures", Material Science and Engineering-A, 168: 49-53 (1993).

- [73] Sahin, Y., "Dry wear behaviour of saffil fibre-reinforced metal composites", 8th International Machine Design and Production Conference, Ankara 469-477 (1998).
- [74] Şahin, Y., "The machanical and wear behaviour of SiC reinforce metal matrix composite" Ph. D.Thesis, The University of Aston, Birmigham, 28-31 (1994).
- [75] Halling, J., "Principles of Tribology", MacMillan Press, London 214-219 ,(1975).
- [76] Gül, F., "Magnezyum alaşımlarının döküm özelliklerinin incelenmesi", Doktora Tezi , Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (2008).

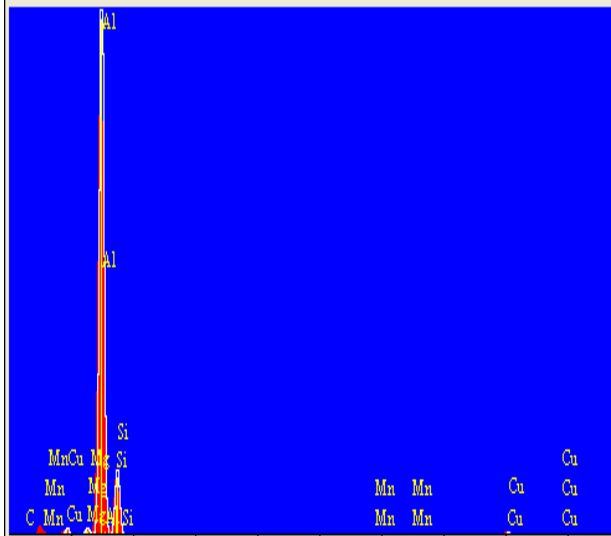
EKLER

Mikro yapıları çekilmiş kompozitlerden alınan eds sonuçları aşağıda verilmiştir. Aşağıda Si miktarı, Al miktarı, Si ve Al miktarları ve alınan SiC partiküllerinin eds fotoları verilmektedir.





Spectrum13



El.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc wt. %
C	Ka	7.67	1.752	10.752 wt. %
Mg	Ka	45.96	4.288	0.776 wt. %
Al	Ka	3,922.71	39.611	68.451 wt. %
Si	Ka	462.22	13.597	17.771 wt. %
Mn	Ka	5.62	1.500	0.234 wt. %
Cu	Ka	26.31	3.244	2.016 wt. %
				100.000 wt. % Total

kV 20.0
 Takeoff Angle 35.0°
 Elapsed Livetime 10.0

Cursor=

WT: 1.0000 WT: 1.0000 WT: 1.0000 WT: 1.0000

B
 Ne
 Al
 S
 Ar
 Ca
 Ti
 Cr
 Fe
 Ni
 Zn
 Ga



Ek 2) Sertlik Değerleri:

	SERTLİK DEğERLERİ (HV)						ORTALAMA DEğER
	1	2	3	4	5	6	
1. PARęA	133	135	156	153	142		143,8
2. PARęA	125	114	103	112	113		113,4
3. PARęA	147	147	147	91,3	80,4	147	126,6
4. PARęA	146	151	118	156	116		137,4
5. PARęA	129	136,5	128	134	133		132,1
6. PARęA	179	155	150	154	141		155,8
7. PARęA	123	124	144	159	145		139
8. PARęA	131	106	149	165	176		145,4
9. PARęA	186	179	191	165	153		174,8
10. PARęA	177	186	189	197	210	234	198,8
11. PARęA	167	225	230	203	225		210
12. PARęA	228	246	265	245	245		245,8
13. PARęA	241	208	208	208	271		227,2

Ek 3) % Gözenek Miktarları:

	HAVA(gr)	SU (gr)	% GÖZENEK
1. DENEY	2,7598	1,705	7,14
2. DENEY	2,3264	1,2696	21,87
3. DENEY	2,2821	1,2268	23,25
4. DENEY	2,7533	1,6978	7,825
5. DENEY	2,4806	1,3801	20,34
6. DENEY	2,5412	1,4697	16,218
7. DENEY	2,3449	1,2755	22,52
8. DENEY	2,2697	1,2634	20,325
9. DENEY	2,6718	1,5904	23,44
10. DENEY	2,6905	1,6204	11,903
11. DENEY	2,4419	1,4139	16,76
12. DENEY	2,507	1,4104	19,908
13. DENEY	2,6638	1,5706	14,641

Ek 4) Tane boyutunun bulunması:

Malvern Sizer [RC, 1]

File Edit Measure View Control Setup Help

MALVERN MASTERSIZER
INSTRUMENTS

Run No. 1

Presentation: 20HD
 Polydisperse model
 Sample: RC , 1
 Focus = 300 mm.

Source: Analysed
 Beam Length = 2.4 mm.

Volume Result
 Obscuration = 16.0 %

Measured on: 06 Jun 2012 Wed 21:49
 Analysed on: 06 Jun 2012 Wed 21:49
 Last Saved: 06 Jun 2012 Wed 21:49
 Configuration file: SIZER
 Sample Path: A:\

Residual = 0.780 %
 Uniformity = 0.490
 Specific S.A. = 0.0356 sq. m. /gm.
 d (v, 0.5) = 92.53 um
 d (v, 0.1) = 34.45 um

Concentration = 0.148 %
 Span = 1.582

Mode = 111.68 um
 d (v, 0.9) = 180.87 um

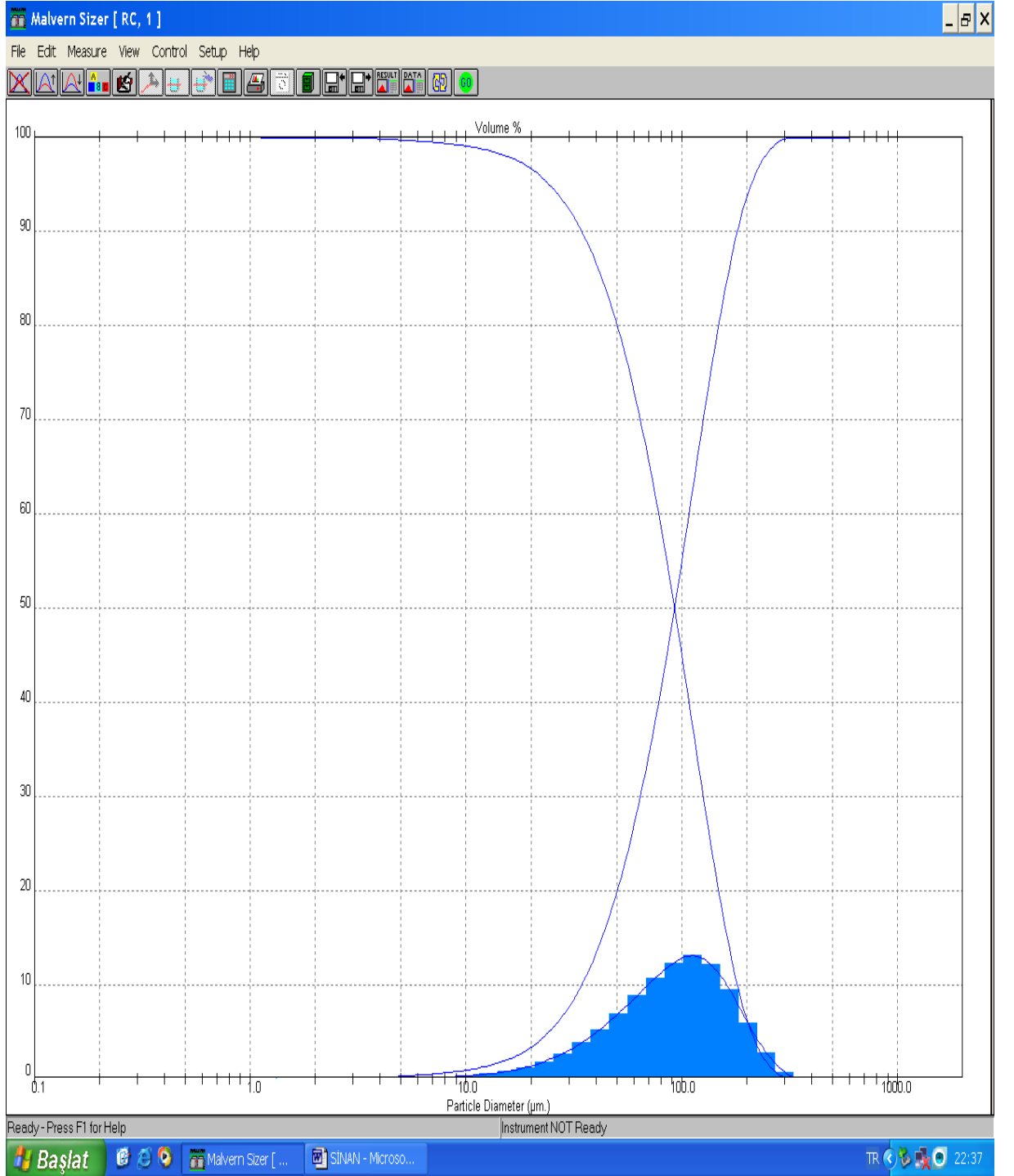
D [4, 3] = 101.44 um
 D [3, 2] = 62.42 um.

Size (Lo) um	Volume In %	Size (Hi) um	Volume Below %
0.50	0.00	1.32	0.00
1.32	0.00	1.60	0.00
1.60	0.00	1.95	0.00
1.95	0.00	2.38	0.00
2.38	0.00	2.90	0.00
2.90	0.07	3.53	0.07
3.53	0.10	4.30	0.17
4.30	0.11	5.24	0.29
5.24	0.14	6.39	0.43
6.39	0.17	7.78	0.60
7.78	0.22	9.48	0.82
9.48	0.33	11.55	1.15
11.55	0.50	14.08	1.65
14.08	0.78	17.15	2.43
17.15	1.21	20.90	3.64
20.90	1.82	25.46	5.46

Size (Lo) um	Volume In %	Size (Hi) um	Volume Below %
25.46	2.67	31.01	8.14
31.01	3.79	37.79	11.93
37.79	5.21	46.03	17.14
46.03	6.93	56.09	24.07
56.09	8.82	68.33	32.89
68.33	10.70	83.26	43.59
83.26	12.31	101.44	55.89
101.44	13.08	123.59	68.97
123.59	12.10	150.57	81.07
150.57	9.51	183.44	90.58
183.44	5.95	223.51	96.53
223.51	2.77	272.31	99.31
272.31	0.69	331.77	100.00
331.77	0.00	404.21	100.00
404.21	0.00	492.47	100.00
492.47	0.00	600.00	100.00

Ready - Press F1 for Help | Instrument NOT Ready

Başlat | Malvern Sizer [...] | Document1 - M... | TR 21:47



RC(tamam) Ortalama toz boyutu $d_{0,5} = 92,53 \mu\text{m}$ olarak bulunmuştur.