



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HADDEHANE TUFALİNİN POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİT
ÜRETİMİNDE KULLANIMI

HAZIRLAYAN
MUSTAFA ÖZCAN

DANIŞMAN
PROF. DR. MUSTAFA SABRİ GÖK

BARTIN-2019



T.C.
BARTIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

HADDEHANE TUFALİNİN POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİT ÜRETİMİNDE
KULLANIMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN
Mustafa ÖZCAN

JÜRİ ÜYELERİ

Danışman	: Prof. Dr. M. Sabri GÖK	- Bartın Üniversitesi
Üye	: Doç. Dr. Okan ÜNAL	- Karabük Üniversitesi
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Bilal KURŞUNCU	- Bartın Üniversitesi

BARTIN-2019

KABUL VE ONAY

Mustafa ÖZCAN tarafından hazırlanan “HADDEHANE TUFALİNİN POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİT ÜRETİMİNDE KULLANIMI ” başlıklı bu çalışma, 28.08.2019 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. M. Sabri GÖK (Danışman)

Üye : Doç. Dr. Okan ÜNAL

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Bilal KURŞUNCU

Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. H. Selma ÇELİKAY
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Prof. Dr. M.Sabri GÖK danışmanlığında hazırlamış olduğum “HADDEHANE TUFALİNİN POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİT ÜRETİMİNDE KULLANIMI ” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

28.08.2019

Mustafa ÖZCAN



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimi boyunca bilgi ve birikimini benden esirgemeyen, ilgi ve alakasını her daim gösteren, insani ve ahlaki değerleri ile de örnek edindiğim sınırsız sabır gösteren değerli hocam Sayın Prof. Dr. M. Sabri Gök'e teşekkürlerimi sunarım.

Mühendislik mesleğinin öğrenilmesinde ve gerek sosyal alanda gerek kişisel gelişim alanında desteğini esirgemeyen olumlu ve yapıcı eleştirileri ile beni yönlendiren; tezin yazımında ve geliştirilmesinde, eksik ve hatalarımın giderilmesinde katkılarda bulunan, bir tez danışmanı gibi beni yönlendiren, destekleyen, kıymetli vakitlerini ve katkılarını esirgemeyen sevgili ağabeyim Alaattin Kaya'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans yapmamı desteleyen ve halende iş & eğitim alanında gelişmemi sağlayan ECOPLAS otomotiv firmasının değerli yöneticileri olan Sayın Bülent Yazıcı, Yeşim Yazıcı, Mahmut Yazıcı ve Emre Bingöl'e sonsuz teşekkürlerini sunarım.

Tüm hayatım boyunca maddi ve manevi olarak hep yanımda bulunan ve beni bugünlere taşımada büyük rol alan anne ve babama, hayatımı beraber paylaştığım, acı tatlı anlarda yanımda olan sevgili eşim Gizem'e, oğlum Ali'ye Saygı, sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Mustafa ÖZCAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HADDEHANE TUFALİNİN POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİT ÜRETİMİNDE KULLANIMI

Mustafa ÖZCAN

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa Sabri GÖK

Bartın-2019, sayfa: 45

Bu çalışmada ticari ismi Clarofast olan polimer esaslı malzemenin kuru-kayma aşınma direnci haddehane tufali (Fe_2O_3) kullanılarak arttırılmaya çalışılmıştır. Clarofast matris içerisine % 5, 10, 15, 20 ve 25 oranlarında ve 61-67, 67-91, 91-125 μm boyutlarında Haddehane tufali (Fe_2O_3) katılarak kompozit numune üretilmiştir. Numuneler 40 mm çapında ve 10 mm kalınlıkta sıcak kalıplama cihazında 250 C ve 50 N yük altında 30 dk preslenerek üretilmiştir. Üretilen numuneler basınçlı hava ile temizlendikten sonra 7 ve 10 N luk yük altında 0.15 m/sn kayma hızında kuru-kayma aşınma testlerine tabi tutulmuşlardır.

Deneyle sonucunda takviye edici boyut ve oranına bağlı olarak kompozit numunelerde aşınma direncinin yükseldiği görülmüştür. En iyi aşınma direnci % 5 Fe_2O_3 katkılı numunelerde görülürken artan takviye edici oranının aşınma direncini düşürdüğü görülmüştür. Artan takviye edici boyutu aşınma direncini olumlu yönde etkilemiştir.

Anahtar Kelimeler: Aşınma; Haddehane Tufali; Polimer Malzemeler; Kompozit.

Bilim Kodu: 625.02.05

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE USAGE OF ROLLING SCALE AT PRODUCTION OF POLYMER MATRIX COMPOSITE

Mustafa ÖZCAN

Bartın University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor: Prof. Mustafa Sabri GÖK

Bartın-2019, pp: 45

In this study, the dry-sliding abrasion resistance of polymer based material whose trade name is Clarofast was tried to be increased by using rolling scale (Fe_2O_3). Composite sample was produced by adding 5, 10, 15, 20 and 25% and 61-67, 67-91, 91-125 μm rolling mill scale (Fe_2O_3) into Clarofast matrix. Samples were produced by pressing for 40 minutes under 250 C and 50 N load in a 40 mm diameter and 10 mm thickness hot molding device. The samples were cleaned with compressed air and subjected to dry- sliding abrasion tests at a shear rate of 0.15 m / sec under a load of 7 and 10 N.

As a result of the experiments, it was observed that the abrasion resistance of composite samples increased depending on the size and ratio of reinforcing material. The best abrasion resistance was observed in the samples with 5% Fe_2O_3 added, while increasing reinforcing material ratio was found to decrease the abrasion resistance. The increased reinforcing material size positively affected the wear resistance.

Keywords: Abrasion; Rolling Scale; Polymer Materials; Composite.

Science Code: 625.02.05

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL VE ONAY	ii
BEYANNAME.....	ii
ÖNSÖZ.....	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 AŞINMA	2
2.1 Aşınma Türleri.....	2
2.1.1 Adezyon Aşınması.....	2
2.1.2 Abrazif Aşınması.....	3
2.1.3 Oksidasyon Aşınması	4
2.1.4 Yorulma Aşınması.....	4
2.1.5 Eroziyon Aşınma.....	5
BÖLÜM 3 POLİMER MALZEMELER.....	6
3.1 Polimer Malzemelerin Sınıflandırılması.....	8
3.1.1 Organik Polimerler	9
3.1.2 İnorganik Polimerler.....	9
BÖLÜM 4 POLİMER KOMPOZİTLER.....	12
BÖLÜM 5 NANOKOMPOZİTLER.....	15

5.1	Nanokompozitlerin Çeşitleri:.....	16
5.1.1	Seramik Matris Nanokompozitleri	17
5.1.2	Metal Matris Nanokompozitleri	17
5.1.3	Polimer Matris Nanokompozitleri	17
5.2	Nanokompozitlerin Avantajları	18
5.3	Al-Nano Al ₂ O ₃ Kompozitler	18
5.4	Al/Al ₂ O ₃ Nanokompozitleri.....	19
5.5	Al ₂ O ₃ -SiC Nanokompozitler.....	20
BÖLÜM 6 HADDEHANE TUFALİ (PULLANMA OLUŞUMU).....		21
BÖLÜM 7 DENEYSEL ÇALIŞMALAR		29
7.1	Numunelerin Üretimi	29
7.2	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-Scanning Elektron Microscopy).....	29
7.3	Noktasal Analiz Çalışmaları (EDS- Energy Dispersive Spectroscopy)	29
7.4	X- 3D Optik Profilometre İncelemeleri	30
7.5	Sertlik Deneyleri	30
7.6	Kuru-Kayma Aşınma Deneyleri	30
BÖLÜM 8 BULGULAR VE DEĞERLENDİRME.....		31
BÖLÜM 9 SONUÇ VE ÖNERİLER		40
KAYNAKLAR.....		42
ÖZGEÇMİŞ.....		45

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
2.1: Yaygın aşınma türleri.	2
2.2: Adezyon Aşınması.	3
2.3: Abrazif aşınma mekanizmaları.	4
2.4: Bilinen erozif aşınma mekanizmaları.	5
3.1: Propilen monomeri polimerizasyonu ile Polipropilen polimeri.	6
3.2: Vinil klorid mer ünitesi ve PVC polimer zincirinin kimyasal yapısı.	6
3.3: PE, PVC ve PP Polimerlerin zincir yapıları ve Mer üniteleri.	7
3.4: Farklı özellikteki polimer malzemelerin gerilme-birim şekil değişimi grafiği.	8
3.5: Polietilen zinciri.	9
3.6: Silikon polimerin yapısı.	9
3.7: Termoplastik Malzemelerin Yapısı	11
3.8: Termosetlerin Yapısı	11
3.9: Elastomerlerin Yapısı.	11
4.1: İki yün dokuma arasına kauçuktan yapılmış bir tabakanın yerleştirilip ısı altında sıkıştırılmasıyla hazırlanabilecek, üç katmanlı bir polimer kompoziti.	12
4.2: Kompozitler ve diğer bazı maddelerin karşılaştırmalı (a) yoğunluk ve (b) kopma dayanımları	14
6.1: Saf Magnezyumun oksijen içerisinde oksitlenmesi.	23
6.2: Oksitlenme sürecinin şematik gösterimi.	24
6.3: Bakırın havada parabolik oksitlenmesi ve çeşitli alarım elementlerinin B tempo sabitesi üzerine etkisi.	24
6.4: Oksit tabakasının XRD görüntüleri.	27
6.5: Toz ağırlığının etkisi	28
6.6: Düşük silisyumlu çeliğin haddelenme kesit alanı SEM mikrografı.	28
7.1. Ball-on-disk tribometre cihazı.	30
8.1: Ögütülmüş Tufal tozlarının SEM görüntüsü 61-67 µm 1000x.	31
8.2: Ögütülmüş Tufal tozlarının SEM görüntüsü 67-91 µm 1000x.	32
8.3: Ögütülmüş Tufal tozlarının SEM görüntüsü 91-125 µm 1000x.	32
8.4: Kompozit numunenin MAP ing analiz raporu % 5 67-91 µm.	33
8.5: 7 N luk yük altında numunelerde meydana gelen hacim kayıpları (mm ³).	34
8.6: 7 N luk yük altında numunelerde meydana gelen hacim kayıpları.	35

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

Şekil No	Sayfa No
8.7:Takviyesiz kompozit numunenin aşınma sonrası iz SEM fotoğrafı.....	36
8.8: Takviyesiz kompozit numunenin aşınma sonrası iz SEM fotoğrafı.....	37
8.9:Takviyesiz kompozit numunenin aşınma sonrası iz SEM fotoğrafı.....	37
8.10:Takviyesiz kompozit numunenin aşınma sonrası iz SEM fotoğrafı.....	38
8.11: Takviyesiz kompozit numunenin aşınma sonrası iz SEM fotoğrafı.....	38
8.12: Tufal tozları (67-91µm) ile takviye edilen kompozit numunenin aşınma sonrası iz SEM fotoğrafı.....	38
8.13: Tufal tozları (91-125 µm) ile takviye edilen kompozit numunenin aşınma sonrası iz SEM fotoğrafı.....	39

TABLULAR DİZİNİ

Tablo	Sayfa
No	No
5.1: Malzeme özelliklerine boyut etkileri.....	16
6.1: Bazı kaplamaların kullanılabilceği en yüksek sıcaklıklar.	22
6.2: Tufalin genel bileşimi.....	25



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al	: Aluminyum
O	: Oksijen
Si	: Silisyum
H	: Hidrojen
C	: Klor
Ni	: Nikel
Ti	: Titanyum
Fe	: Demir
Mg	: Magnezyum
Cr	: Krom
Co	: Kobalt
Au	: Altın
Ag	: Gümüş
PbS	: Kurşun Sülfür
CdS	: Kadmiyum Sülfür
MEMS	: Mikroelektro Mekanik Sistemler
A_0	: Oksidin molekül ağırlığı
A_M	: Metalin atomik ağırlığı
ρ_M	: Metalin yoğunluğu
ρ_0	: Oksidin yoğunluğu
Ca	: Kalsiyum
CNT	: Karbon Nanatüp
PVC	: Polivinil Klorür
PP	: Polipropilen
PMK	: Polimer Matris Kompozit
PA	: Poliamid
PTFA	: Politetrafloretillen
W	: Ağırlık
A	: Sabit
B	: Tempo sabitesi
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	: X ışını Kristalografisi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Kompozit malzemeler günümüzde birçok alanda kullanılmaya başlanmış ve metal malzemelerinin yerini almaya başlamıştır. Daha üstün özelliklere sahip olan Kompozit malzemeler alternatifi olduğu malzemelere göre daha hafif ve sağlamdırlar. Birçok alanda kullanılmaya başlanan ve zamanla daha da geliştirilen bu malzemelerin mekanik ve kimyasal özellikleri iyileştirilmiştir.

Kompozit malzeme kadar günümüzde kullanımı artan bir diğer malzeme ise polimer malzemelerdir. Ancak mekanik özelliği çok iyi olmadığından önemli bir dezavantajdır. Polimerlerin özelliklerini iyileştirmek için yapıya farklı parçacıklar katarak daha iyi malzeme edilmeye çalışılmıştır. Polimer matrise, nano tanecik eklenmesiyle malzeme performansını artırması yapılan çalışmalarda gözlemlenebilmektedir.

Nanokompozitler, ölçeği en az 100 µm olan, yapısal bileşiminde nano tanecikler içeren malzemelerden oluşan çok fazlı malzemelerdir. Kompozit materyallerin üretim amacı birbiri içerisinde çözünmeyen materyallerden yeni ve geliştirilmiş özelliklere sahip bir materyal elde etmektir. Nanokompozitler, geleneksel malzemelere göre daha avantajlıdır. Nanokompozit malzemelerden olan Al-Al₂O₃ hafif ve yüksek mukavemeti ile otomotiv ve havacılık uygulamalarında kullanılmaktadır. Yüksek dayanım ve sünekliğin optimum bir bileşimi alüminyum metal matrislere geniş bir gelişmiş uygulama alanı vermektedir.

Türkiye'deki haddeler de çelik üretiminin %4-5'i kadar tufal olduğu varsayılmaktadır. Ülkemizde yaklaşık yıllık 35 milyon ton çelik üretildiğinde ortaya çıkan tufal miktarı oldukça yüksektir. Bu çalışmada atık olarak oluşan tufaller takviye edici olarak kullanılarak kompozit malzemenin aşınma direncine olan etkisi araştırılmaya çalışılmıştır.

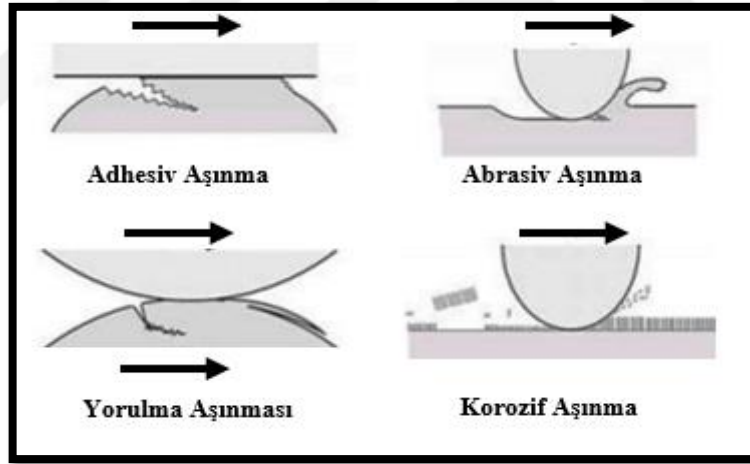
BÖLÜM 2

AŞINMA

Aşınma, malzemelerin başka malzemelerle teması neticesinde mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların ayrılması sonucu meydana gelen ve istenmeyen yüzey bozulması olarak tanımlanmaktadır (DIN 50320, 1979).

2.1 Aşınma Türleri

Burwell'e göre 5 farklı tipte sınıflandırılmasına rağmen (Adezyon aşınması, abrazyon aşınması, yorulma aşınması, kimyasal (korozif) ve elektrik ark aşınmaları ile küçük tipli aşınmalar (Burwell, 1957) erozyon aşınması bu sınıflandırmaya dahil edilmemiştir. En sık görülen aşınma türleri Şekil 2.1'de sunulmuştur (Kato ve Adachi, 2001).

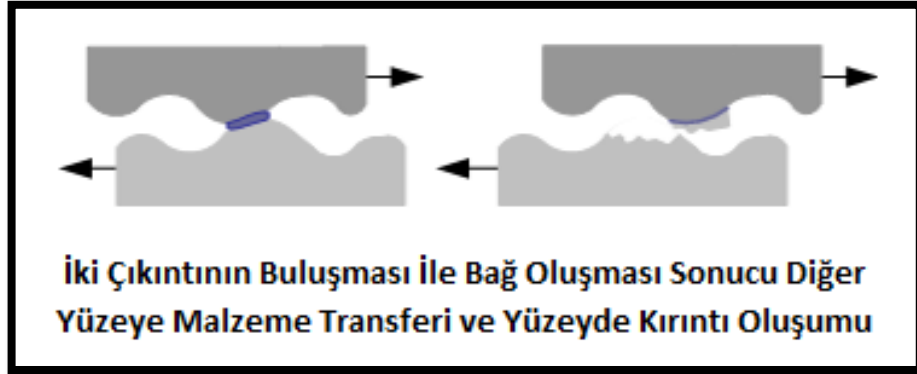


Şekil 2.1: Yaygın aşınma türleri.

2.1.1 Adezyon Aşınması

Adezyon aşınması; yapışma, ovalanma yada kavrama olarak da bilinmektedir ve iki katı cismin birbirine temas eden cisimlerin temas yüzeyleri yüzey pürüzlüğü sebebiyle çok küçüktür. Yüksek olmayan bir kuvvet etkisi altında dahi bu noktadaki gerilmeler; alan küçük olduğu için akma gerilmesi sınırına ulaşabilmektedir. Akma neticesinde plastik deformasyona uğrayarak ve cisimler birbirine mikro kaynaklar ile bağlanırlar. Devam eden izafi hareket sebebiyle kaynak bağı kopar (Şekil 2.2) (Maugis, 2001). Kopma sonucu

malzemesi daha yumuşak olan cismin yüzeyinde boşluk, diğer cismin yüzeyinde ise çıkıntı meydana gelir ve iki yüzey arasına adeziv parçacıklar dökülür (Maugis, 2001).



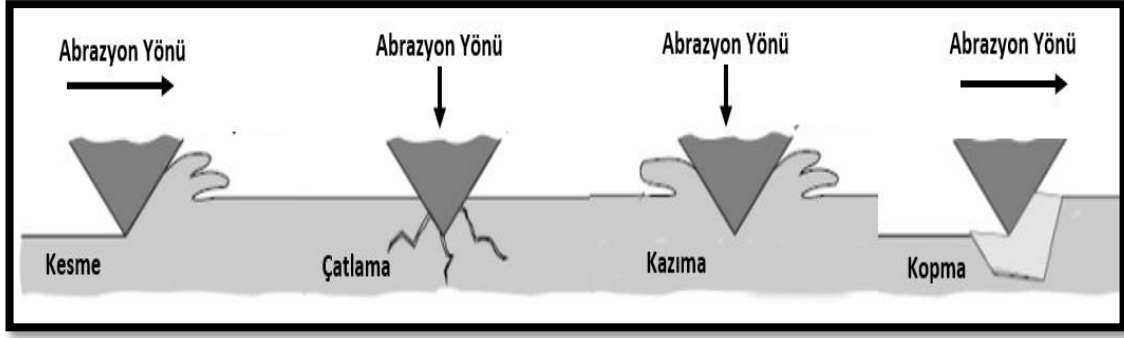
Şekil 2.2: Adezyon Aşınması.

Temas yüzeylerinin sertlikleri, yüzey kaliteleri, yüzeyler arasındaki gerilme ve sıcaklık, adezyon aşınmasına etki eden en önemli faktörlerdir. Genellikle sert metaller çok zor plastik davranış gösterirler ve daha düşük sürtünme katsayısına sahiptirler bu nedenle malzemenin mümkün olduğunca sert olması adezyon aşınmasını azaltacaktır. Adezyon aşınması benzer veya kolay alaşım yapabilen malzemeler arasında meydana geldiğinden malzeme çiftlerinden birisi sert ise, diğeri yumuşak olacak şekilde seçilmelidir. Temas yüzey alanının artırılması gerilimi ve dolayısıyla adezyon aşınmasını azaltacaktır. Yüzeylere yapışmış yağ tabakası da adezyonu büyük ölçüde önlemektedir (Akkurt, 2000).

2.1.2 Abrazif Aşınması

Abrazyon aşınması, genellikle sert iş parçalarının işlenmesinde ve sertleştirilmiş parçalarda ortaya çıkmaktadır. Bağlı hareket yapan iki cisim arasına yabancı sert parçacıkların girmesi ve bu parçacıkların yumuşak yüzeye gömülerek sert yüzeyden malzeme kaldırmasıyla görülmektedir. Sert parçacıklar gömüldükleri yüzeyde de tahribata neden olarak yüzeyi hareket yönünde çizerler. Parça boyutu arttıkça aşınma miktarı da artmaktadır. Çok hızlı meydana gelen bu aşınmaya malzemelerin ısıl işlem ile sertleştirilmesi ile önlem alınmaya çalışılmaktadır.

Abrazif aşınma mekanizmaları; kesme, çatlama, kazıma, kopma olarak dört başlıkta toplanabilir. Şekil 2.3'te bu mekanizmalar sunulmaktadır (Stachowiak ve Batchelor, 2001).



Şekil 2.3: Abrazif aşınma mekanizmaları.

Sert bir yüzey tabakasının elde edilmesi ve sert parçacıklar içermeyen iş parçaları kullanmak en iyi önleme yöntemlerindedir.

2.1.3 Oksidasyon Aşınması

Korozyon en genel anlamda malzemelerin çevre etkisiyle bozulmaya uğraması olarak tanımlanmakla birlikte daha çok metal veya alaşımlarının buldukları ortam ile kimyasal reaksiyonlara girerek metalik özelliklerinin kaybetmesi olayı için kullanılır. Malzeme seçimi, Parça boyutu, Coğrafi yerleşim, Isıl işlem, Elektrolit, Mikrobiyolojik organizmalar ve Mekanik gerilmeler Korozyona etki eden parametrelerdir (URL-1, 2018).

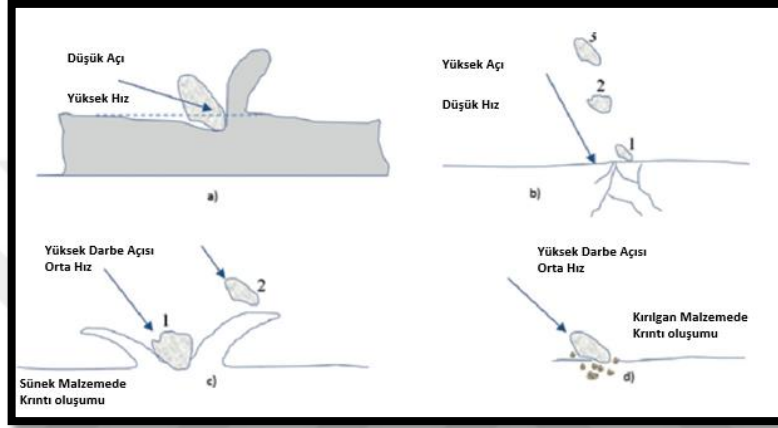
Reaksiyon tabakası aşınması veya kimyasal aşınma olarak ta adlandırılan özellikle korozif sıvı ve gazlarla temas halinde bulunan malzemelerde malzeme yüzeylerinde reaksiyon ürünleri oluşur. Söz konusu reaksiyon ürünlerinin yüzeye güçlü bir şekilde bağlanması ile yüzey üzerinde ince sert bir tabaka oluşur (Kato ve Adachi, 2001). Değişken yük altında bu sert tabaka parçalanması ile aşınma parçacıkları meydana getirilir.

2.1.4 Yorulma Aşınması

Sürekli deformasyon oluşması neticesinde meydana gelen deformasyon sertleşmesi ile yüzey çatlakları oluşur ve küçük parçaların kopması ile çukurcuklar oluşur (Pitting). Değişken yüklemeler sonucunda kayma gerilmelerinin en yüksek olduğu yerlerde plastik deformasyon ve dislokasyona bağlı olarak meydana gelen küçük boşluklar zamanla yüzeye doğru büyüyerek ilerler ve yüzeyde çukurların ortaya çıkmasına sebep olmasına yorulma aşınması denir. Dişli çarklarda, rulmanlı yataklarda ve yuvarlanma hareketi yapan mekanizmaların yüzeyinde görülür (Kato ve Adachi, 2001).

2.1.5 Eroziyon Aşınma

Eroziyon aşınma, bir cisme katı veya sıvı parçacıkların çarpması sonucu cismin yüzeyinde meydana gelen aşınmadır. Eroziyon aşınmaya tipik örnek olarak toz bulutundan geçen bir uçağın pervanelerindeki hasar verilebilir. Eroziyon aşınma, parçacık malzemesi, çarpma açısı, çarpma hızı ve parçacık boyutu kontrollü birçok aşınma mekanizması içerir. Bilinen eroziyon aşınma mekanizmaları Şekil 2.4'te gösterilmiştir (URL-2, 2018).

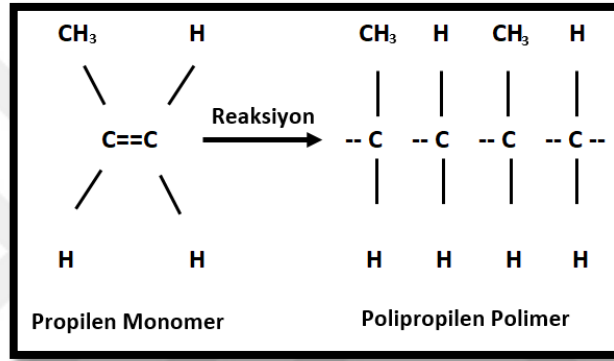


Şekil 2.4: Bilinen eroziyon aşınma mekanizmaları (URL-2, 2018).

BÖLÜM 3

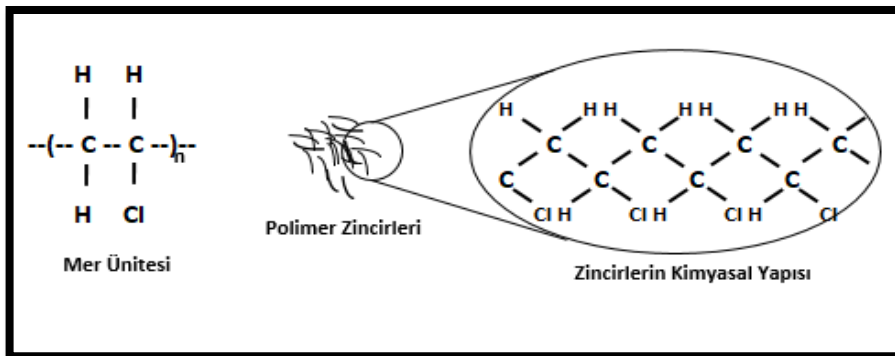
POLİMER MALZEMELER

Yunanca poli (çok) ve meros (parça) kelimelerinden oluşan polimer, daha küçük olan monomer denilen moleküllerin birbirine eklenmesi işe oluşan uzun zincir moleküllerdir. Polimer tek bir tip monomerden meydana geliyor ise homopolimer, en az iki farklı monomerden meydana geliyor ise kopolimer denir (URL-3, 2018). Şekil 3.1’de propilen monomerinin polimerizasyonu ile polipropilen polimeri meydana gelmesi görülmektedir.



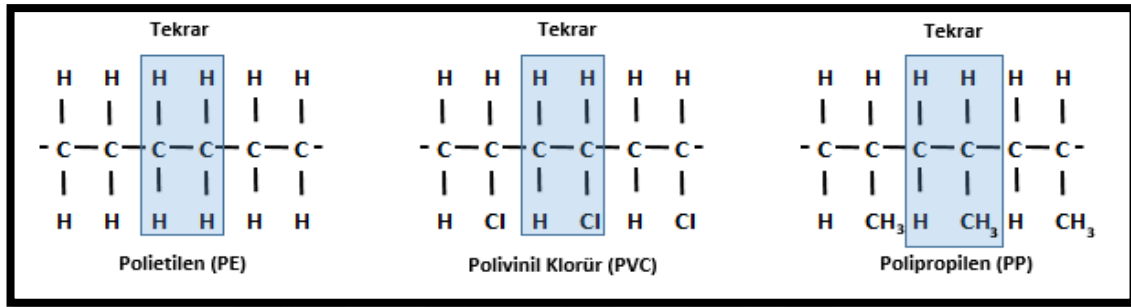
Şekil 3.1: Propilen monomeri polimerizasyonu ile Polipropilen polimeri.

Birbirine kovalent bağlarla bağlı bu moleküller bir araya gelerek polimer zincirlerini oluşturur. İşte bu polimer zincirinde binlerce kez tekrarlanan bu birimlere “mer” adı verilir. Şekil 3.2’de Vinil klorid mer ünitesi ve PVC polimer zincirinin kimyasal yapısı görülmektedir.



Şekil 3.2: Vinil klorid mer ünitesi ve PVC polimer zincirinin kimyasal yapısı.

Bir polimer zincirinde binlerce mer bulunabilir. Fakat en az iki mer bir araya gelerek bir polimer oluşturulabilir. Oluşan bu polimer zinciri iki merden oluşmakta ve en küçük polimer molekülünü oluşturmaktadır. Bir polimer zincirinde bulunan mer sayısı polimerin fiziksel özelliklerini etkileyebilmektedir. Öyle ki; bir polimer, ihtiva ettiği polimer zincirlerindeki mer sayısı az iken sıvı halde bulunup, bu sayı arttıkça yoğunluğun ve vizkozitenin artmasıyla akışkanlığını kaybedebilir. Hatta çok yüksek mer sayılarında bu polimer katı halde bile bulunur. Şekil 3.3'te PE, PVC ve PP Polimerlerin zincir yapıları ve Mer üniteleri görülmektedir.



Şekil 3.3: PE, PVC ve PP Polimerlerin zincir yapıları ve Mer üniteleri.

Metallere nispeten ucuz, hafif, kolay işlenebilir olmalarının yanı sıra yüksek kimyasal ve korozyon direncine de sahip olmaları nedeni ile bir polimer çeşidi olan plastik malzemeler son yıllarda oldukça yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Akdoğan, 2018). Cam, karbon gibi takviyeler ile mekanik ve fiziksel özellikleri iyileştirilen plastik malzemeler içten yanmalı motorların ve uçakların yapımında kullanılmaktadır. Birden fazla polimerin karıştırılmasıyla kristalin, yarı-kristalin ve amorf özelliklerde, poliester, poliamid, stirenik vb polimerler üretilebilir. Polimerin işlenebilirlik ve mekanik özelliklerini belirleyen en önemli etkenler, üretim aşamalarında kazandırılan fiziksel veya yapısal özelliklerdir (Beşergil, 2018).

Polimerler için üç değişik gerilme-birim şekil değişimi davranışı söz konusudur. Şekil 3.4'te A eğrisi, neredeyse tamamen elastik şekil değişimiyle hasara uğrayan, gevrek bir polimere aittir. B eğrisi pek çok metalde de görüldüğü gibi, başlangıçtaki elastik davranışı akma ve sonrasında plastik şekil değişiminin izlediği bir polimere aittir. Son olarak C eğrisi, elastomer adı verilen ve kauçuğa benzer tamamen elastik davranış gösteren bir polimere aittir.



Şekil 3.4: Farklı özellikteki polimer malzemelerin gerilme-birim şekil değişimi davranış grafiği.

Polimerlerin yaygın olarak kullanılması ve önemli olmasının başlıca nedenleri aşağıda sıralanmıştır (Yalova Üniversitesi, 2018).

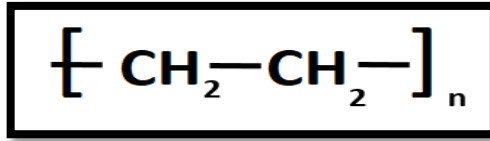
- Hafif olmaları,
- Kolay şekillendirilebilir ve kolay tasarlanabilir olmaları,
- Kimyasal etkilere karşı dayanıklı olmaları,
- Atmosferik koşullara karşı dayanıklıdırlar,
- Mekanik dayanımları yüksektir,
- Yalıtıcıdırlar, elektrik, ısı ve sesi iletmezler,
- İstekler doğrultusunda özellikleri değiştirilebilir,
- Optik Özellikler (Şeffaflık, Matlık),

2.2 Polimer Malzemelerin Sınıflandırılması

Polimerler yapılarına göre, Organik ve İnorganik (Alümina silikat, doğal ve sentetik zeolitler) olmak üzere iki ana gruba ayrılır.

2.2.1 Organik Polimerler

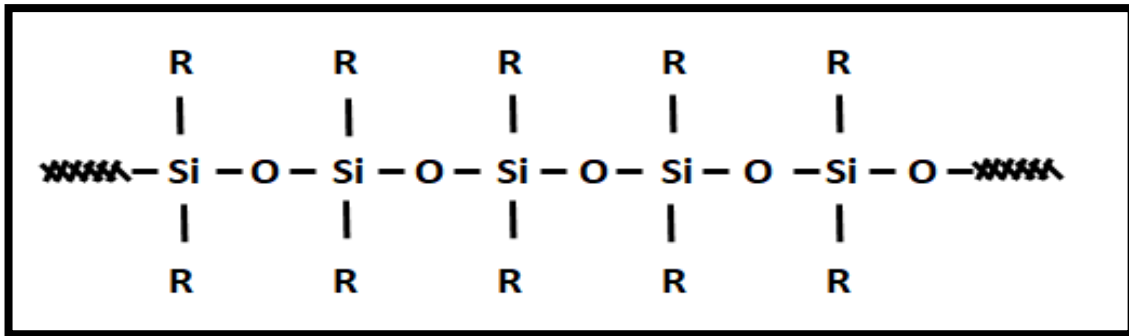
Yapılarında karbon yanında genelde hidrojen atomu bulunmaktadır. Sentetik ve doğal polimerlerin çok büyük bir kısmı organik polimerlerden oluşmuştur. Polietilen, poliesterler, poliamidler, polipropilen, doğal kauçuk, proteinler, selüloz v.b. gibi polimerleri organik polimerlere örnek olarak verilebilir. Şekil 3.5'te örnek olarak polietilenin yapısı görülmektedir.



Şekil 3.5: Polietilen zinciri.

2.2.2 İnorganik Polimerler

Polimerlerin birçoğunun ana zincirinin temel bileşeni karbon atomudur. Ancak bazı polimerlerde ana zincirde karbon atomu yerine silisyum, fosfor, sülfür gibi başka atomlar bulunabilir. Ana zincirinde karbon atomu bulunmayan polimerlere inorganik polimerler denir. İnorganik polimerler yapılarında organik kısımda içerebilir. Barofan ve silikon bu polimer tipine örnektir. Silikon polimerin yapısı Şekil 3.6'da sunulmuştur.



Şekil 3.6: Silikon polimerin yapısı.

Polimerlerin çok çeşitli özellikleri olduğu için geniş sınıflandırmalar yapılmaktadır. Elde edilişlerine göre polimerler;

- Doğal,
- Sentetik,

- Yarı sentetik olmak üzere üçe ayrılır.

Molekül zincir şekline göre polimerler;

- Doğrusal,
- Dallanmış,
- Çapraz bağlı şeklinde sınıflandırılabilir (Saçak, 2012).

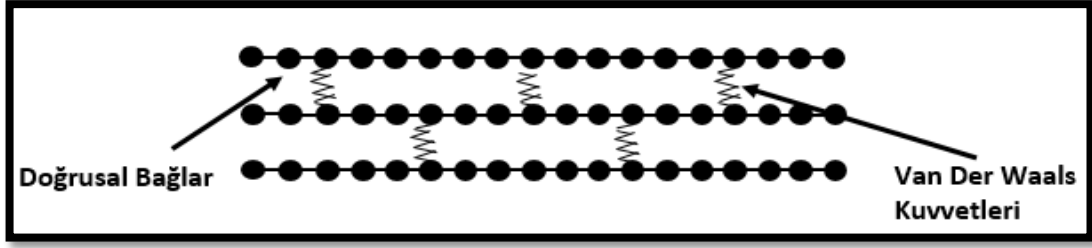
Endüstride kullanılan polimerik malzemeler fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlı olarak Plastikler – Kauçuklar ve Fiberler olmak üzere üç ana sınıfa ayrılırlar (Yalova Üniversitesi, 2018).

Plastikler, polimer malzemeler içinde en büyük polimer çeşitliliğine sahip gruptur. Plastikler, yük altında belirli bir yapısal rijitliğe sahip olup, genel amaçlı uygulamalarda kullanılırlar. Polietilen, poli(vinil klorür), polistiren ve florokarbonlar, epoksiler, fenolikler ve polyesterlerin tümü plastikler olarak sınıflandırılabilirler. Çok değişik özellik çeşitliliğine sahip olabilirler. Bazı plastikler çok rijit ve gevrek olabilirken bazıları ise esnek, gerilme altında hem elastik hem de plastik şekil değişimi gösterip, hasar öncesi önemli bir deformasyona uğrayabilirler.

Plastikler;

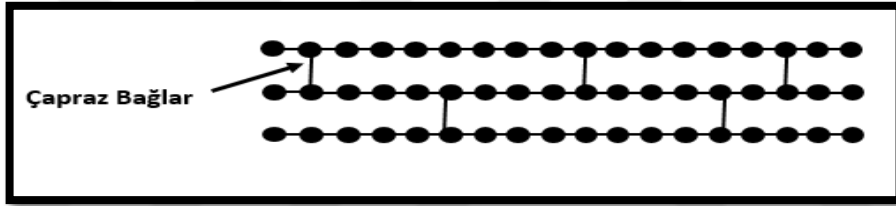
- Termoplastikler,
- Termosetler,
- Elastomerler olmak üzere üç grupta sınıflandırılabilirler.

Termoplastikler, özelliklerinde önemli değişiklikler olmadan defalarca ısıtılarak yeniden şekillendirilebilirler. Doğrusal yapıda olan termoplastikler, ısı ve basınç altında akarak şekillendirilebilirler, polietilen, PVC, vb. (Yalova Üniversitesi, 2018). Termoplastik özellikteki polimerlerin bazılarını eriyikleri veya çözeltileri, küçük deliklerden geçirilerek polimer tellerine dönüştürülmesi ile lifler elde edilir (Saçak, 2012). Şekil 3.7’de termoplastik malzemelerin yapısı görülmektedir.



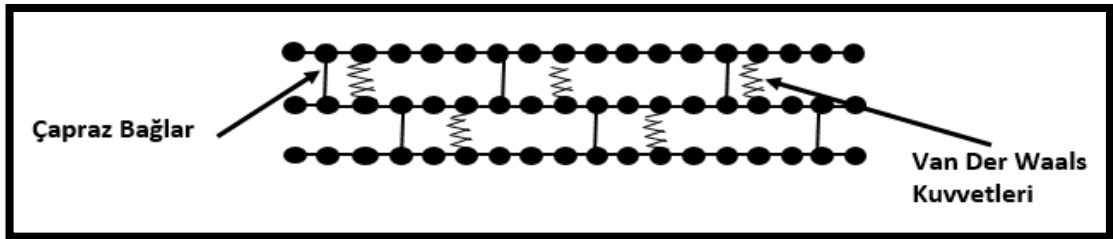
Şekil 3.7: Termoplastik Malzemelerin Yapısı (URL-4, 2018).

Termoset plastikler, zincirleri arasında yoğun çapraz bağlar bulunan polimerlerdir. Bu bağlar nedeni ile geri dönüşümleri olmayan termoset plastikler kalıcı bir biçimde şekillendirilip kimyasal bir tepkimeyle olgunlaştıktan sonra ısıtılarak yeniden yumuşatılamaz ve başka bir şekle sokulamazlar sadece çok yüksek sıcaklıklara ısıtılınca bozunurlar (Saçak, 2012). Plastiğin ısı ile kalıcı olarak şekillendirilebilmesi ve sertleştikten sonar ısı ile sertliğini kaybetmemesi nedeni ile ısıl sert denmektedir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: Termosetlerin Yapısı (URL-4, 2018).

Kauçuklar (elastomerler), bazı polimerlerden yapılan malzemelere çekme kuvveti uygulandığında yüksek oranda uzarlar ve kuvvetin kaldırılması ile kalıcı boyut değişimi gözlenmeden hızla ilk hallerine dönebilen ve yüksek elastikiyet gösterebilen polimerlerdir (Saçak, 2012). Elastomer malzemelerin yapısı Şekil 3.9’da gösterilmektedir.



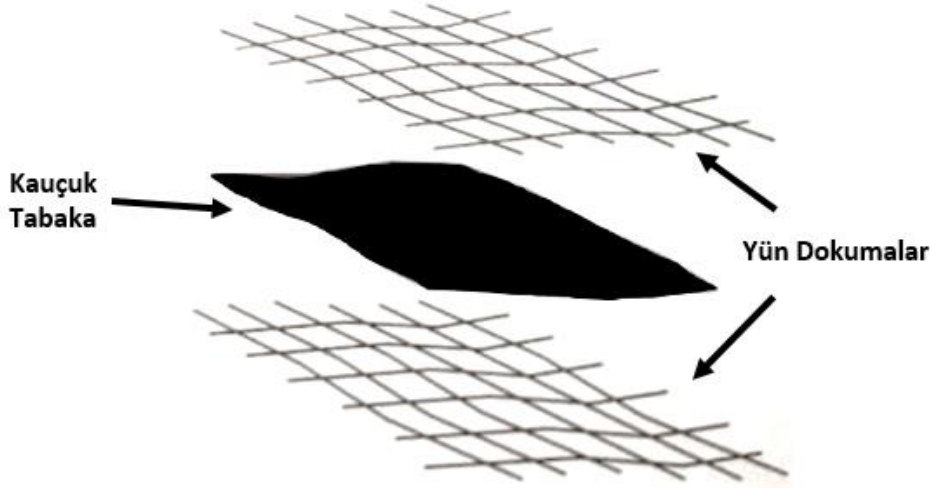
Şekil 3.9: Elastomerlerin Yapısı (URL-4, 2018).

BÖLÜM 4

POLİMER KOMPOZİTLER

Kompozitler, iki veya daha fazla maddelerin belirli oranda bir araya getirilmesiyle oluşturulan malzemelerdir. Kompozit malzemelerdeki temel amaç, değişik maddelerin iyi özelliklerini tek bir madde altında birleştirmektir. Şekil 4.1’de iki yün dokuma arasında kauçuktan yapılmış bir tabakanın yerleştirilip ısı altında sıkıştırılmasıyla hazırlanabilecek, üç katmanlı bir polimer kompoziti basit bir şekilde gösterilmiştir. Böyle bir Kompozit yağmurluk yapımına, saf yün ve saf kauçuktan daha uygundur. Kauçuk bileşen sudan etkilenmeyi önlerken, pamuk dokuma giyim kolaylığı sağlar.

Kerpiç evler örneği ile uzun yıllardır kullanımı olan çamur ve saman (kerpiç) kompozit malzemelerin ilk yapı malzemesi olarak kullanımı ile karşımıza çıkmıştır. Ticari amaçlı üretimi yapılan liflerle takviye edilmiş ilk polimerik kompozitler, fenolik reçinelerden ve melamin reçinelerden hazırlanmıştır. Fiberglas ticari adı ile 1940’larda üretilen ve doymamış poliester ile cam liflerden hazırlanan Kompozit iyi bilinen ve günümüzde de yaygın olarak kullanılan kompozitlerden birisidir.



Şekil 4.1: İki yün dokuma arasında kauçuktan yapılmış bir tabakanın yerleştirilip ısı altında sıkıştırılmasıyla hazırlanabilecek, üç katmanlı bir polimer kompoziti.

En basit Kompozit malzeme, takviye edici ve matris adları verilen iki bileşenden oluşur. Takviye edici, kompozitin mekanik dayanıklılığında sorumludur ve dayanıklılığı artırıcı etkisi çoğu kez Kompozit içerisindeki hacmi %10 'nu geçtiğinde gözlenmeye başlar.

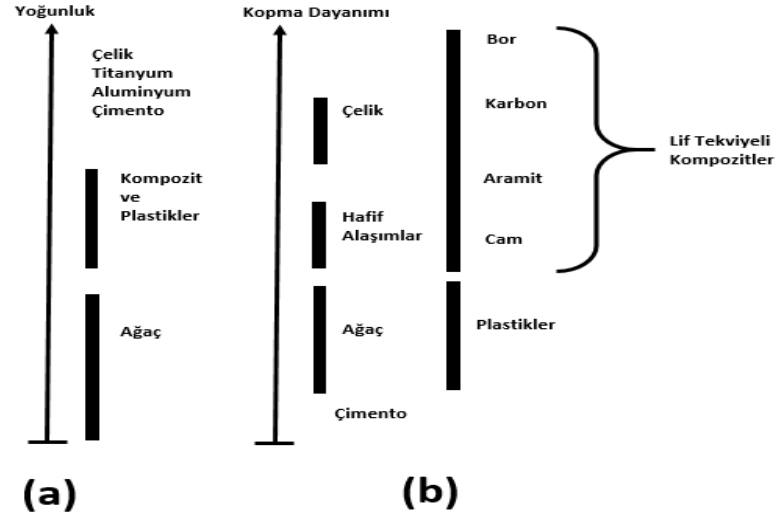
Kompozitin matris bileşeni, takviye maddesini bir arada tutma yanında takviye ediciyi dış etkilerden korur, ayrıca kompozitin şeklini belirler. Bir kompozitin kullanım sıcaklığı matrisin kullanım sıcaklığı ile sınırlıdır. Matris malzeme kompozit boyunca sürekli faz halindedir, takviye edici genellikle kompozitin kesiklik fazıdır.

Kompozitlerin metallerden üstün oldukları noktalar;

- Spesifik dayanıklılık: Cam lif takviyeli çoğu kompozitin birim kütle başına vurma dayanımları, çelik ve titanyum gibi metallerle karşılaştırılabilir düzeydedir,
- Fiyat: Kompozitler, yerlerini aldıkları metallerden genel de daha ucuzdur,
- Kullanım Yeri: Kompozit bileşenlerinin oranları ayarlanarak farklı özelliklerde ve değişik yerlerde kullanılacak ürünler hazırlanabilir,
- İşlenebilirlik: Metallerin işlenmesinde fazlaca ısı enerjisi kullanılır, polimer kompozitlerinin işlenmeleri veya şekillendirmeleri daha ekonomiktir,

Şeklinde sıralanabilir.

Şekil 4.2'de kompozitlerle birlikte diğer bazı malzemelerin yoğunluk ve kopma dayanımları görülmektedir. Kompozitler metallerden daha hafif olmakla birlikte, çelikten daha yüksek kopma dayanımı gösterebilirler (bor lif takviyeli kompozitler gibi).



Şekil 4.2: Kompozitler ve diğer bazı maddelerin karşılaştırmalı (a) yoğunluk ve (b) kopma dayanımları (Saçak, 2012).

Polimer – Matrisli Kompozitler (PMK), matris olarak polimer reçinen, takviye olarak elyaf kullanıldığı kompozitlerdir. Bu malzemenin oda sıcaklığındaki üstün özellikleri yanında kolay üretimi ve düşük maliyeti nedeniyle, kompozitler arasında en çok uygulama çeşitliliğine ve miktarına sahip olmaktadır (Callister ve Rethwisch, 2007).

Polimer matrisli kompozit malzemelerde matris malzemesi olarak; epoksi ve polyester gibi termoset plastikler ile termoplastik polyester, poliamid (PA), politetrafloretillen (PTFA), polietilen (PE) gibi termoplastik malzemeler kullanılmaktadır. Takviye elemanı olarak ise cam, aramid, karbon, polietilen, bor, Al_2O_3 ve SiC kullanılmaktadır.

Özellikle cam, aramid ve karbon ile takviye edilmiş polimer kompozitler endüstride geniş uygulama alanına sahiptirler. Bu alanlara örnek olarak uçak ve helikopter parçaları, spor malzemeleri, güçlendirme amaçlı yapı elemanları verilebilir (Kocaeli Üniversitesi, 2003).

Das ve arkadaşlarının (Das vd., 2007), alümina ve zirkon takviye edilmiş Al-% 4,5 Cu kompozitlerin abrasif aşınma davranışı üzerine yaptıkları çalışmada, her iki kompozit malzemede takviye parçacık boyutundaki azalma ile aşınma direncinin arttığı ve ayrıca zirkon takviyeli kompozit ile kıyaslandığı zaman, alümina takviyeli kompozitin nispeten zayıf aşınma direnci sergilediği belirlenmiştir. Lee ve arkadaşlarının (Lee vd., 2002), yaptığı teorik çalışmada ise, takviyenin rolünü tanımlayan kritik değişkenlerin takviyenin nispi boyutu, dalma derinliği ve matris takviye ara yüzeyi ve takviyenin tokluğu olarak tanımlanmıştır.

BÖLÜM 5

NANOKOMPOZİTLER

Nanoteknoloji, uzay, savunma, otomobil, elektronik, malzeme, kimya, enerji, çevre, bilgi ve iletişim, biyoteknoloji gibi çeşitli mühendislik ve ilaç ile ilgili alanlarda hızla yaygınlaşmaktadır. Üstün özelliklere sahip yeni nesil nano malzemelerin ve bunların geniş aralıklarda uygulamalarında büyük etki meydana getirmiştir.

Kompozit malzeme, süreç özellikleri bileşen malzemelerinin herhangi birinden daha üstün olan, iki veya daha fazla malzemedan oluşan veya biri diğerinde çözünmeyen bir karışımıdır. Nanokompozitler, bileşenlerinin en az bir fazı nanometre ölçek aralığında olan malzemelerin bir sınıfı olarak tanımlanmıştır (Pedro vd., 2009; Seal vd., 2004; Vencel vd., 2004).

Nanokompozitler, ölçeği en az 100 µm olan, yapısal bileşiminde nano tanecikler içeren malzemelerden oluşan çok fazlı malzemelerdir. Mekanik, elektriksel ve ısıl özellikleri, kompozitlerin sentezinde kullanılan malzemelerin bileşimine bağlı olarak değişebilir. Nanokompozitlerin yapısı ve özellikleri, işlem tekniği, bağlama doğası ve kuvvetlendirmenin boyut ve tipi ile kontrol edilir (Ozdemir vd., 2008; Veeresh, vd., 2011).

Metal matristeki kuvvetlendirme, taneciklerin dağılımı, boyutu ve miktarı, kompozit malzemenin tüm özelliklerinin sınırlandırılmasında ve artırılmasında kritik ve önemli rol oynamaktadır. Alüminyum matrisin, nano boyut ya da mikron altı aralığındaki daha küçük taneciklerle takviyesi, malzeme özelliklerinin gelişmesine yol açan yüksek performans kompozitlerinin üretimindeki kilit unsurlardan biridir. Normal kompozitlere basit bir örnek, evlerdeki betondur. Çimento, kum ve metal çubuğun bir kompozitidir. Bu birleşme, kullanılan malzemenin genel özelliğini değiştirir. Tonlarca yük altında dayanabilecek kadar sert hale gelir. Nanokompozitlerin mekanik, elektirik, ısıl, optik, katalitik ve elektrokimyasal özellikleri, bileşen malzemenin özelliklerinden önemli derecede farklı olacaktır. Bu malzemelerin özelliklerini yöneten kesin boyut etkileri Tablo 5.1’de gösterilmektedir (Pedro vd., 2009).

Tablo 5.1: Malzeme özelliklerine boyut etkileri.

Boyut (nm)	Etki
< 5	Katalitik aktiviteler için
< 20	Sert manyetik malzeme yapımı için
< 50	Kırılma endeksi değişimi için
< 100	Süper manyetizmaya ulaşmak için
< 100	Malzeme güçlendirme ya da matris dislokasyon hareketlerini kısıtlamak için
< 100	Tokluk için
< 100	Sertlik ve plastiklik değişikliği için

Nanokompozitler, inanılmaz en boy oranları ya da takviye fazının fevkalade yüksek yüzey / hacim oranından dolayı geleneksel kompozitlerden farklıdır (Ronald, 2010). Yüzey alanı / hacim oranı (A / V), küresel bir tanecikler için yarıçapı ile ters orantılıdır, böylece nano boyuttaki bir tanecikler için A / V oranı, mikron boyutundaki bir parçacığın A / V oranından 1000 kat daha büyük olacaktır. Büyük A / V oranı ve gözenekli oyuk nano yapılar için büyük gözenekli hacimler oluşması, biyo molekül ve ilaçların çok fonksiyonlu iletimi için onları özellikle cazip hale getirir. Takviye malzemesi, taneciklerden (mineraller vb.), kağıtlardan (eski yıllanmış kitaplar vb.) veya fiberlerden (karbon nanotüp vb.) meydana gelebilir. Matris ve takviye fazlarının arasındaki arayüz alanı, geleneksel kompozit malzemeler için tipik bir daha büyük mertebesidir. Matris malzeme özellikleri, takviye etrafında önemli derecede etkilenir. Bu büyük miktardaki takviye yüzey alanı, göreceli olarak daha küçük miktarda nano boyuttaki takviye, kompozitin makro ölçek özelliklerinde gözlemlenebilir etkiye sahip olabileceği anlamına gelmektedir. Mesela, karbon nano tüp eklemek, elektrik ve ısı iletkenliği artırır. Diğer çeşit nano parçacıklar, optik özelliklerde, yalıtkanlıkta, ısı direnç veya zarara ve aşınmaya karşı direnç, sertlik gibi mekanik özelliklerin geliştirilmesini sağlayabilir.

5.1 Nanokompozitlerin Çeşitleri:

Nanokompozit malzemeler başlıca aşağıdaki gibi üç sınıfa ayrılabilir:

- Seramik Matris Nanokompozitleri,
- Metal Matris Nanokompozitleri,
- Polimer Matris Nanokompozitleri.

5.1.1 Seramik Matris Nanokompozitleri

Al_2O_3/SiC , Al_2O_3/SiO_2 , SiO_2/Ni , Al_2O_3/TiO_2 , Al_2O_3/CNT ve benzerlerini içeren seramik matrisli kompozitlerin hacimsel olarak temel parçası seramiklerdir, oksit, nitrit, bromür ve silisitlerin gruplarının kimyasal karışımları da destekleyicidir. Çoğu durumda, ikincil bileşen olarak metal ile kuşatılmışlardır. İdeal olanı, hem seramik hem de metal, özel nanoskopik özellikler kazanmak için ideal şekilde birbirleri içerisinde ayrılmışlardır. Nanokompozitler, optik, elektrik ve yağlama, korozyon direnci ve diğer koruyucu özellikler gibi manyetik özellikleri geliştirirler.

5.1.2 Metal Matris Nanokompozitleri

Metal matrisli nanokompozitler, sünek metallere ya da bazı nano ölçekte malzemeler eklenen alaşım matrislerinden oluşan malzemeler demektir. Bu malzemeler, süneklik ve tokluk ile yüksek dayanım gibi metal ve seramik özellikleri birleştirir. Bundan dolayı, metal matrisli nanokompozitler kesme mukavemeti / basma mukavemeti işlemi ve yüksek servis sıcaklığı yeteneklerinde yüksek dayanımlı malzemelerin üretimi için uygundur. Metal matrisli nanokompozitler, uzay, otomotiv endüstrisi ve diğer alanlarda birçok uygulama için fevkalade potansiyele sahiptirler ve Al/Al_2O_3 , Al/SiC , $Fe-Cr/Al_2O_3$, Ni/Al_2O_3 , Co/Cr , Fe/MgO , Al/CNT , Mg/CNT vb içerirler.

5.1.3 Polimer Matris Nanokompozitleri

Bir polimer matrise nano tanecik eklemek onun performansını, sadece doğadan faydalanarak ve nano ölçek doldurucununun performansı ile sık sık önemli derecede artırır. Bir diğer deyişle polimerik nanokompozitlerde dolgu maddesinin boyu küçüldükçe, geleneksel yöntemlere göre arayüzey alanında inanılmaz bir artışa yol açmaktadır. İnorganik nanoyapısal bloklar; nanotüpler, katmanlı silikatlar, metal nanotanecikler (Au , Ag vb), metal oksitler (TiO_2 , Al_2O_3 vb), yarıiletkenler (PbS , CdS), ve benzeri yapılarla beraber SiO_2 çok önemli özellikleriyle ortaya çıkmaktadır.

5.2 Nanokompozitlerin Avantajları

Nanokompozitlerin, geleneksel malzemelere göre avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Matris malzemesi ile mukayese edildiğinde çok yüksek çekme ve eğilme dayanımı,
- Aynı performans için daha hafif malzeme,
- Artırılmış boyutsal kararlılık,
- Yüksek elastiklik modülü ve aşınma direnci,
- Yüksek ısı kararlılık,
- Aynı film kalınlığı için geliştirilmiş gaz bariyer özelliği,
- Alev geciktirici özellikleri,
- Yüksek sıcaklık sürünme direnci,
- Geliştirilmiş özgül dayanım ve sertlik,
- Gelişmiş kırılma tokluğu ve ısı şok direnci,
- Daha yüksek elektriksel iletkenlik,
- Daha yüksek kimyasal direnç.

5.3 Al-Nano Al₂O₃ Kompozitler

Alüminyum matrisli mikronaltı ya da nano boyut taneciklerin takviyesi, üstün mekanik ve fiziksel özelliklere ve yapıda değişimlere ve nano kompozitlerin ara yüzey karakteristiklerine yol açmıştır. Al-Al₂O₃ nano kompozitlerin malzeme özellikleri ve süreç yöntemleri üzerine çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. Mikroyapıda değişikliklere sonuç açan, tane gelişimine neden olan takviye edilmiş taneciklerin yığılmasındaki Al-Al₂O₃ üretimi için son zamanlarda ultrasonik destekli döküm, nano sinterleme, toz metalürjisi, yüksek enerji bilyalı öğütme, sürtünme karıştırma işlemleri uygulanmaktadır. Nano taneciklerin yığılmasını minimize ederek ve bu süreç esnasında artırılmış mikroyapıyı tutturarak tane boyutunu kontrol etmek önemli bir konu haline gelmiştir. Bu alan, değişik süreç şartları altında mikroyapıyı kontrol etmek gelecekteki araştırma çalışmaları alanlarıdır. Nanoteknoloji, malzemeyi moleküler veya atomik bir boyutta kontrol eden teknoloji ve mühendislik alanını ilgilendirir. Nanoteknoloji, en az bir ölçüsü nanometre boyutunda veya atomların ya da küçük moleküllerin boyutları olan 100 nanometreden (bir insan saçının çapının yaklaşık binde biri) daha az olan boyuttaki yapılar ile anılmaktadır. Bir nanometrenin altında malzeme özellikleri benzer ve tahmin edilebilir olmaktadır. Araştırmacılar nanoteknolojinin, kimya,

biyoteknoloji, fizik, malzeme bilimi, MEMS gibi disiplinleri içeren fakat bu alanlarla sınırlı olmayan birçok teknik alanda uygulamaları olan geniş bir aralığa sahip teknoloji olduğunu göstermişlerdir (Edward vd., 2010; Froes, 1994; Seal vd., 2004; Timms vd., 2002). Nano yapılar, yeni özellikler üretebilir ve/veya daha büyük yapılar ve makineler tarafından sergilenemeyen daha verimli fonksiyonları yerine getirebilme özelliklerine sahiptir. Nano malzemelerin küçük boyutlarından dolayı, onların fiziksel/kimyasal özellikleri (kararlılık, sertlik, iletkenlik, reaktiflik, optik duyarlılık, erime noktası vb.) geleneksel malzemelerin bütün özelliklerini geliştirmek için yönlendirilebilmektedir (Seal vd., 2004; Veeresh vd., 2011; Yung-Chang ve Sammy, 2004). Nanometre ölçeğinde, kimyasal reaksiyonlar ve özgün malzeme davranışlarına yol açılması ile yüzey özellikleri yığın malzeme özelliklerinden daha popüler olmaya başlar. Daha özüde, ölçülerin nano boyuta girişi ile malzemelerin elektronik yapıları boyuttan bağımsız hale gelir. Bundan dolayı, ışık Emilimi ve salım davranışlarını içeren optik özellikler değişmiş olacaktır. Gerçekte nano ölçek özellikleri, cam kadar saydam olan nano kristal seramiklerin tasarımına imkan tanıyarak, ışık saçılımını da etkileyen görünen fotonların dalga boyutundan daha küçüktür. Nano ölçeğe indirgenen malzemeler, özgün uygulamalara imkan tanıyarak makro bir ölçekteki sergiledikleri davranışlarla mukayese edildiğinde değişik özellikler sergileyebilirler. Mesela yüzey alanı hacim oranında artış malzemenin mekanik, termal ve katalitik özelliklerini değiştirir. Örnek olarak, opak madde saydam hale gelir (bakır), kararlı malzemeler, yanabilir malzemelere dönebilir (alüminyum), çözülemez malzemeler çözülebilir hale gelir (altın). Kimyasal olarak normal şartlarda etkisiz olan altın gibi bir malzeme, nano ölçekte potansiyel kimyasal katalizör olarak iş yapabilir.

5.4 Al/Al₂O₃ Nanokompozitleri

Hafifliği ve yüksek özgül mukavemeti nedeniyle, tanecik güçlendirilmiş alüminyum kompozitler, otomotiv ve havacılık uygulamaları gibi çeşitli alanlar için yapısal malzeme olarak caziptirler (Tousi vd., 2009). Yüksek dayanım ve sünekliğin optimum bir bileşimi alüminyum metal matrislere geniş bir gelişmiş uygulama alanı vermektedir. Mazen ve Ahmed (1998); Mula ve ark. (2009), saf alüminyum ile hacimce % 2 nano Al₂O₃ takviyeli halini mukayese edilmesi ile akma mukavemetinde % 66, sertlikte % 50 ve çekme mukavemetinde % 80 civarlarında gelişme gözlemlenmiştir. Dominique ve ark. (2010), ultrasonic destekli döküm deneylerinde, alüminyum matrisine ağırlıkça % 2 nano Al₂O₃ (10 nm) dağıtmışlardır ve saf alüminyum döküm ile mukayese edildiğinde, kompozit sertliğinde

% 92 ve akma dayanımında % 56 artış olduğunu göstermişlerdir. Hafeez ve Senthil (2010), çalışmalarında alüminyumun içerisine, düşük yoğunluğu, düşük erime noktası, yüksek özgül dayanımı ve ısı iletkenliği nedeniyle, takviye tanecikleri olarak Al_2O_3 , SiC, B_4C , AlN, Si_3N_4 TiC, TiO_2 , TiB_2 ve grafit gibi çeşitli malzemeleri takviye edildi. Bu tanecikler arasında, Al_2O_3 , SiC, B_4C , TiB_2 takviyeleri alüminyum matrisin aşınma davranışını geliştirdiğini gözlemlerler.

5.5 Al_2O_3 -SiC Nanokompozitler

Alümina (Al_2O_3) nano tanecikleri içeren kompozitler yerine SiC daha yaygın ticari olarak kullanılır. Geleneksel olmayan üretim yöntemleri arasında en umut verici olanı SiC kaynağı olarak organosilikon polimerik öncüllerinin seramiklenmesinden faydalanan ve hibrit üretim yöntemidir. Bu yöntem, alümina taneciklerinin kaplanmasını veya çözülmüş polimer, polimerin kurutma, piroliz ve çapraz bağlanması ve nihai yoğunlaştırma ile ön sinterlenmiş alümina matrisleri muhteva eder. SiC tanecikleri, alümina matris içerisinde doğal şekildedirler. Böylece homojen dağılımları sağlanır. Kompozitler, hem alümina matris tanelerinin (çapları 10-200 nm arasında değişen) hem de alümina-alümina sınırlarının içerisinde SiC tanecikler ile tipik inter-intra tipindedirler. İkinci tip ise 100 ile 500 nm arasında değişen uzunluklarda genellikle kristal flaman tipindedir. Nonokompozitler, SiC yüksek kırınımı (hacminin % 21'ine kadar) ve mikronaltı alümina matristen (alümina tane boyutu 0,9 μm) oluşan özgün mikro yapı ve homojen dağılmış küresel SiC katılması ile hazırlanabilir. Bütün çalışılan malzemeler yüksek sertlik ve abrazyon aşınmasına karşı mükemmel direnç göstermektedir. SiC kaynağı olarak organosilikon polimer kullanımı ile hazırlanan kompozitler, geleneksel mikronaltı alümina ve SiC tozları karışımı ile hazırlanan kompozitler ile kendi piroliz dizilerinde ön polimer oksidasyonunun bir sonucu şekillenen olası muhtemel istenmeyen oksit fazlarını da hesaba katan sistemin termodinamik analizleri sonuçlarına dayanan parçası ile hazırlanan şartlarda mukayese edildiğinde;

Al_2O_3 -SiC nanokompozitlerin koruyucu toz yatak kullanımı, 1750 °C ile 1850 °C arasında basınçsız sinterleme ile hacimce % 3 ile % 8 arasında ile SiC içeren ile yoğun Al_2O_3 -SiC nanokompozitlerinin hazırlanmasını kolaylaştırmıştır.

Tane arası ve tane içi SiC taneciklerinin ortalama boyut ve boyut dağılımı, malzemedeki SiC hacimsel kırınımı ve sinterleme şartlarından etkilenmiştir (Klement vd., 2018).

BÖLÜM 6

HADDEHANE TUFALİ (PULLANMA OLUŞUMU)

Ortam sıcaklığının artması iyon hareketliliğini artırarak korozyonu artırır (Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, 2018). Metallerde atmosfer sıcaklığında korozif etkileri çok az olan kimyasal maddeler, yüksek sıcaklıkta çok korozif olabilir. En yaygın görülen oksijen, yüksek sıcaklıklarda çelik ile birleşerek yapıyı zayıf ve kırılğan demir oksit kütesine dönüştürebilir. Çeliğin yüksek sıcaklığa maruz kaldığı işlemlerde, oksitlenme sonucunda, çelik yüzeyinde oluşan ince demir oksit tabakaya tufal tabakası denmektedir. Tufal tabakası, kırılarak küçük pulcuklar şeklinde malzeme yüzeyinden ayrılır. Genellikle yüksek sıcaklıklarda çelik yüzeyinde Wüstit (FeO), Manyetit (Fe₃O₄) ve Hematit (Fe₂O₃) olmak üzere üç tip demir içeren tufal tabakası bulunmaktadır.

Ülkemizde uzun süre dikkate alınmayan ve sadece atık olarak değerlendirilen tufalin geri kazanımı için bazı uygulamalar dışında günümüzde çok önemsendiği söylenemez. Tufaller atık olarak değerlendirildiği için elleçleme maliyeti hiç dikkate alınmadan ihmal edilebilecek bir bedel karşılığında gönderilmektedir. Son zamanlarda yurt dışı taleplerinin oluşmasıyla değer kazanmaya başlamıştır. Isınan bir metal malzeme üzerinde oluşan kabuk veya tufal tabakası, çatlama, çözünme, gevreklik ve/veya zayıflık meydana getirebilir.

Pilling-Bedworth oranı, oluşan oksit tabakasının hacminin metalin hacmine oranıdır ve bu orana göre koruyuculuk derecesi belirlenir. Oluşan oksit tabakasının koruyucu bir tabaka olarak metalin daha fazla oksitlenmesinin önleyip önlemeyeceğini belirler. Metal yüzeyinde oluşan oksidin koruyucu olup olmadığı yüksek sıcaklık korozyonunda önemlidir.

Genellikle oksit/metal hacim oranı:

< 1 ise oksit çok porozdur ve koruyucu değildir

= 1 olduğu koşullarda oksit oldukça koruyucudur ve poroz yapıda değildir (URL-5, 2018).

> 1 ise özellikle 2 ve 3 ise oksit tabakasındaki iç gerilimlerden kaynaklanan kırılma oksidasyonun gidişini etkiler.

Pilling-Bedworth oranı Eşitlik 1'de gösterilmiştir.

$$P\text{-}B \text{ oranı} = \frac{A_0 \cdot \rho_M}{A_M \cdot \rho_0} \quad (1)$$

Burada:

A_0 Oksidin molekül ağırlığı A_M Metalin atomik ağırlığı
 ρ_M Metalin yoğunluğu ρ_0 Oksidin yoğunluğu

Oksit/metal hacimsel oranın 1'den farklı olduğu durumlarda oksit içindeki difüzyon da etkilenir. Oksit iyon örgüsü, oksit içinden madde transferinin anlaşılabilmesi açısından önemlidir.

Oksit örgüsü içinden:

- Metal iyonları metal yüzeyinden dışarıya doğru göçebilir,
- Oksijen iyonları dıştan metal yüzeyine doğru göçebilir,
- Çoğu halde ikisi birlikte yürür.

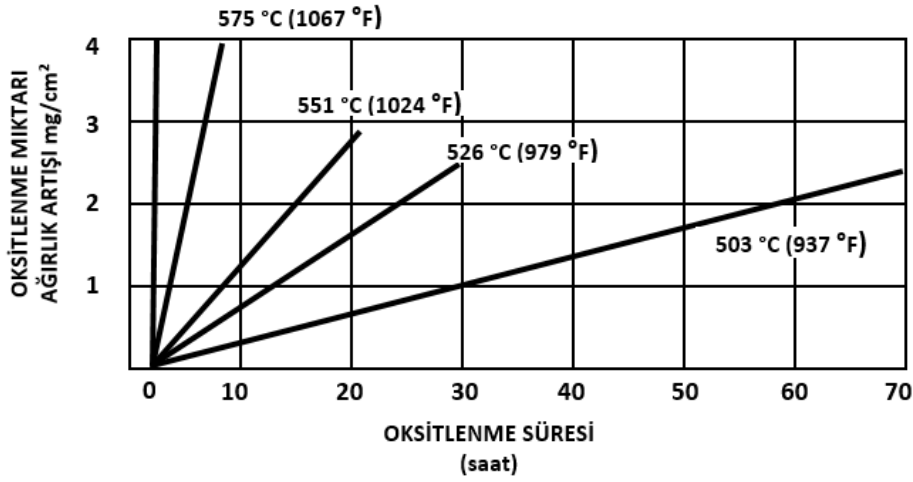
Tablo 6.1: Bazı kaplamaların kullanılabileceği en yüksek sıcaklıklar.

Kaplama	Sıcaklık (°C)
Kurşun	300
Al- pigmentler	550
Al	600
Al-Al ₂ O ₃ (çelik üstünde)	900
80/20 Ni-Cr alaşımları	1000
Kanthal (Fe-Cr, Al- Co alaşımları)	1300
Ni-Al ₂ O ₃	1800
Ni-MgO	1800
SiO ₂	1710
Cr ₂ O ₃	1900
Al ₂ O ₃	2000
TiO ₂	2130
ZrO ₂	2700
ThO ₂	3300

Bazı kaplamaların kullanılabileceği en yüksek sıcaklıklar Tablo 6.1’de sunulmuştur (URL-6, 2018). Koruyucu olmayan oksitleri sahip metaller, tufallerinin W ağırlığını, A: sıcaklığa bağlı bir sabit ve t: zaman olmak üzere;

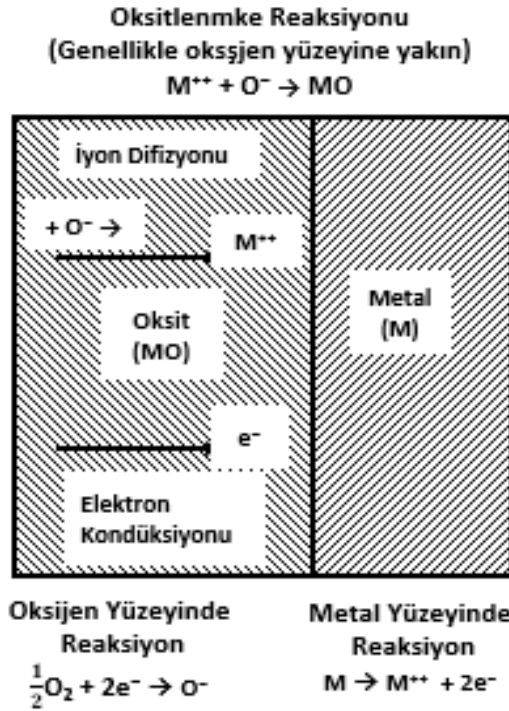
$$W = At \quad (2)$$

denklemine göre lineer olarak artırma eğiliminde olurlar. Genellikle koruyucu olmayan filmin gelişme mekanizması gaz halinde oksijenin oksit filmi içindeki gözenek veya çatlaklardan sızmasını kapsar. Bazı toprak alkali metaller de Eşitlik 2’ye göre oksitlenirler. Magnezyumun oksitlenme miktarının zamanla değişimi Şekil 6.1’de gösterilmiştir (Oğuz, 1990).



Şekil 6.1: Saf Magnezyumun oksijen içerisinde oksitlenmesi.

Oksitlenme sürecinin şematik gösterimi Şekil 6.2’de sunulmuştur. Burada, hem M^{++} metal iyonunun, hem de elektronların oksit tabakasının arasından oksijen yüzeyine difüze olması, metalin oksit-metal yüzeyinde iyonlaşması ile görülmektedir.

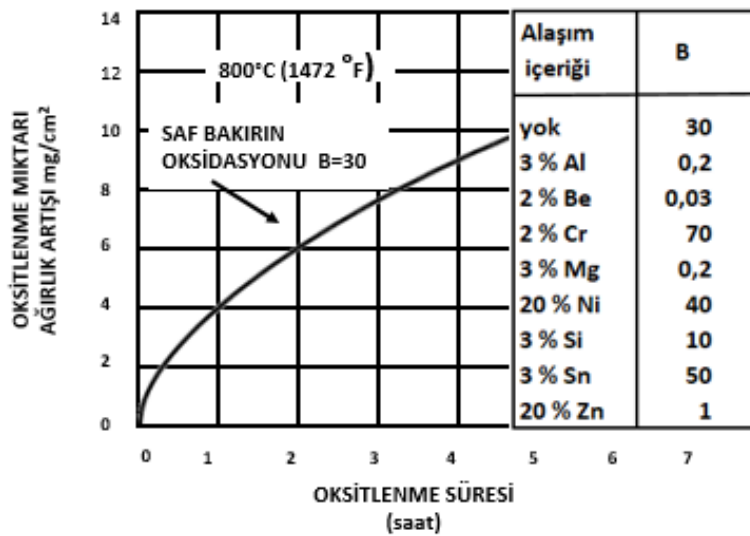


Şekil 6.2: Oksitlenme sürecinin şematik gösterimi.

Oksijen iyonunun oluşumunda elektronlar yardımcı olmaktadır. Bu iyon oksijen yüzeyinin yakınında metal iyonla reaksiyona girip MO ile gösterilen oksidini oluşturur. Bu durumda oksitlenme temposunun Eşitlik 3'teki gibi bir parabolik kanun 'u takip ettiği ispatlanabilir.

$$W^2 = Bt \quad (3)$$

Bu davranış deneysel olarak saptanmış olup Şekil 6.3'te, bakır ve birkaç ikili alaşımın B tempo sabitesi üzerine etkisi gösterilmektedir.



Şekil 6.3: Bakırın havada parabolik oksitlenmesi ve çeşitli alaşım elementlerinin B tempo sabitesi üzerine etkisi.

Burada B, sıcaklığa bağlı bir sabitedir. İki veya daha fazla oksit tabakasının aynı anda teşekkülüne bir örnek olarak demirin oksitlenmesi gösterilebilir. Yüksek sıcaklıklarda tufal geniş ölçüde FeO'dan oluşur; Fe₃O₄ bir orta tabaka oluşturur ve Fe₂O₃ oksijen yüzeyindedir. İlk iki oksit yukardaki mekanizmayla gelişir, ancak demirin Fe₂O₃'e oksitlenmesi farklı şekildedir. Bu durumda oksijen daha hareketli olup yüzeyden içeriye doğru difüze olur. Yaklaşık 566 °C'nin altındaki sıcaklıklarda demirin üzerinde oluşan tufal, FeO fazı mevcut olmadığından, daha yapışkan olup çelik yüzeylerin temizlenmesinde mutad olarak kullanılan asit dekapaj işlemiyle çok daha zor kalkar. Oksidin teşekkül edebilmesi için kristal kafesinin kusurları (boşluklar veya araya sıkışmış iyonlar) içermesi gerekir. FeO ve Fe₃O₄'ün karakteristiği en çok rastlanan kusur yapısı metal iyonun boşlukları içerir. Fe₂O₃, oksit iyonu boşluğuyla bir okside örnektir.

Koruyucu oksitli bazı metallerde, Eşitlik 3'ün öngördüğünden zamanla daha hızlı azalan reaksiyon tempoları mevcuttur. Alüminyum üzerinde oksit tabakası, artan süre ile bir sabit kalınlığa yaklaşır ve böylece de bir asymptotik kanun'a uyması bir örnektir. Orta sıcaklıklarda demir ve nikelde olduğu gibi, başka durumlarda oksit tabakasının ağırlık artışı Eşitlik 4'teki gibi logaritmik değişimi izler.

$$W = C \log(D t + E) \quad (4)$$

Burada C, D ve E, sıcaklığa bağlı sabitlerdir.

Çeliğin yüksek sıcaklık altında yapılan işlemlerindeki yüzeyinde oksitlenme sonucunda oluşan ince demir oksit tabakasına tufal denmektedir. Tufal tabakası kırılarak küçük pulcuklar şeklinde malzeme yüzeyinden ayrılır. Tufalin genel bileşimi Tablo 6.2'de sunulmaktadır.

Tablo 6.2: Tufalin genel bileşimi.

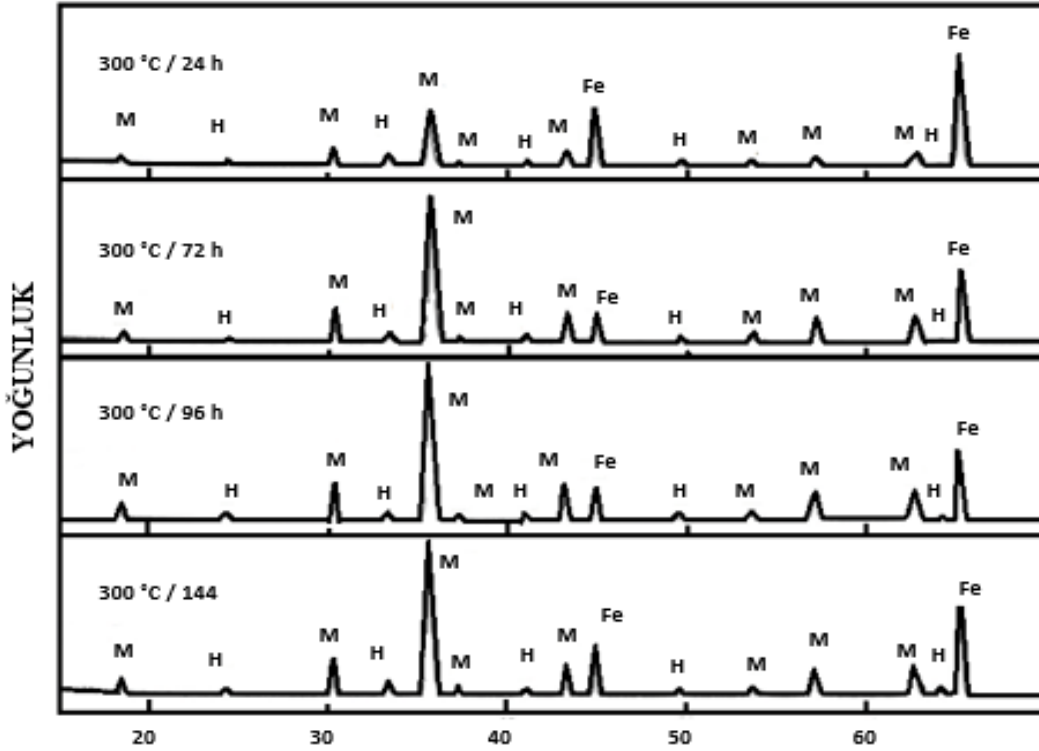
Bileşen	Ağırlık Yüzde (%)
Fe (met+ oxide tot)	96,91 – 97,18
Fe Met	70-76
SiO ₂	0,92 – 1,16
CaO	0,71 - 0,83
MgO	0,46 - 0,98
Al ₂ O ₃	0,16 - 0,32

Yüksek sıcaklıklarda çelik yüzeyinde Wüstit (FeO), Manyetit (Fe_3O_4) ve Hematit (Fe_2O_3) olmak üzere üç tip demir içeren tufal tabakası bulunmaktadır.

Tufal'in; metalik demir ile birlikte üç çeşit Demir oksiti içeren bir yapısı vardır. Tufal yapısı daha detaylı incelendiğinde; ilk tabaka olan wüstitin (FeO) diğer demir oksitlere göre en düşük oksijen miktarına sahip olup, metale yakın içteki tabakayı oluşturduğu görülür. Wüstitin artan sıcaklıkla beraber tufaldeki miktarı artmaktadır. Wüstit diğer demir oksitlere göre 1370-1425 $^{\circ}\text{C}$ arasındaki düşük sıcaklıklarda ergimektedir ve wüstit tabakasının ergimesiyle tufalleşme hızı artmaktadır. Manyetit (Fe_3O_4) tufalin orta tabakasını oluşturmaktadır. Çelik sıcaklığının 500 $^{\circ}\text{C}$ altında olduğu ortamda tufal sadece manyetitten oluşmaktadır. Sıcaklığın 700 $^{\circ}\text{C}$ ye yükselmesiyle manyetitin yerini wüstit almaya başlamaktadır ve daha yüksek sıcaklıklarda manyetit tufal tabakasının ancak %4' ünü içermektedir. Hematit (Fe_2O_3), tufalin en dıştaki atmosfere açık tabakasını oluşturmaktadır. Çelik sıcaklığının 800 $^{\circ}\text{C}$ altında olduğu ortamda oluşmaktadır. Ancak daha yüksek sıcaklıklarda tufal tabakasının ancak %1' ini oluşturmaktadır.

% 70-76 Metalik demir içeren Tufal haddeleme operasyonunda % 0,1'den % 10'a kadar uzanan değişik oranlarda oluşabilmektedir. Ancak genel olarak 35-40 kg/ton yani % 3,5-4 oranının pratikte görüldüğünü söylemek yanlış olmaz. Haddehane tufali ile ilgili bir genel fikir vermek gerekir ise % 49'unun iki değerlikli, % 13' ünün 3 değerlikli % 7'sinin metalik demir olduğu ifade edilebilir. Tufalleşme proses parametrelerine son derece bağlı bir sonuçtur.

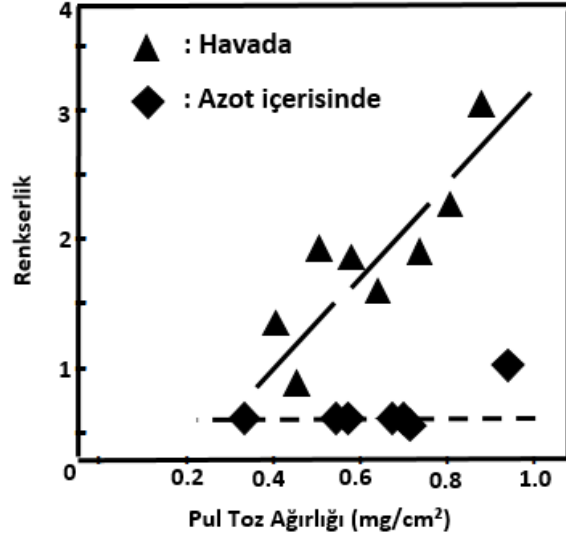
Şekil 6.4'te 300 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta 1-6 gün arasında demir yüzeyindeki oksit tabakasının XRD görüntüleri sunulmuştur, burada M = manyetit, H = hematit, Fe= demir yüzeyi temsil etmektedir (Marcius vd., 2012).



Şekil 6.4: Oksit tabakasının XRD görüntüleri.

Yüksek sıcaklıklarda ve atmosferik şartlarda demir yüzey oksidasyonu (α fazı) XRD ile yapılan analizinde, 300 °C ve 400 °C sıcaklıklarda baskın olarak manyetiti ve küçük kırıntılar halinde hematitten oluşurken, 500 °C ve 600 °C sıcaklıklarda hematit baskın faz olarak gözlemlenmiştir (Marcius vd., 2012).

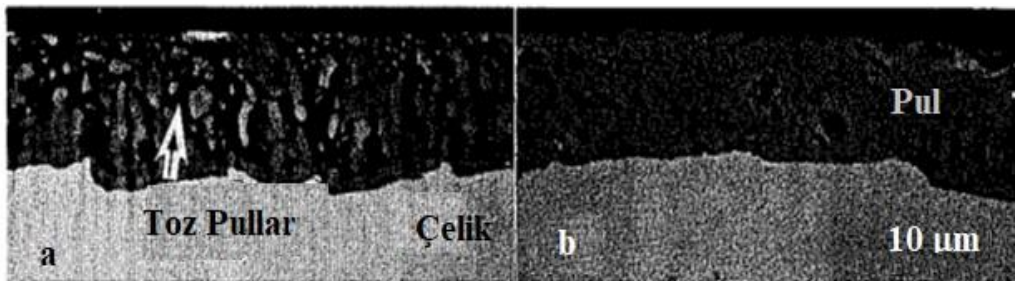
Yapılan bir başka çalışmada, genellikle yüksek Silisyum içeren sıcak hadde şeritlerinde meydana gelen red scale (kırmızı pullanma) kusuru incelenmiştir. Çelikteki Silisyumdan bağımsız olarak, haddeleme öncesi kalınlık 20 μm 'nin üzerinde ve haddeleme sıcaklığı 900 °C'nin altında iken sıcak haddeleme şeridi kırmızı hale gelir ve 900 °C altındaki haddeleme işlemlerinde yüzey kırılarak toz haline gelir. Çeliğin yüzeyinde oluşan renk ile kırmızı pullanma arasındaki bağlantı incelenmiştir ve Hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) toz boyutunun 2 μm 'den daha küçük olduğu durumlarda çelik yüzeyindeki şeridin görüldüğü gösterilmiştir (Asai vd., 1993). Diğer bir çalışmada ultrasonik temizleme ile çelik yüzeyinden çıkarılan tozların ağırlıkları ölçülerek, düşük Silisyumlu çeliğin toz ağırlığı – renkserlik değeri arasındaki bağıntı incelenmiştir (Okuda vd., 1995).



Şekil 6.5: Toz ağırlığının etkisi (Okuda vd., 1995).

Şekil 6.5'te haddeleme sonrası 900 °C sıcaklıkta su verme ile havada soğumanın ve pullu toz ağırlığının renkserlikte etkisi gösterilmektedir. Havada soğutmada, renkserlik etkisinin, toz ağırlığı ile arttığı görülmektedir. Bu bize kırmızı rengin nedeninin, pullu toz miktarı olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan, azot içerisinde soğutmada, renkserlik etkisinin toz miktarı ile etkilenmediğini göstermektedir.

X-ray kırınım muayenesine göre bu pul tozlar; havada soğutmada Hematit iken azotta soğutmada wüstit ve manyetit idi. Yüksek sıcaklıklarda bu pulların Fe/FeO/Fe₃O₄/ α-Fe₂O₃ ve en büyük miktarda FeO olduğu bilinen üç ayrı tabakasından meydana geldiği bilinmektedir. Haddeleme tamamlandığında, pulların bir kısmı FeO ve Fe₃O₄ tozlarına kırılır ve havada soğuma esnasında oksidasyon ile kırmızı Fe₂O₃ tozları haline dönüşür. Bu kırmızı ölçek formasyonu mekanizması olarak kabul edilir.



Şekil 6.6: Düşük silisyumlu çeliğin haddeleme kesit alanı SEM mikrografisi.

Şekil 6.6'da ise a) 750 °C ve b) 1000 °C sıcaklıklarda haddelenmiş düşük silisyum çeliğinin SEM mikroskobundaki görüntüsü görülmektedir.

BÖLÜM 7

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, özellikle sıcak kalıplama işlemlerinde kullanılan ve ticari ismi clarofast olan polimerik malzeme kompozit numune haline getirilerek kuru kayma aşınma davranışları incelenmiştir. Takviye edici olarak farklı boyutlarda 61-67, 67-91, 91-125 μm (Fe_2O_3) boyutlarında tufal tozları kullanılmıştır. Kompozit numuneler hazırlanırken içerisine % 5, 10, 15, 20 ve 25 oranlarında kütlece tufal katılmıştır.

7.1 Numunelerin Üretimi

Numunelerin üretimi için öncelikle Bartın İlindeki bir haddehaneden tufal tozları temin edilmiştir. Boyutları düzensiz ve farklı büyüklüklerde olan tufal tozları bilyalı değirmende 30 dk süre ile öğütülmüşlerdir. Öğütülme işlemi sonrasında değirmenden çıkartılan tufal tozları farklı boyutlarda olan 61-67, 67-91, 91-125 μm eleklerden geçirilmişlerdir. Kompozit matrisi için ticari clarofast kullanılmıştır. Numuneler % 5, 10, 15, 20 ve 25 oranlarında tufal içerecek şekilde kütlece hazırlanmışlardır. Harmanlama işleminden sonra numuneler sıcak kalıplama cihazında 250 °C sıcaklık ve 50 N basınç altında 30 dk süre ile preslenmiştir. Presleme işleminden sonra numunelerin kalınlığı 10 mm çapı ise 40 mm olarak ölçülmüştür.

7.2 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-Scanning Elektron Microscopy)

Üretilen kompozit numunelerin kuru-kayma aşınma deney testine tabi tutulduktan sonra aşınma yüzeylerinde meydana gelen hasar mekanizmalarını tespit edebilmek veya gerekli mikroyapısal incelemeleri yapabilmek için Taramalı Elektron Mikroskobundan faydalanılmıştır.

7.3 Noktasal Analiz Çalışmaları (EDS- Energy Dispersive Spectroscopy)

Üretilen kompozit numunelerin içerisindeki oksit içerkli tufallerin dağılımını inceleyebilmek için SEM mikroskobunun bir ünitesini oluşturan EDS modülü ile numunelerin mapping görüntülenmesi yapılmıştır.

7.4 X- 3D Optik Profilometre İncelemeleri

Kompozit numuneler üzerinde gerçekleştirilen kuru-kayma deney işlemlerinden sonra numunelerin aşınma hacim kayıplarının belirlenmesinde ve yüzey profillerinin tespit edilmesinde kullanılmıştır.

7.5 Sertlik Deneyleri

Deney numunelerinin sertliklerinin belirlenmesinde brinel cinsinden ölçüm yapan sertlik cihazı kullanılmıştır.

7.6 Kuru-Kayma Aşınma Deneyleri

Kuru-kayma aşınma testleri oda sıcaklığında 6 mm çapında Al_2O_3 bilya kullanılarak Ball-on-disk tribometre cihazı (Şekil 7.1) ile gerçekleştirilmiştir. 30 mm çapında 10 mm boyutlarındaki numuneler deney cihazının döner tablasına yerleştirilerek sabitlenmiştir. Aşınma testleri 0,15 m/sn kayma hızlarında 7 ve 10 N yükler altında gerçekleştirilmiştir. Numunelere toplamda 700 m'lik yollar aldırılmıştır. Deneylerin geçerliliğini arttırabilmek için her bir deney 3 defa gerçekleştirilerek ortalama değer alınmıştır. Aşındırma işleminden sonra numunelerin hacim kayıplarını belirlemek için aşınma oluğunun kesit görünüşünde 3D profil metre ile kesit yüzeyin görüntüsü alınmıştır. Bir çember üzerinde 90 derecelik açılarla toplamda 4 bölgenin kesit yüzeyi alınmıştır.

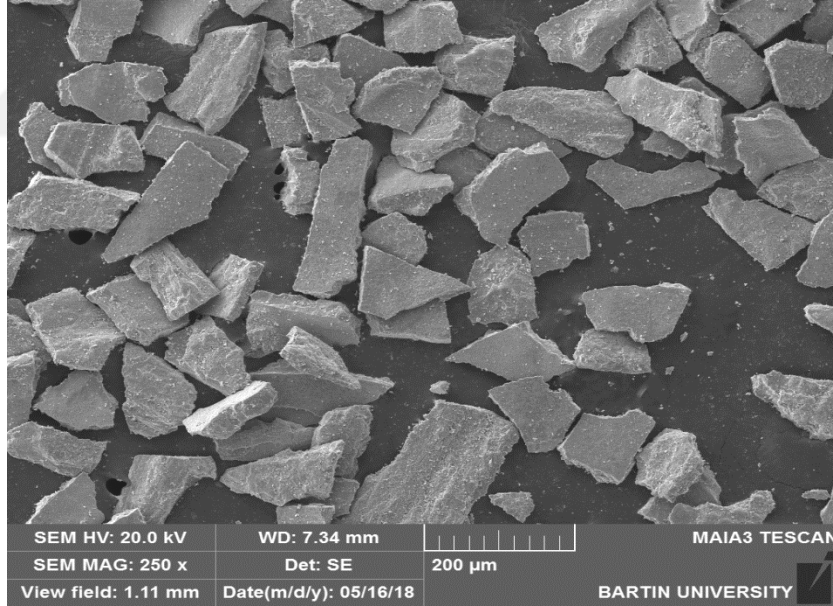


Şekil 7.1. Ball-on-disk tribometre cihazı.

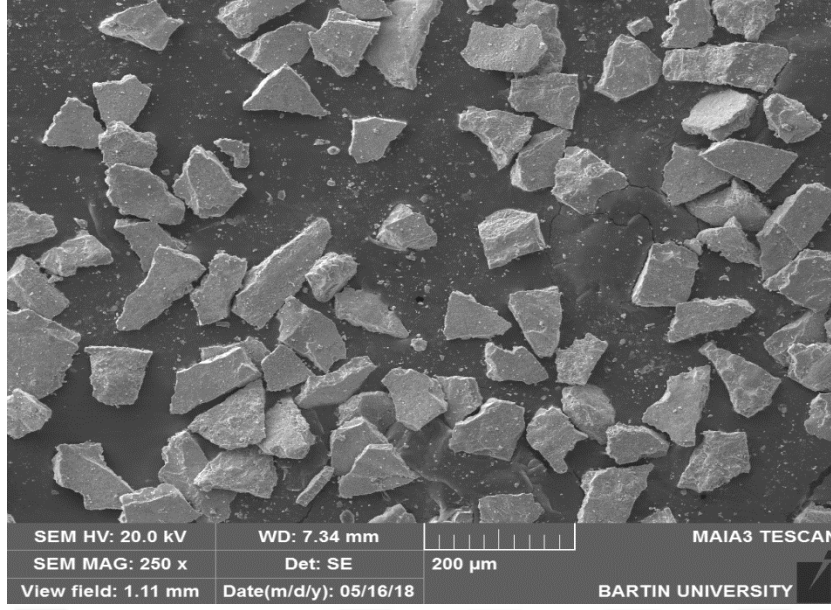
BÖLÜM 8

BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

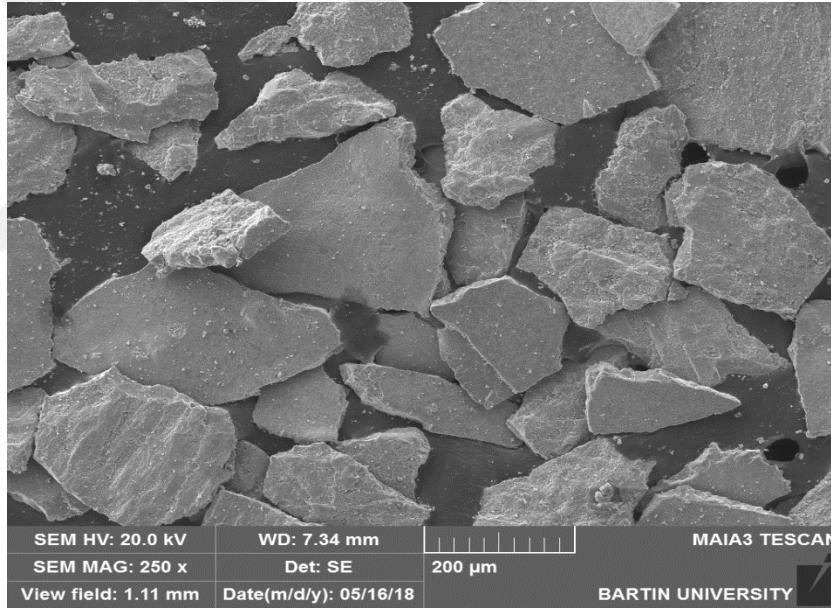
Bu çalışmada bilyalı değirmende öğütüldükten sonra farklı eleklerden geçirilerek boyutlandırılan tufal tozlarının Şekil 8.1’de 61-67 μm , Şekil 8.2’de 67-91 μm ve Şekil 8.3’de 91-125 μm SEM görüntüleri verilmiştir. Toz metalürjisi ile üretilen tozların farklı geometrik şekillerde olduğu kitaplarda belirtilmektedir. Bunlar; pul, pul, küresel, yuvarlatılmış, düzensiz şekilli, düzensiz çubuk şeklinde, asiküler, Bu çalışmada yapılan tozlar açısallık ve dendritik olarak belirtilmektedir. Bu bağlamda SEM görüntüleri alınan tufal tozlarının profilleri incelendiğinde pul ve geometrik yapılar olduğu anlaşılmaktadır. Yine tozlara yakından bakılacak olursa toz partikülünün bir yüzeyinin parlak düz ve pürüzsüz bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Diğer yüzeyde ise pürüzlü katmanlı ve girinti ve çıkıntılara sahip bir morfolojinin varlığı görülmektedir.



Şekil 8.1: Öğütülmüş Tufal tozlarının SEM görüntüsü 61-67 μm 1000x.

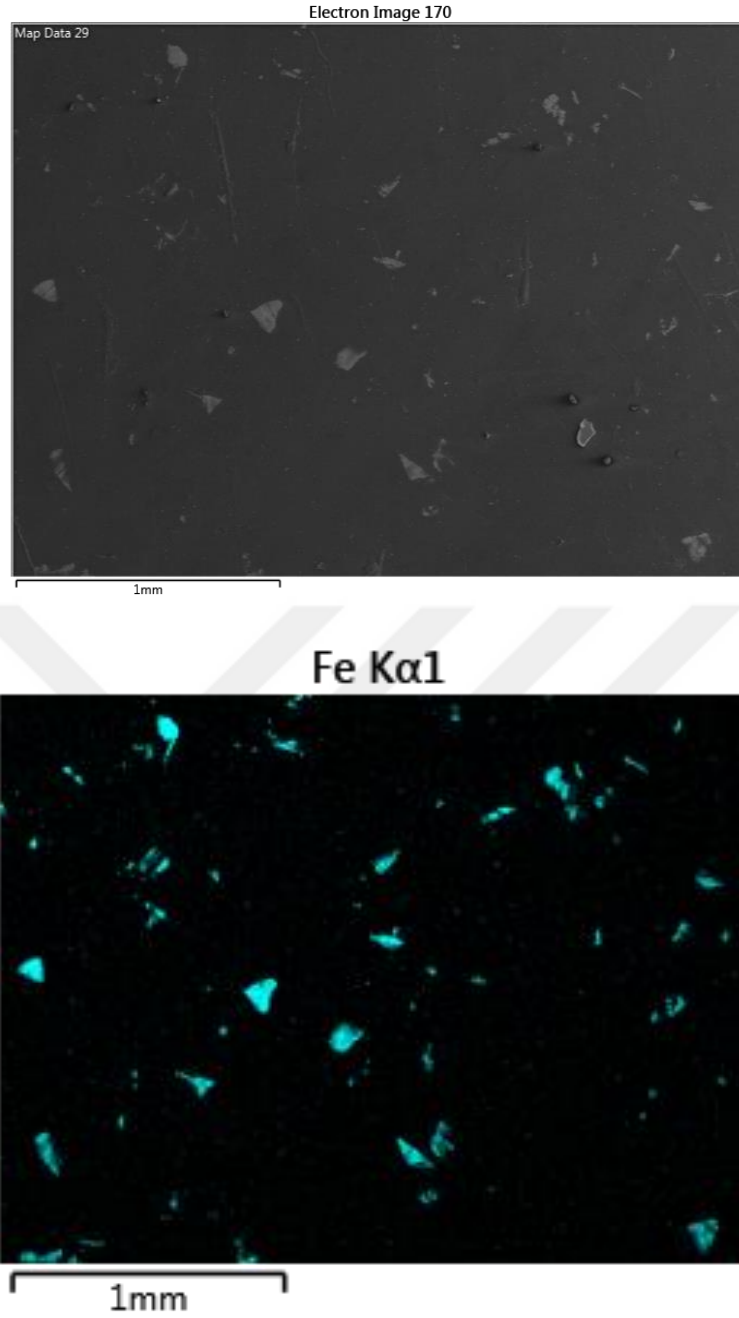


Şekil 8.2: Öğütülmüş Tufal tozlarının SEM görüntüsü 67-91 μm 1000x.



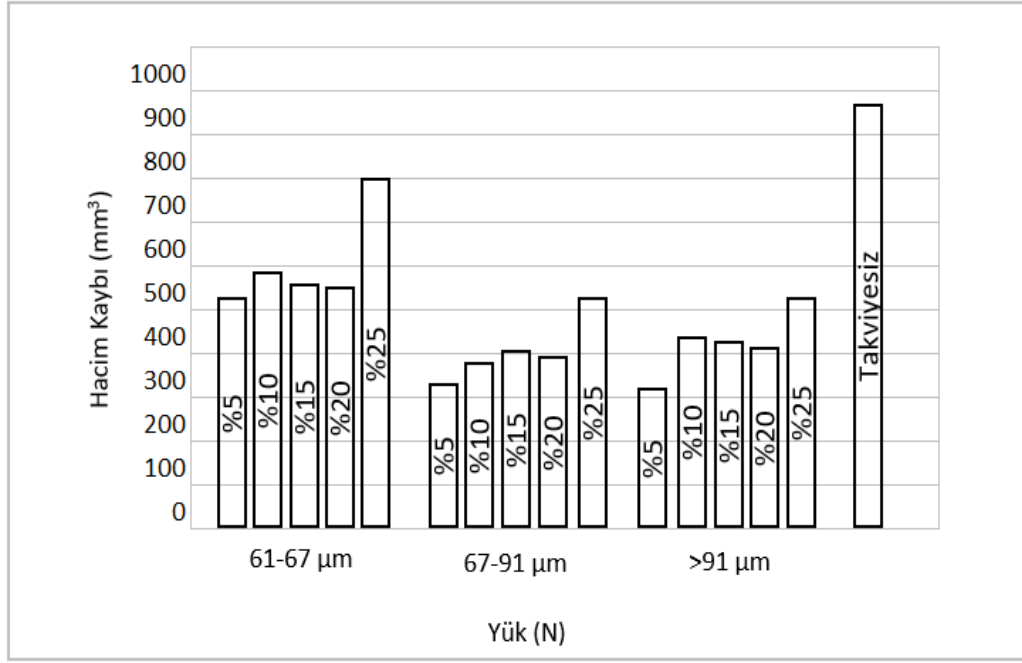
Şekil 8.3: Öğütülmüş Tufal tozlarının SEM görüntüsü 91-125 μm 1000x.

Yine partiküllerin keskin köşelerin varlığı dikkat çekmektedir. İçerisinde 67-91 μm boyutlarında % 5 tufal bulunan kompozit numunenin SEM mikroskop yardımıyla alınan mapping haritalamasında numune içerisindeki demiroksitlerin homojene yakın derecede dağılım gösterdiği görülmüştür.



Şekil 8.4: Kompozit numunenin MAP ing analiz raporu % 5 67-91 μm .

Numunelerin 7 N luk yük altında aşındırma işlemine tabi tutulduktan sonra elde edilen hacim kayıpları Şekil 8.4'te verilmiştir. Hem abrasiv aşındırıcı kullanılarak hem de kuru kayma aşınma şartlarında gerçekleştirilen deneylerde yüksek hacim oranında sert takviye ediciye sahip kompozitlerin aşınma dirençlerinin daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Axen ve Zum Gahr tarafından Al matrisli partikül takviyeli kompozit numuneler üzerine geliştirilen oran konsept teorisi Wang ve Rack tarafından geliştirilerek nisbi penetrasyon derinlik tezini geliştirmişlerdir. Aşındırıcının batma derinliğinin takviye edici partikül büyüklüğüne ve bu partiküller arasındaki mesafeye bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

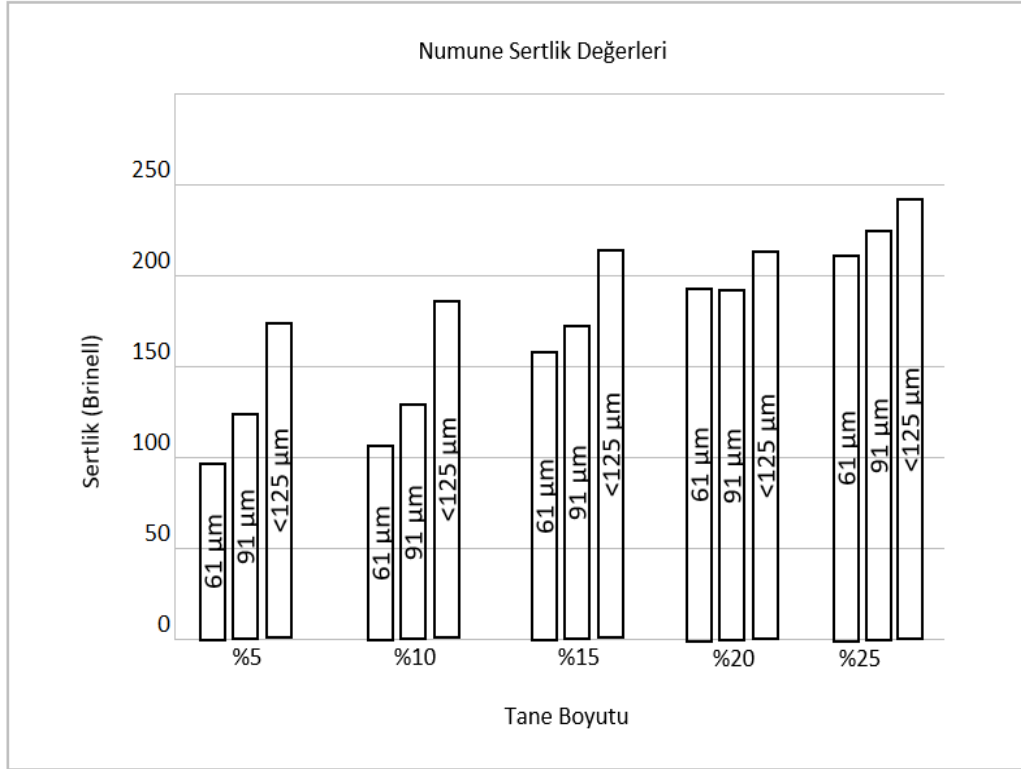


Şekil 8.5: 7 N luk yük altında numunelerde meydana gelen hacim kayıpları (mm³).

Grafikten de görüleceği üzere takvivesiz numunenin hacim kaybı 900 mg olarak gerçekleşirken en iyi aşınma direnci gösteren 91-125 µm boyutlarında % 5 tufal takviyeli numunenin hacim kaybı 300 mg olarak gerçekleşmiştir. Böylece takvivesiz numune en iyi aşınma performansı gösteren numuneden 3 kat en düşük hacim kaybı gösteren numuneden de 0.1 kat daha kötü aşınma performansı göstermiştir. Numunelerin aşınma performansı takviye edici toz oranına bağlı olarak kıyaslandığında kompozit içerisinde artan tufal oranına bağlı olarak düştüğü görülmektedir. En iyi aşınma direnci en düşük tufal takviyeli yani % 5 oranında tufal ile takviye edilen numunelerde görülürken en kötü aşınma direnci en yüksek oranda tufal ile takviye edilen (% 25) numunelerde görülmüştür. Hatta diğer takviye oranları ile kıyaslandığında % 25 lik takviye oranının bir kırılım noktası olduğunu söylemek mümkündür. Çünkü bu oranda hacim kayıpları ani bir sıçrama göstermiştir. Bu durumun sebebini kompozit içerisinde artan takviye edici oranına bağlı olarak matris bağın dokusunun zayıflamasına veya aşındırma esnasında aşındırıcı bilya ile kompozit arasında meydana gelen kuvvetlerin varlığına bağlamak mümkündür. Şöyle ki karşı yüzeyin aşındırılabilmesi için aşındırıcı bilyanın bu yüzeye nüfuz etmesi gereklidir. Bunu bilya üzerine uyguladığımız 7 N luk normal yük sağlayacaktır. Burada kompozit numune ne kadar yüksek hacim veya yüzey sertliğine sahip ise aşındırıcının karşı yüzeye batması o kadar zor olacaktır. Numunelere ait sertlik değerleri Şekil 8.5'deki grafikte verilmiştir. Şekil 8.6'da görüleceği üzere hem kompozit numune içerisinde artan tufal oranına bağlı olarak hemde tufal partikül tane büyüklüğünün artmasına bağlı olarak numun hacim sertliklerinin arttığı görülmektedir. Hatta

deneylerde elde edilen hacim kayıplarının tam tersine en yüksek sertlik değeri % 25 tufal takviyeli numunelede görülmüştür.

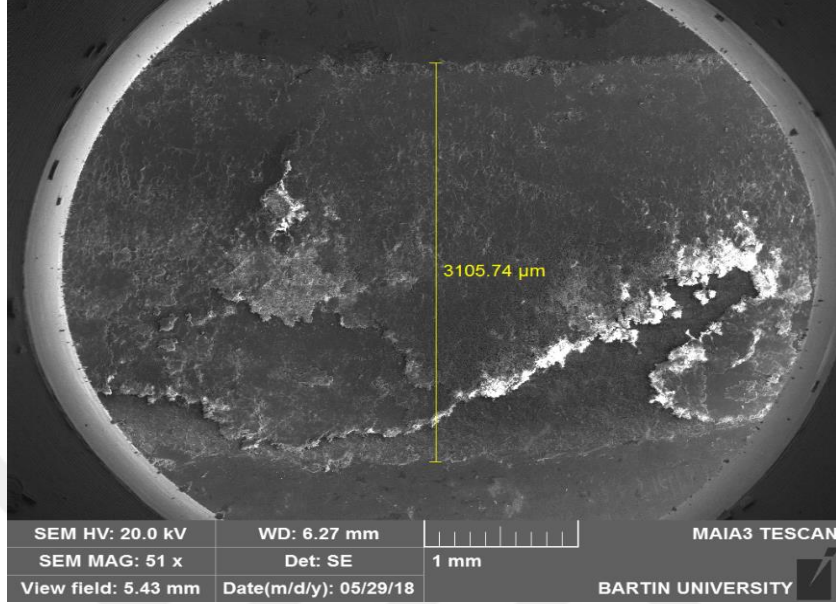
Numuneni aşındırılması için gerekli diğer kuvvet ise kesme kuvvetidir. Kompozit yüzeyinden partikül kaldırılabilmesi için bu iki kuvvetin yüksek olması gereklidir. Bu kuvvetlere karşı koyan direnç ise kompozit içerisindeki sert faz olan tufal partikülleridir. Toz boyutuna göre kompozit numunelerin aşınma performansları değerlendirildiğinde toz boyutunun büyümesi ile aşınma direncinin arttığı anlaşılmaktadır. Alahelisten ve arkadaşları kompozit malzemelerin tribolojik davranışları malzemelerin mikro-yapısal davranışları ve tribolojik sistemin yükleme şartlarına bağlı olduğunu belirlemiştir.



Şekil 8.6: 7 N luk yük altında numunelerde meydana gelen numune hacim sertliği.

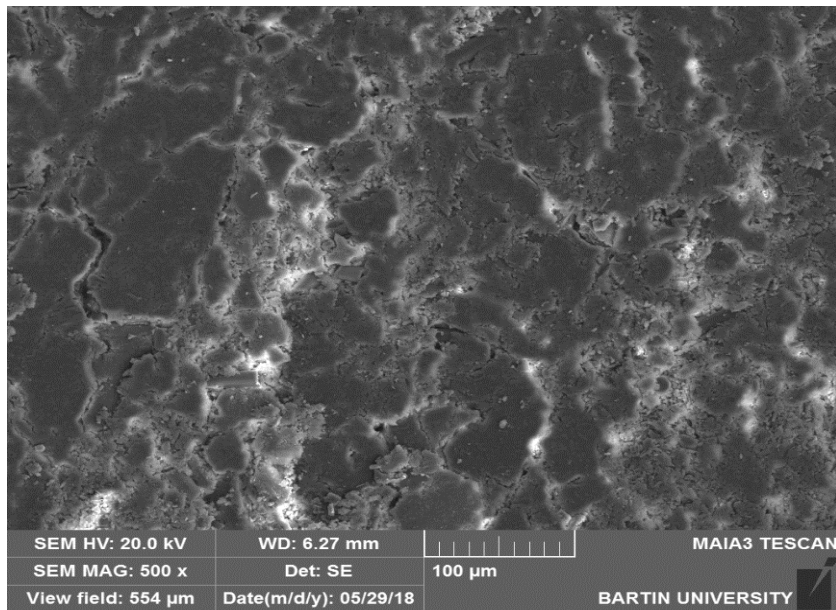
Bu durumu birim alanda aşındırıcı bilya ile temas eden tufal oranının artması ile ilişkilendirmek mümkündür. Çünkü malzemelerin sertliği arttıkça kendisine batmak isteyen aşındırıcı bilyeye karşı koyma direnci o oranda artmış olacaktır. Artan takviye edici oranını ile birlikte birim alana düşen tufal partiküllerinin sayısında artış olacağından dolayı yumuşak polimer matris aşındırıcının olumsuz etkilerinden korunmuş olacaktır. Takviyesiz clarofastın 7 N luk yük altında aşındırma işlemine tabi tutulduktan sonra takviyesiz numunenin aşınma

yüzeyinden 51x büyütmede alınan SEM fotoğrafları Şekil 8.7 de verilmiştir. Yaklaşık 3 mm genişliğinde meydana gelen aşınma izi aşırı plastik deformasyonun sonucunda meydana gelmiştir.

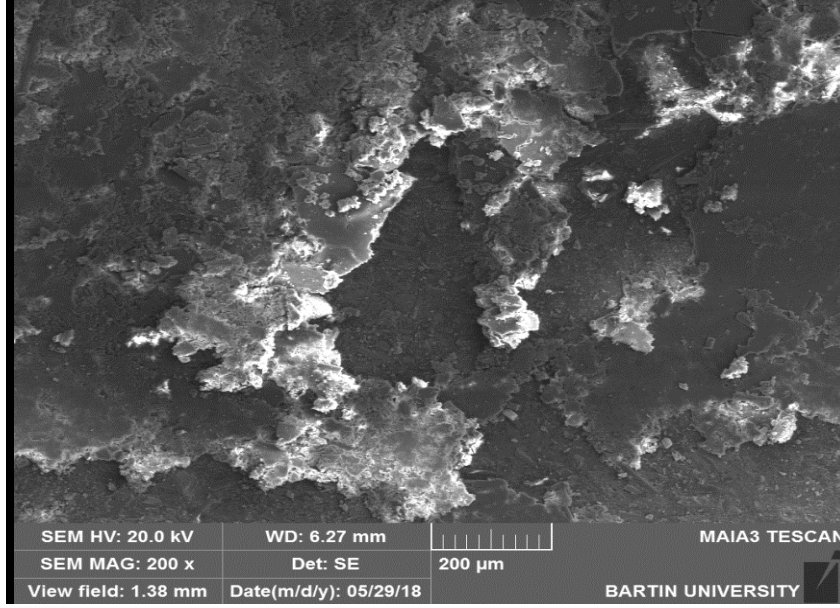


Şekil 8.7: Takviyesiz kompozit numunenin aşınma sonrası iz SEM fotoğrafı.

Aynı numunenin daha büyük SEM mikroskop görüntüleri incelendiğinde Şekil 8.8 a-b. Numune yüzeyinde meydana gelen gerilmelere bağlı çatlamlar (Şekil 8.8 a.) ve yüzeyden adhesyon sonucu ayrılan veya yüzeyde kalan partiküller görülmektedir.



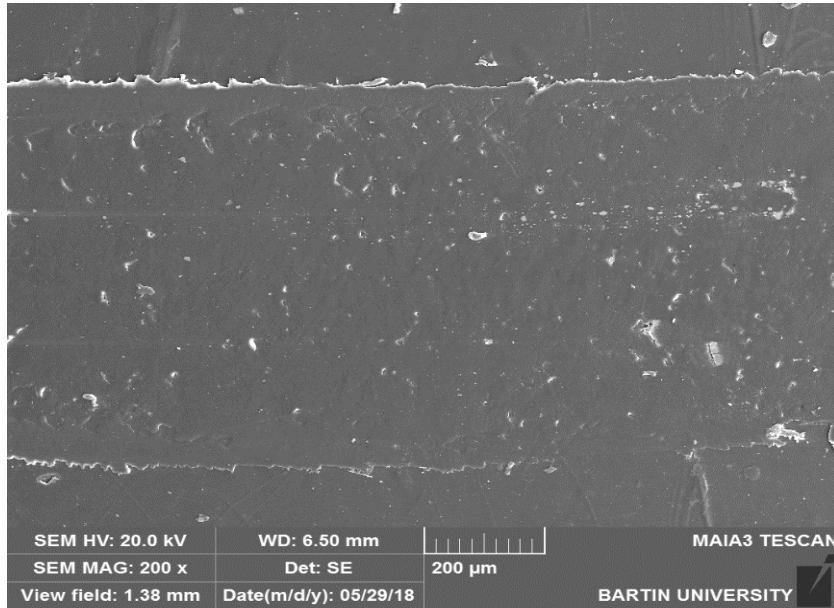
a.



b

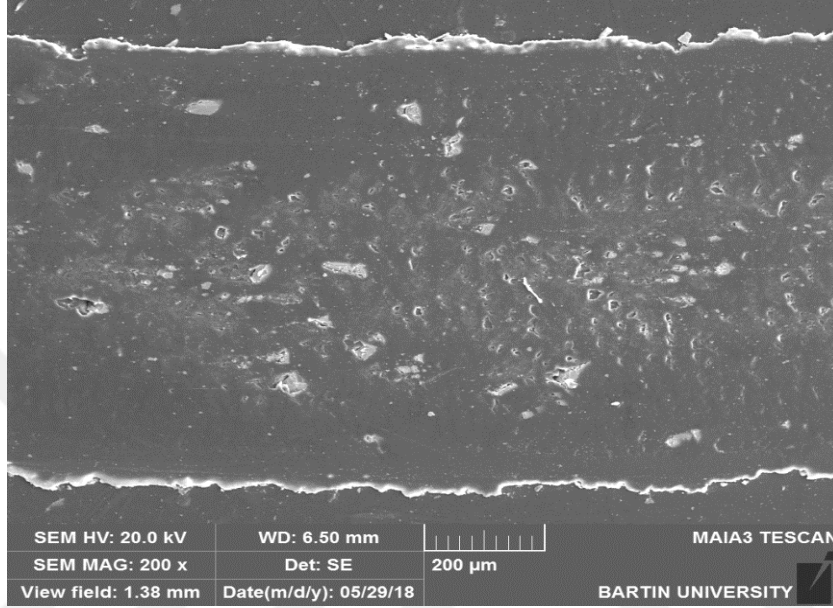
Şekil 8.8: Takviyesiz kompozit numunenin aşınma sonrası iz SEM fotoğrafı.

Şekil 8.9 da % 5 Takviyeli clarofastın 7 N luk yük altında aşındırma işlemine tabi tutulduktan sonra aşınma yüzeyinden farklı büyütmelerde alınan SEM fotoğrafları Şekil 8.9’de verilmiştir. Matris içerisinde görülen beyaz noktasal bölgeler takviye edici tufal tanelerini göstermektedir. Yine genel anlamda bakıldığında yüzeyde çok fazla bir deformasyonun olmadığı görülmektedir. Yüzey pürüzsüz yapısı da dikkat çekmektedir.

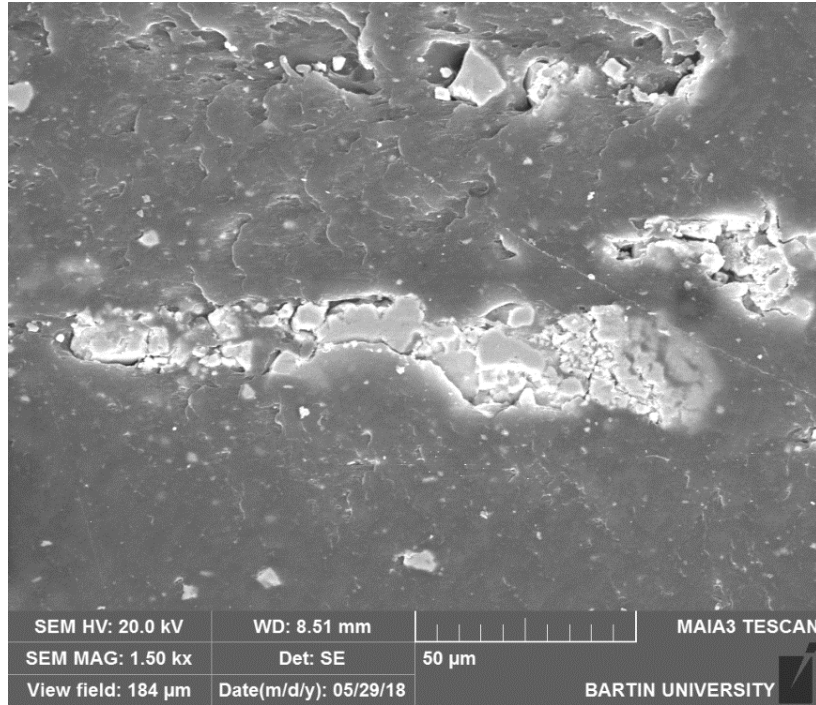


Şekil 8.9: Takviyesiz kompozit numunenin aşınma sonrası iz SEM fotoğrafı.

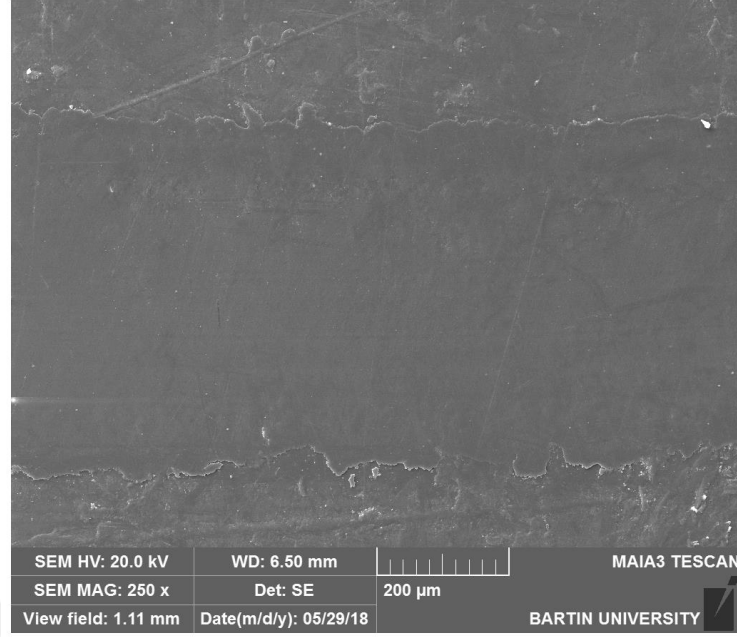
Aynı numunenin %20 tufal ile takviye edildikten aşındırma işlemi sonrası yüzey fotoğrafı incelendiğinde (Şekil 8.10) aşınma izi bölgesinde takviye edici partiküllerin yoğun bir şekilde ortaya çıktığı görülmektedir. Yine şekil 8.11 de aynı numuneye ait 1500 x büyütmedeki görüntü incelendiğinde aşınmanın sert takviye edici partüküller çevresinde meydana geldiği dikkat çekmektedir.



Şekil 8.10: Takviyesiz kompozit numunenin aşınma sonrası iz SEM fotoğrafı.

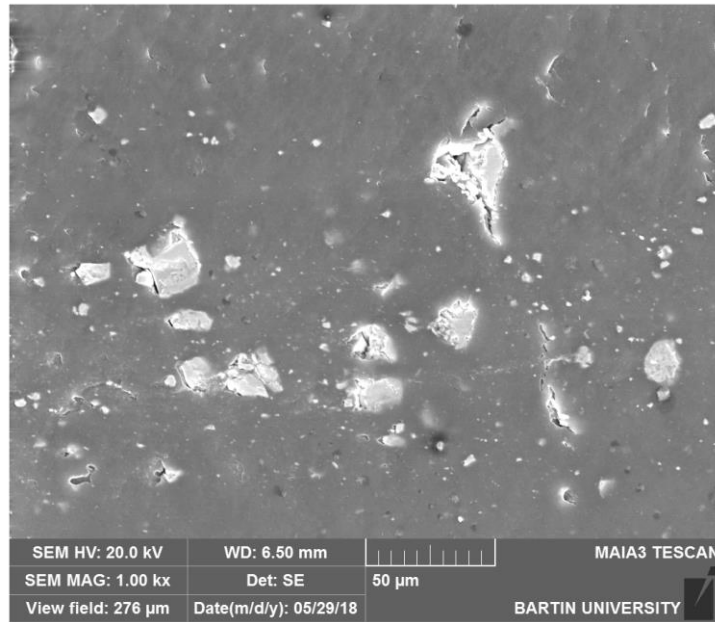


Şekil 8.11: Takviyesiz kompozit numunenin aşınma sonrası iz SEM fotoğrafı.



Şekil 8.12: Tufal tozları (67-91 μ m) ile takviye edilen kompozit numunenin aşınma sonrası iz SEM fotoğrafı.

% 5 Takviyeli clarofastın 7 N luk yük altında aşındırma işlemine tabi tutulduktan sonra aşınma yüzeyinden farklı büyütmelemlerde alınan SEM fotoğrafları Şekil 8.12’de verilmiştir. Pürüzsüz bir yüzey dikkat çekmektedir. Şekil 8.13 ‘de %25 takviyeli numunenin aşınma yüzeyi fotoğrafı verilmiştir. Fotoğrafta matris içerisinde kırılan tufal taneleri görülmektedir. Kırılan bu sert partiküller daha sonrasında bir abrasiv aşındırıcı etkisi göstermektedir.



Şekil 8.13: Tufal tozları (91-125 μ m) ile takviye edilen kompozit numunenin aşınma sonrası iz SEM fotoğrafı.

BÖLÜM 9

SONUÇ VE ÖNERİLER

Endüstriyel atık olan tufal tozları farklı boyut ve takviye edici oranlarında takviye edilerek kompozit olarak üretilen clarofastın kuru kayma deneyleri sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Takviye edici oranına bağlı olarak numunelerdeki sertlik değeri 3 kattan daha fazla bir artış göstermiştir,
- Numunelerin hacim kayıpları artan yüke bağlı artış artan takviye edici oranına bağlı düşüş göstermiştir. Numunelerin aşınma dirençlerinde artan takviye edici oranı ile doğrudan bir ilişki görülmemiştir,
- Aşınma mekanizması olarak takviyesiz kompozit numunelerde aşırı plastik deformasyon, mikro çatlama görülürken takviyeli kompozitlerde daha pürüzsüz bir aşınma tabakası görülmüştür. Ancak takviye edici partiküllerin kırıldığı görülmüştür.

Bu çalışmada, ticari ismi clarofast olan polimerik malzeme kompozit numune haline getirilerek kuru-kayma aşınma davranışları incelenmiştir. Takviye edici olarak farklı boyutlarda 61-67, 67-91, 91-125 μm (Fe_2O_3) boyutlarında tufal tozları kullanılmıştır. Kompozit numuneler hazırlanırken içerisine % 5, 10, 15, 20 ve 25 oranlarında tufal katılmıştır. Aşınma testleri pin on disk aşınma cihazında 6 mm çapında Al_2O_3 bilya ile 7 luk yük altında 0,15m/sn dönme hızlarında gerçekleştirilmiştir. 3D optik profilometre ile aşınma izi profili tespit edilmiş ve aşınma kayıpları bu profile göre hesaplanmıştır.

- Clarofastın takviye ediciler ile kompozit haline getirileceği görülmüştür,
- Numunelerde artan takviye edici oranıyla hacim kayıplarında artış yaşanmıştır,
- Numunelerde artan takviye edici oranıyla hacim sertliğinde artış görülmüştür,
- Artan takviye edici oranı aşındırma işleminde abrasiv etki göstererek numunelerin aşınma dirençleri düşmüştür,
- Aşınma mekanizmaları olarak plastik deformasyon, ve abrasyon aşınmaları tespit edilmiştir.

Bu tez kapsamında elde edilen verilere göre gelecek çalışmalar için öneriler aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- Günümüzde kompozit malzemelerde kullanılan takviye edici boyutları nano boyutlarda seçilmektedir. Bu bağlamda takviye edici boyutunun nano boyuta indirilerek kompozit numuneler üretilebilir,
- Kompozit matris içerisindeki takviye edici oranının % 5 in altındaki değerlerde nasıl bir sonuç vereceği araştırılabilir,
- Numunelerin aşınma dirençlerinin haricinde diğer mekanik özellikleri incelenebilir,
- Numunelerin aşınma dirençleri farklı aşınma mekanizmaları kullanılarak değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

- Ahamed H., Senthilkumar, V., (2010). *Role of nano-size reinforcement and milling on the synthesis of nano-crystalline aluminium alloy composites by mechanical alloying*, Journal of Alloys and Compounds 505, pp. 772–782.
- Akdoğan (2018), <http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/plastikmalzeme/Polimerler>, Yıldız Teknik Üniversitesi, (24.04.2018).
- Akkurt, M., (2000). *Makina Elemanları*, Birsen Yayınevi Ltd. Şti., Cilt 1-2, İstanbul.
- Asai, T., Nakamura and T., (1993). Inoue: CAMP-ISIJ,6, 357.
- Beşergil (2018), http://www.bayar.edu.tr/besergil/4_polimerler.pdf, Celal Bayar Üniversitesi, (24.04.2018).
- Burwell, J. T. (1957). Survey of possible wear mechanisms. Wear 1, 119–141
- Callister, W. D. ve Rethwisch, D. G., (2007). *Materials Science and Engineering: An Introduction*. John Wiley & Sons, Inc. New York, A.B.D.
- Das S., Das, S., Das K., (2007). *Abrasive wear of zircon sand and Alumina Reinforced Al–4.5 wt%Cu Alloy Matrix Composites – A Comparative Study*, Composites Science and Technology 67, 746–751
- DIN 50320. (1979). *Wear-terms-systems analysis of wear processes-classification of the field of wear*. German Institute for Standardization
- Dominique, P., Robin, A.L., Michel, L., Raynald, G., (2010). *Fabrication and properties of mechanically milled alumina/aluminium Nanocomposites*, Materials Science and Engineering A 527, 7605–7614.
- Edward, W., Bruce, M., Sarma D.H.R., Suresh, C., Gary, E., Parker, C., David, I., (2010). *Nanotechnology Applications in Future Automobiles*, SAE International, pp. 01-14.
- Froes, F.H., (1994). *Advanced metals for aerospace and automotive use*, Materials Science and Engineering, A 184, pp.119-133.
- Kato, K. ve Adachi, K., (2001). *Modern Tribology Handbook*, Chapter7, Wear Mechanisms, CRC Press LLC.
- Kocaeli Üniversitesi, (2003). Taner Sınmazçelik ders notları.
- Lee G. Y., Dharan C.K.H., Ritchie R.O., (2002). *A Physically-Based Abrasive Wear Model For Composite Materials*, Wear 252, 322–331
- Marcus, M., Ristic, M., Ivanda, M., Music, S., (2011). *34th International Convention on Information and Communication Technology*, Electronics and Microelectronics, May 23rd–27th, 2011, Opatija, Croatia.

- Maugis, D., (2001). Modern Tribology Handbook, Chapter4, Adhesion of Solids Mechanical Aspects, CRC Press LLC. Ludema, K. C. 2001, Modern Tribology Handbook, Chapter5, Friction, CRC Press LLC.
- Mazen, A.A., ve Ahmed, A.Y., (1998). Mechanical Behaviour of Al-Al₂O₃ MMC Manufactured by PM Techniques Part I—Scheme I Processing Parameters, Journal of Materials Engineering and Performance, volume 7, pp.393-401.
- Mula, S., Padhi, P., Panigrahi, S.C., Pabi, S.K., Ghosh, S., (2009). *On structure and mechanical properties of ultrasonically cast Al-2% Al₂O₃ Nanocomposite*, Materials Research Bulletin 44, pp.1154–1160.
- Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, (2018). Korozyon kimyası ve Önemi Ders notları, abs.mehmetakif.edu.tr/upload/D007_328_dosya.ppt, s.43, (26.04.2018).
- Oğuz, B., (1990), *Demir Dışı Metallerin Kaynağı*, Oerlikon Yayını,1990
- Okuda, H., Fukagawa, T., Ishihara, H., Okamoto, A., Azuma, M., Matsuda, Y., (1995). *Prevention of Red Scale Formation during Hot Rolling of Steels*, ISIJ International. Vol. 35 (1995), No. 7, pp. 886-891.
- Ozdemir, İ., Sascha, A., Silke, M., Bernhard, W., (2008). *Nanocrystalline Al-Al₂O₃p and SiCp composites produced by high-energy ball milling*, Journal of Materials Processing Technology, pp.111-118.
- Pedro, H.C., Satyanarayana, K.G., ve Fernando, W., (2009). *Nanocomposites : Synthesis, Structure, Properties and New Application Opportunities*, Materials Research, Vol. 12, No. 1, pp.1-39.
- Róbert Klement, R., Švančárek, P., Parchovianský, M., Sedláček, J., Galusek, D., (2018). *Advances in Ceramic Matrix Composites*, Edition: Second Edition, Chapter: Al₂O₃-SiC nanocomposites: preparation, microstructure, and properties, Matthew.
- Ronald, F.G., (2010). *A review of recent research on mechanics of multifunctional composite materials and structures*, Composite Structures, 92, pp. 2793–2810.
- Saçak, M. (2012). *Polimer Teknolojisi*, ISBN 978 975 8895 82 3, Eylül 2012 Gazi Kitabevi, s.7
- Seal, S., Kuiry, S.C., Georgieva, P., and Agarwal, A., (2004). *Manufacturing Nanocomposite Parts: Present Status and Future Challenges*, MRS BULLETIN/JANUARY, pp.16-21.
- Stachowiak, G.W. ve Batchelor, A.W., (2001). Engineering Tribology, Butterworth Heinemann, Australia.
- Timms, L.A., Ponton, C.B., Strangwood M., (2002). *Processing of Al₂O₃/SiC nanocomposites—part 2:green body formation and sintering*, Journal of the European Ceramic Society 22, pp.1569–1586.

Tousi, S.S., Yazdani Rad, R., Salahi, E., Mobasherpour, I., Razavi, M., (2009). *Production of Al-20 wt.% Al₂O₃ composite powder using high energy milling*, Powder Technology 192, pp.346–351.

URL-1 (2018).

<http://web.hitit.edu.tr/dosyalar/duyurular/abdurrahmanasan@hititedutr231220166Q3C5L6O.pdf>, (24.04.2018).

URL-2 (2018). <https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/P14.pdf>, Sae 1060 Çeliğinin Eroziyon Aşınma Özelliklerinin Aşınmaya Dirençli Ticari Çelik Plakalarla Karşılaştırılması, V. Erduran ERDEM1 , C. Fahir ARISOY2 , Gökhan BAŞMAN3 , M. Kelami ŞEŞEN4, (24.04.2018).

URL-3 (2018). <https://tr.wikipedia.org/wiki/Polimer>, (24.04.2018).

URL-4 (2018). <https://malzemebilimi.net/polimer-nedir-polimer-cesitleri-nelerdir.html>, (24.04.2018).

URL-5 (2018). What is pilling bedworth rule,

http://www.answers.com/Q/What_is_pilling_bedworth_rule, (26.04.2018).

URL-6 (2018). http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/66616/51794/9._hafta.pdf, (26.04.2018).

Veeresh, K., Rao, C.S.P., Selvaraj, N., (2011). *Mechanical and Tribological Behavior of Particulate Reinforced Aluminum Metal Matrix Composites – a review*, Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, Vol. 10, No.1, pp. 59-91.

VENCL, A., RAC, A., BOBIĆ, I., (2004). *Tribological Behaviour of Al-Based MMCs and their Application in Automotive Industry*, Tribology in industry, Volume 26, No. 3&4, pp.31-38.

Yalova Üniversitesi (2018), Polimer Mühendisliği ders notları.

Yung-Chang, K., Sammy, L., (2004). *Tensile properties of nanometric Al₂O₃ particulate-reinforced aluminum matrix composites*, Materials Chemistry and Physics 85, pp.438–443.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Mustafa ÖZCAN
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya/Ereğli 10/03/1991

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
Yüksek Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi, Makine Mühendisliği
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce
Bilimsel Faaliyet/Yayınlar : Günay, A., Aktaş, E., Özcan, M. ve Camcı, HAPS Yöntemi İle Yüzeyi Kaplanmış AA 7075 Alaşımının Balistik Dayanımının İncelenmesi. *Bartın Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi Cilt 6 Sayı 1 (2018), 29-32.*

M. Sabri GÖK, Mustafa ÖZCAN*, Rifat ÜNAL, Mesut ÇAKMAK, Mete ULAŞIR, Emre AYDOĞDU, A. Tayfun KİRAZ, Dilara BOYNUEYRİ, Esra GÜNER, Hasan YILMAZ, Dilara BEYTEKİN (2019). Tufal Takviyeli Polimer Matrisli Kompozitin Kuru Kayma Aşınma Davranışları. *Bartın Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi Cilt 7 Sayı 1 (2019).*

İş Deneyimi

Stajlar : Rözmaş Çelik 2013-2014
Çalıştığı Kurumlar : Ecoplas otomotiv 2015-halen çalışmakta

İletişim

E-Posta Adresi : m42ozcan@gmail.com

Tarih : 28/08/2019 (Tez Savunma Tarihi)

