

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**CAM FİBER ve GRAFİT TAKVİYELİ NAYLON 6
MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN BAZI
MEKANİK ÖZELLİKLERİ ve AŞINMA
MEKANİZMALARININ DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

Çiler TOĞUŞLU

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Rasim İPEK

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu: 625.02.00.

Sunuş Tarihi: 02.02.2011

Bornova-İZMİR

2011

Çiler TOĞUŞLU tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak sunulan “**Cam Fiber ve Grafit Takviyeli Naylon 6 Matrisli Kompozit Malzemelerin Bazı Mekanik Özelliklerinin ve Aşınma Mekanizmalarının Deneysel Olarak İncelenmesi**” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 02.02.2011 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Rasim İPEK

.....

Raportör Üye : Yrd. Doç. Dr. Serdar KARAOĞLU

.....

Üye : Doç. Dr. Enver ATİK

.....

ÖZET**CAM FİBER ve GRAFİT TAKVİYELİ NAYLON 6 MATRİSLİ
KOMPOZİT MALZEMELERİN BAZI MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN ve AŞINMA MEKANİZMALARININ
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ****TOĞUŞLU, Çiler**

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Bölümü

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Rasim İPEK

Şubat 2011, 72 sayfa

Polimerlerin kullanım alanlarının artması ile birlikte makine parçalarındaki metal aksamaların yerlerini plastik malzemeler almaya başlamıştır. Makine parçalarının hareketli kısımlarında karşılaşılan en büyük problemler yüke dayanımla beraber aşınmadır. Bu çalışmada matris malzeme olarak Naylon 6 (poliamid 6, PA 6) mühendislik plastiği, takviye malzeme olarak da cam fiber ve grafit kullanılmıştır. Deneyler için, takviye malzemesine göre 5 ayrı oranda malzeme hazırlanmıştır. Bu malzemeler katkısız PA 6, %3, %6, %9, %15 cam fiber katkılı PA6 ve %1 grafit katkılı PA6'dır. Üretilen kompozit malzemelerin basma dayanımı, sertlik ve aşınma davranışları araştırılmıştır. Aşınma deneyleri ball-on-disk cihazında ve kuru ortamda yapılmıştır. Deneylerde karşı malzeme olarak 100Cr6 çeliği kullanılmıştır. Aşınma yüzeyleri SEM analizine tabi tutulmuştur. Deneysel sonuçlar; cam fiberin ve oranının, basma, sertlik ve aşınma üzerindeki etkisi bakımından incelenmiştir. Değerlendirmede aşınma kaybı-kayma süresi (yolu) kullanılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Naylon 6 matris, Cam Fiber Takviye, Grafit Takviye, Polimer matris Kompozit, Aşınma.

ABSTRACT**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SOME MECHANICAL
PROPERTIES AND WEAR MECHANISMS OF GLASS FIBER
AND GRAPHITE REINFORCED NYLON 6 MATRIX COMPOSITE
MATERIAL****TOĞUŞLU, Çiler**

Msc in Mechanical Engineering

Supervisor: Professor Dr. Rasim İPEK

February 2011, 72 Pages

As polymers are more widely used, plastic materials has begun to take the place of metal components in the machines. The biggest problem that is encountered about the moving parts of a machine is that they wear under pressure. In this study Nylon 6 (polyamide 6, PA 6) engineering plastics were used as the matrix material, glass fiber and graphite were used as reinforcement materials. For the experiments, 5 different amounts of materials were used according to different reinforcement materials. These materials are pure PA 6, 3%, 6%, 9%, 15% glass fiber reinforced PA 6, and 1% graphite reinforced PA 6. Compression strength, hardness and wear characteristics of the produced composite materials were studied. Wear experiments were conducted in a pin-on-disc device , in dry conditions. And in these experiments 100Cr6 steel was used as counter material. Wear surfaces were analyzed by SEM. The results of the experiments were studied according to the effects of glass fiber and its rate on compression, hardness and wear. The wear test result was evaluated by using the parameter of weight-lost and sliding time.

Keywords: Nylon 6 Matrix, Glass Fiber Reinforcement, Graphite Reinforcement, Polimer Matrix Composite, Wear.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam süresince çok değerli önerileri ile katkıda bulunan danışmanım Prof. Dr. Rasim İPEK'e sonsuz saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma esnasında yardımları ve desteği için SİSMAK OTOMOTİV SAN. VE TİC. A.Ş. Genel Müdürü Ahmet KURT, Finansman Müdürü Özge KURAL, Kalıphane Sorumlusu Mehmet ÇAĞLAR, Proje Tasarım Sorumlusu Ufuk YANMAZ ve tüm çalışanlarına, laboratuvar ile ilgili her türlü yardımcı benden esirgemeyen Arş. Gör. Makine Yüksek Mühendisi Ege Anıl DİLER'e ve bu çalışmamı San-Tez Projesi kapsamında destekleyen Sanayi ve Ticaret Bakanlığı, Sanayi Ar-Ge Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederim.

Tez sürecinde benden manevi olarak desteğini esirgemeyen nişanlım Hakan ŞENOCAK ve Ailesine teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemi sağlayan, beni sürekli motive eden ve sonsuz güvenleriyle onurlandıran Aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Çiler TOĞUŞLU

İzmir 2011

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Araştırması.....	2
2. POLİMER KOMPOZİTLER.....	7
2.1. Kompozit Malzemeler	7
2.2. Fiberler ve Matrisler	8
2.2.1. Fiberler.....	9
2.2.2. Matrisler.....	11
2.3. Polimerler	12
2.3.1. Polimerlerin kaynağına göre sınıflandırılması.....	13

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.3.2. Polimerlerin zincir yapısına göre sınıflandırılması.....	13
2.3.3. Polimerlerin monomer kompozisyonuna göre sınıflandırılması	13
2.3.4. Polimerlerin ısısal davranışına göre sınıflandırılması.....	14
2.4. Fiber Takviyeli Polimer Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri.....	14
2.4.1. Ekstrüzyon Yöntemi	14
2.4.2. Enjeksiyon Yöntemi.....	15
2.4.3. Diğer Yöntemler	18
3. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ.	19
3.1. Matris Malzemesi: Poliamid 6	19
3.1.1. Poliamid 6'nın Genel Özellikleri	21
3.2. Deneylerde Kullanılan Takviye Malzemeleri Ve Özellikleri	24
3.2.1. Cam Fiber (Cam Elyaf).....	24
3.2.2. Grafit	25
4. AŞINMA.....	26
4.1. Aşınma Safhaları.....	28

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.2. Aşınma Mekanizmaları.....	29
4.2.1. Adhesif Aşınma	30
4.2.2. Abrasif Aşınma.....	31
4.2.3. Eroziv Aşınma.....	35
4.2.4. Korozif Aşınma	36
4.2.5. Yorulma Aşınması.....	37
4.2.6. Termik Aşınma	38
4.2.7. Kaviteasyon Aşınması.....	38
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	39
5.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler Ve Kimyasal Bileşenleri	39
5.2. Deney Numunelerinin Hazırlanışı	39
5.3. Sertlik Ölçümü.....	40
5.4. Basma Deneyi.....	40
5.5. Aşınma Deneyi	41
5.5.1. Aşınma Deney Şartları.....	43
5.5.2. Aşınma Deneyi Yapılış Şekli.....	43

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.5.3. Sıcaklık Ölçümü.....	44
6. SONUÇLAR.....	45
6.1. Sertlik.....	45
6.2. Basma Dayanımı.....	46
6.3. Aşınma.....	48
6.3.1. Sıcaklık.....	62
7. DEĞERLENDİRME.....	63
7.1. Fiber Takviyesinin Basma Dayanımı ve Yüzey Sertliğine Etkisi.....	63
7.2. Fiber Takviyelilerin Aşınma Mekanizması.....	63
7.3. Grafit Takviyesinin Etkisi.....	64
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	65
KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	72
EKLER.....

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Sürekli fiber ve kısa fiber kompozitler	7
2.2 Plastik ekstrüzyon makinesi	15
2.3 Plastik enjeksiyon kalıplama makinesi	16
3.1 Grafitin kimyasal yapısı.....	26
4.1 Aşınma sisteminin temel bileşenleri.....	27
4.2 Aşınma safhaları.	29
4.3 Adhesif aşınma mekanizması.	30
4.4 Görünen ve gerçek temas alanları.....	31
4.5 Abrasif aşınma mekanizması.....	32
4.6 İki elemanlı abrasif aşınma izi görüntüsü.....	33
4.7 Abrasif aşınma mekanizmaları	33
4.8 Üç elemanlı abrasyon	34
4.9 Erozyon aşınma mekanizmaları.....	35
4.10 Korozyon aşınmasının gelişimi	36

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.11 Yüzey yorulmasında çatlakın oluşumu ve ilerlemesi	37
4.12 Termik aşınmanın oluşumu.....	38
4.13 Kavitasyon aşınması	38
5.1 Ø24x19mm kesitli PA6 (nylon 6); PA6/Cf3, PA6/Cf6, PA6/Cf9, PA6/Cf15 sırasıyla %3, %6, %9, %15 cam fiber ve PA6/Gr1 %1 grafit takviyeli nylon 6 matrisli numuneler.	39
5.2 PA 6 Shore D sertlik ölçümü	40
5.3 SHIMADZU AG-IS marka basma deney cihazı.....	41
5.4 Aşınma testinin yapıldığı aşınma cihazının fotoğrafı.	42
5.5 Aşınma deney cihazı şematik resmi.....	42
5.6 Precisa XB 220A hassas terazi.....	43
5.7 EXTECH 42512 hassas ölçümler için çift lazerli infrared termometre	44
6.1 Artan fiber oranına bağlı olarak aşınma deneyi öncesi ve sonrası malzemenin sertliği.....	45
6.2 Farklı takviye oranlarındaki basma gerilmesi ve uzama.....	47
6.3 Basma deneyi sonrası numuneler.....	47
6.4 Farklı takviye oranlarındaki aşınma kayıpları.	48

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.5 Farklı takviye oranlarındaki spesifik aşınma oranları.....	49
6.6 PA 6 80N yük altında zamana bağlı olarak kütle kaybı, spesifik aşınma oranı ve aşınma safhası değişimi.	51
6.7 PA6/Cf3 80N yük altında zamana bağlı olarak kütle kaybı, spesifik aşınma oranı ve aşınma safhası değişimi.	53
6.8 PA6/Cf6 80N yük altında zamana bağlı olarak kütle kaybı, spesifik aşınma oranı ve aşınma safhası değişimi.	55
6.9 PA6/Cf9 80N yük altında zamana bağlı olarak kütle kaybı, spesifik aşınma oranı ve aşınma safhası değişimi.	57
6.10 PA6/Cf9 80N yük altında x750 büyütmede fiber kırılması.....	58
6.11 PA6/Cf15 80N yük altında zamana bağlı olarak kütle kaybı, spesifik aşınma oranı ve aşınma safhası değişimi.	59
6.12 PA6/Gr1 80N yük altında zamana bağlı olarak kütle kaybı, spesifik aşınma oranı ve aşınma safhası değişimi.	61
6.13 Aşınma süresince infaredle ölçülen yüzey sıcaklıkları.....	62

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 PA 6'nın genel özellikleri.....	22
5.1 Malzeme ve test şartları.	43
6.1 Basma deneyi sonuçları.	46
6.2 Aşınma deneyi sonuçları.....	48

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
N6	Naylon 6
PA 6	Poliamid 6
Cf	Cam Fiber
Gr	Grafit
PP	Polipropilen
PA6/Cf3	% 3 Cam Fiber Takviyeli Poliamid 6
PA6/Cf6	% 6 Cam Fiber Takviyeli Poliamid 6
PA6/Cf9	% 9 Cam Fiber Takviyeli Poliamid 6
PA6/Cf15	% 15 Cam Fiber Takviyeli Poliamid 6
PA6/Gr1	% 1 Grafit Takviyeli Poliamid 6
KA	Kararlı Aşınma Bölgesi
ŞA	Şiddetli Aşınma Bölgesi
 <u>Kısaltmalar</u>	
SEM	Taramalı Elektron Mikroskopisi

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte artan ihtiyaçları karşılamak için kullanılan malzemeler de çeşitlilik kazanmıştır. Son yıllarda polimer malzemeler büyük gelişme göstererek metallere eşit oranda hatta bazı yerlerde metallere göre daha sık kullanılmaya başlanmıştır. Polimerler kolay işlenebilir, hafif, yüksek korozyon direncine ve yeterli mekanik özelliklere sahip olmaları nedeniyle birçok alanda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Günümüz teknolojisinde makine parçalarındaki hasarlar; aşınma, kırılma ve yorulma şeklinde oluşmaktadır. Aşınma ile oluşan hasarlar ilk sırada yer almaktadır. Sürtünme nasıl bir enerji kaybı nedeni ise, aşınma da tekrar geri kazanılmayan bir madde kaybı sebebidir. Bundan dolayıdır ki sürtünme ile çalışan makine parçası çiftinin hangi hızda, hangi yükte ve ne kadar süre ile çalışacağı ve ne kadar bir aşınmanın olacağını önceden tespit etmek çok önemli olup; bu aşınma miktarından yola çıkarak uygun malzeme tayini önceden tespit edilmelidir (Kaştan, 2005).

Kompozit malzeme, istenilen özellikte bir malzeme oluşturmak için iki veya daha fazla malzemenin fiziksel olarak birleşmesine denir. Kompozit malzemeler;

- I. Matris malzemeler
- II. Takviye elemanlar
- III. Katkı malzemelerinden oluşur.

Polimer matrisli kompozit malzemelerde, matris malzemeyi polimerler oluşturur. Polimer matrisli kompozit malzemedeki polimer malzeme reçinelerdir. Polimer matrisli kompozit malzemelerin takviye elemanları liflerdir. Katkılar; Dolgular, kimyasallar ve diğer katkıları matrise niteliklerine göre özelliklerin geliştirilmesi amacıyla ilave edilirler.

Malzemedeki yerine göre sağlamlık, esneklik, hafiflik, çevre şartlarına (nem, güneş ışınları, gibi) dayanıklılık, darbe dayanımı, sertlik gibi günlük yaşamda kullanılan terimlerle ifade edilen özellikler yanında daha bilimsel dille ısıl genleşme katsayıları, yorulma, çatlama ve kırılma, çekme, eğme dayanımları ve benzeri

değerlerin uygunluğu aranır. Bütün bu istenen özellikleri tek bir malzemede bulmak son derece ender rastlanan bir durumdur. 1950'li yıllardan itibaren polimer kompozitler aranan boşluğu doldurmuştur. Bugün yaygın olarak uçak, roket, füze gövdeleri, yüksek kalitede spor malzemeleri gibi maliyetin yüksek olmasının pek önemli olmadığı alanlarda kullanıldığı gibi lastik, otomotiv sanayi, beyaz eşya, basınca dayanımlı boru gibi daha düşük maliyet gerektiren sektörlerde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Önümüzdeki yıllarda uzay ve havacılık başta olmak üzere robotik ve gelişen diğer teknolojilerde kompozit malzemelere daha çok ağırlık verilecektir. Bu amaçla hem daha güçlü ve sağlam elyaflar, hem de daha yüksek ısı dayanımlı, çatlak oluşturmeyen, darbe dayanımı yüksek ve sert polimer matrisler üzerinde çalışmalar dünyada ve ülkemizde devam etmektedir (Yıldızhan, 2008).

1.1 Literatür Araştırması

Otomotiv sektöründe mühendislik plastiklerinden Poliamid üzerine gelişmeler sürmektedir. Poliamid malzeme üzerine literatürde yer alan çalışmalardan bazıları şunlardır:

Matris malzemesi olarak kullanılan poliamidler, en çok kullanılan termoplastik türüdür. Poliamidler, çok kompleks mühendislik plastikleri olup kolay şekil verilebilmesi, hafifliği, üretim maliyetinin düşüklüğü, kimyasallara karşı direnci, yaygın oluşu, işçiliğinin kolay ve geri dönüşümlü olması gibi çok sayıda üstünlüğe sahiptir. Ancak daha da yaygınlaşmasının önünde, mukavemet özellikleri, aşınma ve yorulma direnci ile birlikte ısıl direncinin düşük olması ve yüksek nem absorblaması aşılması gereken nitelikleridir (Güllü vd., 2001, Andreeva et al., 2000).

Molnar ve arkadaşları (1999), yapıda fiber takviye içeriği arttıkça fiber uzunluğunun azaldığını göstererek, kısa karbon fiber takviye edilmiş poliamid 6 (PA6) kompozitlerin yapısı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Fiberler kenar boyunca toplanmıştır. Kalıp dolum yönüyle ilişkili olarak yönlendirilmiştir. Diğer taraftan bazı fiberler bu yöne paralel olarak numunenin orta kısmında toplanmıştır.

Shipway ve arkadaşları (2003), polimerik malzemelerin aşınma davranışlarının karmaşıklığı nedeniyle, bugüne kadar yapılan çalışmaların önemli bir bölümünün sadece sonraki çalışmalar için öneri niteliğinde olduğunu belirtmişlerdir.

Varelidis et al., (2000), epoxy/kevlar kompozitlerinin nem çekme davranışını ve poliamid kaplamaların mekanik özellikleri üzerine tesirini incelemişlerdir. Su çekme testlerinin sonucunda kayma gerilmesini etkilediği sonucuna varmışlardır.

Cam elyaf takviyeli polimer kompozit malzeme üzerine literatürde yer alan çalışmalardan bazıları şunlardır:

Thomason ve arkadaşlarının (2005) yaptıkları çalışmada, ağırlıkça %0-73 aralığında cam elyaf içeren, enjeksiyonla kalıplanan uzun cam elyaf takviyeli propilenin mekanik performansı araştırılmıştır. Kompozit modülü, çalışmanın en yüksek aralığının üzerindeki elyaf içeriğiyle lineer bağımlılık göstermiştir. Kompozit dayanımı ve darbe direnci %40-50 takviye aralığında maksimum performans göstermiştir. Numunelerdeki artan elyaf boyu ve elyaf yönelimi karakterize edilmiştir. Bu parametreler elyaf konsantrasyonuna bağlı olarak bulunmuştur. Ölçülen elyaf boyu ve yönelimi sonuçları kullanılarak yapılan kompozit dayanımı modellemesi dayanımda tahmin edilen maksimuma imkan tanımaktadır. Fakat, tahmin edilen maksimumun pozisyonu ve mutlak derecesi, deneysel sonuçlarla iyi ilişkilendirilememiştir. Ayrıca, kompozit kopmasındaki ara yüzey kesme dayanımını ve elyaf gerilmesinin elyaf oranına bağımlılığı üzerine yapılan araştırmalara dayanan analizler bu sonuçların açığa çıkarılmasının gerekmekte olduğunu göstermiştir (Thomason, 2005).

Kishore ve arkadaşları (2001), cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin kuru kayma aşınması durumunda aşınma yüzeylerini SEM mikroskobu ile incelemişlerdir. Artan kayma mesafesiyle aşınma yüzeylerinde, elyaf ile matris ara yüzeylerinde ayrılmanın meydana geldiğini belirlemişlerdir.

Güllü ve arkadaşları (2006), fiber takviye ve enjeksiyon parametrelerinin çekme dayanımı ve çarpma dayanımı üzerindeki etkiyi araştırmışlardır ve cam fiber ile takviyeli PP ve PA6 plastikler fiber takviyesiyle mekanik dayanımlarında gelişme sergilemişlerdir. Bununla birlikte, mekanik dayanımda gelişme homojen olmayan

fiber dağılımı ve fiber yapısı nedeniyle fiber ağırlık kesitiyle lineer bir ilişki göstermemiştir. Buna ilaveten, çekme dayanımı enjeksiyon besleme hattı sıcaklığı artışıyla artış göstermiş ve enjeksiyon hızı ve sıkma aygıtı vida hızının artışıyla azalma göstermiştir .

Surampadi ve arkadaşları (2006), fiber takviyeli kompozit malzemelerde mukavemeti belirleyen önemli özelliklerden birinin ara yüzey dayanımı olduğunu savunmuşlardır. Deformasyonun, takviye malzemesi ve yüke bağlı olarak değiştiğini göstermişlerdir. Düşük yüklerdeki deformasyonu, liflenme, boşluk oluşumu ve yırtılma mekanizmaları şeklinde karakterize etmişlerdir. Fiber takviyeli polimer matrisli kompozit malzemelerde, düşük yüklerde plastik akış olduğunu ve bu plastik akış (plastik deformasyon) neticesinde liflenme, boşluk ve yırtılmalar olduğunu gözlemlemişlerdir. Liflenme sırasında malzemede boşluk ve yırtılmalar oluşmuştur. Boşluklar çekme ve deformasyon doğrultusundadır. Yırtılmalar ise polimerle fiber ara yüzeyinde oluşmuştur. Yükün fazla olması durumunda fiberlerde ayrışmalar oluşmuştur. Malzemede üç türlü akıştan söz edilmektedir: Polimerde liflenme, ara yüzeyde boşluk oluşumu ve yırtılma, fiber-ara yüzey arasında ise ayrışmalar oluşmuştur. Fiberdeki yapı çok güçlüyse fiber civarında ayrılma meydana gelmektedir (Surampadi et al., 2006).

Suresha ve arkadaşları (2007), fiber takviyeli polimer matrisli kompozit (FRPMC) malzemelerde, yüksek yük altındaki kuru aşınma koşullarında, adhesiv aşınma, malzeme transferi ve yorulmayı incelemişlerdir. FRPMC aşınmasının, kayma hızına, normal yüke ve kayma yoluna bağlı olduğunu saptamışlardır. Yüzeyin yumaşması ile aşınma oranı azalmıştır. Karşı yüzeyi, yumuşak yüzey tabakaları kaplayarak film oluşturmaktadır. FRPMC aşınması daha çok matris aşınması şeklinde olmaktadır. Fiber kırılması ve ara yüzey ayrışması şeklinde devam etmektedir (Suresha et al., 2007).

Cam fiber takviyeli poliamid 6 matrisli kompozit malzeme üzerine literatürde yer alan çalışmalardan bazıları şunlardır:

Thomason ve arkadaşlarına göre (2009), cam fiber destekli poliamidler, yüksek mekanik performans ve ısı direnç seviyeleri anlamında mükemmel kompozit malzemelerdir. Bununla birlikte, poliyamid matrisli kompozitlerin mekanik

özellikleri su ve diğer polar akışkanların emilimi üzerine kayda değer bir şekilde azalma göstermektedir. Bu kompozitlerin hidrotermal bir ortamdaki mekanik performansı fiber ve matris özelliklerinin birleşimine ve fiber-matris ara yüzey boyunca gerilimleri transfer edebilme kabiliyetine bağlıdır. Fiber içeriği, çapı, yönelimi ve ara yüzey dayanımı enjeksiyonla üretilen termoplastik kompozitlerin sergilediği özelliklerin nihai dengesinde birincil derecede önemlidir. Kısa fiber takviyeli termoplastikler otomobil endüstrisinde yıllardır kullanılmıştır ve kaput altı uygulamalarda poliamid matrisli kompozitlerin kullanımında son zamanlarda esaslı bir artış meydana gelmiştir.

Güllü ve arkadaşları tarafından (2001), cam elyaf (E) takviyeli plastik matris kompozit (PMK) malzeme enjeksiyon tekniğiyle üretilmiştir. Cam elyaf, polipropilen (PP) ve naylon 6 (PA6) matris içerisine, ağırlıkça % 15 ve % 30 oranlarında katılmıştır. Takviye elemanı ile enjeksiyon hızı, sıcaklık, arka basınç ve yolluk girişleri gibi enjeksiyon parametrelerinin üretilen PMK malzemelerin mekanik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Üretilen numuneler çekme ve darbe deneylerine tabi tutulmuştur. Çekme dayanımının; enjeksiyon hızının artmasıyla azaldığı, besleme bölgesi sıcaklığı ve arka basıncın artmasıyla değişmediği, yolluk geçidinin büyümesiyle bir miktar arttığı görülmüştür. Cam elyafın, çekme dayanımını önemli ölçüde (% 100-200) artırdığı görülmüştür.

Bu tezde Naylon 6 (Poliamid 6) matrisli farklı takviye oranlarında üretilmiş polimer kompozit malzemelerin basma, sertlik ve aşınma davranışları incelenmiştir. %1 grafit ve sırasıyla %3, %6, %9, %15 cam fiber ile takviyeli Poliamid 6 (PA 6) kompozit malzemedan, enjeksiyon yöntemi ile üretilmiş deney numuneleri belirli sürelerde aşınma deneyine tabi tutulmuştur. Deney sırasında numunelerin sıcaklık değişimleri kaydedilerek ve her bir deney sonucunda parçanın ağırlığı hassas terazi yardımı ile ölçülmüş, sonrasında numunenin aşınma mekanizmaları araştırılmıştır.

Çalışma sonucunda; parça bünyesindeki takviye oranındaki değişimin, uygulanan deney sürelerine göre aşınmaya etkisi grafiksel olarak incelenmiş ve takviye oranının aşınma ve sıcaklık değişimine etkide bulunduğu sonucuna varılmıştır.

Bu girişi takiben, ikinci bölümde, kompozit malzemeler, kullanım alanları ve üretim yöntemleri açıklanmış, elyaflar (fiberler) ve matrisler hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde deneylerde kullanılan malzeme özellikleri ve deney yöntemleri açıklanmıştır. Dördüncü bölümde aşınma türleri ve mekanizmaları yer almaktadır. Beşinci bölümde yapılan deneysel çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Kalan bölümlerde ise deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar grafiklerle anlatılmış, değerlendirilmiş ve öneride bulunulmuştur.

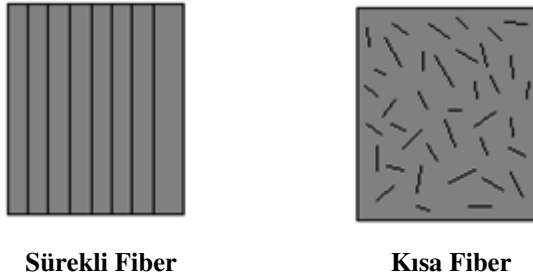
2. POLİMER KOMPOZİTLER

2.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzeme, iki veya daha fazla malzemenin makro düzeyde birleşmesine denir. Kompozit malzeme, kendisini oluşturan malzemelerin her birinden farklı özelliklere sahip bir bileşik malzemedir.

Takviyeli fiberler kompozit malzemeyi güçlü, dayanıklı kılar. Buna karşılık matrisler kompozit malzemeye katılık verir ve malzemeyi çevresel etkilere karşı dirençli kılar.

Takviyeli fiberlerin farklı biçimleri vardır (şekil 2.1). Bunlar uzun sürekli fiberler ve kısa fiberlerdir. Kısa fiberler uzun fiberlerin kesilmiş halidir. Kısa fiberlere kırılmış fiberler de denir. Fiberler uygulama ve üretim metoduna göre uzun sürekli fiberler veya kısa fiberler tercih edilir. Enjeksiyonlu kalıplama ve hazır kalıplamalı üretim metodlarında kısa fiberler tercih edilir (Mazumdar, 2002).



Sürekli Fiber

Kısa Fiber

Şekil 2.1 Sürekli fiber ve kısa fiber kompozitler

Kompozit malzemeler genellikle matris malzemesine göre plastik, metal ve seramik matrisli kompozitler olmak üzere üçe ayrılırlar. Kompozit malzeme ince tek bir tabaka oluşturan matris malzemesi içine elyaflar, whiskerler veya parçacıklardan veya değişik tabaka katmanlarından oluşan tabakalı kompozitler de oluşabilir (Dekker et al., 2003).

2.2. Fiberler ve Matrisler

Bir kompozit malzeme, fiberlerle (elyaf) takviye edilmiş plastik matrislerden oluşur. Bir kompozit malzemenin davranışını anlamak için kompozit malzemedeki fiberlerin ve matris malzemelerin görevlerinin bilinmesi gerekir. Fiberlerin ve matris malzemelerin önemli görevleri aşağıda verilmiştir.

Bir kompozit malzemedeki fiberlerin görevleri:

- Bir kompozit malzemeye uygulana kuvvetin yükünün çoğunu fiberler taşır.
- Fiberler, yüksek elastik modülü, sertlik ve yüksek sıcaklıktaki dayanımları ve diğer yapısal özellikleriyle kompozit malzemeyi kararlı kılar.
- Kompozit malzemenin elektrik iletkenliği ya da yalıtım özellikleri kullanılan fiber malzemelerin özelliğine bağlıdır.

Bir matris malzemenin, bir kompozit malzemenin yapısında birçok önemli görevi vardır. Matris malzemelerin önemli görevleri aşağıda verilmiştir.

Bir kompozit malzemedeki matrislerin görevleri:

- Matris malzeme fiberleri bir arada tutar, böylece fiberlerin bireysel hareket etmesine engel olur.
- Matris malzeme kompozit malzemeye yüklenen yükü fiberlere transfer eder.
- Matris malzeme kompozit malzemeye şekil verdiği gibi malzemenin katı durmasını sağlar.
- Matris malzeme, çevresel faktörlerin vermiş olduğu kimyasal ve fiziksel zararlara karşı kompozit malzemeyi korur.

2.2.1. Fiberler

Fiberlere değişik kaynaklarda lifler veya elyaflar da denilmektedir. Bu malzemeler matris malzemenin içinde yer alıp kompozit malzemelerin en önemli mukavemet elemanlarıdır. Kompozit malzemelerde kullanılan başlıca elyaflar aşağıda açıklanmıştır.

2.2.1.1. Cam elyaflar (cam fiberler)

Cam elyafın esasını silis-kum (SiO_2) meydana getirmekle beraber belirli oranlarda sodyum, kalsiyum, alüminyum, bor ve demir gibi elementlerin oksitlerinden oluşur. Polimer esaslı kompozitlerde yaygın olarak kullanılan ve en ucuz olan takviye elemanıdır (Şahin, 2000).

Cam elyafların bazı özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir (A.S.M., 1984).

- Yüksek çekme mukavemetine sahiptirler, birim ağırlık başına mukavemeti çeliğinkinden yüksektir.
- Isıl dirençleri düşüktür. Yanmazlar, ancak yüksek sıcaklıkta yumuşarlar. Bu özellikleri katkı malzemeleri kullanılarak iyileştirilebilir.
- Kimyasal malzemelere karşı dirençlidirler.
- Nem absorbe etme özellikleri yoktur, ancak cam elyafı kompozitlerde matris ile cam elyaf arasında nemin etkisi ile bir çözülme olabilir. Özel elyaf kaplama işlemleri ile bu etki ortadan kaldırılabilir.
- Elektriği iletmezler. Bu özellik sayesinde elektriksel yalıtımın önem kazandığı durumlarda cam elyafı kompozitlerin kullanılmasına imkan tanırırlar.

2.2.1.2. Bor elyaflar

Bor elyaflar aslında kendi içlerinde kompozit yapıdadırlar. Çekirdek olarak adlandırılan ince bir flamanın üzerine bor kaplanarak imal edilirler. Çekirdek genellikle Tungsten' dir. Karbon çekirdek de kullanılabilir ancak bu yeni bir uygulamadır (Schwartz, 1984).

Bor elyafların Silisyum Karbür (SiC) veya Bor Karbür (B₄C) kaplanmasıyla yüksek sıcaklıklara dayanımı artar. Özellikle bor karbür kaplanmasıyla çekme mukavemeti önemli ölçüde artırılabilir. Bor elyafların erime sıcaklıkları 2040 C° civarındadır (Chawla, 1987).

2.2.1.3 Silisyum karbür elyaflar

Bor gibi, Silisyum karbürün tungsten çekirdek üzerine kaplanması ile elde edilirler. 0,1 mm ile 0,14 mm çaplarında üretilirler. Yüksek sıcaklıklardaki özellikleri bor elyaflardan daha iyidir. Silisyum karbür elyaf 1370C°'ta mukavemetinin sadece %30'nu kaybeder. Bor elyaf için bu sıcaklık 640C°'tır (A.S.M., 1984).

Bu elyaflar genellikle Titanyum matrisle kullanılırlar. Jet motor parçalarında Titanyum, Alüminyum ve Vanadyum alaşımlı matris ile kullanılırlar. Ancak Silisyum karbür elyaflar Bor elyaflara göre daha yüksek yoğunluğa sahiptirler. Silisyum karbürün karbon çekirdek üzerine kaplanması ile üretilen elyafların yoğunluğu düşüktür (A.S.M., 1984)

2.2.1.4 Alümina elyaflar

Alümina, Alüminyum oksittir (Al₂O₃). Elyaf formundaki alümina 0,02 mm çapındaki alümina flamanın Silisyum dioksit (SiO₂) kaplanması ile elde edilir. Bu malzemeler yüksek sıcaklık dayanımları nedeniyle uçak motorlarında kullanılmaktadır (Kayrak, 1999).

Alümina elyafların çekme mukavemetleri yeterince yüksek değildir ancak basma mukavemetleri yüksektir. Örneğin, alümina/epoksi kompozitlerin basma mukavemetleri 2275 ile 2413 MPa'dır (Chawla, 1987).

2.2.1.5 Aramid elyaflar

Aramid, □aromatik poliamid□ in kısaltılmış adıdır. Poliamidler uzun zincirli polimerlerdir, aramidin moleküler yapısında altı karbon atomu birbirine hidrojen atomu ile bağlanmışlardır (Schawartz, 1984).

Uçak yapılarında, düşük basma mukavemetleri nedeniyle, karbon elyaflarla birlikte hibrid kompozit olarak, kumanda yüzeylerinde kullanılmaktadırlar. Aramid elyaflar elektriksel iletkenliğe sahip değildirler. Basma mukavemetlerin iyi olmamasının yanı sıra kevlar /epoksi kompozitlerinin nem absorbe etme özellikleri kötüdür (Chawla, 1987).

2.2.1.6 Karbon elyaflar (karbon fiberler)

Karbon elyafların en önemli özellikleri düşük yoğunluğun yanı sıra yüksek mukavemet ve tokluk değerleridir. Karbon elyaflar, nemden etkilenmezler ve sürünme mukavemetleri çok yüksektir. Aşınma ve yorulma mukavemetleri oldukça iyidir. Bu nedenle askeri ve sivil uçak yapılarında yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Karbon elyaflar çeşitli plastik matrislerle ve en yaygın olarak epoksi reçinelerle kullanılırlar. Ayrıca karbon elyaflar alüminyum, magnezyum gibi metal matrislerle de kullanılırlar (Rouchan, 1987)

2.2.2. Matrisler

Fiberler matris malzemesinin içinde yer alır, matris fiberleri kaplar. Böyle olunca dışarıdan gelebilecek nem, ısı, kimyevi vb. her türlü çevresel etkilere ilk maruz kalan matrislerdir. Bunun için kompozit malzemenin özelliklerini matris malzeme belirler.

Polimer matrisli kompozit malzemeler de matris malzemesi polimerlerdir. Kompozitlerde kullanılan plastik matrisler, Termoset ve Termoplastik olmak üzere ikiye ayrılır. Aşağıda bu malzemelerin özellikleri incelenecektir.

2.2.2.1 Termoset matrisler

Polimer matrisli kompozitlerde, matris malzemesi için en çok kullanılan malzeme termoset esaslı malzemelerdir. Bu malzemelerin üretiminde bir defaya mahsus ısıtılıp biçim verilir, bundan sonra malzemeye tekrar ısı verilip şekil elde edilemezler. Onun için bu malzemelerin geri dönüşümü olmadığından tekrar kullanılamazlar. Bunun nedeni termoset matrisli malzemelerin molekülleri

birbirlerine çapraz bağlıdırlar. Böyle olunca bu moleküller ısıtıldığında atomlar birbirlerinin üzerine kaymazlar. Ayrıca bu malzemeler çözünmezler. Termoset plastikler mukavemeti ve sıcaklığa karşı dayanımları yönünden termoplastiklerden daha üstündür (Yıldızhan, 2008).

Termoset grubunu oluşturan ve en çok kullanılan plastikler şunlardır:

Epoksiler, polyesterler, vinylester ve fenolik reçine matrislerdi.

2.2.2.2 Termoplastik matrisler

Termoplastik matrisler termoset plastik matrislerin aksine geri dönüşüm olan malzemelerdir. Bu malzemelere üretimin sonunda da ısıtma soğutma yapıp tekrar hazır hale getirilebilir. Isıtma, soğutma işlemlerin de termoplastik matrislerin sadece fiziksel özellikleri değişir, kimyasal özelliklerinde bir değişiklik olmaz. Termoplastik matrislerin bu özellikleri esasen moleküllerinden kaynaklanmaktadır. Bu malzemelerin molekülleri düz zincirli polimerlerdir. Bundan dolayı termoplastik matris malzeme ısıtıldığında yapısındaki atomlar birbirlerinin üzerine kayarlar (Yıldızhan, 2008).

Termoplastik grubunu oluşturan ve en çok kullanılan plastikler şunlardır:

Akrilik, Asetal, Akronitril-Butadiene-Streyn (ABS), Politetra Fluorethylene (PTFE), Poliamid (PA), Polietilen (PE), Polipropilene (PP), Polivinil klorür (PVC)

2.3. Polimerler

Birçok monomerin bir araya gelmesinden oluşan ve birbirini tekrarlayan uzun moleküllerden oluşmuş kimyasal yapıdır.

Polimerler, monomer adı verilen küçük moleküllerin kovalent bağlarla birbirine bağlanarak oluşturdukları çok küçük moleküllerdir.

Polimerler de genellikle tek başına kullanılmazlar. İçlerine genellikle çeşitli dolgu ve katkı maddeleri karıştırılarak bir ön karışım hazırlanır. Bu karışımlara Kompaund (Compound) diyoruz. Bu karışımlardan uygun yöntemlerle son şekil ile ürün malzeme elde edilir. Bu ürün plastik olarak tanımlanır (Çağlarer, 2004).

2.3.1. Polimerlerin kaynağına göre sınıflandırılması

I. Sentetik ve Organik Polimerler

II. Biyopolimerler (Doğal Polimerler); Proteinler, Polisakkaritler, Doğal Kauçuk

III. Yarı Sentetik Polimerler

IV. Anorganik Polimerler

2.3.2. Polimerlerin zincir yapısına göre sınıflandırılması

I. Doğrusal Polimerler

II. Dallanmış Polimerler

III. Çapraz Bağlı Polimerler (3-D)

IV. Merdiven (Ladder) Polimerler

2.3.3. Polimerlerin monomer kompozisyonuna göre sınıflandırılması

I. Homopolimerler (PP-HP)

II. Gelişigüzel (Random) Kopolimerler (POM)

III. Seçenekli (Alternating) Kopolimerler

IV. Blok Kopolimerler (TPE,PP-CP)

V. Aşı (Graft) Kopolimerler (MA-g-PP)

VI. Terpolimerler (ABS)

2.3.4. Polimerlerin ısısal davranışına göre sınıflandırılması

Termoplastikler (Amorf&Yarı-Kristal,LCP)

- Isıtılınca yumuşar ve akışkanlık kazanır
- Tekrar şekillendirilebilir
- Geri kazanılabilir

Termosetler

- Çapraz bağlı zincirler (3 boyutlu ağ yapı)
- Eritilemez
- Geri kazanılamaz

Elastomerler

- Düşük çapraz bağ yoğunluğu
- Esnek Yapı

2.4. Fiber (Elyaf) Takviyeli Polimer Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri

Polimerde polimerizasyonun sağlanması amacı ile sıcak şekillendirme yöntemleri tercih edilmektedir (Smith, 2001).

2.4.1. Ekstrüzyon yöntemi

Endüstride kullanılan çeşitli ekstrüzyon teknikleri ile termoplastik çubukların üretimi sağlanmaktadır. Yine çubuklarla birlikte termoplastik tüpler, şeritler, ince levha ve filmler, profil gibi yapısal parçalar da çeşitli ekstrüzyon süreçleri ile üretilmektedir. Şekil 2.2 'de ekstrüzyon makinesi görülmektedir. Ekstrüzyon makinesini sıkılan bir diş macununa benzetmek mümkündür.

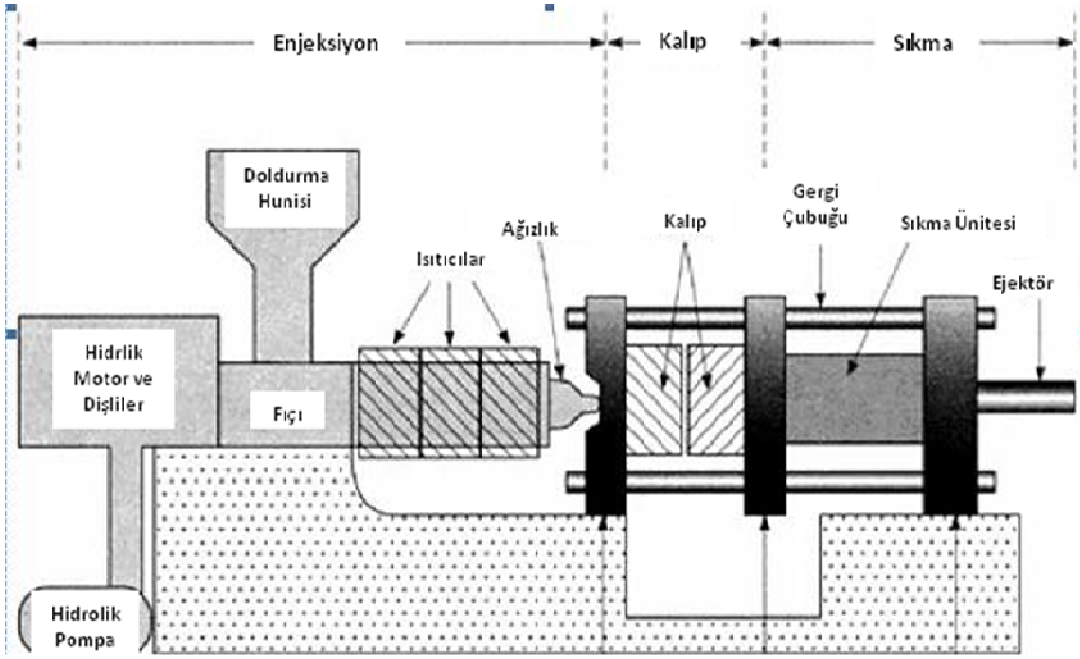


Şekil 2.2 Plastik ekstrüzyon makinesi (Sayer ve Özkan, 2007)

2.4.2. Enjeksiyon yöntemi

Enjeksiyonla üretim yöntemi termoplastik malzemeler için en önemli kalıplama metodudur. Enjeksiyonla kalıplama yöntemi, metaller için uygulanan sıcak haddeleme yöntemine benzetilebilir. Bu tür kalıplamada sıcak haddelemede olduğu gibi sıcak işlem süreçleri aynen geçerlidir.

Şekil 2.3’de plastik enjeksiyon kalıplama makinesi gösterilmiştir. Bu yöntemde polimer hammadde akışkan hale gelene kadar yüksek sıcaklıklara ısıtılır ve daha sonra dalgıç adı verilen piston çubuğu ile yüksek basınç altında soğuk ve kapalı bir kalıp boşluğuna itilir. Isıtılmış olan bölgeden ağız bölgesine yüksek basınçla itilen parça burada nihai şeklini almaktadır. Burada dikkat edilecek husus kalıp girişi bölgesinde malzemenin ince tabakalı olmasıdır.



Şekil 2.3 Plastik enjeksiyon kalıplama makinesi (Sayer ve Özkan, 2007)

Enjeksiyonla kalıplamadaki üstün üretim hızı bu tekniğin endüstriyel kullanımı için en büyük avantajıdır. Termoplastik malzemelerin baskı kalıplama prosesine kıyasla yaklaşık on kat daha fazla üretim hızı, enjeksiyonla kalıplama prosesini işçilik olarak oldukça ucuzlatan bir etkidir. Bu sebeple, enjeksiyon kalıplama karakteristik olarak bir kütle-üretim tekniğidir (Sayer ve Özkan, 2007).

Enjeksiyon yönteminin esası, tanecikli yapıdaki ham malzemenin ısıtılmakta olan silindirden eritilerek geçirilip ucundaki memeden kapalı kalıp boşluğuna doğru itilmesi şeklindedir. Bu yöntemde kalıba basılan plastik malzeme kalıp boşluğunun biçimini alarak katılaşmaktadır.

2.4.2.1. Enjeksiyon yönteminin avantajları

1. Seri şekilde üretim yapılabilmesi,
2. Büyük hacimli ürün elde edilebilmesi,
3. Maliyetin düşük olması,
4. Otomasyona uygun olması,
5. Hemen hemen son işlem gerektirmemesi,
6. Çok farklı yüzey, renk ve şekillerde ürün elde edilebilmesi,
7. Malzeme kaybının çok az olması,
8. Aynı makinede ve aynı kalıpta farklı malzemelerin basılabilmesi,
9. Küçük toleranslarda çalışabilmesi,
10. Kalıba metaller yerleştirerek (insert) basılabilmesi,
11. Plastik malzemeye asbest, talk, karbon gibi dolgu maddelerinin eklenerek ürünün daha ucuza üretilebilmesi,
12. Katkı maddeleri ilavesiyle ürünün mekanik özelliklerinin iyileştirilebilmesidir (Deniz, 2006).

2.4.2.2. Enjeksiyon yönteminin dezavantajları

1. Sektördeki yoğun rekabetten dolayı kar marjının düşük olması,
2. Kalıp fiyatlarının pahalı olması,

3. Enjeksiyon makinelerinin ve yedek parçalarının pahalı olması,
4. Kalitede sürekliliğin tam olarak tanımlanamaması ve sağlanamaması (Deniz, 2006).

2.4.3. Diğer yöntemler

- **El yatırma (hand lay-up)** : Önceden, hazırlanmış kalıba döşenen cam elyafın fırça ve rulo yardımı ya da polyesterle ısıtılması suretiyle uygulanan en basit yöntemdir. Yaygın olarak kullanılan bu yöntemle, prefabrik büfeler, deniz araçları, su ve kimyasal madde depoları, banyo küvetleri vs. sayılabilir.
- **Çekme (pultruzyon) metodu**: Kompozit malzeme ile profil üretim sistemi geliştirilmiştir. Reçine banyosunda ısıtılan cam elyaf liflerinin sıcak bir kalıp içinden geçirilirken sertleştirilmekte ve kalıp çıkışında nihai biçimini almaktadır. Bu metodla çekilen profiller sanayinin birçok alanda kullanılırken son zamanlarda kapı pencere doğrama sistemlerinde kullanılmaktadır.
- **Püskürtme (spray-up) metodu**: Cam fiber açık kalıplama metodlarının en önemlilerinden birisidir. Çünkü el yatırması metodunu makineli bir kalıplama metoduna dönüştüren ilk aşamayı oluşturmaktadır. Sistem basit olarak, polyester pompası ile kombine çalışan katalizör pompası her iki sıvıyı püskürtme tabancasına yaklaşık 100 atm basınçla pompalar, tabanca tetiğine basılınca basınçlı malzeme kalıp üzerine püskürtülür, aynı zamanda cam elyaf liflerini kırpma ünitesinden geçerek kalıp üzerine püskürtülür.
- **Reçine enjeksiyonu (RTM)**: RTM (Resin Transfer Moulding) Metodu, kapalı kalıplar içine reçine aktarılmasına içeren reçine enjeksiyonu ve vakum destekli reçine enjeksiyonu olmak üzere iki şekilde yapılır. Bu metodla her iki tarafı parlak olan ürünler elde edilir.
- **Elyaf sarma (filament winding) metodu**: Yaklaşık 40 yıl önce kullanılmaya başlayan bu metod genellikle silindirik formdaki kompozit ürünlerin kalıplanmasında kullanılmaktadır.
- **Hava şişirme (blow moulding)**
- **Plaka model kalıplama [Sheet Moulding Compound(SMC)]**
- **Azdel yatırarak kalıplama**

- **Isıl şekil verme (Thermoforming):** Önceden Üretilmiş plaka halindeki kompozit malzemenin kalıplandırılarak yarı mamulden mamul elde etme işlemidir. Önce gerdirme daha sonra vakum kalıpta şekillendirme işlemi yapılır.
- **Yarı-Isıl şekil verme (post thermoforming)**
- **Otomatik döküm (autoclaving)**
- **Termoset kalıp döküm (setting up)**
- **Isı basınçla şekillendirme [heat pressure shaping (HPS)]**
- **Gerdirme (stretching-up)**

(Çağlarer, 2004)

3. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ

3.1. Matris Malzemesi Poliamid 6 (PA 6):

Kristalin bir termoplastik olan poliamid, kalıplama, ekstrüzyon, çözelti, kaplama ve döküm gibi yöntemlerde kullanılır. Tüm poliamid çeşitleri elyaf ve takviye malzemelerle kuvvetlendirilebilir. Poliamid 6 en düşük kristalinite derecesine sahiptir ve poliamid çeşitleri arasında en kolay işlenebilenidir.

Önemli bir poliamid çeşidi döküm poliamididir. Bir çok polimer atmosfer basıncında ısıtılınca döküm kalıbının tam şeklini alamaz, bu nedenle yüksek basınç kullanılır (ekstrüzyon veya enjeksiyon). Ancak aralarında poliamidin de bulunduğu bazı polimerler atmosfer basıncında ısıtıldığında dökülebilen sıvı kıvamında bulunabilirler. İşte döküm poliamid, poliamid 6 monomerlerinden elde edilir. Bu monomerlerden çok karmaşık şekilli ve ağırlığı yüzlerce kilogramı bulan parçalar dökülebilir.

Poliamidin en büyük dezavantajı su emme özelliğinin yüksek olmasıdır. Çok kullanılan poliamid çeşitlerinden biri olan PA 6'nın % 50 izafi nemde % 2.5'tan fazla su emme özelliği vardır.

Poliamidin özellikleri çeşitlerine bağlı olarak çok geniştir. Genelde çok iyi yorulma mukavemeti, iyi sürünme mukavemeti ve oldukça iyi darbe mukavemeti (kristalinite derecesine bağlı) vardır. Kimyasal dirençleri ve elektriksel özellikleri iyi düzeydedir. Polimerizasyon esnasında kontrol edilebilen kristalinite derecesi poliamidin rijitliğini, mukavemetini ve ısıya karşı dayanıklılığını etkiler. Genelde düşük kristalinite derecesi tokluğu, uzamayı ve darbe mukavemetini yükseltir, fakat çekme mukavemeti ve rijitliği azaltır.

İyi mekanik özelliklere ve katkılı halde iyi tribolojik özelliklere sahip olan poliamid, dişli çark, kam, kaymalı yatak, rulman kafesleri, kızak gibi elemanların imalatında kullanılır. Ayrıca aşınmaya karşı takım tezgahlarının kızaklarında kaplama olarak kullanılır (Aksulu, 2007).

Poliamid türlerinin içinde mekanik ve fiziksel özellikleri açısından en önemlileri PA 6 ve PA 66'dır. Çünkü sertlik, sağlamlık ve ısı mukavemetleri diğer bütün poliamid tiplerine nazaran daha iyidir (Billmeyer, 1990). PA 6 yüksek kristallığe sahip, nem aktivitesi düşük, döküm yöntemi ile de imal edilebilen sentetik bir termoplastik olup, naylon türlerinin içinde mekanik ve fiziksel özellikleri açısından en iyi olanıdır.

PA 6, molekül ağırlığı ve yapısından dolayı darbe dayanımı yüksek, nem aktivitesi düşük ve islenebilme kolaylığı gereken uygulamalarda tercih edilir (Keskin, 1989).

PA 6 ile özellikleri birbirine çok yakın olmasına rağmen erime noktasının daha yüksek olmasından dolayı yüksek ısı gerektiren durumlar için PA 66 kullanılır. PA 6'nın yoğunluğu 1.12-1.14 gr/cm³ arasında değişirken erime noktası 220 °C ve camsı geçiş sıcaklığı ise 50 °C'dir.

Genelde doğal renktedir, fakat üretici firmalar renk verebilir. PA 6 kimyasal yapısı ve kristal bünyesinden dolayı diğer plastiklerde bulunmayan birçok üstünlüklere sahiptir. Bu özelliklerinden bazıları:

- Yüksek mekanik dayanımı ve aşınma dayanımının yüksek olması
- Geniş ısı aralığında (-50° C / + 60 ° C) kullanılabilmesi

- Rutubet benzin ve solventlere karşı dayanıklılık,
- Çok kolay mekanik işleme,
- Yüksek darbe dayanımı,
- Yüksek elektrik izolasyon özelliği,
- Sert fakat esnek oluşu,
- Geniş kullanım sıcaklığı (Atakok, 2003).

3.1.1. Poliamid 6'nın Genel Özellikleri

3.1.1.1. Mekanik özellikler

Takviye edilmemiş PA 6 sert, tok, sürünme ve ısıl deformasyona karşı direnç özelliklerine sahiptir. Kullanım alanlarını genişletmek ve özelliklerini daha da iyileştirmek amacıyla poliamid içerisine bazı mukavemet artırıcı malzemeler, toklaştırıcılar ve ucuzlaştırmak için dolgu malzemeleri ilave edilir. Bu çeşitler 4 ana gruba ayrılır. Bunlar homopolimer, darbe dayanımlı, cam elyaf takviyeli, ve fiber/mineral karışıklı PA 6'dır. Homopolimerler darbe dayanımları daha yüksek, şekillendirilmesi daha kolay olup genellikle standart ve a kristal formunda üretilirler. Homopolimerler, bazı plastikleştiricilerle modifiye edilerek darbe mukavemeti artırılır ancak rijitlik azalır. % 5-50 oranında cam elyaf takviyesi ile cam elyaf takviyeli çeşitleri elde edilir. Cam elyaf/mineral katkıların birlikte kullanılması durumunda % 20-40 oranında ilave edilmelidir. Takviye ediciler, PA 6'nın rijitlik, sertlik, darbe mukavemeti ve çekme mukavemetini arttırırken, tokluğunu düşürür. Buna ilave olarak, darbe dayanımı, cam elyaf takviyeli ve cam elyaf/mineral karışık PA 6 çeşitlerinin mekanik özellikleri de Çizelge 3.1'de verilmiştir.

PA 6'dan imal edilen makine parçalarının çalışma şartları çok önemlidir. Ortam sıcaklığı ve nem oranı PA 6'nın mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Özellikle ortam sıcaklığı 30°C 'nin üzerinde olduğunda elastiklik modülünde

gözle görülür bir azalma olur. Cam elyaf ile takviye edilen çeşitleri 150°C 'ye kadar olan ortamlarda kullanılabilir.

Çizelge 3.1 PA 6'nın genel özellikleri (Kaştan, 2005).

ÖZELLİKLER	TEST METODU	BİRİM	DEĞER
Yoğunluk	-	g/cm ³	1,13
Sürtünme Katsayısı	DIN 53479	-	0,15
Basma Dayanımı	DIN 53454	MPa	110
Sertlik	DIN 53505	Shore	85
Darbe Dayanımı	DIN 53453	kJ/cm ²	Kırılmaz
Çekme Dayanımı	DIN 53455	MPa	80
Kopma Uzaması	DIN 53455	%	40
Ergime Noktası	DIN 53736	°C	220
Maksimum kullanım sıcaklığı	Sürekli	°C	+ 120
	Kısa Süreli	°C	+ 160
Asitlere Dayanımı	-	-	Zayıf
Bazlara Dayanımı	-	-	İyi

3.1.1.2. Tribolojik özellikler

PA 6 polimerik malzemeler yatak, dişli, aşınma plakaları, birleştirme parçaları, silindirler, yatak segmanları gibi parçaların yapımına uygun olup, çelik, bronz, pirinç, paslanmaz çelik yerine gereken durumlarda tercih edilir . Düşük ve normal kayma hızlarında toz, kum ve benzeri bulunan aşındırıcı ortamlarda PA 6'nın çalışma ömrü, bronz, döküm, demir ve çelikten 2-10 kat daha fazladır. Yine PA 6'ya PTFE ve grafit ilave edilmesiyle iyi kayma özellikleri sağlanır ve iyi aşınma özelliklerine sahip PA 6 çeşidi elde edilir.

3.1.1.3. Çevre koşullarına direnc özelliği

PA 6, diğer poliamid çeşitleri gibi yağlara, motor yakıtlarına, hidrolik sıvılara, temizleyici kimyasallara ve deterjanlara, soğutucu akışkanlara, alifatik ve

aromatik hidrokarbonlara dayanıklıdır. Çeşitli çözücülere, yağlayıcı ve deterjanlara PA 66'dan daha dirençlidir. Ancak sulandırılmış mineral aside dayanıklı değildir. Alkol, ester ve ketonlara dirençlidir. Klorlanmış hidrokarbonlara, madeni yağlara, hidrolik yağlara, deniz suyuna, tuzlara ve bazlara dayanımı iyidir. Formik asit, sülfirik asit gibi asitlere ve oksidasyonlu maddelerin çözeltilerine direnç göstermez ve polimer tamamen çözünür. Her poliamid çeşidi gibi PA 6' nında UV ışınlarına dayanımı azdır. Uygun stabilize edici maddelerle bu özelliği iyileştirilir.

3.1.1.4. Termal özellikler

PA 6, diğer plastiklere göre ergime noktası yüksek olan bir polimer çeşididir. Ergime noktası 220°C olup yarı kristal bir malzemedir. PA 6'nın termal özellikleri PA 66 ile hemen hemen aynıdır. PA 6, PA 66'ya göre daha düşük ergime sıcaklığına sahiptir.

3.1.1.5. Elektriksel özellikler

Düşük nemde ve sıcaklıkta makul oranlarda elektrik yalıtkanlığı özelliği vardır. Hemen hemen PA 66 ile elektriksel özellikleri aynıdır.

3.1.1.6. Kullanım alanları

PA 6 ürünleri, mükemmel termal ve mekanik özellikleri ve üstün fiyat/performans oranından dolayı birçok sektörde kendisine uygulama alanı bulmaktadır. Cam elyaf takviyeli PA 6, başta otomotiv endüstrisinde, ayna gövdeleri, jant kapakları, motor pervaneleri, dış paneller, motor kapakları, koltuk gövdeleri ve diğer birçok yerde kullanılmaktadır. Ayrıca taşınabilir el aletleri, ofis mobilya gövdeleri, beyaz eşya ve transformatörler de geniş uygulama alanları içerisinde başlıca olanlarıdır.

PA 6 yarı mamul olarak, levha, kütük şeklinde temin edilebilir. Metal tezgahlarda kolaylıkla işlenebilir. Tornada işlenirken yüksek devir kullanılması (minimum 150 m/dak.) ile temiz ve pürüzsüz yüzey elde etmek mümkündür.

Poliamid 6 ve poliamid 66 çeşitleri makine alanında makaralar ve sessiz dişli mekanizmaları; contalar; her çeşit ring contaları; amortisör donanımları; musluk

ve ventil contaları; bilyalı ve iğneli ventil ve kapak yatakları; yataklar ve yatak yuvaları; kızak kovanları, sonsuz vida çarkları; kayış kasnaklar; hadde yatakları, miller, şaftlar; özellikle büyük tezgahlarda darbe blokları ve matkap zıvanaları; supab yüksükleri; hidrolik sızdırmazlık için conta ve adaptörler, vibrasyon blokları, pompa elemanları, torna aynaları ve döner tablalar için yataklar ve aşınma parçaları her türlü kapsül gibi parçaların üretiminde kullanılır.

Otomotiv sektöründe; burçlar, yataklar, kayma plakalar, makas takozlar, iş makineleri döner sistem yataklar, kasnaklar, kılavuz makaralar, taşıma araçları ray kılavuzları, kremayer sistemleri ve vidalı aktarma yatakları. Gemilerde; gemi pervaneleri, pervane şaftları, yatakları, zincir kayma kılavuzları, gemi vinci makine aksamaları, koç boynuzları, havalandırma kapakları yapımında kullanılır.

PA 6, sert ve sağlam bir malzeme olması nedeniyle birçok sanayi dalına hizmet vermektedir. Bunlar arasında makine konstrüksiyonu, elle ve mekanik taşıma, inşaat makineleri, paketleme ve doldurma üniteleri, tekstil makineleri, gemi imalatı, otomotiv sanayii, madencilik, gıda sanayii, tıbbi cihazlar sayılabilir (Billmeyer, 1990).

Poliamidler mühendislik plastiklerinin en önemli grubunu oluşturur. Bu grup içinde Poliamid 6 oldukça serttir ve düşük sıcaklıklarda bile darbeye karşı mukavemet göstermektedir. İçerdiği özelliklerin uyumlu bileşimi ile PA 6 başta otomotiv ve elektrik-elektronik olmak üzere çeşitli sektörlerde geniş kullanım alanları bulmaktadır (Kaştan, 2005).

3.2. Deneylerde Kullanılan Takviye Malzemeleri Ve Özellikleri

3.2.1 Cam elyaf (cam fiber)

Cam elyafın esasını silis-kum (SiO_2) meydana getirmekle beraber belirli oranlarda sodyum, kalsiyum, alüminyum, bor ve demir gibi elementlerin oksitlerinden oluşur. Polimer esaslı kompozitlerde yaygın olarak kullanılan ve en ucuz olan takviye elemanıdır (Şahin, 2000).

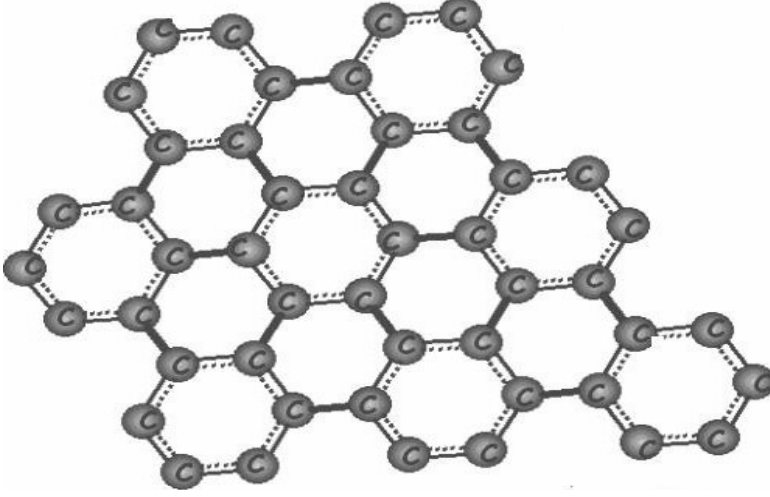
Kısa cam elyaf takviyeli kompozitlerin dayanımı ve esneklik modülleri, fiber hacim oranına, oryantasyonuna ve uzunluk oranı (uzunluk/çap) oranına bağlıdır . Cam elyaf takviyeli kompozitler, yük fiber matriks arafazında etkili olarak dağılabildiğinde çok iyi performans gösterirler. Elyaf ve matriks ara yüzeyindeki islanabilirliği arttırmak için, elyaf yüzeyi kaplanarak modifiye edilebilir (Arıkan, 2001).

Cam elyafların bazı özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Çekme mukavemeti yüksektir, birim ağırlık başına mukavemeti çeliğinkinden yüksektir.
2. Isıl dirençleri düşüktür. Yanmazlar, ancak yüksek sıcaklıkta yumuşarlar.
3. Kimyasal malzemelere karşı dirençlidirler.
4. Nem absorbe etme özellikleri yoktur, ancak cam elyaflı kompozitlerde matris ile cam elyaf arasında nemin etkisi ile bir çözülme olabilir. Özel elyaf kaplama işlemleri ile bu etki ortadan kaldırılabilir.
5. Elektriği iletmezler. Bu özellik sayesinde elektriksel yalıtımın önem kazandığı durumlarda cam elyaflı kompozitlerin kullanılmasına imkan tanırırlar (Asi, 2008).

3.2.2. Grafit

Grafit, gayet yumuşak, dokunumu yağsı ve ince levhalar halinde bükülme özelliğine sahip, bir karbon mineralidir. Sertliği 1, yoğunluğu ise 2 g/cm^3 'tür. Rengi siyah ve gri, çizgi rengi kül renginde ve yağlayıcıdır. Doğada; kristal, pul ve amorf diye tanımlanan şekilleri mevcut olup, en iyi formu kristal grafitir ve tenoru en yüksek olanıdır.



Şekil 3.1 Grafitin Kimyasal Yapısı (Kaştan, 2005).

Özellikleri nedeni ile grafitin kullanım alanları çok geniştir. Yumuşaklığı nedeniyle, kurşun kalem yapımı ve hareketli metal aksamalarının yağlanması işlemlerinde, ateşe ve asitlere karşı dayanıklılığı nedeniyle de döküm ve refrakter sanayinde, pota ve laboratuvar malzemeleri imalinde kullanılır . Siyah renkli ateşe dayanıklı boyalar da genellikle grafitten yapılır. İyi elektrik iletkenliği dolayısı ile elektrod, motor fırçaları, pil çubukları ve elektronik aletlerin imalinde kullanılmaktadır. Grafit ayrıca lastik, araba balataları, kibrit ve motor yağlarında katkı malzemesi olarak ta kullanılmaktadır (Kaştan, 2005).

4. AŞINMA

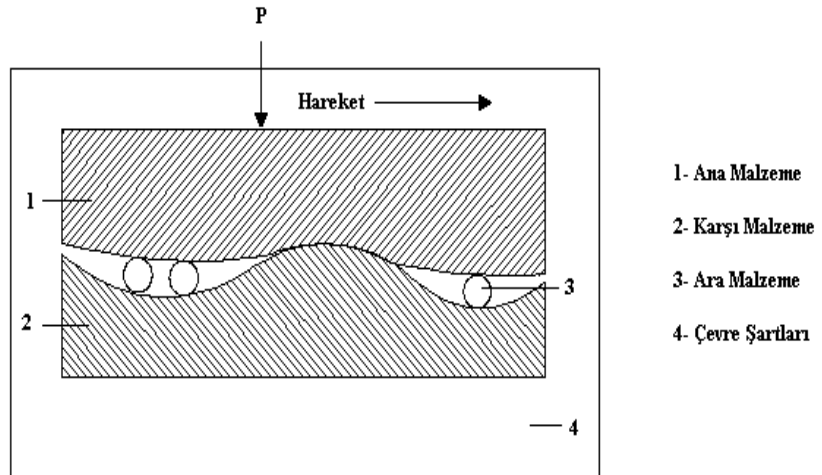
Aşınma katı cisimlerin yüzeylerinden çeşitli etkenlerle sürekli malzeme kayıplarının ortaya çıkmasıdır. DIN 50320 ve ASTM G40–93 standartlarına göre aşınma; "kullanılan malzemelerinin başka malzemelerle (katı, sıvı veya gaz) teması neticesinde mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların ayrılması sonucu meydana gelen ve istenmeyen yüzey bozulması" şeklinde tanımlanmaktadır. Katı cisimlerin yüzeyleri oksitlerle ya da yağlayıcılarla kaplansalar bile oksit filminin mekanik yük altında parçalandığı ve yağlayıcının adsorbsiyonunun zayıf olduğu yerlerde, yer yer katı-katı teması olur. Bu temaslar ise aşınmaya neden olmaktadır. Bu şekilde, yüzeyler ilk şekillerini kaybederler. Parçalar arasındaki boşluklar büyür, gürültü ve titreşimler meydana gelir, verim

azalır. Kısaca makine amaçlanan fonksiyonunu normal bir şekilde yerine getiremez.

Bir aşınma sisteminde;

- Temel eleman (aşınan),
- Karşı eleman (aşındıran),
- Ara madde,
- Yük (P)
- Hareket

temel unsurlar olarak sayılabilir. Bütün bu unsurların oluşturduğu sistem, teknikte tribolojik sistem olarak adlandırılır ve Şekil 4.1’ de böyle bir sistemin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.1 Aşınma sisteminin temel bileşenleri.

Aşınan ve aşındıran malzeme birlikte “aşınma çifti” olarak tanımlanır. Aşınma çifti arasındaki “ara malzeme” sert taneli, sıvı, gaz ve buhar halinde olabilir. Aşınma parçacıkları da ara malzeme gibi etki yaparak aşınma olayına katılırlar. Aşınma çifti ile ara malzemeye birlikte “aşınma kombinasyonu” denilir. Aşınma çifti arasındaki rölatif hareket aşınmanın cinsini belirler. Yük; statik, dinamik veya darbe şeklinde olabilir (İpek, 2007).

4.1. Aşınma Safhaları

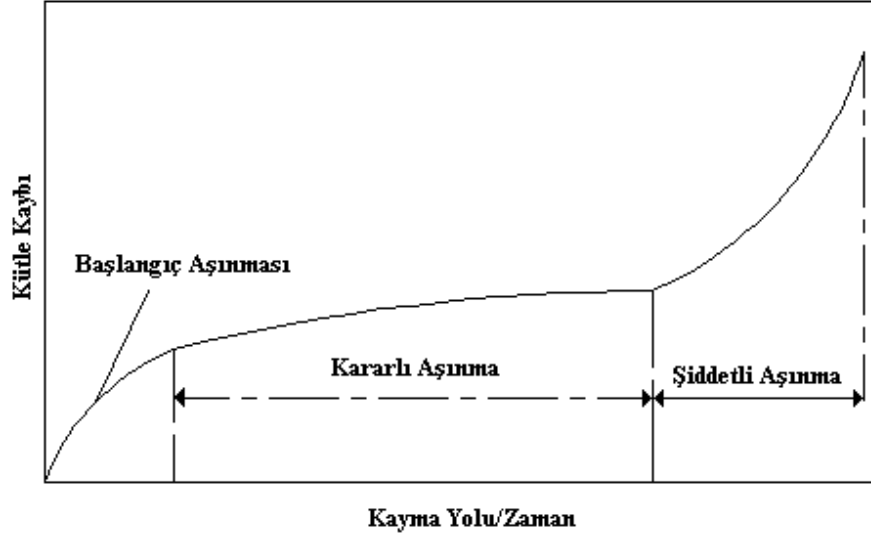
Aşınma, oluşma hızı ve biçimi açısından zamanla gelişen ve aniden meydana gelen aşınma olmak üzere ikiye ayrılır. Zamanla gelişen aşınmada makine elemanı üç aşamada aşınır ve normal çalışma ömrünü tamamlar. Zamanla gelişen aşınmanın kademeleri şu şekildedir:

Başlangıç aşınması: Zamanla gelişen aşınmanın ilk safhası makine elemanlarının alışma safhasıdır. Bu safhada hızlı ve şiddetli bir aşınma meydana gelir. Bu ilk aşınmaya başlangıç aşınması denir. Makine elemanlarının ömürlerinin uzun olması için başlangıç aşınması mümkün olan en kısa zamanda, en az yükte ve normal hızdan daha düşük hızlarda tamamlanmalıdır. Bunu sağlamak için makine elemanları başlangıç için özel üretilmiş özel katkılı yağlayıcılarla yağlanırlar.

Asıl (kararlı) aşınma safhası: Başlangıçtan sonraki aşama, makine elemanının ömrünü belirleyen asıl aşınma safhasıdır. Bu safhada aşınma hızı çok azdır. Başlangıç aşınması ne kadar uygun yapılmışsa bu aşama, dolayısıyla makine elemanı ömrü o kadar uzun olur.

Aşırı (şiddetli) aşınma safhası: Makine elemanı önceden belirlenen bir aşınma sınırına kadar aşındığı zaman normal çalışma ömrünü tamamlamış demektir. Bu aşınma safhasında aşınma hızı oldukça artmıştır ve makine elemanı değiştirilmelidir.

Aniden meydana gelen aşınma, parçalar üzerinde olaydan önce herhangi bir aşınma yokken; yanlış malzeme seçimi, yağlamanın uygun yapılamaması, sürtünme dolayısıyla meydana çıkan ısı enerjisinin dış ortama aktarılamaması gibi sebeplerden dolayı aşınmanın aniden ortaya çıkmasıdır. Birbiriyle eş çalışan makine elemanları bu durumda kilitlenebilirler ve çalışamaz duruma gelirler. Yatak sarması bu olaya örnek gösterilebilir (Şafak, 2008).



Şekil 4.2 Aşınma safhaları.

4.2. Aşınma Mekanizmaları

Sürtünen yüzeylerin özelliklerini kapsayan aşınma sınıflandırması aşağıdaki gibidir;

- Metal- Metal
- Metal- Metal dışı
- Metal- Sıvı

Bu sınıflandırma, yağlamanın olduğu veya olmadığı durumlar, kayma veya yuvarlanma sürtünmesi nedeniyle oluşan aşınma gibi çeşitlere de ayrılması gerekmektedir. Ayrıca şartları değişebilir ve önceden metal-metal olan durum, metal-metal dışı haline dönüşebilir veya başlangıçta yeterli olan yağlama sonradan yetersiz olabilir. Bu yüzden yaygın olan terimlerle sınıflandırma tercih edilmelidir.

Böylece sınıflandırmayı tekrar yaparsak;

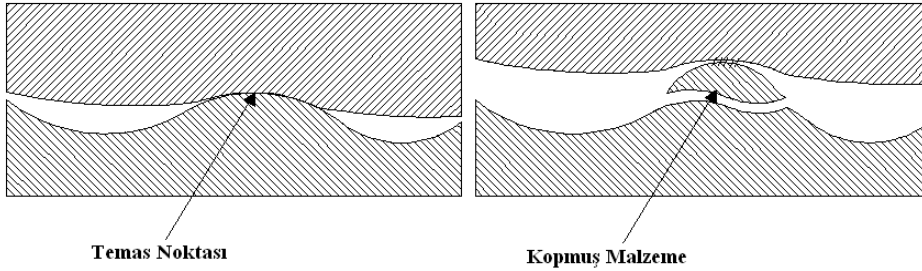
1. Adhesif Aşınma
2. Abrasif Aşınma
3. Yorulma Aşınması
4. Erozyon Aşınması

5. Korozyon Aşınması
6. Termik Aşınma
7. Kavitasyon Aşınması

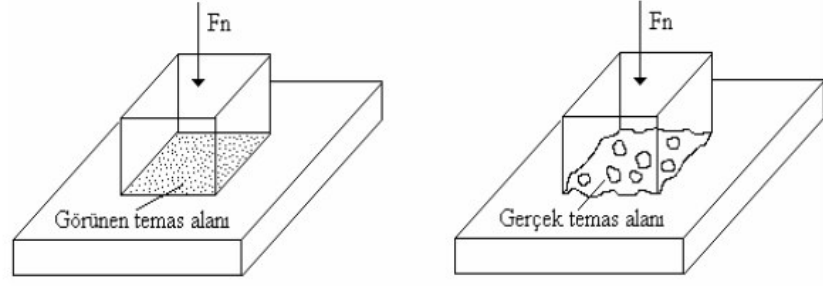
şeklinde olur (Kahraman, 2009).

4.2.1. Adhesif Aşınma

Kayma aşınması da denilmektedir. Temas halinde olan ve birbirine göre bağlı hareket yapan kuru kayma yüzeylerinde daima mevcut olan bir aşınma türüdür (Şekil 4.3). Aşınma, kayma ara yüzeylerinde metal-metal temas noktalarının soğuk kaynak oluşturması nedeniyle oluşur. Kaynak olmuş temas noktası tamamen veya kısmen parçalandığında malzeme aşınma ürünü haline gelir ve kopan parçacıklar serbestçe düşebilir veya yüzeyler arasında kalarak abrasif aşınmaya neden olabilirler. Bu oluşumda yüzeylerin karşılıklı fiziksel ve kimyasal etkileşimleri önemli ölçüde rol oynamaktadır. Kayma halinde yüksek basınçlara ilaveten, temas noktalarında ayrıca aşırı sıcaklık artışlarının da olması, kaynak bağlarının oluşumunu kolaylaştırır. Oluşan bağ, malzeme yüzeyleri ne kadar temiz ise, o oranda kuvvetli olmaktadır. Rutubet, absorbe gazlar ve yağlayıcı maddelerin varlığı bağ kuvvetini ve dolayısıyla aşınmayı azaltır (Karaoğlu, 2006).



Şekil 4.3 Adhesif aşınma mekanizması.



Şekil 4.4 Görünen ve gerçek temas alanları (Karaoğlu, 2006).

Şekil 4.4' de şematik olarak gösterildiği gibi malzemenin temas eden yüzeyleri ne kadar hassas işlenirse işlensin yüzeyde mikroskobik girinti ve çıkıntılarının olduğu bir gerçektir. Bu bakımdan temas halinde olan iki yüzey bu çıkıntılar vasıtasıyla temas eder. Bu çıkıntılar arasındaki girintiler ise temas alanının dışında kalır.

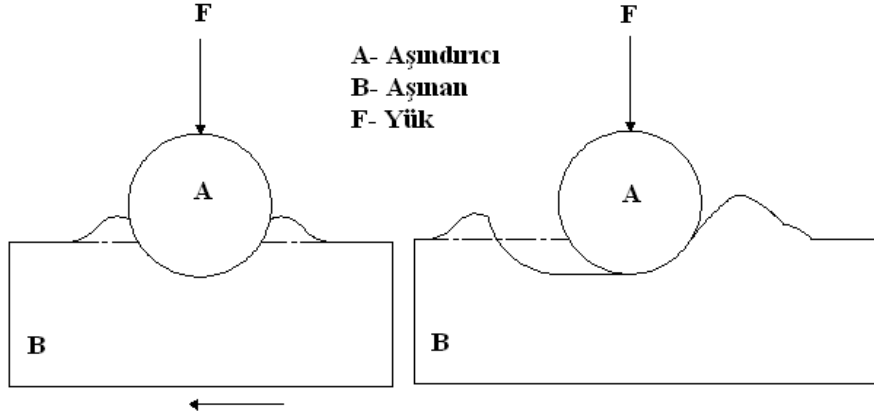
Araştırmalar ve deneyler sonucunda adhesif aşınmanın azaltılmasında bazı uygulamaların faydalı olduğu görülmüştür. Bunlar:

- Mikro kaynakları önlemek amacıyla farklı malzemelerden oluşan sürtünme çiftleri kullanılmalıdır.
- Metal yüzeylerin yağlama ile birbirine temas etmesini ve dolayısıyla mikro kaynakları önlemek.
- Malzeme çiftleri düşük katı çözünürlüğe sahip olmalıdır. Roach, Goadzeit ve Hunnicut adhesiv yapışmada alaşımlamanın çok etkili bir parametre olduğunu belirtmişlerdir.
- Malzemenin diğer mühendislik özelliklerini bozmayacak şekilde mümkün olduğunca sert olması gerekmektedir. Genellikle sert metaller çok zor plastik davranış gösterirler ve daha düşük sürtünme katsayısına sahiptirler (Yılmaz, 1997).

4.2.2. Abrasif Aşınma

Sürtünen sert yüzeylerin daha yumuşak malzemeleri kesmesi şeklinde meydana gelen aşınma türüdür. Sert parçacıklar ya dışarıdan sisteme girerler ya da adhesif aşınma ürünleri olarak sistemin içinde meydana gelirler. Sert yüzey pürüzleri kesici takım gibi işlev görerek daha yumuşak malzemelerden malzeme koparır.

Aşınmadan dolayı kopan parçacıklar yabancı maddeler gibi davranır ve aktif olarak olaya karışır.



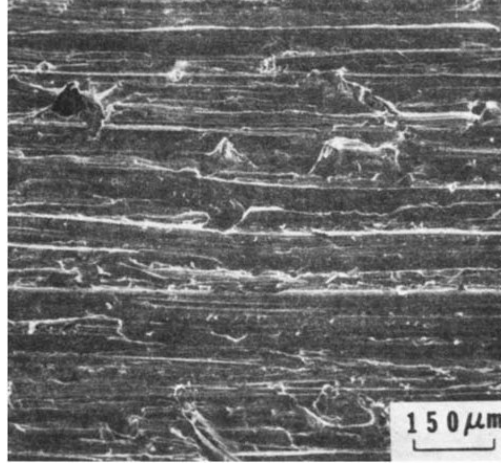
Şekil 4.5 Abrasif aşınma mekanizması (Kahraman, 2009).

Abrasif aşınma mekanizmasında etkili olan temel faktörler, sertlik, aşındırıcı, tane veya pürüzün boyutu ve şekli, uygulanan normal yük ve kayma hızı olarak sayılabilir. Şekil 4.5’de abrasif aşınma mekanizması gösterilmektedir.

4.2.2.1. İki elemanlı abrasyon

Sürtünen yüzey çiftlerinden sert ve pürüzlü olanının veya yüzeylerden birisine gömülmüş sert bir partikülün diğer yüzeyi kazınması iki elemanlı abrasyon olarak adlandırılır (Şekil 4.6). İki yüzeyli abrasif aşınma, adhesif aşınma ile birlikte meydana gelmektedir ve bu sebeple üç yüzeyli abrasif aşınmaya göre kat kat daha fazla aşınma meydana gelmektedir (Stachowiak and Batchelor, 2001).

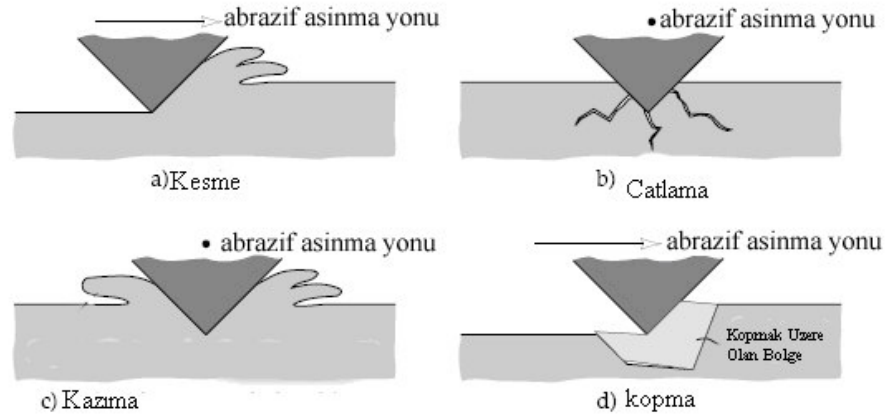
Abrasif aşınma mekanizmaları genel olarak malzemenin cinsine ve yüzey yapısına bağlı olarak dört başlıkta toplanabilir. Bunlar; kesme, çatlama, kazıma (sürtme), kopma olarak sınıflandırılır (Stachowiak and Batchelor, 2001).



Şekil 4.6 İki elemanlı abrasif aşınma izi görüntüsü (Bayer, 2004).

Kesme aşınmasında keskin şekilli veya yüksek sertlikli abrasif uç veya parçacıklar kendine göre daha yumuşak olan yüzeyden talaş halinde malzeme kaldırır. Aşınan malzemenin kırılgen yapıda olması durumunda (seramik vb.) ise çatlama meydana gelir. Eğer aşındırılan malzeme yumuşak bir malzemeyse ve keskin köşeli olmayan aşındırıcılarla aşındırılıyorsa, kesme olayı gerçekleşmez ve aşınma yüzeyi defalarca deforme olur. Bu durum kazıma ya da sürtme olarak adlandırılır ve bu durumda aşınma atığı metal yorulması sonucu oluşur.

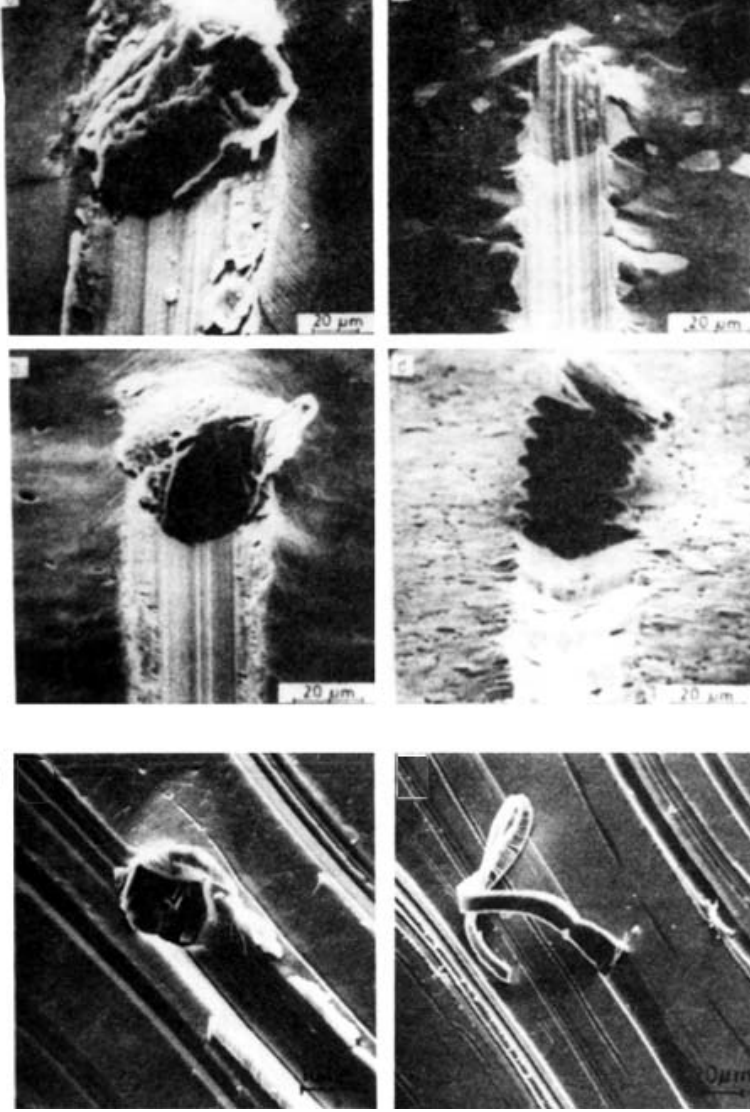
Şekil 4.7'de d resminde görülen durum ise tane ayrılmasını göstermektedir. Bu mekanizma daha çok taneler arasındaki sınırların zayıf olduğu ve tane boyutlarının büyük olduğu seramiklerde görülür ve kopan tane aşınma atığını oluşturur (Stachowiak and Batchelor, 2001).



Şekil 4.7 Abrasif aşınma mekanizmaları (Stachowiak and Batchelor, 2001).

4.2.2.2. Üç elemanlı abrasyon

Sürtünen yüzey çiftlerinin dışında üçüncü bir elemanın serbest aşındırıcı olarak yüzeylerin arasında bulunması ve kazıyıcı etki yapması üç elemanlı abrasyon olarak adlandırılır (Şekil 4.8).



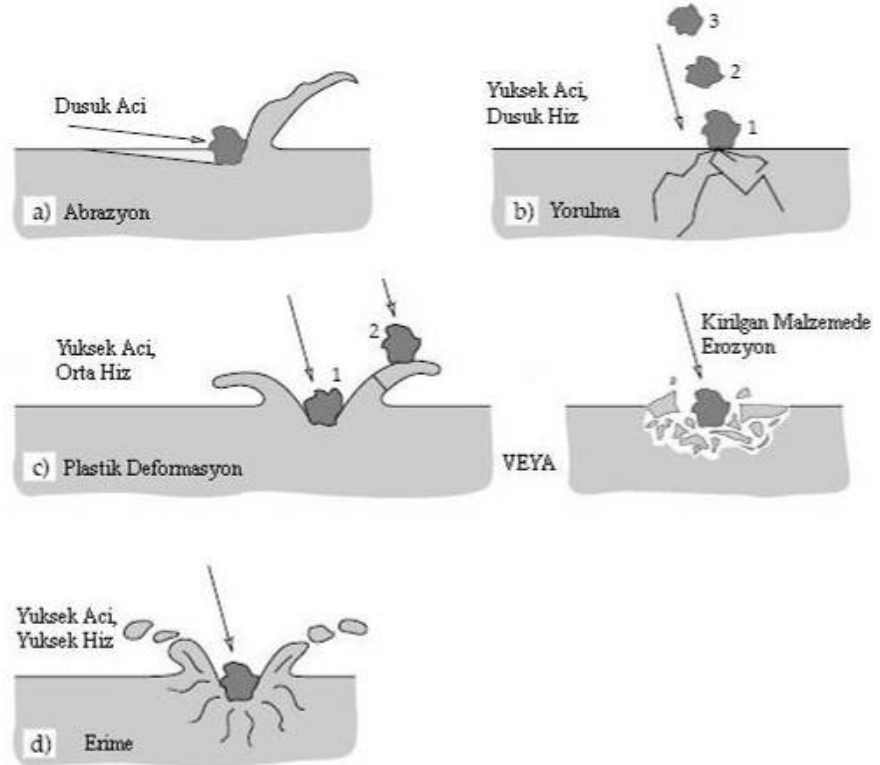
Şekil 4.8 Üç elemanlı abrasyon (Bayer, 2004).

Abrasif aşınma dayanımı sertlikle doğru orantılı olarak değişmektedir. Bu sebeple abrasif aşınma dayanımını arttırmanın en etkili ve ekonomik yolu, uygun yüzey sertleştirme tekniklerinin kullanılmasıdır.

4.2.3. Eroziyon Aşınma

Eroziyon aşınma, abrasif aşınmayla birçok yönden benzerlikler göstermektedir. Eroziyon aşınmanın abrasif aşınmadan temel farkı, aşınmanın, sert parçacıkların yüzeyi kazımasından ziyade yüzeye çarpması sonucunda oluşmasıdır.

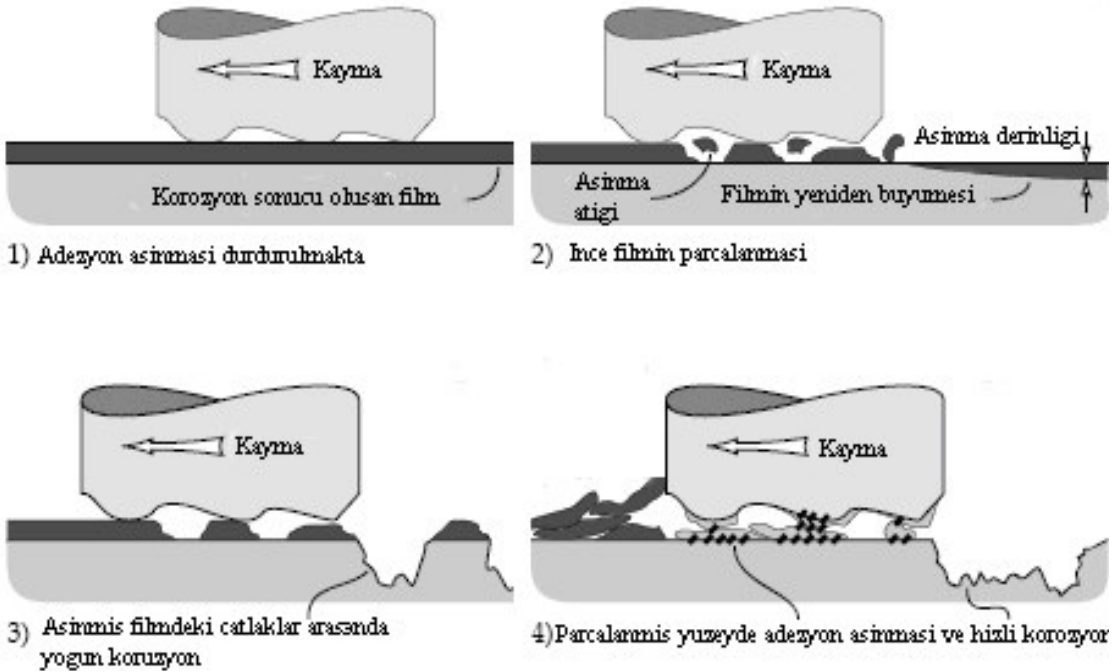
Buna örnek olarak gaz türbinlerinin nozul ve kanatçıklarının yanma ürünleri içerisindeki katı parçacıklar tarafından aşındırılması verilebilir. Sert parçacıkların bağıl hareketleri katı yüzeye paralel olduğunda aşınma, abrasif erozyon olarak adlandırılır. Sert parçacıkların bağıl hareketleri yüzeye dik olduğunda aşınma, çarpma erozyonu olarak adlandırılır. Eroziyon aşınmayı etkileyen temel faktörler, aşındırıcı parçacığın özellikleri (aşındırıcı boyutu, şekli, sertliği), aşınmaya maruz kalan elemanın özellikleri (elemanın sertliği ve yüzey kalitesi) ve ortamın özellikleri (partikülün çarpma veya yalama hızı, çarpma açısı ve birim zamanda çarpan parçacık miktarı) olarak üç ana grup altında incelenebilir. Erozyon aşınması; malzeme türü, çarpma açısı, çarpma hızı ve parçacık büyüklüğüne bağlı olarak farklı mekanizmalarla ortaya çıkar (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 Erozyon aşınma mekanizmaları (Stachowiak and Batchelor, 2001).

4.2.4. Koroziif Aşınma

Kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşan ve özellikle metallerde etkili olan bir aşınma türüdür. Korozyon diğer aşınma mekanizmalarından farklı olarak, kimyasal korozyon, elektrokimyasal korozyon ve sürtünme oksidasyonu gibi farklı şekillerde karşımıza çıkmaktadır. Koroziif aşınma genellikle aşınmanın hafif bir şeklidir, fakat yüksek sıcaklıklarda ve nemli ortam içersinde aşırı bir hal alabilir. Malzemelerin yüksek sıcaklık ve gaz ortam içersinde oksitlenmesi kimyasal korozyon, çözeltili ortamlarında meydana gelen oksitlenme ise elektrokimyasal korozyon olarak adlandırılır. Demir esaslı malzemelerde daha çok gözlenen korozyon ise oksidasyondur. Sürtünme oksidasyonu mekanik aşınma ile koroziif aşınmanın bir bileşimini teşkil etmektedir. Sürtünme oksidasyonu, aralarında çok küçük bağıl hareket olan ve oksitlenmeye elverişli bütün malzeme türlerinde meydana gelebilmektedir. Özellikle ambalajlanmış bir şekilde uzun süre bekleyen makinelerin rulmanlı yataklarında ve mil-göbek gibi geçme olan yerlerinde, nakliyat sırasında meydana gelecek küçük sarsıntı ve titreşimler sürtünme oksidasyonunun oluşmasına neden olabilirler.



Şekil 4.10 Korozyon aşınmasının gelişimi (Stachowiak and Batchelor, 2001).

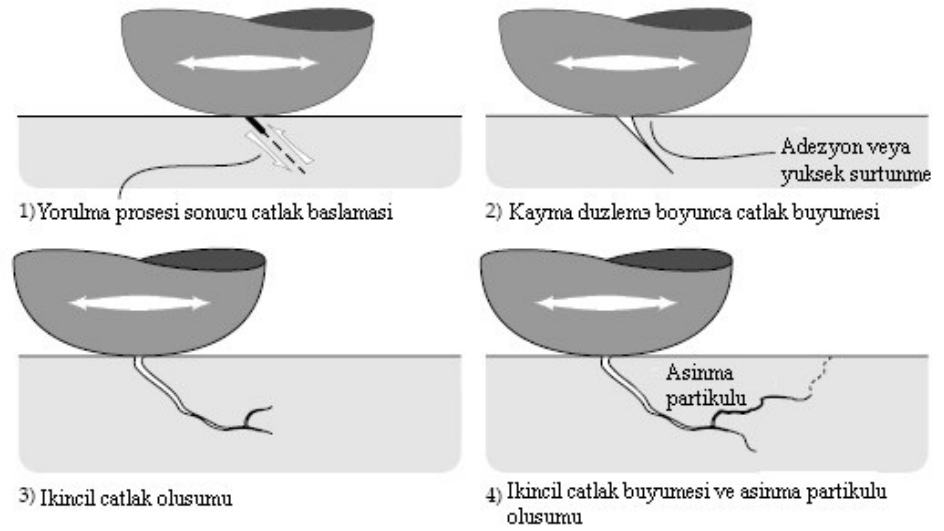
Şekil 4.10'da korozyon aşınmasının gelişimi gösterilmektedir. Pratikte çok az korozyon filmi dayanıklı yapı göstermektedir, pek çoğu ikinci resimde

gösterildiği gibi kayma temasları sonucunda çok çabuk kırılabilen oksit veya diğer kırılğan bileşikler içermektedir. Bunun sonucu olarak da korozyon tabakası parçalanmaktadır. Korozyon tabakasının parçalanması sonucu oluşan aşınma atıklarının etkisiyle esas malzeme yüzeyinde abrasif aşınma meydana gelir ve son safhada korozyon tabakası tamamen yüzeyden ayrılır (Stachowiak and Batchelor, 2001).

Korozyon aşınmasını önlemek için malzeme yüzeylerine ısıl işlem uygulanır ve oksidasyon önleyici özel yağlayıcı maddeler kullanılır (Akkurt, 2000).

4.2.5. Yorulma Aşınması

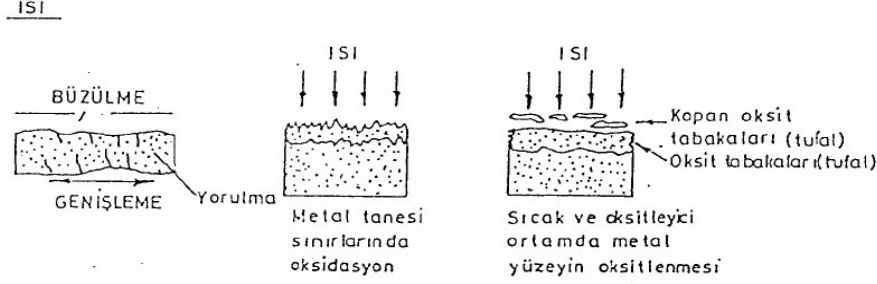
Değişik yüklemeler etkisi altında meydana gelen bir aşınma türüdür. Böyle bir aşınma çok sayıda yükleme periyodundan sonra meydana gelmektedir. Yüzey bölgesi, titreşimli değişken zorlanmaya maruz kaldığı zaman malzeme yüzeyinin hemen altında mikro çatlaklar oluşur. Bu çatlakların yüzeye ulaşması sonucunda pulcuk kalkması meydana gelir ve yüzeyden büyük parçacıklar koparak çukur ve oyukların oluşmasına neden olur. Genellikle dişli çarklarda, rulmanlı yataklarda, demiryolu raylarında, soğuk veya sıcak haddeleme işlemlerinde görülmektedir (Karaoğlu, 2006). Şekil 4.11'de yüzey yorulmasında çatlağın oluşumu ve ilerlemesi görülmektedir.



Şekil 4.11 Yüzey yorulmasında çatlağın oluşumu ve ilerlemesi (Stachowiak and Batchelor, 2001).

4.2.6. Termik Aşınma

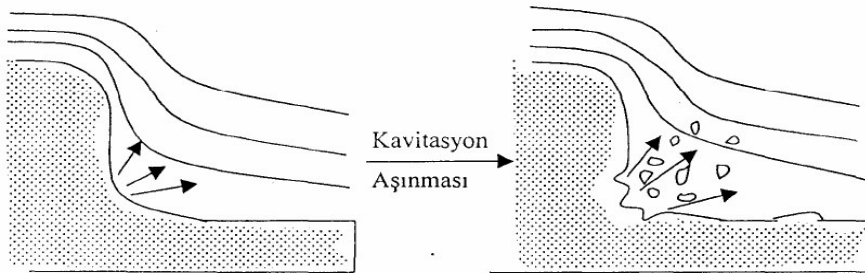
Yüksek sıcaklığın etkisiyle hızlanan atomik hareketler malzemenin yumuşaması, hatta ergimesine sebep olurlar. Bunun yanı sıra darbe ve gazların da etkisiyle ısı altında termik aşınma meydana gelir. Aşınma sistemi şematik olarak Şekil 4.12’de görülmektedir. Bu aşınmanın oluştuğu yerlere hadde silindirleri, buhar ve gaz vanaları örnek olarak verilebilir (Çögür, 2006).



Şekil 4.12 Termik aşınmanın oluşumu (Çögür, 2007).

4.2.7. Kaviteasyon Aşınması

Akış halindeki sıvılarda ani basınç düşmesi sonucu kabarcıkların ve boşlukların oluşması olayına Kaviteasyon adı verilir. Hareket halindeki sıvı, darbe ile bu boşlukları kapatır. İçerisinde bulunan kum gibi abrasiv etki yapan maddelerin de etkisiyle malzeme yüzeylerinde çukurlaşmalar, plastik deformasyonlar gibi hasarlara yol açabilirler. Oluşan bu aşınma şekli Kaviteasyon aşınması olarak adlandırılır. Şekil 4.13’de Kaviteasyon aşınma şematik olarak gösterilmiştir. Genellikle su türbini çark kanatları, deniz taşıtı pervaneleri (uskur çarkları), keskin dönüşlerin olduğu boru dirsekleri gibi yerlerde görülür (Kahraman, 2009).



Şekil 4.13 Kaviteasyon aşınması (Çögür, 2007).

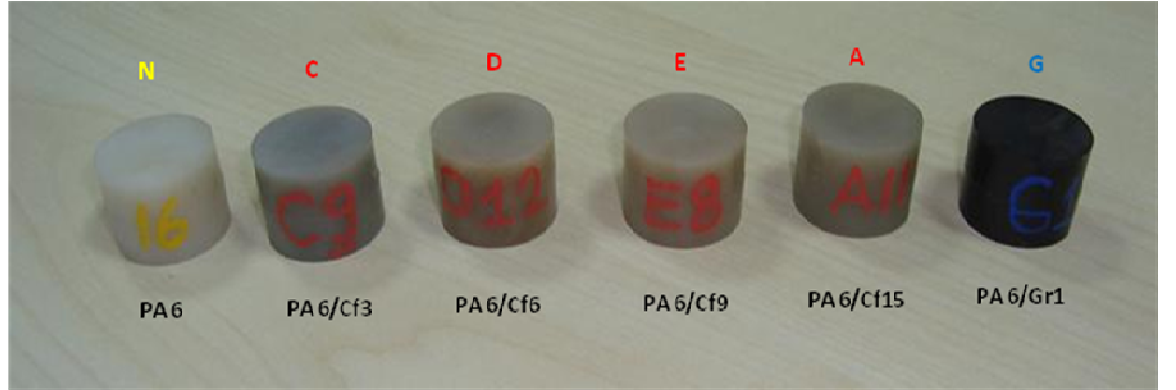
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Kimyasal Bileşenler

Deneyde katkısız PA 6 ve değişik oranlarda cam fiber ve grafit katkılı (%3, %6, %9, %15 ve %1 grafit katkılı) PA 6 kompozit malzemeleri kullanılmıştır. Katkısız PA 6 polimeri Epsan Firmasının Naturel Nylon 6 adlı polimeridir. Poliamid takviyesi için kırılmış Cf'in elyaf çapı; 13µm ve kırılma boyu 3-4,5 mm'dir. Toz grafitin çapı 80µm'dur.

5.2. Deney Numunelerinin Hazırlanışı

Cam fiber ve grafit katkılı kompozit malzemeler özel üretim manuel enjeksiyon makinesi kullanılarak üretilmiştir. Granül formundaki katkısız PA 6 ve cam fiber katkılı kompozit malzemeler özel üretim enjeksiyon makinasında 180°C ve 220 °C sıcaklık aralığında 24mm çapında ve 19mm yüksekliğinde yuvarlak kesitli kalıp kullanılarak Ø24x19mm kesitli numuneler üretilmiştir.



Şekil 5.1 Ø24x19mm kesitli PA6 (nylon 6); PA6/Cf3, PA6/Cf6, PA6/Cf9, PA6/Cf15 sırasıyla %3, %6, %9, %15 cam fiber ve PA6/Gr1 %1 grafit takviyeli nylon 6 matrisli numuneler.

5.3. Sertlik Ölçümü

Deneylerde kullanılan katkısız PA 6, PA 6/Cf 3, PA 6/Cf 6, PA 6/Cf 9, PA 6/Cf 15 ve PA 6/Gr 1 katkılı numunelerin sertlikleri aşınma deneylerinden önce ve sonra Shore D olarak ölçülmüştür (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 PA 6 Shore D sertlik ölçümü.

5.4. Basma Deneyi

Basma deneyleri Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği Mekanik laboratuvarında, SHIMADZU AG-IS marka basma deney cihazı kullanılarak, 90kN yükde ve 2mm/dk basma hızında gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.3).



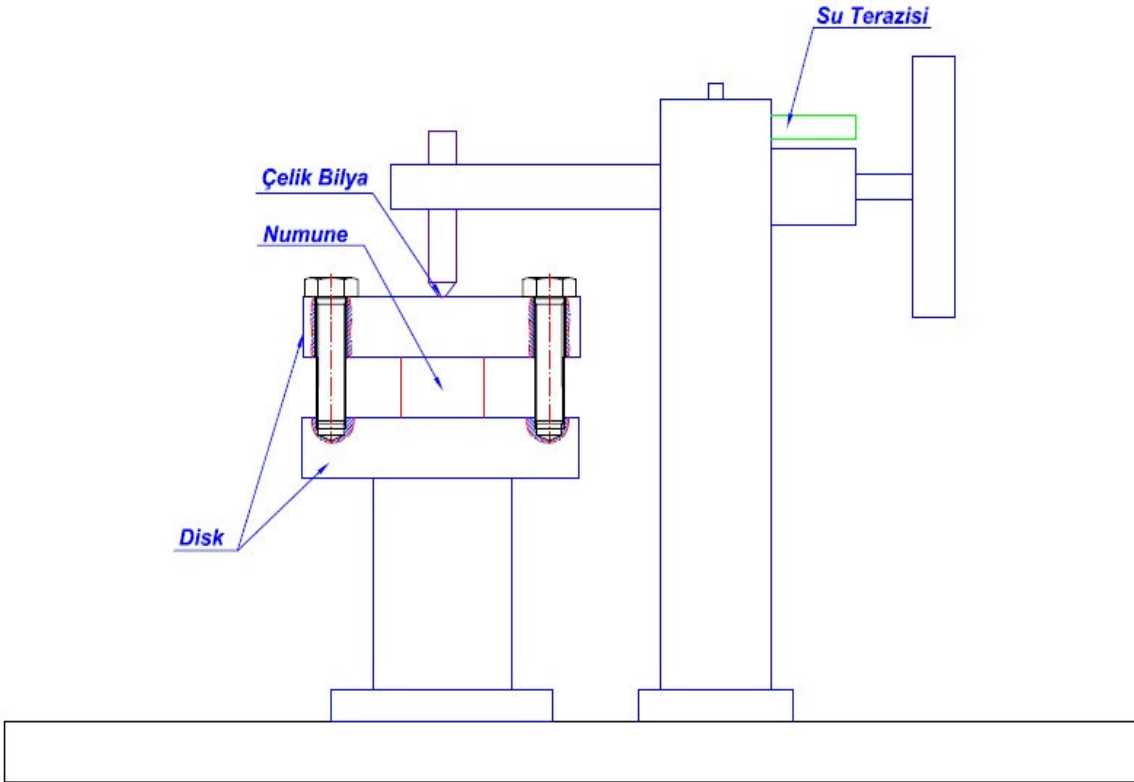
Şekil 5.3 SHIMADZU AG-IS marka basma deney cihazı.

5.5. Aşınma Deneyi

Aşınma deneyi için hazırlanan numuneler PRECISA marka 0.0001gr hassasiyetli terazide tartıldıktan sonra, Şekil 5.4'te fotoğrafı görülen ball-on-disk cihazında 100Cr6 rulman çeliğine karşı kuru olarak aşındırma işlemine tabi tutulmuşlardır (Şekil 5.4 ve Şekil 5.5). Çizelge 5.1'de deney malzemeleri ve deneye ait veriler gösterilmiştir. Testler için kullanılan aşındırma cihazı değişken devirli bir elektrik motoru tarafından ayarlanmakta ve anında hız ayarlaması yapılabilmektedir. Aşınma deneylerinde hız sabit tutularak kayma süreleri 5 - 65 dk' dır. Aşınma deneyleri 80N yük altında uygulanmıştır. Deney esnasında 494dev/dk (0,439m/s) ile devir sayısı sabit tutulmuştur. Aşınma deneylerinden sonra numunelerin aşınma kayıpları hassas terazi (Şekil 5.6) ile tartarak kütle kayıpları ve spesifik aşınma oranları bulunmuştur.



Şekil 5.4 Aşınma testinin yapıldığı aşınma cihazının fotoğrafı.



Şekil 5.5 Aşınma deney cihazı şematik resmi.



Şekil 5.6 Precisa XB 220A hassas terazi.

5.5.1. Aşınma Deney Şartları

Deneyler, atmosfer şartlarında gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.1’de deneyde kullanılan malzemeler ve deney şartları verilmiştir.

Çizelge 5.1 Malzeme ve test şartları.

Malzemeler	Yük (N)	Devir (dev/dk)	Süre (dk)
PA 6	80	494	5, 20, 35, 50, 65
PA 6/Cf 3	80	494	5, 20, 35, 50, 65
PA 6/Cf 6	80	494	5, 20, 35, 50, 65
PA 6/Cf 9	80	494	5, 20, 35, 50, 65
PA 6/Cf 15	80	494	5, 20, 35, 50, 65
PA 6/Gr 1	80	494	5, 20, 35, 50, 65

5.5.2. Aşınma Deneyi Yapılış Şekli

Deneyde kullanılacak her bir aşınma numunesi ve 100Cr6 çelik bilyenin yüzeyi deneyden önce metil alkol ile temizlenmiştir. PA 6 ve cam fiber katkılı kompozit numuneler deneyden önce ve sonra 0.0001gr hassasiyetli PRECISA marka terazi

kullanılarak tartılmıştır. Numuneler deney cihazına aparat yardımıyla 6 adet vidayla bağlanmış, bu sırada polimer yüzeyinin aşındırıcı metal bilye yüzeyine paralel olması için su terazisi kullanılmıştır.

PA 6 ve grafit katkılı kompozit numuneler, sırasıyla 80N yük altında kuru ortamda aşınma deneyine tabi tutulmuştur. Deney öncesi ve sonrası deney numuneleri hassas terazide tartılarak ağırlık farkları bulunmuştur. Bu işlemler, 6 farklı tip numunenin her biri için 5dk, 20dk, 35dk, 50dk ve 65 dk kayma sürelerinde tekrarlanmıştır.

5.5.3. Sıcaklık Ölçümü

Aşınma deneyleri boyunca numunelerin sıcaklıkları, EXTECH marka Çift Lazerli İnfrared Termometre ile ölçülmüştür. Sıcaklık-zaman değişimleri kayıt altına alınmıştır (Şekil 5.7).

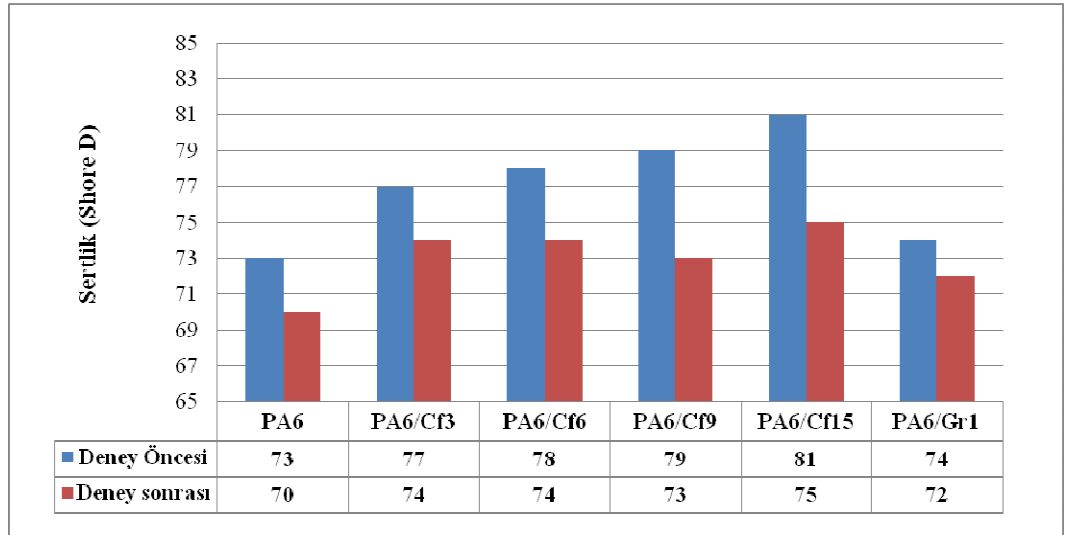


Şekil 5.7 EXTECH 42512 hassas ölçümler için çift lazerli infrared termometre.

6. SONUÇLAR

6.1. Sertlik

Numunelerin deney öncesi ve 65dk sonundaki aşınmış yüzeylerin sertlikleri Şekil 6.1’de verilmiştir. Bu verilere göre, literatürde belirtildiği gibi takviye fiber oranı arttıkça PA 6’nın sertliği de artmıştır. En düşük sertlik değeri, fiber katkısı bulunmayan PA6’da olup, deney öncesi sertlik 73 Shore D iken, deney sonrası 70 Shore D, %3 fiber katkılı ise 77 Shore D’den 74 Shore D’ye, %6 fiber katkılı olan da 78 Shore D’den 74 Shore D’ye, %9 fiber katkılı 79 Shore D’den 73 Shore D’ye ve %15 fiber katkılı ise 81 Shore D’den 75 Shore D’ye düşerken, %1 grafit takviyeli olanının sertliğinin 74 Shore D’den 72 Shore D’ye düştüğü saptanmıştır.



Şekil 6.1 Artan fiber oranına bağlı olarak aşınma deneyi öncesi ve sonrası malzemenin sertliği.

Deney sonrası aşınmış yüzeylerin sertlik ölçümünde; istisnasız numunelerin hepsinde yüzey sertliği düşmüştür. Ancak bu düşüş fiber takviye miktarı arttıkça artmıştır. Grafit takviyeli olan numunede ise değişim farkı en azdır (2 Shore D).

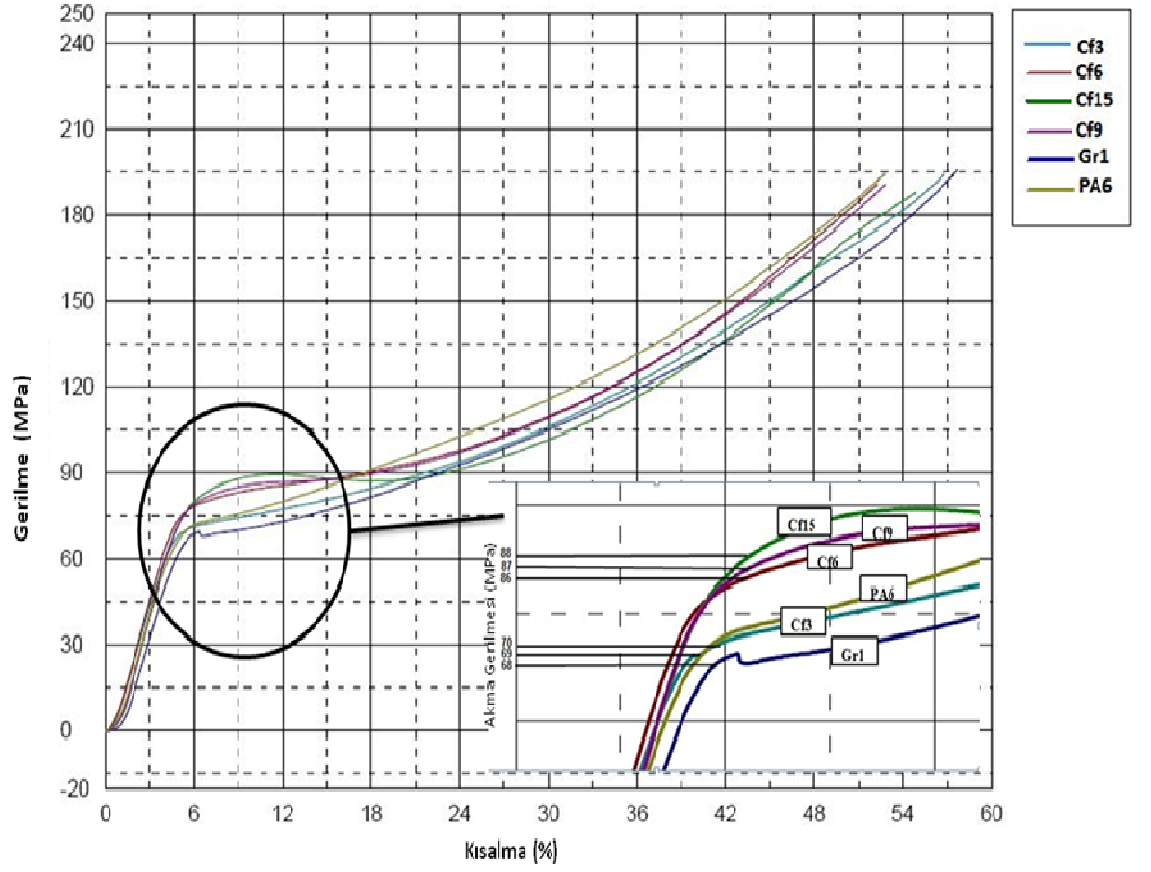
6.2. Basma Dayanımı

Çizelge 6.1 ve Şekil 6.2’de basma deney sonuçları verilmiştir. Deney sonuçlarına göre basma deneyinde elde edilen akma dayanımlarının cam fiber takviye oranıyla orantılı olarak arttığı saptanmıştır. Akma dayanımları deney grafiğinden yaklaşık olarak hesaplanmıştır. Akma dayanımı en fazla %15 takviyelinin olup (88MPa), diğerleri sırasıyla; 86MPa, 87MPa olup, %3 takviyeli (70MPa) olanın akma dayanımı PA6’ya (69MPa) çok yakındır. Grafit takviyeli olanın ise akma dayanımı az da olsa düşmüştür (68MPa).

Toplam kısalma oranları ise ayırt edici bir fark yaratmamıştır. Toplam değerleri %52-57 arasında değişmektedir.

Çizelge 6.1 Basma deneyi sonuçları.

Numune	Akma Gerilmesi (MPa)	Max. Kısalma (%)
PA6	69	52,7
PA6/Cf3	70	56,8
PA6/Cf6	87	52,2
PA6/Cf9	86	52,8
PA6/Cf15	88	54,8
PA6/Gr1	68	57,7



Şekil 6.2 Farklı takviye oranlarındaki gerilme ve kısılma.



Şekil 6.3 Basma deneyi sonrası numuneler.

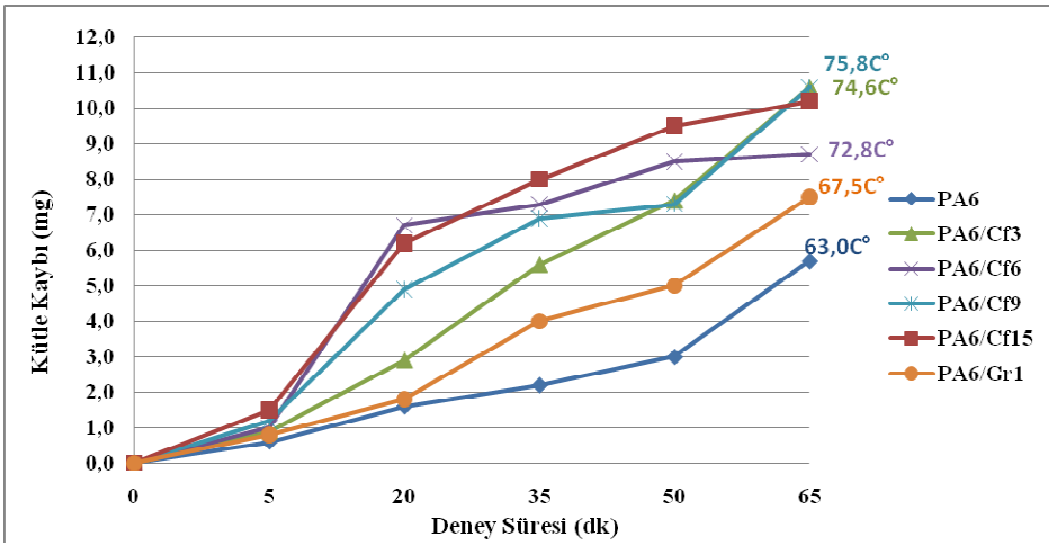
6.3. Aşınma

Bu çalışmada aşınma deneyi sonucunda elde edilen ağırlık olarak aşınma miktarları Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2 Aşınma deneyi sonuçları

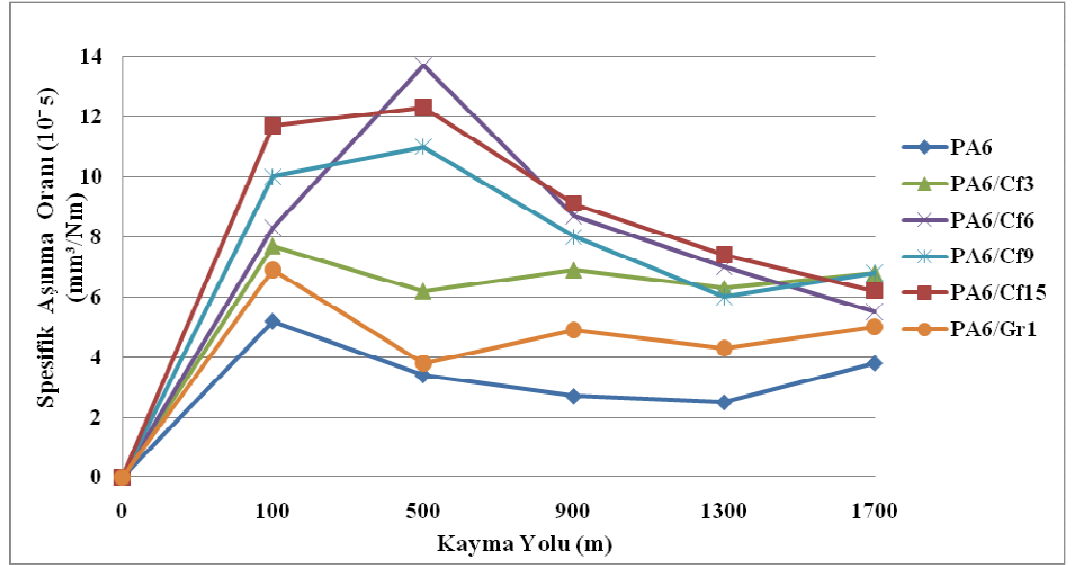
Malzeme	Yük (N)	Süre (dk)				
		5	20	35	50	65
	Aşınma Miktarı (mg)					
PA 6	80	0,6	1,6	2,2	3,0	5,7
PA 6/Cf 3	80	0,9	2,9	5,6	7,4	10,6
PA 6/Cf 6	80	1,0	6,7	7,3	8,5	8,7
PA 6/Cf 9	80	1,2	4,9	6,9	7,3	10,6
PA 6/Cf 15	80	1,5	6,2	8,0	9,5	10,2
PA 6/Gr 1	80	0,8	1,8	4,0	5,0	7,5

Numunelerin kütle kaybı-zaman ve spesifik aşınma oranı-kayma yolu grafikleri incelendiğinde en yüksek kütle kaybı %15 cam fiber takviyeli PA 6 numunede olmuştur. Bunu sırasıyla %9, %6 ve %3 cam fiber takviyeli PA 6 numuneler takip etmiştir. %1 grafit takviyelinin ise kütle kaybı PA6’dan fazla fiber takviyeli olanlardan düşük bulunmuştur (Şekil 6.4 ve Şekil 6.5).



Şekil 6.4 Farklı takviye oranlarındaki aşınma kayıpları.

Aşınma süresince yüzey sıcaklıkları Şekil 6.4 ve Şekil 6.13’de verilmiştir. Bu verilere göre en düşük yüzey sıcaklığı grafit takviyeli olanda bulunmuştur. PA 6’nın yüzey sıcaklığı fiber takviyeli olanlardan düşüktür. Fiber takviyeli olanların ise yüzey sıcaklıkları 65dk’lık aşınma deneyi sonunda fiber oranıyla orantılı olarak artmıştır. 35dk gibi ara aşınma sürelerinde ise fiber takviyeli olanların yüzey sıcaklıkları daha yüksek olmakla beraber, bu değişim fiber oranından bağımsız görünmektedir.



Şekil 6.5 Farklı takviye oranlarındaki spesifik aşınma oranları.

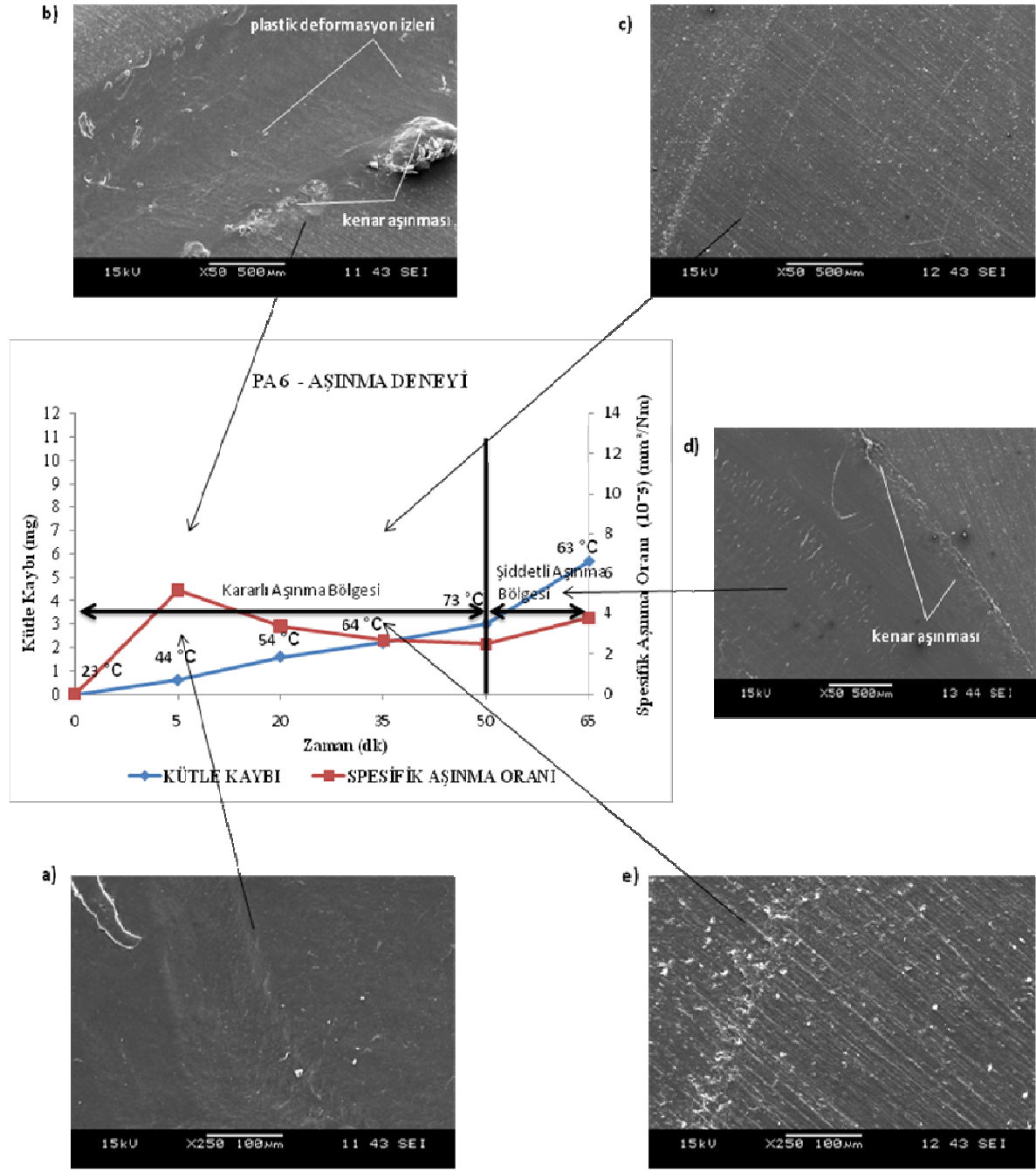
PA 6'nın kayma süresine göre kütleli aşınma kaybının değişiminden kararlı aşınma (KA) ve şiddetli aşınma (ŞA) bölgeleri ayırt edilmektedir (Şekil 6.6). 0-50dk arası KA bölgesi, 50dk'dan sonra ŞA karakteri göstermektedir.

Bu bölgelerde tanımlanan aşınma safhaları, yüzey sıcaklığı ve SEM görüntüleriyle de desteklenmektedir.

PA 6 yük ve kayma etkisiyle yüzeyde sürtünmeler ve dolayısıyla yüzey sıcaklığında artışlar meydana gelmektedir. Aşınmanın erken evresinde (KA) yüzey sıcaklığının (50°C civarı) göreceli düşük olduğu durumda, süresiz hafif dalgalar şeklinde, kayma yönünde eğrisel plastik deformasyon izleri görülmektedir. Yumuşayan ve plastik deformasyona uğrayan yüzey tabakası, karşı malzemenin sıkıştırması ile kenara doğru sürüklenmektedir. Bu sürüklenme neticesinde, aşınmanın kenar aşınması olarak adlandırılan şekilde geliştiği gözlenmektedir (Şekil 6.6 b)

Kayma süresinin artmasıyla, sürtünmenin etkisiyle yüzey sıcaklığı artmaktadır (60 °C civarı). Bunların etkisiyle yüzeydeki yumuşama (sertlik değerindeki azalma) neticesinde, plastik deformasyon izleri daha belirgin hale gelmiştir. Kenar aşınmasının kayma süresiyle orantılı olarak geliştiği görülmektedir.

ŞA olarak tanımlanan bölgede ise benzer mekanizmalar daha baskın hale gelmiştir. Yüzeydeki bozunum ve oluşan aşınma partiküllerinin hem boyut hem de miktar olarak arttığı izlerden anlaşılmaktadır (Şekil 6.6 d). Ayrıca ilerleyen aşınma süreci ile orantılı, kayma doğrultusuna dik izler oluşmaktadır.



Şekil 6.6 PA 6'NİN 80N yük altında zamana bağlı olarak kütle kaybı, spesifik aşınma oranı ve aşınma safhası değişimi.

PA6/Cf3'nin kayma süresine göre kütleli aşınma kaybının ve spesifik aşınma oranının değişimi ve aşınma bölgeleri Şekil 6.7' de görüldüğü gibidir. Şekilde 6.7' de işaretlendiği gibi 0-35dk KA bölgesi, 35dk'dan sonra ŞA karakteri göstermektedir.

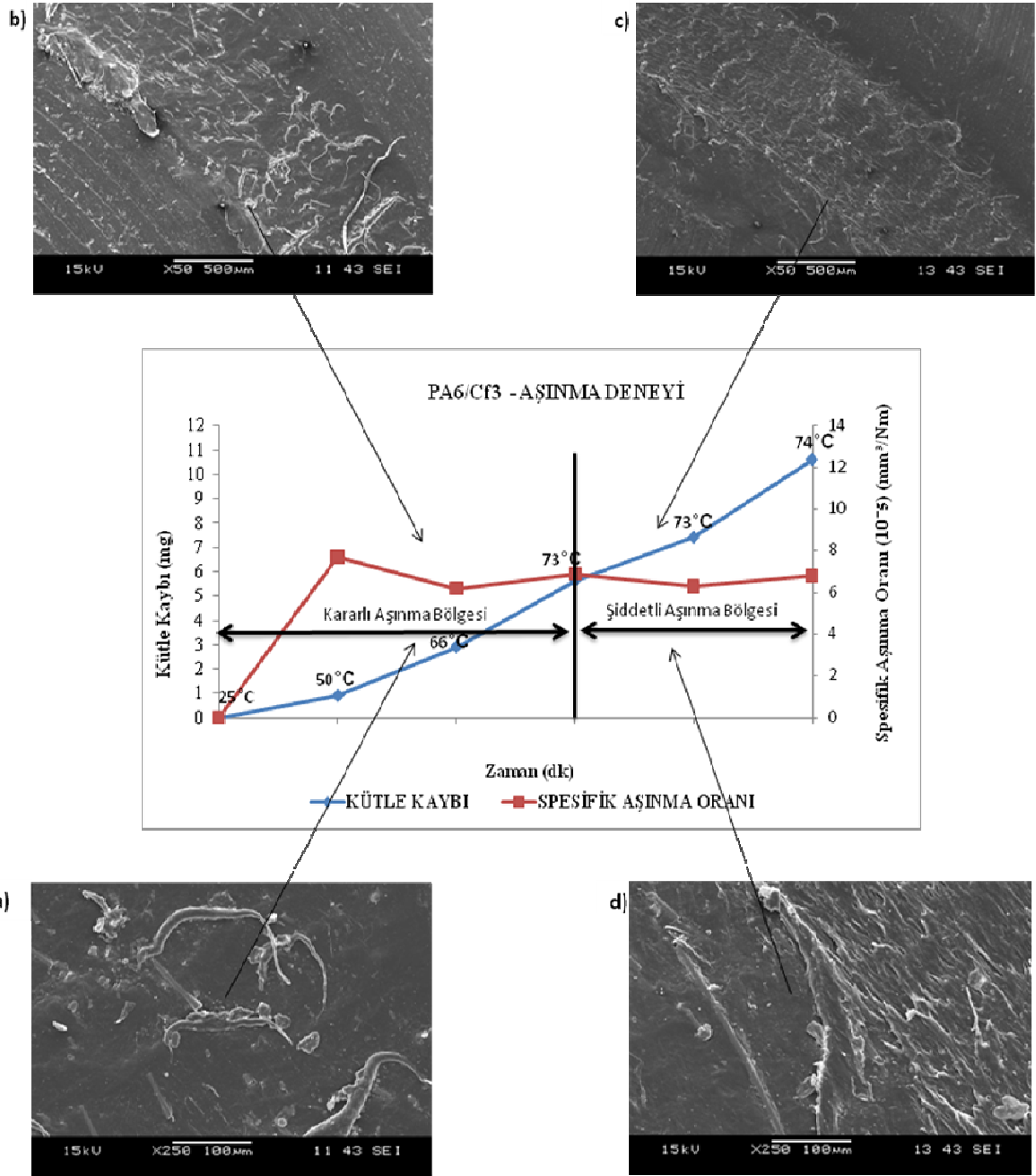
Bu bölgelerde tanımlanan aşınma safhaları, yüzey sıcaklığı ve SEM görüntülerine göre belirlenmiştir.

Aşınmanın erken evresinde, yüzey sıcaklığının (60°C civarı) olduğu durumda, süreksiz çok hafif plastik deformasyon dalgaları ve beyaz kılcak izler görülmektedir. Plastik deformasyon izleri kayma yönünde eğrisel, kılcak çatlaklar kayma yönüne dik ve bir kısmı da kenara yönelmiş durumdadır. Yumuşayan ve plastik deformasyona uğrayan yüzey tabakası, daha az olmakla beraber karşı malzemenin sıkıştırması ile kenara doğru sürüklenmektedir. Bu sürüklenme neticesinde, kenar aşınması çok az da olsa gözlenmektedir (Şekil 6.7 a, b)

Kayma süresinin artmasıyla (KA), sürtünmenin etkisiyle yüzey sıcaklığı artmaktadır (70 °C civarı). Bunların etkisiyle yüzeydeki yumuşama (sertlik değerindeki azalma) neticesinde, kılcak çatlaklar daha belirgin hale gelmiştir.

ŞA olarak tanımlanan bölgede ise KA'dakine benzer mekanizmalar daha baskın hale gelmiştir. Yüzeydeki bozunum, yırtılmalar ve kısmi ergimelerin hem boyut hem de miktar olarak arttığı açıkça görülmektedir. (Şekil 6.7 c, d).

PA6/Cf3'de oluşan aşınma mekanizması PA6'dan farklıdır. Yüzeydeki gerilimlerden kaynaklanan aşınma izleri oluşmuştur. Fiber kaymaya karşı direnç göstermektedir.



Şekil 6.7 PA6/Cf3 80N yük altında zamana bağlı olarak kütle kaybı, spesifik aşınma oranı ve aşınma safhası değişimi.

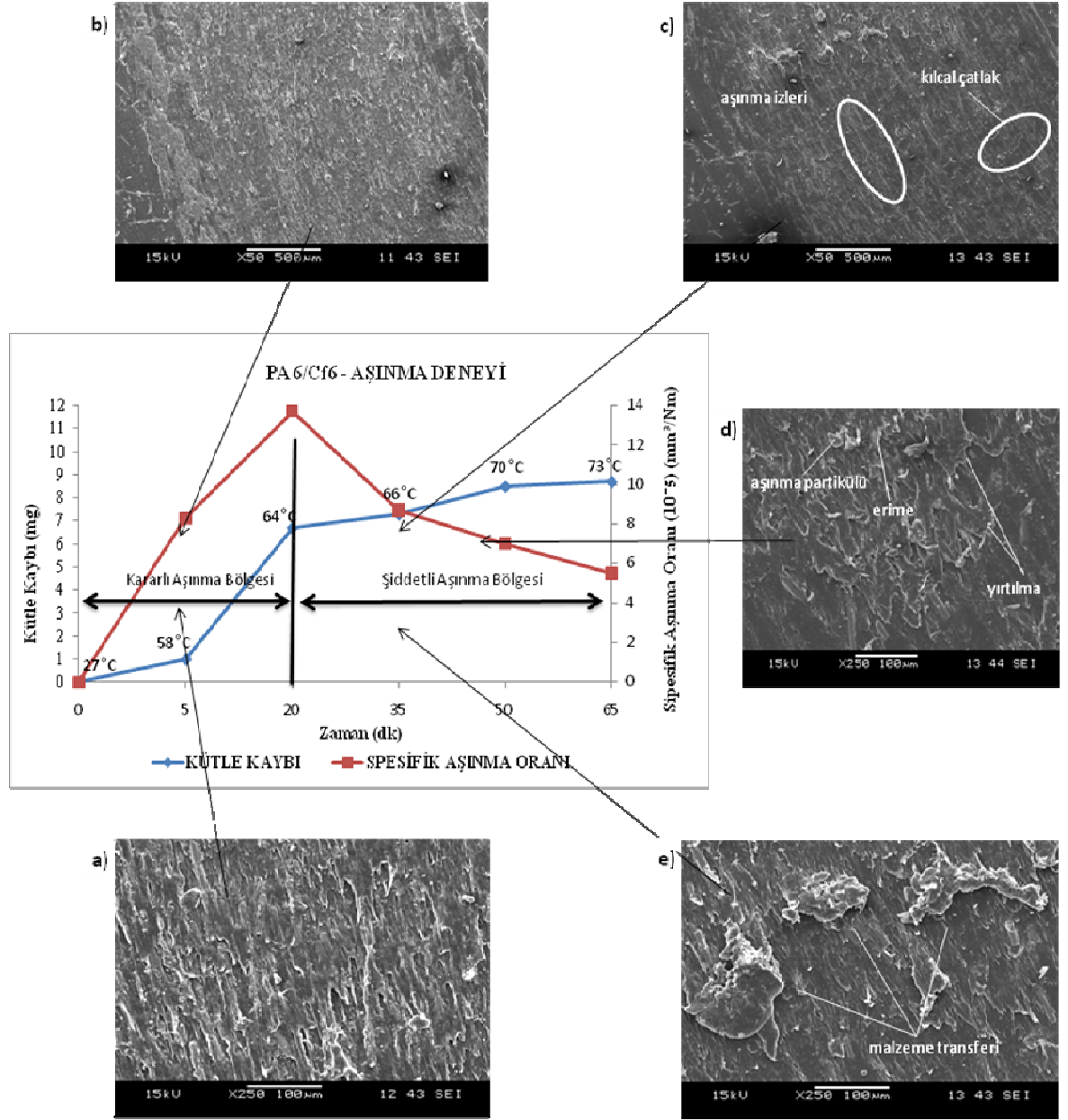
PA6/Cf6'nın kayma süresine göre kütleli aşınma kaybının ve spesifik aşınma oranının değişimi ve aşınma bölgeleri Şekil 6.8'de görüldüğü gibidir. Şekilde 6.8'de işaretlendiği gibi 0-20dk KA bölgesi, 20dk'dan sonra ŞA karakteri göstermektedir.

Bu bölgelerde tanımlanan aşınma safhaları, yüzey sıcaklığı ve SEM görüntülerine göre belirlenmiştir.

Aşınmanın erken evresinde, yüzey sıcaklığının (60°C civarı) olduğu durumda, süreksiz çok hafif plastik deformasyon dalgaları ve beyaz kılcak izler görülmektedir. Plastik deformasyon izleri kayma yönünde eğrisel, kılcak çatlaklar kayma yönüne dik ve bir kısmı da kenara yönelmiş durumdadır. Yumuşayan ve plastik deformasyona uğrayan yüzey tabakası, daha az olmakla beraber karşı malzemenin sıkıştırması ile kenara doğru sürüklenmektedir. Bu sürüklenme neticesinde, kenar aşınması çok az da olsa gözlenmektedir (Şekil 6.8 a, b)

Kayma süresinin artmasıyla (KA), sürtünmenin etkisiyle yüzey sıcaklığı artmaktadır (70 °C civarı). Bunların etkisiyle yüzeydeki yumuşama (sertlik değerindeki azalma) neticesinde, kılcak çatlaklar daha belirgin hale gelmiştir. Özellikle kaymaya dik doğrultuda çatlaklar uzamış ve yoğunlaşmıştır. Bazı bölgelerde bu dikey ve yatay çatlaklar aşınma partikülüne dönüşmektedir. Kenar aşınması gözlenmemektedir.

ŞA olarak tanımlanan bölgede ise KA'dakine benzer mekanizmalar daha baskın hale gelmiştir. Yüzeydeki bozunum, yırtılmalar, kısmi ergimeler ve oluşan aşınma partiküllerinin hem boyut hem de miktar olarak arttığı açıkça görülmektedir. (Şekil 6.8 c, d, e). Ayrıca ilerleyen aşınma sürecinde fiberler seçilmektedir.



Şekil 6.8 PA6/Cf6 80N yük altında zamana bağı olarak kütle kaybı, spesifik aşınma oranı ve aşınma safhası değışimi.

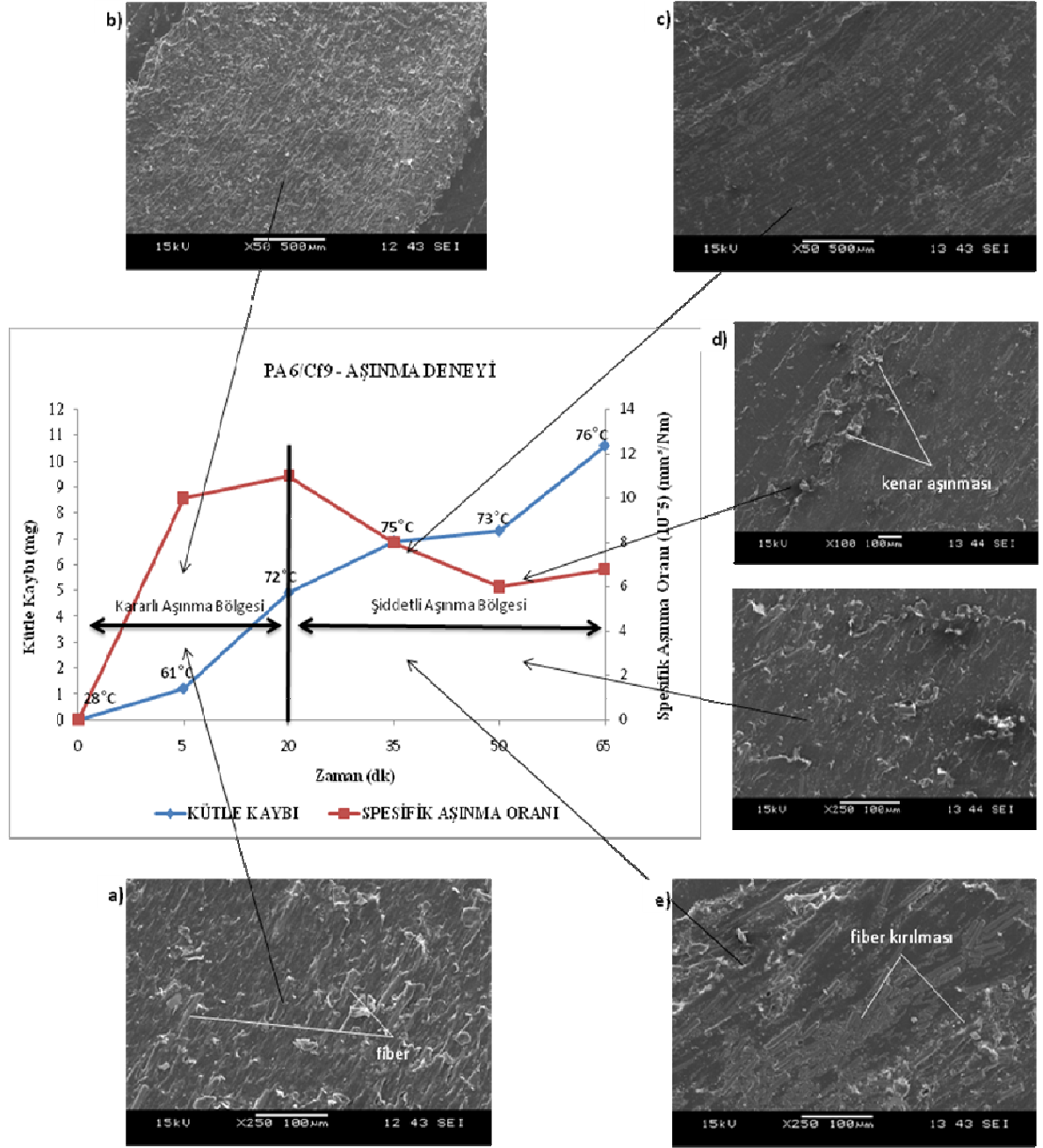
PA6/Cf9'nın kayma süresine göre kütleli aşınma kaybının ve spesifik aşınma oranının değişimi ve aşınma bölgeleri Şekil 6.9'da görüldüğü gibidir. Şekilde 6.9'da işaretlendiği gibi 0-20dk arası KA bölgesi, 20dk'dan sonra ŞA karakteri göstermektedir.

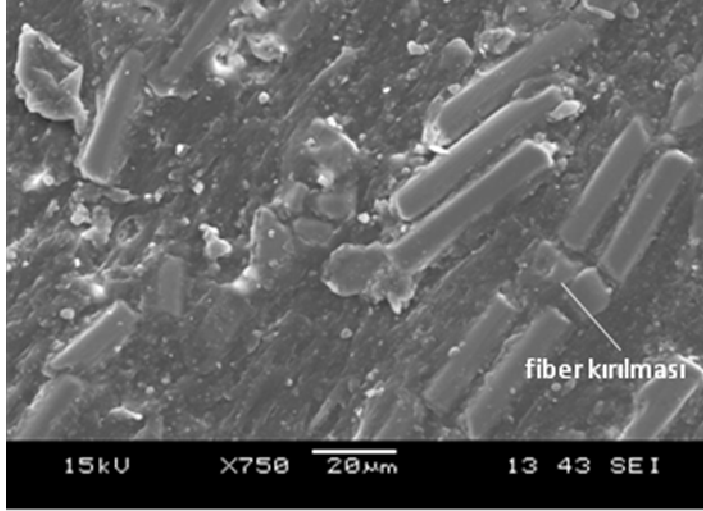
Bu bölgelerde tanımlanan aşınma safhaları, yüzey sıcaklığı ve SEM görüntülerine göre belirlenmiştir.

Aşınmanın erken evresinde, yüzey sıcaklığının (65°C civarı) olduğu durumda, plastik deformasyon izi belirsizdir ve beyaz kılcal çatlak izlerinin baskın olduğu görülmektedir. Bu izlerin kayma yönünde, kayma yönüne dik ve bir kısmı da kenara yönelmiş durumdadır (Şekil 6.9).

Kayma süresinin artmasıyla (KA), sürtünmenin etkisiyle yüzey sıcaklığı artmaktadır (70 °C üzerinde). Bunun neticesinde matriste kısmen ergime bölgeleri görülmektedir. Yüzeyde görülen dikey kılcal çatlaklar belirgin hale gelmiştir. Kayma doğrultusundaki izler fiberleri işaret etmektedir. Fiberlerin matristen ayrıldığı ve kırıldığı seçilmektedir. Bazı bölgelerde bu dikey ve yatay çatlaklar aşınma partikülüne dönüşmektedir.

ŞA olarak tanımladığımız bölgede ise KA'dakine benzer mekanizmalar daha baskın hale gelmiştir. Yüzeydeki bozunum, yırtılmalar, kısmi ergimeler ve oluşan aşınma partikülleri hem boyut hem de miktar olarak arttığı açıkça görülmektedir. (Şekil 6.9). Ayrıca fiberlerin matristen ayrıldığı, kırıldığı ve yapı içinde sürüklendiği açık biçimde görülmektedir (Şekil 6.10).





Şekil 6.10 PA6/Cf9 80N yük altında x750 büyütmede fiber kırılması.

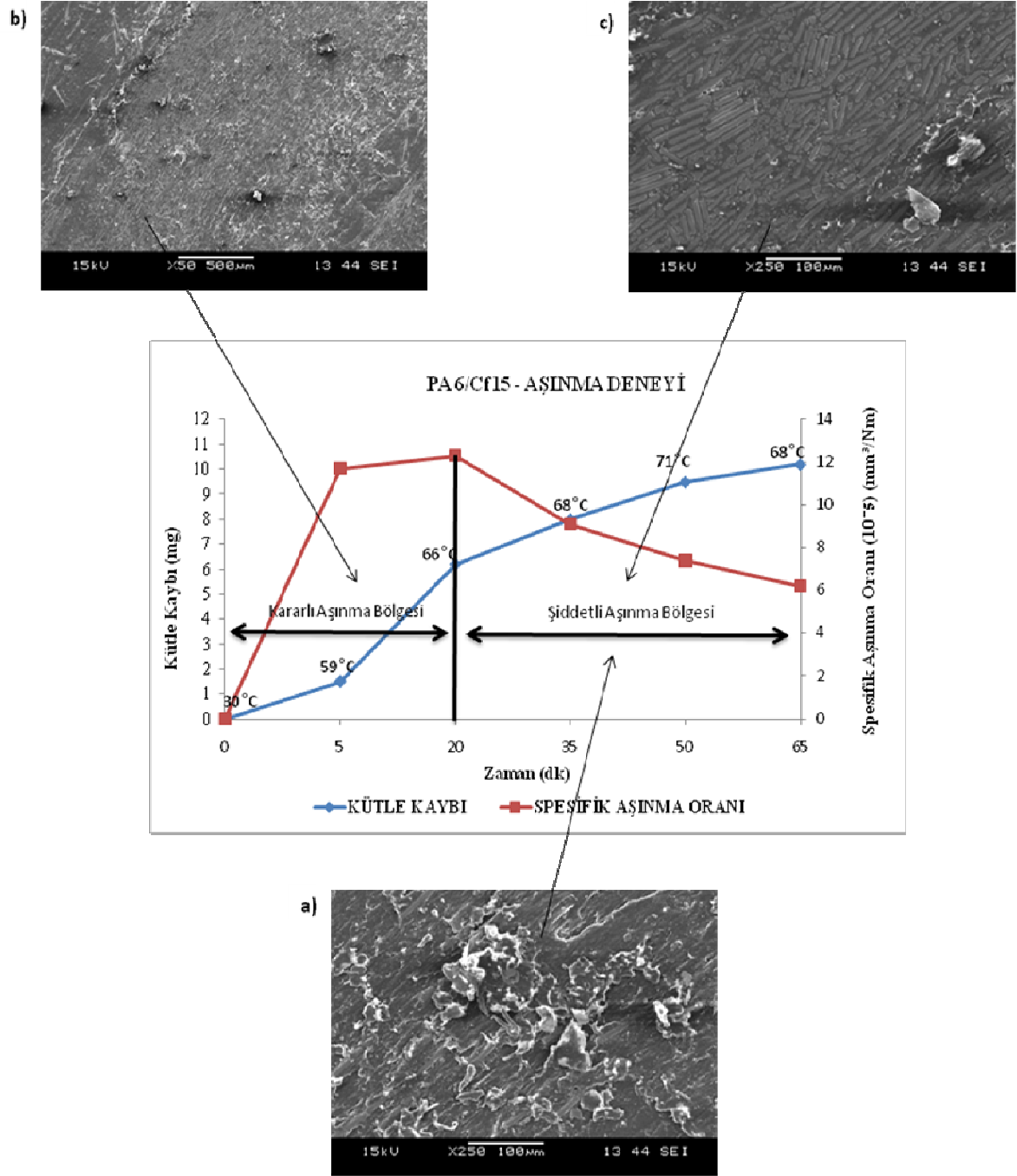
PA6/Cf15'in kayma süresine göre kütleli aşınma kaybının ve spesifik aşınma oranının değişimi ve aşınma bölgeleri Şekil 6.11'de görüldüğü gibidir. Şekilde 6.11'de işaretlendiği gibi 0-20dk arası KA bölgesi, 20dk'dan sonra ŞA karakteri göstermektedir.

Bu bölgelerde tanımlanan aşınma safhaları, yüzey sıcaklığı ve SEM görüntülerine göre belirlenmiştir.

Aşınmanın erken evresinde, yüzey sıcaklığının (65°C civarı) olduğu durumda, plastik deformasyon izi belirsizdir ve beyaz kılcal çatlak izlerin baskın olduğu görülmektedir. Bu izlerin kayma yönünde, kayma yönüne dik ve bir kısmı da kenara yönelmiş durumdadır (Şekil 6.11 b).

Kayma süresinin artmasıyla (KA), sürtünmenin etkisiyle yüzey sıcaklığı artmaktadır (70°C civarı). Bunun neticesinde matriste kısmen ergime bölgeleri görülmektedir. Yüzeyde görülen dikey kılcal çatlaklar belirgin hale gelmiştir. Fiberlerin matristen ayrıldığı ve kırıldığı seçilmektedir. Bazı bölgelerde bu dikey ve yatay çatlaklar aşınma partikülüne dönüşmektedir.

ŞA olarak tanımladığımız bölgede ise KA'dakine benzer mekanizmalar daha da baskın hale gelmiştir. Yüzeydeki bozunum, yırtılmalar, kısmi ergimeler ve oluşan aşınma partikülleri hem boyut hem de miktar olarak arttığı açıkça görülmektedir. (Şekil 6.11 a, c). Ayrıca fiberlerin matristen ayrıldığı, kırıldığı ve yapı içinde sürüklendiği açık biçimde görülmektedir.



Şekil 6.11 PA6/Cf15 80N yük altında zamana bağlı olarak kütle kaybı, şififlik aşınma oranı ve aşınma safhası değişimi.

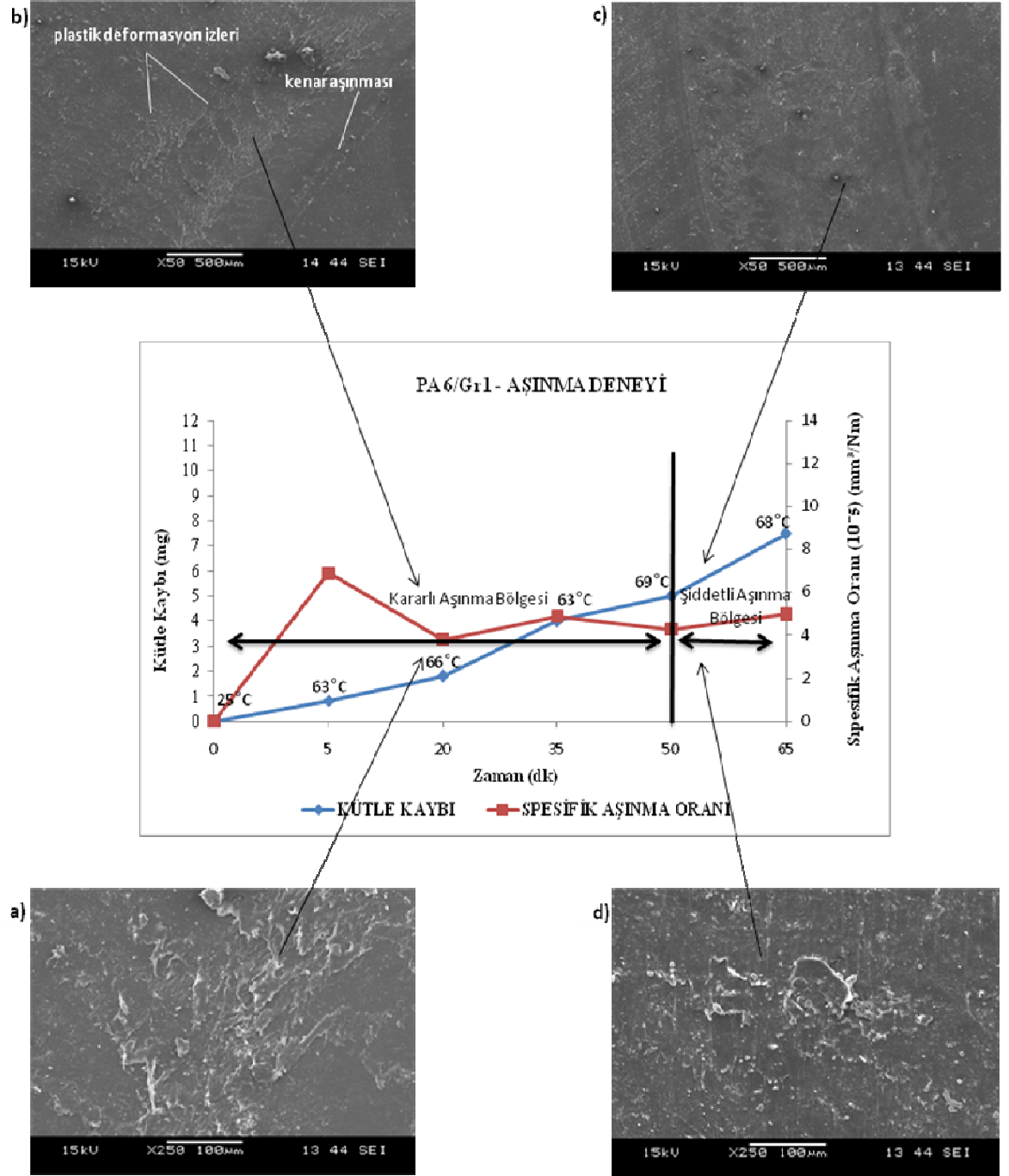
PA6/Gr1'in kayma süresine göre kütleli aşınma kaybının ve spesifik aşınma oranının değişimi Şekil 6.12'de görüldüğü gibi, kararlı aşınma (KA) ve şiddetli aşınma (ŞA) bölgeleri ayırt edilmektedir. Şekilde 6.12'de işaretlendiği gibi 0-50dk arası KA bölgesi, 50dk'dan sonra ŞA karakteri göstermektedir.

Bu bölgelerde tanımlanan aşınma safhaları, yüzey sıcaklığı ve SEM görüntüleriyle de desteklenmektedir.

PA6/Gr1 yük ve kayma etkisiyle yüzey sıcaklığındaki artış, yüzeyde grafitin varlığı nedeniyle daha düşük olmuştur. Aşınmanın erken evresinde, yüzey sıcaklığının (50°C'nin altında) düşük olduğu durumda, çok hafif dalgalar şeklinde, kayma yönünde eğrisel plastik deformasyon izleri görülmektedir. Bununla beraber kayma yönüne dik ve göreceli daha uzun beyaz kılcak izler saptanmıştır. Bu izler muhtemelen aşınma partikül oluşumunun başlangıç noktalarıdır. Yumuşayan ve plastik deformasyona uğrayan ince yüzey filmi, karşı malzemenin sıkıştırması ile kenara doğru sürüklenmektedir. Bu sürüklenme neticesinde, ince ve sürekliliği olan kenar aşınması gözlenmektedir (Şekil 6.12 b)

Kayma süresinin artmasıyla (KA), sürtünmenin etkisiyle yüzey sıcaklığı az da olsa artmaktadır (60 °C civarı).

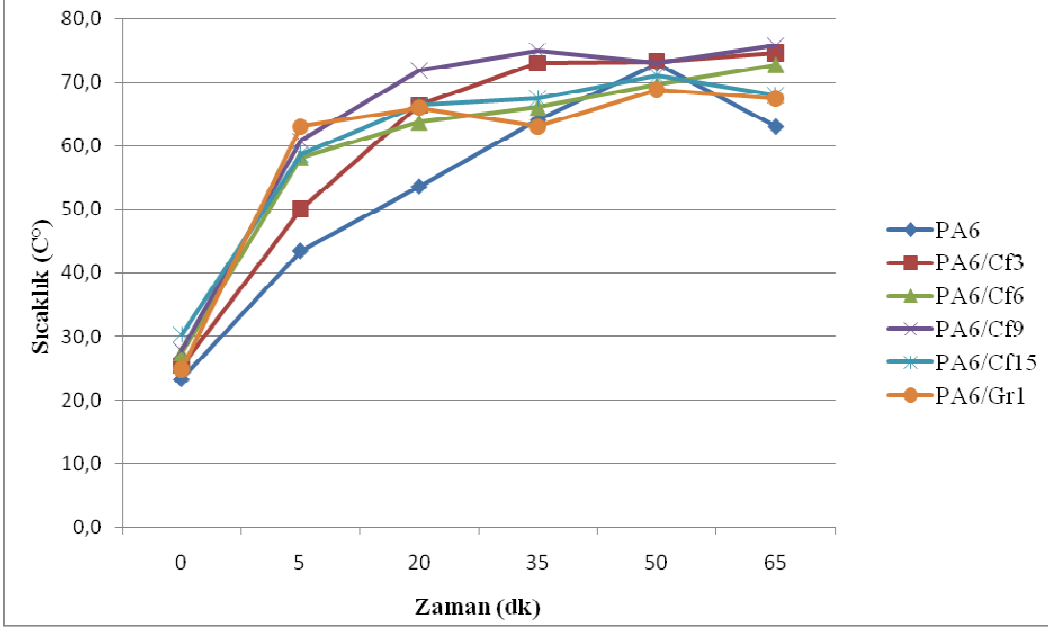
ŞA olarak tanımladığımız bölgede ise benzer mekanizmalar biraz daha baskın hale gelmiştir. Yüzeyde kısmi bozunum ve aşınma partiküllerine rastlanmaktadır (Şekil 6.12 d).



Şekil 6.12 PA6/Gr1 80N yük altında zamana bağlı olarak kütle kaybı, spesifik aşınma oranı ve aşınma safhası değişimi.

6.3.1 Sıcaklık

Fiber takviyeli olanların ara kayma sürelerinde oluşan yüzey sıcaklıklarındaki artış farklılıkları, yüzeyde oluşan aşınma değişkenlerinin daha baskın olmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 6.13).



Şekil 6.13 Aşınma süresince infaredle ölçülen yüzey sıcaklıkları.

7. DEĞERLENDİRME

7.1 Fiber Takviyesinin Basma Dayanımı ve Yüzey Sertliğine Etkisi

Genel olarak fiber takviyenin artışıyla PA 6'nın basma dayanımı artmaktadır. Bu artış takviye oranıyla orantılıdır. Dayanım artışı yalnızca takviye miktarının artmasına bağlı değildir. Bu faktörlerin (üretim koşulları) etkinliğine göre farklı neticeler elde edilebilir. %3 takviyeli olanda bu artışın fark edilememesinin sebebi diğer faktörlerin daha etkin olmasındandır.

Deformasyon oranları ise çok küçük farklılıklar göstermektedir. Bu durum sertlik değerlerine de yansımıştır. Yüzey sertlik değerleri de basma dayanımı gibi fiber takviye oranıyla orantılı olarak az da olsa artmaktadır. Aşınma deneyi sonrası ölçülen yüzey sertlik değerleri düşük bulunmuştur. Bu düşüş fiber takviyeli olanlarda oldukça belirgin olup aradaki fark daha fazladır. Takviye oranının artışıyla bu farkın artması, aşınma sonrası fiber takviyesinin güçlendirme etkisinin yok olduğunun göstergesidir. Bu durum, fiber takviyelerinin sürtünme sırasında ısı artışından kaynaklanmaktadır. Yüzeyde kısmi erimeler ve yumuşama olmaktadır. Böylece fiber-matris ilişkisi kopar ve fiberler yük taşıma görevini yerine getiremez.

7.2 Fiber Takviyelerinin Aşınma Mekanizması

PA6/Cf takviyeli kompozitler, yük ve kayma etkisiyle yüzeyde sürtünmeler ve dolayısıyla yüzey sıcaklığında artışlar meydana gelmektedir. Yüzey sıcaklığındaki artış, yüzeyin direncini artıran fiber takviyelerinin sürtünme direnci ile daha fazla olmaktadır. Bu durum fiber takviyeli kompozitlerin aşınma esnasında ölçülen yüzey sıcaklığının neden daha fazla olduğunu açıklamaktadır.

Fiber takviye oranının artışıyla sürtünme sırasında ortaya çıkan yüzey ısı artmaktadır. Bu yüzey ısı yüzeyin daha fazla yumuşamasına sebep olmaktadır. Bu süreçte, fiberlerle matris ara yüzeyinde kısmi ergimeler ve yırtılmalar gözlenmektedir. Ara yüzeyin zayıflaması ile ara yüzey bağ niteliğini yitirmektedir. Böylece, fiberler matristen ayrılarak, bağımsız hale gelmektedir. Devamında fiberlerin gevrek kırıldığı ve parçalandığı SEM görüntülerinde açıkça görünmektedir. Sökülen ve kırılan fiberler, yumuşamış PA 6 matrisinin yüzeyinde

kayma etkisiyle yer değiştirmektedir. Bu yer değiştirmenin y6nu kenar aşınmasının olduğu, plastik deformasyonun yığıldığı kenara doğrudur.

Kaymanın ardışık g6r6nt6leri yukarıdaki s6reci yansıtmaktadır (şekil 6.7, şekil 6.8, şekil 6.9, şekil 6.10 ve şekil 6.11).

7.3 Grafit Takviyesinin Etkisi

Grafit takviyesi ile PA 6'nın akma dayanımı ve deformasyon oranı çok az da olsa d6řm6řt6r. Ancak bu durum 6nemli bir fark yaratmamıştır. Bu verilere g6re anlamlı bir netice çıkarmak s6z konusu değildir.

Grafit takviyeli numunenin aşınma deneyi 6ncesi y6zey sertliği PA 6'nın y6zey sertliğine çok yakın olup y6zey sertliği bakımından etkin olmadığı g6r6lm6řt6r. Aşınma deneyi sonrası 6l6len y6zey sertliği en az değişen grafit takviyeli olandır. Bu durum grafitin y6zey yağlayıcı 6zelliğinden kaynaklanmış olup s6rt6nme 6zelliklerini geliştirdiğini g6stermektedir. Aşınma sırasında y6zey sıcaklığının g6receli olarak d6ř6k (60⁰C) olması grafitin yağlayıcılık 6zelliğinin bir başka kanıtıdır. Grafitin var olması durumunda s6rt6nme katsayısı d6şmekte dolayısıyla s6rt6nme ısısı azalmakta b6ylece ısı etkisine bağlı aşınma mekanizmaları engellenmektedir.

Yapılan aşınma deneyleri neticesinde, grafit takviyesinin aşınma kaybının PA 6'dan az da olsa y6ksek çıkması, grafitle PA 6'nın yeteri kadar kuvvetli ara y6zey oluşturamadığının g6stergesidir (şekil 6.12). Bu durum basma ve sertlik dayanımının d6ř6k olmasıyla da desteklenmektedir.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada matris malzemesi olarak Poliamid 6, takviye malzemesi olarak farklı oranlarda cam fiber ve grafit kullanılmıştır. Yapılan deneylerde numune bazlı aşınma safhaları, sertlik değişimleri ve basma dayanımları incelenmiştir.

Bunlara göre şu sonuçlar elde edilmiştir:

1. Cam fiber takviyesinin oranı arttıkça PA 6'nın yüzey sertliği ve basma dayanımı artmaktadır.
2. Cam fiber takviyesi ile PA 6'nın iyi bir matris –takviye çiftidir.
3. PA6/Cf kompoziti enjeksiyonla başarılı bir şekilde üretilebilmektedir.
4. Cam fiberler aşınma esnasında yüzey ısısını artırmaktadır.
5. Cam fiberler aşınma esnasında yüzey sıcaklığının artmasına sebep olmaktadır.
6. Cam fiberler aşınma esnasında yüzeyin yumuşamasına sebep olmaktadır.
7. Cam fiberler, artan yüzey sıcaklığında ve yüzeyin yumuşadığı durumda matristen ayrılmaktadır ve aşınmayı artırmaktadır.
8. Cam fiberlerin matristen ayrılmasıyla aşınma mekanizması; fiberlerin kırılması, matris içinde bağımsız hareket etmesi ve bu süreçte yüzeyi tahrip etmesi şeklinde gelişmektedir.
9. PA 6 aşınma esnasında yüzey sıcaklığının artmasıyla beraber, yüzey yumuşamakta ve plastik deformasyon artmaktadır.
10. PA 6'nın yüzey sıcaklığı arttıkça, kısmi erimeler ve yeniden katılaşmalar meydana gelmektedir.
11. Plastik deforme olan yumuşak yüzey tabakası kenara doğru sürüklenmekte ve kenar aşınması şeklinde gelişmektedir.

12. Aşınmanın erken evrelerinde yüzeydeki fiber takviyeleri kılcal çatlakların başladığı noktaları işaret etmektedir. Bu noktalar diğer yüzey faktörleriyle birlikte, fiberlerin ayrılmasına sebep olmaktadır.

13. Matristen ayrılan fiberler gevrek kırılarak kenara doğru sürüklenmektedir.

14. Kenara sürüklenen fiber kırıntıları yüzeyi ciddi şekilde hasara uğrattırırken aynı zamanda kenar aşınmasını artırmaktadır.

15. Grafit takviyesi aşınma esnasında yüzeyin ısınmasını düşürmektedir. Ve yüzeyde yağlayıcı etkisi göstermektedir.

16. Mevcut enjeksiyon üretim değişkenlerine göre, grafit takviyesi PA 6 matris uyumu yeterli görülmemektedir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre şu öneriler ileri sürülebilir:

1. PA 6 malzemesinin mekanik özellikleri takviye malzemesiyle artırılabilir ve birçok makine parçası yerine kullanılabilir.

2. PA 6 matrisli cam fiber takviyeli kompozitler enjeksiyonla üretimi son derece başarılı olup, üretim değişkenleri kontrol edilerek daha da geliştirilmelidir.

3. PA 6 matrisli grafit takviyeli kompozitler enjeksiyonla üretim değişkenleri kontrol edilerek iyileştirilmelidir.

4. PA 6 matrisli cam fiber takviyeli kompozitlerin sürtünme ve aşınma elemanı olarak kullanılması için ya yüzey özellikleri geliştirilmeli ya da yüzeyde soğuma ve yağlama etkisi yaratacak bir ara faz da kullanılmalıdır.

KAYNAKLAR

- A.S.M.**, 1984, International, Composite materials I the basics, Materials Engineering Institute, Ohio 10-15p.
- Akkurt M.**, 2000, Makine Elemanları Kitabı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Aksulu, M.**, 2007, Polimerlerin aşınmasında karşı yüzey pürüzlülüğünün etkisi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Andreeva ,M.B., Novotortzeva,T.N., Kalugina, E.V., Tochin, V.A., Gurinovich, L.N., Andreeva,T.I., Kalinina, I.G., Gumargalieva, K.Z., Zaikov, G.E.**, 2000, Improvement of compatibility in glass-reinforced PA6/PP blends, Polym.–Plast. Technol. Eng., 39(3), 513–528p.
- Arıkan, A.**, 2001, Flexibility Improvement of Short Glass Fiber Reinforced Epoxy, Yüksek Lisans Tezi , ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Asi, D.**, 2008, Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin aşınma performansının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Atakok G.**, 2003, Döküm Poliamid Malzemelerin CNC Takım Tezgahlarında İşlenebilirliği , MÜ., Yüksek Lisans Tezi İstanbul.
- Bayer, R.G.**, 2004, Mechanical Wear Fundamentals and Testing, Chapter 3: Wear mechanisms.
- Billmayer F. WW.**, 1990, Textbook of Polymer Science, John Wiley & Sons Inc., Canada, 407-413p.
- Chawla, K.K.**, 1987, Composite Materials Science and Engineering, Springer Verlag New York Inc., 140-283p.
- Çağlarer, E.**, 2004, Plastik esaslı kompozit malzemelerde takviye türü ve oranına bağlı olarak çeşitli ortam koşullarında elektriksel özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

KAYNAKLAR (devam)

Çögür, T., 2007, Toz Alev Spreyleme Yöntemi Kullanılarak Kaplanan Farklı Malzemelerin Aşınma Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Dekker, M., Kumar, A., Gupta, R., 2003, Fundamentals of Polymer Engineering - 2nd Edition.

Deniz, S., 2006, Polimer malzemelerin enjeksiyonda birleşme izlerinin mekanik davranışlara etkilerinin deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Güllü, A., Özdemir, E. ve Demir H., 2001, Enjeksiyon parametrelerinin cam elyaf takviyeli polipropilen (PP) ve naylon 6 (PA6) kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisinin araştırılması, Nigde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 5, Sayı 1., 11-19s.

Güllü, A., Özdemir, A. ve Özdemir, E., 2006, Experimental investigation of the effect of glass fibres on the mechanical properties of polypropylene (PP) and polyamide 6 (PA6) plastics, Materials and Design, 27, 316–323p.

İpek, R., 2007, Yüzey Mühendisliği ders notları, Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği.

Kahraman, M., 2009, Yüzeyi toz alev püskütme yöntemi ile kaplanan (WC, B4C, B4C - NiCrBSi) AISI 1040 çeliğinin aşınma mekanizmalarının deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Karaoğlu Y., 2006, Bir Aşınma Test Cihazının Tasarımı ve İmalatı, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Kaştan, A., 2005, Grafit katkılı nylon 6(poliamid 6)'nın aşınma davranışlarının deneysel incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

KAYNAKLAR (devam)

Kayrak, M.A., 1999. Havacılık Kompozitleri ve Mukavemet-Maliyet Analizleri. 1., Eskişehir., 39s.

Keskin S., 1989, Plastik İşleme Teknikleri ve Kalite Kontrol, Kimya Mühendisleri Odası, İstanbul , 142-145s.

Kishore, Sampathkumaran P., Seetharamu S., Murali A. ve Kumar R.K., 2001, "On the SEM Features of Glass-Epoxy Composite System Subjected to Dry Sliding Wear." Wear, 241, 208-213p.

Mazumdar, S.K., 2002, Composites Manufacturing, Materials, Product, and Process Engineering, New York, 4-5p.

Molnar, S., Rosenberger, S., Gulyas, J. and Pukanszky, B., 1999, Structure and impact resistance of short carbon fiber reinforced polyamide 6 composites, J. MACROMOL. SC1.-PHYS., B38(5&6), 721-735p.

Rouchan, J., 1987, Materiaux composites pour d'aeronefs, Ecole Nationale Superieure d'Ingenieurs de Constructions Aeronautiques, 95p.

Sayer, S., ve Özkan, E., 2007, Seramiklerin ve Polimerlerin Üretimindeki Benzerlikler ve Kombinasyonları, Bilim –Teknoloji Dergisi, No.22, 118-127s.

Sayer, S., ve Özkan, E., www.metrobay.com, 2007

Sayer, S., ve Özkan, E., www.azom.com /http://www.pennplastics.com/faq.htm, 2007

Schwartz, M.M., 1984, Composite Materials Handbook. 8-26s McGraw-Hill Inc.

Shipway, P.H., Ngao, N.K., 2003, Microscale abrasive wear of polymeric materials, Wear, 255, 742–750p.

Smith ,W. F., (Çeviri: Kınıkoğlu G. N.) (2001), Malzeme Bilimi ve Mühendisliği. Literatür Yayıncılık. İstanbul.

KAYNAKLAR (devam)

Stachowiak, G.W., Batchelor, A.W., 2001, Engineering Tribology, Butterworth Heinemann, Australia.

Surampadi, N.L., Ramiseti, N.K., and Misra, R.D.K., 2006, On scratch deformation of glass fiber reinforced nylon 66, Materials Science and Engineering A, 456, 230-235p.

Suresha, B., Chandramohan, G., Jawali, D. N., and Siddaramaiah, 2007, Effect of Short Glass Fiber Content on Three-Body Abrasive Wear Behaviour of Polyurethane Composites, Journal of Composite Materials, 41, 2701-2713p

Şafak, H.E., 2008, Yüzeyi PVD yöntemiyle kaplanmış metallerde tribolojik özelliklerin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Şahin, Y., 2000, Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Kitabevi, Ankara, 1-3, 65-66, 67-68, 87-88, 79-86, 38-41, 254, 211-215s.

Thomason, J. L., 2005, The influence of fibre length and concentration on the properties of glass fibre reinforced polypropylene. 6. The properties of injection moulded long fibre PP at high fibre content, Composites: Part A: Applied Science and Manufacturing, 36 (7): 995-1003p.

Thomason, J.L., and Ali, J.Z., 2009, The dimensional stability of glass-fibre reinforced polyamide 66 during hydrolysis conditioning, Composites: Part A 40, 625-634p.

Varelidis, P.C., Papakostopoulos, D.G., Pandazis, C.I., Papaspyrides, C.D, 2000, Polyamide coated Kevlar fabric in epoxy resin: mechanical properties and moisture absorption studies, Composites: Part A 31, 549-558p.

Yıldızhan, H., 2008, Polimer Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

KAYNAKLAR (devam)

Yılmaz F., 1997, Sürtünme ve Aşınma, Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 9. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi, İstanbul.

ÖZ GEÇMİŞ

Çiler TOĞUŞLU, 03.06.1985 İzmir doğumludur. 2000 yılında 60.Yıl Anadolu Lisesi'nde lise öğrenimine başlamış, 2003 yılında mezun olmuştur. 2007 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. 2008 Şubat ayında Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır. Halen Yüksek Lisans eğitimini sürdürmektedir.