

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇELİK YÜZEYİNDE “ASGARİ-AŞINMA” İDEALİNE
YAKIN ETKİLİ KOMPLEKS BAKIR BİLEŞİKLERİ İLE
DOLDURULMUŞ FİBER ESASLI KOMPOZİT
ÜRETİMİ**

Kimyager Baha BAĞHAKİ

**FBE Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Üretim Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU

İSTANBUL, 2009

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇELİK YÜZEYİNDE “ASGARİ-AŞINMA” İDEALİNE
YAKIN ETKİLİ KOMPLEKS BAKIR BİLEŞİKLERİ İLE
DOLDURULMUŞ FİBER ESASLI KOMPOZİT
ÜRETİMİ**

Kimyager Baha BAĞHAKİ

**FBE Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Üretim Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ.....	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1 GİRİŞ.....	1
2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	2
2.1 Sıfır Aşınma Limiti.....	2
2.2 Yağlamasız Yüzeylerde Kaydırma Yasaları.....	3
2.3 Yağlamalı Yüzeyler için Sürtünme Yasaları	3
2.4 Sürtünme Katsayısı Tanımı	4
2.5 Sürtünme Tanımları	5
2.6 Sürtünmenin Mekanizması	6
2.6.1 Adhesyon Aşınması	6
2.6.2 Abrasyon Aşınması	7
2.6.3 Erozyon Aşınması	8
2.6.4 Delaminasyon Aşınması.....	8
2.6.5 Kimyasal Aşınma.....	8
2.6.6 Sürünme Sonucu Aşınma.....	9

3	KOMPOZIT MALZEMELER.....	14
3.1	Aşınma Sistemlerinde Polimerlerin Etkisi.....	16
3.2	Polimer Kompozitleri.....	18
3.3	Polimer Kompozitlerinde Bağ İlişkileri ve Sürtünmenin Etkileri.....	19
3.4	Kaplamalarda Termoplastik Polimerlerin Etkisi.....	21
3.5	Termoset malzemeler	22
3.6	Substitüsyon Tepkimeleri.....	24
3.7	Aşınmasız Kaydırma Sürtünmesi için Yumuşak Konfigürasyon Modeli.....	25
4	MAKASLAR.....	26
4.1	Makasın Bölümleri.....	26
4.1.1	Dil Takımı.....	26
4.1.2	Ara Raylar.....	27
4.1.3	Göbek ve Kontraylar.....	27
4.2	Çelik Ray Kayma Yatağı Şekilleri.....	27
5.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	29
5.1	Ray Makas Yatağının Karşıt Profilin Hazırlanması.....	29
5.2	Kaplama için Bakır ile Kompleks Oluşturacak Molekülün Sentezlenmesi.....	30
5.3	Bakırlı Kompleksin Hazırlanması.....	30
5.4	PTFE Yüzeyinin Hazırlanması	30
5.5	PTFE Yüzeyinin Dağlanması	31
5.6	PTFE Yüzeyinin Akriliklenmesi	31
5.7	Matrisin Hazırlanması ve Çelik Üzerine Uygulanması	33
6	SONUÇLAR.....	36
	KAYNAKLAR	44
	ÖZGEÇMİŞ.....	47

SİMGE LİSTESİ

F	Baskı Kuvveti
H	Sertlik
K	Aşınma Katsayısı
N	Normal Yük
μ	Sürtünme Katsayısı
P	Basınç
S	Malzemenin Aşınma Direnci
S	Kaydırma Mesafesi
v	Kaydırma Hızı
V	Aşınma Hacmi

KISALTMA LİSTESİ

PAA	Poliakrilik asit
PSAA	Polisalisil akrilamid
PTFE	Politetrafloroetilen

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 İleri geri sürtmede yapışan yüzeylerin dikey kesiti.....	7
Şekil 2.2 Adhesyon aşınmasında pürüz teması.....	7
Şekil 2.3 Aşınma ile yüzeyden kütle kalkması.....	10
Şekil 2.4 Yüzey hasarı ile malzemenin karşıt yüzeyde toplanması birikmesi.....	10
Şekil 2.5 Korozyon nedeniyle yüzeyde kimyasal reaksiyon gerçekleşmesi.....	10
Şekil 2.6 Yüzey hasarının etkileri hasarlı bir yüzeyi teşhis ederken malzemenin ömür limiti problemi ile karşılaşılır.....	11
Şekil 3.1 Kompozit Tipleri	14
Şekil 4.1 Ray makası ve ray makası kayma yatağı	27
Şekil 4.2 Ray makas kayma yatakları mavi ile gösterilmiştir.....	27
Şekil 4.3 Ray makas kayma yatağı kesiti.....	28
Şekil 4.4 Tekerlekli ray makas kayma yatağı kesiti	28
Şekil 5.1 Ray makas kayma yatağı karşıt parçası kesiti SolidWorks programı çizimi.....	29
Şekil 5.2 Taşlanmış ray makas yatağı.....	29
Şekil 5.3 Polipropilen kapta inert gaz azot gönderilerek dağlama işlemi yapılmıştır.....	31
Şekil 5.4 Hazırlanan PTFE-Polisisil akrilamidin açık formülü.....	32
Şekil 5.5 PTFE-Polisisil akrilamid sentezi reaksiyon düzeneği.....	32
Şekil 5.6 Ray makas kayma yatağı karşıt parçasına PTFE bazlı bakır kompleks doldurulmuş kompozit 160 °C sıcaklık ve 0,25 MPa basınca 2 saat maruz bırakıldı.....	34
Şekil 5.7 Ray makas kayma yatağına bu preste PTFE bazlı bakır kompleks doldurulmuş kompozit 160 °C sıcaklık ve 0,25 MPa basınca 2 saat maruz bırakıldı.....	35
Şekil 5.8 Ray makas kayma yatağı (sağda) ve karşıt parçasına (solda) PTFE bazlı bakır kompleks doldurulmuş kompozit 160 °C sıcaklık ve 0,25 MPa basınca 2 saat maruz bırakıldı. Aynı basınç altında 24 saat soğumaya bırakıldı.....	35
Şekil 5.9 Ray makas kayma yatağı karşıt parçasına üstteki preste işlem uygulanarak PTFE bazlı akrilonitril bütadien içeren yapı hazırlandı.....	35

Şekil 6.1’de işlem yapılmadan önce PTFE 1100 cm^{-1} ’de F piki verir.....	38
Şekil 6.2’de işlem yapılmadan önce saf poliakrilik asitin 2900 de C-H bağı ve 1800 cm^{-1} de C=O çift bağı verir.....	39
Şekil 6.3’de ise dağlama işleminin bir yüzeye yapıldığı ve 1700 cm^{-1} de C=O çift bağ içeren diglyme ve 2924 cm^{-1} de naftalen piklerinden anlaşılmaktadır.....	40
Şekil 6.4’den akriliklemenin PTFE yüzeyinde C-H bağlarının oluştuğu 2928 cm^{-1} de ve 1700 de C=O bağlarının oluştuğu piklerden anlaşılmaktadır.....	41
Şekil 6.5’de PTFE üzerinde polisilisil akrilamid oluştuğu N-H bağlarının 3300-3200 cm^{-1} de oluştuğundan anlaşılmaktadır.....	42
Şekil 6.6’da bakırlı kompleksin PTFE üzerinde oluşturulduğu halka kapanmasının gerçekleştiği piklerin %85’den %95 ‘e geri çekilmesinden ve N-H bağ piklerinin bulunmasından anlaşılmaktadır.....	43

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Aşınma tipleri ve aşınma katsayısı aralıkları.....	5
Çizelge 3.1 Çeşitli malzemelerin üzerinde kayan polimerler için sürtünme katsayısı tablosu aşağıda verilmiştir.	17
Çizelge 3.2. Kendinden yağlamalı kompozitler ve kullanım alanları	18
Çizelge 3.3 Çelik yüzeyi ile temas eden metalik ve polimerik mil yatakları	19

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tezinde asgari aşınma idealine uygun özellikte kaplanmış çelik numunesi üzerine odaklanılmıştır. Bu kapsamdaki bilgi birikimi mevcut literatürden yararlanıldı. Bu tür kompozit kaplama hakkında yayınlanan yayınlar incelendi. Asgari aşınma ideali için gerekli bileşenler kullanılarak kaplama yapılmıştır. Bu kapsamda yapılan uygulamalar, kullanılan kimyasallar ve bunlarla yapılan sentezler, kullanılan infrared spektroskopik incelemeler ile yaptığımız literatür araştırmasının sonuçları verilmiştir. İlgili açıklamalar yapılarak asgari aşınmalı kaplama konusu ele alınacaktır.

Bu çalışmanın hazırlanmasında desteğini esirgemeyen Sn. Prof. Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU'na, laboratuvar imkanlarını sunan Yıldız Teknik Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği ile Kimya Bölümlerine, İstanbul Büyükşehir Belediyesi ve İstanbul Ulaşım Anonim Şirketi'ne eğitimimde emeği geçen saygıdeğer hocalarıma ve yüksek teknolojik yerli üretim imkanlarını seferber eden KAFSAN Endüstriyel Kaplamalar şirketine ve ARSAN Kauçuk şirketine tabî ki hayattaki en değerli varlığım Aileme çok teşekkür ederim.

Baha BAĞHAKİ

2009

ÇELİK YÜZEYİNDE “ ASGARİ – AŞINMA*” İDEALİNE YAKIN ETKİLİ KOMPLEKS BAKIR BİLEŞİKLERİ İLE DOLDURULMUŞ FİBER ESASLI KOMPOZİT ÜRETİMİ

Baha BAĞHAKİ

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi

Bu yüksek lisans tezinde yapılan araştırma ve geliştirme çalışmasında çelik yüzeyinde kaplama yapılmıştır. Bu çalışmada “Asgari Aşınma*” ideal teorisine yakın aşınma etkisine sahip kompleks bakır bileşikleri ile doldurulmuş PTFE fiber esaslı kompozitlerin üretimi süreci ele alınmaktadır.

Hazırlanan fiber esaslı bakır doldurulmuş kompozit metale yapışmama nedeniyle PTFE bazlı akrilonitril bütadien ve fenol formaldehit katkılı kompozitler ray makas kayma yatağına ve karşıt parçaya 160 °C sıcaklık ve 10 MPa basınç uygulandı.

Kaplama ulaşımında önem taşıyan tramvayların yön değişimi için önemli olan ray makas kayma yatağı ve kayma yatağı üzerinde kayma hareketi yapan rayın tabanına hazırlanan çelik profil üzerine yapıldı. Kendinden yağlamalı PTFE polimer kaplaması hazırlanmış ve 6 adet ray makas kayma yatağına ve karşıt profile uygulanmıştır. PTFE bazlı kaplamanın üzerinden yağlamasız kaç adet ve ne kadar süre ile tramvayın geçeceğinin testi İstanbul Esenler Metro Tesisi ikinci ray makasında yapılacaktır.

Anahtar Kelimeler: “Asgari-Aşınma”ideal teorisine yaklaşım, Çelik, PTFE, Bakır, Kompleks, Fiber, Kompozit, Ray Makas Kayma Yatağı

JÜRİ:

1. Prof.Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU
2. Prof.Dr. Ahmet EKERİM
3. Prof.Dr Seyfettin ERTURAN

Kabul tarihi: 30.04.2009

Sayfa Sayısı: 47

ABSTRACT**PRODUCTION OF FIBER – BASED COMPOSITES FILLED WITH COMPLEX COPPER COMPOUNDS HAVING “ZERO-WEAR¹” IDEALITY NEARNESS EFFECT ON SURFACE OF STEEL**

Baha BAĞHAKİ

Metalurgy and Material Science Engineering, M.Sc. Thesis

In this master thesis article issues production of fiber –base composites filled with complex copper compounds having “Zero-Wear ” effect on surface of steel and during manufacturing process of friction resistant coating has a confirmation to updated research and development applications of tribology science.

PTFE fiber based composite filled with copper complex showed non- stickness behaviour on steel .In this case PTFE based acrylonitrile- butadien ,phenol and formaldehyde contain composites applied on railway switch sliding parts and opposite parts of railway body by 160 °C temperature and 10 MPa pressure.

This coating applied on rail sliding part and steel profile of counter body of tramways rail that this parts takes importance for crossing for tramways in transportation. Self lubricated coating PTFE polymer based coating prepared and it applied on rail sliding part with conjugated profile. The testing of PTFE based coating of railway sliding part will be made in the İstanbul Esenler Railway Station second railway switch about the number of tramway pass away each one and period.

Keywords: “Zero Wear ”, Steel, PTFE, Copper, Complex, Fiber, Composite, Railway Sliding Part

JÜRİ:

- 1 Prof. Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU
- 2 Prof. Dr. Ahmet EKERİM
- 3 Prof. Dr Seyfettin ERTURAN

Kabul tarihi:30.04.2009

Sayfa Sayısı: 47

1. GİRİŞ

Bu yüksek lisans tezi kapsamında asgari aşınma teorisine uygun bileşenleri içeren aşınma karşıtı kaplamanın yapılması hedeflendi. Kaplama, yapısı gereği aşınma dayanımı artırıcı bileşenler içermektedir. Kaplamanın yapımında mevcut literatürden yararlanıldı.

Yöntem olarak çelik yüzeyi temizlenip üzerine önceden hazırlanan bileşenler ilave edildi. Bu bileşenlerin bir kısmı bu yüksek lisans tezi kapsamında sentez edilirken belirli sayıda bileşen İstanbul Büyükşehir Belediyesinin desteği ile temin edilerek kullanıldı. Kapsam olarak kaplama içerisinde, matrise katılacak kompleks bileşikler ve kompleks bileşiklerin ligandı sentez edildi. Matris kapsamında polimerik maddelerden yararlanıldı. Termoplastik olarak politetrafloroetilen (C_2F_4)_n, akrilonitril kopolimer- bütadien kullanıldı. Böylece yüzey üzerinde özel bir katman oluşturuldu.

Triboteknik bakır koordinasyon bileşiği düşük moleküler ağırlıklı kompleksin ligand ile karışım içerisinde matrise katıldı. Bunun yanında termoset malzeme olarak fenol formaldehit reçine (2-metoksi-6-metilfenol) kullanıldı.

Bileşim cam fiber lifli çerçeve, emdirilmiş Politetrafloroetilen, akrilonitril bütadien kauçuk ve fenolformaldehit reçine doldurucu ve kompleks içerir. Kompleks eldesi için salisil aldehit ve para-anisidinden elde edilen ligand ve bakırlı kompleks eldesi için bakır-(II)-asetattan yararlanıldı. Polisalisilakrilamid yani, PTFE ile poliakrilik asidin beraber oluşturduğu polimeri içerir. Yani kullanılan kompleks yapıcı bileşenlerinin iki katı kadar bakır ve eşit molde paraanisidin ve salisil aldehit kullanılır. Yüzde olarak fenolformaldehit reçine %13 ve %7 akrilonitril kauçuk %70 PTFE ve %2 sentezlenen kompleksleri içerir Sentezlenen komplekslerin adı ve formülü salisilidin-para-metoksianilinatin iki değerli bakır kompleksi ($Cu-O-Ph-CH=N-Ph-OCH_3$) ve salisidin-para-metoksianilin ligandı ($HO-Ph-CH=N-Ph-OCH_3$) tür. (Kuzharov A.S 1993 , Pomogailo 1990)

2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Sıfır Aşınma Limiti

Sıfır aşınma limiti kantitatif olarak Bayer–Ku sıfır kayma aşınması teorisine göre bir cisim N defa geçtiğinde sıfır aşınma arz eder . Vuruş aşınmasında yüzey altı hasarı maksimum aşınma stresi gerçekleşir. Temas herhangi yarıлма ve yüzey hasarı kayma zamanı maksimum yüzey altı ve yüzey stresi uygun aralıkta tepki pulsarı gerçekleşir. Tekrar eden vuruşların metalik makine temaslarında aşınma izi oluşturma eğilimi yüksektir (Sosnovskii L.A.,1992).

Tribolojide yüzeyin durumu önem taşır. Çünkü yüzeyin mekanik özelliği ile yüzeyde yeniden yapılanma ve adhezyona neden olacak bileşenlerin bulunması hafif yüklemde etkileyici parametrelerdir. Yüksek yüklemde ise bu parametrelerin yerine elastik ve plastik deformasyon etkilidir.

Tribolojinin beş esası bulunur. Bunlar yüzeyin çevresi ile ara etkileşimi, yağlama ve yağlayıcılar, ara yüzlerdeki kuvvetlerin yenilenmesi ve geçişi, ara yüzde kuvvet yenilenmesi ve malzemenin tepkisi ve son olarak tribolojik sistemlerin tasarımıdır. Sürtünme sonucunda kayan ara yüzeylerden enerji açığa çıkar. Bu enerji çeşitli değişimlere neden olur. Sürtünme şunlardan etkilenir:

- *Sürtünen parçalarda oluşan tanecikler ve dışarıdan katılan taneciklerin girişi ile ara yüzeylerdeki etkileşimlerinden,
- * Temas eden yüzeylerin sertliğinden ve dışarıdan uygulanan yüklemekten,
- *Sıcaklık ve yağlamanın yapılıp yapılmaması gibi çevresel faktörlerden,
- *Yüzey topografisinden, mikro yapı ve malzeme topografisinden,
- *Temas alanından ve yüzeyde temas alanındaki kinematikten,
- *Yüzeyler arası bağıl hareketten (Sürtünme iki yüzeyin birbirine teması sonucu oluşan bağıl kuvvettir).

Sürtünme katsayısı $\mu = \text{Tanjantal kuvvet} / \text{Normal yükleme}$ olarak gösterilir. Sürtünme kuvveti normal kuvvetle orantılıdır. Normal yükleme yüzeye dik gelen kuvvettir. Uygulamada sürtünme genellikle istenmez. Kesin uygulamalarda ekipmanlar ve millerde sürtünme istenmez. Çünkü ısı artar ve tahribata neden olur. Isıl kayıplar aşınmaya ve tahribata neden olur (ASM International, 1992).

2.2 Yağlamasız yüzeylerde kaydırma yasaları

Kuru veya yağlayıcısız yüzeyler için üç yasa bulunmaktadır. Yağlayıcısız yüzey veya kuru yüzey üzerinde sürtünme kuvveti ve kaydırılan nesnenin ağırlığı;

a) Düşük basınçlar için (alan başına normal kuvveti) sürtünme kuvveti yüzeyler arası normal yüküdür. Basınç artarsa sürtünme orantılı olarak artmaz. Basınç oldukça yüksek olursa yakalama bağ kurma gerçekleşir.

b) Sürtünme kuvveti / yükleme sürtünme katsayısını verir. Sürtünmenin toplam miktarı alandan bağımsızdır. Böylece normal kuvveti aynı kalır. Bu yalnız orta basınçlar için geçerlidir. Yüksek basınçlar için ilk haline geri döner.

c) Oldukça düşük hızlarda sürtünme kuvveti sürtme hızdan bağımsızdır. Hız artarsa sürtünme azalır. Üçüncü yasa şunu ortaya koyar: Sürtünme kuvveti cisim hareketinde tutmak için gerekli kuvvet kadardır. Fakat hareket halindeki bir cisim için hıza bağlı olarak gerekli kuvvet kadar sürtünme kuvveti mevcuttur. Bundan dolayı iki çeşit sürtünme mevcuttur. Statik ve kinetik sürtünmedir. Statik sürtünme harekete başlamak için gerekli kuvvettir. Kinetik veya dinamik sürtünme ise hareketi devam etmesi için gerekli kuvvettir.

2.3 Yağlamalı yüzeyler için sürtünme yasaları

a) Aşınma dayanımı yağlayıcılı yüzeylerde basınca bağlı değildir. Eğer yüzey yağ ile kaplanmış ise sürtünme düşük basınçlarda iken sürtünme hızı 0,6096 m/sn. daha yüksek hızlarda sürtme hızının karekökü ile bağlantılıdır.

b) İyi yağlanmış yüzeylerde sürtünme dayanımı büyük ölçüde sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık yağın viskozitesini değiştirmektedir. Yatak çapı arttıkça sıcaklık artmaktadır. Şaft çapı yan basıncı açığa çıkartmaktadır. Eğer yatak yüzeyi yağ ile kaplanmışsa sürtünme malzemenin cinsinden bağımsızdır. Yağlama geniş değil ise sürtünme yüzeydeki malzemenin cinsine bağlıdır.

2.4 Sürtünme katsayısı tanımı

Sürtünme katsayısı malzemenin cinsine bağlıdır. Sürtünme katsayısını gösterir çeşitli tablolar bulunmaktadır. Çeşitli bileşimde malzemeler bulunmaktadır. Sürtünme katsayısı temiz kuru yüzeyler ve yağlanmış yüzeyler için tablolar haline getirilmiştir. Önemli ve dikkat edilmesi gereken sürtünme kuvveti yüzeyin cinsine göre değişmektedir.

Temas noktalarında sürtme etkisi ile ikiz parçaların birbirine bastırılması ile adhesyon oluşur. Bu etki devam ettikçe soğuk sürtme, basınç ve sıcaklıktan daha etkindir. Aşındırıcı kuvvet soğuk sürtülmüş yüzeyler için geçerlidir. Aşınma dayanımı ve basınç öncelikli olarak yağlama aşınmayı kaydırma esnasında azaltır. Aşınma dayanımı düşük aşınma dayanımı ve düşük sürtünme katsayılı malzeme girişi ile başarılıdır. Bu koşullarda ikincil ilişki olan sürtünme katsayısı $\mu=S/P$ ile gösterilir. S malzemenin aşınma dayanımı P basınçtır veya baskı kuvvetidir. Bu ilişki sürtünme katsayısı kuvvetin bir fonksiyonudur.

Yatak malzemesi olarak seçilen maddelerin sürtünme katsayısının düşük olması, yataklanan yüzeyin hareketini kolaylaştırdığı gibi aşınmaları da minimuma indirir. Ayrıca hareket için gereken enerjinin az olması hassas ve düşük basınçlı sistemlerde tercih sebebidir. Öncelikle PTFE (Politetrafluoretilen) yataklar bu uygulamalar için çok elverişlidir. Sırası ile donatılı fenol reçine yataklar gelir. Yağlamalı ortamda sürtünme katsayıları PTFE / 0,05 – 0,09 , Fiber / 0,08 dir. Çizelge 2.1’de aşınma tipleri ve aşınma katsayıları verilmektedir. (Arevyan, 1999).

Çizelge 2.1 Aşınma tipleri ve aşınma katsayısı aralıkları K boyutsuzdur (MIT Üniversitesi 2004)

Sınıflandırma	Aşınma Mekanizması	Aşınma katsayısı K
Aşınma malzemenin mekanik davranışına göre baskındır.	1 Boşluk deformasyonu ve kalkması 2 Sürme ile oluşan aşınma 3 Delaminasyon 4 Yapışma aşınması 5 Abrasif aşınması 6 Sürtme aşınması	10^{-4} 10^{-4} 10^{-4} 10^{-4} $10^{-2} - 10^{-1}$ 10^{-6} den 10^{-4} mertebeleri arasında sisteme bağlı olarak değişir.
Aşınma malzemelerin kimyasal davranışı ile baskın olarak gerçekleşir.	1 Çözelti aşınması 2 Oksidasyon aşınması 3 Diffüzyon aşınması 4 Yüzey tabakasının erimesi yolu ile aşınma 5 Yüksek sıcaklıkta yapışma aşınması	Aşınma katsayısı K $K = \frac{3 \text{ (Aşınma Hacmi)} \times \text{(Sertlik)}}{\text{(Normal yük)} \times \text{(Kaydırma mesafesi)}} = \frac{3.V.H}{N.S}$ ‘ formülüne bağlı olarak değişir.

2.5 Sürtünme Tanımları

Sürtünme kavramının temelindeki terimlere bakılırsa sürtünme ölçümü verilen koşullarda daha geçerli yollarla gerçek sistemler olmaksızın ölçümü ve tahminidir. Örneğin sürtünme katsayısı eğim açısının tanjantıdır. Sürtünme algılama çeşitli sinyallerin kullanılarak gerçek zamanlı olarak robot kontrolünde üretim prosesleri yağlama sistemleri incelenmesidir (Suh, N. P., 1986).

2.6 Sürtünmenin Mekanizması

Aşınmanın evrensel tanımı olmamakla birlikte sürtünmenin tanımı kinetik enerji kaybıdır.

$$F = \mu * N$$

İfadesinden F sürtünme kuvveti μ sürtünme katsayısı ile yüzey tepkisinin çarpımıdır. Sürtünme katsayısı düşürülürse aşındırıcı yüzey tepkisi N, sabit F kuvvet altında azaltılır.

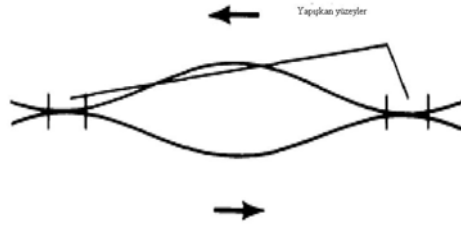
Spesifik kimyasal fiziksel veya malzeme ile ilgili mikroskobik olaylar sürtünmeye neden olur. Aşınma analizi ve uygun ölçek ve uygun perspektifte gözlemler sonucunda aşınma prosesi dört prensibi vardır.

- 1 Adhesif aşınma
- 2 Abresif aşınma
- 3 Yüzey tahribatı
- 4 Sürtme aşınması

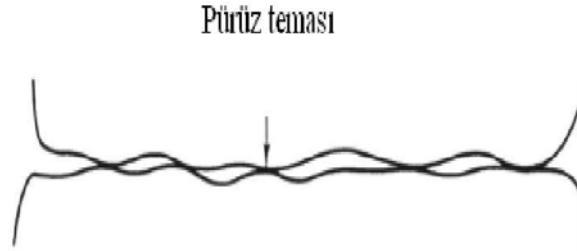
2.6.1 Adhezyon Aşınması

Adhezyon aşınması yapışma, ovalanma ve kavrama olarak bilinir. Normal kuvvetinin etkisi altında göreceli hareket yapması sırasında görülmektedir. Cisimlerin gerçek temas yüzeylerinin yüzey pürüzlülüğü sebebiyle aslında küçüktür. Bu noktalardaki gerilmeler çok fazla yük durumlarında dahi akma gerilmesi sınırına erişirler. Akarak plastik deformasyona uğrarlar. Cisimler birbirine mikro kaynaklar ile bağlanır. Bu sırada iki cisim arasında devam eden izafi hareket sebebiyle kaynak bağı kopması olur. Sonuçta diğer cisme göre yumuşak olan malzemeden imal edilen cismin yüzeyinde boşluklar oluşur. Diğer yüzeyde ise çıkıntılar meydana gelir ve iki yüzey arasında adhesif parçacıklar dökülür.

Adhezyon aşınmasında sayısız ufak boşlukların ve kopmuş malzeme parçaları arasında transfer gerçekleşir. Bu proses polimer malzeme aşınması döngüseldir. Bağımsız adhezyon olayı fiziksel, kimyasal, mekanik özellikler ile en üst tabakanın ve yardımcı operasyon malzemesinin yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır. Polimer malzemenin yüzey enerjisi ve yüzey pürüzlülüğü karşıt parçada adhezyon baskındır. Aşağıdaki şekillerde yapışan yüzeylerin adhezyon aşınması kesitleri verilmektedir (Bhushan B. 1999). Şekil 2.1 de ileri geri sürtmede yapışan yüzeylerin dikey kesiti görülmektedir. Şekil 2.2 de adhezyon aşınmasında pürüz teması gösterilmektedir.



Şekil 2.1 İleri geri sürtmede yapışan yüzeylerin dikey kesiti (ASM Friction ,Lubrication Handbook 1992)



Şekil 2.2 Adhesyon aşınmasında pürüz teması (Bhushan B. , 1999)

2.6.2 Abrasyon Aşınması

Abrasyon aşınmasında birbirine göre izafi hareket yapan iki cisim arasına çevre etkisi ile yabancı sert parçacıkların yumuşak yüzeye gömülerek sert yüzeyden zımparalarcasına malzeme kalkması esnasında gerçekleşir. Sert parçacıklar gömüldükleri yüzeyde tahribat yaparlar. Yüzeyi hareket yönünde çizerek. Makine elemanlarının yüzeyleri ısıtılma ile sertleştirilerek bu tür aşınmaya karşı önlem alınır.

Abrasyon aşınması öncelikle polimer malzemenin sürtülmesi belirli pürüzlülükte metal yüzeyine sürtünmesi (ray ve ray makas kayma yatağı gibi) sert malzemelerin pürüzlülükleri mikro kesici özelliktedir. Malzeme kaybı mikro talaşlı şekillenme çizme veya mikro bölgede güçlükle ilerleme esnasında oluşur. Abrasyon aşınması sert taneciklerin sürtünen yüzeyler tarafından tutulmasını sağlar. Karakteristik kooperasyonda plastik / metal çiftlerinin abrasyon aşınma ürünleri daha ufak malzeme boşlukları içine gömülür.

Sürtme aşınması iki yüzey arasında dairesel aşınmanın meydana gelmesidir. Çoğunlukla mil yataklarında gerçekleşir oysa bu miller aşınmaya karşı dayanıklı halde üretilmektedir. Aşınmanın neden olduğu parçalar hava etkisi ile oksitlenir. Oksitler kayma hareketi yapan malzemeden daha serttir. Bu oksitler abrasyon ile aşınmaya, tuz iseler korozyona neden olur. Uygulamada ray altına yapılan kaplamalarda kaplama yapılmayan kısım olan ray gövdesinden gelen demir oksitlerin ray makas yatağı üzerinde abrasyon aşınmasına neden olabilecek potansiyele sahiptir. Polimerik malzemelerde tribolojik proses nedeniyle gerçekleşen aşındırma çatlama, malzeme partiküllerinin parçalanması gerçekleşir. Yüzey adhesiyonunun tribokimyasal reaksiyonları temas yüzeyinde gerçekleşir. Titreşim adhesiyonu aşınma tahribatına neden olur. Bunun yanında sürtünme aşınması termal aşınma pürüz erimelerine neden olur. Listelenen aşınmalar asla ayrılamaz sürtünme koşullarında farklı modlar baskındır.

2.6.3 Erozyon Aşınması

Erozyon bir yüzeyde hızla püskürtülen katı parçacıkların, sıvı ve gaz jetlerinin o yüzeyi aşındırması ile kütle kaybına yol açmasıdır. Korozyonda ise kimyasal maddelerin katı nesnelerin yüzeyinde kimyasal etkileşim sonucu kütle yitirmesine neden olmaktadır. Paslanma ve eriyip yok olma korozyonun sonuçlarıdır. Erozyon aşınmasında döngüsel olarak çeşitli deformasyon en üst tabakada deformasyon gerçekleşir. Polimer malzemenin plastiklik niteliği makromoleküler çatlamlar moleküller kütleinin azalmasına neden olur. Mikro çatlaklar yüzey partiküllerinin mekanik adhesiyon ara etkileşimi sonuç olarak küçük malzeme kaybı erozyon olarak tanımlanır.

2.6.4 Delaminasyon Aşınması

Delaminasyon aşınmasında ise bir nesne başka bir nesne üzerine yük uygular. Yüzey altında oluşturduğu gerilme direnci üzerine çıkarak yüzey altında çatlaklar oluşturur. Bu çatlaklar yüzey altında ilerleyip yüzeye ulaştınca yüzey parçacıkları görünümünde serbest kalırlar. Yüzeysel yorgunluk nedeniyle katı malzemelerin etkisi altında bulunan gerilmenin sürekli olarak periyodik bir şekilde azalması sonucu olağan gerilme dirençleri daha az bir gerilme ortamında bile güçsüzleşip parçalanmaya başlayabilirler. Bu aşınma yöntemine yüzeysel yorgunluk denir.

Delaminasyon aşınma mekanizmasının dört aşaması vardır.(a) Yüzeyin plastik deformasyonu (b) Çatlak çekirdeklenmesi ile alt yüzeyde plastik deformasyonu (c) çatlak çekirdeklendiği yerde plastik deformasyonun sonlanması (d) aşınan tabakaların kalkmasıdır.

2.6.5 Kimyasal Aşınma

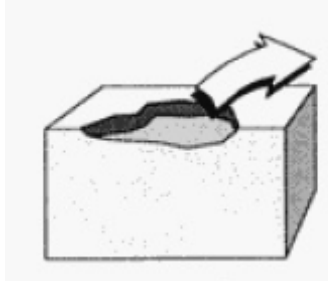
Kimyasal aşınma, sürtülen malzeme yüzeyinde sürtünme kuvvetinden dolayı malzeme yüzeyindeki polimerlerin bağlarının çatlamasına ve moleküler radikal oluşmasına neden olur. Oldukça aktif radikallerin yeni seri bağların oluşması sonrasında radikallerden biri ile reaksiyona girebilir. Yeni moleküller ve partiküllerin oluşması gerçekleşir. Genellikle baskın tribokimyasal reaksiyonlar kimyasal ve polimerik moleküler yapılarda sürtünme durumunda değişikliklerle gerçekleşir. Sürtünme esnasında basınç, kaydırma hızı, temas tipi, çevresel sıcaklık nedeniyle kimyasal aşınmada polimerik malzemede çevresel oksitlenme gerçekleşir. Bozunma prosesinin büyük etkisi vardır. Kimyasal aşınma diğer aşınma şekilleri ile birlikte yürür.

2.6.6 Sürünme Sonucu Aşınma

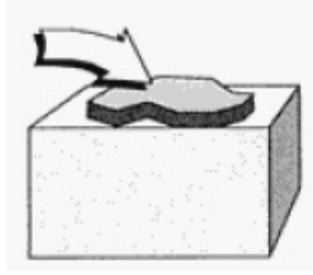
Sürünmenin sonucu olarak proseste polimer malzemeler için değişiklikler kütle kaybı olmaksızın malzemenin boyutları değişir. Sürünme sonucu olarak aşınma polimerlerin visko elastik doğasından gelir. Sürtünme kuvvetleri periyodik olarak tekrar eden dalga şekillenmesi hareket yönü ile geçişe uğrar.

Sürtme aşındırmanın özel tipidir ve diğer polimer aşınmalarından farklıdır. Göreceli olarak yavaş hızda kayma ve dairesel mikro kalkmalardır. Buna ek olarak devamlı temas halindedir. Sürtmede abrasyon niteliğindeki aşınmanın ürünleri daima sürtme bölgesindedir. Bölge dışına çıkmaz. Eğer sert dolgu tanecikleri taşıyorsa sürtme aşınması prosesi oranı artar. Polimerin termal dayanımı sürtünmesel ısı açığa çıkışını, moleküler bağ yapısını ve polimerik çökelti durumunu etkiler.

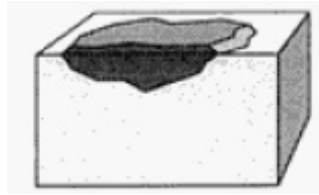
Arayüz aşınmasında iki birbirine sürtülen cismin temas noktalarında enerji kaybı gerçekleşir. Arayüz aşınmasına en mükemmel örnek PTFE'nin metal yüzeyinde sürtülmesi karşısında kayan pürüzsüz metal yüzeyi olunca gerçekleşir. PTFE pürüzsüz metal üzerinde iken arayüz aşınması gerçekleşir. PTFE karşılıklı iki PTFE yüzey arasında aşınmazken farklı maddeden yapılan diğer bir yüzey sürtülmesinde kalkma gerçekleşir. Yani PTFE-PTFE yüzeylerinin birbirine sürtülmesi gerekir. Şekil 2.3 de aşınma ile yüzeyden kütle kalkması gösterilmektedir. Şekil 2.4, yüzey hasarı ile malzemenin karşıt yüzeyde toplanması birikmesini ifade etmektedir. Şekil 2.5, korozyon nedeniyle yüzeyde kimyasal reaksiyonun gerçekleşmesini açıklar. Şekil 2.6 yüzey hasarının etkileri hasarlı bir yüzeyi teşhis ederken malzemenin ömür limiti problemi ile karşılaşıldığı genel olarak bilinmektedir.



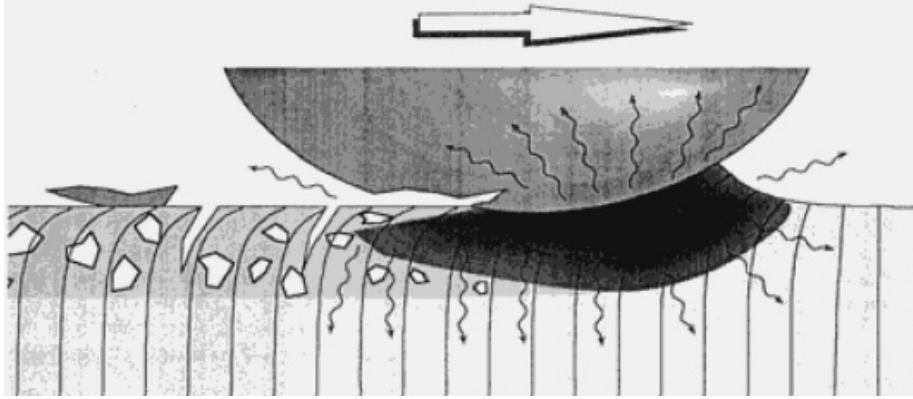
Şekil 2.3 Aşınma ile yüzeyden kütle kalkması (ASM Friction ,Lubrication Handbook, 1992)



Şekil 2.4 Yüzey hasarı ile malzemenin karşıt yüzeyde toplanması birikmesi (ASM Friction, Lubrication Handbook, 1992)



Şekil 2.5 Korozyon nedeniyle yüzeyde kimyasal reaksiyon gerçekleşmesi (ASM Friction, Lubrication Handbook, 1992)



Şekil 2.6 Yüzey hasarının etkileri hasarlı bir yüzeyi teşhis ederken malzemenin ömür limiti problemi ile karşılaşılır (ASM Friction ,Lubrication Handbook, 1992).

Malzemenin sürtünme kaynaklı ısınmaya dayanması gerekmektedir. Malzeme aşınması malzeme kaybına anlamına gelir. Aşınan parçalar malzemenin daha da kötü hal almasına neden olur. Bu nedenle kompozitin içinde cam fiber kullanılır.

Yağlamasız yüzeylerde statik sürtünme kinetik sürtünmeden daha büyüktür. Çoğunlukla hareket yapışma ve kayma şeklindedir. Yağlamasız yüzeylerde yüzey filmleri büyük önem taşımaktadır. Tavsiye edilen sürtünme testleri ile sürtme sonucunda oluşabilecek geçerli aşınma değerleri incelenilmektedir. Yağlamasız durumlarda sürtünme katsayısı yağlamalı sistemlere kıyasla $\pm 20\%$ oranında değişim gösterir. Örneğin iyi yağlanan bir sistemin kinetik katsayısı 0.05 değeri 0,04 – 0,06 arasında değişmektedir. Yağlanma içermeyen katılar oda sıcaklığına ve hava koşullarından etkilenmez. Paslanmaz 304 çelik Cu içeren numunenin ASTM 'e göre dinamik sürtünme katsayısı 0,23, kinetik sürtünme katsayısı 0,21 dir. Yağlayıcılar yüzeyin reaktivitesini azaltır. Böylece yüzeyin bileşimi geliştirilip aşınmaya dirençli hal alırken yağlayıcısız yüzeylerde düşük yüzey reaktivitesi polimerler ile sağlanır (Jansen – J., 2002) .

Kovalev (1987), Kuzharov (1989), Ufland (1990) yılı çalışmalarına göre iki yüklü bakır içeren akrilsalisil amid ataçlanan kompozit sıfır aşınma etkilidir. Düşük sürtünme katsayılı PTFE yüzeyinde bu yapı aşınma dayanımını artırır. Yığın halinde politetrafloroetilen bazlı aşınma dayanımlı malzemelerin triboteknik özellikleri bakırın girişi ile genişler. Garkunov'un 1985 yılındaki çalışmasında metal ve polimerden oluşan sistemde politetrafloroetilen fiber ve bakır bazlı kaplamaları incelendi. Garkunov tarafından metal polimer sürtünme birimlerinin karmaşık fizikokimyasal proseslerini barındırdığını kesin kanıtlarla açıklandı. Bu çalışmaya göre proseslerin Gibbs serbest enerjisi sıfırdan küçük olması durumunda kendiliğinden gerçekleşir. Sıfıra eşitse proses

dengededir. Bely ve diğeri 1976, Garkunov 1985, Garkunov ve Polyakov 1973 yılı çalışmalarında Bakır oksit Cu_2O kullanımı plastik yağlayıcılar için sürtünme karşıtı ve aşınma karşıtı katkı maddesi olarak tanımlanır (Garkunov, 1972,1973 ; Kuzharov ,1993). Grechko 'nun 1984'te yaptığı çalışmada PTFE tribooksidasyon ürünlerinin bakır üzerinde takip eden geçişlerine ve metal içeren bileşiklerin bozunmasına rastlanmadığı belirtilmektedir. Eşdeğer yüzeylerin üzerinde Grechko ve diğeri 1982'deki çalışmasına göre PTFE fiber bakır ile ve kompleks şekillendirici, 8-hidroksi kinolin ($\text{C}_9\text{H}_7\text{NO}$) veya kullanılan salisildinanilin ($\text{C}_{13}\text{H}_{11}\text{NO}_2$) sürtünme katsayısını düşürür. Belirli karakteristik sürtünme katsayısı eğrisinin kıvrılması gerçekleşir. Uflyand ve Pomogailo'nun "Metal şelat monomerlerinin kimyasındaki gelişmeler " adlı makalesinde metal şelat gruplarının bağlanma karakterine göre üç temel tipe ayrılır. Bunlar moleküler şelatlar iç küresel bileşikler ve makrohalkalı komplekslerdir. Özel spesifik katılımı metal şelat monomerlerin homo ve kopolimerizasyonu özellikleri bu makalede detaylı olarak incelenir (Kuzharov, 1993).

Kuzharov'un "Sürtünmede kendinden organize olmanın moleküler mekanizması" makalesinde sürtünmenin neden olduğu kendiliğinden gerçekleşmeyen kimyasal reaksiyonların termodinamik karakteristiğini incelenmiştir. Yayında aktifleşmiş kompleks için model tasarlandı. Yüksek negatif kimyasal afinite ile temas bölgesinde triboaktivasyon ve tribokimyasal reaksiyonlar gerçekleşir. Yazara göre termodinamik özelliklerin kendiliğinden gerçekleşmeyen kimyasal reaksiyonların sürtünme ile indüklendiği belirtilir. Düşük sürtünme katsayısı, kayma hızları yükleme triboaktivasyonu kimyasal reaksiyonlar irdelenir. Yağlayıcı ve rijit olmayan moleküller yapıda en az konumsal geçişler barındıran tribokimyasal reaksiyon gerçekleşir. Tribokimyasal reaksiyonların analizi göstermektedir ki kendiliğinden gerçekleşen tribokimyasal reaksiyon prosesleri $\Delta G < 0$, kendiliğinden gerçekleşmeyen $\Delta G > 0$ şekillenmesi ve sürtülen parçalar katı fazında geçişler gerçekleşir (Kutkov vd.,1982).

Görsel olarak fark edilebilen çelik üzerindeki bakır film temas yüzeylerinde görülebilir. Benzer ilişki seçici transfer bölgesi ile bakır alaşımın çelik üzerinde düşük moleküller ağırlıklı gliserin çözelti ortamında gözlenir. Bazı durumlarda yağlayıcı olmadan çelik üzerinde bakırlı floroplastik kompozitte numune ve karşıt parçada çalışma yapıldığı ilgili yayınlarda gösterilir. Bunlarda gliserin içeren bakır kaplı çelik parçalar dış atmosferik şartlara özellikle suya dayanıklı değildir. Maksimum yükleme altında aşınmanın yokluğundan bahsedilmektedir (Kuzharov, A. S vd., 1998).

Kutkov'a göre yağlama mekanizmasına göre bakır filme abrasyon aşınması yapacak darbeler bakır filmi şekillendirecektir. 8-hidroksikinolin ağırlıkça yüzdesi %0,05-0,15 ile % 9-11 değerinde Cu ilave edilerek sabunumsu dengeli bir bileşim oluşur. Matrise bakırın girişi ile kaplamanın çerçevesinde fiziksel ve mekanik özelliklerin geliştiği belirtilmektedir. Bakırın kompozisyona kimyasal bileşik formunda girişi umut verici bir yoldur. Yalnız bu karışım yağmur, kar gibi dış ortam şartlarına dayanıklı olmayıp kapalı sistemler için uygun olması nedeniyle ray makas kayma yatağı için tercih edilmedi.

Malzemenin katı yüzeyinden kalkması üç yolla gerçekleşir. Bunlardan ikisi kimyasal çözülme, atomların fiziksel olarak yüzeyden ayrılmalarıdır. Son metot düşük şiddetlerde döngüsel uygulamada veya yüksek şiddette tek seferli uygulamada gerçekleşir. Mekanik ve kimyasal prosesler ayrı veya birlikte korozif ortamda abrasyon aşınması gerçekleşir. Organize edilmiş kesin şiddetlerin bulunduğu bir katalog yoktur. Yalnız sürtünme katsayılarının bulunduğu çeşitli tablolar bulunmaktadır. Kimyasal koşullar ve diğer koşullarda aşınma tam olarak tanımlanmamaktadır. Eksilmenin ilk prensibine göre kıyaslama yapmak için herhangi bir aşınma durumunda hasar analizi ve simülatif testler gereklidir.

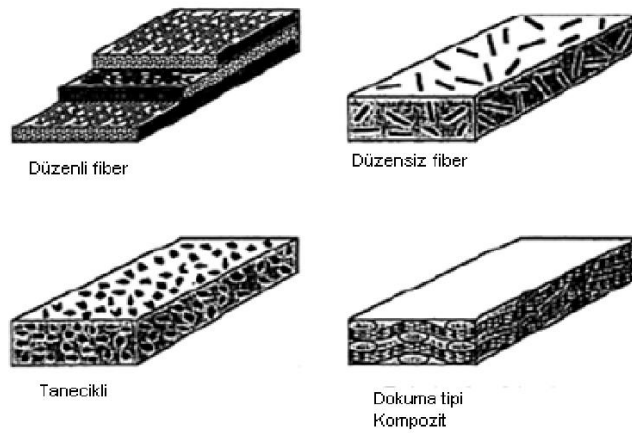
Kompozit polimer malzemelerinin aşınma prosesi oldukça karmaşıktır. Doldurucuların çeşitliliği, özelliği ve hacimsel içerikleri dikkate alınır. Temel faktörler kompozit malzemenin aşınmasında belirleyicidir. Bunlardan en önemlisi doldurucunun tipi ve onun hacimsel içeriği, arafaz sınırı matris ile dolgu arasında uygun bir yapı oluşur. Bununla beraber dolgu tipi ve sürtünme koşulları sürtünme durumlarına göre değişir. Aynı zamanda doldurucuların kaydırma yüzeyi polimer filmi ile kaplı olduğunda sürtünme katsayısı ve sürtünen elemanın sıcaklığı düşer. Bu kompozitlerde polimer gres fonksiyonu görür. Örnek olarak PTFE bazlı kompozitler bu özelliği gösterir. Suh ve arkadaşlarının 1986 yılı çalışmasında polimerik kompozitlerin aşınmasına örnek olarak kaydırılan numune bronz karşıt parça ile 0,75 m/s hızla kaydırma hareketi poliamid ve doldurucuları ile aşınma denemeleri yapıldı. Naylon 6,6 ve %25 cam fiberinin etkili olduğu görüldü. Bunun yanında grafit epoksi kompozitleri kaydırılan 52100 çelik numunesi ile aşınma dayanımı incelendi. Suh'un bu çalışmasında cam mikro fiber MoS₂-PTFE kullanıldı (Suh vd., 1986).

3. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzeme iki veya daha fazla farklı malzemenin bir araya gelerek oluşturdukları yeni yapıdır. Kompozitler yalnız yapısal özellikleri dışında elektriksel, termal, tribolojik ve çevresel uygulamalar açısından da kullanılır. Modern kompozit malzemeler belirli özelliklerin dengelenmesi ve uygulanmaya yönelik olarak optimize edilirler. Bununla beraber yaygın pratik tanımı devamlı matris daha kuvvetli yapıyı elde etmek için birbirine bağlamasıdır. Geliştirilmiş yapı özellikleri genellikle yük paylaşımı mekanizmasının sonuçlarıdır. Fakat kompozit optimizasyonu başka işlevsel özelliklerin farklı sabit bileşenlerin kombinasyonu ile meydana gelir. Sonuç olarak basit tanımla daha kullanışlı yapıların elde edilmesi olarak tanımlanabilir.

Kompozitlerin tipik olarak fiber veya tanecik fazı, matris fazından daha güçlüdür. Daha iyi termal ve elektriksel iletkenlik, termal genleşme katsayısı özellikleri matristen daha düşüktür. veya daha iyi aşınma dayanımı vardır. Kauçuk güçlendirilmiş polimerler devamsız fazı daha tamamlayıcı ve polimerden daha mukavimdir. Sertliği böylece artırılmış olur.

Kompozitler iki ayrı seviyede sınıflandırılır. Birinci seviye sınıflandırma matrise göredir. Geniş matris sınıfı organik matris kompozitleri metal matris kompozitleri ile seramik matris kompozitleri ve karbon matris kompozitleri karbon-karbon kompozitleri polimer matris kompozitleri olarak şekillenirler. Ara metalik matris kompozitleri metal matris kompozitlerinden ayrılır (ASM Handbook of Composites, 1992). Şekil 3.1 de kompozit tiplerinin resimleri gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Kompozit Tipleri (ASM Handbook of Composites, 1992)

İkinci seviye sınıflandırma ise sağlamlaştırma şekline göredir. Belirli sağlamlaştırma tipleri saçaklı, sağlamlaştırma, düzenli fiber içeren lamine kompozitler ve örgü şeklindedir. Özellik artırımı için bileşen %10'dan daha fazla olmalıdır. Düzensiz fiberler düşük hacimde tipik olarak metal matrisli kompozitlerde kullanılır. Bu malzemelerde aynı zamanda sağlamlaştırıcı ögenin uzamasından daha fazla uzama gerçekleşir. Bunlar daha çok doldurulmuş sistemlere karşılık gelir. Çünkü dolgu partikülleri maliyet düşürmek için kullanılır. Bazı durumlarda matris malzemesini sağlamlaştırır.

Özetle mekanik ve adhezyon ara etkileşimleri çelik üzerinde polimer film oluşturulmasında polimer malzemelerin aşınmaları en önemli rol oynar. Film oluşturulma prosesindeki ve kaplamadaki kırılan polimer ve kompleks bağları arasında tribokimyasal prosesleri tetiklenmektedir. Polimer tabakasının alıkonulmasında muhtemel adhezyon etkileşimleri gerçekleşir. Metalin polimere kimyasal aktivitesi karşıt elemanın geometrik yapısı etkilidir. Ek olarak transfer edilen polimer tabakası metal yüzeyinin geometrik yapısının geliştirilmesine neden olur. Polimer yüzey tabakası çelik üzerine transfer edilen film karmaşık fiziksel ve kimyasal prosesleri içerir. Aşınmanın baskın tipi olan adhezyon aşınması makinelerin polimerden üretilen kaydırma elemanlarında gerçekleşir. Bu tip aşınmada en az malzeme kaybı ile gerçekleşir. Prosesin çalışması esnasında pürüzlülükler eriyerek aşınmanın faydalı tipine dönüşür. Başka tipte aşınma benzeri abrasyon aşınması ve özellikle termal aşınma limitli kapsamda olacaktır.

PV çarpımı limitleri sürtünme ve aşınma performansı değerlerinde PTFE en düşük sürtünme katsayısına sahiptir ve yaklaşık 0,04–0,1 dir.

Polimer ve kompozitler düşük sürtünme olması, yağlamaya ihtiyaç olmaması, kolay üretilmesi, düşük maliyetli olmaları nedeniyle kullanılırlar. Endüstriyel uygulamalarda viteslerde bilyeli mil yataklarında, kaydırıcılarda kullanılır. Yaygın olarak kullanılan plastikler termoplastiklerdir. Polietilen, Politetrafloroetilen (PTFE), Poliamid, kullanılır. Bununla beraber kullanılan termoset plastikler fenoliktir. Yine elastomer olarak, doğal kauçuk, polibutadiene kauçuk, kullanılır.

Polimerlerin özellikleri viskoelastiklik, yük uygulandığı zaman deformasyon gerçekleşmesi, sertliğin daha zor belirlenmesi, sıcaklığa duyarlı olmaları, düşük yığın sertliği, düşük geçiş sıcaklığı ve düşük erime noktasına sahip olmalarıdır. Camsı polimerler, sünek polimerler yapıları nedeniyle tribolojik önem taşır. PTFE oldukça lineer, zayıf ara moleküler kuvvette sahiptir. Karşıt yüzde kolay moleküler transfer

gerçekleşir. Sürtünme katsayısı 0,09 değeri ile oldukça düşüktür. PTFE'nin sürtünme ve aşınma mekanizması yüzeyde uygulanan kuvvet yüzeyde etkisi ile moleküler deformasyon gerçekleşir. Ayrılan moleküller kaydırma yönünde yönelir. İnce filmlerin 50-200 Armstrongda PTFE - PTFE arası karşıt parçada geçişler gerçekleşir.

3.1 Aşınma Sistemlerinde Polimerlerin Etkisi

Bazı polimerlerde transfer filmi şekillenmesi görülmektedir. Öncelikli olarak yüksek çapraz bağlı polimerler camsı geçiş sıcaklığının altında sıcaklıktadır. Yarı iletken polimerler transfer filmi şekillenmesi gerçekleşir. Bununla beraber tipik örnek olarak oda sıcaklığında PTFE'dir.

PTFE'nin üstün performans ürünlerinden olan teflon bileşenleri ile düşük sürtünme katsayısı içerir. Teflon politetrafloroetilen polimerinin ticari adıdır. Teflon florlanmış etilen polimeri olan bir politetrafloroetilendir. Bir termoplastik floropolimerdir. Flor atomlarıyla doymuş uzun ve düz bir karbon zincirinden meydana gelen moleküler yapı, atomlar arasındaki kuvvetli bağlar sebebiyle oldukça inert özelliklere sahiptir. Isıya , kimyevi maddelere, neme, sürtünmeye dayanıklı olan Teflon hiçbir maddeye yapışmaz. Yapışması için yüzeyinin dağlanması gerekir. Yapılan dağlama işlemi aşağıda anlatılmaktadır. Sürtünme katsayısı bütün katı cisimlerinkinden küçüktür. Tetrafloroetilenin kimyasal özellikleri özgül ağırlığı: $2,1-2,2 \text{ gr/cm}^3$ ve çekme mukavemeti $140-380 \text{ kg/cm}^2$ dir. Basma mukavemeti : $45-50 \text{ kg /cm}^2$, eğilme modülü $3500-6300 \text{ kg/cm}^2$, sürtünme katsayısı (dinamik) 0,06 , ısı iletkenliği $5,5-6,6 \cdot 10^{-4}$, dielektrik değeri :40-80 (0,1 mm) KV , Hacmi direnç 1018 ohm-cm dir.

Piyasada mevcut DuPont ailesinden floro polimer beyaz tozu; diğer malzeme sistemlerinde kullanılmak üzere granül halinde olanlardan farklıdır. Tipik 2 mikromereden 20 mikro metre arasında ve düşük moleküler ağırlıkta -190 dan 250 °C'de yapışma göstermez. Gelişmiş yağlama etkisine sahip çok daha üstün aşınma dayanımı ve gerilme özelliklerine sahiptir. DuPont Teflon endüstriyel olarak hem sıvı hem toz olarak mevcuttur. Pürüzsüz olma özelliği sayesinde geniş uygulama alanına sahiptir. Tanecik konfigürasyonu daima yapışmasızlık özellikleri içerir. Boya tarzındaki teflon kaplaması güçlü, esnek, dayanıklı, inert ve pürüzsüzdür. NEETA marka PTFE kaplaması düşük sürtünme katsayısı geniş sıcaklık aralığı olarak - 231,6°C den 285°C sıcaklık aralığında metallere, plastikler ile mükemmel adhesyona sahiptir.

Çizelge 3.1’de çeşitli malzemelerin üzerinde kayan polimerler için sürtünme katsayısı tablosu aşağıda gösterilmektedir. Bu tablodaki değerler oda sıcaklığında test edilen numunelerin değerleridir (ASM Friction, Lubrication Handbook, 1992).

Çizelge 3.1 Çeşitli malzemelerin üzerinde kayan polimerler için sürtünme katsayısı tablosu

(ASM Friction ,Lubrication Handbook, 1992)

Polimer üzerinde Sabitlenmiş Numune Malzemesi	Hareketli numune	Sürtünme Katsayısı Statik	Sürtünme Katsayısı Dinamik	Referans
Naylon 6/6	Naylon 6/6	0,06	0,07	ASM
Poliester	Poliester	0,17	0,24	
Teflon	Teflon	0,04		
Naylon 6/6 döküm	Yumuşak Çelik		0,35	
Naylon +PTFE	Yumuşak Çelik		0,35	
Teflon	Cu	0,13	0,11	
Teflon	Çelik	0,27	0,27	
Çelik	Çelik Üzerinde Bakır film	0,30		

Polimer kompozitlerden naylon, asetal, polietilen ve politetrafloroetilen doldurulmuş veya doldurulmamış şekilleri ile yatak malzemelerinde kullanılır. Katı yağlayıcıları doldurucular toz grafit, MoS_2 ve CF_x dir. Toz katkıları sürtünme ve aşınmaya dair özelliklerini geliştirir. Fakat genellikle zayıf malzeme yük taşıma kabiliyetini düşürür. Maksimum yük kapasitesi fiber gerilmesi kullanılarak başarılır. Fiberler örgülü dokuma, kıyılmış fiber ya da iplikçik şeklinde sargılar halindedir. Cam elyafının sıklıkla PTFE ile

bağlı olanları aşırı yüklü mil yataklarında kullanılır. Poliester fiberleri abrasif olmayan gerilmelerde PTFE mil yatağı astarlarında bulundurulur. Sliney ve Willams raporlarında metalik olmayan düz mil yataklarında poliimid bağlı CFx filmleri mükemmel yağlama özelliğini 350 °C’de mil yataklarında folyo oluşturarak ortaya çıkar. PTFE filmleri mil yataklarında kullanılarak yüzey sıcaklığı 100°C de oluncaya kadar limit gösterir (Sliney, H. E. vd., 1982).

3.2 Polimer Kompozitleri

Polimer kompozitleri birçok polimerik mil yatağında naylon, polietilen ve politetrafloroetilen doldurularak veya doldurulmadan kullanılır. Katı yağlayıcı doldurucular tipik oldurucular toz grafit, MoS₂ veya PTFE’dir. Toz katkıları sürtünme ve aşınma özellikleri geliştirmektedir. Maksimum yükleme kapasitesine karşın fiberler kullanılır. Yüklemin çok olduğu mil yataklarında cam fiberi sıklıkla PTFE ile beraber kullanılır. Poliester fiberleri abrasif olmayan gerilmeler içeren PTFE mil yatakları için kullanılır. Bu tip mil yataklarında sonuç olarak 207 MPa -23 ve 121 °C aralığında çalışmaktadır. Çizelge 3.’de kendinden yağlamalı kompozitler ve kullanım alanları görülmektedir. Bunlar NASA laboratuar testi sonuçlarıdır. (Sliney ve Williams ,1982)

Çizelge 3.2 Kendinden yağlamalı kompozitler ve kullanım alanları (ASM Handbook of Composites, 1992)

Kompozit tipi	Kullanımı
PTFE/ Cam fiber	Mil yatakları
PTFE /Cam Fiber / MoS ₂	Mil yatakları, vitesler
PTFE Cam Fiber/reçine	Rulman yatağı

Aşağıdaki Çizelge 3.3’de çelik yüzeyi karşısında seçilmiş olarak metalik ve polimerik mil yatakları ile ilgili parametreler verilmiştir.

Çizelge 3.3 Çelik yüzeyi karşısında seçilmiş olarak metalik ve polimerik mil yatakları (Wielba’s Handbook of Thermoplastic Polymers)

Yatak malzemesi	Yağlama	Sürtünme Katsayısı	Azami PV Mpa m/s	Spesifik Aşınma Oranı
Döküm Demir Kurşun ve Bronz	Kuru	0,2-0,5	0,1	10-1000
Döküm Demir Kurşun ve Bronz	Gresli	0,05-0,15	1	10-1000
PTFE 3 mm kalınlığında	Kuru	0,05-0,3	0,05	10-1000
Çelik arkalı poröz bronz PTFE ve kurşun ile	Kuru	0,05-0,3	1	0,03-0,3

3.3 Polimer Kompozitlerinde Bağ İlişkileri ve Sürtünmenin Etkileri

Polimer filminin oluşturulma prosesinde film stabilitesi ve yenilenme yeteneği büyük önem taşır. Mekanik elemanların geometrik özellikleri, pürüzlülük, dalgalılık şekil değişimi ve düzensizliğin yönlenmesine etki eden parametrelerdir. Eğer makro ölçek deformasyonu yüzey üzerinde çukur açıyorken sertlikler yüzeylerin birinde plastik deformasyonu nedeniyle zorlukla ilerliyorsa bu enerji taneciklerin tutulmasına neden olur. Yaygın olan bu tipte polimer malzemenin metal üzerinde sertliklerinde büyük fark vardır. Bu durumda yüzey üzerinde polimer tabakasının yumuşak yüzeyinde oluk açmaya neden olur. Adhesyon temas şekillenmesi elastik deformasyon prosesinin yanında sertlikleri nedeniyle plastik deformasyonlar gerçekleşir. Bu deformasyon prosesinde

öğeler arasında yakın temas kurulur. Çekici ara etkileşim kuvvetleri katıların kohezyonuna metalik, kovalent ve iyonik katkıda bulunur. Birincil kimyasal bağlar kısa mertebede kuvvetler ve ikincil olarak uzun oran kuvvetleri Van der Waals bağları adhesyonu gerçekleştirir. Bu yüksek lisans tezinde kullanılan termoplastik polimerler ve yumuşak kauçuk ortamında ara bağlanma gerçekleşir. Kısa ve uzun bağ kuvvetleri kauçuk benzeri yumuşak maddeleri adhesyon ile bağlar. Metalik elemanın yüzey pürüzlülüğü üzerinde polimer filmi oluşur.

Temel modda aşınma dayanımı polimer malzemeler için tanımlanmıştır. Bunlar adhezyon aşınması, aşındırıcı tarafından aşınma, yorgunluk aşınması termal ve kimyasal aşınma, pürüz erimesi kabarma aşınması ve sürtme aşınma tipleridir. Aşınma mekanizması farklı polimerler için farklıdır. Mekanizma kimyasal aktiviteye dayanır. Sürtünme esnasında çelik üzerindeki polimer malzemesi mekanik ve yapışma ara etkileşimi gösterir. Bu arada etkileşimlerin paylaşımı sürtünme çiftlerinin sürtülen malzemenin kaydırma hızına yüzey pürüzlülüğüne ve dalgalılığına normal kuvvet ile yüklenmesine bağlıdır.

İki katı numunenin karşılıklı olarak teması esnasında aşınma gerçekleştiği zaman tersinmez proses sırasında korunmayan enerji kaybı ile beraber aşınma gerçekleşir. 1929 yılında Tomlinson aşınmasız sürtünmenin mekanizmasını açıkladı. Kaydırma sırasında kayma hızı sıfıra giderken viskoz sürtünme ile kuru sürtünme kaybolmaz. Fikir olarak bir molekül yüzeyde bazı heterojenlik ortamında karşıt yüzdeki bir moleküle tutunur. Ani olarak yüzey hareket ettiğinde ayrılır. Bu titreşim ve elastik dalgalar halinde kayan yüzeylerde yığınları etkiler. Bu sürtünme mekanizması eşdeğer pozisyonu kaybetmez. Aşınmasız sürtünme nanotriboloji çerçevesindedir. Tomlinson modelinde moleküller arasında bitişik etkileşimler mevcuttur. Statik ve kinetik sürtünmede bu model tanımlanmıştır. Frenkel-Kontorova-Tomlinson modelinde iki atomsal düz yüzeyde örneğin PTFE yüzeyi birbirine kaydırılırsa iki rijit yapı arasında üst tabakadan alta, alt tabakadan üst tabakada genişleme gerçekleşir. Düşük bünyede periyodik potansiyelde etkileşimler matematiksel model olarak bu yüzeyler için tanımlanmıştır (Weiss vd., 1996).

Frenkel Kontorova –Tomlinson modelinin kuru sürtünmenin dinamik özellikleri Michael Weiss, Franz-Josef Elmer tarafından incelenmiştir. Bu modelde aşınmasız sürtünmenin araştırıldığı basit mekanik model statik sürtünme ele alınmıştır. Küçük kaydırma hızları için tanımlanmıştır.

Sürtünmenin büyüklüğünün ölçümü deney veya simülasyon yerine tanjantal hareket ile yapılabilir. Simülasyonların en kolay yolu rijit sistemde tanjantal hızdan yararlanılarak yapılanıdır. Sabit ayırma ve sabit basınç geniş ölçekte elastik katıların ara yüzde bağlanması ilaveten kayan yüzeylerin uyumluluğu tek şekillidir.

Standart gereklilikler rahat hareket etmesi yatak metalinin dairesel temas vurgusu ile operasyon esnasında çalışmadan kaynaklanan çatlaklar oluşur. Uygulamada büyük yağlama özelliği gümüş kaplı bronz veya PTFE bazlı malzeme örnek verilebilir. Yüksek sıcaklık ve oldukça ileri seviyede yağlanmış koşullar içerisinde uzay araçları uygulamalarında kendinden yağlamalı fenolik, polimid, grafit ve kompozitler MoS_2 – grafit içeren metal örnek verilebilir. PTFE oldukça düşük sürtünme katsayısı gösterir ve ince film transferi karşıt yüzeyde kaydırma esnasında kolay şekillenme gerçekleşir (Bhushan ,1999).

3.4 Kaplamalarda Termoplastik Polimerlerin Etkisi

“Termoplastik Malzemelerin Tribolojik Mekanizması” kitabına göre polimer filmin oluşturulması sırasında polimer metalin pürüzlülüğünü azaltır. Aynı zamanda ısıl sürtünme ile polimer yüzeyinde eşleşmiş yüzeylerde sıcaklığı artar. Bazı polimer bağlarının kırılması gerçekleşir. Bu da tribokimyasal reaksiyonu başlatır. İlk polimer tabakası metal yüzeyinde tutunan politetrafloroetilen film tabakası sürtünme boyunca kaldırılamaz. Karşılıklı yüzeyler eş olursa Kuzharov’a göre kalkmaz. Yalnız tek yüzeyde kaplamada kolaylıkla kaldırılabilir. Karşılıklı yüzeylerin teması kalkmanın gerçekleşmemesi için esastır. Camlaşma sıcaklığı T_g (donma sıcaklığı) denilen belirli bir sıcaklık bölgesinin üzerinde zincir molekülleri belirli bir ısıl hareketlilik kazanırlar. Böylece madde daha kolay bükülebilir hale gelir ve sünekleşir. Ancak ikincil bağlar ve hareket sonucu meydana gelen düğümlenmeler kaymayı engeller. Malzeme termo-elastik duruma geçer (Friedrich vd.1998).

Termoplastikler camsı geçiş sıcaklığı üzerinde elastik ve esnektir. Termoplastiklerin kompozit malzemelerde matris olarak tercih edilmemelerinin başlıca nedeni üretimindeki zorlukların yanı sıra yüksek maliyetidir. Oda sıcaklığında düşük işleme kalitesi sağlarlar. Bu onların üretimde zaman kaybına yol açmasına neden olur. Bazı termoplastikleri istenilen şekillere sokabilmek için çözücülere ihtiyaç duyulabilir. Termoplastikler termosetlere kıyasla hammaddesi daha pahalıdır .

3.5 Termoset Malzemeler

Geri dönüşsüz olarak sertleşen ve daha güçlü yapı halini alan sertleşme 200 °C derecede kimyasal reaksiyon ile veya ışın etkisi ile sertleştirilebilir veya katkı maddeleri ile kalıplanabilir. Kauçuk buna örnek verilebilir. Geri dönüşsüz olarak daha güçlü şekil halini alırlar. Termoset malzemeler genellikle sıvı halde veya çekiçle şekillendirilebilir haldedir. Sertleştirme prosesi bir plastik veya kauçuk içinde çapraz bağlanma prosesi ile şekillendirilir. Enerji ve katalizör eklenir doymamış epoksi buna örnektir. Böylece moleküler bağlar üç boyutlu olarak bağlanır. Çapraz bağlanma prosesi bir molekülün daha büyük moleküler ağırlıklı olması prosesidir. Yüksek erime noktalı yeni malzeme oluşur. Kontrol edilmeyen ısıtmada malzemenin erime sıcaklığına ulaşmadan önce bozunma sıcaklığına ulaşır. Dahası termoset malzemeler kürleştirildikten sonra eritilemez ve yeniden şekillendirilemez. Termosetler geri dönüştürülemez, doldurucu olarak kullanılır. Bu yüksek lisans tezi kapsamında termoset olarak akrilonitril bütadien kauçuk, fenolformaldehit reçine kullanıldı.

Metal yüzeyinin ve polimer malzemenin yüzeyinin mikro düzensizliğin pürüzleri iki taraflı aşındırıcı aşamada etkileşim gerçekleşir. Bu arada bozunma ürünleri ara boşluklara dolar. Daha sonraki aşamada sürtünme prosesi iki eş yüzey tarafından sıkıştırılır. Farklı kalınlıkta tabaka oluşmaktadır. Geri kalan transfer edilen polimer malzemesi karşı numunede mümkün adhesyon ve kilitlenme mikro pürüzlere metal yüzeyinde dolar. Polimer filminin daha büyük yüzey enerjisi daha güçlü polimer tabakasında karşı numunede tutunur. Doldurucular polimer yapışmasını artırmaktadır. Karşı parçanın yüzeyinde ek bağlar oluşturarak polimer tabakası oluşturur. Kalınlaştırıcı polimer filmi daha iyi pürüzlere karşı polimer malzeme aynı zamanda daha sıkı bağlanır.

Kuzharov ve arkadaşlarının 1991'de yaptığı çalışmaya göre asgari aşınma etkisi gerçekleşir. Sürtünme bölgesinde PTFE gerçek koşullarda sürtünme ara etkileşimi kurarak kompleks bileşik ile triboteknik özelliklerin artışına olanak sağlar. Sınır tabakası yapısına yakın olarak sürtünme yüzeyinde şekillenme gerçekleşir. Bu bağlamda kaplamanın triboteknik özellikleri bakırlı koordinasyon bileşiğinin bileşimi incelenmiştir. PTFE üzerine bu kompleks yapı aşılantısıdır (Bknz Şekil 6.6).

Polimer kompleksinin, fiberlerin kaplama çerçevesi içinde şekillenmesi gerçekleşir. PTFE fiber üzerine matris olarak fenol-formaldehit vernik ve akrilonitril kauçuk kullanılır. Karşılaştırmalı testler ile PTFE fiberleri üzerine en uygun katkı maddesi belirlenmiştir. Bunlar salisilidin p-metoksi anilinat bi valent bakır kompleksi ve salisilidin p-metoksi anilindir. Bu kaplamada bileşenlerin kantitative seçiminin %13 vernik ve %7 akrilonitril kauçuktur. Yapılan eğim hareketi basamak çıkış hareketi deneylerinden kompleks yüzdesi %3 dür. Literatürde yapılan bir seri sürtünme ölçümü sonucunda kompozisyonun aşınma dayanımı düşük moleküler ağırlıklı kompleks kombinasyonu ligand ile 2-3 sefer girerek sürtünme katsayısını 0.07-0.09 seviyesine getirmiştir. Kuzharov ve Ryadchenko'nun bulmuş olduğu prensip faktörü aşınma dayanımını etkilemektedir (Kuzharov ,1993).

PTFE sıvı çarpma erozyonuna dayanıklıdır. Kaydırma ve adhesyon aşınması iki yüzeyin birbiri üzerinde kaydırılması ile oluşan sürtünmede kaydırmanın büyük olanın küçük olan üzerinde yaptığı tahribat ve oksidasyon gerçekleşmesidir.

Adhesyon yaygınlıkla kaydıran yüzeylerde gerçekleşir. Yavaş aşınan ürünlerin üretilmesi deneyim gerektirir. Uzman tasarım temel prensipleri içermelidir. Uzun mesafeli kaydırma temiz ve kuru yüzeyler ile atmosferik şartlarda kirlenir. Bu tez kapsamında kaplama adhesyon aşınmasına karşı metal olarak bakır, polimer olarak termoset ve termoplastik plastik grupları kullanıldı.

Aşınma dayanımı düşük moleküler ağırlıklı kompleks kombinasyonu ligand ile 2-3 sefer girerek sürtünme katsayısını 0.07-0.09 seviyesine getirmiştir. Metal iyonlarının geçişi solüsyon içinde taşınması imkansızdır. Böylece eklenen ligand sınırlandırılır. Mikro hacimde sürtünme temas bölgesinde gözlenen aşınma dayanımı ligand konsantrasyonundan bağımsızdır. Böylece bakırın kompleks bileşikler sürtünme temasında performansında gelişme gözlenir. Chironis ve Turnerin çalışmasına göre ufak öğütülmüş PTFE tozu ile doldurulmuş kaplamalar iyi bilinmektedir. Pomogalio 1986 a göre kompozisyona iki değerli bakır kompleksinin gireceği akrilsalisilamid kullanılmalıdır. PTFE tozu 3-4 kat aşınma dayanımı getirir. Sabit değer oranı spesifik yüklemde 100-150 MPa'da asgari aşınma etkisi açığa çıkar. Düşük sürtünme katsayısı önceden anlatıldığı gibi PTFE kohesif kırılmalarda ara moleküler kopma dayanımlı sistemde iki değerlikli bakır kompleksi akrilsalisilamid ile PTFE yüzeyine çapalandı (Bkz Şekil 6.6).

Boya tiplerinden laklamada doğal yada sentetik termoplastik polimerlerin ince filmi organik solventin kuruması ile elde edilir. Polimer filminin oluşturulmasında ince tabaka polimer tabakası yardımcı metal eleman ile çeliğin pürüzlülüğünü azaltır. Buna ek olarak tabakanın sürtünme ile iki polimer tabakasının sürtünmesini geliştirirken aynı zamanda ısı sürtünme ile polimer yüzeyinde eşleşmiş yüzeylerde sıcaklığı artırır. Ara moleküler bağların kaybedilmesi ile açığa çıkar. Yüzeyde yer alan polimer bağları baskı, kırılma gerilme bağ kırılması görülebilir. Böylece farklı radikal moleküllerin oluşması için tribokimyasal reaksiyonu başlatır. Kırılan polimer bağları ve kompleksler yerleştirildiği eşleşen yüzeylerde zincirleme reaksiyon başlatır. Genel olarak birbirini takip eden faktörler dahilinde ilk sürülen politetrafloroetilen tabakası kaldırılamaz. Bir sonraki polimer tabakaları kolaylıkla kaldırılabilir (Shonaike G. O ve Simon G.P ,1999).

Plastiklerin hasar analizi ve karakterizasyonu kitabında Politetrafloroetilen fiber bazlı polimerik sürtünme karşıtı kaplamaları modern mühendislik uygulamalarında özellikle yavaş sürtünme birimlerinde geniş kullanım alan olduğu belirtilir. Bu kaplamaların birim triboteknik özellikleri düşük sürtünme katsayısı, -100 °C den 250 °C sıcaklık aralığında kimyasal olarak inerttir. Metalik doldurucular PTFE bazlı kaplamalarda ısı aralığında ve bazı durumlarda olağan üstü aşınmasızlık etkisinin ortaya çıkmasına izin verir .

3.6 Substitüsyon Tepkimeleri

Koordinasyon bileşiklerinde bir ligandın başka bir ligand ile yer değiştirmesi tepkimesine denir. Substitüsyon tepkimelerinde artı yüklü merkeze ligand bağlanıyorsa bütün tepkimelere nükleofilik substitüsyon tepkimesi denir. Nükleofil çekirdek sever artı yük sever anlamındadır. Hız belirleyen basamakta merkez atomun koordinasyon sayısı artıyorsa ($\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+}$) böyle mekanizmalara asosiyatif denir. Geçiş kompleksinde iki molekülün kimyasal bağlarında değişiklik olur Bu durumda tepkimenin aynı zamanda iki moleküler çekirdek sever katılma tepkimesidir. Hız belirleyen basamakta ayrılan ligand merkez atomundan kopuyor ve merkez atomun koordinasyon sayısı düşüyorsa böyle tepkimeler mekanizmasına disosiyatif denir. Bu yüksek lisans tezinde deneysel çalışmalar kısmında sentezi yapılan koordinasyon bileşiklerini anlatıldı.

3.7 Aşınmasız Kaydırma Sürtünmesi İçin Yumuşak Konfigürasyon Modeli

Aleksander Burin ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada aşınmasız kaydırma rejimi modellemesi yapılmıştır. Bu model statik ve dinamik durumlar için geçerlidir. Logaritmik hızın ve zamana bağlılığı için sürtünme katsayısı tanımlanmıştır. Ortalamalardan yararlanılarak yumuşak hasar tespiti tartışılmıştır. Kaydırma sürtünme kuvvetini azaltmak ve kontrol etmek temel bir problemdir (Burin A.,1999).

İki temel sürtünme mekanizması vardır. Bunlar aşınmasızlık etkisi için plastik deformasyon için enerji kaybı ve atomik ölçekte elastik hareketlilikler örneğin yapışma ve kaymadır. Aşınma yüzeyde spesifik uygulama ile bastırılabilir. Aşınmasızlık katkısı “süper yağlanmış” ve düşük yüklemeler için yapışma ve kayma mekanizmasına sahiptir. Bu problem sürtünmeyi kontrolü ve azaltılmasının araştırması ile çözümlenir. Bir önemli sürtünme katsayısı Coulomb denemeleri olarak bilinir. Bu denemelerde logaritmik hassaslık ile dinamik parametreler örneğin kaydırma hızı incelemesi yapılabilmektedir.

4 MAKASLAR

Demiryolu araçlarının bir yoldan diğer bir yola geçmesini sağlayan tesise makas denir. Demiryolu araçlarının karayolu araçlarından önemli bir farkı da dümenlerinin olmayışıdır. Bu sebeple demiryolu araçlarının yol değiştirmeleri de yine yollar üzerine döşenen makaslar vasıtasıyla olur.

4.1. Makasın Bölümleri

Basit bir makas üç bölümden oluşur. Bunlar;

1. Dil takımı
2. Ara raylar
3. Göbek ve kontrraylar dır.

4.1.1. Dil Takımı

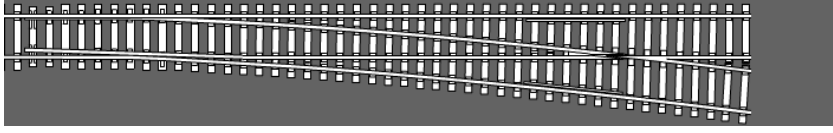
Demiryolu araçlarının yol değiştirmesini sağlayan kısımdır. Parçaları;

- İki adet dil
- Dillerin yaslandığı iki adet yaslanma rayı
- Dilleri birbirine bağlayan bir iki adet bağlantı çubuğu
- Dilleri makas, top ve fenerine bağlayan ve hareketini sağlayan manevra çubuğu
- Dillerin hareketini ve istenilen taraf yaslanma rayına sıkıca yaslanmasını sağlayan makas topu
- Makasa giriş ve çıkışta, makasın hangi yola düzenlenmiş olduğunu gösteren makas feneri
- Dillerin yaslanma rayına yaslanması esnasında üzerinden geçen araçların ağırlığı ve esneme sebebiyle açılmamasını sağlayan kilitleme tertibatı
- Makas dilleri altına ve traversler üzerine döşenen ve üzerleri yağlanarak, dillerin kolay hareket etmesini sağlayan kayma plakaları
- Makas top ve fenerinin oturduğu normalden uzun travers, kürsü traversi
- Yeteri kadar travers ve bağlantı malzemeleri

Dillerin ara raylarına bağlandığı bölüme ökçe adı verilir. Diller ökçeden hareket ediyorsa mafsallı dil, kendi esnekliği ile hareket ediyor ökçeden hareket etmiyorsa esnek dil denir.

4.1.2 Ara Raylar

Makas dil takımı ile göbek takımını birleştiren raylara makas ara rayları adı verilir.



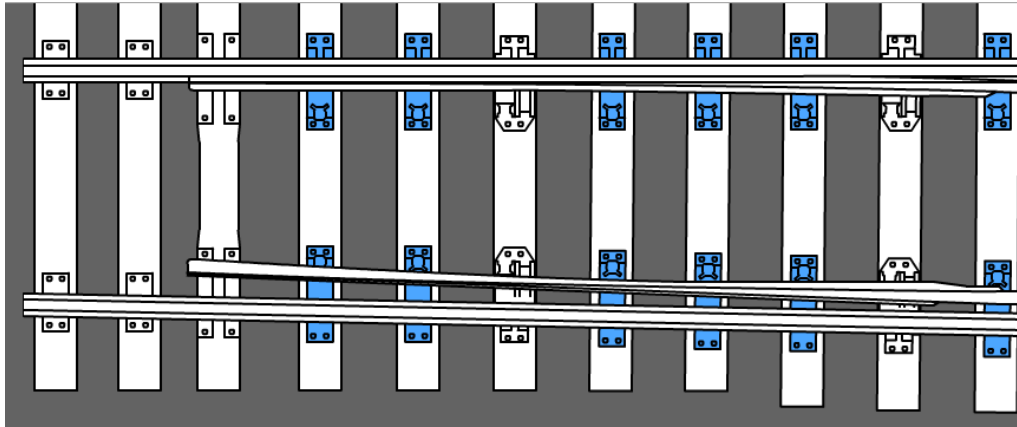
Şekil 4.1 Ray makası ve ray makası kayma yatağı (Schwihag AG)

4.1.3. Göbek ve Kontraylar

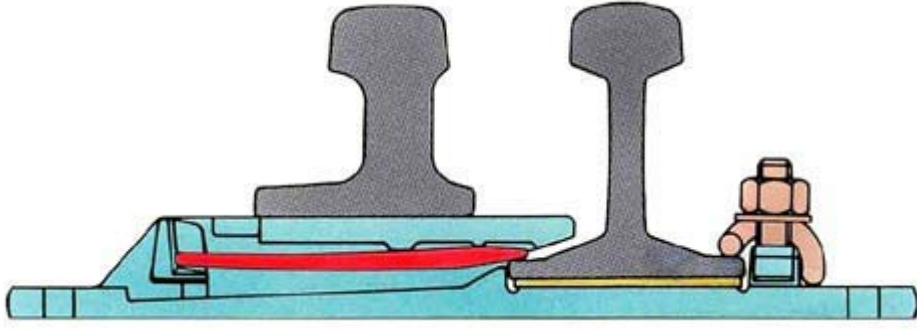
Göbek, makasın doğru bir yol ray ile sapan bir yol rayın birbirini kestiği noktaya denir. Bu kesişme noktasından tekerlek budenlerinin geçişini sağlamak için, iki ray kesişme noktasından başlayarak dışa doğru bükülürler ve tavşan ayağı denilen eğrileri oluştururlar. Kesişme noktalarında tekerlek budenlerinin serbestçe geçmesi için bir boşluk bırakılır. Bu boşlukta araçların yol değiştirmemesi için de karşılarına kontraylar bağlanır.

4.2 Çelik Ray Kayma Yatağı Şekilleri

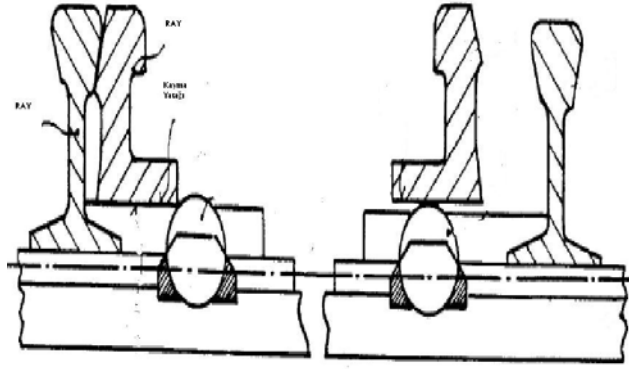
Şekil 4.2 de ray makas kayma yatakları mavi ile gösterilmiştir. Şekil 4.3’de ray makas kayma yatağı kesiti ve şekil 4.4’de tekerlekli ray makas kayma yatağı kesiti resmi bulunmaktadır.



Şekil 4.2 Ray makas kayma yatakları (mavi) (Schwihag AG)



Şekil 4.3 Ray makas kayma yatağı kesiti (Schwihag AG)



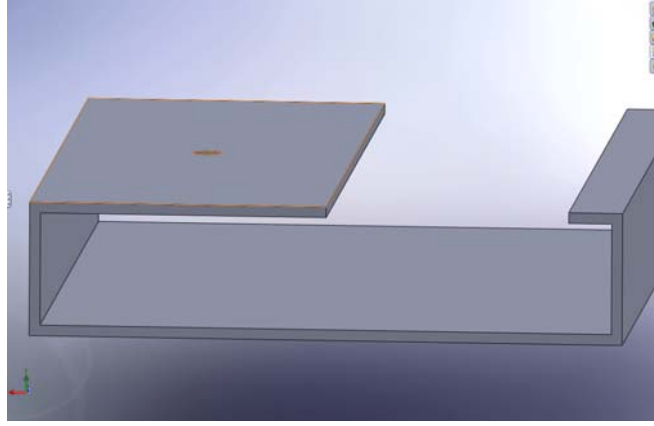
Şekil 4.4 Tekerlekli ray makas kayma yatağı kesiti (Andreas Fodor 1996)

Raylı Ulaşımında bulk malzemeler 30 tonluk taşıtın herbir tekerleğe binen yükün neden olduğu enerji kaybı düşük olmasının sağladığı düşük enerji maliyeti nedeniyle kullanılır. Dizel ve elektrik lokomotiflerinde oldukça yaygın kullanılır. Tribolojik arayüz çıkıntılı çelik tekerlek çelik raylar üzerinde dönme hareketi yapar. İki akslı bu taşıtların önemli parçaları aşınmaya karşı geleneksel olarak greslenmektedir. Aşınma her iki köşelerde tribolojik aşınmalar grese rağmen gerçekleşmektedir. Bu gresleme işleminin yerini alması hedeflenen kaplama üzerine deneysel çalışmalar yapıldı.

5 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Ray Makas Kayma Yatağının ve Karşıt Profilinin Hazırlanması

Karşıt parçanın kaplanması öncesinde ile ray tabanına uygun boyutta sac bükülür. Bunun için karşıt parçanın yani rayın tabanına ray ile ray makas yatağı arası açıklık ölçüsünde metal makası ile kesilip ve büküldü. Boyutlandırma kumpasla yapılır. Özel presle bükülme işlemi yapıldı. Zımparalandı, taşlandı, parlatıldı. Şekil 5.1 ray makas kayma yatağı karşıt parçası SolidWorks çizimi kesiti ve şekil 5.2 taşlaması yapılan ray makas yatağı görülmektedir.



Şekil 5.1 Ray makas kayma yatağı karşıt parçası SolidWorks çizimi kesiti



Şekil 5.2 Taşlaması yapılan ray makas kayma yatağı

5.2 Kaplama İçin Bakır İle Kompleks Oluşturacak Molekülün Sentezlenmesi

Bu sentez için p-anisidin ($\text{CH}_3\text{O-Ph-NH}_2$) (p-metoksi türü kullanılmaz) ile salisil aldehit ($\text{C}_6\text{H}_4\text{CHO-2-OH}$) edinilir. 1 mol aldehit 40 ml etanolde 40°C 'ye kadar ısıtılır. 1 mol amin kimyasalı ise 20 ml etanolde çözülür. Hazırlama esnasında ısıtılan aldehit çözülüp yavaş yavaş ilave edilir. Isıtmaya kontrollü olarak devam edilip 70°C derecede bir saat kaynatılıp süzülür. Reaksiyona % verim nedeniyle girmeyen kimyasallar etil alkolde yıkanır. Süzgeç kağıdında oluşan baz kimyasalı kurutulur.

5.3 Bakırlı Kompleksin Hazırlanması

Yukarıdaki işlem sonucunda elde edilen sarı renkli katı bazdan 1 mmol alınır. Yirmi milimetre etanolde çözülür ısıtılır. 1 mmol bakır (II) asetat $\text{Cu}(\text{OAc})_2$ beş mililitre etanolde çözülür. Elde edilen baza ilave edilir. Karışım kontrollü ısıtılır. Bir saat soğutulup süzülüp, reaksiyona girmeyenler etil alkolle yıkanır. Gouch krozesinde kalan sentez ettiğimiz kimyasal kurutulur. Kompleks kompozit üretiminde kullanılmaya uygundur.

Yapılan müdahaleler sonrasında bakır içeren kompleks bazlı kompozit katı olarak yapılan kaplamaların tribolojik olarak aşınma dayanım özellikleri iyileştirilmiştir. Kaplama tipleri ve yapılan müdahaleler bakır eş güdümlü bileşiğin sentezi üzerine odaklandı. Bu düşük molekül ağırlığında bileşenleri ile hazırlanıp matrise katıldı.

Bu bağlamda kaplamanın triboteknik özellikleri bakırlı koordinasyon bileşiğinin bileşimi incelenmiştir. Kompleks PTFE üzerine bu yapı aşılarmıştır (Bknz Şekil 6.6). Polimer kompleksinin, fiberlerin kaplama çerçevesi içinde şekillenmesi gerçekleşir. Üretim optimizasyonu düşük moleküler ağırlıklı sıvı ortamında bakır iki kompleksinin ligand ile bileşimi için kompozisyon sırasıyla çerçeve örgü haldedir. Bu bileşenlerin kantitative yüzdesi %13 fenolformaldehit ve %7 akrilonitril kauçuktur. Yapılan eğim hareketi basamak çıkış hareketi deneylerinden kompleks yüzdesi %3 dür. Bunlar salisilidin p metoksi anilinat bi valent bakır kompleksi ve salisilidin p metoksi anilindir.

5.4 PTFE Yüzeyinin Hazırlanması

PTFE yüzeyi asetonla silinip potasyum hidroksit çözeltisinde polipropilen kap içersinde bekletilir. Tekrar asetonla silinip kurutuldu ve dağlama işlemine geçildi.

5.5 PTFE Yüzeyinin Dağlanması

PTFE yüzeyinin dağlanması denemeleri kapsamında PTFE'nin metalik sodyumun %4'lük %4'lük naftalenin ($C_{10}H_8$) ve %92 oranında Dietilen glikol dietil eter ($C_6H_{14}O_3$) kısaca adı Diglyme çözeltisi ile çözülür. Metalik sodyumun su ile şiddetli reaksiyonu Diglyme çözeltisi ile çözülerek bertaraf edilir. Bu çözelti inert gaz ortamında N_2 gazı atmosferinde PTFE'nin reaksiyon vermeyen kuru Polipropilen ($CH_2CH=CH$)_n kap içerisinde temas ettirilmesi ve bu temasın akabinde Poliakrilik asit ile titrasyon işlemi vardır. PTFE'nin dağlanması işlemi ile politetrafloroetilen moleküllerinin yüzeyindeki en kararlı atom olan flor atomu kopartılır. Kopan florlar sodyum ile sodyum florür oluşturur (NaF). Şekil 5.3'de polipropilen kapta inert gaz azot gönderilerek dağlama işlemi yapıldığını gösterir. (Actontechnologies).



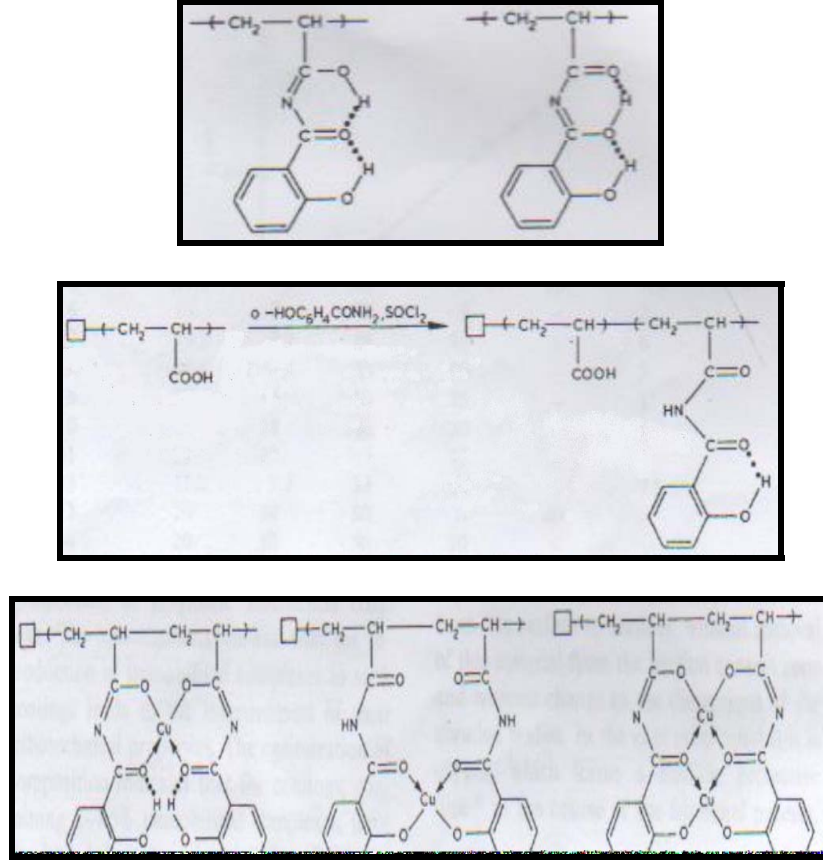
Şekil 5.3 Polipropilen kapta inert gaz azot gönderilerek dağlama işlemi yapıldı.

5.6 PTFE Yüzeyinin Akriliklenmesi

Dağlama işleminde PTFE yüzeyinde Armstrong mertebesinde aktif bölgeler oluşur. PTFE 24 saat su banyosunda poliakrilik asitin izopropil alkoldeki %20lik çözeltisinde $80^\circ C$ 'de bekletilir. Bu aktif bölge ile oluşan işlemler politetrafloroetilengraft poliakrilik asit polimerizasyonu prosesi için en pratik yoldur. (Ulla K, Mirko N, Anke M 2002).

Tionil kloridin ($SOCl_2$) 8 ml 0,07 mol tipik inert atmosferde distillendikten sonra 30 dakika karıştırılmak üzere 10 g PTFE-PAA ($C_3H_4O_2$)'nın ksilen (C_8H_{10}) içindeki 17 g salisil amid ($HOC_6H_4CONH_2$) içine dökülür. Sonra karışım $90^\circ C$ 'e ısıtılır. 12 saat karıştırılır. Sonuç olarak ürün filtre edilip ksilen ile 3 defa yıkanır ve $60^\circ C$ 'de vakumda kurutulur. Elde edilen PTFE-PSAA Politetrafloroetilen-polisalisil akrilamid kompleks şekillenmesi ile bakır asetatın alkoldeki çözeltisinin 1 saat karıştırılan hali nihai karışıma ilave edilir. Karışım 1 saat karıştırılır. Üç sefer alkol ile yıkanır. Üç saat boyunca çalkalama ile ekstraksiyon hunisinde ayırma işlemine tabi tutuldu. Üç saat vakumda

kurutuldu. Şekil 5.4 Hazırlanan PTFE-Polisisil akrilamidin açık formülü verildi. Şekil 5.5 PTFE-Polisisil akrilamid sentezi reaksiyon düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 5.4 Hazırlanan PTFE-Polisisil akrilamidin açık formülü



Şekil 5.5 PTFE-Polisisil akrilamid sentezi reaksiyon düzeneği

5.7 Matrisin Hazırlanması ve Çelik Üzerine Uygulanması

Yukarıdaki işlemlerden geçen PTFE fibere fenolformaldehit reçine, akrilonitril (C_7H_9N) kauçuk- $[-CH(CH=CH_2)-CH_2-/-CH(C\#N)-CH_2-/-CH_2-CH=CH-CH_2-]/p$ -ve kompleks içeren çözelti ile emdirildi. Emdirme işlemi sonrasında önceden hazırlanan çelik üzerine 2 saat 160 ± 5 °C de 0,25 MPa basınç altında sertleştirildi. Şekil 5.6 Ray makas kayma yatağı karşıt parçasına PTFE bazlı bakır kompleks doldurulmuş kompozit 160 °C sıcaklık ve 0,25 MPa basınca 2 saat maruz bırakılmasını gösterir. Şekil 5.7 Ray makas kayma yatağına bu preste PTFE bazlı bakır kompleks doldurulmuş kompozit 160 °C sıcaklık ve 0,25 MPa basınca 2 saat maruz bırakılmasını gösterir. Şekil 5.8 Ray makas kayma yatağı (sağda) ve karşıt parçasına (solda) PTFE bazlı bakır kompleks doldurulmuş kompozit 160 °C sıcaklık ve 0,25 MPa basınca 2 saat maruz bırakılan hallerini gösterir. Bu yapılar birbiri üzerinde başarılı yağlamasız kayma özellikli davranışına rağmen, maalesef çelik üzerinde kısmı yapışma gösterdi. Bunun nedeni aktif uçların muhtemelen kapanması sebebi ile kısmı performans göstermesidir. Kısmı yapışma gösteren PTFE bazlı kaplamanın aşırı yüklemenin bulunduğu servis şartlarına dayanamayacağı yalnız bilimsel çalışma olarak düşük hızda kaymalar için elverişli olduğu kanısına varıldı. Bunun akabinde karayolları köprülerinin hareketli mesnetlerinden esinlenilerek PTFE bazlı kaplamada bileşenleri değiştirilmeden sadece daha kalın ve cam fiber içermeyen 0,5 mm PTFE kullanıldı. Ray makas kayma yatağı ve karşıt parça kumlama işlemine tabi tutulur. Dağlama işlemi 0,5 mmlik PTFE fiber film alkali metal çözeltisi ile tek taraflı olarak fabrika koşullarında yapıldı. Dağlanan PTFE üzerine Chemosil adındaki fenol ve formaldehit içeren karışım sürülür. Bunun kuruması akabinde hamur halindeki akrilonitril butadien Chemosil ile metale tutunması ve vulkanize olması için 160 °C sıcaklık ve 10 MPa basınç ortamında 15 dakika tutulur. Oda sıcaklığında soğumaya bırakıldı. Şekil 5.9 Ray makas kayma yatağı karşıt parçasına üsteki preste işlem uygulanarak alttaki PTFE bazlı akrilonitril bütadien içeren yapının hazırlandığı gösterilmektedir.



Şekil 5.6 Ray makas kayma yatağı karşıt parçasına PTFE bazlı bakır kompleks doldurulmuş kompozit 160 °C sıcaklık ve 0,25 MPa basınca 2 saat maruz bırakıldı.



Şekil 5.7 Ray makas kayma yatağına bu preste PTFE bazlı bakır kompleks doldurulmuş kompozit 160 °C sıcaklık ve 0,25 MPa basınca 2 saat maruz bırakıldı.



Şekil 5.8 Ray makas kayma yatağı (sağda) ve karşıt parçasına (solda) PTFE bazlı bakır kompleks doldurulmuş kompozit 160 °C sıcaklık ve 0,25 MPa basınçta 2 saat maruz bırakıldı. Aynı basınç altında 24 saat soğumaya bırakıldı.



Şekil 5.9 Ray makas kayma yatağı karşıt parçasına üstteki preste işlem uygulanarak PTFE bazlı akrilonitril bütadien içeren yapı hazırlandı.

6. SONUÇLAR

1. Bu yüksek lisans tezinde, önce laboratuvar boyutlu deneylerde hazırlanan numunelerin PTFE kompozit kaplama kompleks bakır bileşikleri ile doldurulmuş fiber esaslı kompozit kaplaması yapıldı.

2. Bu kimyasal işlemler infrared spektroskopisi ile incelenmiştir. Şekil 6.1’de işlem yapılmadan önce PTFE 1100 cm^{-1} ’de F piki verdiği tespit edildi.

Şekil 6.2’de işlem yapılmadan önce saf poliakrilik asitin 2900 de C-H bağı ve 1800 cm^{-1} de C O çift bağı verdiği görüldü.

Şekil 6.3’de ise dağlama işleminin bir yüzeye yapıldığı ve 1700 cm^{-1} de C=O çift bağı içeren diglyme ve 2924 cm^{-1} de naftalen piklerinden anlaşılmaktadır.

Şekil 6.4’den akriliklemenin PTFE yüzeyinde C-H bağlarının oluştuğu 2928 cm^{-1} de ve 1700 de C=O bağlarının oluştuğu piklerden anlaşılmaktadır.

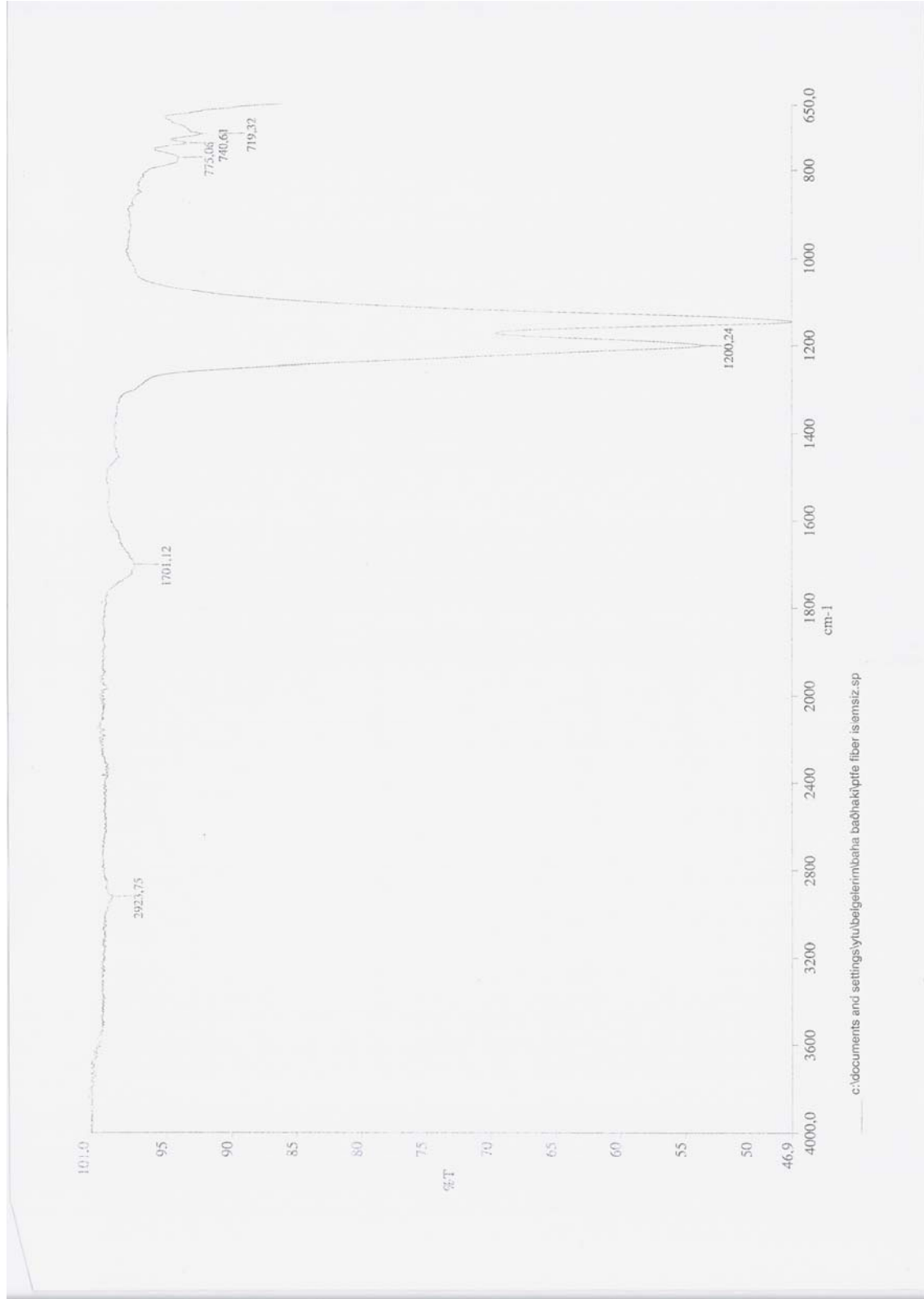
Şekil 6.5’de PTFE üzerinde polisilisil akrilamid oluştuğu N-H bağlarının 3300-3200 cm^{-1} de oluştuğundan anlaşılmaktadır.

Şekil 6.6’da bakırlı kompleksin PTFE üzerinde oluşturulduğu halka kapanmasının gerçekleştiği piklerin %85’den %95 ‘e geri çekilmesinden ve N-H bağı piklerinin bulunmasından anlaşılmaktadır.

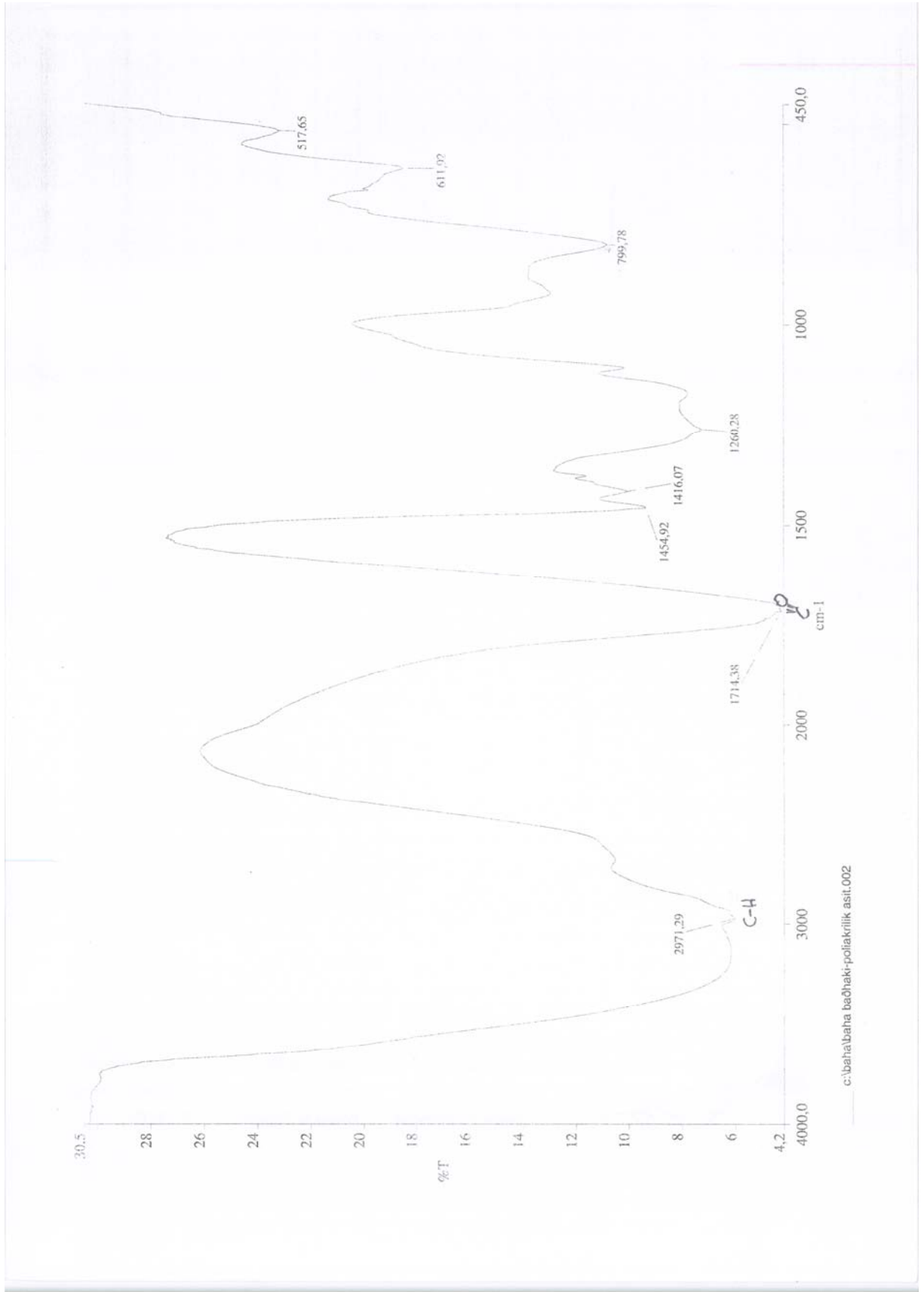
3. Geliştirilen kaplama teknolojisi ile ray makas yatağı çelik yüzeyinde yağlamanın yerini alması hedeflenen PTFE kompozit kaplama yapıldı. Bunun için sırasıyla ray makas yatağının karşıt profilin hazırlanması, kaplama için bakır ile kompleks oluşturacak molekülün sentezlenmesi bakırlı kompleksin hazırlanması, PTFE yüzeyinin hazırlanması, PTFE yüzeyinin dağlanması, PTFE yüzeyinin akriliklenmesi, matrisin hazırlanması ve çelik üzerine yerleştirilmesi işlemleri yapıldı. Matris çelik üzerine sıkı bir şekilde bağlanırken işlem yapılmış PTFE yüzeyine zayıf yapıştı. Bunun nedeni PTFE’nin üzerindeki yüzey aktif bölgelerin dağlamasının üzerinden 1 ay geçmesi ve güneş ışığına çeşitli zamanlarda maruz kalmasıdır. Bununla beraber yüzey üzerinde kendinden yağlama yapısı elde edildi. Bu yapı gevşek yapışma özelliği nedeniyle bilimsel bir çalışma olarak servis şartları açısından hafif yüklemeler için uygundur.

4.Mevcut rayların üzerinden günde 80 adet 30 tonluk taşıt geçmektedir. 0,5 mm kalınlığında tek tarafı dağlanmış PTFE film karşılıklı yüzeylerde kendinden yağlama ve yapışma özelliğindedir. Daha fazla PTFE içerir. Çelik yüzeyine daha fazla yapışması için içeriği yine fenol formaldehit ve kauçuk içeren karışım kullanılmıştır. Bu karışımın ticari adı Chemosildir.

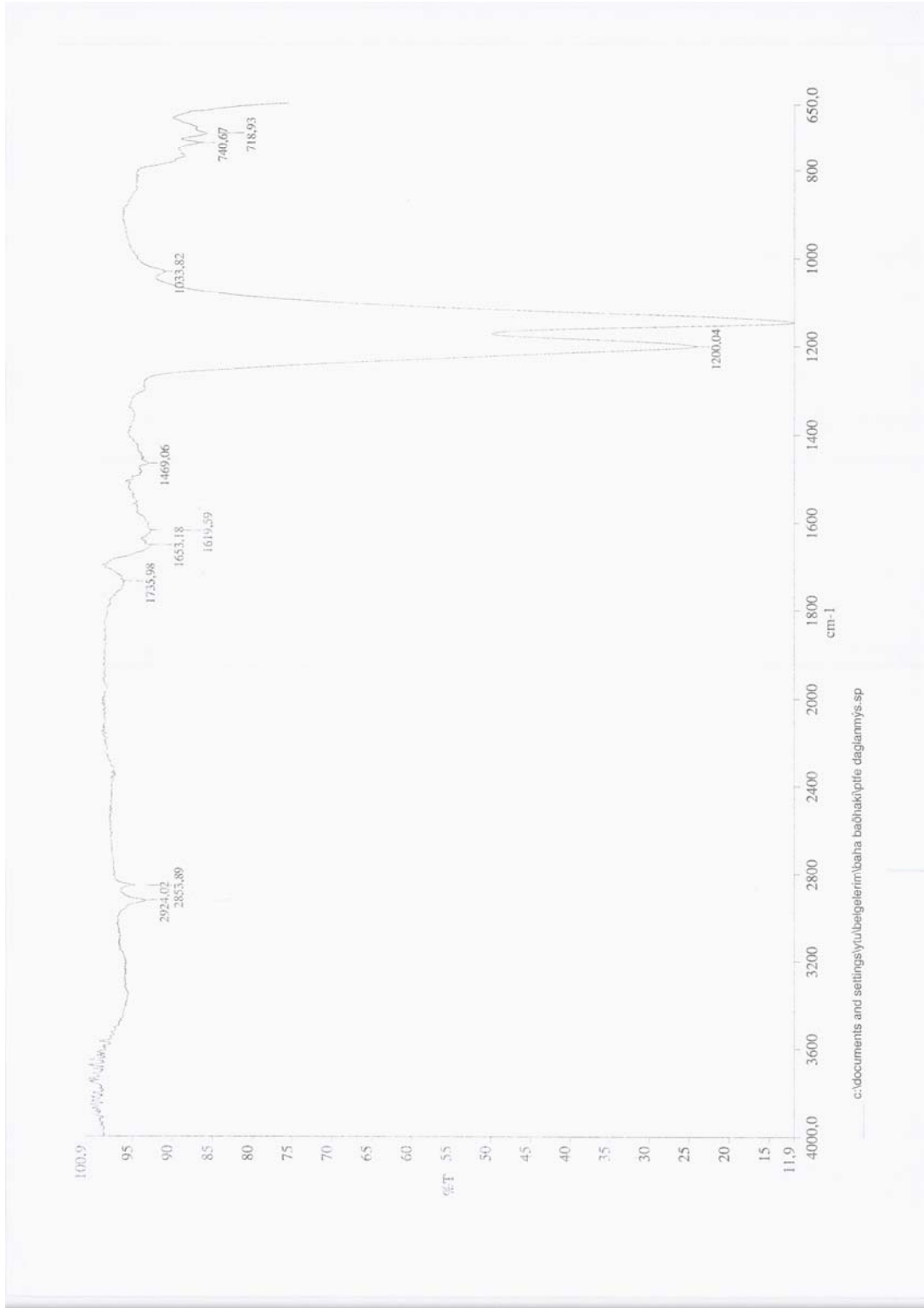
5. Kaplanan ray makas yatağı servis şartlarında test edilmek üzere ilgili tramvay çıkış noktasına montajı yapıldı. Bu kaplama ile ulaşımда önem taşıyan tramvayların yön değişme noktaları olan ray makasların kayma yatağı üzerinde yağlamanın yerini alabilecek bu kaplamanın uygulama çalışmaları yapıldı.



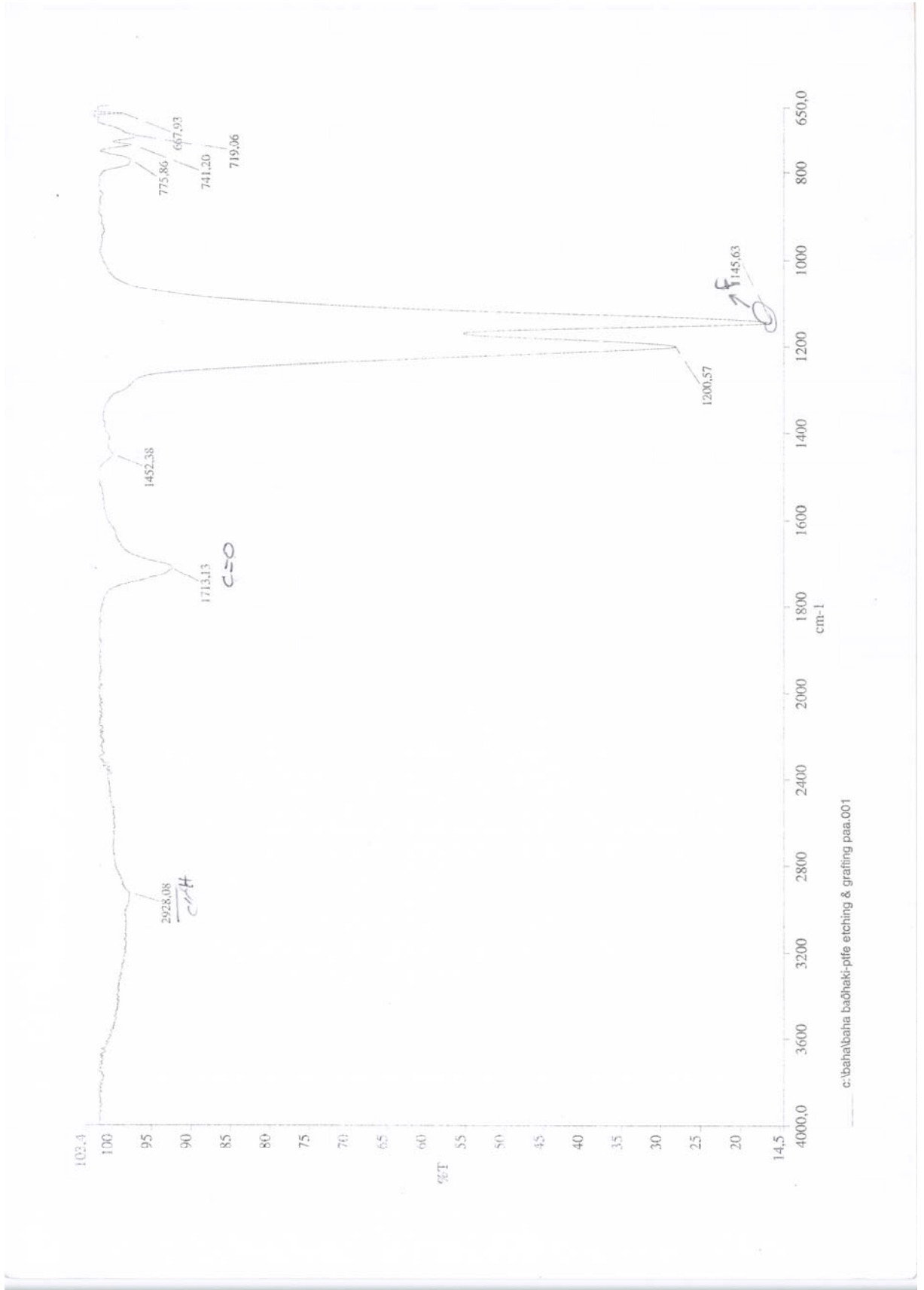
Şekil 6.1 İşlem yapılmadan PTFE 1100 cm⁻¹'de F piki verir.



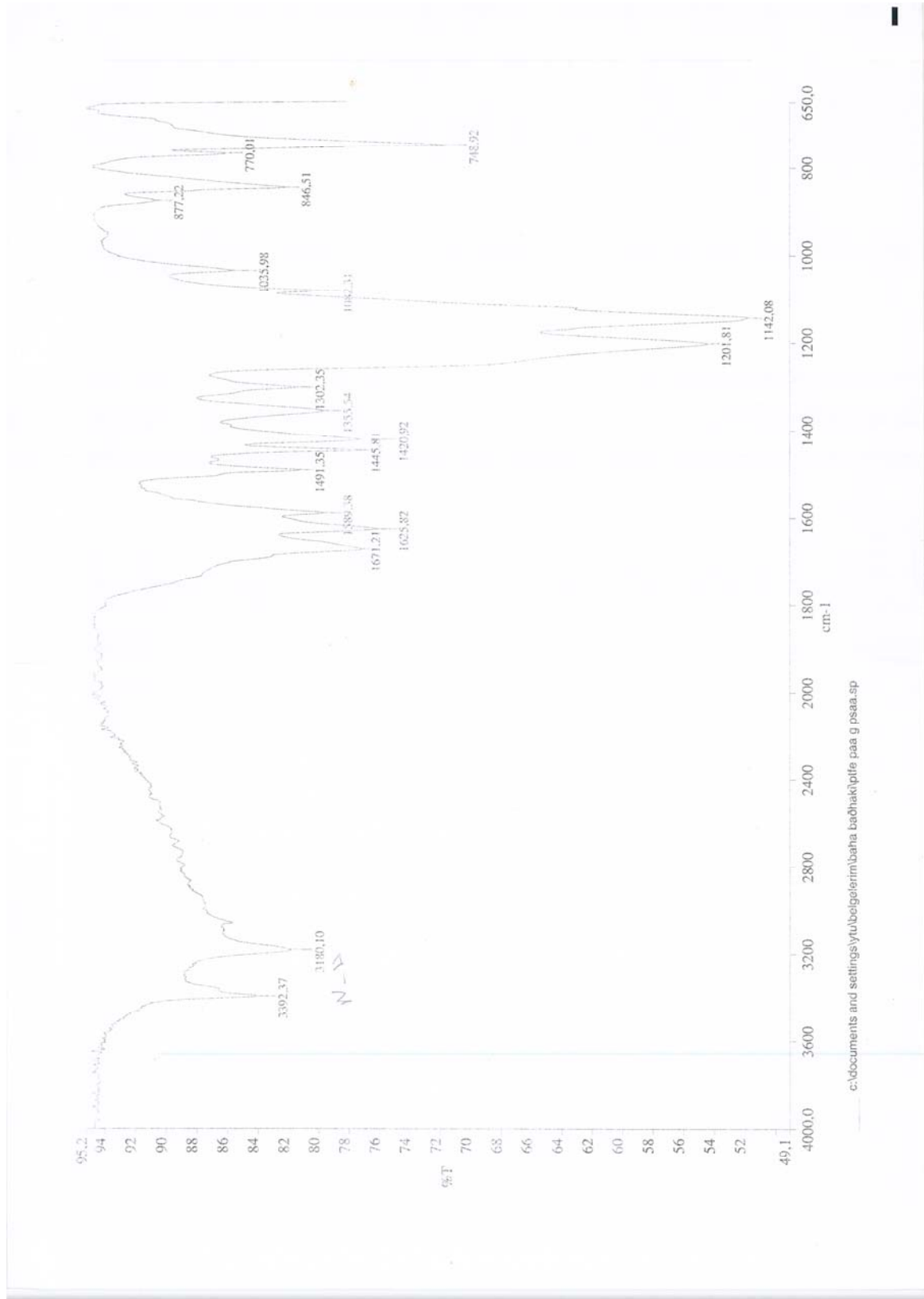
Şekil 6.2 İşlem yapılmadan saf poliakrilik asit 2900 cm⁻¹ de C-H bağı ve 1800 cm⁻¹de C=O çift bağı verir.



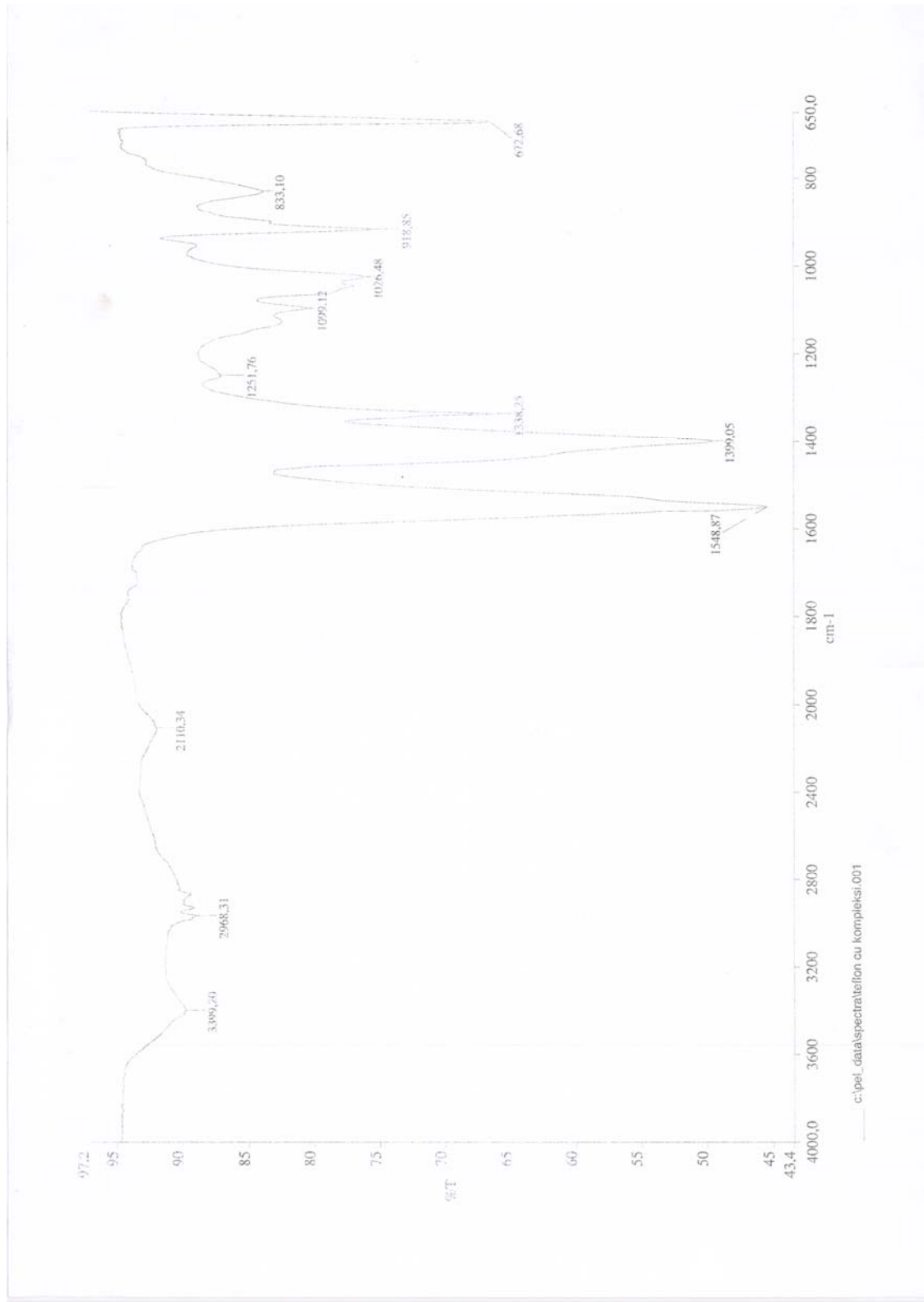
Şekil 6.3 Dağlama işleminin bir yüzeye yapıldığı ve 1700 cm-1 de C=O çift bağ içeren diglyme ve 2924 cm-1de naftalen piklerinden anlaşılmaktadır.



Şekil 6.4 Akriliklemenin PTFE yüzeyinde C-H bağlarının oluştuğu 2928 cm-1 de ve 1700 de C=O bağlarının oluştuğu piklerden anlaşılmaktadır.



Şekil 6.5 PTFE üzerinde polisilisil akrilamid oluştuğu N-H bağlarının 3300-3200 cm⁻¹de oluştuğundan anlaşılmaktadır.



Şekil 6.6 Bakırlı kompleksin PTFE üzerinde oluşturulduğu halka kapanmasının gerçekleştiği piklerin %85den %95 `e geri çekilmesinden ve N-H bağ piklerinin bulunmasından anlaşılmaktadır.

KAYNAKLAR

Kuzharov A.,(1993), “Realzation of Zero Wear Effect in Composite Coatings” Industrial.Engineering Chemical Research 32 : 774-779.

Uflyand I.E., Kuzharov A.S., Gorbunova M.O., Sheinker V.N ve Pomogailo A.D., (1990) “Polymers containing metal chelate units III. Binuclear copper(II) complex with salicyloylacrylamide immobilised on polytetrafluoroethylene and its use as a polymeric antifriction coating”, Russia .

Sosnovskii L.A. (1992), “Statistical model for a deformable solid with a critical volume and some of its applications”. Communication Belorussian Institute of Railway Transport, GomeI" Strength of Materials Springer 24: Number 11 New York USA .

ASM Friction ,Lubrication Handbook (1992), ASM İnternational 18:340-351.

AREVYAN A.(1999) “ I. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi Silindir İmalatında Yataklama Malzemelerinin Önemi” sf 117.

Bhushan B. 1999.Principles and applications of tribology John Wiley & Sons Inc- New York, sf 974.

Jansen – J.,(2002). Characterization and Failure Analysis of Plastics ASM International 264 Materials Park, OH USA.

Garkunov,D. N.. ; Polyakov,A. A. ; Belyi,V. A. ve Krakhmalov,S.I.,(1972) Effect of wearlessness: a new stage of improving the wear performance of machine elements .

D.N Garkunov vd., (1973)Properties of the Boundary Layer in Selective Transport Russian Physics Journal PublisherSpringer New York 1573-9228 (Online) 16: 627-630.

Ryadchenko V.G, (1988)`` Structure and properties of wearstable coating of heavy loading bearings based on polytetrafluoroethylene fibers and copper complex compounds`` Dissertation,Novocherkassk Russia.

Uflyand,IE,Kokoreva,İV,Sheinker,V.N ve Kuzharov A.S., (1990) “Antifriction self - lubricating coating on base of fixed metal komplexes.Surface Engineering Plastic Fundamental Process and Application in Corrosion and Wear; Strafford K.W Datta Great Britain 686-690.

Kuzharov A.S Bulgarevich S.B Kuzharov A.A Kravchik 2001 “Molecular mechanism of self organization during friction part ii orientational order of the bearing layer during self organization under hydrodynamic friction conditions 173-179.

Kuzharov vd.,(1982) Molecular Mechanisms of Self-Organization at Friction.Part VI. Analysis of Thermodynamic Features of Tribochemical Reactions Springerlink sf 218

Kuzharov, A. S.; Burlakova, V. E.; Zadoschenko, E. G.; Marchak, R.; Kravchik, K.; Scholl, H.; Blaschchik, T.; Flis, J.; Malugina, E. V.; Kuzharov, A. A (1998), Tribo-electrochemistry of the "wearless" effect. Mechanism of the forming of the protective layers on steel surface in the process of self-organization in tribo-system "copper-glycerin-steel". *Trenie i Iznos* 19(6),: 768-778

Sliney, H. E.; Williams, F. J. ,1982 "Performance of PTFE-lined composite journal bearings Plain cylindrical journal bearings consisting of aramid fiber reinforced epoxy outer shells and glass fiber reinforced PTFE lubricating liners were evaluated. All materials in these bearings are electrically nonconductive;" NASA Center: Glenn Research Center

Michael W., Franz-Josef E. (1996) " Dry friction in the Frenkel-Kontorova-Tomlinson model: Static properties": *Physical Review B*, 53(11): 7539

Modern Tribology Hand Book Bharat Bhushan sf 143

Friedrich K. - Reinicke R. - Hauptert F.- Hanchi J. - Bijwe J. (2002) Tribological Mechanism of Thermoplastic Materials Elsevier

Shonaike G.O., Simon G. P. ,(1999) Polymer blends and alloys –CRC Press ,155

Characterization and Failure Analysis of Plastics ASM International, 264

Burin, A.; Patashinskii, A; Ratner M.,(1999) "A soft configuration model for wearless sliding Friction" *Tribology Letters*, 7, (2-3): 109-111(3) Springer

Schwihag AG Company

Fodor A.(1996) patent ``Railroad track switch``

Ulla K, Mirko N, Anke M, vd., (2002) "Durable surface modification of poly(tetrafluoroethylene) by low pressure H₂O plasma treatment followed by acrylic acid graft polymerization" Institute of Polymer Research. Dresden, Germany 465 26 27

İNTERNET KAYNAKLARI

http://ocw.mit.edu/NR/rdonlyres/Mechanical-Engineering/2-800Fall-2004/EDEB0AEE-FEB5-48DD-B3AD-83F2422FAF07/0/ch1_trib_intro.pdf

Wielba's Handbook of Thermoplastic Polymers e-book

www.wikipedia.com

www.actontechnologies.com

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	26.06.1982	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1996-1999	Fatih Şehremini Lisesi
Lisans	2000-2006	Yıldız Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi. Kimya Bölümü
Yüksek Lisans	2006-2009	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Müh. Anabilim Dalı, Üretim Metalurjisi Programı