

**DİŞLİLER İÇİN YÜZEY YORULMASI TEST CİHAZI
GELİŞTİRİLMESİ VE YAĞ VİSKOZİTESİNİN ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kerim KIZILASLAN

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. İbrahim MUTLU

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

MAYIS 2007

Bu tez çalışması “051. TEF. 07” numaralı proje olarak A.K.Ü BAPK tarafından desteklenmiştir.

**T.C.
AFYONKARAHİSAR KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DİŞLİLER İÇİN YÜZEY YORULMASI TEST CİHAZI
GELİŞTİRİLMESİ VE YAĞ VİSKOZİTESİNİN ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Kerim KIZILASLAN

**DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. İbrahim MUTLU**

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

MAYIS 2007

ONAY SAYFASI

Yrd. Doç. Dr. İbrahim MUTLU danışmanlığında, Kerim KIZILASLAN tarafından hazırlanan “Dişliler İçin Yüzey Yorulması Test Cihazı Geliştirilmesi ve Yağ Viskozitesinin Etkisinin Araştırılması”; başlıklı bu çalışma, lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca;

29 / 05 / 2007

tarihinde aşağıdaki jüri tarafından, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

	Ünvanı, Adı, SOYADI	İmza
Başkan	Doç. Dr. Muhammet YÜRÜSOY	
Üye	Yrd. Doç. Dr. İbrahim MUTLU	
Üye	Yrd. Doç. Dr. Yılmaz YALÇIN	

Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Emine SOYTÜRK
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
RESİMLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1 ÇALIŞMANIN AMACI VE PROBLEMİN TANIMI	4
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1 DIŞLI ÇARK VE DIŞLI ÇARK MEKANİZMALARI	5
2.1.1 Silindirik Düz Dişli Çarklar	5
2.1.1.1. Temel Kavramlar ve Ana Boyutlar	5
2.1.2 Temas Basınç Hesabı	8
2.1.3 Dişlilerde Mukavemet Hesabı	11
2.1.4 Dişli Çarklarda Oluşan Hasarlar	14
2.1.4.1 Yüzey Yorulması Hasarları	14
2.1.4.2 Aşınma	19
2.1.4.3 Plastik Akma	22
2.1.4.4 Kırılma	22
2.1.4.5 İmalat Sırasında Oluşan Hasarlar	25
2.1.5 Dişli Hasar Bölgeleri	27
2.2 KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERİN SANAYİDEKİ YERİ	29
2.2.1 Çekme Mukavemeti	30
2.2.2 Darbe ve Şok Mukavemeti	31
2.2.3 Çelik Dişli Malzemeleri	32
2.3 SÜRTÜNME, VİSKOZİTE VE YAĞLAR	33
2.3.1 Sürtünme	33

2.3.2 Viskozite	38
2.3.2.1 Viskozitenin Esasları:	39
2.3.2.2 Sıcaklığın Viskozite Üzerine Etkisi:	39
2.2.2.3 Basıncın Viskozite Üzerindeki Etkisi:	40
2.3.2.4 Viskozite İndeksi:	40
2.3.3 Yağların Genel Tanımı:	41
2.3.3.1 Yağlanma Prensipleri Ve Teorileri	42
2.3.3.2 Yağlayıcı Elemanının Görevleri:	43
2.3.3.3 Yağlama Çeşitleri:	43
2.3.3.4 Günümüzde Yağlarda Kullanılan Katkı Maddeleri	44
2.3.3.5 Özel Katkı Maddeleri	45
2.4 LİTERATÜR ÖZETİ	47
3. MATERYAL VE METOT	57
3.1 DİŞLİ ÇARK İMALATI	57
3.2 DİŞLİ ÇARK MALZEMELERİ	59
3.3 MKE NORMU ALAŞIMSIZ MAKİNE YAPIM ÇELİĞİ	63
3.4 DİŞLİ AŞINMA DENEY CİHAZI TASARIMI VE İMALATI	65
4. BULGULAR	74
4.1 SERTLİK ÖLÇME DENEYİ	74
4.2 METALOGRAFİK İNCELEMELER	75
4.3 PİTTİNG HASAR OLUŞUM DENEYİ	77
4.4 YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK DENEYİ	79
4.5 MALZEME KAYBI (AĞIRLIK) ÖLÇÜMÜ	82
4.6 VİSKOZİTENİN YÜZEY HASARINA ETKİSİ	83
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	89
6-KAYNAKLAR	90
6.1 İNTERNET KAYNAKLARI:	92
7- ÖZGEÇMİŞ	94
8- EKLER	95

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi
DİŞLİLER İÇİN YÜZEY YORULMASI TEST CİHAZI GELİŞTİRİLMESİ VE
YAĞ VİSKOZİTESİNİN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI
Kerim KIZILASLAN

T.C.
Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İbrahim MUTLU

Makine sistemlerinde hareket ve güç ileten elemanların başında dişli çarklar gelmektedir. Dişli çarklar zamanla aşınmakta ve birçok olumsuz faktörü de beraberinde getirmektedir. Yapılan incelemeler neticesinde dişli çarklardaki aşınmaların birçok faktörlere bağlı olduğu ortaya konulmuştur. Bunların en önemlilerinden biriside; yağların viskozitesidir. Aşınma türlerinden biri olan pitting hasarlarının yağlama koşullarının yetersiz olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Bu deneysel çalışmada, değişik viskoziteye sahip yağlayıcıların, güç ve hareket iletiminde yaygın olarak kullanılan elemanlardan olan düz dişli çarklardaki aşınmaya olan etkileri incelenmiştir. Deneyler Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Fonu tarafından desteklenerek imal edilen dişliler için yüzey yorulma test düzeneğinde yapılmıştır. Yapılan bu düzenekteki yükleme durumu, diğer düzeneklerde olduğu gibi mekanik değil elektiriki olarak gerçekleştirilmiştir. Testler özel olarak yapılan düz dişli çarklar üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmalar esnasında dişli çarklar üzerinde farklı yağ viskozitelerinin etkilerini inceleyebilmek için; test dişlisinin malzemesi, devir sayısı, sıcaklık ve uygulanan yük sabit tutulmuş, buna karşılık farklı viskoziteye sahip yağlayıcılar kullanılmıştır. Dişli test numunelerinin deney öncesi ve sonrası ağırlıklarının tespiti, yüzey pürüzlülüklerinin ölçümü, yapılmıştır.

Sonuç olarak deney numuneleri 5 milyon devir yaptıktan sonra durdurulmuş ve incelemeler yapılmıştır. Yüzey pürüzlülük testlerinde çıkan sonuçlara göre yağ

viskozitesi düştükçe yüzey pürüzlülüğünün ve malzeme kaybının arttığı görülmüştür. SEM fotoğrafları incelendiğinde pittingler dişli uç kısımlarında yoğunlaşmıştır. Ayrıca düzensiz bir yapıda olduğu ve ayrıca yağ viskozitesi düştükçe pitting boyutlarının arttığı görülmüştür. Böylece değişik viskoziteli yağların yük taşıma kabiliyeti ve etkilerinin dişli çark profil yüzeylerinde ne gibi hasarlar meydana getirebileceği sorularına cevap aranmıştır.

2007, 96 Sayfa

Anahtar kelimeler: Düz dişli, Yağ viskozitesi, Aşınma

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

PRODUCTION OF A TEST MECHANISM FOR GEAR SURFACE FATIGUE AND INVESTIGATION ON THE EFFECT OF THE OIL VISCOSITY

Kerim KIZILASLAN

**Afyonkarahisar Kocatepe University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Machine Education**

Supervisor: Asist. Prof. Dr. İbrahim MUTLU

Gears are the ones which come first elements of movement and power transfer in machinery systems. Gears are worn by time and then this comes with many negative factors. After investigations it has been put forward that it depends on many factors to be worn at gears. One of the most important of them is lubricator viscosity. It can be said that pitting damages which is one of the wearing kind, are resulted from insufficient lubrication conditions.

In this experimental study case, the effects of different lubricants, which have several viscosities, on spur gears which are used in power and motion transmission, have been investigated. Experiments have been made on the gear fatiguing system which has been developed by supports from the Fund of Scientific Investigations at University of Afyon Kocatepe. In the system, load conditions were realized by electrical way unlike the other systems which use mechanical way. Tests were done on special made spur gears. In order to investigate of the effects of several oil viscosities on gears, material, revolution count, temperature and load applied, were kept constant; on the other hand, variable lubricants which have several viscosities were used. Either before or after the tests, weight detection of the gear samples and measurement of the surface roughness were done.

Thus, experimental samples have been stopped and investigated after 5 million revolutions. In according to the surface roughness tests the more oil viscosity decreases surface roughness and material lose raise.

It has been sought in the SEM photos that pittings get condensed on the edges of the gears. Also it is seen that they are in an irregular structure and also the more oil viscosity get lower pitting sizes get increase.

Consequently, the answers have been sought for the questions like load carrying capability of the oils which have several viscosities, and what kind of damages could be happened on the gear surfaces by those effects.

2007, Page: 96

Keywords: Spur gear, oil viscosity, wearing

TEŞEKKÜR

Hazırladığım tez çalışmamı belirlememde ve çalışmalarım süresince değerli desteğini ve yardımlarını esirgemeyerek, bilgi birikimleriyle her zaman katkı sağlamış olan Fen Bilimler Enstitü Başkanı Sayın Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN hocama ve yine yardımlarını esirgemeyerek çalışmalarım da manevi desteklerini ve bilgi birikimleriyle beni yönlendiren danışmanım, Sayın Yrd. Doç. Dr. İbrahim MUTLU hocama teşekkürü borç bilirim.

Aynı zamanda araştırmalarım ve çalışmalarım esnasında bilgi birikimiyle, desteğiyle yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Kubilay ASLANTAŞ'a, Elektrik Ana Bilim Dalı Öğr. Görv. Sayın Mustafa NARTKAYA'ya, Öğr. Görv. Sayın Bekir ÇENGELCİ'ye, ayrıca tez çalışmamın başlangıcından sonuna kadar her aşamasında ilgi ve alakalarıyla, manevi desteklerini ve bilgi birikimlerini bizimle paylaşan Öğr. Görv. Sayın İbrahim YAVUZ'a, Öğr. Görv. Sayın İsmail UCUN'a, Arş. Görv. Sayın İrfan UCUN'a teşekkürlerimi sunarım.

Deney cihazının yapımı esnasında benimle beraber bulunan ve birlikte çalıştığım arkadaşım Teknik Öğretmen Bahadır İŞEL'e, Elif Elektrik'ten Sayın M. Nedim OKTAY beye ve Çakıroğlu Vinç Makine San.'den Sayın Abdullah YANARDAĞ Beye teşekkür ederim.

Bu çalışmamda manevi destekleriyle her an yanımda gördüğüm meslektaşlarım, Afyonkarahisar Merkez Endüstri Meslek Lisesi Motorlu Taşıtlar Teknolojisi Alanı öğretmenlerine, Bilişim Teknolojileri Alanı Şefi değerli arkadaşım Hüseyin DOĞANLI ve Özkan ÖZLÜ ile yine değerli arkadaşlarım Murat SARICI ve Abdurrahman DEMİR'e teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince manevi desteğini hiçbir zaman üzerimden esirgemeyen ve desteğiyle başarılarımda benden daha fazla hak sahibi olan sevgili eşime, anneme ve kardeşlerime teşekkürü borç bilirim.

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

1. Simgeler

a	Sıcaklığa bağlı ampirik sabit
A	Düzlem alanı
A_g	Küçük temas alanlarının toplamı
b	Diş Genişliği
d_o	Taksimata (Bölüm) dairesi çapı
d_b	Baş dairesi çapı
d_t	Taban dairesi çapı
E	Elastisite modülü
E*	Eşdeğer elastisite modülü
F_N	Normal kuvvet
F_s	Sürtünme kuvveti
F_T	Teğetsel kuvvet
h	Diş yüksekliği
h_b	Diş başı yüksekliği
h_t	Taban yüksekliği
J	Geometri faktörü
K_a	Yük uygulama faktörü
K_e	Kavrama oranı faktörü
K_m	Yük dağılım faktörü
K_s	Boyut faktörü
K_v	Dinamik faktör
l_o	Dişler arasındaki boşluk
m	Modül
M	Burulma momenti
p	Basınç
P_o	Hertz basıncı
R*	Eşdeğer yarıçap
s_o	Diş kalınlığı
t	Diş taksimata
v	Poisson oranı

Z	Diş sayısı
α	Kavrama açısı
μ	Sürtünme katsayısı
μ_0	Statik sürtünme katsayısı
ρ	Dişlilerin eğrilik yarıçapları (Taban kavisi)
η	Viskozite
η_0	Atmosferik basınçtaki dinamik viskozite
η_p	P basınçdaki dinamik viskozite

2. Kısaltmalar

AGMA	Amerikan Dişli Üreticileri Birliği
API	American Petroleum Institute
DIN	Alman Endüstri Normu
EDX	Energy Dispersive X-ray Spectroscopy
EP	Aşırı basınç katıkları
FZG	Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebbau, Lehrstuhl für Maschinenelemente
KGDD	Küresel Grafitli Dökme Demir
MKE	Makina Kimya Endüstrisi
ÖKGDD	Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demir
SAE	Society of Automotive Engineers
SEM	Scanning Electron Microscopy (Taramalı Elektron Mikroskobu)
TS	Türk Standartları
TUAM	Teknolojik Uygulama ve Araştırma Merkezi
VI	Viskozite indeksi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No		Sayfa No
Şekil 1.1	Kapalı devre güç iletim sistemine sahip dişli test cihazı.....	2
Şekil 2.1	(a) Dişli Çarkın Ana Boyutları.....	7
Şekil 2.1	(b) Dişin Ana boyutları.....	7
Şekil 2.2	(a) Temas Halinde Olan İki Silindir.....	9
Şekil 2.2	(b) İki Dişin kavrama esnasındaki teması.....	9
Şekil 2.3	İki Silindir Yüzeyin Teması Sonucu Meydana Gelen Yük Dağılımı.....	9
Şekil 2.4	Bir Düz Dişlinin Diş Yüzeyine Etkiyen Yük Bileşenleri.....	12
Şekil 2.5	Diş Yüzeyine Etkiyen Yükün Farklı Temas Konumlarına Göre Dağılımı.....	13
Şekil 2.6	Dişli Hasar Bölgeleri.....	27
Şekil 2.7	(a) Sürtünme Çeşitleri (Kuru).....	33
Şekil 2.7	(b) Sürtünme Çeşitleri (Sınır).....	33
Şekil 2.7	(c) Sürtünme Çeşitleri (Sıvı).....	33
Şekil 2.8	Kuru Sürtünme Modeli.....	35
Şekil 2.9	Mikrokaynakların Oluşması.....	36
Şekil 2.10	Newtonian Akışkanlarının Paralel Düzlemlerle İzahı.....	39
Şekil 3.1	Dişli Aşınma Deney Cihazı Şematik Görünümü.....	65
Şekil 4.1	Ölçülen Sertlik Değerlerinin Ölçüm Noktaları.....	74
Şekil 4.2	(a) Mahr Perthometer Yüzey Pürüzlülük Cihazı İle Test Öncesi Ölçüm Sonuçları (Dişli 1).....	80
Şekil 4.2	(b) Mahr Perthometer Yüzey Pürüzlülük Cihazı İle Test Öncesi Ölçüm Sonuçları (Dişli 3).....	81
Şekil 4.3	Kullanılan yağın viskozitesine bağlı olarak pürüzlülük değerinin değişimi.....	82
Şekil 4.4	Kullanılan yağın viskozitesine bağlı olarak malzeme kaybı değerinin değişimi.....	83

RESİMLER DİZİNİ

Resim No		Sayfa No
Resim 2.1	Pitting.....	15
Resim 2.2	Başlangıç Pittingi.....	16
Resim 2.3	İlerleyen Pitting.....	16
Resim 2.4	Normal Pitting.....	17
Resim 2.5	Spalling.....	18
Resim 2.6	Abrasiv Aşınma.....	19
Resim 2.7	Yüzeyi Sertleştirilmiş Dişlide Adhesiv Aşınma.....	20
Resim 2.8	Scuffing.....	21
Resim 2.9	Scoring.....	22
Resim 2.10	Diş Dibi Kırığı.....	23
Resim 2.11	Pitting Kaynaklı Kırılma.....	24
Resim 2.12	Bükülme Yorulması Çatlağı Ve Kırığı.....	25
Resim 2.13	Dişlerdeki Yorulma Kırılması.....	25
Resim 2.14	Sertleştirme Çatlağı.....	26
Resim 2.15	Taşlama Çatlağı.....	26
Resim 3.1	Dişli Çarkların Azdırma Tezgahında İmalatı.....	57
Resim 3.2	Test (Pinyon) Dişli Çarklarının Dişleri Açılmadan Önceki Hali.....	59
Resim 3.3	Test (Pinyon) Dişli Çarklarına Diş Açılmış Halde.....	60
Resim 3.4	(a) Test dişlilerinin frezede kesilmesi.....	60
Resim 3.4	(b) Kesilmiş dişli ve dişleri.....	61
Resim 3.5	Deneyisel Çalışmada Kullanılan Çeviren Ve Vasat Dişliler.....	63
Resim 3.6a	Dişli Aşınma Deney Cihazının Önden Görünüşü.....	66
Resim 3.6b	Dişli Aşınma Deney Cihazının Yandan Görünüşü.....	66
Resim 3.6c	Dişli Aşınma Deney Cihazının Arkadan Görünüşü.....	67
Resim 3.6d	Dişli Aşınma Deney Cihazının Üstten Görünüşü.....	67
Resim 3.7	Gamak (3KW) Elektrik Motoru Cihaz Üzerine Bağlanmış Halde.....	68
Resim 3.8	Sincro Marka Alternatör Cihaz Üzerine Bağlanmış Halde.....	68

Resim 3.9	Test Cihazı Kontrol Panosu.....	69
Resim 3.10	Cihazda Kullanılan Genel Amaçlı Frekans İvertörü.....	69
Resim 3.11	Sayıcının Algılayıcı Ucu Elektrik Motorunun Arkasına Yerleştirilmiş Halde.....	70
Resim 3.12	Hanyoung Devir Sayıcısı Bağlantı Şeması Ve Ölçüleri.....	70
Resim 3.13	Sea Land Su Pompası.....	71
Resim 3.14	Enda ET 1311 Marka Bir Isı Kontrol Cihazı.....	72
Resim 3.15	Test Cihazını Yüklemede Kullanılan Rezistanslar.....	72
Resim 3.16	Dişli Kutusunun İçten Görüntüsü.....	73
Resim 4.1	Mettest-HT Sertlik Ölçüm Cihazı.....	74
Resim 4.2	Olympus Optik Mikroskop.....	75
Resim 4.3a	Küresel Grafitli Dökme Demir Malzemesine Ait Mikro Yapı (Dağlamasız x100).....	76
Resim 4.3b	Küresel Grafitli Dökme Demir Malzemesine Ait Mikro Yapı (Nital İle Dağlanmış x100).....	76
Resim 4.3c	Küresel Grafitli Dökme Demir Malzemesine Ait Mikro Yapı (Nital İle Dağlanmış x200).....	76
Resim 4.3d	Küresel Grafitli Dökme Demir Malzemesine Ait Mikro Yapı (Nital İle Dağlanmış x500).....	77
Resim 4.4	Dişli Aşınma Deney Cihazı.....	78
Resim 4.5a	Mahr Perthometer Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı.....	79
Resim 4.5b	Mahr Perthometer Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı Ölçüm Sırasında.....	80
Resim 4.6	SEM (Scanning Electron Microscope).....	84
Resim 4.7	30 numaralı viskozite yağ ile işlem görmüş dişli yüzeyinde meydana gelen karıncalanma hasarı	85
Resim 4.8	80 numaralı viskozite yağ ile işlem görmüş dişli yüzeyinde meydana gelen karıncalanma hasarı	85
Resim 4.9	140 numaralı viskozite yağ ile işlem görmüş dişli yüzeyinde meydana gelen karıncalanma hasarı	86
Resim 4.10	30 numaralı viskozite yağ ile işlem görmüş dişli yüzeyinde meydana gelen karıncalanma hasarı	87

Resim 4.11	80 numaralı viskozite yağ ile işlem görmüş dişli yüzeyinde meydana gelen karıncalanma hasarı	87
Resim 4.12	140 numaralı viskozite yağ ile işlem görmüş dişli yüzeyinde meydana gelen karıncalanma hasarı	88

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge No		Sayfa No
Çizelge 2.1	Standart Modül Değerleri.....	6
Çizelge 2.2	Küresel grafitli dökme demirlerin sanayide kullanım alanları...	30
Çizelge 2.3	KGDD ve çeliklere ait mekanik özelliklerin karşılaştırılması...	31
Çizelge 2.4	Sürtünme Katsayılarının Ortalama Değerleri.....	38
Çizelge 3.1	Test (Pinyon) Dişlilerinin Özellikleri.....	58
Çizelge 3.2	Döndüren ve ara (vasat) dişlilerine ait özellikler.....	58
Çizelge 3.3	Küresel Grafitli Dökme Demir Bileşenleri.....	61
Çizelge 3.4	Ç1050 Malzeme Normu Gösterilişi.....	63
Çizelge 3.5	Ç1050 Malzemenin Kimyasal Analizi.....	63
Çizelge 3.6	Malzemenin ısıtılma durumu.....	64
Çizelge 3.7	Malzemenin fiziksel nitelikleri.....	64
Çizelge 3.8	Malzemenin normalize edilmiş durumda.....	64
Çizelge 3.9	Malzemenin sertlik dayanımı.....	64
Çizelge 4.1	SAE 30 yağı Performans Seviyeleri.....	78
Çizelge 4.2	SAE EP 80 yağı Performans Seviyeleri.....	78
Çizelge 4.3	SAE EP 140 yağı Performans Seviyeleri.....	79
Çizelge 4.4	Test Dişlilerinin Yüzey Pürüzlülük Değerleri Ölçüm Sonuçları.....	81
Çizelge 4.5	Test Dişlilerindeki Malzeme Kaybı Verileri.....	82
Çizelge 4.6	Farklı Viskozitelerde Yapılan Deneylerin Maksimum Karıncalanma Boyutu.....	88

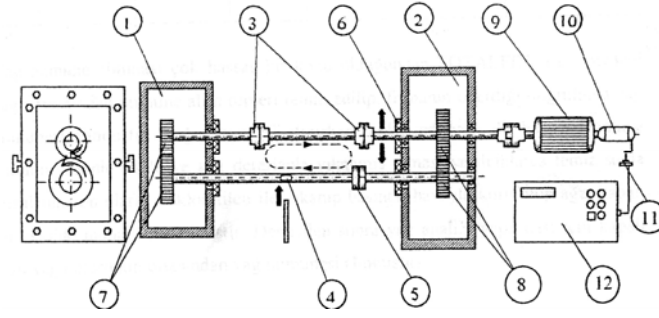
1. GİRİŞ

Dişli çarklar çok eski tarihlerden günümüze kadar birçok alanda, güç ve hareket iletiminde kullanılan makine elemanlarıdır. Farklı boyut, malzeme ve uygulamalarda olsalar da dişli çarklar hemen her makinede miller arasında şekil bağıyla kuvvet ve hareket ileten elemanlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Mekanik gücün iletiminde mühendislik ve maliyet avantajlarını bir arada sunan dişli çarklar, saat mekanizmaları gibi hassas cihazlardan, otomobil, takım tezgâhları ve uçak-uzay teknolojisine kadar geniş bir alanda kullanılmaktadır. Bu kullanım sahasında dişli çarklardan en iyi verimin alınması da yine yıllardan beri süregelen çalışmaların ana başlığını oluşturmuştur. Buna istinaden, ihtiyaçların artmasına paralel olarak yapılan sistemlerde en önemli beklenti; enerjinin fazla kayba uğramadan iletilmesinin sağlanması ve verimin mümkün olan en yüksek değerde tutulmasıdır.

Enerjinin iletimi esnasında verimin yüksek tutulmasına karşı zorlayıcı en büyük etken sürtünme ve meydana getirdiği aşınmadır. Bu olumsuz etkiler, diğer makine elemanlarında olduğu gibi dişli çarklar üzerinde de kendini göstermekte ve maddi açıdan ciddi kayıplara neden olmaktadır.

Dişli çarklarda meydana gelen yüzey hasarları ve pitting (karıncalanma) uzun zamandan beri bilimsel metotlarla incelenmeye başlanmış, bu incelemeler sonucunda dişli çarklarda meydana gelen yüzey hasarları ve pitting oluşum sürecini etkileyen başlıca parametreler belirlenmiştir. Bu parametreler; yüzey basıncı, yükleme durumu, malzeme cinsi, yüzey pürüzlülüğü, ısıl işlem, yağlama rejim cinsi, yağ sıcaklığı, yağlayıcı özellikleri ve dişli çarkların geometrilerinde yapılan değişiklikler olduğu gözlenmiştir. Bu parametreler genellikle dişli aşınma cihazları kullanılarak belirlenmiştir.

Günümüzde çok farklı dişli aşınma cihazları vardır. En çok kullanılan cihaz, Şekil 1’de görülen kapalı devre güç iletim sistemine sahip dişli yorulma deney cihazlarıdır.



Şekil 1.1 Kapalı devre güç iletim sistemine sahip dişli test cihazı (Başaran, 2001)

1- Test dişli kutusu, 2- Yardımcı dişli kutusu, 3- Kardan mili (burulma mili), 4-Portatif tork yükleme kolu, 5-Tork kaplini, 6- Kayabilen yatak 7- Test dişlisi, 8- Yardımcı dişliler, 9- Elektrik motoru, 10- Redüktör, 11- Devir alıcı, 12- Kontrol panosu

Kapalı devre güç dolaştırıcı düzenekler, dişli yorulması deneylerinde çok yaygın olarak kullanılan bir cihazdır. Aynı çevrim oranını sağlayan iki dişli kutusundan meydana gelir. Dişli kutuları arasındaki çıkış milinin burulmasıyla sistem yüklenmiş olur. Test dişli kutusunun üzerindeki rulmanlı yataklardan pinyon dişlinin takıldığı mili sabitleyen, kaydırılabilen bir yapıya sahiptir. Bu özellikle beraber, pinyon dişlinin takıldığı milin dişli kutuları arasında kalan kısmında, iki adet kardan kavrama kullanılması ile farklı eksenler arası mesafeye sahip dişli çiftlerini denemek mümkün olmaktadır. Cihazın yükleme şekli hareketsizken yüklenebilen cinstendir. Test edilecek dişlilerin test kutusuna montajını takiben, yardımcı dişli kutusu ve motor arasında kalan mil parçasına bir adet cıvata takılması ve cıvatanın, boyu ayarlanmış sabit desteğe denk getirilmesi ile sistem hareketsiz kılınır. Daha sonra, test dişli kutusu ve yardımcı dişli kutusu arasında bulunan, ucunda tork kaplini bağlı mil parçasına bir moment kolu vasıtasıyla ağırlık asılır. Böylece söz konusu mil parçası burulmuş olur. Ağırlık asılı haldeyken, tork kaplininin üzerinde bulunan cıvatalar sıkılarak kapalı devre tamamlanır ve sabitleme cıvatası çıkartılır. Bu sayede, burulan milin uğradığı açıl deformasyon kapalı devredeki tüm millere ve dolayısıyla dişlilere dağılmış olur. Bu sistemlerde yükleme için uygulanan burulma momentinin yönünün, motorun dönüş yönünün aksi istikametinde olmasına dikkat edilmelidir (Başaran, 2001).

Dişli çarklarda oluşan aşınmalarla ilgili birçok araştırma ve deneyler yapılmış ve hala yapılmaktadır. Aşınmanın engellenmesi için uygulanan en önemli metot yağlamadır.

Birbiri üzerinde temas ederek çalışan dişlilerde, farklı yükler ve sürtünme sonucu oluşan ısınmalar, kullanılan yağlama yağının viskozitesini etkilemekte, devamında aşınmalar, gürültü ve titreşimlerin artmasını sağlayacak performans düşmelerine neden olmaktadır. Bilindiği gibi yağlarının amacı; sürtünme, aşınma, sıcaklık ve korozyon kontrolü, kirli maddelerin temizlenmesi ayrıca paslanmanın önlenmesini sağlayarak, sistem elemanlarının korunmasının gerçekleştirilmesidir. Teknolojiyle birlikte yağlama sistemleri ve yağlarda özellik açısından giderek gelişmektedir.

1.1 Çalışmanın Amacı ve Problemin Tanımı

Dişli çarkların endüstride güç ve hareket iletiminde, değişik ortam ve koşullarda kullanılan makine elemanları oldukları bilinmektedir. Makineciliğin bu önemli elemanlarının zorlayıcı şartlar altında çalışması sonucu hasarlar meydana gelmekte ve bu hasarların bilinmesi ve oluşum nedenlerinin tespiti gerekmektedir.

Yapılan bu çalışmada Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Araştırma Fonu desteği ile tasarlanan ve imal edilen “ Dişli Yorulma Test Düzenegi” vasıtasıyla, Ç1050 aşındırıcı dişliler ile küresel grafitli dökme demirden imal edilen GGG 50 test dişli çarkları, sabit hız, yük ve sıcaklık ile değişik viskoziteli mineral yağlar kullanılarak, aşınmaya olan etkileri incelenmiştir. Deney öncesi ve sonrası yüzey pürüzlülüğü ölçümü, teraziyle ağırlık tartımı, mikro ve makro fotoğraflar vasıtasıyla yüzeylerde oluşan aşınma şekli ve miktarlarını kapsayan bir çalışma planlanmıştır.

Yapılan bu çalışmadaki beklenti; yeni tasarlanan ve yüklemenin elektrikle gerçekleştirildiği test düzeneginde farklı viskoziteli yağların dişli yüzeylerinde oluşturduğu aşınmaların gözlenmesidir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Dişli Çark Ve Dişli Çark Mekanizmaları

Güç ve devir ileten elemanlardan en çok kullanılan dişli çark mekanizması olup, en az iki dişliden oluşan bir sistemdir. Güç iletme bakımından, mekanizmanın bir döndüren ve bir veya birkaç döndürülen elemanı vardır. Genellikle mekanizmanın küçük dişlisine pinyon diğerine çark denir.

Eksenleri ayrı düzlemde paralel olan iki mil arasında güç ve devir ileten çarklara silindirik veya alın dişli çarklar denir. Bu dişliler, dişlerin yönü çark eksenine göre paralel olduğu durumda düz silindirik, eğik olduğu halde helisel silindirik veya çift helisel silindirik dişli çark adını alırlar. Ayrıca çarklar, birbirinin dışında veya içinde yuvarlanmalarına göre dış veya iç silindirik dişli çarklar vardır.

2.1.1 Silindirik Düz Dişli Çarklar

2.1.1.1. Temel Kavramlar ve Ana Boyutlar

Silindirik düz dişli çarklar için ifade edilen temel kavramlar ve boyutlar genel bir anlam taşımaktadır. Bu kavramlar diğer dişli çarklar için de geçerlidir ve burada elde edilen denklemler az bir değişiklikle diğer dişli çarklara da uygulanabilir. Dişli çarkların ana boyutları şu şekilde sıralanabilir.

1. Taksimat dairesi. Üzerinde dişlerin taksimatı yapılan ve esas dişli çarkın büyüklüğünü belirleyen dairedir.

Bu daire üzerinde ölçülen ve bir diş kalınlığı ile bir diş arası boşluğu kapsayan uzunluğa **diş taksimatı (t)** veya **hatve** denir, Z ile dişli çarkın diş sayısı gösterilirse, taksimat dairesinin çemberi ve taksimat dairesinin çapı

$$\pi d_o = Z.t \quad ; \quad d_o = \frac{t}{\pi} Z \quad (3.1)$$

şeklinde yazdır. Buradan modül denilen

$$m = \frac{t}{\pi} \quad (3.2)$$

ifadesi ile

$$d_o = mZ \quad (3.3)$$

olarak bulunur. Modül değerleri standartlaştırılmıştır. Çizelge 2.1'de silindirik ve konik dişli çarklar için DIN 780'e göre modül değerleri verilmiştir. Parantez içindeki değerler 2. tercih serisine aittir. Tercih edilen 1. seridir; özel hallerde 2. seri kullanılabilir.

Inch (parmak) sistemi geçerli olan ülkelerde modül yerine diametral pitch (P), taksimat yerine circular pitch (p) deyimleri kullanılmaktadır. İki sistem arasında aşağıdaki bağıntılar mevcuttur.

$$m = 25,4 / P \quad ; \quad P = \pi / p \quad ; \quad d_o = Z / P \quad (3.4)$$

Çizelge 2.1 Standart modül değerleri

1	(1,75)	2,5	(3,75)	4	(5,5)	(7)	(10)	(13)	(16)	(22)	(32)
1,2	2	(2,75)	(3,5)	(4,5)	6	8	(11)	(14)	(18)	25	(36)
5	(2,25)	3	(3,75)	5	(6,5)	(9)	12	(15)	20	(28)	40

2. Baş ve Taban Dairesi: Taksimat dairesinin yarı sıra, dişlerin yüksekliğini tayin eden baş dairesi ve taban dairesi vardır;

Baş dairesi dişlerin başından ve **taban dairesi** dişlerin tabanından geçen dairedir.

3. Diş boyutları (Şekil 3.1)

Diş başı yüksekliği: h_b

Diş kalınlığı: s_o

Taban yüksekliği: h_t

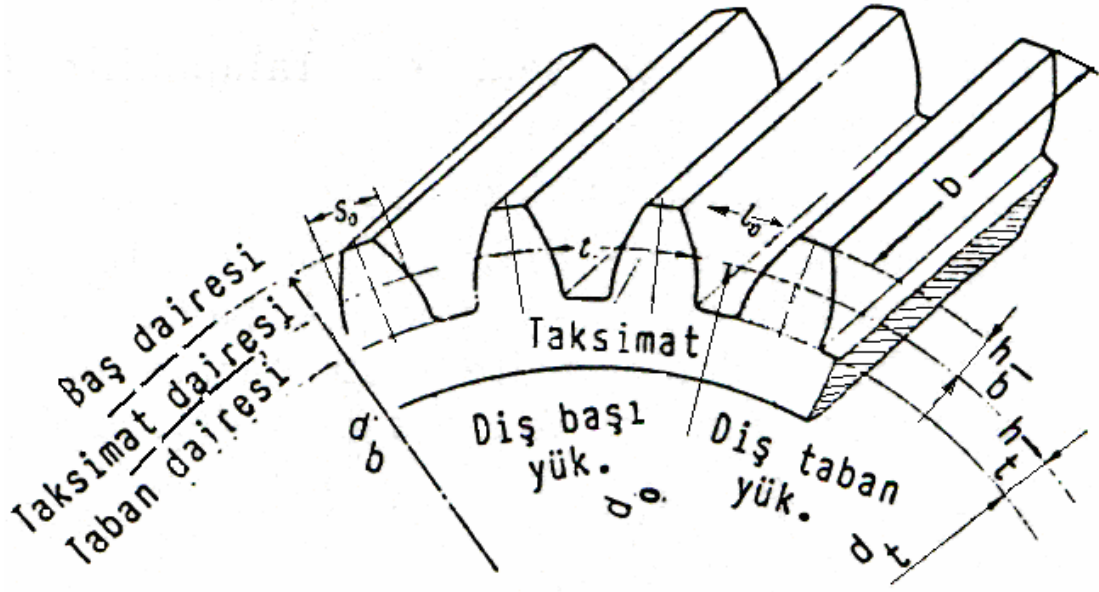
Dişler arasındaki boşluk: l_o

Diş yüksekliği: $h = h_o + h_t$

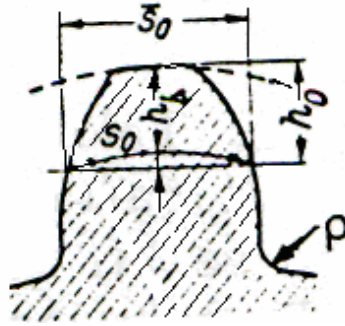
Taban kavisi: ρ

Taksimat: $t = \pi m$

Diş Genişliği: b



Şekil 2.1a Dişli çarkın ana boyutları



Şekil 2.1b Dişin ana boyutları

Diş başı yüksekliği; dişin baş dairesi ile taksimat dairesi arasındaki yüksekliğidir; **diş taban yüksekliği**; dişin taksimat dairesi ile taban dairesi arasındaki yüksekliğidir. **Diş yüksekliği**; dişin baş dairesi ile taban dairesi arasındaki yüksekliğidir. \bar{s}_0 ile gösterilen diş kalınlığı ve l_0 ile ifade edilen dişler arası boşluk taksimat dairesi üzerinde geçerlidir. Pratikte diş kalınlığı, yay şeklinde olan S_0 'ın yay kirişi \bar{s}_0 ile ölçülür. \bar{s}_0 'ın diş başına kadar olan yüksekliği h_0 ile ifade edilir (Şekil 2.1).

Diş kalınlığı ile dişler arasındaki boşluk, taksimat dairesi üzerinde ölçüldüğü için;

$$t = \pi m = S_0 + 1_0 \quad \text{veya} \quad S_0 = 1_0 = t/2 = \pi m/2 \quad (3.5)$$

olarak yazılabilir. Ancak eş çalışan dişlilerin birbirini daha iyi kavrayabilmesi için S_0 , tolerans mertebesinde, 1_0 dan daha küçük yapılır.

4. Dişlerin yükseklikleri, dişli çarkın baş dairesi ve taban dairesini belirler. Baş dairesi çapı ve taban dairesi çapı

$$d_b = d_0 + 2h_b \quad ; \quad d_t = d_0 - 2h_t \quad (3.6)$$

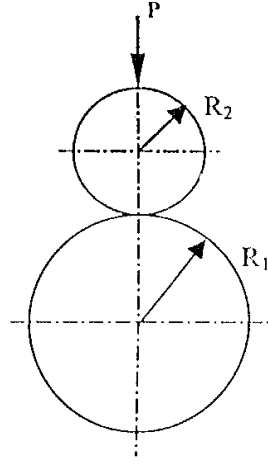
şeklinde ifade edilir. Böylece (3. 3) ve (3. 6) bağıntıları dişli çarkların esas boyutlarını tayin eden ana bağıntılardır.

Diş başı yüksekliği h_b ve taban yüksekliği h_t 'ye göre dişli çarklar sıfır (**0**), profili artı (+) kaydırılmış ve profili eksi (-) kaydırılmış olmak üzere üç sınıfa ayrılırlar. Son iki sınıftaki dişlilere kısaltılmış olarak artı ve eksi dişliler denilmektedir (Akkurt, 2000).

2.1.2 Temas Basınç Hesabı

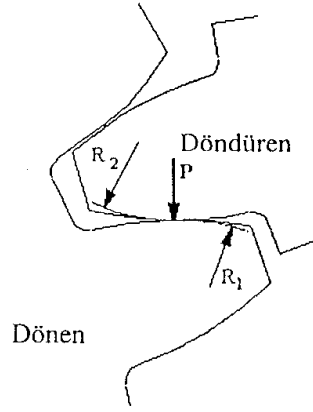
Diş yüzeylerindeki temas basıncı genellikle 1882 yılında Hertz tarafından ortaya atılan temas teorisine göre yapılmaktadır. Bu teoriye göre diş yüzeylerinin birbiri üzerindeki yuvarlanmalı kayma hareketi çizgisel temas halinde olan iki silindirin birbiri üzerindeki yuvarlanma hareketine benzetilmiştir (Şekil 2.2).

Hertz temas teorisine göre iki silindir yüzeyin teması sonucunda ara yüzeyde meydana gelen temas uzunluğu; uygulanan P yüküne, silindir çapına ve malzemenin elastisite modülüne bağlıdır. Hertz tarafından ortaya konulan bu teoriye göre temas bölgesindeki basınç dağılımı yarı elips biçiminde meydana gelmekte (Şekil 2.3) ve maksimum basınç değeri temas merkezinde ortaya çıkmaktadır.



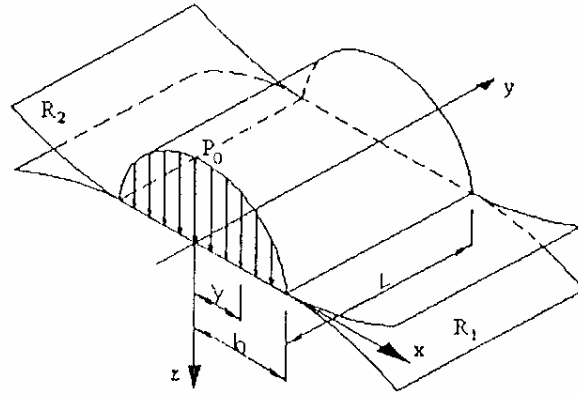
(a)

Şekil 2.2 a Temas halinde olan iki silindir



(b)

Şekil 2.2 b İki dişin kavrama esnasındaki teması



Şekil 2.3 İki silindir yüzeyin teması sonucu meydana gelen yük dağılımı

Yük dağılımı yarı elips biçiminde olduğundan, temas merkezinden temasın son bulunduğu b mesafesine kadar yüzeye etkiyen yük dağılımı sürekli değişmektedir. Bu varsayım Hertz temas teorisini kullanabilmemize olanak sağlayacaktır. Bu teoriye göre; iki elastik silindirin birbiri üzerindeki yuvarlanmalı-kayma hareketi neticesinde, temas noktasındaki basınç dağılımı elips biçiminde olur. Hertz temas teorisine göre temas bölgesindeki basınç dağılımı;

$$p(x) = \frac{2P}{\pi b^2} (b^2 - x^2)^{1/2} \quad (3.7)$$

Şeklinde hesaplanmaktadır. Burada P Hertz basıncı veya diş genişliğinin her birim uzunluğuna etkiyen normal yük olarak tanımlanır, b ise yarı temas uzunluğu olup;

$$b = \left[\frac{4PR^*}{\pi E^*} \right]^{1/2} \quad (3.8)$$

ile hesaplanır. Burada R* eşdeğer yarı çapı, E* ise eşdeğer elastisite modülü olup;

$$E^* = \left(\frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \right)^{-1} \quad (3.9)$$

$$R^* = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)^{-1} \quad (3.10)$$

şeklinde hesaplanır. Burada E_i ve ν_i dönen ve döndüren dişlilere ait Elastisite modülü ve Poisson oranıdır. Temas noktasında meydana gelen maksimum basınç (P_o), P' nin bir fonksiyonu olarak;

$$p_o = \frac{2P}{\pi b} = \left[\frac{PE^*}{\pi R^*} \right]^{0,5} \quad (3.11)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Diş yüzeylerinin birbiri üzerindeki yuvarlanmalı kayma hareketi neticesinde yüzeyde meydana gelen teğetsel yükler;

$$q(x) = \mu p(x) \quad (3.12)$$

dir. Burada μ ; yüzeyler arasındaki sürtünme katsayısıdır.

2.1.3 Dişlilerde Mukavemet Hesabı

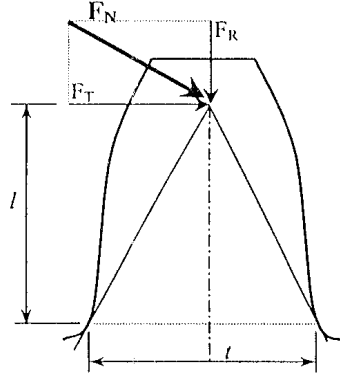
Günümüze kadar yapılan çalışmalarda dişli mukavemetini ve efektif çalışma ömrünü hesaplama konusunda çeşitli teoriler geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Bunlar içerisinde en yaygın olarak kullanılan Lewis tarafından ortaya konulan teoridir. Bu teoriye göre diş bir ankastre çubuk olarak düşünülmüş ve mukavemet hesapları buna göre yapılmıştır. Diş yüzeyine etkiyen normal kuvvet, radyal ve teğetsel kuvvet olarak iki bileşene sahiptir (Şekil 2.4). Birlikte çalışan dişlilerin temas konumunun taksimat dairesi üzerinde bulunduğu durumda bu kuvvetin teğetsel bileşeni;

$$F_T = F_N \cos \phi \quad (3.13)$$

olurken, diş yüzeyine etkiyen yükün radyal bileşeni;

$$F_R = F_N \sin \phi \quad (3.14)$$

şeklinde olur. Burada; F_R radyal kuvveti, F_T ise teğetsel kuvveti ifade eder. F_N diş yüzeyine etkiyen normal kuvvettir. ϕ ise dişliye ait kavrama açısıdır.



Şekil 2.4 Bir düz dişlinin diş yüzeyine etkiyen yük bileşenleri

Diş yüzeyine etkiyen yük temasın ilk başladığı andan temasın son bulunduğu noktaya kadar diş dibi bölgesinde bir eğilme momenti etkisi oluşturmaktadır. Bununla birlikte bir dişliden diğerine aktarılan burulma momenti M ile teğetsel kuvvet arasındaki ilişki;

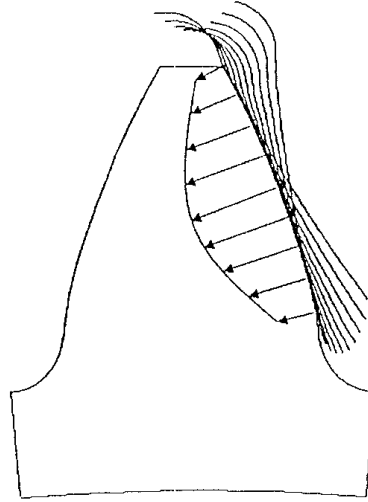
$$F_T = \frac{2M}{d_0} \quad (3.15)$$

olarak hesaplanmaktadır. Lewis tarafından ortaya konulan denkleme göre, F_T teğetsel yüke maruz kalan bir dişlinin diş dibinde meydana gelen gerilme, kirişteki basit eğilme probleminden yola çıkılarak;

$$\sigma = \left[\frac{F_T K_a}{K_v} \right] \left[\frac{1}{Lm} \right] \left[\frac{K_s K_m}{J} \right] \quad (3.16)$$

Burada; m dişliye ait standart modülü, K_a yük uygulama faktörünü, K_v dinamik faktörü, K_s boyut faktörünü, K_m dağılım faktörünü ve J geometri faktörünü temsil etmektedir. Çalışma sırasında diş yüzeyine etkiyen yükler sürekli değişmektedir. Yani dişin ilk temasa geçtiği konumda diş yüzeyine etkiyen yük miktarı ile bölüm dairesi çapı bölgesindeki temas konumunda diş yüzeyine etkiyen yük miktarı farklıdır. Bu durum dişli çarklardaki kavrama oranına dolayısıyla aynı anda birden fazla sayıda dişli çiftinin temas halinde olmasına bağlı olarak değişmektedir.

Diş eksi eden kuvvet kavrama zamanı boyunca, K_e olarak ifade edilen kavrama oranı faktörüne bağı olarak değişmektedir. Dolayısıyla dişlerin ilk ve son temas konumlarında etki eden F_N kuvveti daha küçük olmaktadır. Buna bağı olarak her temas konumunda diş yüzeyine etkiyen radyal ve teğetsel yükler de değişecektir. Diş üzerinde gerçekte dalgalı değişken bir yük dağılımı söz konusudur (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Diş yüzeyine etkiyen yükün farklı temas konumlarına göre dağılımı

Diğer taraftan temas yükleri altında diş yüzeylerinde meydana gelen temas gerilmelerini bulmaya yönelik olarak literatürde kabul görmüş ampirik ifadeler bulunmaktadır. Bunlar içerisinde en çok kullanılanı Hertz temas teorisine dayanmaktadır. Buna göre yüzeyde meydana gelen maksimum basınç değeri eşitlik 3.11 kullanılarak hesaplanmaktadır. Temas esnasında ortaya çıkan b yarı temas uzunluğu da elde edildikten sonra, diş eksiyen teğetsel yüke bağı olarak temas gerilmesi ifadesi;

$$\sigma_c^2 = \frac{F_T}{\pi L \cos \phi} \frac{(1/R_1) + (1/R_2)}{\left[\frac{1 - \nu_1^2}{E_1} \right] + \left[\frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \right]} \quad (3.17)$$

şeklinde verilmektedir. Burada verilen R_1 ve R_2 eşitlik 3.10 de verilen R_1 ve R_2 ifadeleri ile aynıdır. Yine eşitlikte verilen ϕ açısı bölüm dairesine ait basınç açısıdır ve düz dişliler için genellikle 20° dir (Aslantaş, 2003).

2.1.4 Dişli Çarklarda Oluşan Hasarlar

Amerikan Dişli Üreticileri Birliği (AGMA) ulusal standardında diş bozuklukları 5 temel bozukluk içinde sınıflandırılmıştır.

1-Yüzey Yorulma Hasarları

4-Kırılma

2-Aşınma

5-İmalat Sırasında Oluşan Hasarlar

3-Plastik Akma

Bu 5 temel bozukluk alt gruplara ayrılmaktadır. Bir dişli tasarlanırken dişlinin çalışma şartlarında muhtemelen hangi tür hasarlarla karşılaşacağı bilinmelidir. Tasarımcı dişlileri uygun kuvvet, aşınma direnci gibi faktörleri dikkate alarak tasarlamalıdır. Ayrıca yağ seçiminin ısı işlem kadar önemli olduğunu unutulmamalıdır.

2.1.4.1 Yüzey Yorulması Hasarları

Bu yorulma, malzemenin dayanım sınırı ötesindeki tekrarlı yüzey veya yüzey altı gerilmelerinin sonucunda oluşan bir hasar türüdür. Yetersiz yağlama sonucunda oluşan aşınma hasarlarından farklıdır. İyi yağlama şartlarında bile görülür.

Aşırı basınç altında fazla sayıda yük tekrarının (çevriminin) ardından, diş yüzeyinde veya yüzey altında oluşan küçük çatlaklarının gelişip, birleşmesiyle meydana getirdikleri çatlak şebekesinin çevirdiği malzeme parçacığının kopup ayrılması sonucu ortaya çıkar. Pitting ya da spalling adı ile anılır (Resim 2.1).



Resim 2.1 Pitting (İnt. Kyn. 8).

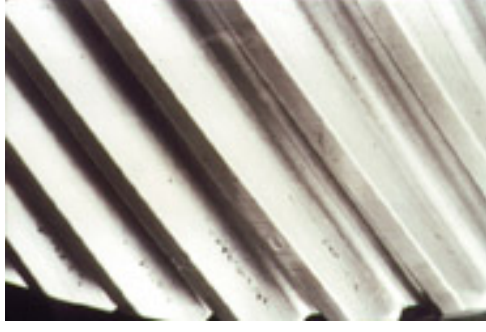
A) Pitting;

Dişli çarkın çalışmaya başlamasından kısa bir süre sonra oluşabilen ve aşağıda verildiği gibi üç şekilde görülebilen bir yüzey yorulması hasar türüdür.

- 1-Başlangıç pittingi
- 2-İlerleyen (şiddetli-harap edici) pitting
- 3-Normal pitting

1-Başlangıç Pittingi;

Yeni dişlilerin pürüzlü yüzeyinden kaynaklanan yüksek gerilimler sebebiyle oluşur. Çok kısa zamanda gelişir, maksimum dereceye ulaşır ve devam eden servis sırasında yüzeyin parlayıp cilalanması ile etkisini kaybeder. Genellikle yuvarlanma noktasının tam üzerinde veya biraz altında yer alan dar bir alan içinde ortaya çıkar. Daha çok tamamen sertleştirilmiş dişlilerde görülür (Resim 2.2).

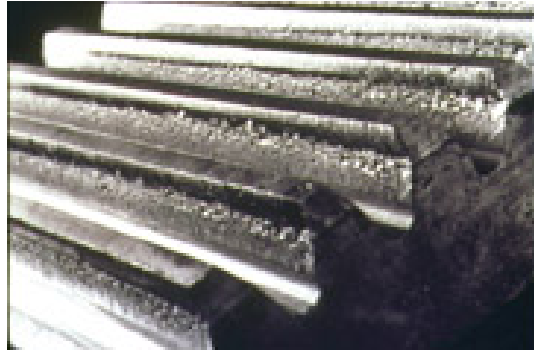


Resim 2.2 Başlangıç pittingi (İnt. Kyn.10).

Sanayide kullanılan tamamen sertleştirilmiş dişlilerde başlangıç pittingi için tedbir gerekmez. Çok kritik ve özel yerlerde kullanılacak dişlilerin imalatı sırasında hassas bitirme operasyonu ile tamamlanması, düşük hız ve yüklerde alıştırma, dişlerin bakır ya da gümüş ile kaplanması gibi tedbirler alınabilir.

2-İlerleyen (Harap Edici) Pitting;

Genelde yuvarlanma çizgisi altında, yani dişin taksimat ve temel daireleri arasında kalan bölgesinde başlar. Çukurcuklar, hem boyut hem de sayı bakımından yüzey hasar görene kadar artış gösterir. Çalışma başlangıcında harap edici pitting, yaklaşık olarak başlangıç pittingi kadar yoğundur. İlerleyen zamanla yoğunluğu artar (Resim 2.3).



Resim 2.3 İlerleyen pitting (İnt. Kyn.10).

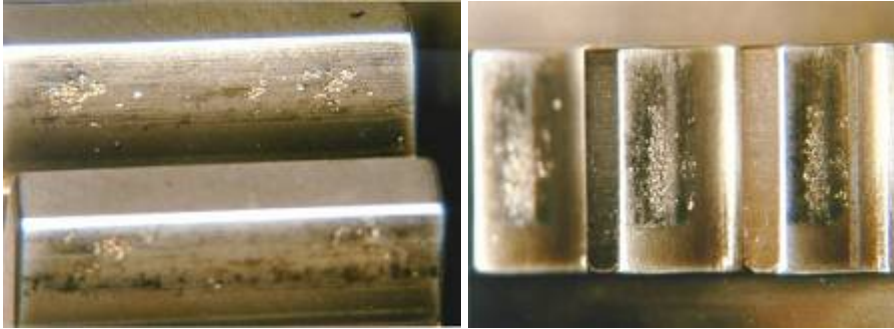
İlerleyen pitting genellikle, başlangıç pittinginin hafifletilemediği, yüzey pürüzlülüğünün sebep olduğu aşırı gerilmeler sonucu oluşur. Eğer diş yüzeyinin sertliği belirli değerin altında ise bu bozulma kaçınılmazdır.

Dişliler aşırı derecede yüke maruz bırakıldığı takdirde, genellikle döndüren dişlinin (pinyon) diş dibi bölgesinde belli bir çevrim sonucunda şiddetli pitting oluşabilir. Döndüren ve döndürülen dişlilerin temas eden yüzeyleri aynı gerilmelerin etkisi altında olmasına rağmen pinyon dişli, döndürülen dişliye nazaran daha fazla yıpranır. Çünkü genellikle küçük çaplı olan pinyon dişli daha çok çevrim yapar ve diş sayısı daha fazla sayıda gerilim tekrarının etkisi altında kalır. Ayrıca, pinyonun dişleri üzerindeki kayma yönü ile yüzeyler arasındaki yuvarlanma yönü terstir. Sonuçta malzeme yüzeyinde oluşan gerilme, yorulma çatlaklarının büyümesini kolaylaştırır.

3-Normal Pitting;

Tam kapasite ile yüklenmiş, tamamen sertleştirilmiş dişlilerde yuvarlanma dairesi altında ortaya çıkan normal pitting, diş yüzeyinde yuvarlanma çizgisi altında kalan bölgeyi kaplayan, mütevazı büyüklükteki çukurcuklar şeklinde kendini gösterir.

(Resim 2.4).



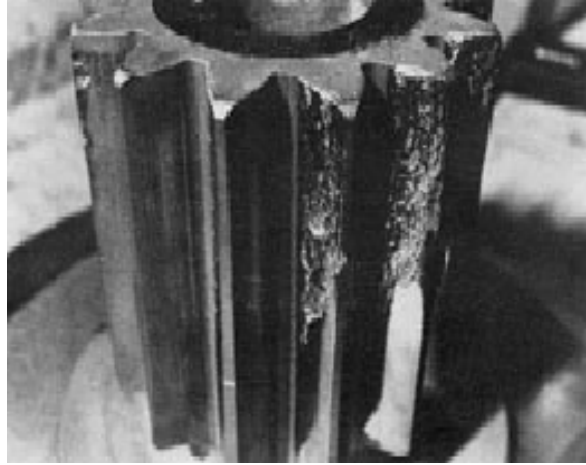
Resim 2.4 Normal pitting (İnt. Kyn. 11).

Yüzeydeki mikro çatlakların diş profili boyunca gösterdiği yönlendirme sonucu, yuvarlanma çizgisi altında kalan bölge bu olaya dişin diğer bölgelerinden çok daha fazla açıktır. Hem çarkın hem de pinyonun yuvarlanma çizgisi altındaki bölgelerinde oluşan çatlaklar aynı zamanda yağlayıcıyı içinde hapseder. Hidrolik basıncın etkisi sonucunda bu çatlaklar hızlıca çukurcuk haline dönüşür. Yuvarlanma çizgisi üstündeki bölgede ise, temas sırasında yuvarlanma ile yüzeydeki boşluklar kapatılmaya fırsat kalmadan yağlayıcı, girmiş olduğu çatlaklardan dışarıya çıkmaya zorlanır.

Bu nedenle söz konusu bölgedeki çatlaklar hidrolik basıncın etkisine maruz kalmaz. Sadece birkaç çukurcuk oluşur.

B) Spalling (Pullanma);

Spalling, diş yüzeyinden bir parça koptuğu zaman, arkasında kalan büyükçe alanı tarif için kullanılan bir terimdir. Tamamen sertleştirilmiş dişlilerde ve yumuşak malzemelerde tek bir noktada üst üste gelmiş ya da iç içe geçmiş geniş çukurcukların bir araya gelmesi şeklinde ortaya çıkar. Pratikte ilerleyen pitting ile aynıdır. Aşağıdaki resimde spalling'e uğramış dişli resimleri görülmektedir (Resim 2.5).



Resim 2.5 Spalling (İnt. Kyn. 12).

Spalling, diş yüzeyinin pürüzlü, kopmaya uygun bölgelerinin de katılımıyla yüksek temas gerilmeleri tarafından ortaya çıkartılır. Yüzeyi sertleştirilmiş dişlilerde, yüzey veya yüzey altı hataları ile yanlış ısıl işlemlerden kaynaklanan iç gerilmeler de spallinge neden olur.

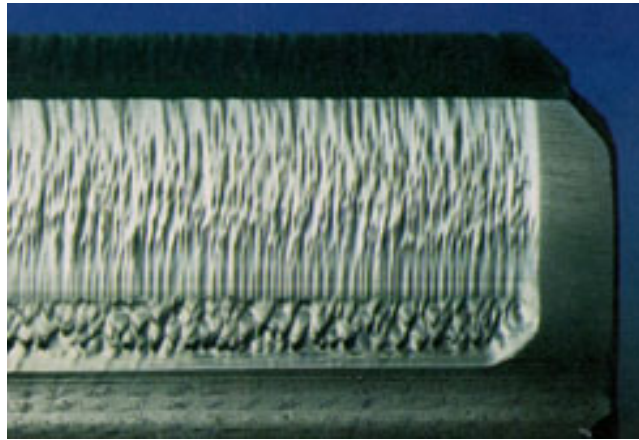
2.1.4.2 Aşınma

Aşınma, sürtünme halinde bulunan yüzeylerde malzemenin, istenilmediği halde kopup ayrılmasıdır. Bu şekilde, yüzeyler ilk şekillerini kaybederler; parçalar arasındaki boşluklar büyür ve buna bağlı olarak: maksimum hassasiyet azalır, dinamik kuvvetler büyür, gürültü ve titreşimler meydana gelir, verim azalır. Genel olarak aşınma, dış etkiler altında, temas yüzeylerinde oluşan fiziksel ve kimyasal değişmelerin sonucudur (Akkurt, 2000).

Aşınma hasarı, derecelerine veya ortaya çıkış mekanizmalarına göre sınıflandırılabilir. Bu aşınmalar;

1) Abrasiv (Aşındırıcı) Aşınma;

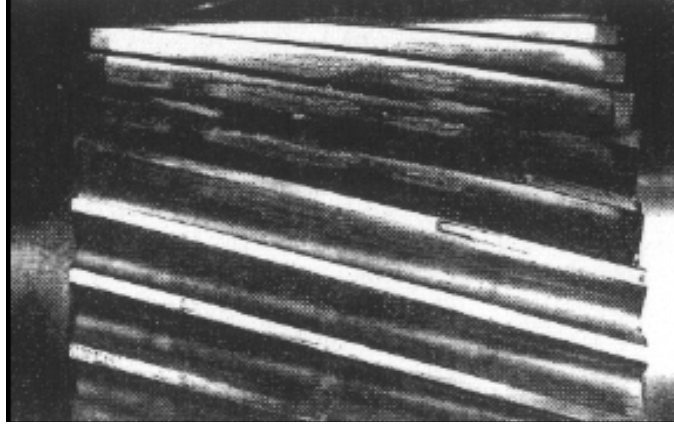
Bazen kesme aşınması olarak da adlandırılır. Sert yabancı parçacıkların diş yüzeyi boyunca kayması ve yuvarlanması ile ortaya çıkar. Bunlar; dişli sisteminin muhafaza elemanından gelen kirler, dökümden gelen çapak ve kum, dişlerden veya yataklardan aşınan parçacıklar, yağlayıcı ile taşınan ve filtre sistemini aşmış parçacıklar olabilir. İmal edildikten hemen sonra sertleştirilen dişli yüzeyleri bazen çok kaba olurlar ve eş çalıştıkları diğer dişlinin yüzeylerini aşındırabilirler (Resim 2.6).



Resim 2.6 Abrasiv aşınma (İnt. Kyn. 13).

2) Adhesiv Aşınma;

En çok rastlanan aşınma mekanizması olup, elemanların temas yüzeylerindeki yüksek mekanik gerilimler sonucu mikro kaynak bölgelerinin oluşmasına dayanır. Gerçek temas yüzeyi büyüklüğü ile geometrik temas yüzeyi büyüklüğü arasında, yüzey pürüzlülüğüne ve yükleme miktarına bağlı olarak büyük fark vardır. Pürüzlerin tepelerinde elastik ve plastik deformasyonlarla büyüyen mikro temas yüzeylerinin toplamı, gerçek temas yüzeyini meydana getirir. Gerçek temas yüzeyinin küçük olması, temas noktalarındaki gerilmeleri küçük yüklemelerde dahi akma gerilmesine hatta onun da üzerinde değerlere eriştirir. Böylece moleküler yapışma kuvvetleri etkisini gösterir. Bu nedenle bir yüzeyden diğerine malzeme geçişi yani, mikro soğuk kaynaklar meydana gelir. Hareket sırasında bu mikro kaynakların kırılıp başka noktalarda yeni birleşmeler meydana getirmesi malzeme geçişine, dolayısıyla da aşınmanın devamına neden olur.



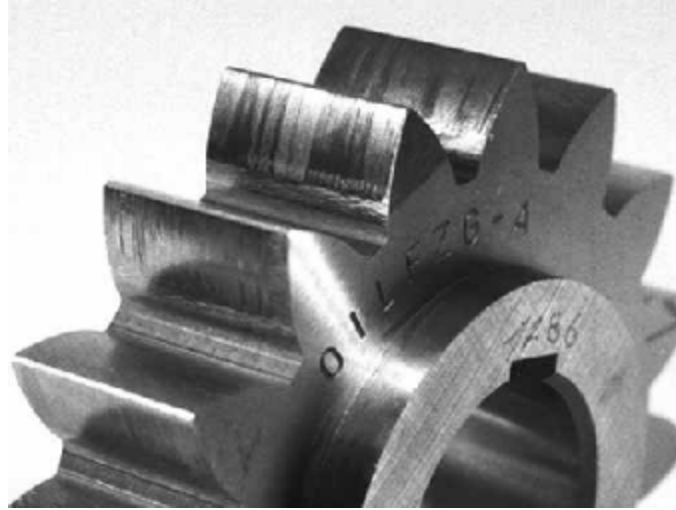
Resim 2.7 Yüzeyi sertleştirilmiş dişlide adhesiv aşınma (İnt. Kyn.5).

Adhesiv aşınma; yük durumuna, malzeme sertliğine, temas eden malzemenin ve yağlayıcıların fizikokimyasıyla ilgili olarak da bağ kuvvetlerine bağlıdır. Yüzeyi sertleştirilmiş bir dişlinin adhesiv aşınmaya uğramış halini Resim 2.7’de gösterilmektedir (Başaran, 2001).

Adhezyon aşınmasının şiddetli haline Yenme denir. Bilhassa yüksek hız ve yüklerde meydana gelmektedir. Yenme, hafif ve şiddetli olmak üzere iki kısma ayrılır. Nispeten daha düşük hızlarda meydana gelen hafif yenme ve diğeri ise daha büyük hızlarda ve

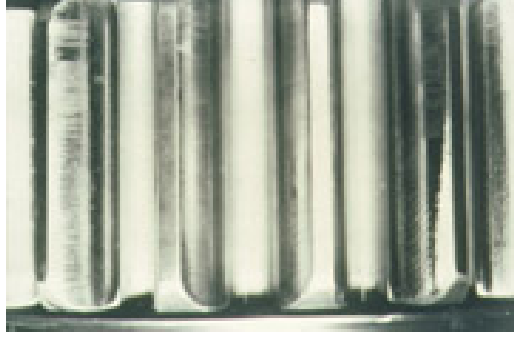
yüklerde meydana gelen şiddetli yenmedir. Yenme Olayını Etkileyen Faktörler; Hız Faktörü (Çevresel Hız), Diş Formu Faktörü, Profil Kaydırma Faktörü, Diş Başı Daraltması Faktörü, Pürüzlülük Faktörü, Malzeme Faktörü ve Dişlerin Yüzey Sertliği, Yağ Sıcaklığı Faktörü, Yağ Miktarı Faktörü, Devir Yönü Faktörü, Yük Faktörü, Yağ Viskozitesi Faktörü, Yağ Cinsi Faktörü, Diş Genişliği Faktörü, Yağlama Yöntemi Faktörü, Yağın Kimyasal Etkisi olarak sıralayabiliriz (İmrek,1995).

Scuffing (çizilme), normal çalışma sıcaklığında diş yüzeyinde kayma yönündeki hafif, cilalı radyal çizikler şeklinde ortaya çıkar. Bu aşınma tipi, dişler arası basıncın yüksek ve yağ filminin sınır rejiminde olduğu, yüksek temas sıcaklıklarının ortaya çıkmadığı düşük devir hızlarında görülebilir. Scuffing aşınması, yağlayıcı viskozitesinin artırılması veya yükün hafifletilmesiyle azaltılabilir (Resim 2.8).



Resim 2.8 Scuffing (İnt. Kyn. 14).

Scoring, eş çalışan dişlilerin yağ filminin görevini yerine getirmemesi sonucu metal metale, yüksek sıcaklık altındaki teması ile pürüzlülüklerinin birbirine kaynaması ve bu şekilde diş yüzeyinden kalkan parçacıkların hızlı kaybı olarak tanımlanabilir. Kaynak meydana geldikten sonra, kayma olayından doğan kuvvetler, eş çalışan yüzeylerden birinde çok hafif bir oyuk; karşı yüzeyde de bunun izdüşümü kalacak şekilde kaynamış metali sıyrır. Aşınma mikroskobik olarak başlar, bununla beraber çok hızlı gelişir. Scoring bazen galling, seizing veya scuffing olarak da adlandırılır (Resim 2.9).



Resim 2.9 Scoring (İnt. Kyn. 15).

Scoringe doğrudan sebep olan faktörler; yüksek temas sıcaklığı, yüksek temas basıncı ve uygunsuz yağlamadır. Scoring, daha viskoz yağ veya EP tipi yağ kullanılarak önlenir. Bazı hallerde, fazla yük altında çalışan dişlilerin yerel yüksek temas basınçlarını minimuma indirmek için diş profili modifiye edilebilir.

2.1.4.3 Plastik Akma

Plastik akma; eş çalışan diş yüzeyleri arasındaki yüksek temas basınçları ile yuvarlanma ve kayma olayları sonucu meydana gelen istem dışı soğuk şekillenmedir. Yüzey ve yüzey altı malzemesinin akarak deforme olması sonucu oluşan bir hasar tipidir. Genellikle yumuşak malzemelerde görülmesine rağmen, ağır yük altındaki sement edilmiş dişli yüzeylerinde de ortaya çıkabilir.

2.1.4.4 Kırılma

Kırılma en kötü ve en temel dişli hasarıdır. Çarkın dişlerini eğilmeye zorlayan kuvvetler, diş kökündeki kavislerde ve diş kökü ile diş profilinin kesiştiği noktalarda en yüksek gerilmelere sebep olur. Bir diş, temasın gerçekleştiği tarafta çekme, bunun karşı tarafında da basma gerilmelerine maruz kalmaktadır. Eğer kritik bölgelerde ortaya çıkan çekme gerilmesinin dişli malzemesinin mukavemet sınırını aşmasına izin verilirse, sonunda yorulma çatlakları oluşacak ve çalışma ile beraber dişin çark gövdesinden ayrılmasına kadar ilerleyecektir. Resim 2.10' da diş kökü kavisinde ortaya çıkan klasik yorulma kırılması görülmektedir.



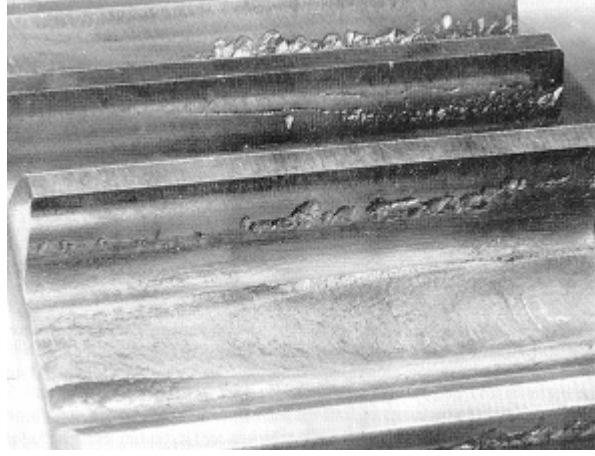
Resim 2.10 Diş dibi kırığı (İnt. Kyn. 5).

Çatlak, dişin çekmeye zorlanan tarafındaki kök kavisinden başlar, dişe paralel veya dik yönde tamamen kırılmaya yol açana kadar yavaşça ilerler. Bu kırıkların yüzeyleri genellikle, ilerleyen çatlağın ön kısmının meydana getirdiği kıyıya vuran dalgaların kumsalda bıraktığı iz benzeri şekiller olarak görülür. Bunlar, ilerlemekte olan çatlağın belli bir anda ön kısmının pozisyonunu belirler. Kesit, kademeli olarak zayıfladıkça, çatlak her yükün çevriminde biraz daha ilerler ve dalga izi şekilleri daha kaba hale gelir. Bu şekillerin merkez noktası genellikle kırığın merkez noktasına konumlanmıştır.

Yorulma kırılmaları, malzemenin mukavemet sınırı üstündeki tekrarlı eğilme zorlamalarından kaynaklanır. Eğer dişlerin temas izleri tüm yüzey boyunca görülüyor ise veya dişin bir ucunda, kırılma bölgesinde derin bir iz olarak yer alıyorsa yataklama ile ilgili bir problemin varlığı araştırılmalıdır. Temasın iyi olduğuna kanaat getirildiğinde sisteme verilen yük azaltılmalı veya dişli daha dayanıklı olarak tasarlanmalıdır. Eğer temas yerel yüklemelere işaret ediyorsa; dişlilerin birbirine göre pozisyonu, millerin paralelliği ya da uygulanmışsa profil kaydırma ve düzeltme işlemleri kontrol edilmelidir. Hatalı tasarım, dişli eksenleri arasındaki paralellik bozukluğu, aşırı yük ile çentik, yüzey veya yüzey altı hataları gibi gerilim arttırıcı etkenler yorulma kırılmasının bilinen nedenleridir.

A) Çukurcuk (Pitting) Kaynaklı Kırılmalar;

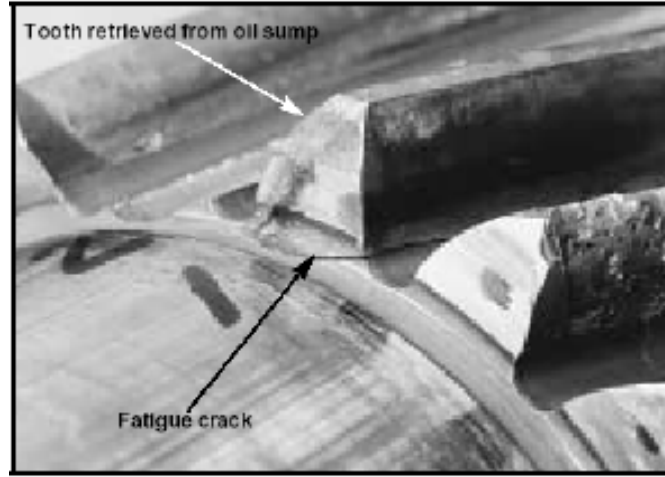
Çukurcuk kaynaklı kırılmalar, yoğun pittinge uğramış alanlardan başlar. Çünkü, çukurcuklar gerilim arttırıcı olarak davranabilir veya çatlaklara başlangıç görevi yapabilirler (Resim 2.11).



Resim 2.11 Pitting kaynaklı kırılma (İnt. Kyn. 9).

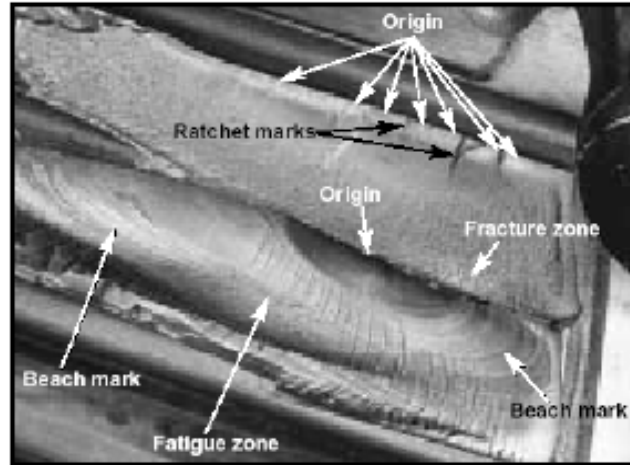
B) Bükülme Yorulması Kırığı (Bending Fatigue Crack);

Oldukça çok sayıda yük tatbik edilmesi esnasında, çatlağın yayılmasıyla birlikte görülen kırığa denilir (Resim 2.12). Kırılma yüzeyi, yorulma ve son kırılma yüzeyleri olmak üzere iki ayrı bölgeye sahiptir. Yorulma bölgesinde görünür herhangi bir plastik deformasyon belirtisi yoktur. Yüzey düz, hasır görünüşüne sahip, muhtemelen durdurma hatlarıyla enine geçilmiş şekilde olup, birbirini izleyen çatlak yayılma aşamaları arasında kademeler gösterebilir.



Resim 2.12 Bükülme yorulması çatlak ve kırığı (İnt. Kyn. 5).

Nihai kırılma yüzeyinin görünüşü, aşırı yük kırılması ile oluşmuş olan yüzeylere benzeyebilir (Resim 2.13).



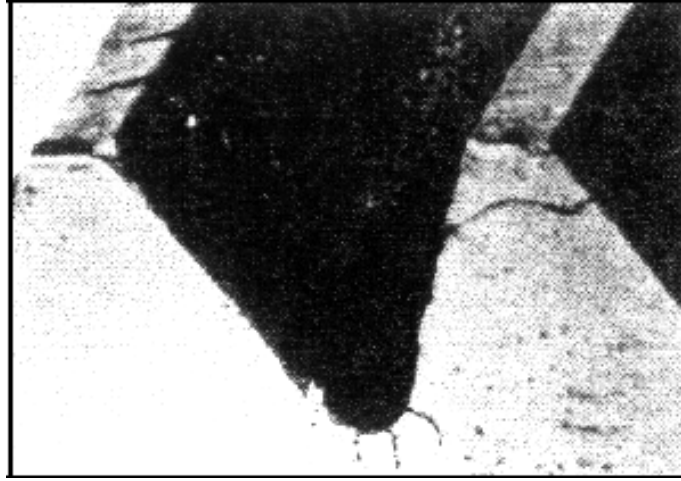
Resim 2.13 Dişlerdeki yorulma kırılması (İnt. Kyn. 5).

2.1.4.5 İmalat Sırasında Oluşan Hasarlar

A) Sertleştirme Çatlakları (Su Verme Çatlakları);

Bu çatlaklar, diğer ısıl işlemler yapılırken ilerleme gösterebilir. Genellikle çıplak gözle görülmeleri mümkündür. Dişin tepe bölgesini boydan boya geçebilir veya diş kenarında

radyal doğrultuda olabilirler. Isıl işlem çatlakları stenitleşme sıcaklığından soğutma sırasında ortaya çıkan aşırı gerilmeler sonucu ortaya çıkar. Bu şekildeki hasarların olma ihtimali, dişli çarkların diş yüzeylerinin çepeçevre veya tamamen sertleştirme işlemlerine nazaran, diş yüzeylerinin alevle veya endüksiyonla kısmen sertleştirilmesi sırasında daha fazla ortaya çıkar (Resim 2.14). Bu çatlaklara rastlanıldığında kullanılan malzeme ve ısıl işlem yöntemi gözden geerilmelidir.



Resim 2.14 Sertleştirme atlağı

B) Taşlama atlakları;

Adından da belli olduğu üzere, diş yüzeylerinin taşlanması sırasında ortaya çıkar. Genellikle belli bir model veya şebeke şeklinde olup, birbirine paralel bir grup kısa çatlak olarak uzanırlar (Resim 2.15).

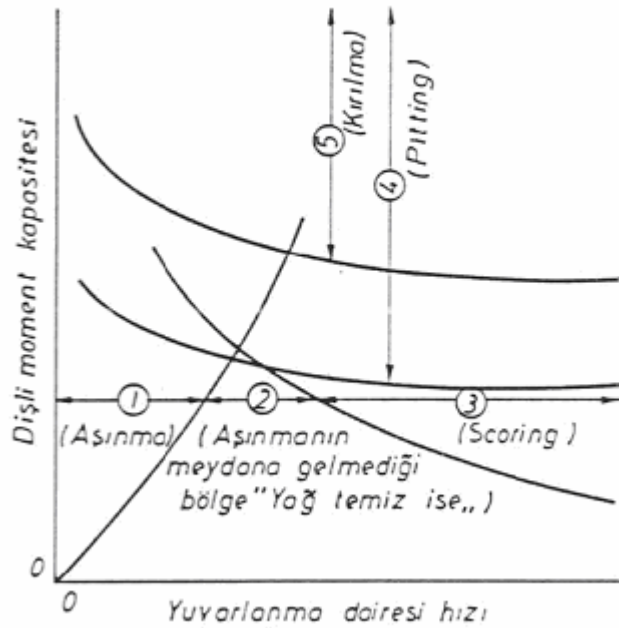


Resim 2.15 Taşlama atlağı

Oluşma sebebi, taşlama taşının aşırı basıncı veya dişli malzemesinin çatlak oluşumuna meyilli metalografik yapısıdır. Taşlama yanığı ile birlikte görülebilirler ve bir nital dağlama ile tespit edilebilirler (Başaran, 2001) .

2.1.5 Dişli Hasar Bölgeleri

Dişli çark mekanizmalarının meydana gelen hasar tiplerinin yük ve çevresel hız ile olan ilişkisi Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Grafik beş ayrı bölgeye bölünmüştür ve her bir bölge bir çeşit hasar eğrisiyle sınırlıdır.



Şekil 2.6 Dişli hasar bölgeleri (Eş, 2004)

Birinci bölgede dişli bir hidrodinamik yağ filmi oluşturabilecek kadar hızlı dönmemektedir. Kalkan malzeme değerlendirildiğinde aşınma hızlıdır. Bu bölgenin büyüklüğü daha kalın veya yüzeye daha iyi yapışmayı sağlayan katkı maddeleri içeren yağ kullanılarak azaltılabilir. Çok ince bir yağ veya çok pürüzlü bir yüzey bu bölgenin genişlemesine neden olmaktadır.

İkinci bölge bir dişli çiftinin çalışması için idealdir. Hız iyi bir yağ filmi oluşturabilecek kadar yüksektir. Eğer yağ aşındırıcı yabancı maddelerden arınmış ise, korozif değilse ve yüzeye yapışması düzgün ise bu bölgede dişli aşınmaya uğramadan çok uzun bir süre çalışabilir.

Üçüncü bölgede hasar hızlı bir şekilde meydana gelmektedir. Hız bir yağ filmi oluşturacak kadar yüksektir, fakat yüksek hız yüzünden yağ filmi çok çabuk parçalanmaktadır. Bu nedenle çok yüksek ısı ortaya çıkmaktadır. Yağ filmi bozulduğunda scoring ve kaynama meydana gelmektedir.

Dördüncü bölgede pitting oluşmaktadır. Pitting' in bir yorulma hasarı olmasından dolayı, bu bölgenin büyüklüğü zamanla artma eğilimindedir. Ayrıca zayıf yağlama koşulları da bu bölgeyi genişletmektedir. Zayıf yağlama sonucu oluşan aşınma, diş profilinin bozulmasına ve yükün yuvarlanma dairesi yakınında toplanmasına neden olur.

Ayrıca bu aşınmanın meydana geldiği bölgelerde sürtünme katsayısı dolayısıyla sürtünme kuvveti artmaktadır. Sürtünme kuvvetindeki artma ise pitting oluşmasına neden olacak çizgilerin oluşmasına neden olmaktadır.

Beşinci bölgede diş kırılması meydana gelmektedir. Bu bölgenin büyüklüğü çalışma zamanının uzunluğuna bağlı bir fonksiyon olarak arttırılabilir. Aşınma meydana geldiğinde bu bölgenin büyüklüğü artmaktadır. Aşınma dişlilerin daha fazla darbeleri ve titreşimli çalışmasına neden olmaktadır. Aşınma ayrıca diş dibinden malzeme kaldırarak dişleri güçsüzleştirir ve kök bölgesindeki gerilme yoğunluğunu arttırır.

Dişlide bir hasar meydana geldikten sonra, dişli çalışmaya devam ettiğinde diğer hasar türlerine karşı giderek azalan bir mukavemet göstermektedir. Bu durum dişli hasarlarının tespitini güçleştirmektedir (Eş, 2004).

2.2 Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Sanayideki Yeri

1948 yılında dünyada kullanımı başlayan küresel grafitli dökme demirler, bundan yaklaşık 20 yıl sonra ülkemizde üretilmiştir. 1970' ten itibaren üretimi artan küresel grafitli dökme demirler, mühendislik açısından çeliğin birçok avantajını ve dökme demirlerin ekonomik talaşlı işlenebilme özelliğini bir araya getirmektedir. Bu üstün özellikleri sayesinde, kır dökme demir, temper dökme demir ve çelik döküm yerine kullanılır. Yüksek mukavemet ve iyi aşınma direnci sayesinde birçok yerde geniş kullanım alanına sahiptir.

Otomobil krank milleri, küresel grafitli dökme demirden üretildiğinde daha iyi sonuç elde edilmektedir. Burada küresel grafitli dökme demir ile üretilmesinin sebebi; üstün işlenebilirlik özelliği ve elastisite modülünün yüksek olmasıdır. Ayrıca çelikle kıyaslandığında daha yüksek aşınma direnci görülmüştür. Kama gibi makine elemanlarının esnek ve iyi işlenebilir olması gerektiğinden, küresel grafitli dökme demirden yapılmaktadır.

Küresel grafitli dökme demirlerin korozyon direnci, farklı korozif ortamlarda kır dökme demirin özelliklerine benzerdir. Yüksek sıcaklıklarda ise oksidasyon direnci bakımından, kır dökme demire üstünlük sağlar. Küresel grafitli dökme demirler, termal şok direnci gerektiren santrifüj pompa gövdelerinde ve valflerde kullanılmaktadır. Bunun sebebi 870°C' ye kadar çatlamadan çalışabilmektedir.

Küresel grafitli dökme demirlerin kullanım alanını genişleten bir başka sebep ise, çeliğe uygulanan ısı işlemlere benzer işlemlerle istenilen mekanik özelliklere sahip olabilmesidir. Ayrıca titreşim sönümlenme açısından bakılırsa küresel grafitli dökme demirler, çelik döküme göre 2,5 kat daha iyidir. Lamel grafitli dökme demir ise küresel grafitli dökme demirlere göre 1,5 kat daha iyidir.

Küresel grafitli dökme demirlerin sanayide kullanım alanları geniş olmakla birlikte, bunların bazıları ve çeşitli parça adları aşağıda belirtildiği gibidir (Çizelge 3.4).

Çizelge 2.2 Küresel grafitli dökme demirlerin sanayide kullanım alanları

ÇEŞİTLERİ		ÖZELLİKLER	PARÇA ADI
AMERİKAN	TS (GGG)		
60-45-15	38	Ferritik Yapılı, Minimum tokluk, İyi işlenebilme, Kaynak edilebilme.	Valfler, silindir gömleği, pompa gövdesi ve darbe dayanıklı parçalar
80-60-03	50	Ferritik yapılı, Tokluk ve iyi İşlenebilme özelliği, Alevle veya indüksiyonla sertleştirilebilme, Metalik kalıplara dökülerek aşınmaya karşı dayanıklı parçalar elde edilebilir.	Dişliler, kamlar, yatak gövdeleri, pistonlar ve krank milleri
100-60-03	70	Perlitik yapıda olan bu malzemeler normalizasyon ve temperleme veya alaşımlandırma ile yapılır. Sertleştirilebilme, tokluk ve aşınma direnci gösterirler.	Dişliler, krank milleri, akslar, kamalar, tekerlek göbekleri, bilezikler, volanlar, egzoz manifoldları, traktör ve diğer ziraat aletleri
120-90-02		Su verilerek sertleştirilir ve temperlenir. Kalın parçalarda Ni ve Mo alaşımları ilave edilir.	Pinyon dişlileri, kamlar, dişli takım ve kolları, pompa silindir gömlekleri, dişli kutuları, poryalar, ön tekerlek çatalları, pedallar, traktör sevk ve iade mekanizmaları

(TMMOB, 1985).

2.2.1 Çekme Mukavemeti

Küresel grafitli dökme demirlerde çekme mukavemeti, bünyeye ve uygulanan ısı işleme göre farklılık gösterir. Genel olarak bu dökme demirlerin çekme mukavemeti 40-80 kgf/mm² arasındadır. Küresel grafitli dökme demirlerin çekme mukavemeti ve akma noktası gibi özellikleri çeliklerle aynı olup, diğer dökme demirlerden iyidir. Ferritik bünyeli küresel grafitli dökme demirlerde akma sınırı düşük, uzama oranı yüksektir; zira bünye sünek yapılıdır.

Küresel grafitli dökme demirlerde çekme mukavemeti ve uzama, cidar kalınlığına da bağlıdır. Cidar kalınlığı artıkça uzama oranı ve çekme mukavemeti düşer. Bu azalma miktarı ısıl işleme de değişmektedir. Yumuşak tavllanmış küresel grafitli dökme demirlerde, cidar kalınlığına bağlı olarak uzama miktarı, ısıl işlem görmemiş döküme göre daha çok azalma göstermektedir. Çekme mukavemetindeki azalma ise döküm halinde daha fazladır.

2.2.2 Darbe ve Şok Mukavemeti

Küresel grafitli dökme demirler ani sıcaklık değişimlerine iyi mukavemet gösterse de çatlamlar olabilir. Bu çatlamlar küresel grafitler tarafından malzeme içine ulaşmadan önlenir. Bu açıdan ısıl değişimlere maruz kalan yerlerde başarılıdır. Küresel grafitli dökme demirlerde sıcaklık artıkça darbe dayanımı da artar. Ancak bileşimindeki C ve Si oranı artıkça, aynı sıcaklıklarda darbe enerjileri azalma gösterir.

Çizelge 2.3 KGDD ve çeliklere ait mekanik özelliklerin karşılaştırılması(Aslantaş,2003)

Malzeme	Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Uzama %	Sertlik HB	Poisson sayısı μ	Elastisite modülü (MPa)
KGDD (Perlitik-Ferritik)	400-960	250-610	28-3	130-300	0,28-0,29	160000-176000
KGDD (Sertleştirilmiş ve Temp.)	600-1300	500-1100	5-1	300-400	0,28-0,29	
ÖKGDD	800-1600	600-1400	16-1	250-555	0,28-0,29	
Çelik (Sertleştirilmiş ve Temp.)	700-1800	450-1450	25-8	210-510	0,29-0,32	

2.2.3 Çelik Dişli Malzemeleri

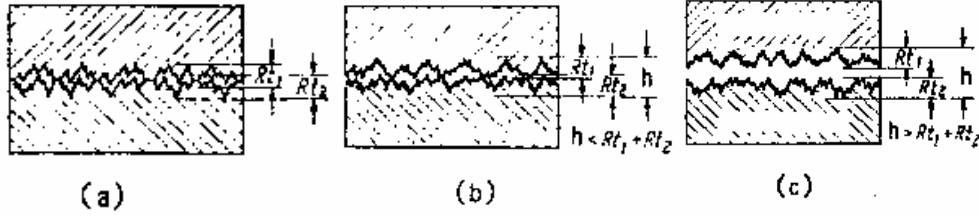
Çeliğin içindeki karbon miktarı çok önemlidir, çünkü sertliği ve böylece malzemenin mukavemetini belirlemektedir. Optimum karbon içeriği yaklaşık %0,8 dir, ısıtma işlemi ve su verme işleminden sonra yeterli miktarda sertlik sağlanmalıdır. Tüm çelikler sertleştirilmiş olmasına rağmen, en iyi işleme kombinasyonuna ve fiziksel özelliklere ulaşmak için genellikle ısıtma işlemine tabi tutulurlar. İşlenen dişliler maksimum mukavemet için sertleştirilirler, bu işlem birçok metotla yapılabilir. Bunlar karbürleme, nitrürleme, alevle veya indüksiyonla sertleştirme, karbon nitrürleme gibi bazı ısıtma işlem çeşitleridir. Bu işlemlerin her biri farklı çelik bileşimlerinde farklı sonuçlar verir. Finansal seçim dişlilerin fiyat performansına bağlıdır. Çelikler daha sert yapılarak aşınmaya karşı koymaları artırılabilir. Maksimum uygulanabilir sertliğin artmasıyla karbon içeriği de yaklaşık %0,8 e yükselmektedir, bu da aşınma korumasının karbon içeriğiyle birlikte arttığını göstermektedir.

Dişli malzemelerinin kullanımında maksimum gereksinim dişli ve pinyonun beraber sertleştirilmesi ve ikisinin mukavemetinin değişik diş geometrileri kullanılarak dengelenmesidir. Yumuşak çelikler kullanıldığında, en az scoring direnci, pinyon ve dişlinin aynı malzemedan olduğu zaman görülmektedir. Çeliklerden birinin bileşimini değiştirmek yararlıdır, en iyi sonuç sadece pinyonu sertleştirerek sağlanabilir. Bu işlem geniş uygulama alanı bulmaktadır.

2.3 Sürtünme, Viskozite ve Yağlar

2.3.1 Sürtünme

Genel anlamda sürtünme, temasta olan ve izafi hareket yapan iki cismin temas yüzeylerinin harekete veya hareket ihtimaline karşı gösterdikleri dirençtir. Birbirlerine temas eden hareketli parçalar arasında kayma, yuvarlanma veya kayma - yuvarlanma mevcut olabilir. Böylece sürtünme kinematik bakımdan kayma, yuvarlanma veya kayma-yuvarlanma sürtünmesi şeklinde olur.



Şekil 2.7 Sürtünme çeşitleri, a. Kuru; b. Sınır; c. Sıvı

İzafi hareket yapan yüzeyler arasında bir yağlayıcı konulması veya konulmaması bakımından sürtünme olayı kuru, sınır ve sıvı olmak üzere üç halde incelenir. Genel anlamda kuru sürtünme birbiri ne göre izafi harekette bulunan ve doğrudan doğruya temasta olan iki yüzey arasında oluşan sürtünmedir (Şekil 2.7.a). Yüzeyler arasında bir yağlayıcı madde konulması halinde iki durum ortaya çıkabilir. Her iki yüzey yağlayıcı madde tarafından tamamen ayrılmış olabilir ve esas sürtünme yağlayıcı maddenin tabakaları arasında oluşur; bu hale sıvı sürtünmesi denir (Şekil 2.7.c). İkinci durumda, yani yüzeyler tamamıyla ayrılmadığı takdirde, sınır sürtünmesi hali vardır (Şekil 2.7. b).

Kuru Sürtünme;

Teorik olarak kuru sürtünmeyi ifade etmek için Şekil 2.8.a'da gösterilen model kullanılmaktadır. Buna göre izafi hareket yapan ve normal bir kuvvetin (F_n) etkisi

altında bulunan iki cismin temas yüzeyleri arasında harekete karşı

$$F_s = \mu F_n \quad (4.1)$$

değerinde bir sürtünme kuvveti oluşur. Burada μ sürtünme katsayısıdır.

Genel ifadeye göre sürtünme izafi hareket yapan veya hareket yapabilme olanağına sahip olan yüzeylerde oluşur. Şekil 2.8.a'daki cisimlerin herhangi birine teğetsel bir F kuvveti tatbik edilirse, iki durum ortaya çıkabilir. Birinci durumda $F_s > F$ yani sürtünme kuvveti F kuvvetinden daha büyük olabilir. Bu halde F kuvvetine rağmen cisimler birbirleri üzerinde kaymazlar. Ancak hareket olanağı olduğundan, yüzeyler arası statik sürtünme denilen bir direnç meydana gelir.

Kavrama, fren gibi sürtünme esasına göre çalışan elemanlarda bu sürtünme hali vardır ve bu elemanların hesabı bu denkleme dayanır. İkinci durumda $F_s < F$ yani sürtünme kuvveti F kuvvetinden daha küçük olabilir. Kinematik sürtünme denilen bu halde, F kuvvetin etkisi altında yüzeyler birbirleri üzerinde kayarlar.

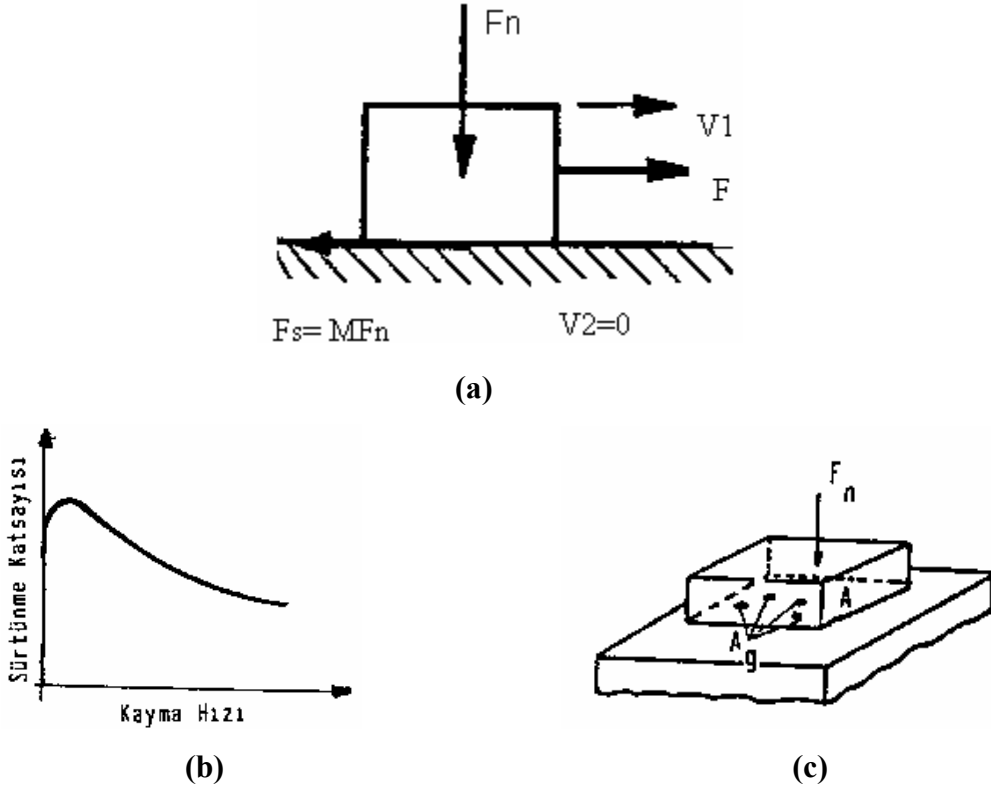
Teknikte sürtünme hem istenilen hem de istenilmeyen bir olay olarak ortaya çıkar. Fren, kavrama, sürtünmeli çarklar gibi makine elemanlarında sürtünme istenilen bir olaydır ve bu gibi yerlerde sürtünme arttırılır.

Bunların dışında, bütün izafi hareket yapan yüzeylerde istenilmeyen bir olay olarak ortaya çıkan sürtünmenin azaltılması gerekir. Coulomb- Amontons kanunu olarak tanınan (4.1) bağıntısına göre sürtünme katsayısı

$$\mu = F_s / F_n \quad (4.2)$$

şeklinde ifade edilir. Genellikle statik sürtünme katsayısı μ_0 kinematik sürtünme katsayısı μ' den daha büyüktür. Kayma hızı arttıkça kinematik sürtünme katsayısı az da olsa azalır (Şekil 2.8.b). Şekilden de görüldüğü gibi sürtünme katsayısının en büyük değeri hareketin başlangıcındadır. Buna karşılık normal kayma hızlarında hıza göre sürtünme katsayısının değişimi çok az olduğundan sürtünme katsayısı sabit sayılabilir.

Sürtünme ile ilgili bir başka kavram $\tan\phi = \mu$ şeklinde ifade edilen sürtünme açısıdır. Kilitlenmeli sistemlerde büyük önem taşıyan bu açı, normal kuvvet ile normal ve sürtünme kuvvetlerinin meydana getirdiği F_r bileşke kuvveti arasındaki açıdır (Şekil 2.8 a) .

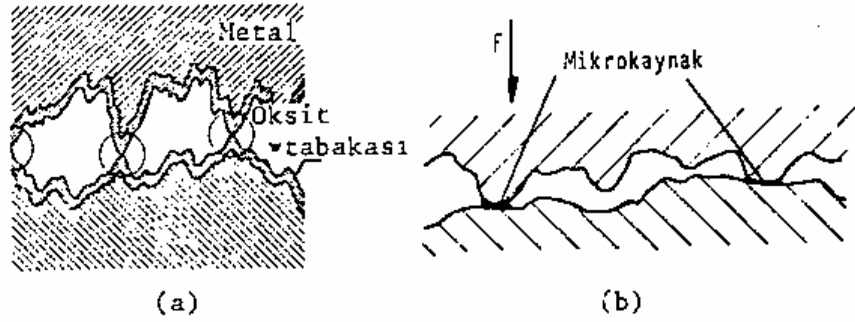


Şekil 2.8 Kuru sürtünme modeli

Sürtünme olayı incelenirken temas yüzeylerinin pürüzlü oldukları ve tam madensel temiz olmadıkları gibi hususlar göz önünde tutulmalıdır. Şekil 2.7.a'dan görüldüğü gibi yüzeyler birbiri ile pürüzlerinin tepelerinde temas etmektedirler; böylece temas alanı esasen çok küçük temas alanlarından meydana gelmektedir (Şekil 2.8.c). Bu küçük temas alanlarının toplamı (A_g) gerçek temas alanını oluşturmaktadır. Bu alan temas yüzeyinin sınırlarını tayin eden (A) geometrik alandan çok daha küçüktür. Yapılan deneyler temas alanının $A_g=(1/500\dots1/1000)A$ arasında olduğunu göstermektedir. Bunun yanı sıra F_n yükleme kuvvetinin uygulaması ile pürüzler şekil değiştirirler ve bunun sonucu olarak temas yüzeyleri artar.

Sürtünme olayını açıklamaya çalışan birçok teoriler vardır. Bunlardan gerçeğe en yakın olanı Bowden ve Tabor' un kaynak bağları teorisidir. Yukarıdaki olaylara dayanarak bu teori şu şekilde açıklanabilir. Yüksüz durumda yüzeyler belirli pürüzlük noktalarında temasta bulunurlar (Şekil 2.9 a); bu noktalarda tabii tabakalar arasında bağlar oluşur. Yük tatbik edildikten sonra, çok küçük olan temas yüzeylerinde çok büyük basınçlar meydana gelir. Bu basınçların etkisi altında bazı temas noktalarındaki tabii tabaka kopar, metalik temas meydana gelir ve yüksek basıncın etkisi altında bu noktalarda moleküler bağ şeklinde mikroskobik kaynak bağları oluşur. Bu bağlar, tabii tabaka bağlantısından çok daha kuvvetlidir. Temasta bulunan elemanların izafi hareketi ancak bu bağların kopması ile mümkündür.

O halde sürtünme gerek metalik, gerekse tabii tabaka bağlarının oluşturduğu dirençtir; sürtünme kuvveti ise bu bağların kopması için gereken kuvvettir (Şekil 2.9 b).



Şekil 2.9 Mikrokaynakların oluşması, a- Oksit tabakası, b- Mikrokaynaklar

Metal kaynak bağı teşkil etmiş olan temas noktalarının kesme mukavemeti, temas halindeki malzemelerin cinsine bağlıdır. Bu bakımdan:

-Birbirleriyle kolayca alaşım haline gelebilen demir, krom ve nikel gibi sert malzemeler arasında kuvvetli kaynak bağları oluşmaktadır.

Sürtünme katsayısı düzensiz olarak değişmekte, yüzeyler üzerinde izler ve bir yüzeyden diğerine malzeme transferi görülmektedir. Bazı hallerde kaynama noktaları o kadar şiddetli olur ki, yüzeyler birbirine kilitlenir; hareket sağlansa bile yüzeyler tamamen bozulmuş olur. Buna yenme (yalama) denir. Bu olay yukarıdaki malzemelerin alaşımları için de geçerlidir.

-Benzemeyen ve birbirleriyle ilgili (affin) olmayan malzemeler arasında daha hafif ve düzenli bir sürtünme oluşmakta ve yüzeyler üzerinde çok ince izler görülmektedir.

-Birbiri üzerinde kayan malzemelerin biri sert, diğeri yumuşak (örneğin, kalay, kurşun, indiyum ve bunların alaşımları) olduğu takdirde, yumuşak malzeme diğeri malzemeyi kendi parçacıklarından oluşan ince bir tabaka ile derhal kaplar ve bu şekilde iki yumuşak malzeme birbiri üzerinde kaymış gibi olur. Yani yumuşak malzeme, bir yağlayıcı madde gibi rol oynar. Bunun sonucunda sürtünme katsayısı azalır ve bu yüzeyler arasında yenme olayı meydana gelmez. Pratikte kalay alaşımlarının çok iyi yatak malzemeleri olmalarının nedeni bu olaya bağlıdır.

Şu halde küçük bir sürtünme katsayısı elde etmek ve aşırı aşınmayı önlemek için malzemeler aynı veya birbirleriyle kolayca alaşım haline gelebilen cinsten olmamalıdır. Ayrıca malzemelerden birinin yumuşak, diğeri sert olması gerekir.

Pratikte sürtünme katsayıları deney ile tayin edilir. Malzeme çiftlerine ve temas yüzeylerinin durumuna bağlı olarak sürtünme katsayısının değerleri Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.4 Sürtünme katsayılarının ortalama değerleri

Malzeme çifti	Sürtünme katsayısı			
	Statik μ_0		Kinematik μ	
	Kuru	Sınır (Yağlı)	Kuru	Sınır (Yağlı)
Çelik – Çelik	0,12...0,18	0,08...0,10	0,10...0,12	0,04...0,08
Çelik – D. D. Veya B ₂	0,18...0,20	0,09...0,10	0,16...0,02	0,02...0,08
D.D. – D. D. (Dökme demir)	0,20...0,25	0,14...0,16	0,18...0,22	0,05...0,10
Çelik - Naylon				
	Sıvı sürtünme		Yuvarlanma sürtünmesi	
Hidrodinamik	0,001...0,01		Silindir düz yüzey	0,0001...0,001
Hidrostatik	0,0001...0,001		Rulmanlar	0,001...0,01

(Akkurt, 2000)

2.3.2 Viskozite

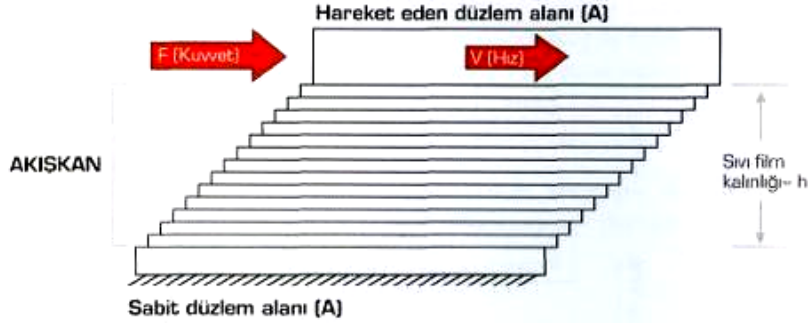
Viskozite; akışkanın akmaya karşı gösterdiği direnç olup, akışkanların en önemli ve belirgin özelliklerinden biridir.

Endüstride viskozite önemli bir özellik olup, pek çok alanda (yağ, gres, matbaa mürekkebi, boya polimer, sıvı gıda maddeleri vs.) etkisini hissettirir.

Petrol endüstrisinde viskozite, kuyulardan, pazarlama sahasına kadar çok etkilidir. Yağlamanın her safhasında viskozite, tüketici için en önce dikkate alınan çok önemli bir faktördür. Örneğin hidrolik sistemlerde, otomatik transmisyonlarda ve dişlilerde kısacası yağlamanın yapıldığı her alanda en önemli etken viskozitedir.

2.3.2.1 Viskozitenin Esasları:

Newtonian akışkanları:



Şekil 2.10 Newtonian akışkanlarının paralel düzlemlerle izahı

Yukarıdaki şekilde viskozite en basit şekli ile karakterize edilmiştir. Burada iki paralel düzlem arasındaki boşluğu dolduran viskoz bir akışkanın durumu gösterilmektedir. Akışkan bir seri tabakadan oluşmuş kabul edilir. Bu paralel düzlemlerden bir tanesi, kuvvet tatbiki ile sabit hızla hareket etmekte, diğeri ise sabit kalmaktadır (Şekil 2.10). Akışkan; yüzeye yapışacağı için, hareket halindeki yüzeyin yanındaki tabaka da aynı hızda hareket edecek, sabit yüzeyin yanındaki akışkan tabakası ise hareketsiz kalacaktır. Viskozite; hareketli yüzeyin hareketinin daha sonraki tabakalara iletilmesi özelliği olarak tanımlanabilir. Bu örnekte, her tabaka kendinden bir önceki tabaka tarafından hareket ettirilmekte ve kendisi de bir alttaki tabakayı hareket ettirmektedir. Ancak her iki tabaka arasında bir kayma mevcuttur ki bu da boşluk boyunca hızın derece derece azalmasına neden olur. Dolayısıyla, viskozite akmaya karşı gösterilen direnç olarak da tanımlanır.

2.3.2.2 Sıcaklığın Viskozite Üzerine Etkisi:

Viskozite sıcaklık arasındaki ilişki çok önemli olup, viskozitenin sıcaklık değişimlerinden mümkün olduğunca az etkilenmesi istenir. Petrol ürünleri için kinematik viskozite ile sıcaklık arasındaki ilgi ampirik eşitlikle ifade edilir. Günümüz

teknolojisi şu an için buna uygun olmamakla birlikte sıcaklık değişiminden çok az etkilenen yağlayıcılar yapılmıştır. Bunlar uzay araştırmalarında kullanılmaktadır.

2.3.2.3 Basıncın Viskozite Üzerindeki Etkisi:

Basıncı viskoziteyi artırır, ancak basıncın viskozite üzerindeki etkisi yalnızca yüksek basınç durumlarında önem kazanır. Basıncı ve viskozite arasındaki ilişki akışkanın kimyasal yapısına bağlı olduğundan, viskozite-sıcaklık ilişkisindeki gibi tam ve kesin olarak geliştirilemez.

$$\eta_p = \eta_o e^{a \cdot p} \quad (4.3)$$

Basıncı ve viskozite ilişkisi oldukça basit ve yaklaşık olarak şu şekilde ifade edilmektedir.

η_p = P basınçdaki dinamik viskozite

η_o = Atmosferik basınçtaki dinamik viskozite

a = incelenen yağın karakteristiği olan ve sıcaklığa bağlı ampirik sabit

p = Basıncı

2.3.2.4 Viskozite İndeksi:

Yağların viskozite -sıcaklık ilişkilerini gösteren eğriler düz (flat) veya dik (step) olabilir. Düz eğrili yağların viskozitelerinin sıcaklık ile değişimi, dik eğrili yağların viskozitelerinin sıcaklık ile değişiminden çok daha az olur. Bu ilişkiyi sayısal olarak ifade etmenin çeşitli yollar bulunmakla birlikte, en çok kullanılan sistem VI, viskozite indeksi sistemidir. Söz konusu sistemde yağlar 0 ile 100 arasında bir indeks numarası alırlar, indeks numarası yükseldikçe yağın viskozitesinin sıcaklık değişiminden etkilenmesi azalır. Son yıllarda geliştirilen sentetik yağlar ve VI geliştirici katık ihtiva eden mineral yağlara da uygulanabilmesini amacıyla VI numaralan 100'ün üzerine

çıkarılmıştır, ideal olan viskozitenin sıcaklıkla hiç değişmemesidir, yani VI'nin yüksek olmasıdır. Yağlar genelde yüksek (HVI), orta (MVI) ve düşük (LVI) viskozite indeksli olarak sınıflandırmalar arasında kesin bir ayırım yapılmamakla birlikte, genelde yüksek VI, 85'in üzerinde; düşük VI, 30'un altında ve orta VI, 30–85 arasında olarak kabul edilir.

Bir yağın viskozite indeksi; 100° F ve 210°F sıcaklıklardaki kinematik veya saybolt viskoziteleri alınarak denklemlerle hesaplanır. V.I. karter yağının öyle bir niteliğidir ki, SAE sınıflandırmasına göre (Multigrade) yağların imalini mümkün kılar (Hani, 2002).

2.3.3 Yağların Genel Tanımı:

Yağlama konusu ilk defa, teorik olarak Reynolds tarafından 1886'da ele alınmıştır. Reynolds'un çalışmaları ve yapılan deneylerde oluşturulan bağıntılar ile 1883- 1884 yıllarında Beauchamp Tower tarafından yönetilen araştırmalar, bugünkü modern yağ ve yağlama mühendisliğinin temelini oluşturmuştur (Makine İhtisas, 2006).

Genel olarak iki katı cisimi birbirinden ayırmak ve sürtünme gücünü minimuma indirerek kolay hareketini sağlamak için kullanılan maddelere “yağlayıcı” denir. Bu iki cisim arasındaki maddenin yaptığı iş de yağlamadır. Makine yağları yağlama işini şu şekilde yapar:

- a. Sürtünmeyi azaltarak,
- b. Yüzeyle asılıp kalarak, sürtünen yüzeyler arasında film teşkil ederek.

Makine yağları yalnız motor yağlamasında değil, aynı zamanda yatak yağlaması dişli sistemleri, hidrolik sistemler, buhar silindir ve buhar silindir ve türbinlerin yağlanması, kesme işleri gibi çok çeşitli sahalarda da kullanılır.

Yağların elde edilişlerine göre sınıflandırılması:

Yağlar elde edilişlerine göre başlıca iki grupta toplanırlar.

- 1- Sentetik Esaslı Yağlar,
- 2- Mineral Esaslı Yağlar

2.3.3.1 Yağlanma Prensip Ve Teorileri

Yüzeyleri iyi parlatılmış iki metal elemanın birbirleri üzerinde hareket etmelerini kolaylaştırmak amacıyla aralarına konan maddelere “yağlayıcı”, yaptıkları işe de “yağlama” denmektedir.

Yağlamada, metal yüzeylerin birbiri ile olan temasları ortadan kalkar ve elemanlar, yağ filmleri üzerinde hareket ederler.

A) Yağlama Prensipleri;

Langmiur teorisine göre; yağlayıcılar kürecikler halinde parçacıklardan müteşekkildir. Bu parçacıkların bir kısmı, metal yüzeyleri ile direkt olarak temastadır ki burada meydana gelen çekmeye adhezyon kuvveti denir. Bu kürecikleri bir arada tutan kuvvete de kohezyon denir. Diğer bir deyimle yağlayıcılar kohezyon ve adhezyon nitelikleri ile yüzeyler arasında bir yağ filmi teşkil eder ve sürtünmeyi azaltarak “yağlama” görevlerini yaparlar. Herhangi bir harekette dikkat edilmesi gereken en önemli husus, sürtünmedir.

B) Sıvı Sürtünme (Fluid Friction);

Bu sürtünmeyi de iki bölümde incelemek mümkündür.

a. Kalın film (Hidrodinamik yağlama): Metal elemanlar arasındaki yağ filminin kalınlığı 6000 angstrom'dan fazla ise bu tip yağlamaya kalın film yağlaması denir. Bu yağlamada elemanlar arasında temas olmayacağı için aşınma söz konusu değildir.

b. İnce film (Hidrostatik yağlama) film kalınlığı, 6000 angstrom'dan azdır. Burada hidrodinamik yağlama kanunları uygulanamaz.

2.3.3.2 Yağlayıcı Elemanını Görevleri:

1. Sürtünme kontrolü
2. Aşınma kontrolü
3. Sıcaklı kontrolü
4. Korozyon kontrolü
5. İzolasyon (elektrik)
6. Kuvvet iletimi (hidrolik)
7. Yıkama tesiri (kirli maddelerin atılması)

2.3.3.3 Yağlama Çeşitleri:

Sürtünme ve aşınmayı azaltmada yağlama metotları önemli bir rol oynamaktır. Başlıca yağlama metotları şunlardır (Hani, 2002).

- 1- Elle yağlama
- 2- Şişe yağlayıcılar
- 3- Damlama ile yağlama
- 4- Fitilli yağlama
- 5- Halka zincir ve bilezikleri
- 6- Banyo yağlama
- 7- Sıçratma yağlama
- 8- Sirkülasyonlu sistemler
- 9- Mekanik cebri-besleme-yağlayıcılar
- 10- Mekanik yağlayıcılar
- 11- Hidrostatik yağlayıcılar
- 12- Otomatik yağlama

2.3.3.4 Günümüzde Yağlarda Kullanılan Katkı Maddeleri

Sıvı yağlama yağlarının ve yarı katı yağlayıcıların kalitesi, rafinasyon ve üretim proseslerine bağlıdır. Bu nedenle bazen üretimi tamamlanmış yağlara çalışacağı ortama göre, daha iyi ve daha uzun süre görev yapabilmesi amacıyla ilave spesifik özelliklere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu özellikler yağa, belirli kimyasal veya metalik maddelerin ilavesiyle sağlanmaktadır. Bu nedenle genel olarak; başlangıçta yağda bulunmayan veya belli miktarda bulunan, yağlara istenen bazı özellikleri kazandırmak, mevcut özellikleri geliştirmek, yağın istenmeyen bazı özelliklerini de yok etmek veya en aza indirmek amacıyla yağlara sonradan eklenen ilave maddelere Katkı Maddesi denilmektedir (Durak ve Kurbanoğlu, 1999).

Ham petrolün temizlenmesi ve işlenmesinden elde edilen yağlar sistemlerin çalışma şartlarına uygun yağlama özelliklerini karşılayamaz. Bu amaçla yağlara kimyasal maddelerin ilavesiyle yağlar geliştirilmekte ve özel çalışma şartları için gereken özellikler yağa kazandırılmaktadır. Katıkların bir kısmı yağların kimyasal yapısı, bir kısmı da fiziksel yapısı üzerinde etkili olurlar (Makine İhtisas, 2006).

Yağlama yağları için katkı maddesi ilavesi ilk defa 1920'li yıllarda başlamış ve kullanımı o zamandan beri önemli oranda artmıştır. Günümüzde, pratik olarak yağlama yağları en azından bir, yağların bir kısmı ise birkaç farklı tip katkı maddesi içermektedir. Kullanılan katkı maddelerinin miktarı ise, binde birkaçtan yüzde otuzlara kadar değişebilmektedir.

Katkı maddelerinin faydalı etkilerinin yanı sıra, zararlı etkileri de olabilmektedir. Özellikle aşırı miktarda katkı maddesi kullanıldığında veya diğer katkı maddeleri ile reaksiyon vuku bulduğunda zararları açığa çıkmaktadır. Optimum performans için katkı maddesi dengesinin başarılması, yağ formülasyonu yapan kişinin sorumluluğundadır. Bu nedenle arzu edilmeyen etkileri sergilemeyen kombinasyonlara ulaşmak için testlere başvurulmaktadır. Yağa bazı özellikleri kazandırmak için katkı maddesi elemanlarının özelliklerini bozmamaları gerekmektedir.

Aşınma önleyici (AW), Sürtünme azaltıcılar (FM), Donma noktasını düşürücü, Oksidasyon önleyici, Pas önleyici, Yüksek (aşırı) basınç (EP) katkıları, Viskozite İndeksi (VI) geliştiricileri, Temizleyici ve Dağıtıcılar, Köpük önleyici, Akma noktası düşürücü, Emülsiyon yapıcı, Yapışkanlığı arttırıcı, Renk ve koku stabilizatörü, antiseptikler, metal deaktivatörleri (yatıştırıcıları), Suya karşı koruyucu, Gümüş koruyucuları, Alkali katkı maddeleri, Islatma kabiliyeti arttırıcı ve diğer özel katkı maddeleri günümüzde katkı maddesi çeşitleri olarak oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bunlar;

- Doyma Noktası Düşürücü Katkı Maddeleri
- Viskozite İndeksi (VI) Geliştiricileri
- Köpük Önleyici Katkı Maddeleri
- Oksidasyon Önleyici (İnhibitörlü) Katkı Maddeleri
- Korozyon Önleyici Katkı Maddeleri (İnhibitörleri)
- Pas Önleyici Katkı Maddeleri
- Temizleyici ve Dağıtıcı Katkı Maddeleri
- Yapışkanlık Verici Katkı Maddeleri
- Metal Passivatör Katkı Maddeleri
- Emülsiyon Yapan Katkı Maddeleri
- Renk Sabitleştirici Katkı Maddeleri
- Koku Önleyici ve Antiseptik Katkı Maddeleri

2.3.3.5 Özel Katkı Maddeleri

Sentetik ve hayvansal yağlardan oluşmuş özel maddeleri içine alan katkı maddeleridir. Suya maruz makinelerdeki yağın yıkanıp, akmasını önleyen ve sürtünmenin az olması gereken makinelerde sürtünme katsayısını azaltan katkı maddeleri olmak üzere iki gruptur.

A) Sıvı Metalik Katkı Maddeleri;

Bakır ve gümüş karışımı istenen özelliklere sahip metallerdir. Bunlar sıvı halde birleşip ve katılaşmaktadırlar. Fakat sertleşme sırasında bu metal molekülleri ayrı ayrı köşelerde toplanmaktadırlar. Yeni geliştirilen teknolojilerle, kurşun, bakır-gümüş karışımı içerisinde hapsedilerek homojen bir şekilde dağıtılmış ve sabitleştirilmiştir. Bu katkı maddeler bakır-kurşun-gümüş metallerinin tam bir karışımından oluşan sıvı metal süspansiyonudur.

B) Teflonlar;

Teflonlar büyük moleküllere sahip, uzun zincir yapılı polimerlerdir. Bu molekül yapısı, tekrarlanan birçok benzer veya farklı ünitelerden meydana gelmektedirler. Değişik yapıda ve türde çeşitli teflon polimerleri mevcuttur. Bunlardan P.F.A. teflonu, tetra flor etilen ve perflora bileşiminden oluşmuş bir kopolimerdir. En önemli özellikleri, yüksek ergime dereceleri (310-300 °C), kolay uygulanabilirliği, gerilmelere ve kırılmalara dirençli olmalıdır. Ayrıca bu polimerlerden türetilmiş olan bazı teflon türleri motor yağlarında özel katkı maddesi olarak kullanılmaktadır (Durak ve Kurbanoğlu, 1999).

2.4 Literatür Özeti

Ahrstrom et al. (2003), yaptıkları çalışmalarında geçici elastohidrodinamik koşullar altındaki sürtünmenin farklı yağlayıcılarla taşınması ve ısı depolanması etkisini deneysel olarak incelemişler. Sürtünmenin özelliklerini başarılı bir şekilde veren modele ihtiyaç olduğunu vurgulamışlar. Çalışmalarında hızlı Fourier dönüştürücü analizi kullanılmış, bu metot ile üretilen ışın dalgalarına maruz bırakılarak darbe etkisi oluşturmuşlar. Metotları, elastohidrodinamik basınç altında üç farklı sıcaklıkta (20,40 ve 80 °C), sürtünme kuvvetlerinin zamana bağlı oluşturduğu bozulmaları ayrıntılı olarak haber verdiğini belirtmişler. Bu niteleyici çalışmalarıyla yağlama ve termal özelliklerine etki eden viskozite ve sürtünme katsayısı başta ve sonda incelenmiş, gözlem sonuçlarıyla simülasyon sonuçlarının birbirine uyduğunu görmüşler.

Asi (2005) AISI 8620 çeliğinden yapılmış otobüs dişli kutusunda çalışan helisel dişlinin hasar analizini sunmuştur. İncelenen helisel dişlinin birbirine komşu birkaç kırık dişli seçilerek, durum tesbiti için görsel muayene, doküman fotoğrafları, kimyasal analizi, mikro-sertlik ölçümü ve metalografik muayene verileri değerlendirmiştir. Deformasyon bölgesinin muayenesini kolaylaştırmak için EDX ile tarayıcı elektron mikroskobu ekipmanı kullanmış. Sonuç olarak hasarlı helisel dişlide zararlı pitting ve spalling tesbit edilmiş, diş çevresindeki bölüm dairesi çizgisinin yanlış ayarından dolayı çatlakların oluştuğunu belirlemiştir.

Aslantaş (2003), yaptığı doktora çalışmasında küresel grafitli dökme demirden imal edilmiş düz dişlilerin diş yüzeylerinde meydana gelen karıncalanma hasarlarının deneysel ve nümerik olarak analizini yapmıştır. Çalışmanın deneysel kısmında yorulma ve dişli numuneleri farklı östemperleme şartlarında ısı işleme tabi tutulmuştur. Böylece östemperlemenin mekanik, yorulma ve karıncalanma oluşumu üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çalışmanın nümerik kısmında ise; başlangıç yüzey altı çatlağının konumunu tespit etmek için gerilme analizi yapılmış. Çatlak uçlarındaki gerilme şiddeti faktörleri yükün konumuna bağlı olarak elde edilmiştir. Oluşturulan sonlu eleman modeli kullanılarak sanal çatlak ilerleme analizleri yapılmış, çatlağın yüzeye ulaşma zamanını hesaplamak için teorik bir model geliştirmiş. Geliştirilen bu modele göre elde

edilen sonuçların deneysel veriler ile oldukça yakın bir benzerlik gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Aslantaş vd. (2004) küresel dökme demirden yapılmış düz dişlilerin östemperlenmesi işleminin pitting oluşumuna etkisini analiz etmişlerdir. Pitting oluşum sürecini bir seri deneyle saptamışlar. Dişli test numunelerini tuz banyosunda 250, 325, 375 ve 425 °C'de 60 ve 90 dakika süre ile temperlemişlerdir. Bütün dişli deneylerini FZG test makinesini kullanarak yapmışlar. Pitting oluşum araştırmalarında elektron tarama mikroskobu kullanılmış. Analizlerinde östemperleme işleminin pitting oluşum sürecini uzattığını belirlemişlerdir.

Aslantaş ve Taşgetiren (2004), yaptıkları çalışmalarında östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirden yapılmış düz dişli çarkta pitting oluşumunun sayısal tahminini yapmışlardır. Genel iki boyutlu yuvarlanmalı kayma temas durumları hesaba katarak analitik model geliştirmişler. Varsayılan problemin sayısal çözümleri için lineer elastik kırılma mekaniği ve sonlu elemanlar metodu kullanmışlar. Paris denklemi ile çatlakın büyümesi belirlenmiş. Numuneler ile önce 900 °C'deki tuz banyosunda 90 dakika bekletilerek östemperlenmiş, sonra soğutularak 325 ve 425 °C'deki tuz banyosunda 60 dakika bekletilerek sayısal ve deneysel sonuçlar arasında mukayese yapılmış, pitting oluşum ömrü belirlemişlerdir.

Bartz and Krüger (2003), yaptıkları çalışmalarında yağlayıcıların ve katkı maddelerinin aşınma yorulma sıklığına etkilerini, sertleştirilmiş ve ısıdan geçirilmiş dişlilerin kullanıldığı FZG dişli test düzeneği kullanılarak araştırmışlardır. Genel sonuçlar çıkarılmadan önce temel yağ tipinin ve katkı maddelerinin etkilerinin daha detaylı incelenmesi gerektiğine değinmişler. Sertleştirilmiş dişlilerin taşıma kapasitesini arttıran aşırı basınç katkıları yüzey iç aşınma hatası olmadan daha fazla yük testi sağladığını ve katkı maddelerinin, ısıtılmış dişlilerin iç aşınmasını geciktirmede doğrudan yararları olduğunu belirtmişler. Test edilen katkı maddeleri arasında aşınma ve yorgunluğu önleyen MoS₂' olduğunu belirtmişlerdir.

Başaran (2001), yaptığı çalışmada Helisel dişli çarklarda pitting oluşumunun deneysel incelemesini gerçekleştirmiştir. Kapalı devre güç dolaştıran dişli yorulma test düzeneği imal edilmiş, yine özel olarak imal ettirilen helisel dişliler üzerinde kapsamlı yorulma deneyleri yapmış. Aktif profilin maruz kaldığı hertz basıncının değişiminin nasıl olduğu; değişen basınç ile yüzey hasarı derecesinin ne şekilde farklılık gösterdiği sorularına cevap aranmıştır. Farklı profil öteleme faktörü, eğim açısı ve yükler altında yürüttüğü deneylerde malzeme, yağlayıcı ve yüzey pürüzlülüğü parametrelerini sabit tutmuştur. Yapılan hesaplamalar ve deney sonuçları ışığında, incelediği parametrelerin pitting hasarına olan etkilerini ortaya koymuştur. Bu çalışmada bu üç grubun tüm özelliklerini, baz sıvıların genel performansına etkilerini anlamak amacıyla incelemiştir. Ester baz sıvıların özellikleri detaylarıyla incelenmiş. Sonuç olarak, ester molekülündeki yüksek karboksilat seviyesi ısı özellikleri arttırmakta ve aşırı yüklenmiş, yüksek kayma temasının olduğu ortamlarda daha kalın bir film tabakası oluşturduğu görülmüştür.

Castro and Seabra (1998), bu çalışmalarında FZG cihazında yağ bazlı testler yapmışlar ve bu testte çizilme oluşumunun yetersiz yağlama ve yağ filmindeki bozuklukla ilişkisi olduğunu ortaya koymuşlardır. FZG cihazında dişlilerdeki scuffing oluşumu için yapılan testlerde sabit sıcaklıkta yağlar kullanılmış, deneysel ve teorik sonuçları analiz etmişler. Yapılan standart testlerde elde edilen sonuçlar tahminlere mükemmel şekilde uyduğu görülmüştür.

Dempsey (2000), yaptığı bu çalışmada Helikopter Durum Kullanım İzleme Sistemi (HUMS)'nin önemli bir parçası olan İletim Takip Sistemlerindeki titreşim ve yağ analizini incelemiştir. Bu çalışmada FM4 ve NA4 olmak üzere iki algoritmanın titreşim yeteneklerinin karşılaştırılması ve NASA Düz Dişli Yorulma Testi (Glenn Spur Gear Fatigue Test Rig)'nde düz dişlilerinde korozyon aşınma hasarını belirleyen yağ birikinti izleme sistemi üzerinde durmaktadır. Bu çalışmadan çıkan sonuçlar yağ birikinti izleme sistemi tarafından ölçülen atık kütledeki değişiklik oranları ile dişli korozyon tespitindeki titreşim algoritmalarının karşılaştırılabileceğini göstermektedir.

Dempsey (2001), yaptığı çalışmada kütle biriktiren indüktans tipi online bir yağ birikinti sensörünün dişli aşınmasını tahmin edebileceğini doğrulamak istemiştir. Daha sonra, biriken kütlenin bir hasar belirteci olarak kullanımı ve değişik seviyelerde içe doğru aşınma için eşik limitleri belirlemeye çalışılmıştır. Bu süreçte her ayrı özel durum için aşınma seviyelerine göre uygunluk belirteçleri tanımlanmış. Periyodik incelemelerden dolayı sisteme iyi huylu birikintilerin verilebileceğinden dolayı bu birikinti seviyesinin üzerinde düşük bir seviyenin belirlenmesi hatalı alarmları en aza indireceği yorumunu yapmıştır. Eşik seviye ilişkilerini belirlemek için kullanılan yaygın test ihtiyaçlarını en aza indirmek için değişik boyutlardaki dişlilerde dış yüzey temas alanıyla hasar seviyesi arasında bağıntı kurulup kurulamayacağını araştıran testler yapılmıştır.

Dempsey and Afjeh (2002), yaptıkları bu çalışmalarında düz dişliler için bir teşhis aracı geliştirmişlerdir. Dişlilerde yüzey yorulma durum izleme sistemine, birikinti analizi ve titreşim ölçümü için iki farklı sistem entegre edilmiştir. Yapılan bu teşhis cihazı Nasa düz dişli yorulma testi (Glenn Spur Fatigue Test Rig)'nde gerçekleştirilen yorulma testlerinden elde edilen titreşim ve yağ hasar bilgilerinden deneysel olarak geliştirilmiş ve değerlendirilmiştir. Sonuç olarak yağ birikintisi ve titreşim analizinin entegre edilmesi daha iyi hasar tespiti ve karar verme yeterliliğini doğurmaktadır. Titreşim ve yağ birikintisi ölçüm teknolojilerinin birleştirilmesinin düz dişlilerindeki aşınmanın tespitini arttırdığını göstermiştir. Bu çalışmanın sonucunda, Nasa Glenn Spur Gear Fatigue Rig hasar tespit araçları önemli ölçüde iyileştirilmiştir. Deneysel çalışma verilerine göre, hız kademeleri ve yük kademelerinin değişimi karşısında, aşınmanın ne şekilde değiştiği, ayrıca farklı yükler ve yağlama karşısında, yağ sıcaklığının zaman içerisinde değişimi grafikler ile verilmiştir.

Ding and Reiger (2003), bu çalışmalarında dişlilerde spallingin pitting'den ayırt edici yönlerini saptamaya çalışmışlar. Deneysel çalışmalarının sonuçlarına göre çökme sonucu oluşan spalling mekanizmasına karşı dayanıklılığı sağlayacak önerilerde bulunmuşlar. Dişlilerde çevrimsel yüklemeye meydana gelen çökme sonucu oluşacak spallingin tahminini ve plastik çökme bölgesindeki yüzey altı çatlaklarıyla etkileşimini saptamayı temel almışlar.

Durak ve Kurbanoğlu (1999), yaptıkları çalışmalarında, günümüzde kullanılan yağ katkı maddelerini ve yağ katkı maddelerinin etkime mekanizmaları incelenmiştir. Piyasada mevcut olan çeşitli ticari katkı maddelerinin sürtünmeye ve aşınmaya etkisi sabit yüklü kaymalı yataklarda deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyler farklı hız ve yüklerde yapılmış. İlave olarak da katkı maddelerinin yağ sıcaklık etkisi tespit edilmiştir.

Eş (2004), yaptığı çalışmada dişli çark malzemelerin aşınma karakteristiklerini incelemiştir. alışmasında 16MnCr5 elikten yapılmış, yüzeyi işlem görmemiş ve sementasyonla yüzeyi sertleştirilmiş disklerin, kuru ve yağlı kayma-yuvarlanma koşulları altında aşınma davranışını araştırılmış. Aşınma deneyleri farklı kayma-yuvarlanma oranlarıyla ve farklı yükler altında disk/disk test cihazıyla yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, yüzeyi sertleştirilmiş disklerde kayma oranının artmasıyla, aşınmanın kademeli olarak arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca yüzeyi sertleştirilmiş disklerin sertleştirilmemiş disklere göre çok daha az aşındığı gözlenmiş. Yüzey sertleştirilmenin aşınma direncini arttırmada etkili bir yöntem olduğu görülmüş. Yağlı kayma- yuvarlanma temas koşullarına göre aşınmanın çok daha az olduğu saptanmıştır.

Fetvacı ve İmrak (2005), yaptıkları çalışmalarında düz dişlilerde kavrama çevriminde gerilmelerin değişiminin sonlu eleman metodu ile incelemişlerdir. ANSYS yazılımının parametrik programlama lisansı kullanarak düz dişli çark sonlu eleman modeli elde etmişler. Yazarlar literatürdeki modellerden hareketle yeni bir dişli çark sonlu eleman modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen modelin düz dişlilerde kavrama çevriminde gerilme değişiminin incelenmesi için uygun olduğunu belirtmişler ve çeşitli haller için analiz neticelerini grafikler ile ortaya koymuşlardır.

Glodez et al. (1998), diş yüzeylerinde aşınma sonucu oluşan pittingi ve çatlağı incelemişlerdir. Dişli diş yanaklarında pittinge dayanıklılığı veren bir model oluşturmuşlar. Yorulma sresinin yol açtığı pittingin simülasyon hesaplamaları için kısa çatlaklar teorisini ve sonlu elemanlar metodu kullanmışlar, gerilim bölgesinin mesh yapısını oluşturmuşlar. Gerçek düz dişli çiftine uygulanan deneysel testler sonucu model oluşturulmuş. Sayısal ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmış ve birbirine uyduğu grlmştir. Dişli ömrünü güvenilir şekilde tahmin etmeyi sağlayan modeli geliştirmişlerdir.

Glodez et al. (1999), yaptıkları çalışmalarında düz dişli çarkların temas alanındaki yüzey yorulma süreci için yeni bir simülasyon modeli sunmuşlar. Yüzeydeki temas noktasındaki küçük yüzey çukurcukların yorulma çatlaklarının artmasına yol açtığına değinmişler. Simülasyon için sonlu elemanlar metodu ile birlikte çatlak ilerleme teorisi kullanmışlar. Ayrıca dişli çiftinin gerçek modelini geliştirmek için deneysel çalışmalarda yapmışlardır.

Höhn and Michaelis (2004), yaptıkları çalışmalarında dişli arızaları üzerinde yağ sıcaklığının etkisi araştırılmıştır. Çok yüksek sıcaklıklarda maddenin dayanma sınırlarını azaltarak metalürjik değişiklikler ortaya çıkarılmış. Dişli hasarları üzerinde yağ sıcaklıklarının etkisi ve ayrıca da bunların yük taşıma kapasitesinin hesaplanması yöntemlerinde kullanılması için örnekler gösterilmiştir.

Iglesias et al. (2004), bu çalışmalarında alüminyum, çelik temasında, katkı maddeli nötr akışkan ve iyonik sıvı kristalleriyle yağlama yöntemlerini, oluşan sürtünme ve aşınmaları incelemişler. ASTM B211 alüminyum- AISI 52100 çelik malzemelerinin temasındaki sürtünme ve aşınmayı saptamak için pim on disk testleri, yataklama hızı, sıcaklık, uygulanacak yükler dikkate alınmış ve modifiye edilmiş sıvı kristalli katkı maddeli üç farklı yağ kullanmışlar. Çelik yerine alüminyum yataklama ile sıvı kristalli katkı maddesi kullanılmasının sürtünme katsayısını azalttığı, normal yük altında iyonik kristalli sıvının nötr olanlardan daha iyi yağlama davranışı sergilediği sonucuna varılmıştır.

İmrek (1995), yaptığı çalışmada, hareket ve güç iletiminde en çok kullanılan makine elemanlarından biri olan dişli çarkların bozulma türlerinden, yenme olayı ve yenme olayına tesir eden faktörlerin etkileri incelenmiştir. Çalışma sonunda (+) ve (-) profil kaydırma işleminin yenme yüküne tesiri ve hızın bu profiller için yenmeye ne gibi etkilerinin olduğu elde edilen deneysel çalışmalarla ortaya konulmuştur.

Jha and Diwakar (2001), yaptıkları çalışmalarında standart metalürjik teknikler kullanarak, bronzdan yapılmış dişlinin dibindeki çatlak oluşumunu detaylı bir şekilde analiz etmişler. Ortaya çıkan sonuçlara göre, aşınma pitting oluşumunun kökenini teşkil ettiğine, bölgesel plastik şekil değiştirme ve çukurların çatlağın ilerlemesine, bununda dişte yorulma hasarlarına neden olduğunu gözlemlemişler.

Jia et al. (2003), bu çalışmalarında polyamit ve kompozitlerinin kuru ve sıvı yataklanması sırasındaki sürtünme ve aşınma davranışlarını karşılaştırmalı olarak incelemişler. Yüksek performanslı polyamit ve onun kısa karbon fiberle güçlendirilmiş yapıları, MoS₂ ve politetrafloroetilen (PTFE) ve karbon fiber (PI) ile paslanmaz çelik malzemeleri incelemişler. Buldukları sonuçlarda karbon fiberin katı yağlı kullanımındaki sürtünme aşınma performansının paslanmaz çelik yatağın kuru ve sıvı yağlı kullanılmasından daha iyi olduğunu, (PI) ve kompozitlerinin sıvı yağlamalı durumda plastik deformasyon, mikro çatlak ve pullanma davranışların azaldığını tespit etmişler. Sıvı yağlamalı yataklamada PTFE ile güçlendirilmiş PI bazlı kompozitlerin paslanmaz çelik yatakların yerine sürtünmeye dayanıklı materyal olmaya potansiyel aday olduğunu belirtmişler.

Keskin (2002), yaptığı çalışmada silindirik düz dişli çarklarda yağlayıcı viskozitenin aşınmaya olan etkilerinin deneysel incelenmesini, kapalı devre güç dolaştıran dişli yorulma test düzeneği üzerinde, özel olarak imal ettirilen silindirik düz dişli çarklarda kapsamlı yorulma deneyleri şeklinde gerçekleştirmiştir. Gerçekleştirilen deneylerde; sanayide kullanılan kapalı sistem dişli yağlarındaki değişik viskozite yağların yük taşıma kabiliyeti, aktif profilin maruz kaldığı hertz basıncının değişiminin nasıl olduğu ve bu değişen basınç ile yüzey hasarı derecesinin ne şekilde farklılık gösterdiği sorusuna cevap aranmıştır. Farklı yağ viskozitesinin etkilerini inceleyebilmek için; profil öteleme faktörü, eğim açısı, yük faktörü, malzeme ve yüzey pürüzlülüğü parametreleri sabit tutulmuş. Yaptığı hesaplamalar ve deney sonuçları ışığında, incelediği parametrelerin aşınma hasarı oluşumuna etkilerini ortaya çıkarmaya çalışmıştır.

Luke and Oliver (1999), bu çalışmalarında daha çok otomotiv sektöründe kullanılan şanzıman sistemlerindeki dişlilerin daldırma ile yağlanmasında köpürme-çalkalanma kayıplarına yağ ısısının etkilerini incelemiştir. Boness ve Terekhov metotlarını kullanarak köpürme-çalkalanma torkunu hesaplamışlar. Aynı zamanda düz dişli çarklardaki köpürme-çalkalanma torkunu farklı yöntemle çözmek için farklı hızlarda yağlama ve sıcaklık ölçümleri yapmışlar.

Martins et al. (2006), bu çalışmalarında mikro aşınmaya karşı özel katkı maddeleriyle güçlendirilmiş parafinik mineral yağ ve inceltilebilen toksit içermeyen ester'den oluşan iki yağın fiziksel özellikleri, aşındırma özellikleri ve kimyasal özellikleri ortaya konmuş ve uygulamalarında dağıtma güçleri bakımından karşılaştırılmıştır.

Özkasap (2001), yapmış olduğu deneysel çalışmada, aşınma üzerine yağlama yağlarının etkisini incelemiştir. FZG dişli deney standında yapılan deneysel çalışmada dişli çiftleri üzerinde değişik hız ve yük kademelerinde farklı yağlama yağı kullanılarak aşınma olayı incelenmiştir.

Pettersson (2005), yaptığı çalışmada gelecekteki yağlayıcıların günümüzde kullanılan yağlayıcılara göre daha yüksek performans seviyesine, daha düşük yaşam süresi maliyetine sahip olması ve daha fazla çevresel olarak uyarlanması gerektiğine değinmiştir. Bu tip yağlayıcıların formüle edilebilmesi için baz sıvıların özelliklerinin iyi bilinmesi gerektiğini belirtmiştir. Formüle edilecek yağlayıcı performansını etkileyen baz sıvı özelliklerini; fiziksel, kimyasal ve film oluşum özellikleri olarak üç gruba bölmüştür.

Podgornik and Vizintin (2003), bu çalışmalarında 42 CrMO₄'ten yapılan plazma ve darbeli plazma nitrülenmiş dişlilerin aşınma dirençlerini yağlanmış durumda iken kayma ve korozyon altındaki davranışlarını incelemiştir. Aşınma testleri standart FZG makineleri ile yapılmıştır. Ayrıca sertleştirilmenin ve plazma nitrüleme karşılaştırılması ve ekonomik değerlendirilmesi yapılmıştır. Test sonuçları, aşınma direncinin ve hatta 42 CrMO₄ çelik dişlilerinin korozyon aşınma direncinin plazma ve darbeli plazma nitrülenmesiyle artırılabilceğini göstermektedir.

Şekercioğlu ve Kovan (2006), bu çalışmalarında kamyon diferansiyel sisteminde kullanılan sertleştirilmiş çelikten yapılmış spiral konik dişlideki kırılma olayını araştırmışlar. Hasar sebeplerini araştırmak için hazırlanan hasarlı spiral konik dişli numunelerine görsel muayene, sertlik ölçme, kimyasal analiz ve metalürjik testler gibi deneyler yapmışlar. Dişli yüzeylerindeki pitting olayı gözlemlenmiş, mikro yapının kırılmaya etkisi hesaba katılmış ve yüzey sertlik değerleri düşük bulunmuş. Sonuç olarak, yüksek pitting direnci elde etmek için dişlilerin dış yüzeylerindeki sertlik 58–60 Rc'ye yükseltilmesini, karbürleme işlemi yapılması, yağ filmi kalınlığının yeterli olması, temas basıncını azaltmak için dizayn aşamasında dişlilerin geometrisinin optimize edilebileceğini belirtmişler.

Tevrüz (2005), yaptığı çalışmada dişli çarklarda yenme olayını iki kısımda incelemiştir. Birinci kısımda basınca dayalı yöntemleri, ikinci kısımda sıcaklığa dayalı yöntemler üzerinde durmuştur. Günümüzde artan güç ve hız ihtiyacı dişli çarklarda yenmeyi daha da önemli hale getirdiğine değinmiş. Yenme için sunulan hesap yöntemleri çoğunlukla farklı sonuçlar verdiğini ve bu yöntemlerin basınca, sıcaklığa veya özel kriterlere dayandığını vurgulamıştır. Sonuçta sıcaklığa dayalı yöntemlerin daha doğru neticeler verdiklerine değinmiştir.

Truhan et al. (2005), bu çalışmalarında dizel motorunda segmanın sürtünme ve aşınma davranışlarını incelemiş ve dayanıklı silindir gömleği gereçleri geliştirmek için verileri değerlendiren gelişmiş bir test metodu uygulamışlar. Bu çalışmanın odak noktasını, yağ koşulu ve yağın etkileri oluşturmuş. Testte gömlek malzemeleri basitten başlayarak sıraya konulmuş, gerçek segman parçaları kullanılmış, yataklama düz kısımda yapılmış ve motor çalışırken oluşan gerilmelerin normal seviyede olduğu görülmüş. Kirletici partikül konsantrasyonu ve oksidasyon, kurum seviye gibi yağ koşulunu etkileyen faktörler tanımlanmış. Çeşitli yükler altında yağ viskozitesinin ve yağ koşullarının motordaki sürtünme ve aşınmaya olan etkilerini belirlemeye çalışmışlar.

Yuan et al. (2004), yaptıkları çalışmalarında SAE 40 yağı ile pim üzerinde disk test cihazında kayma-aşınma süreçlerine etkilerini araştırmışlar. Bu araştırma; SAE 40 yağında kirlenme sonucunda oluşan demir taneciklerinin ve yağın temiz haldeki

durumlarında inceleme yapmışlar. Çalışmada tanecik morfolojisi temelli sayısal analiz, aynı odaklı lazer tarama mikroskobu (CLSM), fernografi analizi, tanecik büyüklüğü analizi (CSI) ve test numune yüzeylerindeki aşınmanın belirlenmesi için elektron tarama mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. SAE 40 yağının sıcaklığının artışı ile yapışma, oksidasyon ve aşınma oranlarında da artma olduğunu görmüşler. Yüksek sıcaklıklarda yaptıkları testlerde SAE 40 yağına demir taneciklerinin eklenmesiyle yapılan testlerde demir tanecikler katılmamış SAE 40 yağıyla yapılmış testlere göre oksidasyon aşınması ve kayma aşınması derecelerinde artış görmüşlerdir.

Zhang et al. (2005), yaptıkları çalışmalarında sıvı yağlama altında MoSi_2 'nin aşınma davranışını incelemişler. MoSi_2 ve çeliğin sıvı yağlama durumundaki tribolojik özelliklerini araştırmışlar. Kuru yataklama durumunda MoSi_2 'ni, sürtünme katsayısının azaldığına, aşınma oranının yüksek olduğuna değinmişler. MoSi_2 'nin sıvı yağlama durumundaki aşınma davranışını SEM ile gözlemlemişler. Sonuçta bu malzemenin önemli eksikliğinin sürtünme aşınması biçiminde olduğunu, bir de büyük yük altında parça yapışması meydana geldiğini belirtmişler.

3. MATERYAL ve METOT

Bu çalışmada, silindirik düz dişli çarklarda değişik viskoziteye sahip yağlayıcıların aşınmaya olan etkilerini belirlemek için, hazırlanan dişli aşınma deney düzeneğinde mekanik deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneye tabi tutulan düz dişlilerin yüzeylerinde pitting oluşumları incelenmiştir. Pitting hasarlarının şekil ve boyutunu tespit etmek amacıyla diş yüzeylerinin SEM (Scanning Electron Microscope) fotoğrafları çekilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan tüm deney numuneleri uluslararası kabul görmüş standartlara uygun olarak hazırlanmıştır.

3.1 Dişli Çark İmalatı

Dişli çarklar birkaç farklı usulle imal edilebilirler. Seçilen usullere göre imalat sırasında modül freze çakısı, kremayer planya, radyal planya (Fellow çakısı) veya azdırma gibi kesici takımlar kullanılır.

Bu deneysel çalışmada kullanılan dişli çarkların imalatında en çok kullanılan metot olan azdırma metodu kullanılmıştır (Resim 3.1).



Resim 3.1 Dişli çarkların azdırma tezgahında imalatı

Deneyde kullanılan dişlilere ait geometrik özellikler çizelge 3.1 ve çizelge 3.2’de verilmiştir (Çizelge 3.1,2).

Çizelge 3.1 Test dişlilerinin özellikleri

	Test dişlileri
Diş sayısı (Z)	32
Modül (m), mm	2
Kavrama açısı (α)	20°
Diş genişliği (b), mm	10
Bölüm dairesi çapı (Dt), mm	64
Diş üstü çapı (Da), mm	68
Diş yüksekliği (h), mm	4,332
Adım (t), mm	6,28
Malzeme	GGG 50
İmalat yöntemi	Azdırma
Sertlik	83 HRB

Çizelge 3.2 Döndüren ve vasat dişlilerine ait özellikler

	Döndüren dişli	Vasat dişli
Diş sayısı (Z)	48	80
Modül (m), mm	2	2
Kavrama açısı (α)	20°	20°
Diş genişliği (b), mm	30	30
Bölüm dairesi çapı (Dt), mm	96	160
Diş üstü çapı (Da), mm	100	164
Diş yüksekliği (h), mm	4,332	4,332
Adım (t), mm	6,28	6,28
Malzeme	Ç 1050	Ç 1050
İmalat yöntemi	Azdırma	Azdırma
Isıl işlem	Var	Var
Sertlik	44 HRC	46 HRC

3.2 Dişli Çark Malzemeleri

Dişli çarklar çeliklerden, dökme demirlere ve plastiklere kadar birçok değişik malzemedен yapılmaktadır. Güç iletim dişlileri için yüksek mukavemet ve düşük fiyatları nedeniyle en iyi malzeme çeliklerdir. Bazı dişliler için, ‘özellikle sonsuz vida dişlileri’ malzeme seçiminde en önemli faktör basit yağlama koşullarındaki aşınma direncidir. Diğer dişlilerde ise en önemli faktörler mukavemet, fiyat ve gerekli korumayı sağlamak için seçilen yağdır.

Kullanılan test dişlilerinin imalatında GGG-50 küresel grafitli dökme demir malzeme seçilmiştir. Bunun sebebi küresel grafitli dökme demirlerin, çelik dökümden daha ekonomik ve diğer dökme demirlere göre daha yüksek mukavemetli olmasıdır. Yaklaşık 500mm uzunluğunda, 70mm çapında silindirik dolu çubuklar halinde dökülen test dişlisi malzemeleri, dişli taslaklarını oluşturmak üzere testerede kesilmiştir. Daha sonra tornada hesaplanan boyutlara göre işlenmiştir. Frezede kama kanalları eksantrik vargelleme başlığı ile açılmıştır (Resim 3.2). Daha sonra azdırma tezgâhında azdırma çakısı ile dişleri açılmıştır (Resim 3.3).



Resim 3.2 Test dişli çarklarının dişleri açılmadan önceki hali



Resim 3.3 Test dişli çarklarına diş açılmış halde

Test dişlilerinin deneyler tamamlandıktan sonra pürüzlülük ölçümü için dişlilerin dişleri tek tek freze tezgâhı kullanılarak kesilmiştir (Resim 4.6 a, 6 b).



Resim 3.4 a Test dişlilerinin frezede kesilmesi



Resim 3.4 b Kesilmiş dişli ve dişleri

Dökme demirler, %2' den fazla oranda karbon içeren demir-karbon alaşımlarıdır. Başlıca çeşitleri kır, temper, beyaz, alaca ve küresel grafitli dökme demirlerdir. Bütün dökme demirlerin yapısında genel olarak şu bileşenler mevcuttur (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3 Küresel grafitli dökme demir bileşenleri

C	Si	Mn	P
%2 – 4	%0,4 – 3	%0,4 – 0,8	%0,1 – 0,8

Demir dökümlerin mekanik özelliklerini en fazla etkileyen bileşik karbondur. Yapıdaki karbon, ya bileşik halde (sementit) ya da serbest halde (grafit) olarak bulunur. Grafitli dökme demirler ise, grafitin yapısına göre çeşitlilik arz eder. Başlıcaları;

- Lamel Grafitli (Gri) dökme demir,
- Rozet Grafitli dökme demir,
- Küresel grafitli dökme demir, olarak adlandırılır.

Grafitlerin yapıdaki şekli, sayısı ve büyüklüğü malzemenin mukavemetini önemli ölçüde etkiler. Grafitlerin ince tabakalı ve keskin köşeli olması, iç gerilmelere sebep olur; bu bölgelerde kırılma ve çatlamlar meydana gelir. Grafitlerin lamel şekilli olması

sebebiyle, mevcut yapının çekme mukavemeti değeri 60-100 kgf/mm² den 10-30 kgf/mm² ye düşmektedir. Ayrıca lamel grafitli dökme demirler gevrek olduğundan uzama oranı %0-3 civarındadır. Temper dökme demirlerde ise, yumuşatma tavlama ile çekme mukavemeti 32-42 kgf/mm² değerlerine ulaşabilir.

Endüstride ihtiyaç duyduğumuz, iyi özelliklere sahip olan küresel grafitli dökme demirler, çelik dökümden daha ekonomik ve diğer dökme demirlere göre daha yüksek mukavemetlidir. Küresel grafitli dökme demirler, lamel grafitlerin küreselleştirilmesiyle elde edilir. Bu işlem için sıvı metale belli oranlarda ve yöntemlerle Mg ve Ce ilave edilir. Geliştirilen bazı Mg esaslı alaşımlar da ihtiyacı karşılamaktadır. Ancak küreselleştirmenin başarılı olması için, ham malzemenin kükürt miktarının %0,02 civarına düşürülmesi gerekmektedir. Küresel grafitli dökme demirler, bu özelliklerinden dolayı endüstride ve özellikle otomotiv sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Dişli deney cihazında kullanılan döndüren dişli ve ara (vasat) dişlisinin yapımında Ç1050 malzeme kullanılmıştır. Bu malzemenin tercih edilme nedeni, istenilen sertlik ve mukavemetin elde edilebilir olmasıdır. Bu malzemenin dişli yapımına uygun olmasıdır (Resim 3.4).

Karşılıklı çalışan çeviren ve vasat dişlileri Ç 1050 çeliğinden imal edilmiştir Daha sonra bu dişliler tav fırınında 825°C'de 1 saat süreyle ısıtılmışlardır. Bu sıcaklık Ç1050 çeliğin östenit bölgesine denk gelmektedir. Sonra yağ ortamında hızla soğutma yapılmıştır. Son olarak da iç gerilimleri gidermek için 250–300°C'de temperleme (gerginlik giderme) işlemi uygulanmıştır.



Resim 3.5 Deneysel çalışmada kullanılan çeviren ve vasat dişliler

3.3 MKE Normu Alaşimsız Makine Yapım Çeliği

Çizelge 3.4 Ç1050 malzeme normu gösterilişi

MKE NORMU	DIN NORMU	GEREÇ Nr. Si	SAE/AISI NORMU
Ç 1050	C 45	1.0503	1050

Çizelge 3.5 Ç1050 malzemenin kimyasal analizi

% C	Mn	Si	P	S
0,45	0,60	0,10	0,040	0,050
0,54	0,90	0,30	en çok	en çok

Çizelge 3.6 Malzemenin ısıtılma durumu

Sıcak şekil verme	1100 – 850°C
Yumuşak tavlama	650 - 700 °C
Normalize	840 - 870 °C
Sertleştirme	820 – 860 °C
Menevişleme	530 - 670 °C
Sertleştirme ortamı	YAĞDA – SUDA

Çizelge 3.7 Malzemenin fiziksel nitelikleri

Sertleştirilmiş ve menevişlenmiş durumda	
Kopma dayanımı	588,399 – 882,598 MPa
Akma sınırı	353,039 – 470,719 MPa
Kopma uzaması	%18 – 14 (d ⁰)

Çizelge 3.8 Malzemenin normalize edilmiş durumda

Kopma dayanımı	588,399 – 784,532 MPa
Akma dayanımı	333,426 MPa
Kopma uzaması	en az %18 (d ⁰)
Çentik dayanımı	DVM 6 – 7 kgm/sm ²

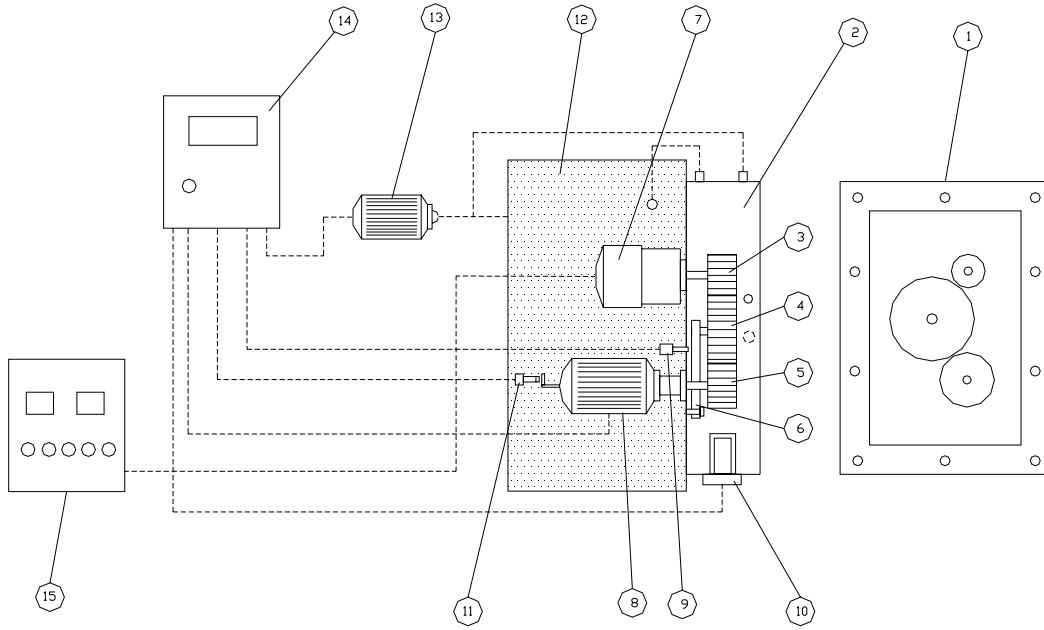
Çizelge 3.9 Malzemenin sertlik dayanımı

Suda	61HRc 25mm. Ø
Yağda	58HRc 25mm.Ø
Yumuşak tavllanmış durumda	en çok 260 HB30

(MKE Normu, 1978)

3.4 Dişli Aşınma Denei Cihazı Tasarımı ve İmalatı

Pitting deneylerinin gerçekleştirebilmek için yeni birdişli aşınma denei cihazı geliştirilmiş ve imal edilmiştir. Cihazın şematik görünümü Şekil 3.1'de, genel görünümü (Resim 3.5 a, 5 b, 5 c, 5 d)'de verilmiştir. Dişli aşınma denei cihazı tahrikini bir elektrik motorundan almakta ve elektrik motoru milinin ucunda çeviren dişli takılı bulunmaktadır. Bu çeviren dişli bir ara (vasat) dişliyi döndürmektedir. Ara dişli de test dişlisini döndürmektedir. Test dişlisi, alternatörün mili üzerinde takılı bulunmaktadır. Bu düzenek sayesinde denei cihazı elektrik motorundan aldığı tahrik ile alternatörü döndürmekte ve alternatör elektrik üretmektedir. Üretilen elektrik ise bir ısıtıcı cihaz ile tüketilmektedir. Alternatörün ürettiği elektriğin kontrollü bir şekilde ısıtıcı cihaz tarafından tüketilmesi sırasında sistem ve dolayısıyla dişliler yüklenmiş olmaktadır.



Şekil 3.1 Dişli aşınma denei cihazı şematik görünümü

1-Test Dişli Kutusu Kapağı, 2- Test dişli Kutusu, 3- Test Dişlisi, 4- Ara Dişli (Hareketli), 5- Pinyon Dişli (Sabit), 6- Paraçol, 7- Jeneratör, 8- Elektrik Motoru, 9- Isı Alıcı Sensörü, 10- Yağ Isıtıcısı (Rezistans), 11- Devir Alıcısı Sensörü, 12- Su Tankı, 13- Su Pompası, 14- Kontrol Panosu, 15- Yükleme Panosu (Rezistans Panosu).



Resim 3.6 a Dişli aşınma deney cihazının önden görünüşü



Resim 3.6 b Dişli aşınma deney cihazının yandan görünüşü



Resim 3.6 c Dişli aşınma deney cihazının arkadan görünüşü



Resim 3.6 d Dişli aşınma deney cihazının üstten görünüşü

Deney cihazını tahrik eden motor, Gamak marka 3 KW gücünde, 3000 dev/dakika ile dönen trifaze tip elektrik motorudur (Resim 3.6). Kullanılan alternatör SINCRO R12SCS markadır. Bu alternatör ise 3000 dev/dakikada 3 KW elektrik üretebilecek güçtedir (Resim 3.7).



Resim 3.7 Gamak (3KW) elektrik motoru cihaz üzerine bağlanmış halde



Resim 3.8 Sincro marka alternatör cihaz üzerine bağlanmış halde

Ayrıca deney cihazı gelişmiş bir kontrol panosuna sahiptir (Resim 3.8).Elektrik motorunun devrini Omron VS mini J7, 3.0 KW marka invertör ile değiştirme imkanı bulunmaktadır. Aynı zamanda da emniyetini sağlamaktadır. Omron genel amaçlı frekans invertörü, elektrik motorunu aşırı ısınma, aşırı yükleme gibi durumlarda alarm vererek durdurmak suretiyle korumaktadır (Resim 3.9).



Resim 3.9 Test cihazı kontrol panosu



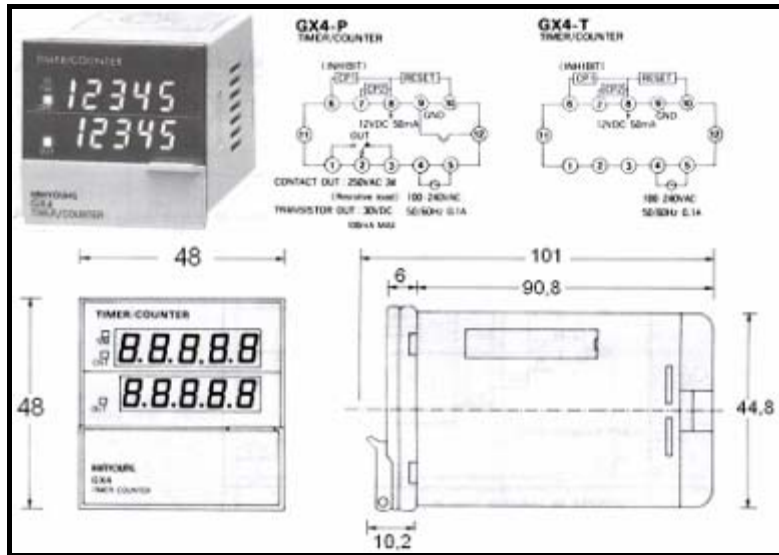
Resim 3.10 Cihazda kullanılan genel amaçlı frekans invertörü (İnt. Kyn. 1).

Deney cihazındaki dişlilerin yaptığı tur sayısını tespit etmek için Hanyoung GX4 timer/counter marka bir sayıcı kullanılmıştır. Sayıcının algılayıcı ucu elektrik

motorunun arkasına yerleştirilmiştir (Resim 3.10). Hanyoung devir sayıcısının okuması için elektrik motorunun arka ucuna metal bir plaka adapte edilmiştir. Devir algılayıcısının dijital göstergesi 6 basamaklıdır. Daha yüksek devir sayılarını okuyabilmesi ve gösterebilmesi için Hanyoung devir sayıcısının pas geçme özelliği kullanılmıştır (Resim 3.11).



Resim 3.11 Sayıcının algılayıcı ucu elektrik motorunun arkasına yerleştirilmiş halde



Resim 3.12 Hanyoung devir sayıcısı bağlantı şeması ve ölçüleri

Devir algılayıcısı 1000 turu 1 sayacak şekilde programlanmıştır. Bu sayede çok büyük devir sayılarını okuyabilmektedir. Ayrıca devir algılayıcısının elektrik motorunu kumanda etmesi ile algılayıcının sayacına girilen tur miktarına deney cihazı ulaştığında devir algılayıcısı elektrik motorunu hassas bir şekilde durdurmaktadır. Böylece operatör deney cihazına müdahale edene kadar sistem mevcut halini muhafaza etmektedir.

Dişli deneylerinde sıcaklık parametresini kullanabilmemiz için deney cihazına sıcaklığı ayarlayan ısıtma ve soğutma düzeneği yerleştirilmiştir. Dişli kutusuna dişli yağını ısıtmak için 2000 Watt'lık bir çelik rezistans yerleştirilmiştir. Sıcaklığı düşürebilmek için de dişli kutusunun altına 55 litrelik bir su deposu konulmuştur. Su deposunun ortasına çalkalanmayı önlemek ve suyun dinlenip soğumasını sağlamak için delikli bir perde kaynatılmıştır. Depodaki soğutma suyunu dişli kutusuna basabilmek için Sea Land marka 0,5 HP, 0,37 KW, 2800 dev/dakika özelliklerinde bir pompa kullanılmıştır (Resim 3.12).



Resim 3.13 Sea Land su pompası

Pompanın bastığı soğutma suyu dişli kutusunda yağın içinde olacak şekilde yerleştirilmiş U şeklindeki bakır borudan geçip tekrar su deposuna dönmektedir. Yağı

ısıtan rezistansı ve su pompasını kumanda edip, dişli yağını istenen sıcaklığa getirebilmek için Enda ET 1311 marka bir ısı kontrol cihazı kullanılmıştır (Resim 3.13). Aynı zamanda ısı kontrol cihazına bağlı bir sıcaklık müşiri dişli kutusunda yağın içine yerleştirilmiştir.



Resim 3.14 Enda ET 1311 marka bir ısı kontrol cihazı (İnt. Kyn. 2).

Deney cihazının (alternatörün) ürettiği elektriği kontrollü bir şekilde tüketmek ve böylece sistemi yüklemek için havayı ısıtan bir ısıtıcı cihaz yapılmıştır. Bu ısıtıcı cihazın üzerinde beş adet 500 Watt'lık ve 50cm boyunda rezistans bulunmaktadır. Aynı zamanda ısıtıcının alternatörden çektiği elektrik miktarını tespit etmek için 15 Ampere kadar okuma kapasitesi olan bir ibrelili ampermetre ve 250 Volta kadar okuma kapasitesi olan ibrelili bir voltmetre yerleştirilmiştir. Isıtıcı rezistansları tek tek açıp kapatabilmek için her birine ayrı ayrı şalterler ve emniyetlerini sağlamak için de sigorta konulmuştur (Resim 3.14).



Resim 3.15 Test cihazını yüklemeye kullanılan rezistanslar

Deney cihazının dişli kutusunun arka tarafına elektrik motoru ve alternatör akuple olarak cıvatalarla bağlanmıştır. Dişli kutusundaki dişlileri değiştirebilmek için kutunun ön tarafı açılır kapanır bir şekilde ve menteşeli olarak yapılmıştır. Dişlileri çalışma sırasında gözlemleyebilmek için bu ön kapağın ortasına 30x30 ebatlarında bir cam yerleştirilmiştir. Bu cam ise, 200 °C ısıya dayanıklı, 5 mm kalınlıkta, temperlenmiş özel bir camdır. Dişli kutusunda çeviren ve test dişlilerinin arasında bulunan, teması sağlayan üçüncü dişli (pinyon- ara dişli), hareketli bir parça (paraçol) üzerine yerleştirilmiştir. Bu sayede değişik boyutlardaki dişliler de test edilebilecektir (Resim 3.15).



Resim 3.16 Dişli kutusunun içten görüntüsü

Dişli kutusuna yağı doldurmak için kutunun üst tarafına bir cıvata vidalanmıştır. Isıdan dolayı oluşacak basınçlı havanın tahliyesi için bu cıvatanın ortası delinmiş ve üzerine U şeklinde bir boru kaynatılmıştır. Deney bitiminde yağı hızlı ve kolay bir şekilde boşaltabilmek için dişli kutusunun altına bir musluk, musluğun ucuna da bir hortum bağlanmıştır. Ayrıca dişli aşınma deney cihazının taşıyıcı sehpasının dört ayağına tekerlekler monte edilmiştir. Bu tekerleklerden ikisi döner ve kilitlenebilir özelliğindedir. Böylece deney cihazı mobil hale getirilerek istenilen yere rahatça götürülebilmektedir.

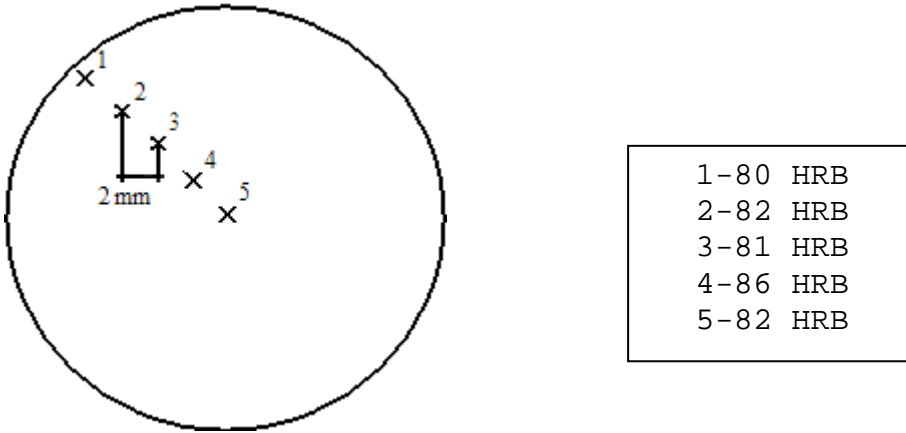
4. BULGULAR

4.1 Sertlik Ölçme Deneyi

Dişlilerin sertlik ölçümlerinde Rockwell metodu kullanılmıştır. Sertlik ölçümleri Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metalografi Laboratuvarında bulunan Mettest – HT marka sertlik ölçme cihazı kullanılarak yapılmıştır (Resim 4.1). Ölçülen sertlik değerlerinin ölçüm noktaları, Şekil 4.1’ de verilmiştir.



Resim 4.1 Mettest-HT sertlik ölçüm cihazı (İnt. Kyn. 3).



Şekil 4.1 Ölçülen sertlik değerlerinin ölçüm noktaları

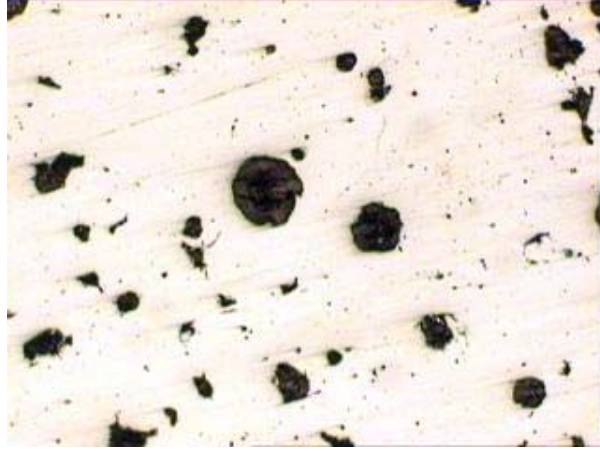
4.2 Metalografik İncelemeler

Döktürülen test dişlisi malzemesinden metalografik incelemeler için örnekler alınmıştır. Numuneler sırasıyla, 220, 400, 600, 800, 1000, 1200 numaralı zımpara kademelerinden geçirilerek son işlem olarak parlatılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan numunelerin mikro yapı analizleri için 50 büyütmeden 1000 büyütme kadar gözlem imkanı sağlayan Olympus B-201 optik mikroskop kullanılmıştır (Resim 4.2).

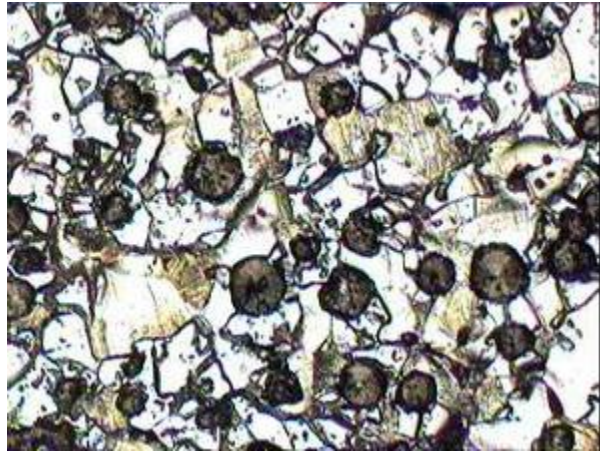


Resim 4.2 Olympus optik mikroskop

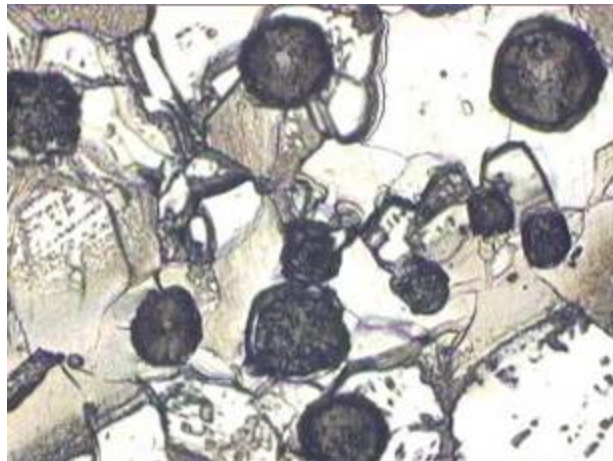
Hazırlanan bu numunelerle yapı içerisindeki küre dağılımı, küre boyutu ve yapının ferritik-perlitik oranı tespit edilmiştir. Döküm sonrasında yapılan mikroskopik incelemeler sonrasında matriks yapısının %70 Ferrit ve %30 Perlit olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca küre boyutu $\sim 20\mu\text{m}$ ve küresellik $\sim 90\%$ olarak tespit edilmiştir (Resim 4.3 a, 3 b, 3 c, 3 d). Numunelerin bazıları parlatma işleminden sonra direkt olarak incelenmiş, bazıları ise nital ile dağlanarak incelemeye alınmıştır.



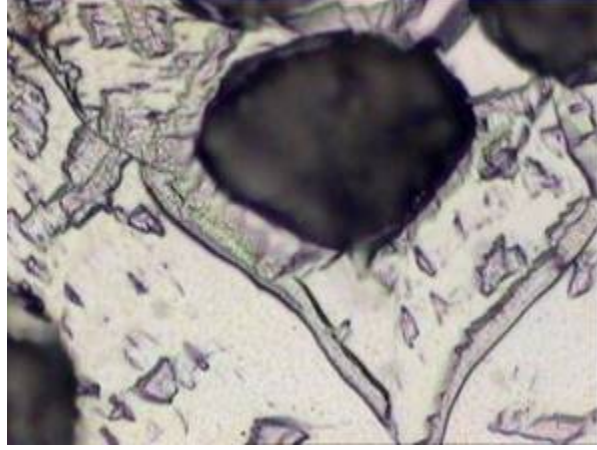
Resim 4.3 a Küresel grafitli dökme demir malzemesine ait mikro yapı
(Dağlamasız x100)



Resim 4.3 b Küresel grafitli dökme demir malzemesine ait mikro yapı
(Nital İle Dağlanmış x100)



Resim 4.3 c Küresel grafitli dökme demir malzemesine ait mikro yapı
(Nital İle Dağlanmış x200)



Resim 4.3 d Küresel grafitli dökme demir malzemesine ait mikro yapı
(Nital İle Dağlanmış x500)

4.3 Pitting Hasar Oluşum Deneyi

Bu çalışmada diş yüzeylerinde meydana gelen pitting hasarlarının oluşumunu gözlemlemek için yeni tasarlanan dişli yorulma cihazı kullanılmıştır. Deneylerde tasarlanıp imal edilen test cihazının genel görünümü Resim 4.4’de verilmiştir.

Deneye tabi tutulacak pinyon ve karşılık dişlileri dişli kutusuna takıldıktan sonra kapak kapatılarak üzerindeki yağ giriş tapası açılıp içersine yağ konulur. Yağın dişli göbük seviyesine kadar doldurulması ile yağlamanın yeterli seviyede olması amaçlanmıştır. Yapılacak deneye göre yağ, içersine yerleştirilmiş olan rezistans ile ısıtılır. Sonra motor çalıştırılıp havayı ısıtan rezistansın kademesi istenilen seviyeye getirilerek dişli çarklar yüklenir. Dişlinin kaç tur attığını belirlemek için bir adet devir sayıcı kullanılmış olup, sayıcının algılayıcı ucu elektrik motorunun arkasına yerleştirilmiştir.



Resim 4.4 Dişli aşınma deney cihazı

Deneylerde malzeme, sıcaklık ve devir sabit tutulup, yağ viskoziteleri değiştirilmiştir. Deneylerde Alfa 30 numara, Speedol Multi-Track 422 80 numara, Moil 140 numara yağ kullanılmış çizelge 4.1, çizelge 4.2 ve çizelge 4.3'te performans seviyeleri belirtilmiştir. Deneylerde 30 °C sıcaklıkta ve her yağda iki numune olmak üzere toplam altı(6) numune test edilmiştir.

Çizelge 4.1 SAE 30 yağı performans seviyeleri (İnt. Kyn. 6).

Tipik özellikleri (SAE 30)	
Yoğunluk 15 °C Kg/lt	0,892
Kinematik Viskozite 100 °C	15
Donma Noktası, °C	-21
Viskozite İndeks	97
Alevlenme Noktası, °C	265

Çizelge 4.2 SAE EP 80 yağı performans seviyeleri (İnt. Kyn. 6).

Tipik özellikleri (SAE 80)	
Kinematik Viskozite 40 °C	79,6
Kinematik Viskozite 100 °C	11,1
Viskozite İndeks	128
Alevlenme Noktası, °C	-

Çizelge 4.3 SAE EP 140 yağı performans seviyeleri (İnt. Kyn. 7).

Tipik özellikleri (SAE 140)	
Yoğunluk 15 °C Kg/Lt,	0,910
Kinematik Viskozite 100 °C, cst,	26- 36
Viskozite İndeks	91
Alevlenme Noktası, °C	294

4.4 Yüzey Pürüzlülük Deneyi

Deneyle yapılmadan önce test dişlilerinden bazılarının yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Bütün pürüzlülük ölçümleri Mahr Perthometer M2 marka yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılarak yapılmıştır (Resim 4.5 a).



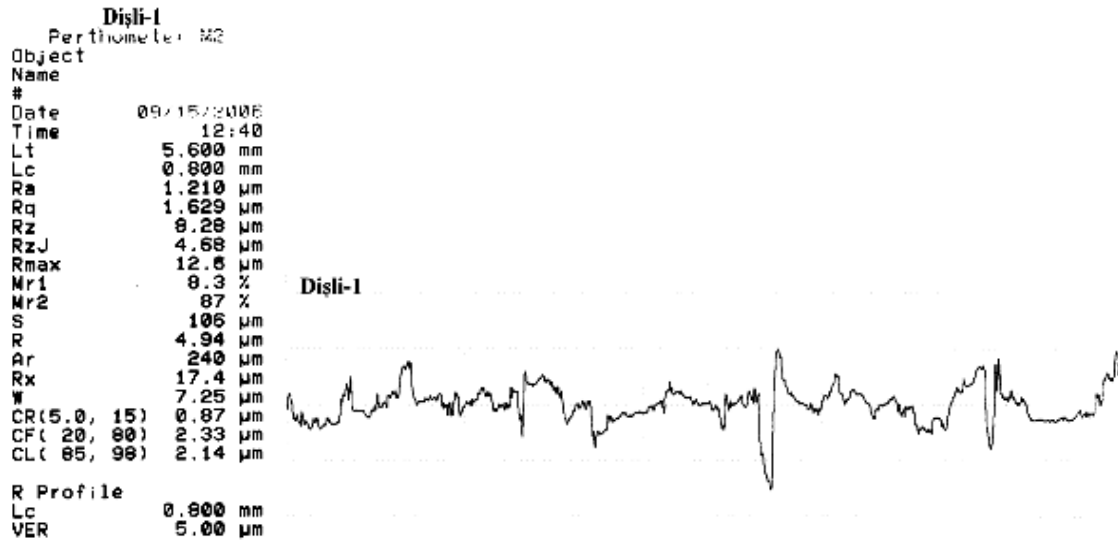
Resim 4.5 a Mahr Perthometer yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

Test dişlilerinin deneylerden önceki ve deneylerden sonraki yüzey pürüzlülük ölçümlerinin yapılması ile dişli çark diş yüzeylerindeki hasar oluşumunun tespiti gerçekleştirilmiştir. Pürüzlülük ölçümleri dişlilerin boyuna doğru yapılmıştır (Resim 4.5 b).

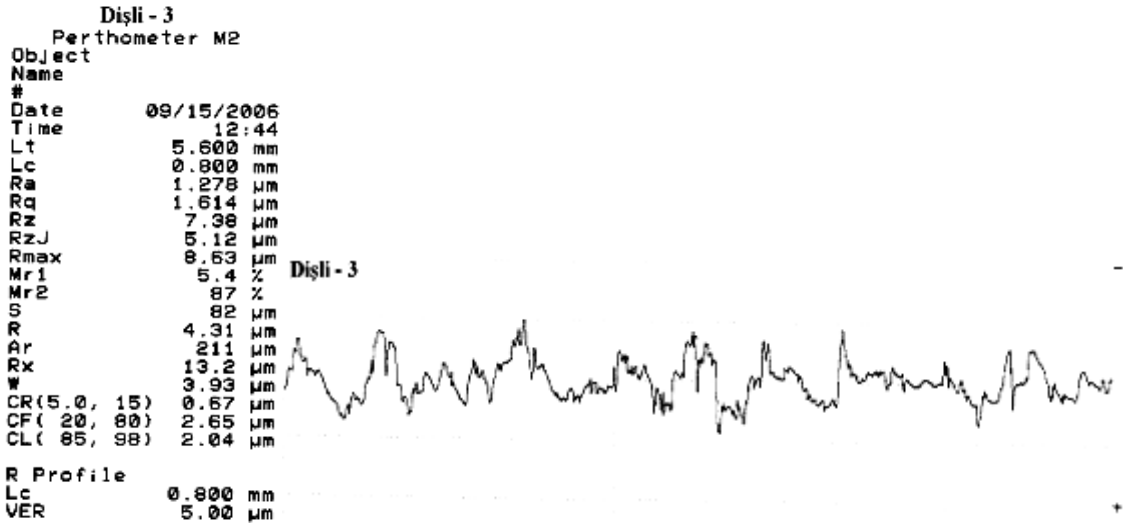


Resim 4.5 b Mahr Perthometer yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ölçüm sırasında

Test öncesi yapılan ölçüm sonucunda çıkan değerlerden örnek olarak iki tanesi şekil 4.2'de görülmektedir. Ölçümlerde Ra (ortalama pürüzlülük) değeri baz alınmıştır. Üzerinde ölçüm yapılan tüm dişlilerin diş genişliği 10 mm dir. Cihazın ölçme uzunluğu $L_T=5,6$ mm ile sınırlandırılmıştır. İğne tipi algılayıcının yüzey üzerinde ölçüm yaparken, ölçüm doğrusunun, diş üzerindeki en hasarlı ve en derin çukurcukların bulunduğu bölgelerden geçmesine çalışılmıştır.



Şekil 4.2 a Mahr Perthometer yüzey pürüzlülük cihazı ile test öncesi ölçüm sonuçları (Dişli-1)



Şekil 4.2 b Mahr Perthometer yüzey pürüzlülük cihazı ile test öncesi ölçüm sonuçları (Dişli-3)

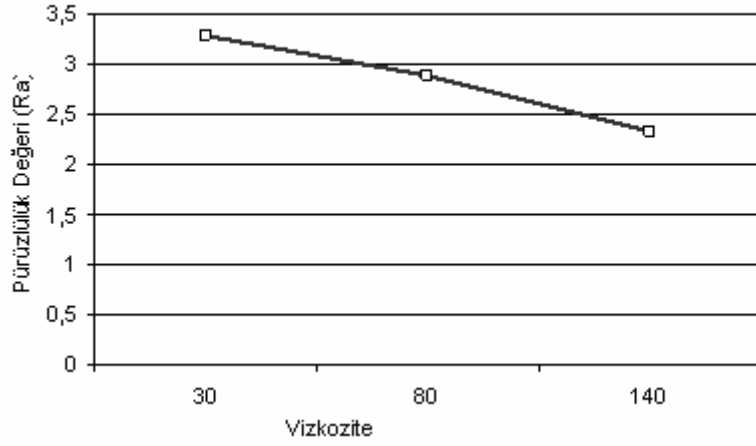
Test dişlilerinin deneyler tamamlandıktan sonra pürüzlülük ölçümü için dişlilerin dişleri tek tek freze tezgâhı kullanılarak kesilmiştir.

Daha sonra her bir deney numunesinden 3 er adet diş seçilerek yüzey pürüzlülükleri aynı yöntemle ölçülmüştür. $L_t=5,600\text{mm}$, $\lambda_c=0,80$ olarak ayarlanmıştır. Aşağıda verilen tabloda ölçüm sonuçları verilmiştir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4 Test dişlilerinin yüzey pürüzlülük değerleri ölçüm sonuçları

	Test Öncesi Değerler	30(Viskozite)		80(Viskozite)		140(Viskozite)	
		K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6
Dişli İsmi	K-0						
Pür. Değerleri	1,278	4,155	3,625	3,090	2,969	2,272	2,597
Pür. Değerleri	1,210	3,571	3,488	2,840	3,025	2,967	2,074
Pür. Değerleri	-	2,760	2,135	2,600	2,516	2,316	2,724
Ortalama Pürüzlülük Değerleri	1,244	3,505	3,082	2,843	2,836	2,518	2,465
		3,292		2,839		2,491	

Çizelge 4.4' deki değerleri karşılaştırma yapabilmek için Microsoft Excel programı kullanılarak grafikler haline dönüştürülmüştür (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Kullanılan yağın viskozitesine bağlı olarak pürüzlülük değerinin değişimi

Şekil 4.3'deki grafik incelendiğinde pürüzlülük değeri viskozite arttığı zaman düşmektedir. Viskozite arttıkça yağ filmi daha büyük yüklere dayanmaktadır. Bundan dolayı da dişli yüzeylerinde meydana gelen aşınmalar (pitting) daha az olmaktadır. Buna karşılık viskozite düştükçe yağ filmi çok çabuk yırtılmakta ve dişli yüzeylerinde pürüzlülük değerleri artmaktadır.

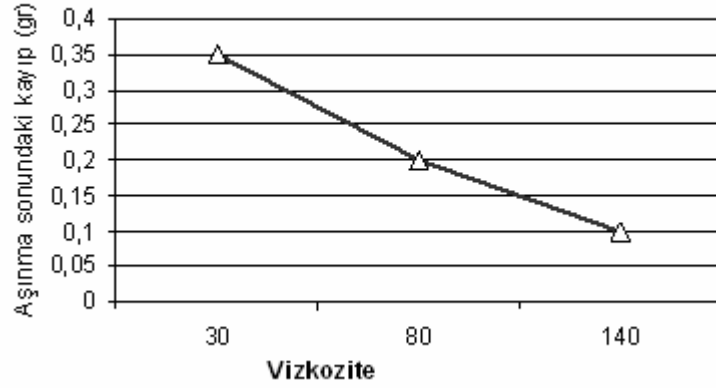
4.5 Malzeme Kaybı (Ağırlık) Ölçümü

Çalışan dişli mekanizmalarında aşınma sonucunda bir miktar malzeme kaybı olmaktadır. Deneylerde bu malzeme kaybını ölçebilmek için 0,1 gr hassasiyetinde tartı kullanılmıştır. Deney yapılan dişliler deneyden önce ve deneyden sonra tartılarak malzeme kayıpları tespit edilmiş ve değişik viskozitelerde yapılan deney sonuçları Çizelge 4.5'de, verilmiştir.

Çizelge 4.5 Test dişlilerindeki malzeme kaybı verileri

Dişlinin ismi ve çalışma viskozitesi	Test öncesi ağırlık (gr)	Test sonrası (5milyon tur) ağırlık	Aşınma (gr)
K 1 (30)	373,6	373,3	0,3
K 2 (30)	377,2	376,8	0,4
K 3 (80)	371,2	371,0	0,2
K 4 (80)	371,2	371,0	0,2
K 5 (140)	378,4	378,3	0,1
K 6 (140)	380,1	380,0	0,1

Çizelge 4.5' deki değerleri karşılaştırma yapabilmek için Microsoft Excel programı kullanılarak grafikler haline dönüştürülmüştür.



Şekil 4.4 Kullanılan yağın viskozitesine bağlı olarak malzeme kaybı değerinin değişimi

Şekil 4.4'teki grafik incelendiğinde yağ viskozitesi arttıkça aşınma miktarı azalmaktadır. Viskozite arttıkça yağ filmi daha büyük yüklerle dayanmaktadır. Bunun sonucu olarak ta dişli yüzeylerinde aşınma daha az olmaktadır. Tersinde ise viskozite düştükçe yağ filmi çok çabuk yırtılmakta ve dişli yüzeylerinde aşınma maksimum seviyelere çıkmaktadır.

4.6 Viskozitenin Yüzey Hasarına Etkisi

Deneysel çalışmalarda kullanılan dişli çarkların yüzey hasarlarının tespitinde Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi, TUAM (Teknolojik Uygulama ve Araştırma Merkezi) bünyesinde bulunan SEM (Scanning Electron Microscope) cihazı kullanılmıştır.

LEO 1430 VP model SEM cihazı W (Tungsten) filament ile çalışmaktadır (Resim 4.7). Cihaz üzerinde ikincil elektron (secondary electron), geri yansıyan elektron (backscattered electron) ve X ışınları (EDX- Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) detektörü bulunmaktadır. Cihaz görüntü üzerinde nokta, çizgi, alan ve haritalama yöntemleri ile kalitatif ve semi-kantitatif olarak elementer analizleri yapabilmektedir.

Cihaz işletim yazılımında görüntü işleme imkânı sağlamaktadır. Cihaz “değişken basınç” prensibi ile çalışma yeteneğine sahiptir.

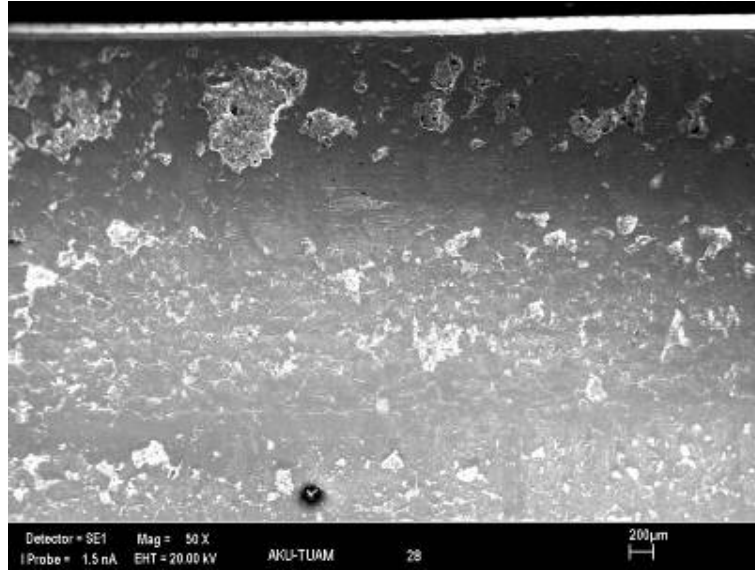


Resim 4.6 SEM (Scanning Electron Microscope) (İnt. Kyn. 4).

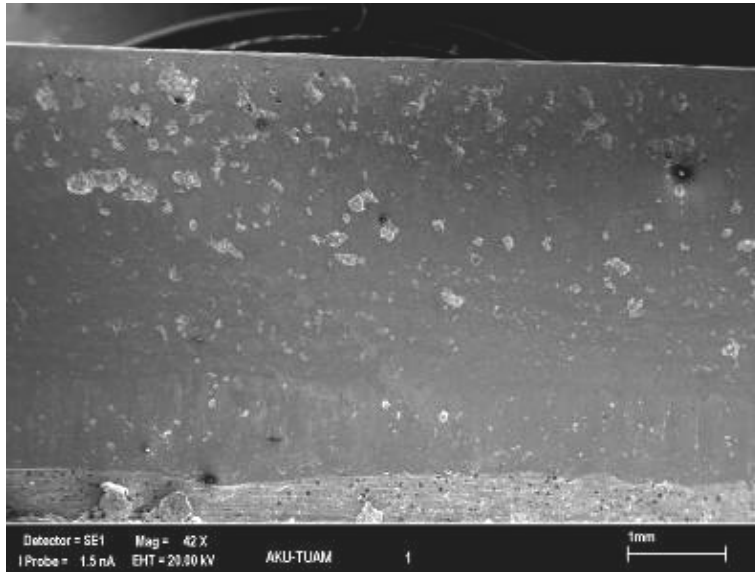
Bu deneyde her dişliler 5 milyon devir yaptıktan sonra durdurulmuştur. Yüzey incelemeleri için her dişliden iki numune kesilmiş ve daha sonra mikroskop ta incelenmiştir incelemelerde 50-200 büyütme yapılmıştır. Yüzey incelemelerinde taramalı elektron mikroskop (SEM) mikroskobu kullanılmıştır. Böylece yüzeyde meydana gelen pitting hasarlarının yaklaşık boyları hasarların diş yüzeylerinde hangi bölgelerde yoğunlaştığı oluşan hasarların birbirleri ile etkileşimleri incelenebilmektedir. Deneylerde viskozite kriterleri kullanıldığı için yüzey hasar incelemeleri de bu kriterler göz önüne alınarak incelenecektir.

Viskozite arttıkça pürüzlülük değeri azalmaktadır. Çünkü ince yağlar diş yüzeyleri arasında film tabakasının yük altında yırtılması daha kolay olmaktadır. Yağ viskozitesinin değişmesi sonucunda dişli yüzeylerinde meydana gelen pitting hasarları değişiklik göstermektedir.

Yüzey incelemelerinin genel görünüşleri dikkate alındığında yapılan deneylerde pitting oluşumu dişin uç kısımlarında meydana gelmektedir. Sadece 140 numaralı yağ kullanılan deneydeki dişli yüzeyi incelendiğinde diş dibine doğru pittinglerin arttığı görülmektedir. Pittinglerin büyüklükleri değişik ebatlarda olmakla birlikte viskozitenin düşmesiyle birlikte daha da büyümektedir. Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10'da sırasıyla 30-80-140 numaralı yağlarla kullanılan numunelerden çekilen SEM fotoğrafları görülmektedir.

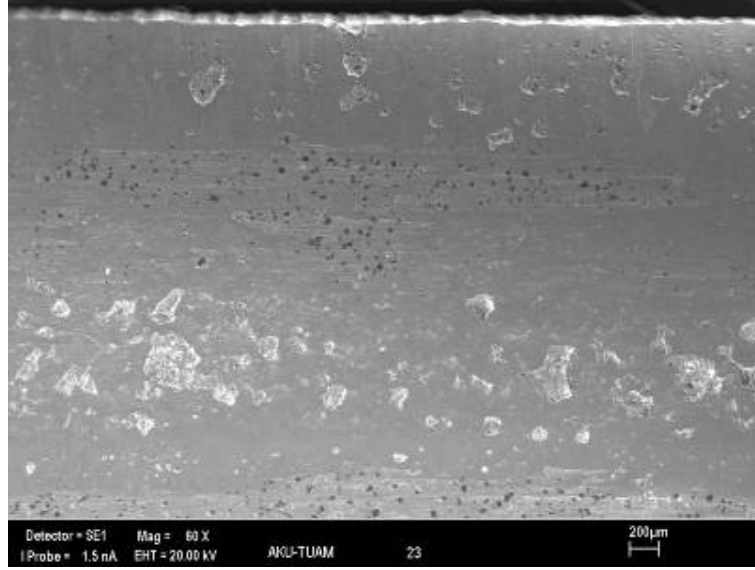


Resim 4.7 30 numaralı viskozite yağ ile işlem görmüş dişli yüzeyinde meydana gelen karıncalanma hasarı



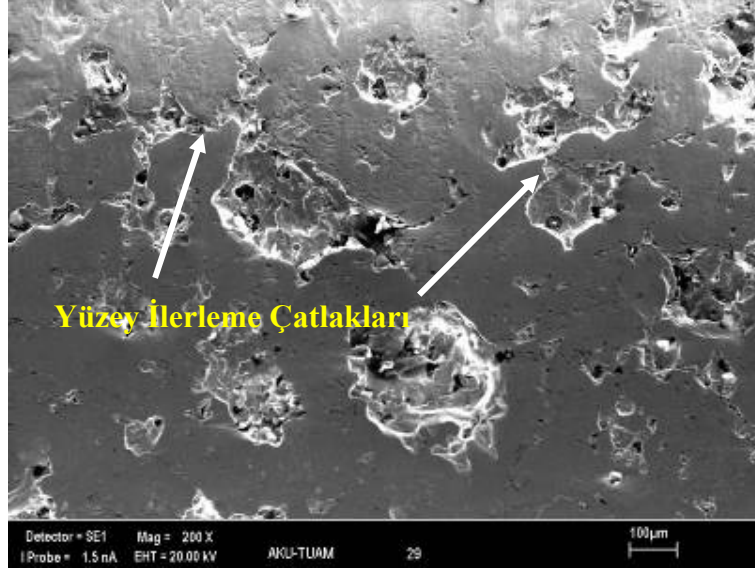
Resim 4.8 80 numaralı viskozite yağ ile işlem görmüş dişli yüzeyinde meydana gelen karıncalanma hasarı

Yüzey incelemelerine genel bakıldığı zaman düzensiz bir yapıda kırılmalar meydana geldiği görülmüştür. Yüzey çatlakları ilerleyerek yüzeyden tabaklar halinde malzeme kaybına sebep olmaktadır.

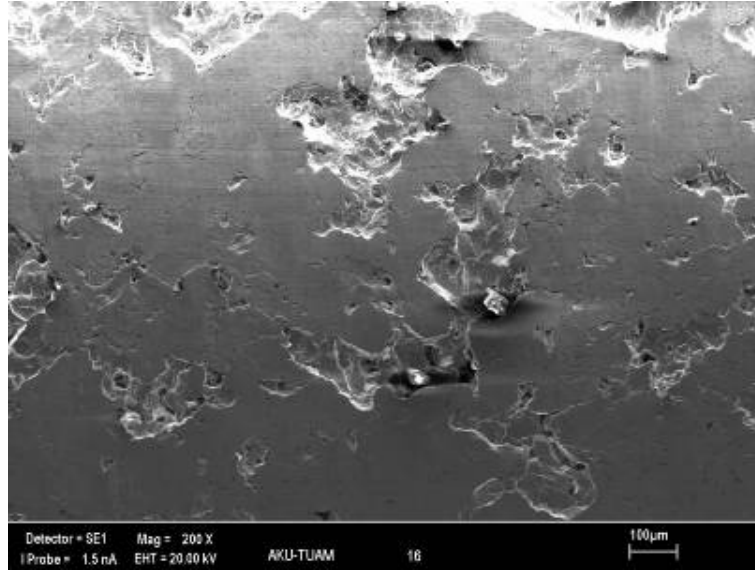


Resim 4.9 140 numaralı viskozite yağ ile işlem görmüş dişli yüzeyinde meydana gelen karıncalanma hasarı

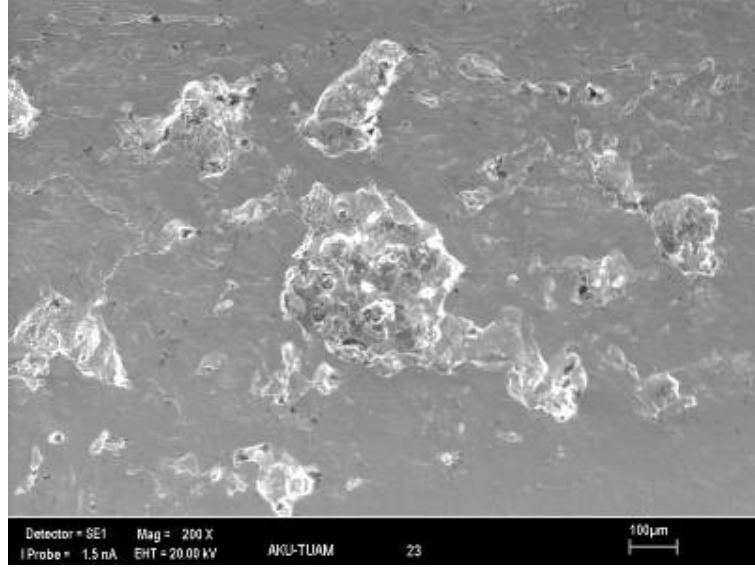
Resim 4.10 incelendiğinde viskozite arttıkça aşınma azaldığı için pittingler birbirinden ayrı olarak görülmektedir. Oluşan pittingler zaman içerisinde, yüzey çatlakları ile kendi çevrelerinde büyüyerek yakınındaki küçük pittinglerle etkileşime geçerek daha büyük çukurcuklar oluşturmaktadır (Resim 4.11). Resim 4.11, Resim 4.12 ve Resim 4.13 incelendiğinde, bu olay düşük viskoziteli yağlarda daha açık olarak görülmektedir.



Resim 4.10 30 numaralı viskozite yağ ile işlem görmüş dişli yüzeyinde meydana gelen karıncalanma hasarı



Resim 4.11 80 numaralı viskozite yağ ile işlem görmüş dişli yüzeyinde meydana gelen karıncalanma hasarı



Resim 4.12 140 numaralı viskozite yağ ile işlem görmüş dişli yüzeyinde meydana gelen karıncalanma hasarı

Yapılan pitting (karıncalanma) deneyleri sonucunda viskozitenin değişimi diş yüzeylerinde oluşan pitting hasarlarının boyutunu ve ömrünü önemli derecede etkilediği gözlemlenmiştir. Çünkü yağ viskozitesi düşük olan dişlilerde meydana gelen çukurcukların miktarı ve büyüklükleri viskozitesi büyük olanlara göre artmıştır (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6 Farklı viskozitelere yapılan deneylerin maksimum karıncalanma boyutu

Dişli Numunesi	Yağ viskozitesi	Maksimum karıncalanma boyutu (μm)
1	30	900
2	80	450
3	140	335

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı küresel grafitli dökme demirden imal edilen düz dişlilerde meydana gelen pitting hasarının nedenlerinin araştırılmasıdır. Yapılan incelemelerde dişli çarklardaki aşınmalar birçok faktör tarafından meydana getirildiği anlaşılmıştır. Bunların en önemlilerinden biriside yağlayıcılarıdır.

Testler için ilk önce dişli test cihazları araştırılmış ve yeni bir tasarım geliştirilip imal edilmiştir. İmalatı yapılan cihaz üzerinde deneyler yapılmıştır. Deney numuneleri 5 milyon devir yaptıktan sonra durdurulmuş ve incelemeler yapılmıştır.

Yüzey pürüzlülük testlerinde çıkan sonuçlara göre yağ viskozitesi düştükçe yüzey pürüzlülüğünün ve malzeme kaybının arttığı görülmüştür.

SEM fotoğrafları incelendiğinde pittingler dişli uç kısımlarında yoğunlaşmıştır. Ayrıca düzensiz bir yapıdadırlar. Yağ viskozitesi düştükçe pitting boyutlarının arttığı görülmüştür.

Yapılan bu çalışmanın bir sonraki adımı olarak aşağıda verilen öneriler ile bir takım konular çalışmaya değer bulunmaktadır.

- İmal edilmiş olan dişli yorulma test düzeneği daha güçlü motor ve dinamoyla yenilerek uygulanacak yük artırılıp, GGG50 malzemedeki aşınma durumları yeniden incelenebilir.
- Deneyde kullanılan yağlardan farklı viskoziteye sahip yağların GGG50 malzemedeki pitting oluşumu üzerine etkileri incelenebilir.
- Çeşitli yüzey işlemi uygulanmış dişlilere ait durumların da pitting oluşumu üzerindeki etkileri araştırılabilir.

6-KAYNAKLAR

- Ahrstrom, B.-O., Penchinat, C., Norrby, T., 2003; “An Experimental Study Of The Influence Of Heat Storage And Transportability Of Different Lubricants On Friction Under Transient Elastohydrodynamic Conditions”, Journal Of Engineering Tribology, Vol. 217, Number: 1, pp. 27–38.
- Akkurt, M., 2000; “Makine Elemanları”, Cilt I-II, Bölüm 14, Birsen Yayınevi, İstanbul
- Asi, O., 2005; “Fatigue Failure Of A Helical Gear In A Gearbox”, Engineering Failure Analysis, Vol. 13, pp. 1116–1125
- Aslantaş, K., 2003; “Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirden İmal Edilen Düz Dişlilerde Yüzey Yorulma Hasarlarının Analizi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Aslantaş, K., Taşgetiren, S., 2004; “ A Study Of Gear Pitting Formation And Life Prediction”, Wear, Vol. 257, pp. 1167–1175.
- Aslantaş, K., Taşgetiren, S., Yalçın, Y., 2004; “Austempering Retards Pitting Failure In Ductile Iron Spur Gears”, Engineering Failure Analysis, Vol. 11, pp. 935–941.
- Bartz, W.J., Krüger, V., 2003; “ Influence Of Lurricants On The Pitting Fatigue Of Gears”, Wear, Vol. 35, Issue. 2, pp. 315–329.
- Başaran, B., 2001; “Helisel Dişli Çarklarda Pitting Oluşumunun Denetsel İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Castro, J., Seabra, J., 1998; “Scuffing And Lubricant Film Breakdown In FZG Gears Part II. New PV Scuffing Criteria, Lubricant And Temperature Dependent”, Wear, Vol. 215, Number: 1–2, pp. 114–122.
- Dempsey, P.J., 2000; “A Comparison Of Vibration And Oil Debris Gear Damage Detection Methods Applied To Pitting Damage”, Nasa/TM-210371
- Dempsey, P.J., 2001; “Gear Damage Detection Using Oil Debris Analysis”, Nasa/TM-210936
- Dempsey, P.J., Afjeh, A.A., 2002; “ Integrating Oil Debris And Vibration Gear Damage Detection Technologies Using Fuzzy Logic” Nasa/TM-211126.
- Ding, Y., Reiger, N.F., 2003; “Spalling Formation Mechanism For Gears”, Wear, Vol. 254, pp. 1307- 1317.
- Durak, E., Kurbanoglu, C., 1999; “Günümüzde Yağlarda Kullanılan Katkı Maddeleri”, Mühendis ve Makina, Cilt: 40, Sayı: 470, 35- 44.

- Eş, M., 2004; “ Dişli Çark Malzemelerinin Aşınma Karakteristiklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konstrüksiyon- İmalat Anabilim Dalı, İzmir.
- Fetvacı, C., İmrak, C.E., 2005; “ Düz Dişlilerde Kavrama Çevriminde Gerilmelerin Sonlu Eleman Metodu İle İncelenmesi”, Mühendis ve Makina, Cilt: 46, Sayı: 545, 19- 25.
- Glodez, S., Winter, H., Stüwe, H.P., 1998; “A Fracture Mechanics Model For The Wear Of Gear Flanks By Pitting”, Wear, Vol. 208, Number: 1, pp. 177- 183.
- Glodez, S., Ren, Z., Flaker, J., 1999; “Surface Fatigue Of Gear Teeth Flanks”, Computers and Structures, Vol. 73, Number: 1, pp. 475-483
- Hani, İ., 2002; “Madeni Yağlar Ve Petrol Ofisi Ürünleri”, Petrol ofisi A.Ş. Madeni Yağ Direktörlüğü, İstanbul.
- Höhn, B.R., Michaelis, K., 2004; “Influence Of Oil Temperature On Gear Failures” Tribology international Vol. 37, pp. 103–109.
- Iglesias, P., Bermudez, M.D., Carrion, F.J., Martinez- Nicolas, G., 2004; “Friction And Wear Of Aluminium- Steel Contacts Lubricated With Ordered Fluids- Neutral And Ionic Liquid Crystals As Oil Additives”, Wear, Vol. 256, pp. 386–392.
- İmrek, H., 1995; “Dişli Çarklarda Profil Kaydırma İşleminin Yenme Olayı Üzerine Etkisinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Jha, A.K., Diwakar, V., 2001; “Metallurgical Analysis Of Failed Gear”, Engineering Failure Analysis, Vol. 9, pp. 359–365.
- Jia, J.-H., Chen, J.-M., Zhou, H.-D., Wang, J.-B., Zhou, H., 2003; “Friction and wear propertises of bronze-graphite composite under water lubrication”, Tribology International, Vol. 37, pp. 423–429.
- Keskin, M.S., 2002; “Silindirik Düz Dişli Çarklarda Yağlayıcı Viskozitenin Aşınmaya Olan Etkilerinin Deneysel İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Luke, P., Oliver, A.V., 1999; “A Study Of Churning Losses In Dip- Lubricated Spur Gears”, Journal Of Aerospace Engineering, Vol. 213, Nunber: 5, pp. 337–346.
- Makine İhtisas, 2006; “Günümüzde Otomotiv Motorlarında Kullanılan Yağlar ve Özellikleri”, Mayıs 2006.

Martins, R., Seabra, J., Brito, A., Seyfert, C., Luther, R., Igartua, A., 2006; “Friction Coefficient in FZG Gears Lubricated With Industrial Gear Oils: Biodegradable Ester vs. Mineral Oil”, Tribology International , Vol. 39, pp. 512–521

MKE Normu, 1978; “ Özel Nitelikte Çelik Türleri Kataloğu, sayfa.27, MKE Basımevi

Özkasap, A. D., 2001; “Düz Dişli Çarklarda Aşınma- Yağlama Yağı İlişkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Pettersson, A., 2005; “ High- Performance Base Fluids For Environmentally Adapted Lubricants”, Tribology International, Vol. 40, pp. 638–645

Podgornik, B., Vizintin, J., 2003; “Wear Resistance Of Plasma And Pulse Plasma Nitrided Gears”, Gear Technology, pp. 33–37

Şekercioğlu, T., Kovan, V., 2006; “Pitting Failure Of Truck Spiral Bevel Gear”, Engineering Failure Analysis, In Press

Tevrüz, T., 2005; “ Dişli Çarklarda Yenme Hesabı Yöntemleri: Bir Tarama, Kısım I: Basınca Dayalı Yöntemler”, Mühendis ve Makina, Cilt: 46, Sayı: 546, 18-26.

Tevrüz, T., 2005; “ Dişli Çarklarda Yenme Hesabı Yöntemleri: Bir Tarama, Kısım II A: Sıcaklığa Dayalı Yöntemler”, Mühendis ve Makina, Cilt: 46, Sayı: 547, 1- 12.

TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 1985; “I. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu”, Dökme Demirler”.

Türk Standartları Enstitüsü., 2001; “Dişli Çarklar- Dişli Çark Dişlerindeki Aşınma ve Hasar- Terimler”, Şubat, TS ISO 10825, ICS 01. 040. 21; 21. 200.

Truhan, J.J., Qu, J., Blau, P.J., 2005; “The Effect Of Lubricating Oil Condition On The Friction And Wear Of Piston Ring And Cylinder Liner Materials In A Reciprocating Bench Test”, Wear, Vol. 25, pp. 1048–1055.

Yuan, C.Q., Peng, Z., Zhou, X.C., Yan, X.P., 2004; “Effects Of Temperature On Sliding Wear Process Under Contaminated Lubricant Test Conditions”, Wear, Vol. 252, pp. 812- 822.

Zhang, H., Hu, X., Yan, J., Tang, S., 2005; “Study Of Wear Behavior Of MoSi₂ Under Water Lubrication”, Materials Letters, Vol. 59, pp. 583–587.

6.1 İnternet Kaynakları:

Erişim Tarihi:

1- http://www.turktiryaki.com/products_tr/prd_tr_om_achkc.htm

10.10.2006

2- http://sintebros.com.sg/enda_ET1311.pdf

10.10.2006

- 3- http://dokummakina.com.tr/index.php?module=satis&lang=tr&page=kategori_alt2&detay=38&ana=19&alt=16&alt2=14 10.10.2006
- 4- <http://www.tuam.aku.edu.tr/malcih.html> 10.10.2006
- 5- <http://etd.adm.unipi.it/theses/available/etd> 24.10.2006
- 6- <http://www.speedol.com.tr/urunler.html> 11.01.2007
- 7- <http://www.moil.com.tr/tr/index.php?modul=urunler&fonksiyon=urunbak&id=16> 18.01.2007
- 8- <http://www.ig.pwr.wroc.pl/~radzim/gear/picture> 18.01.2007
- 9- <http://user.chollian.net/~finder/gear/gear-failure/overload.html> 18.01.2007
- 10- <http://www.mt-online.com/articles/01-00mpt.cfm?pf=1> 18.01.2007
- 11- <http://www.atsb.gov.au/publications/2000/tr200003399.aspx> 18.01.2007
- 12- <http://www.horsburgh-scott.com/hs/service/spall.asp> 18.01.2007
- 13- <http://www.horsburgh-scott.com/hs/service/abrasion.asp> 18.01.2007
- 14- http://homepage.ruhr-uni-bochum.de/Guenter.Luetzig/lmgk/FZG_Test.html 18.01.2007
- 15- <http://www.mt-online.com/articles/01-00mpt.cfm?pf=1> 18.01.2007

7- ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Kerim KIZILASLAN

Doğum Yeri: Malatya

Doğum Tarihi: 1973

Medeni Hali: Evli

Yabancı Dili: İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise: Şehit Kemal Özalper Endüstri Meslek Lisesi- (1990)- Malatya

Lisans: Fırat Üniversitesi T.E.F. Otomotiv Öğretmenliği Bl.- (1995)- Elazığ

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl aralığı

Merkez Anadolu Teknik Lisesi Teknik Lise Ve Endüstri Meslek Lisesi Motorlu Taşıtlar Alanı Öğretmeni (Halen Aynı Kurumda Görev Yapmakta)

Göreve Başlama Yılı: 1995

8- EKLER

EK- 1

Hertz Basınç Hesabı

Eşdeğer yarıçap hesabı:

$$R_1 = \frac{d_1 \sin \phi}{2} = \frac{64 \sin 20}{2} = 10,944 \text{ mm.} \quad (\text{Test Dişlisi İçin})$$

$$R_2 = \frac{d_2 \sin 20}{2} = \frac{160 \sin 20}{2} = 27,36 \text{ mm.} \quad (\text{Pinyon İçin})$$

R1 ve R2' ye bağlı olarak eşdeğer yarıçap;

$$R^* = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10,944 * 27,36}{10,944 + 27,36} = 7,81 \text{ mm.}$$

Eşdeğer elastisite modülünün hesabı:

$$E^* = \frac{2E_1E_2}{E_2(1-\nu_1^2) + E_1(1-\nu_2^2)} = \frac{2 * 160000 * 210000}{210000(1-0,28^2) + 160000(1-0,3^2)} = 198150,6 \text{ MPa} = 198,150 \text{ GPa}$$

Temas basıncı hesabı:

$$F_T = \frac{2 * M_b}{d_0} = \frac{2 * 1640}{64} = \frac{3280}{64} = 51,25 \text{ N} \quad (\text{Teğetsel Kuvvet})$$

$$F_N = \frac{F_T}{\cos 20} = \frac{51,25}{\cos 20} = 54,6 \text{ N} \quad (\text{Normal Kuvvet})$$

Diş genişliği $L = 10$ mm olduğundan,

$$F_N = \frac{54,6}{10} = 5,46 \text{ N/mm.}$$

$$F_N = \frac{2 * \pi * R * P_0^2}{E^*}$$

$$5,46 = \frac{2 * 3,14 * 7,81 * P_0^2}{198,150}$$

$P_0 = 148,5 \text{ MPa}$ (Hertz Basınç), olarak elde edilir.