

**DIŞLİLER İÇİN YÜZEY YORULMASI TEST CİHAZI  
GELİŞTİRİLMESİ VE YAĞ SICAKLIĞININ ETKİSİNİN  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bahadır İŞEL**

**DANIŞMAN**

**Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇETKİN**

**MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**MAYIS 2007**

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

**AFYONKARAHİSAR KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DİŞLİLER İÇİN YÜZEY YORULMASI TEST CİHAZI GELİŞTİRİLMESİ VE  
YAĞ SICAKLIĞININ ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Bahadır İŞEL**

**DANIŞMAN  
Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇETKİN**

**MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**MAYIS 2007**

## ONAY SAYFASI

Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇETKİN danışmanlığında, Bahadır İŞEL tarafından hazırlanan,  
“Dişliler İçin Yüzey Yorulması Test Cihazı Geliştirilmesi ve Yağ Sıcaklığının  
Etkisinin İncelenmesi ”  
başlıklı bu çalışma, lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri  
uyarınca

29/05/2007

tarihinde aşağıdaki jüri tarafından  
Makine Eğitimi Anabilim Dalında

Yüksek lisans tezi olarak oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

	Ünvanı, Adı, SOYADI	İmza
Başkan	Yrd. Doç. Dr. Ahmet GAYRETLİ	
Üye	Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇETKİN	
Üye	Yrd. Doç. Dr. Şükrü TAKTAK	

Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetin Kurulu'nun  
...../...../..2007 tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Emine SOYTÜRK  
Enstitü Müdürü

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>v</b>
<b>TEŞEKKÜR</b>	<b>vi</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b>	<b>vii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b>	<b>ix</b>
<b>RESİMLER DİZİNİ</b>	<b>x</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b>	<b>xii</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
1.1 ÇALIŞMANIN AMACI VE PROBLEMİN TANIMI:	2
<b>2. GENEL BİLGİLER</b>	<b>3</b>
2.1 DİŞLİ ÇARK VE DİŞLİ ÇARK MEKANİZMALARI	14
2.1.1 Silindirik Düz Dişli Çarklar	14
2.1.1.1. Temel Kavramlar ve Ana Boyutlar	14
2.1.2 Evolvent Dişli Çarkın Boyutları	18
2.1.2 Temas Basınç Hesabı	19
2.1.3 Dişlilerde Mukavemet Hesabı	21
2.1.4 Dişli Çarklarda Oluşan Hasar Türleri	24
2.1.4.1 Yüzey Yorulması Hasarları	24
2.1.4.1.1 Pitting	25
2.1.4.1.2 Spalling (Pullanma)	28
2.1.4.2 Aşınma	29
2.1.4.2.1 Abrasiv aşınma	29
2.1.4.2.2 Adhesiv aşınma	29
2.1.4.2.3 Diğer aşınma türleri	32
2.1.4.3 Plastik Akma	33
2.1.4.4 Kırılma	33
2.1.4.4.1 Az Çevrimli Kırılma (Darbe Kırılması)	35
2.1.4.4.2 Çukurcuk (Pitting) Kaynaklı Kırılmalar	36

2.1.4.4.3 Bükülme Yorulması Kırığı	36
2.1.4.5 İmalat Sırasında Oluşan Hasarlar	37
2.1.4.5.1 Sertleştirme Çatlakları (Su Verme Çatlakları)	37
2.1.4.5.2 Taşlama Çatlakları	38
2.1.5 Dişli Hasar Bölgeleri	38
2.2.DİŞLİ ÇARKLARDA YENME OLAYI	40
2.2.1 Yenme Olayının Fiziksel Bakımdan İncelenmesi	40
2.2.2 Yenme Olayını Etkileyen Faktörler	42
2.2.2.1 Hız Faktörü (Çevresel Hız)	42
2.2.2.2 Diş Formu Faktörü	42
2.2.2.3 Profil Kaydırma Faktörü	43
2.2.2.4 Diş Başı Daralması Faktörü	43
2.2.2.5 Pürüzlülük Faktörü	43
2.2.2.6 Malzeme Faktörü ve Dişlerin Yüzey Sertliği	43
2.2.2.7 Yağ Sıcaklığı Faktörü	44
2.2.2.8 Yağ Miktarı Faktörü	44
2.2.2.9 Devir Yönü Faktörü	44
2.2.2.10 Yük Faktörü	45
2.2.2.11 Yağ Viskozitesi Faktörü	45
2.2.2.12 Yağ Cinsi Faktörü	45
2.2.2.13 Diş Genişliği Faktörü	45
2.2.2.14 Yağlama Yöntemi Faktörü	46
2.3 SÜRTÜNME, VİSKOZİTE VE YAĞLAR	47
2.3.1 Sürtünme	47
2.3.2 Viskozite	49
2.3.2.1 Viskozitenin Esasları:	49
2.3.2.2 Sıcaklığın Viskozite Üzerine Etkisi:	50
2.3.2.3 Basıncın Viskozite Üzerindeki Etkisi:	50
2.3.2.4 Viskozite İndeksi:	50
2.3.3 Yağların Genel Tanımı:	51
2.3.3.1 Yağlanma Prensipleri ve Teorileri	51
2.3.3.1.1 Yağlama Prensipleri:	52

2.3.3.1.2 Sıvı Sürtünme ( Fluid Friction )	52
2.3.3.2 Yağlayıcıların Esas Görev ve Özellikleri:	52
2.3.3.3 Yağlama Çeşitleri:	52
2.3.3.4 Günümüzde Yağlarda Kullanılan Katkı Maddeleri	53
2.4 FZG DİŞLİ AŞINMA TEST CİHAZI	55
2.4.1 Yeni Geliştirilen Dişli Aşınma Test Cihazının Artıları	56
<b>3. MATERYAL VE METOT</b>	<b>57</b>
3.1 MATERYAL	57
3.1.1 Dişli Çarkların İmalatı	57
3.1.2 Dişli Çark Malzemeleri	59
3.1.3 Dişli Yapımında Kullanılan Dişli Malzemeleri	61
3.1.3.1 Küresel Grafitli Dökme Demirler	61
3.1.3.1.1 Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Sanayideki Yeri	62
3.1.3.1.2 Çekme Mukavemeti	63
3.1.3.1.3 Darbe ve Şok Mukavemeti	64
3.1.3.2 Çelik Dişli Malzemeleri	65
3.1.3.2.1 MKE Normu Alaşimsız Makine Yapım Çeliği	66
3.1.4 DİŞLİ AŞINMA DENEY CİHAZI	67
3.2. METOD	77
3.2.1 Sertlik Ölçme Deneyi	77
3.2.2 Metalografik İncelemeler	78
3.2.3 Pitting Hasar Oluşum Deneyi	81
3.2.4 Yüzey Pürüzlülük Testi	83
3.2.5 Malzeme Kaybı (Ağırlık) Testi Sonuçları	86
3.2.6 SEM (Scanning Electron Microscope) Cihazının Tanıtımı	88
3.2.7 Yüzey Hasarlarının SEM Analizi	88
3.2.8 Sıcaklığın Yüzey Hasarına Etkisi	89
<b>4. BULGULAR</b>	<b>94</b>
<b>5. ÖNERİLER</b>	<b>95</b>
<b>6. KAYNAKLAR</b>	<b>96</b>
<b>7. EK</b>	<b>100</b>
<b>8. ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>102</b>

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### DİŞLİLER İÇİN YÜZEY YORULMASI TEST CİHAZI GELİŞTİRİLMESİ VE YAĞ SICAKLIĞININ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Bahadır İŞEL

T.C.

**Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı**

**Danışman:** Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇETKİN

Dişli çarklardaki aşınma türleri ve oluşum mekanizmaları günümüzde hala kesin olarak açıklanamamış değildir. Dişli çarkların çalışması sırasında oluşan ısı, aşınma üzerinde oldukça etkilidir. Bazı pitting türlerinin oluşumunda en önemli faktördür. Pitting türlerinden birçoğu yağlama koşullarının etkisi ile meydana gelmektedir. Bu çalışmada güç ve hareket iletiminde yaygın olarak kullanılan elemanlardan olan düz dişli çarkların yüzey hasarları incelenmiştir. Dişli yüzeylerindeki hasarlara çalışma sıcaklığının etkisinin nasıl olduğu sorusuna cevap aranmıştır. Deneysel çalışmalar, AKÜ Bilimsel Araştırma Fonu tarafından desteklenmesi sayesinde imal edilen Dişli Yorulma Test Düzeninde yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda test dişlilerinin malzemesi, devir sayısı, yağlama yağı ve uygulanan yük sabit tutulmuş, buna karşılık çalışma sıcaklıkları değiştirilerek yüzey yorulma hasarları incelenmiştir. Dişli test numunelerinin deney öncesi ve sonrası ağırlıkları tespit edilmiş, yüzey pürüzlülükleri ölçülmüş, dişli malzemesinin mikro yapısı araştırılmıştır. Yapılan bu çalışmalar sonucunda sıcaklığın artması ile doğru orantılı olarak yüzey pürüzlülüğünün de arttığı tespit edilmiştir.

2007, 102 sayfa

**Anahtar kelimeler:** Düz Dişli, Karıncalanma, Yorulma, Yüzey Yorulması,  
Dişli Yağlama, Yağ Sıcaklığı

## **ABSTRACT**

M. Sc. Thesis

### **“DEVELOPING THE TESTING MECHANISM FOR GEAR SURFACE FATIGUE AND RESEARCHING FOR THE IMPACT OF OIL HEAT“**

Bahadır İŞEL

**T.R.**

**Afyon Kocatepe University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department Of Machine**

**Supervisor:** Assistant Professor Dr. Ahmet ÇETKİN

The types of attrition occurred in gears and their formation mechanisms can still not be explained exactly. The thermal energy produced by the working of gears is quite important for attrition and it is the most important factor in the formation of some pitting types. Most of the pitting types arise because of the greasing conditions. In this study, the surface damages in spur gears which are widely used elements in transmission of power and motion are examined. Some answers to the questions on the nature of the effect of working temperature on the gear surface damages are worked out. Experimental studies are carried on the Gear Fatigue Test Mechanism constructed with financial support of AKÜ Scientific Research Fund. In experimental studies test gears' material, number of revolutions, lubrication grease and the load are taken as fixed variables and the response of surface damage to the variation in working temperatures are studied. Gear test examples' pre test and post test weights are determined, their surface roughness measured and the micro structure of the gear material is examined. As a result it is found that the the surface roughness increases in proportion with the temperature.

2007, Page:102

**Keywords:** Spur Gear, Pitting, Fatigue, Surface Fatigue, Lubrication of Gearing, Gear Temperature



## TEŞEKKÜR

Hazırladığım tez çalışmamı belirlememde ve çalışmalarım süresince değerli desteğini ve yardımlarını esirgemeyerek, bilgi birikimleriyle her zaman katkı sağlamış olan Makine Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN hocama ve yine yardımlarını esirgemeyerek çalışmalarımnda manevi destekleri ve bilgi birikimleriyle beni yönlendiren danışmanım, Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇETKİN 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. Grv. Sayın Mustafa NARTKAYA' ya, Yrd. Doç. Dr.Yılmaz YALÇIN' a Öğr. Grv. Sayın Bekir ÇENGELCİ'ye, ayrıca tez çalışmamın başlangıcından sonuna kadar her aşamasında ilgi ve alakalarıyla, manevi desteklerini ve bilgi birikimlerini bizimle paylaşan Öğr. Grv. Sayın İbrahim YAVUZ' a, Öğr. Grv. Sayın İsmail UCUN' a, Arş. Grv. Sayın İrfan UCUN' a teşekkürlerimi sunarım.

Deney cihazının yapımı esnasında benimle beraber bulunan ve birlikte çalıştığım arkadaşım Teknik Öğretmen Kerim KIZILASLAN' a, Elif Elektrik'ten Sayın (merhum) 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 Makine Alanı öğretmenlerine teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince manevi desteğini hiçbir zaman üzerimden esirgemeyen ve desteğiyle çalışmalarımnda benden daha fazla hak sahibi olan sevgili eşime en kalbi şükranlarımı sunarım.

Bahadır İŞEL

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### 1. Simgeler

<b>a</b>	Sıcaklığa bağlı ampirik sabit
<b>A</b>	Düzlem alanı
<b>A<sub>g</sub></b>	Küçük temas alanlarının toplamı
<b>b</b>	Diş Genişliği
<b>d<sub>o</sub></b>	Taksimata (Bölüm) dairesi çapı
<b>d<sub>b</sub></b>	Baş dairesi çapı
<b>d<sub>t</sub></b>	Taban dairesi çapı
<b>E</b>	Elastisite modülü
<b>E*</b>	Eşdeğer elastisite modülü
<b>F<sub>N</sub></b>	Normal kuvvet
<b>F<sub>s</sub></b>	Sürtünme kuvveti
<b>F<sub>T</sub></b>	Teğetsel kuvvet
<b>h</b>	Diş yüksekliği
<b>h<sub>b</sub></b>	Diş başı yüksekliği
<b>h<sub>t</sub></b>	Taban yüksekliği
<b>J</b>	Geometri faktörü
<b>K<sub>a</sub></b>	Yük uygulama faktörü
<b>K<sub>e</sub></b>	Kavrama oranı faktörü
<b>K<sub>m</sub></b>	Yük dağılım faktörü
<b>K<sub>s</sub></b>	Boyut faktörü
<b>K<sub>v</sub></b>	Dinamik faktör
<b>l<sub>o</sub></b>	Dişler arasındaki boşluk
<b>m</b>	Modül
<b>M</b>	Burulma momenti
<b>p</b>	Basınç
<b>P<sub>o</sub></b>	Hertz basıncı
<b>R*</b>	Eşdeğer yarıçap
<b>s<sub>o</sub></b>	Diş kalınlığı
<b>t</b>	Diş taksimata
<b>v</b>	Poisson oranı

<b>Z</b>	Diş sayısı
<b><math>\alpha</math></b>	Kavrama açısı
<b><math>\mu</math></b>	Sürtünme katsayısı
<b><math>\mu_0</math></b>	Statik sürtünme katsayısı
<b><math>\rho</math></b>	Dişlilerin eğrilik yarıçapları (Taban kavisi)
<b><math>\eta</math></b>	Viskozite
<b><math>\eta_0</math></b>	Atmosferik basınçtaki dinamik viskozite
<b><math>\eta_p</math></b>	P basınçdaki dinamik viskozite

## 2. Kısaltmalar

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

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No		Sayfa No
Şekil 2.1	Dişli Eksenleri Paralel Konumda.....	14
Şekil 2.2	Dişli Çarkın ve Dişin Ana Boyutları.....	16
Şekil 2.3	Evolvent Eğrisi.....	17
Şekil 2.4	Eksenler Arası Mesafe .....	18
Şekil 2.5	(a) Temas Halinde Olan İki Silindir.....	19
Şekil 2.5	(b) İki Dişin Kavrama Esnasındaki Teması.....	19
Şekil 2.6	İki Silindir Yüzeyin Teması Sonucu Meydana Gelen Yük Dağılımı.....	20
Şekil 2.7	Düz Dişlinin Diş Yüzeyine Etkiyen Yük Bileşenleri.....	22
Şekil 2.8	Diş Yüzeyine Etkiyen Yükün Farklı Temas Konumlarına Göre Dağılımı.....	23
Şekil 2.9	Dişli Hasar Bölgeleri.....	39
Şekil 2.10	Tabii Adsorpsiyon Tabakası.....	41
Şekil 2.11	Yağ Moleküllerinden Oluşan Adsorpsiyon Tabakası.....	42
Şekil 2.12	Diş Başı Daralması.....	43
Şekil 2.13	Kavrama Sonunda Küçük Temas Yüzeyi.....	43
Şekil 2.14	Sürtünme Çeşitleri.....	47
Şekil 2.15	Mikrokaynakların Oluşması.....	48
Şekil 2.16	Newtonian Akışkanlarının Paralel Düzlemlerle İzahı.....	49
Şekil 2.17	Kapalı Devre Güç İletim Sistemine Sahip Dişli Test Cihazı	55
Şekil 3.1	Dişli Aşınma Deney Cihazı Şematik Görünümü.....	68
Şekil 3.2	Ölçülen Sertlik Değerlerinin Ölçüm Noktaları.....	78
Şekil 3.3	Mahr Perthometer Yüzey Pürüzlülük Cihazı İle Test Öncesi Ölçüm Sonuçları.....	85
Şekil 3.4	Pürüzlülük Değeri İle Sıcaklığın Karşılaştırılması.....	86
Şekil 3.5	Değişik Sıcaklıklardaki Ağırlık Ölçüm Sonuçları.....	87

## RESİMLER DİZİNİ

Resim No		Sayfa No
Resim 2.1	Pitting.....	25
Resim 2.2	Başlangıç Pittingi.....	26
Resim 2.3	İlerleyen Pitting.....	26
Resim 2.4	Normal Pitting.....	27
Resim 2.5	Spalling.....	28
Resim 2.6	Abrasiv Aşınma.....	29
Resim 2.7	Yüzeyi Sertleştirilmiş Dişlide Adhesiv Aşınma.....	30
Resim 2.8	Scuffing.....	31
Resim 2.9	Scoring.....	31
Resim 2.10	Koroziv Aşınma.....	32
Resim 2.11	Soğuk Akma.....	33
Resim 2.12	Diş Dibi Kırığı.....	34
Resim 2.13	Darbe Kırılması.....	35
Resim 2.14	Pitting Kaynaklı Kırılma.....	36
Resim 2.15	Bükülme Yorulması Çatlağı ve Kırığı.....	37
Resim 2.16	Sertleştirme Çatlağı .....	38
Resim 2.17	Taşlama Çatlağı .....	38
Resim 3.1	Azdırma Çakıları.....	57
Resim 3.2	Dişli Çarkların Azdırma Tezgahında İmalatı.....	58
Resim 3.3	Test (Pinyon) Dişli Çarklarının Dişleri Açılmadan Önceki Hali.....	60
Resim 3.4	Test (Pinyon) Dişli Çarklarına Diş Açılmış Halde.....	60
Resim 3.5	Deneysel Çalışmada Kullanılan Çeviren ve Vasat Dişliler....	66
Resim 3.6a	Dişli Aşınma Deney Cihazının Önden Görünüşü.....	69
Resim 3.6b	Dişli Aşınma Deney Cihazının Yandan Görünüşü.....	69
Resim 3.6c	Dişli Aşınma Deney Cihazının Arkadan Görünüşü.....	70
Resim 3.6d	Dişli Aşınma Deney Cihazının Üstten Görünüşü.....	70
Resim 3.7	Gamak (3KW) Elektrik Motoru Cihaz Üzerine Bağlanmış Halde.....	71

Resim 3.8	Sincro Marka Alternatör Cihaz Üzerine Bağlanmış Halde...	71
Resim 3.9	Test Cihazı Kontrol Panosu.....	72
Resim 3.10	Cihazda Kullanılan Genel Amaçlı Frekans İnvvertörü.....	72
Resim 3.11	Sayıcının Algılayıcı Ucu Elektrik Motorunun Arkasına Yerleştirilmiş Halde.....	73
Resim 3.12	Hanyong Devir Sayıcısı Bağlantı Şeması ve Ölçüleri.....	73
Resim 3.13	Sea Land Su Pompası.....	74
Resim 3.14	Enda ET 1311 Marka Isı Kontrol Cihazı.....	75
Resim 3.15	Test Cihazını Yüklemede Kullanılan Rezistanslar.....	76
Resim 3.16	Dişli Kutusunun İçten Görüntüsü.....	77
Resim 3.17	Metttest-HT Sertlik Ölçüm Cihazı.....	78
Resim 3.18	Olympus Optik Mikroskop.....	79
Resim 3.19a	Küresel Grafitli Dökme Demir Malzemesine Ait Mikro Yapı (Dağlamasız x100).....	79
Resim 3.19b	Küresel Grafitli Dökme Demir Malzemesine Ait Mikro Yapı (Nital İle Dağlanmış x100 ).....	80
Resim 3.19c	Küresel Grafitli Dökme Demir Malzemesine Ait Mikro Yapı (Nital İle Dağlanmış x 200 ).....	80
Resim 3.19d	Küresel Grafitli Dökme Demir Malzemesine Ait Mikro Yapı (Nital İle Dağlanmış x 500 ).....	81
Resim 3.20	Dişli Aşınma Deney Cihazı.....	82
Resim 3.21a	Mahr Perthometer Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı.....	83
Resim 3.21b	Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı Ölçüm Sırasında.....	84
Resim 3.22	Test Dişlilerinin Frezede Kesilmesi ve Kesilmiş Dişli ile Diş Numuneleri .....	85
Resim 3.23	SEM (Scanning Electron Microscope).....	88
Resim 3.24	30 Derecedeki Yüzey hasarının Genel Görünüşü (Zoom X 42)	89
Resim 3.25	60 Derecedeki Yüzey hasarının Genel Görünüşü (Zoom X 65)	90
Resim 3.26	90 Derecedeki Yüzey hasarının Genel Görünüşü (Zoom X 50)	91
Resim 3.27	Pittingler Arasındaki İlişki (30Derecede), (Zoom X 200).....	91
Resim 3.28	Pittingler Arasındaki İlişki (60Derecede), (Zoom X 200).....	92
Resim 3.29	Pittingler Arasındaki İlişki (90Derecede), (Zoom X 200).....	92

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge No		Sayfa No
Çizelge 2.1	Standart Modül Değerleri.....	15
Çizelge 3.1	Test (Pinyon) Dişlilerinin Özellikleri.....	58
Çizelge 3.2	Döndüren ve Ara (Vasat) Dişlilerine Ait Özellikler.....	59
Çizelge 3.3	Küresel Grafitli Dökme Demir Bileşenleri.....	61
Çizelge 3.4	Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Sanayide Kullanım Alanları.....	63
Çizelge 3.5	KGDD ve Çeliklere Ait Mekanik Özelliklerin Karşılaştırılması.....	64
Çizelge 3.6	Ç 1050 Malzeme Normu Gösterilişi.....	66
Çizelge 3.7	Ç 1050 Malzemenin Kimyasal Analizi.....	66
Çizelge 3.8	SAE EP 80 Yağı Performans Seviyeleri.....	83
Çizelge 3.9	Değişik Sıcaklıklarda Yapılan Pürüzlülük Deneyi Sonuçları..	86
Çizelge 3.10	Test Dişlilerindeki Malzeme Kaybı Verileri.....	87
Çizelge 3.11	Farklı Sıcaklıklarda Yapılan Deneylerin Maksimum Karıncalanma Boyutu.....	93

## 1. GİRİŞ

Dişli çarklar, tarihi gelişimi çok eskilere dayanan makine elemanlarıdır. Kaynaklarda dişli çarkların kullanılmaya başlanmasının milattan önce 330 yılına kadar uzandığı bildirilmektedir. 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.

Dişli çarkların endüstride yaygın olarak kullanılmaya başlanmasından itibaren çeşitli analitik ve deneysel metotlarla dişler üzerinde gerilmeler ve hasarlar incelenmektedir. Yıllardır süregelen araştırmalar, dişlerin mukavemetini arttırmak üzere, uğradıkları bozulma çeşitlerini ve nedenlerini, bunlara karşı alınabilecek önlemleri kapsamaktadır. Teknolojik ve ekonomik sebepler, dişlilerin boyutlarının küçük tutulması yönünde zorlayıcı olmaktadır. Bu noktada dişli çarklarda sürtünme ve aşınma kayıpları önemli bir problem olarak ciddi biçimde maddi kayıplara sebep olmaktadır. Dişlilerin pek az kırıldığını, genellikle aşınarak eskidiğini görmekteyiz.

Dişli çarklarda oluşan aşınmalarla ilgili birçok araştırma ve deneyler yapılmış ve hala yapılmaktadır. Birbiri üzerinde temas ederek çalışan dişlilerde, farklı yükler ve sürtünme sonucu oluşan ısınmalar, kullanılan yağlama yağının viskozitesini etkilemekte, devamında aşınmalar, gürültü ve titreşimlerin artmasını sağlayarak performans düşmelerine neden olmaktadır.



## 1.1 Çalışmanın Amacı ve Problemin Tanımı:

Dişli çark kullanımındaki esas unsurlardan birini oluşturan yağlayıcı, genellikle ağır şartlarda görev yapmaktadır. Günümüze kadar birçok araştırma yapılmasına rağmen yeterli bir açıklama getirilememiş olan yağlayıcılar ve çalışma sıcaklıklarının aşınma türleri oluşumuna etkileri göz ardı edilemeyecek kadar önemlidir.

Dişli yağların amacı; sistem elemanlarının korunması (aşınma, pas v.b), enerjinin dağıtılması, gürültü ve titreşimin azaltılması ile ayrıca sürtünme sonucunda ortaya çıkan ısıyı dışarı atmaktır. Kullanılan yağ aynı zamanda dişlilere zarar vermemeli ve yeteri kadar uzun ömürlü olmalıdır.

Bu çalışmada, Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi araştırma fonu desteğiyle imal edilen dişli aşınma deney cihazı vasıtasıyla küresel grafitli dökme demirden imal edilen düz dişli çarklarda aynı yağda farklı sıcaklıklarda testler yapılarak, yağ sıcaklığının deney dişlilerindeki aşınmaya olan etkileri incelenmiştir. Dişlilerle ilgili deneysel çalışmalarda sistemin hızı, yükü ve kullanılan yağ çeşidi sabit tutulmuş, buna karşılık yağın sıcaklığı değiştirilmiştir. Deneyden önce ve sonra yüzey pürüzlülüğü ölçümü, teraziyle ağırlık tartımı, mikro ve makro fotoğraflar vasıtasıyla yüzeylerde oluşan aşınma şekli ve miktarlarını kapsayan bir çalışma planlanmıştır.

## 2. GENEL BİLGİLER

### Literatür Özetleri

Dişli çarklar değişik ortam ve koşullarda çalışan, aynı zamanda endüstride önemli bir yer tutan makine elemanlarıdır. Dolayısıyla makineciliğin bu önemli unsurunda oluşan hasarların bilinmesi, oluş nedenlerinin tespiti gerekmektedir. Çeşitli malzemelerden imal edilmiş, farklı özelliklere sahip diskler vasıtasıyla yapılan basınç, aşınma, çatlama ve yüzey yorulma deneylerinin sonuçları, geometrik benzeşim kurularak dişlilere aktarılmaya çalışılmıştır. Dişli çarklarda meydana gelen yüzey hasarları ve pitting oluşum süreçleri 1930' lu yıllardan bu yana bir çok deneysel ve teorik çalışmaya konu olmuş, bu hasarlar daha bilimsel metotlarla incelenmeye başlanmıştır (Başaran, 2001).

Uzun yıllar süren deneyler sonucunda dişli çarklarda meydana gelen yüzey hasarları ve pitting oluşum sürecini etkileyen başlıca parametrelerin, yüzey basıncı, yükleme durumu (servis şartları, dişe etkileyen kuvvetler), malzeme cinsi (mikro yapı özellikleri), yüzey pürüzlülüğü (imalat özellikleri), ısıl işlem, yağlama rejimi cinsi, yağ sıcaklığı, yağlayıcı özellikleri, dişli çarkların geometrilerinde yapılan değişiklikler (profil kaydırma ve özel düzeltmeler) olduğu söylenebilir.

Yapılacak olan deneysel çalışmada yüzey pürüzlülüğü, yağlayıcı sıcaklığı, yükleme durumu gibi parametrelerin tek tek ve birlikte meydana getirdikleri etkiler tespit edilerek, meydana getirdikleri yüzey hasarları ve pitting oluşum süreci mekanizmasının ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

Glodez et al. (1999) düz dişli çarkların diş temas noktalarındaki yüzey yorulma süreci için yeni bir simülasyon modeli geliştirmişlerdir. Simülasyonlarıyla yüzey altı çatlaklarını görme imkânı bulunmaktadır. Simülasyon için sonlu elemanlar metodu ile birlikte çatlak büyüme teorisini kullanmışlar. Aynı zamanda düz dişli çiftinin gerçek modelini geliştirmek için deneysel testler de yapmışlar. Sayısal ve deneysel sonuçların karşılaştırılması ile birbiriyle güzel uyuşan sonuçlar elde etmişlerdir.

Fetvacı ve İmrak (2004), yaptıkları çalışmada diş dibi gerilmelerinin analizi için, düz dişli çarkların sonlu eleman modellemesini yapmışlar. Düz dişli çarkların temas simülasyonu için sonlu elemanlar modellemesinde dikkat edilmesi gereken hususlar hakkında bilgi vermişler. Kavramadaki dişli çiftindeki diş dibi gerilmelerinin incelenmesine imkân sağlayan dişli çark sonlu eleman modelini elde etmiş ve literatürdeki modellerle karşılaştırmışlardır.

Fetvacı ve İmrak (2005) çalışmalarında ANSYS yazılımının parametrik programlama lisanını kullanarak düz dişli çark sonlu eleman modeli elde etmişler. Literatürdeki modellerden hareketle yeni bir dişli çark sonlu eleman modeli geliştirmişler. Geliştirilen modelin, düz dişlilerde kavrama çevriminde gerilme değişiminin incelenmesi için uygun olduğunu belirtmişler. Çalışmalarında sundukları model ile her yükleme hali için gerçekleştirdikleri statik analiz neticelerini bir arada değerlendirdiklerinde diş gerilmelerinin bir nevi zamana bağlı değişiminin (pseudo-dinamik) incelemesinin gerçekleştirilebildiğini tespit etmişlerdir.

Padgornik and Vižintin (2003) çalışmalarında plazma ve darbeli plazma ile nitritlenmiş 42CrMo4 çeliğinden yapılmış dişlilerdeki aşınma direncini ve pitting oluşum sürecini yağlı kayma durumunda iken incelemişler. Test numunelerinin mikro sertliklerini ve metalografik yapılarını aşınma testinden önce incelemişler. Kayma aşınması testlerini “pim üzerinde disk” test cihazında sertleştirilmiş çelik bilye kullanarak yapmışlar. Pitting aşınma testlerini ise FZG test cihazını kullanarak yapmışlar. Ayrıca sertleştirme ve plazma nitritlemeyi ekonomik olarak da karşılaştırmışlar. Yaptıkları testlerin sonuçlarına göre kayma aşınması ve pitting aşınması direncinin, plazma ve darbeli plazma ile nitritlenmiş 42CrMo4 çeliğinden yapılmış dişlilerde büyük oranda arttığını görmüşlerdir.

Ding and Rieger (2003) çalışmalarında dişlilerde pitting ve spalling oluşumunu saptamak ve spallingi pittingden ayırt edecek yönleri tespit etmek için çalışmışlar. Dişlilerde çökme sonucu oluşan spalling mekanizmasına karşı dayanıklılığı sağlayacak önerilerde bulunmuşlar. Spallingin çökme bölgesindeki yüzey altı çatlaklarıyla etkileşimini saptamaya çalışmışlardır.

Jha and Diwakar (2002) standart metalürjik teknikler kullanarak bronzdan yapılmış dişlinin diş dibindeki çatlak oluşumunu detaylı bir şekilde analiz etmişler. Yeterli dayanımda olmayan malzeme kullanımı, yorulma, korozyon nedeniyle oluşan aşınma, çukurlar ve çukur büzülmelerinin dişli diş dibindeki çatlak oluşum sürecini kolaylaştırdığını belirtmişlerdir.

Asi (2005) bu çalışmasında AISI 8620 çeliğinden yapılmış, bir otobüs dişli kutusunda üç yıl çalışmış helisel dişlinin hasarlı dişlerini incelemiştir. Dişlerdeki hasarı tespit etmek için görsel muayene, doküman fotoğrafları, kimyasal analiz, mikro-sertlik ölçümü, metalografik muayene ve EDX tarayıcılı elektron mikroskobu verilerini değerlendirmiştir. Sonuç olarak helisel dişlilerde zararlı pitting ve spallingi tespit etmiş. Diş çevresindeki pitch çizgisinin yanlış ayarından dolayı yorulma çatlakları oluştuğunu belirlemiştir.

Şekercioğlu ve Kovan (2006) çalışmalarında kamyon diferansiyel sisteminde kullanılan sertleştirilmiş çelikten yapılmış spiral konik dişlideki kırılmayı araştırmışlardır. Kırılma nedenlerinin tespiti için dişli numunesi görsel muayene, sertlik ölçme, kimyasal analiz ve metalürjik testlerden geçirmişler. Dişli yüzeylerindeki pitting olayını gözleyip, mikro yapının kırılmaya etkisini araştırmışlar. Sonuç olarak pitting direncini arttırmak için dişli yüzeyindeki sertliğin 58-60 HRC' ye yükseltilmesi, karbürleme işlemi yapılması, yağ filmi kalınlığının yeterli olması, temas basıncını azaltmak için dişlinin geometrisinin optimize edilebileceğini söylemişlerdir.

Glodez et al. (1998) dişli yanaklarındaki aşınma sonucu oluşan pittingi ve çatlağı incelemiştir. Simülasyon oluşturmak için sonlu elemanlar metodunu kullanmışlar, gerilim bölgesinin mesh yapısını oluşturmuşlardır. Aynı zamanda gerçek düz dişli çark ile deneyler yapmışlar. Sayısal ve deneysel sonuçları karşılaştırmışlar, sonuçların birbirine uyduğunu tespit etmişlerdir. Dişli ömrünü güvenilir şekilde tahmin etmeyi sağlayan modeli geliştirmişlerdir.

Aslantaş ve Taşgetiren (2004) çalışmalarında östemperlenmiş küresel grafitli dökme

demirden yapılmış düz dişli çarktaki pitting oluşumunun sayısal tahminini yapmışlardır. Sayısal çözümler için lineer elastik kırılma mekaniği ve sonlu elemanlar metodunu kullanmışlar. Paris denklemi ile çatlağın büyümesini belirlemişler. Deneysel numuneleri ilk önce 900 °C' deki tuz banyosunda 90 dakika bekletilerek östemperlenmiş, sonra 325 ve 425 °C' deki tuz banyosunda 60 dakika bekletilerek hazırlamışlar. Sayısal ve deneysel sonuçlar arasında mukayese yapılmış. Pitting oluşum ömrünü belirlemişlerdir.

Aslantaş vd. (2004) çalışmalarında küresel grafitli dökme demirden yapılmış düz dişli çarkların östemperlenmesi işleminin pitting oluşumuna etkisini incelemişlerdir. Dişli numuneleri ilk olarak 900 °C' lik tuz banyosunda 90 dakika östenitlenmiş, sonra numuneleri tuz banyosunda 250, 325, 375 ve 425 °C' de 60 ve 90 dakika süre ile temperliyerek hazırlamışlar. Deneyler için FZG test cihazını kullanmışlar. Analizlerin sonucunda östemperleme işleminin pitting oluşum sürecini uzattığını belirlemişlerdir.

Aslantaş (2003) çalışmasında küresel grafitli dökme demirden imal edilmiş düz dişlilerin diş yüzeylerinde meydana gelen karıncalanma hasarlarının deneysel ve nümerik olarak analizini yapmıştır. Çalışmasının deneysel kısmında yorulma ve dişli numunelerini farklı östemperleme şartlarında ısı işleme tabi tutmuştur. Östemperlemenin mekanik, yorulma ve karıncalanma oluşumu üzerindeki etkisini bulmaya çalışmıştır.

Başaran (2001) bu çalışmasında helisel dişli çarklarda pitting oluşumunu deneysel olarak incelemiştir. Eğim açısı ( $\beta_0$ ) ve profil kaydırma faktörünü ( $x$ ) değiştirerek, eş çalışan dişlere etkiyen kuvvetlerin, yani aktif profilin maruz kaldığı hertz basıncının değişiminin nasıl olduğu; değişen basınç ile yüzey hasarı derecesinin nasıl değiştiğini araştırmıştır. Yaptığı hesaplamalar ve deney sonuçları ışığında, incelenen parametrelerin pitting hasarına olan etkilerini ortaya çıkartmaya çalışmıştır. GG25 döküm malzemenin yumuşak olması sebebiyle, çelik malzemedeki tek tek oluşan çukurcuklar yerine çukurcuk şebekeleri oluştuğunu gözlemlemiştir.

Dempsey (2001) çalışmasında yağ kirliliğini inceleyerek dişli hasarını tespit etmeye çalışmış. Yağ kirliliğini bir sensör kullanarak tespit etmiş, yağ kirliliğindeki artışın

pitting oluşumuyla doğrudan ilişkili olduğunu görmüştür. Yağdaki kirletici tanecik miktarına göre dişli yüzeyinde oluşan pitting hasarını tahmin etmiş. Pitting oluşumunun safhalarını, bu safhaları birbirinden ayıran eşik limitlerini tespit etmiştir.

Dempsey and Afjeh (2002) çalışmaları için düz dişlilerdeki hasarı tespit eden bir cihaz geliştirmişler. Dişlilerde yüzey yorulması sonucu oluşan pitting hasarlarını belirleme sistemine aşınma analizi ve titreşim ölçümü için iki farklı sistem entegre etmişler. Yağdaki taneciklerin tespiti ve titreşim analiz cihazının dişli yorulma test cihazına entegre edilmesi ile dişlilerdeki hasarları daha iyi teşhis etmişler. Titreşimin ve yağdaki taneciklerin olmasının pittingi daha da artırdığını belirlemişler. Ayrıca yağda bulunan kirletici taneciklerin artışının hasar ilerlemesiyle doğru orantılı olduğunu belirtmişlerdir.

Dick and Lenard (2005) haddehanede çelik şeritlerin soğuk haddelenmesi sırasında oluşan yüklere yağ viskozitesi ve merdane pürüzlülüğünün etkisini araştırmışlar. Üç çeşit su-yağ emülsiyonunun tribolojik özelliklerini incelemişler. Çalışmalarındaki bağımsız değişkenleri; emülsiyonlardaki yağın viskozitesi, merdane pürüzlülüğü ve hızı azaltılan merdane olarak belirlemişler. Çelik şeritlerin soğuk haddelenmesi sırasında haddelemeyi etkileyen parametrelerin merdane pürüzlülüğü olduğu sonucuna varmışlardır.

Kim et al. (2005) Polimer kaplanmış karbon kompozitlerin kuru ve sıvı yağlama koşulları altındaki tribolojik davranışlarını incelemişler. Yüzey kaplama materyalleri olarak epoksi (Ep) ve polietilen (PE) karışımı ile kendini yağlayan MoS<sub>2</sub> ve PTFE tozları kullanmışlar. Yüzey kaplama katmanlarına kendini yağlama tozu karıştırılması ile, sıvının, kompozit yüzeyin içine girmesini ve böylece kabarcık oluşumunu engellediği için önemli ölçüde aşınma dayanıklılığının geliştiğini gözlemlemişlerdir.

Xiang and Shan (2005) metal-PTFE kompozitlerinin ağır yük altında ve otomatik yağlanması durumunda sürtünme ve aşınma davranışının nasıl olduğunu incelemişler. Titreşimli kayma ve aşınma deneyleri yapmışlar. Testlerde PTFE kompozitinin yüzeyinin çeliğe göre daha dayanıklı olduğunu görmüşler. 16MnNb çeliği-kompozitinin bütün testlerde yeterli yağlamayı sağladığını tespit etmişlerdir.

Truhan et al. (2005), piston segmanının sürtünme ve aşınma davranışlarını inceleyip dayanıklı silindir gömleği gereçleri geliştirmeye alımılardır. Çalışmayı etkileyen önemli bir unsur olarak yağ kabul edilmiş ve yağın etkilerini aratırmılardır. Yağı etkileyen kirletici partikül konsantrasyonu ve oksidasyon ile kurum seviyesi gibi faktörleri belirleyip, testlerde kullanmışlar. Çeşitli yükler altında yağ koşullarının motordaki sürtünme ve aşınmaya etkilerini belirlemeye alımılardır.

Hsu and Gates (2005) alımalarında yağlama filmleri sınırı, yağlama mekanizması ve oluşumunu incelemişler. Daha güçlü ve dayanıklı sınır filmi gelitirmıler. Yalnız korosif etkileri kaldırma konusunda hızlı etki göstermediği sonucuna varmışlardır.

E (2004) yaptığı çalışmasında 16MnCr5 çeliğinden yapılmış yüzeyi işlem görmemiş ve sementasyonla sertletirilmi disklerin, kuru ve yağlı kayma-yuvarlanma koşulları altında aşınma davranışını aratırmıtır. Aşınma deneylerini farklı kayma-yuvarlanma oranlarıyla ve farklı yükler altında disk/disk test cihazıyla yapmıştır. Yaptığı deneyler sonucunda yüzeyi sertletirilmi disklerde kayma oranının artmasıyla aşınmanın kademeli olarak iddetlendiğini görmüştür. Ayrıca yüzeyi sertletirilmi disklerin, sertletirilmemi dililere göre çok daha az aındığını gözlemlemiştir. Yüzeyi sertletirmenin aşınma direncini arttırmada etkili bir yöntem olduğunu grmtr. Yağlı kayma-yuvarlanma temas koşullarında ise, kuru kayma-yuvarlanma koşullarına göre çok daha az aşınma olduğunu saptamıştır.

Jia et al. (2005) alımalarında karbon fiberle güçlendirilmiş polimer kompozitlerin kuru ve sıvı yağlamalı kayma durumlarında aşınma ve aktarma davranışlarını karşılaştırmalı olarak aratırmılar. Kuru kaymaya göre sıvı yağlamalı kaymada dört polimer kompozitin paslanmaz çeliğe göre sürtünme katsayısının düşük olduğunu ve aşınmaya daha dayanıklı olduğunu gözlemlemişlerdir. PEEK+CF+PTFE polimer kompozitinin, PI+CF+PTFE polimer kompozitine göre kuru ve sıvı yağlamalı kayma-sürtünme katsayısının aynı koşullar altında daha düşük ve aşınmaya karşı daha dirençli olduğu sonucuna varmışlardır.

Zhang et al. (2005) sıvı yağlama altında MoS<sub>2</sub>' nin aşınma davranışlarını araştırmışlar. MoS<sub>2</sub> ve çeliğin sıvı yağlama durumundaki tribolojik özelliklerini incelemişler. MoS<sub>2</sub>' nin ana eksikliğinin sürtünme aşınması olduğunu, büyük yük altında parça yapışması meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Jia et al. (2003) sıvı yağlama altında bronz-grafit malzemenin sürtünme ve aşınma özelliklerini incelemişlerdir. Bronz-grafit kompozit malzemeyi çelik malzeme ile karşılaştırmışlar. Buldukları sonuçlara göre bronz-grafit karışımının kuru kaymaya göre sıvı kaymada aşınmaya daha fazla karşı koyması onu sıvı ortam sürtünme malzemesi olarak paslanmaz çeliğin karşısında potansiyel bir aday yaptığını belirtmişler. Ayrıca kuru kaymada bronz-grafit karışımının yapışma aşınmasına dayanıklılığının paslanmaz çelikten daha iyi olduğunu belirtmişlerdir.

Tevrüz (Temmuz 2005) çalışmasının bu I. kısmında dişli çarklardaki yenme hesabı yöntemlerinden basınca dayalı yöntemleri kullanarak yenme hesabı yapmış. Bulduğu sonuçlara göre Niemann'ın ve Lechner'in ilk yöntemlerinin verilen emniyet katsayıları ile çoğu için fazla emniyetli olduğunu görmüş. Ayrıca Lechner'in ikinci yönteminin, ilgili bölümde genel uygulama için verilen emniyet katsayısı ile, diğer iki yöneme göre daha gerçekçi sonuç verdiğini tespit etmiştir.

Tevrüz (Ağustos 2005) çalışmasının bu II. kısmında dişli çarklardaki yenme hesabı yöntemlerinden sıcaklığa dayalı yöntemleri kullanarak yenme hesabı yapmış. Diş profilinin ortalama sıcaklığına dayalı yöntemlerin noktasal sıcaklığa dayalı olanlara göre daha gerçekçi neticeler verdiğini görmüş. Ayrıca Blok'un yönteminin, basınca dayalı yöntemlere göre daha gerçekçi sonuçlar vermesi üzerine, sıcaklığın yenmede basınçtan daha etkili olduğunu belirtmiştir.

Durak ve Kurbanoğlu (1999) çalışmalarında günümüzde yaygın olarak yağlarda kullanılan yağ katkı maddelerini geniş bir şekilde incelemişler ve katkı maddelerinin etkiye mekanizmalarını araştırmışlardır. Piyasada mevcut olan çeşitli katkı maddelerinin sürtünmeye ve aşınmaya etkisini sabit yüklü kaymalı yataklarda deneysel olarak incelemişler. Deneyleri farklı hız ve yüklerde yapmışlar. İlave olarak da katkı



maddelerinin yağ sıcaklık artışına etkisini tespit etmişler. Buldukları sonuçlara göre katkı maddesi ile yataktaki sürtünmeyi minimuma indirmenin, aşınma davranışını iyileştirmenin, çalışma sırasında yağda meydana gelen sıcaklık artışını daha düşük seviyeye indirmenin mümkün olduğunu, daha farklı ve çevreye zararsız yeni katkı maddeleriyle çalışılabileceğini belirtmişlerdir.

Iglesias et al. (2003) 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-disk testleri, kayma hızı, sıcaklık, uygulanacak yükleri temel almışlar. Modifiye edilmiş sıvı kristalli üç farklı yağ kullanmışlar. Sonuç olarak çelik yerine alüminyum malzeme kullanılmasının ve alüminyum malzemenin kaymasında sıvı kristalli katkı maddesi kullanılmasının sürtünme katsayısını azalttığını, iyonik kristalli sıvının nötr olanlardan daha iyi yağlama davranışı sergilediğini gözlemlemişlerdir.

Jia et al. (2002) çalışmalarında polyamit kompozitlerinin kuru ve sıvı kayması sırasındaki sürtünme ve aşınma davranışlarını karşılaştırmalı olarak incelemişler. Yüksek performanslı polyamit ve onun kısa karbon fiberle güçlendirilmiş yapıları, MoS<sub>2</sub> 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 davranışlarının azaldığını tespit etmişlerdir. Sıvı yağlamalı kaymada PTFE ile güçlendirilmiş PI bazlı kompozitlerin paslanmaz çelik yatakların yerine sürtünmeye dayanıklı materyaller olmaya potansiyel aday olduğunu belirtmişlerdir.

Ahrstrom et al. (2003) çalışmalarında geçici elastohidrodinamik koşullar altındaki sürtünmenin farklı yağlayıcılarla taşınması ve ısı depolanmasına etkisini deneysel olarak incelemişler. Sürtünmenin özelliklerini başarılı şekilde veren bir model geliştirmişler. Bunun için Fourier dönüştürücü analizini kullanmışlar. Işın dalgalarıyla

darbe etkisi oluşturmuşlar. Metotları elastohidrodinamik basınç altında, üç farklı sıcaklıkta (20,40,80 °C), sürtünme kuvvetlerinin zamana bağlı oluşturduğu bozulmaları ayrıntılı olarak haber vermekteymiş. Bu niteleyici çalışmalarıyla yağlamaya etki eden viskoziteyi ve sürtünme katsayısını incelemiş, gözlem sonuçlarıyla simülasyon verilerinin birbirine uyduğunu görmüşlerdir.

Chen et al. (1998) çalışmalarında Torrington Şirketi'nin GM treninin otomatik transmisyonunun planet dişli sisteminde kullanılan iğneli rulmanın ömrünü tahmin etmeyi sağlayan yeni bir analitik metot geliştirmişler. Rulmanın ömrünü tahmin etmek için rulmana etkiyen yük dağılımını, yağlama metodunu, çalışma sıcaklığını tespit etmişler, rulmanın jant kalınlığını hesaba katmışlardır.

Luke and Olver (1999), düz dişlilerin daldırma metoduyla yağlanmasında köpürme-çalkalanma kayıplarını araştırmışlar, ısının köpürme-çalkalanma sürecinde etkili olduğunu belirlemişler. Boness ve Terekhov metotlarını kullanarak köpürme-çalkalanma torkunu hesaplamışlar. Aynı zamanda düz dişli çarklardaki köpürme-çalkalanma torkunu farklı bir yöntemle hesaplamaya çalışmışlardır.

Keskin (2002) çalışmasında silindirik düz dişli çarklarda yağlayıcı viskozitesinin aşınmaya olan etkilerini deneysel olarak incelemiş. Gerçekleştirdiği deneylerde; değişik viskoziteli yağların yük taşıma kabiliyeti, aktif profilin maruz kaldığı hertz basıncının değişiminin nasıl olduğu ve bu değişen basınç ile yüzey hasara derecesinin ne şekilde farklılık göstereceği sorularına cevap aramıştır. Viskozite değeri arttıkça çeşitli diş bozulmalarına karşı korumanın da o kadar arttığını belirlemiştir.

Özkasap (2001), düz dişli çarklarda aşınma-yağlama yağı ilişkisini deneysel olarak incelemiş. FZG dişli test cihazında yaptığı deneysel çalışmada dişli çiftleri üzerinde değişik hız ve yük kademelerinde farklı yağlama yağı kullanarak aşınma olayını incelemiştir. Ayrıca farklı yükler ve farklı viskoziteli yağlama yağları karşısında, yağ sıcaklığının zaman içerisindeki değişimini incelemiştir.

Yuan et al. (2004) kirletilmiş yağlı test koşulları altında, kayma sürecine sıcaklığın

etkilerini araştırmışlardır. Araştırmalarını demir tanecikleri bulunan ve de bulunmayan SAE 40 yağı kullanarak “pim üzerinde disk” test cihazında yapmışlar. Tanecik morfolojisi temelli sayısal analiz, aynı odaklı lazer mikroskobu (CLSM), ferrografi analizi, tanecik büyüklüğü analizi (CSI) ve test numunelerinin yüzeylerindeki aşınmanın belirlenmesi için elektron tarama mikroskobu (SEM) kullanmışlar. SAE 40 yağının sıcaklığının artışı ile yapışma, oksidasyon ve aşınma oranlarında da artma olduğunu görmüşler. Yüksek sıcaklıklarda, SAE 40 yağına demir taneciklerinin eklenmesiyle yapılan testlerde, demir taneciklerin katılmamış SAE 40 yağıyla yapılmış testlere göre oksidasyon aşınması ve kayma aşınması derecelerinde artış gözlemlemişlerdir.

Castro and Seabra (1998), FZG cihazında yaptıkları deneylerde dişlilerde tabakalaşma oluşumu, tabakalaşma oluşumuna yağlama metodu, yağ filmi ile uygulanan kuvvetin etkisini araştırmışlar. Deneysel ve teorik sonuçları analiz etmişler. FZG cihazında yapılan standart testlerden elde edilen sonuçların teorik verilere uyduğunu görmüşlerdir.

Martins et al.(2006) çalışmalarında endüstriyel dişli yağlarıyla yağlanmış FZG dişlilerindeki sürtünme katsayısını araştırmışlardır. Yağlayıcı olarak mikro aşınmaya karşı özel katkı maddeleriyle güçlendirilmiş parafinik mineral yağ ve bakterilerle ayrışabilen toksit olmayan esterden oluşan iki çeşit yağ kullanmışlar. Bu yağlarla yaptıkları testlerde çeşitli yükler, hızlar ve çalışma sürelerindeki sıcaklıklarını ölçmüşler ve de birbirleriyle karşılaştırmışlar. Deneylerini dört toplu makine ve FZG deney cihazında yapmışlar. Deney sırasında ve sonrasında her iki yağlayıcıdaki aşınma partikül konsantrasyonunu belirlemiş ve karşılaştırmışlar. Mineral yağın 100 °C’ nin üzerindeki sıcaklıklarda geniş bir periyotta çalışabileceğini, aynı koşullarda ester yağıyla karşılaştırıldığında içinde aşırı miktarda aşınma tanecikleri bulunduğunu görmüşler. Ester yağının, sürtünme katsayısını indirgemeye katkıda bulunduğunu, mineral yağlayıcı kullanımıyla karşılaştırıldığında ise temas basıncının %20 daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Long et al. (2003) araştırmalarında gerçek dişli geometrilerinde, yüksek hızlarda yük uygulanan dişli yüzeylerindeki sıcaklık ve yağlama durumlarını incelemişlerdir. Sayısal ve deneysel analizler yapmışlar. Dişliye uygulanan yükü ve dönme hızını değiştirmişler.

Yapılan analizler sonucunda yüzey sıcaklığını etkileyen asıl parametrelerin sürtünme, ısı akışı ısı transfer katsayısı, yağ ve çevre ısısı olduğunu tespit etmişlerdir.

Höhn and Michaelis (2004) çalışmalarında yağ sıcaklığının dişli hasarlarına ve yük taşıma kapasitesine etkisini teorik ve deneysel olarak bulmaya çalışmışlardır. Deneysel çalışmalardaki yağ sıcaklıkları 30, 60, 90 ve 120 °C olarak belirlenmiş. Aynı zamanda testlerde değişik viskoziteli yağlar ve farklı şiddette yükler uygulanmış. Yüksek sıcaklık yüzünden oluşan kimyasal aktivite, düşük viskozite ve ince yağ filmi kalınlığının dişli performansını kötü etkilediğini, dişlilerin hasara uğramasına neden olduğunu belirtmişler. Bu olumsuzlukların giderilmesi için dişli yağına katkı maddeleri katılabileceğini, ayrıca dişli yüzeylerinin kaplama ile koruma altına alınabileceğini tespit etmişlerdir.

### **Literatür Taramasının Değerlendirilmesi**

Yapılan literatür çalışması sonunda dişlilerde meydana gelen hasarlar genellikle yüzey yorulması neticesinde pitting oluşumu veya diş kırılması şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca ele alınan çalışmaları nümerik ve deneysel olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Problemin çözümü için Lineer Elastik Kırılma Mekanikliği baz alınmıştır. Nümerik çözümler için Sonlu Elemanlar Metodu kullanılmıştır. Yüzey hasarları; yüzeye etkiyen normal ve teğetsel yüklerin bir sonucu olarak yüzey altı çatlak oluşumu ve yorulmalı çatlak ilerlemesi üzerine bina edilmiştir. Diş dibinde meydana gelen kırılma hasarları ise diş dibi kavisi bölgesindeki mikro çentiklerin bir çatlak şeklini alması ve bunun sonucunda diş veya jant kırılmalarının meydana gelmesi olarak tanımlanmıştır.

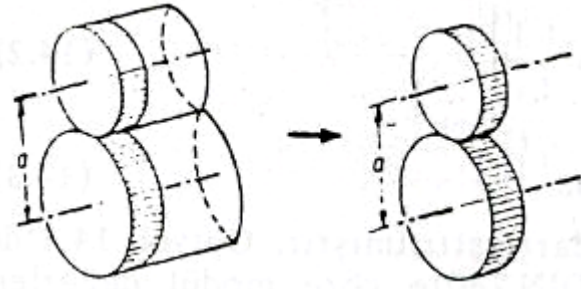
Yapılan çalışmalarda dişli malzemesi olarak genellikle çelik ve türleri kullanılmıştır. Dişli malzemesi olarak K.G.D.D' lerin sanayide çok kullanılmasına rağmen bilimsel araştırmalara pek az konu olduğu görülmüştür.

Yapılan deneysel çalışmalarda genellikle FZG test cihazı kullanmış, kayma aşınması testleri "pim üzerinde disk" cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

## 2.1 DİŞLİ ÇARK VE DİŞLİ ÇARK MEKANİZMALARI

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 (Şekil 2.1), 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. Pratikte daha çok kullanıldığından dış dişli çarklara yalnız dişli çark, diğerlerine ise iç dişli çarklar denir. İç dişli çarklar da düz, helisel ve çift helisel olabilirler.



Şekil 2.1 Dişli Eksenleri Paralel Konumda (Akkurt, 2000).

### 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 (Şekil 2.2).

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

$$\pi d_o = Z \quad ; \quad d = \frac{t}{\pi} Z \quad (2.1)$$

şeklinde yazılır. Buradan modül denilen

$$m = \frac{t}{\pi} \quad (2.2)$$

ifadesi ile

$$d_o = m.Z \quad (2.3)$$

olarak bulunur. Modül değerleri standartlaştırılmıştır. Cetvel 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.

$$m = 25,4 / P \quad ; \quad P = \pi / p \quad ; \quad d_o = Z / P \quad (2.4)$$

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. Taksimat dairesinin yanısıra, dişlerin yüksekliğini tayin eden baş dairesi ve taban dairesi vardır; Baş dairesi dişlerin başından, taban dairesi dişlerin tabanından geçen dairedir.

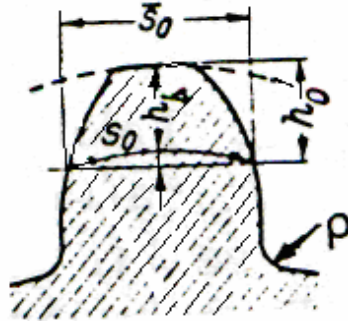
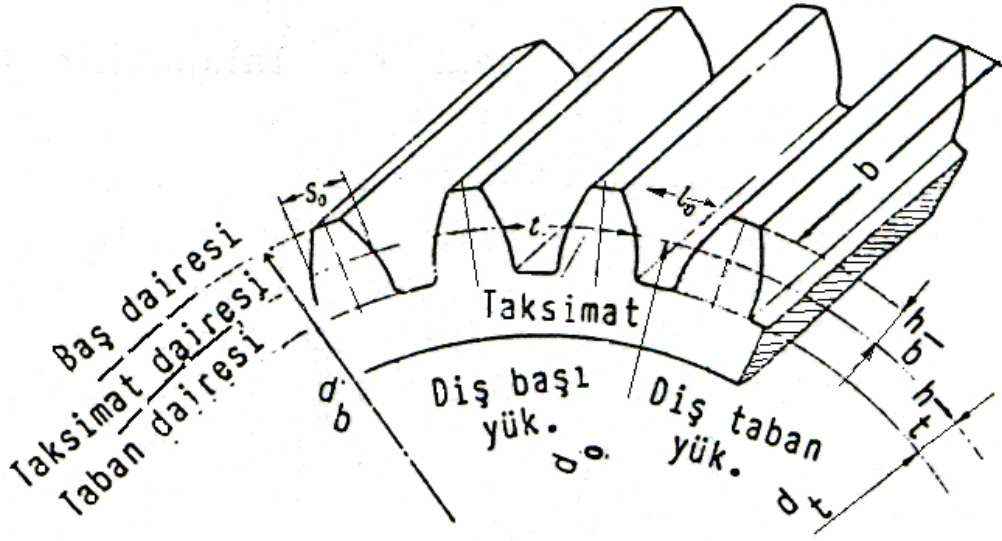
### 3. Diş boyutları (Şekil 2.2)

Diş başı yüksekliği:  $h_b$       Diş kalınlığı:  $S_o$

Taban yüksekliği:  $h_t$       Dişler arasındaki boşluk:  $l_0$

Diş yüksekliği:  $h = h_o + h_t$       Taban kavisi:  $\rho$

Taksimat:  $t = \pi m$       Diş Genişliği:  $b$



Şekil 2.2. Dişli Çarkın ve Dişin Ana Boyutları (Aslantaş, 2003).

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.  $S_0$  ile gösterilen diş kalınlığı ve  $l_0$  ile ifade edilen dişler arası boşluk taksimat dairesi üzerinde geçerlidir.  $S_0$ 'ın diş başına kadar olan yüksekliği  $h_0$  ile ifade edilir (Şekil 2.2).

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

$$t = \pi m = S_0 + l_0 \quad \text{veya} \quad S_0 = l_0 = t/2 = \pi m/2 \quad (2.5)$$

olarak yazılabilir. Ancak eş çalışan dişlilerin birbirini daha iyi kavrayabilmesi için  $S_0$ , tolerans mertebesinde,  $l_0$ ' dan daha küçük yapılır.

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

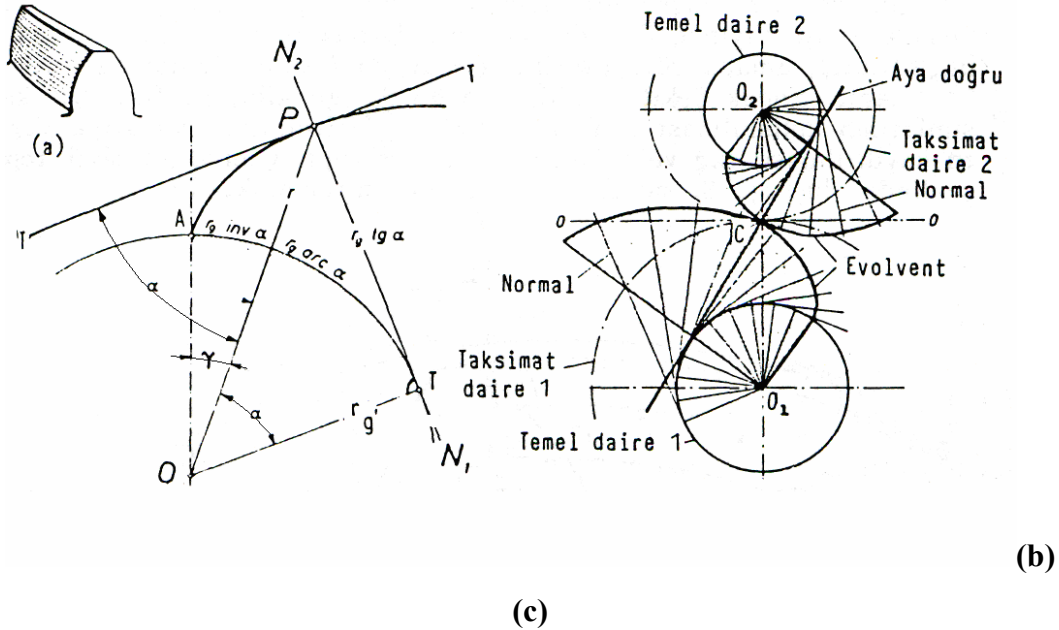
$$d_b = d_0 + 2h_b \quad ; \quad d_t = d_0 - 2h_t \quad (2.6)$$

şeklinde ifade edilir. Böylece (2.3) ve (2.6) 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.

Diş başı yüksekliği, taban yüksekliği ve dişin toplam yüksekliği sıfır dişlilerde

$$h_b = m \quad ; \quad h_t = 1,25 m \quad ; \quad h = 2,25 m \quad (2.7)$$



Şekil 2.3 Evolvent Eğrisi (Akkurt, 2000).

Bir dişli çarkta diş, biri sağ diğeri sol olmak üzere iki evolventten meydana gelir (Şekil 2.3). Profillerin herhangi bir noktasına belirli bir basınç açısı karşılık gelir. Bu açılardan taksimat dairesine karşılık gelen ve dişli çark teorisinde ve konstrüksiyonunda önemli bir yer tutan basınç açısı  $\alpha_0$  ile simgelenir. Benzer şekilde, baş dairesine karşılık gelen



basınç açısı  $\alpha_b$  ve herhangi bir  $r$  yarıçapına karşılık gelen basınç açısı  $a$  ile gösterilir.

### 2.1.2 Evolvent Dişli Çarkın Boyutları

#### a. Standart dişli

$$\text{Taksimat dairesi çapı : } d_0 = mZ \quad (2.8)$$

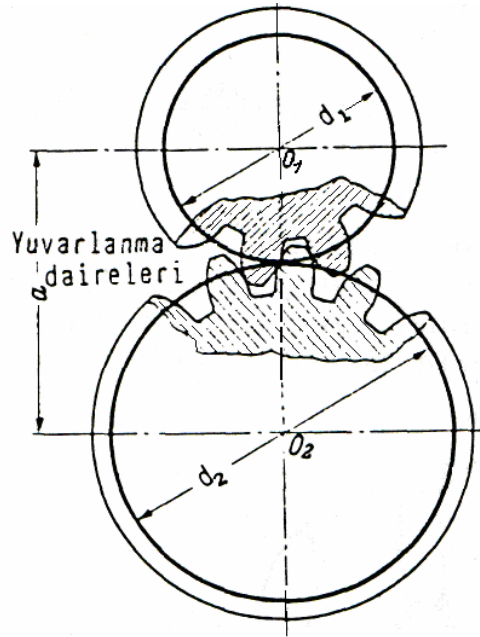
$$\text{Baş dairesi çapı : } d_b = d_0 + 2m \quad (2.9)$$

$$\text{Taban dairesi çap : } d_t = d_0 - 2,5m \quad (2.10)$$

$$\text{Temel dairesi çapı : } d_g = d_0 \cos \alpha_0 = mZ \cos \alpha_0, \quad (2.11)$$

$$\text{Diş kalınlığı : } s_0 = \pi m/2 \quad (2.12)$$

**b. Yuvarlanma daireleri,** çalışma sırasında birbirleri üzerinde kaymadan yuvarlanan dairelerdir. Yuvarlanma dairesi, yalnız çalışma sırasında meydana gelen bir daire olması nedeniyle, dişli çarka değil, dişli çark mekanizmasına ait bir dairedir. Amerikan literatüründe gerek taksimat dairesine ve gerek yuvarlanma dairesine taksimat dairesi (pitch circle) denilmekle beraber, her iki dairenin fonksiyonunu ayırt etmek için taksimat dairesine standart taksimat dairesi ve yuvarlanma dairesine çalışma taksimat dairesi adı verilmektedir.



Şekil 2.4 Eksenler Arası Uzaklık (Akkurt, 2000).

c. **Eksenler arası mesafe**, dişli çarkların  $O_1$  ile  $O_2$  merkezleri arasındaki uzaklıktan oluşmaktadır.  $d_1$  ile döndürülen dişli çarkın yuvarlanma dairesi ve  $d_2$  ile döndürülen dişli çarkın yuvarlanma dairesi gösterilirse, eksenler arası mesafe (Şekil 2.4)

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{d_{01} + d_{02}}{2} \frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha} = \frac{m(Z_1 + Z_2)}{2} \frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha} \quad (2.13)$$

veya

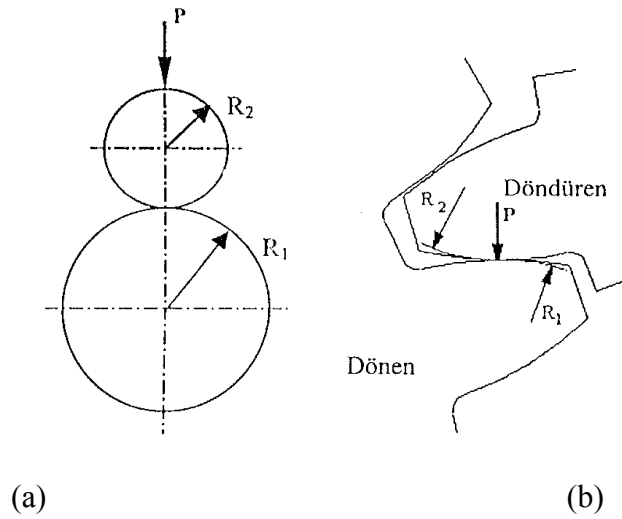
$$a_0 = \frac{m(Z_1 + Z_2)}{2} \quad \text{ifadesi ile} \quad a = a_0 \frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha} \quad (2.14)$$

(Akkurt, 2000).

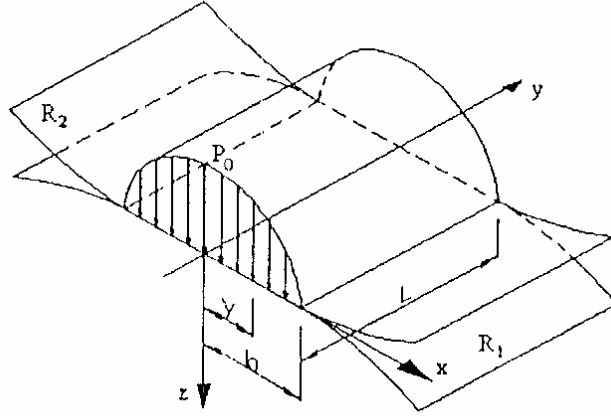
### 2.1.2 Temas Basınç Hesabı

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 2.5).

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 2.6) ve maksimum basınç değeri temas merkezinde ortaya çıkmaktadır.



Şekil 2.5 (a) Temas Halinde Olan İki Silindir, (b) İki Dişin Kavrama Esnasındaki teması



Şekil 2.6 İki Silindir Yüzeyin Teması Sonucu Meydana Gelen Yük Dağılımı (Akkurt, 2000).

Yük dağılımı yarı elips biçiminde olduğundan temas merkezinden temasın son bulduğu **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;

$$p(x) = \frac{2P}{\pi b^2} (b^2 - x^2)^{1/2} \quad (2.15)$$

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

$$b = \left[ \frac{4PR^*}{\pi E^*} \right]^{1/2} \quad (2.16)$$

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

$$E^* = \left( \frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right)^{-1} \quad (2.17)$$

$$R^* = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)^{-1} \quad (2.18)$$

Denklemleri ile elde edilir. Burada  $E_i$  ve  $\nu_i$  dönen ve döndüren dişlilere ait Elastisite modülü ve Poisson oranıdır. Temas noktasında meydana gelen maksimum basınç ( $P_o$ ),  $P$ 'nin bir fonksiyonu olarak;

$$P_o = \frac{2P}{\pi b} = \left[ \frac{PE^*}{\pi R^*} \right]^{1/2} \quad (2.19)$$

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

$$q(x) = \mu p(x) \quad (2.20)$$

dir. Burada  $\mu$ ; yüzeyler arasındaki sürtünme katsayısıdır.

### 2.1.3 Dişlilerde Mukavemet Hesabı

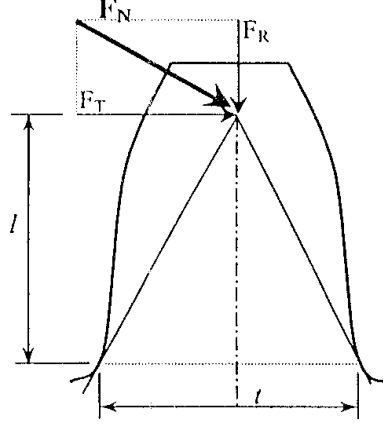
Günümüze kadar yapılan çalışmalarda dişli mukavemetini ve efektif çalışma ömrünü hesaplama konusunda çeşitli teoriler geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Bunlar içerisinde en yaygın olarak kullanılan Lewis tarafından ortaya konulan teoridir. Bu teoriye göre diş bir ankastre çubuk olarak düşünülmüş ve mukavemet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

$$F_T = F_N \cos \phi \quad (2.21)$$

olurken, diş yüzeyine etkiyen yükün radyal bileşeni;

$$F_R = F_N \sin \phi \quad (2.22)$$

şeklinde olur.



Şekil 2.7 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;

$$F_T = \frac{2M}{d_0} \quad (2.23)$$

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;

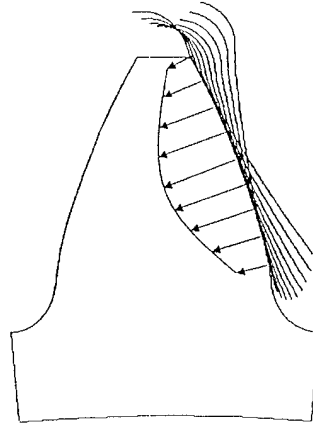
$$\sigma = \left[ \frac{F_T K_a}{K_v} \right] \left[ \frac{1}{Lm} \right] \left[ \frac{K_s K_m}{J} \right] \quad (2.24)$$

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.

Dişlinin 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.

Dişe etki eden kuvvet kavrama zamanı boyunca,  $K_e$  olarak ifade edilen kavrama oranı faktörüne bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla dişlerin ilk ve son temas konumlarında etki eden  $F_N$  kuvveti daha küçük olmaktadır. Buna bağlı olarak her temas konumunda diş yüzeyine etkiyen radyal ve teğetsel yükler de değişecektir. Diş üzerinde gerçekte dalgalı değişken bir yük dağılımı söz konusudur (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 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 kullanılan Hertz temas teorisine dayanmaktadır. Buna göre yüzeyde meydana gelen maksimum basınç değeri Eşitlik 2.5 kullanılarak hesaplanmaktadır. Temas esnasında ortaya çıkan  $b$  yarı temas uzunluğu da elde edildikten sonra, dişe etkiyen teğetsel yüke bağlı olarak temas gerilmesi ifadesi;

$$\sigma_c^2 = \frac{F_T}{\pi L \cos \phi} \frac{(1/R_1) + (1/R_2)}{\left[ \frac{1 - \nu_1^2}{E_1} \right] + \left[ \frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \right]} \quad (2.25)$$

şeklinde verilmektedir. Burada verilen  $R_1$  ve  $R_2$  Eşitlik 3.4 de verilen  $R_1$  ve  $R_2$  ifadeleri ile aynıdır. Yine eşitlikte verilen  $\phi$  açısı bölüm dairesine ait basınç açısıdır ve düz dişliler için genellikle  $20^\circ$  dir (Aslantaş, 2003).

#### 2.1.4 Dişli Çarklarda Oluşan Hasar Türleri

Dişli tasarım ve imali ile ilgili çalışmalar yapanların, dişli çarklarda görülen pek çok hasarı detaylı olarak bilmesi gerekmektedir. Amerikan Dişli Üreticileri Birliği (AGMA) ulusal standardında diş hasarları beş temel sınıfa ayrılmıştır.

1-Yüzey Yorulma Hasarları

4-Kırılma

2-Aşınma

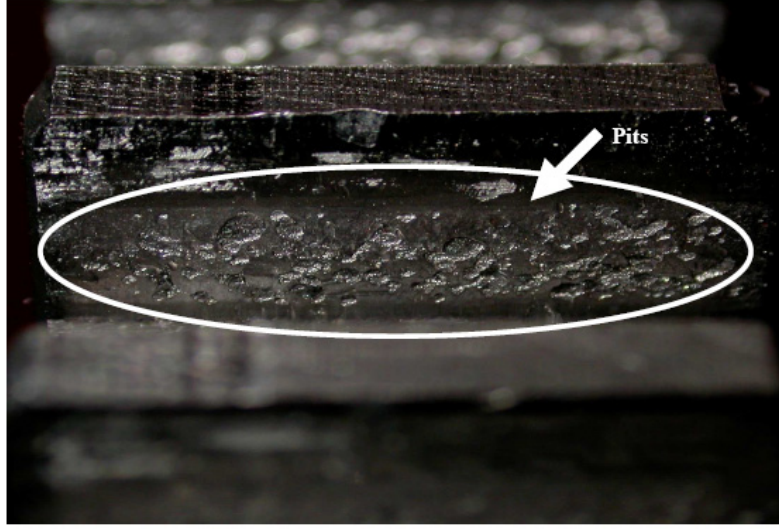
5-İmalat Sırasında Oluşan Hasarlar

3-Plastik Akma

Bu beş 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 ısıl işlem kadar önemli olduğunu kavramalıdır. Aynı zamanda tasarımcı aşağıdaki faktörlerin arasındaki ilişkileri düşünmelidir.

##### 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.



Resim 2.1 Pitting ( İnt. Kyn. 2).

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 ( Resim2.1).

#### 2.1.4.1.1 Pitting

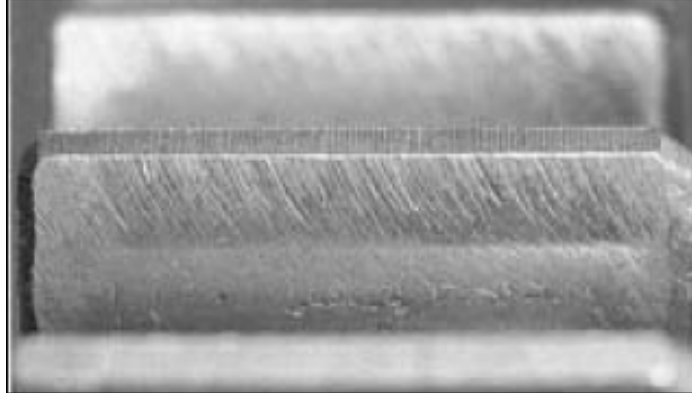
Dişli çarkın çalışmaya başlamasından kısa bir süre sonra oluşabilen ve aşağıda verildiği gibi üç şekilde görülebilen bir yüzey yorulması hasar türüdür.

- 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 parlamayıp cilalanması ile etkisini kaybeder. Genellikle yuvarlanma noktasının tam üzerinde veya biraz altında yer alan dar bir içinde ortaya çıkar. En çok tamamen sertleştirilmiş dişlilerde görülür (Resim 2.2).



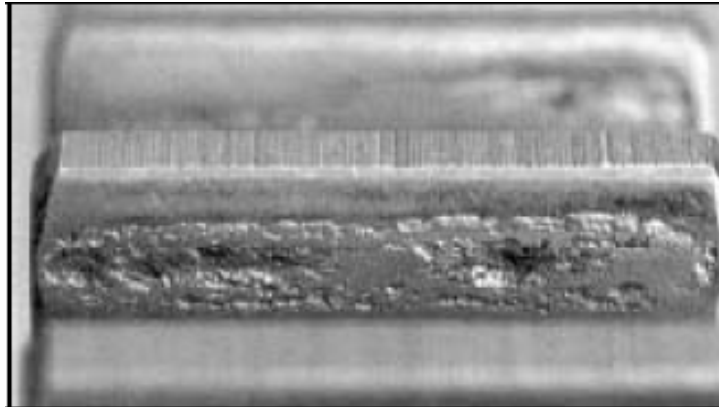


Resim 2.2 Başlangıç Pittingi

Sanayide kullanılan tamamen sertleştirilmiş dişlilerin çoğunda başlangıç pittingi için tedbir gerekmez. Çok kritik ve özel yerlerde kullanılacak dişlilerin imalatı sırasında hassas finiş operasyonu ile tamamlanması, düşük hız ve yüklerde alıştırma (rodaj), 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).



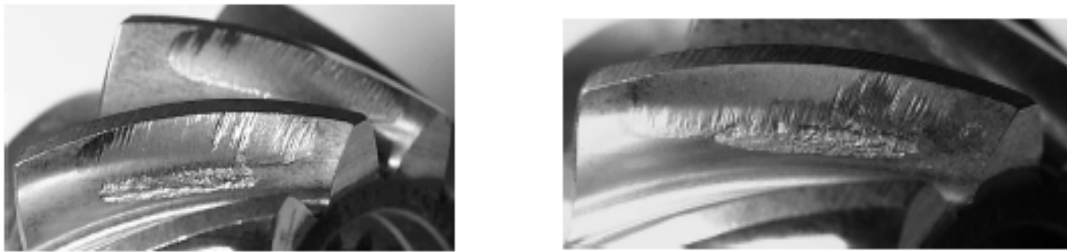
Resim 2.3 İlerleyen Pitting ( İnt. Kyn. 2).

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). Devam eden çalışma sonucu çukurcuk sınırları, görünürde başka çukurcuklar oluşmayacak şekilde aşınır.



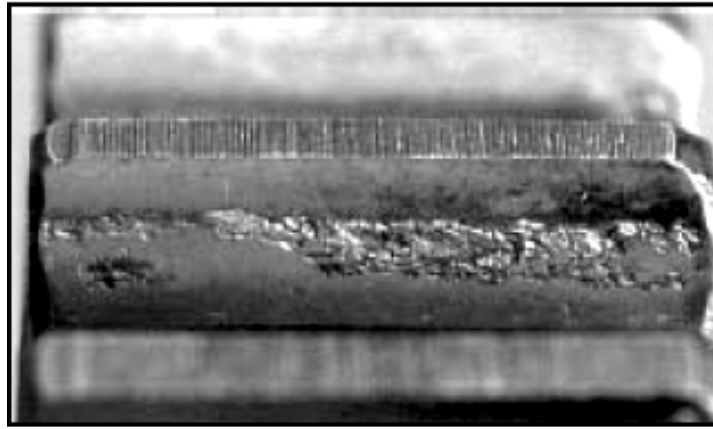
Resim 2.4 Normal Pitting ( İnt. Kyn. 2).

Yüzeydeki mikro çatlakların diş profili boyunca gösterdiği yönlenme 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 kama 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 kama etkisine maruz kalmaz. Sadece birkaç çukurcuk oluşur.

#### 2.1.4.1.2 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 resimlerde spallinge uğramış dişli resimleri görülmektedir (Resim 2.5).



Resim 2.5 Spalling ( İnt. Kyn. 2).

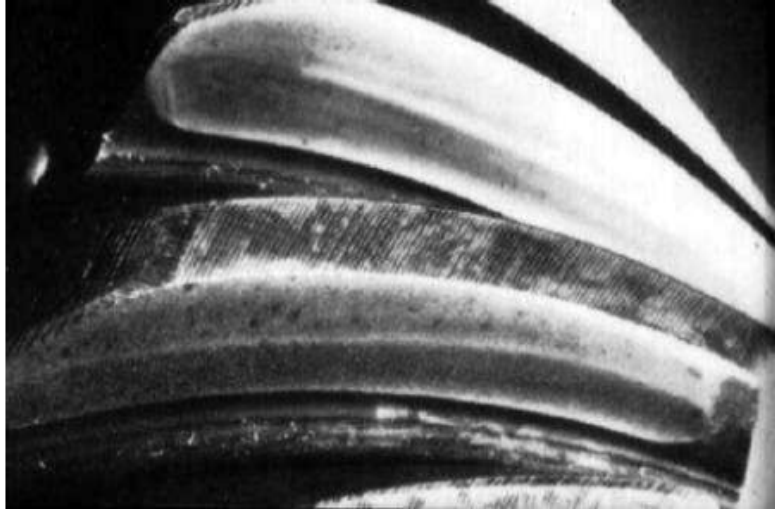
Spalling, diş yüzeyinin pürüzlü, kopmaya uygun bölgelerinin de katılımıyla yüksek temas gerilmeleri tarafından ortaya çıkartılır. Yüzeyi sertleştirilmiş dişlilerde, yüzey veya yüzey altı hataları ile yanlış ısıl işlemlerden kaynaklanan iç gerilmeler de spalling'e neden olur.

#### 2.1.4.2 Aşınma

Aşınma hasarı, derecelerine veya ortaya çıkış mekanizmalarına göre sınıflandırılabilir. Ortaya çıkış şekillerine göre aşınma çeşitleri:

##### 2.1.4.2.1 Abrasiv 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 (Resim 2.6). İmal edildikten hemen sonra sertleştirilen dişli yüzeyleri bazen çok kaba olurlar ve eş çalıştıkları diğer dişlinin yüzeylerini aşındırabilirler (Akkurt, 2000).

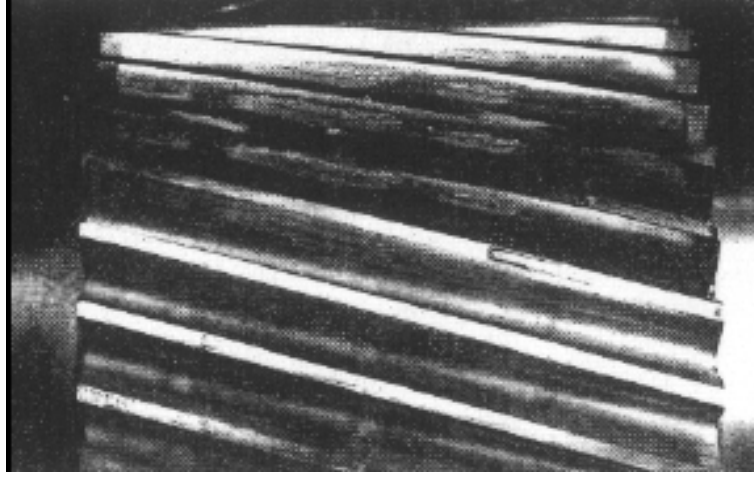


Resim 2.6 Abrasiv Aşınma

##### 2.1.4.2.2 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

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

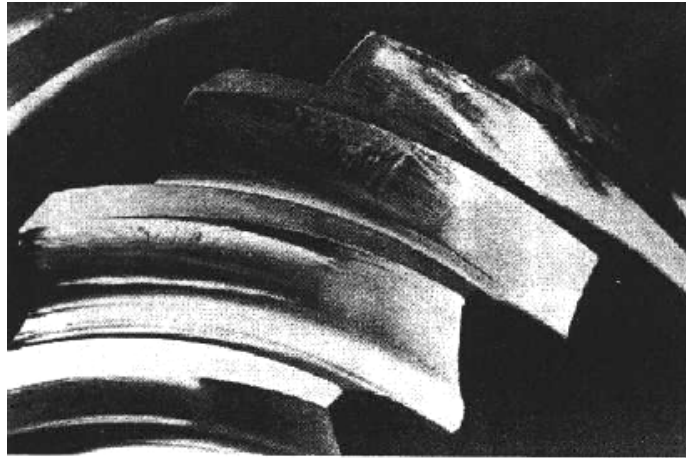
-Scuffing (çizilme), normal çalışma sıcaklığında diş yüzeyinde kayma yönündeki hafif, cilalı radyal çizikler şeklinde ortaya çıkar. Bu aşınma tipi, dişler arası basıncın yüksek ve yağ filminin sınır rejiminde olduğu, yüksek temas sıcaklıklarının ortaya çıkmadığı düşük devir hızlarında görülebilir (Resim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



Resim 2.8 Scuffing

Scuffing aşınması, yağlayıcı viskozitesinin arttırılması veya yükün hafifletilmesiyle azaltılabilir

-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).



Resim2.9 Scoring

Scoring' e 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.

#### 2.1.4.2.3 Diğer aşınma türleri

##### **Koroziv aşınma**

Koroziv aşınma, ortamda bulunan maddelerin çalışma yüzeyini kimyasal olarak bozması ile olur. Yağın içinde asit ve su başta olmak üzere birçok korozyon kaynağı vardır. Yağın içine ilave edilen yüksek basınç katkıları, aşırı yük altında diş yüzeyindeki scoring oluşumunu önler. Ama aynı zamanda diş yüzeyinde düzgün ve yavaş bir korozyona da sebep olur. Sıcaklık artışı korozyonu hızlandırmaktadır (Resim 2.10 )



Resim 2.10 Koroziv Aşınma

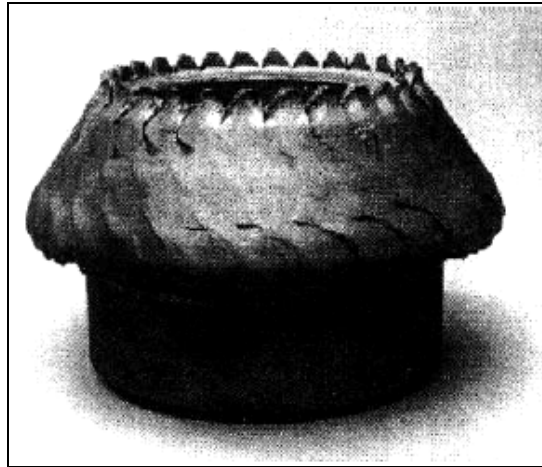
##### **Yanma (burning)**

Yanma, aslında bir aşınma türü olmasa da sonucunda şiddetli aşınma ve yüzey

bozulması meydana gelebilir. Dişli yüzeylerinin bazı bölgelerinde yetersiz yağlama, aşırı hız ve aşırı yük gibi nedenlerle ortaya çıkan yerel sıcaklık artışlarının sebep olduğu bir hasar türüdür. Söz konusu sıcaklık yükselmeleri, sementasyon çeliğinden üretilen dişlilerin tekrar sertleşmesine, menevişlenmesine ve renk değişimine neden olabilir. Yanmanın yorulma özellikleri üzerindeki olumsuz etkisi, yüzey yorulması sonucu oluşan bozulmayı artırır.

#### **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 (Resim 2.11).



Resim 2.11 Soğuk Akma ( İnt. Kyn. 2).

#### **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 2.12 Diş Dibi Kırığı ( İnt. Kyn. 2).

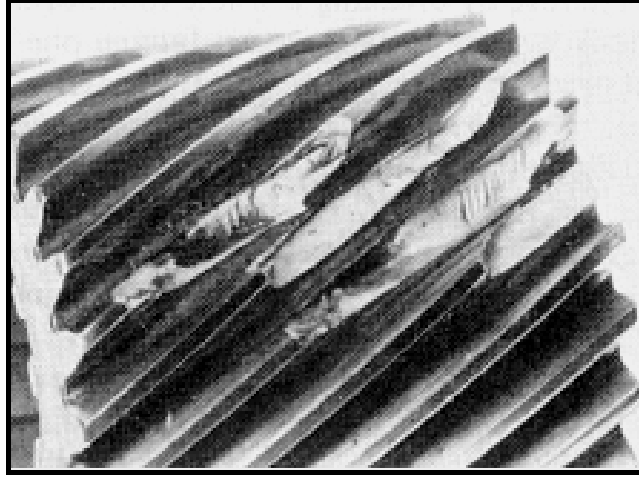
Resim 2.12' de diş kökü kavisinde ortaya çıkan klasik yorulma kırılması görülmektedir. Çatlak, dişin çekmeye zorlanan tarafındaki kök kavisinden başlar, dişe paralel veya dik yönde tamamen kırılmaya yol açana kadar yavaşça ilerler. Bu kırıkların yüzeyleri genellikle, ilerleyen çatlağın ön kısmının meydana 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.

#### **2.1.4.4.1 Az Çevrimli Kırılma (Darbe Kırılması)**

Az çevrimli kırılma, aşırı yük altında az çevrim veya yüksek tek bir yükleme sonucu ortaya çıkar. Resim2.13, bu tip kırılmaya bir örnektir. Daha düşük sertlikteki gevrek malzemelerde, kırılma yüzü kaba, lifli ve yırtılmış bir görünüm arz eder. Daha sert ve daha az gevrek malzemelerde görünüm pürüzsüz ya da ipeksidir.



Resim 2.13 Darbe Kırılması

Kimi hallerde tek bir yükleme bir ya da birkaç diş kırabilir. Bir grup dişin tek bir yükleme bölgesinden darbeli aşırı yüke maruz kalarak uğradığı plastik akma, bunun en çok rastlanan örneğidir. Bu tip hasarlar, ani yüklemeler ve darbeli aşırı yüklerin engellenmesiyle ortadan kaldırılabilir. Dişli dizileri arasında bağlantı sağlayan, ayar edilebilir tork ya da rezilyans kaplinlerinin kullanılması ile tahrik kaynağının daha iyi

kontrolü sağlanabilir.

#### **2.1.4.4.2 Çukurcuk (Pitting) Kaynaklı Kırılmalar**

Çukurcuk kaynaklı kırılmalar, yoğun pittinge uğramış alanlardan başlar. Çünkü, çukurcuklar gerilim artırıcı olarak davranabilir veya çatlaklara başlangıç görevi yapabilirler (Resim 2.14).

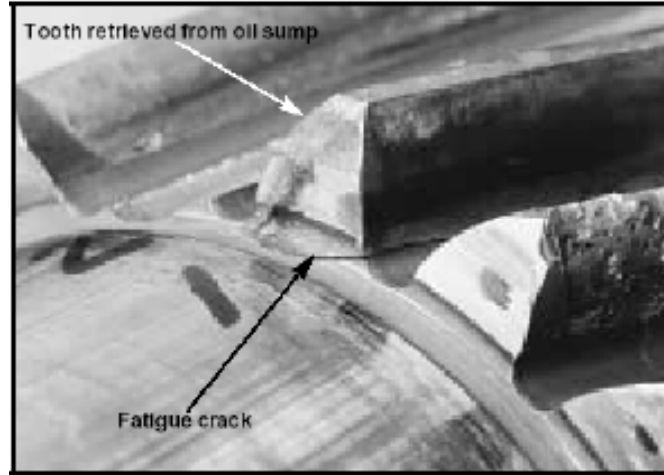


Resim 2.14 Pitting Kaynaklı Kırılma

(TSE, Şubat 2001).

#### **2.1.4.4.3 Bükülme Yorulması Kırığı**

Oldukça çok sayıda yük tatbik edilmesi esnasında, çatlağın yayılmasıyla birlikte görülen kırığa denilir ( Resim 2.15). 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.

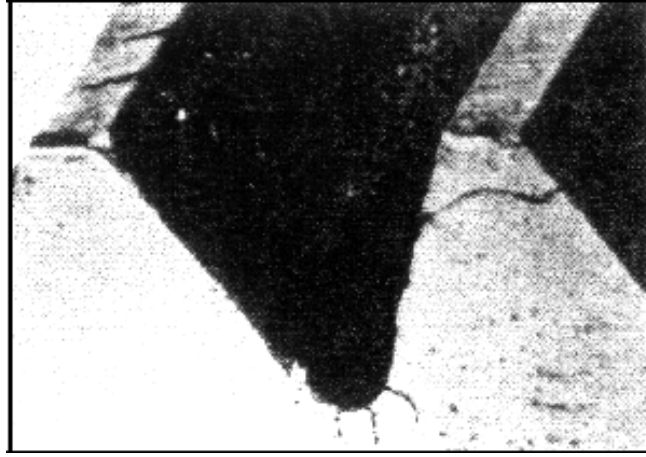


Resim 2.15 Bükülme Yorulması Çatlağı ve Kırığı ( İnt. Kyn. 2).

#### 2.1.4.5 İmalat Sırasında Oluşan Hasarlar

##### 2.1.4.5.1 Sertleştirme Çatlakları (Su Verme Çatlakları)

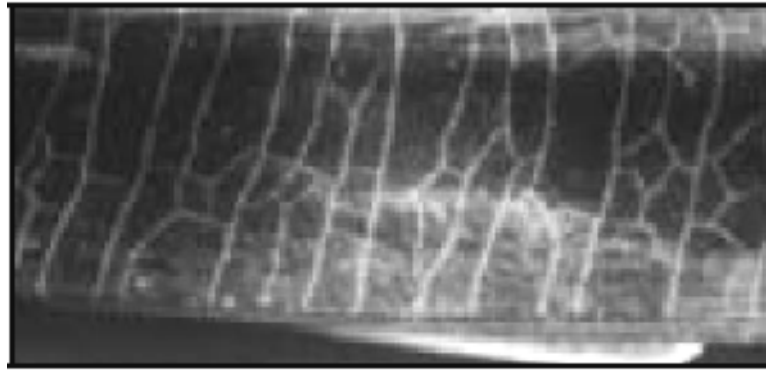
Bu çatlaklar, diğer ısıl işlemler yapılırken ilerleme gösterebilir. Genellikle çıplak gözle görülmeleri mümkündür. Dişin tepe bölgesini boydan boya geçebilir veya diş kenarında radyal doğrultuda olabilirler. Isıl işlem çatlakları östenitleşme sıcaklığından soğutma sırasında ortaya çıkan aşırı gerilmeler 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 2.16). Bu çatlaklara rastlanıldığında kullanılan malzeme ve ısıl işlem yöntemi gözden geçirilmelidir.



Resim 2.16 Sertleştirme Çatlağı

#### 2.1.4.5.2 Taşlama Çatlakları

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 2.17). 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).

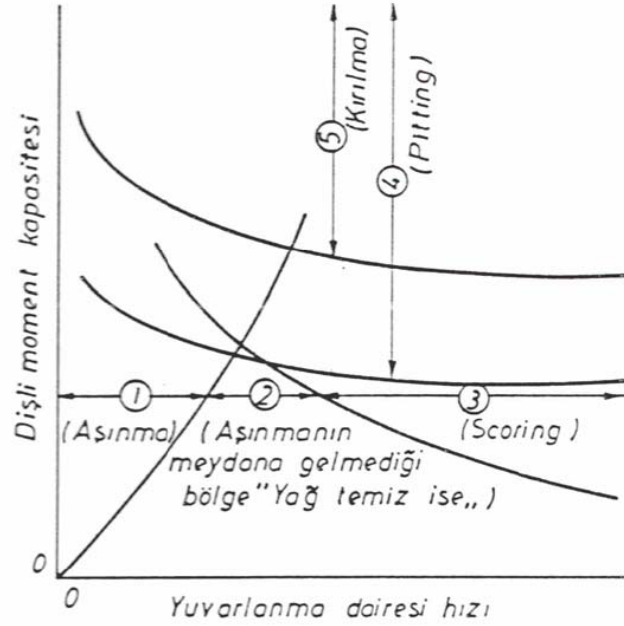


Resim 2.17 Taşlama Çatlağı

#### 2.1.5 Dişli Hasar Bölgeleri

Dişli çark mekanizmalarının meydana gelen hasar tiplerinin yük ve çevresel hız ile olan

ilişkisi Şekil 2.9' da gösterilmiştir. Grafik beş ayrı bölgeye bölünmüştür ve her bir bölge bir çeşit hasar eğrisiyle sınırlıdır.



Şekil 2.9 Dişli Hasar Bölgeleri

1. bölgede dişli bir hidrodinamik yağ filmi oluşturabilecek kadar hızlı dönmektedir. 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. Bazı araştırmacılar, çok düzgün yüzeylerin ıslanmaya karşı direnmeleri nedeniyle bu bölgenin genişliğini arttırdıklarını iddia etmektedirler.
2. 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.
3. 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.
4. 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.

5. bölgede diş kırılması meydana gelmektedir. Bu bölgenin büyüklüğü çalışma zamanının uzunluğuna bağlı bir fonksiyon olarak arttırılabilir. Kırılma bir yorulma hasarıdır. Aşınma meydana geldiğinde bu bölgenin büyüklüğü artmaktadır. Aşınma dişlilerin daha fazla darbeli ve titreşimli çalışmasına neden olmaktadır.

Aşınma ayrıca diş dibinden malzeme kaldırarak dişleri güçsüzleştirir ve kök bölgesindeki gerilme yoğunluğunu arttırır.

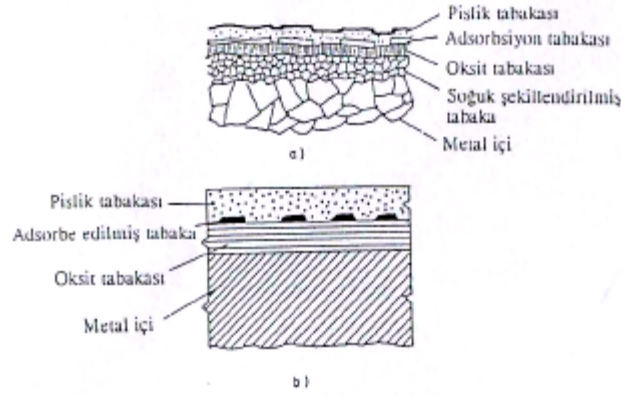
Dişlide bir hasar meydana geldikten sonra dişli çalışmaya devam ettiğinde diğer hasar türlerine karşı giderek azalan bir mukavemet göstermektedir. Bu durum dişli hasarlarının tespitini güçleştirmektedir (Eş, 2004).

## **2.2.DİŞLİ ÇARKLARDA YENME OLAYI**

### **2.2.1 Yenme Olayının Fiziksel Bakımdan İncelenmesi**

İmalat sonrasında her makine elemanında olduğu gibi dişli çark profillerinde de farklı boyutlarda pürüzlülük mevcuttur. Temas yüzeylerinin pürüzlülüğü sebebiyle temas yüzeylerinin hakiki temas alanı, pürüzlülük mertebesinde küçük ve kısmi alanlardan ibaret olup temas yüzeylerinin sınırlarını tayin eden geometrik alandan çok daha küçüktür. Bu konuda yapılan deneylerde hakiki temas alanının, geometrik alanın ( 1/500 ile 1/100 ) kadar olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu değişim hakiki yüzey büyüklüğünün pürüzlülüğe, dolayısıyla yüzey işleme tarzlarına bağlı olmasındandır.

Aynı zamanda herhangi bir tedbir alınmadığı zaman profil yüzeylerinin tam temiz olmaları mümkün değildir. Yapılan incelemelere göre temiz olarak tabir edilen bu yüzeylerin ortamın atmosferinin ve bu atmosferi teşkil eden maddelerin etkisinde olduğundan oksit, yağ, su buharı, toz, pislik vs. gibi yüzey üzerinde oluşan tabakalarla kaplı olduğu görülmüştür. ( Şekil 2.10).

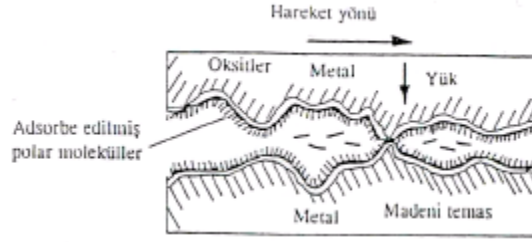


Şekil 2.10 Tabii Adsorbsiyon Tabakası ( a) Hakiki Durum, b) Modelleştirilmiş Durum.)

Mikroskoplarla görülen bu tabakalar madensel yüzeylere kuvvetle bağlanmakta ve yalnızca çok etkin fiziksel ve kimyasal işlemlerle temizlenebilen bu tabakaya tabii adsorbsiyon tabakası kaplanmış olur (Akkurt 2000).

Yukarıda belirtildiği üzere yüzeyler arasındaki gerçek temas alanının çok küçük olmasından temas noktaları, çok yüksek bir basınç altında kalmaktadır. Sıcaklığın tesiriyle temas yüzeyleri arasında sıvı sürtünmeden dolayı oluşan yağ filmi ortadan kalktığına yani sıvı sürtünmeden sınır sürtünmeye geçildiğinde diş profilleri üzerinde yağ moleküllerinden oluşan adsorbsiyon tabakaları birbiri ile direk olarak temasa geçerler. İlerleyen çalışma zamanı içerisinde artan sıcaklıktan bu adsorbsiyon tabakalarını oluşturan moleküllerin yüzey üzerinde düzgün bir şekilde oluşan yapıları bozulmaya başlar. Kritik sıcaklık adı verilen belli bir sıcaklığa erişilen küçük temas bölgelerinde bu tabaka kopar. Yüzeylerde adsorbe edilmiş olan gaz ve sıvı molekülleri ile oksit tabakaları parçalanır. Karşılıklı çalışan malzemelerin molekülleri doğrudan doğruya temas eder. Bunun sonucu olarak bazı temas alanlarında mikroskobik seviyede metalik kaynak bağlar oluşur. İzafi hareket sırasında bu bağlar kopar. ( Şekil 2.11)





Şekil 2.11 Yağ Moleküllerinden Oluşan Adsorbsiyon Tabakası

Bu bağların kopmasından meydana gelen malzeme kaybı adhezyon aşınmasını oluşturur.

## 2.2.2 Yenme Olayını Etkileyen Faktörler

### 2.2.2.1 Hız Faktörü (Çevresel Hız)

Adhezyon aşınması ve yenmede önemli bir etken olan profiller arasında oluşan kayma hızı çevresel hız ile doğrudan ilişki vardır.

Bu konuda çalışan araştırmacıların teorik ve deneysel olarak çalışmaları neticesinde diş profilleri arasında sınır sürtünmesinin olduğu tespit edilmiştir.

### 2.2.2.2 Diş Formu Faktörü

Diş formunun, ortalama diş profil sıcaklığına dolayısıyla yenme üzerine etkilerini şöyle ifade etmek mümkündür.

Pinyon ve karşılık dişlilerin eğrilik yarıçapları  $\rho_1$  ve  $\rho_2$  'nin değişmesi diş genişliği boyunca temas alanının değişmesinde rol oynar.  $\rho_1$  ve  $\rho_2$  'nin büyümesiyle temas alanı da büyüyecektir. Bunun neticesinde pinyon ve karşılık dişlinin diş profillerini kaplayan adsorbsiyon tabakalarının birbiriyle temas noktaları artar. Birim temas noktasına düşen yükün miktarı azalır. Bunun sonucu sıcaklıkta düşme olacak ve yenme azalacaktır. Ayrıca profillerin temas alanının büyümesi sonucu diş profillerinden dişli gövdesine geçerek atılan ısı miktarı artacak dolayısıyla bu noktadaki profil sıcaklığı düşecektir.

### 2.2.2.3 Profil Kaydırma Faktörü

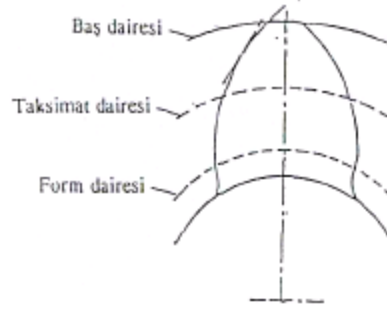
Profil kaydırma faktörünün yenme üzerine etkisi şöyle ifade edilebilir: Yenme, diş profilleri arasında meydana gelen kayma hareketinden dolayı oluşur. Aynı zamanda diş profillerindeki yenme, profil üzerindeki özgül kaymanın dağılımına benzemektedir. Bu sebeple dişli çarkın maksimum yenme direnci, kavramanın başlangıç ve sonundaki uç noktaların özgül kayma oranlarını dengelemek suretiyle elde edilebilir. Bu da pinyon ve karşılık dişlide yapılacak profil kaydırma olayı ile gerçekleştirilir.

### 2.2.2.4 Diş Başı Daralması Faktörü

Diş başı daralması, dişli çarkların yenme mukavemetlerinin artırılması için uygulanan bir profil düzeltme şeklidir. Şekil 2.12 ve Şekil 2.13’de görüldüğü gibi diş başındaki profil düzeltme dişlerin kavramaya girdikleri esnada oluşan darbeleri önlemekte ve kavramadan çıkma esnasında ise diş profillerinin temas yüzeyinin büyümesini sağlamaktadır.



Şekil 2.12 Diş Başı Daralması



Şekil 2.13 Kavrama Sonunda Küçük Temas Yüzeyi

### 2.2.2.5 Pürüzlülük Faktörü

Dişlilerin profil yüzeylerinin pürüzlülüğü sürtünme katsayısını, sınır sürtünmesini ve ısının artışıyla dolayısıyla yenmeyi etkilemektedir.

Sürtünmede büyük önem taşıyan metal yüzeyleri pürüzlü, dalgalı ve kusurlu yapılardan oluşmaktadır. Metal yüzeylerindeki bu pürüzlülükler standartlarda tarif edilen yöntemlerle ölçülür. Yüzey pürüzlülükleri çıkıntı ve girinti arasındaki yükseklik ( $R_t$ ), aritmetik ortalama ( $R_a$ ) olarak ifade edilebilir.

### 2.2.2.6 Malzeme Faktörü ve Dişlerin Yüzey Sertliği

Temas halindeki iki cismin temas yüzey sıcaklıkları her iki malzemenin ısı iletkenliğine

bağlıdır.

Çeşitli tip çelikler için, özgül ısıları ve kütle yoğunlukları eşit olduğu kabul edilebilir. Ancak ısı iletkenlikleri farklıdır. Bu durum malzemenin iç yapısıyla ilgilidir. Bu konuda yapılan çalışmalarda ostenitin ısı iletkenliğinin perlitin ısı iletkenliğinin yaklaşık dörtte biri olduğu bulunmuştur. Bu sebepten dolayı dişli çarkların diş profil yüzeylerindeki ostenit miktarı arttıkça çark gövdesine iletilen ısı da azalmakta dolayısıyla profil yüzeyindeki ısı ve profil yüzey sıcaklığı yükselmektedir. Bunun neticesi olarak da yenme mukavemeti yani yenme yükü azalmaktadır.

#### **2.2.2.7 Yağ Sıcaklığı Faktörü**

Yağ sıcaklığının yenme üzerine etkisi iki yoldan olmaktadır. Bunlardan birincisi yağ sıcaklığının, diş kütle sıcaklığını doğrudan etkilemesidir. Yağ sıcaklığının artması kütle sıcaklığının, dolayısıyla ortalama profil sıcaklığının artmasıdır. İkinci olarak da yağ sıcaklığının artması yağlama yağının viskozitesini düşürmektedir. Buna bağlı olarak temas halindeki profiller arasında bulunan yağın da viskozitesi düşmüş olmaktadır. Viskozitenin düşmüş olması da çalışan iki profil arasındaki metal-metal sürtünmesini artıracığından diş kayıp gücünü ve ortalama profil sıcaklığını arttıracak ve yenme yükünü azaltacaktır.

#### **2.2.2.8 Yağ Miktarı Faktörü**

Bir dişli çark mekanizmasında, yağ miktarı yeterli bir değerin üzerinde değilse bu durum diş profillerinin soğutulmasına yetmeyeceğinden diş profillerindeki sıcaklık artmakta bunun sonucu olarak ta yenme mukavemeti azalmaktadır.

#### **2.2.2.9 Devir Yönü Faktörü**

Bir dişli çark mekanizmalarında pinyonun diş başındaki kayma hızı ile çarkın diş başındaki kayma hızı arasında büyük bir fark varsa, bu durumda mekanizmayı pinyonun veya çarkın tahrik ettiğine göre yenme mukavemeti önemli ölçüde değişiklik göstermektedir. Bu durum her iki çarkta yapılan büyük ve tek taraflı profil kaydırmalardan oluşabileceği gibi profil düzeltmelerden de oluşabilir.

Pinyonun ve karşılık dişlinin diş başlarındaki kayma hızları aynı olan mekanizmalarda

pinyonun tahrik etmesi veya karşılık dişlinin tahrik etmesi yenme mukavemetinde bir farklılık göstermemektedir.

#### **2.2.2.10 Yük Faktörü**

Bir dişli çark sisteminde, sistemden aktarılan moment dolayısıyla dişler üzerindeki yük arttıkça artan yükün tesiriyle kavramadaki yağ viskozitesi düşer. Viskozitenin düşmesi ise diş profilleri arasındaki sürtünme kaybını yani sürtünme gücünü arttıracaktır. Sürtünme gücünün diş profil sıcaklığının artması demektir. Sıcaklığın artışı ise yenme yükünün azalmasına sebep olacaktır.

#### **2.2.2.11 Yağ Viskozitesi Faktörü**

Yağ viskozitesi, yenme yükünü etkileyen faktörlerden biridir. Temas halindeki profiller arasında bulunan yağ, sistemde kullanılan yağdır. Dolayısıyla kavramadaki yağın viskozitesi sistemde kullanılan yağın viskozitesi ile doğru orantılı olarak değişir.

Sistemde kullanılan yağın viskozitesinin yükselmesiyle kavramadaki yağın viskozitesi de yükselecektir. Bu viskozitenin yüksek olması ise profiller arasındaki sürtünme kayıp gücünü azaltacaktır. Sürtünme gücünün azalması ise yenme yükünü arttıracaktır.

#### **2.2.2.12 Yağ Cinsi Faktörü**

Yağ cinsinin yenme üzerine etkisi iki yolla olmaktadır. Bunlardan birincisi kayıp gücün yağın cinsine göre değişimi diğeri ise temas bölgelerinden uzaklaştırıldıkları ısı sebebiyledir. Yapılan deneylerde saf mineral yağlardan, orta katıklılı yağlar ve yüksek katıklılı yağlara gidildikçe sistemin yenme meydana gelmeden veya aynı yenme miktarı için taşıyabileceği yük önemli ölçüde artmaktadır. Bu yükselme, adsorbsiyon tabakasının ve kimyasal reaksiyon tabakasının mukavemetinin artmasından kaynaklanmaktadır.

#### **2.2.2.13 Diş Genişliği Faktörü**

Diş genişliğinin yenme üzerinde etkisi diş profilleri üzerinde açığa çıkan ısının dışarıya atılması yönündendir.

Bilindiği gibi kavrama esnasında profilin üzerinde açığa çıkan ısı üç tarzda dışarıya

atılmaktadır. Bunlardan birincisi oluşan ısının yağlama yağı vasıtasıyla profiller üzerinden alınmasıdır. Eğer dalma yağlama yöntemiyle yağlama yapılıyorsa oluşan ısı dişli çarkların yağ içinde kalan kısımlarından yağ içerisinde transfer edilir. Eğer yağlama bir pompa ile yapılıyorsa bu kez de profiller üzerine temas eden yağlama yağı buralardaki ısıyı alacaktır. İkincisi ise dişli çarklarla temas halinde bulunan hava vasıtasıyla atılan ısıdır. Üçüncüsü ise dişli çarkın gövdesi üzerinden miller, yataklar ve kutu vasıtasıyla atılan ısıdır.

#### **2.2.2.14 Yağlama Yöntemi Faktörü**

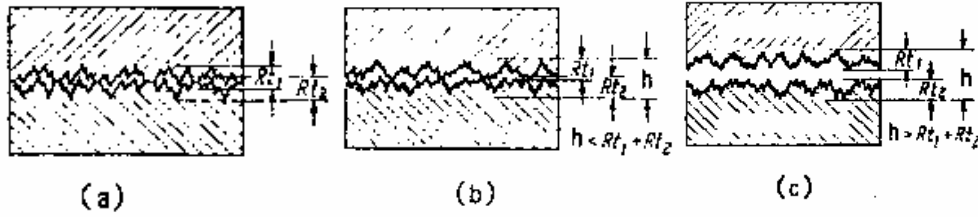
Yağlama yönteminin yenme olayı üzerine etkileri yağlama yöntemi faktörü ile dikkate alınmalıdır. Bu etki daldırmalı yağlama ve püskürtmeli yağlamada farklılık göstermektedir.

Daldırmalı yağlama ve püskürtmeli yağlama metotları kullanılarak aynı çevresel hız ve aynı yağ sıcaklığı için yapılan deneyler sonuçları mukayese edildiğinde, daldırmalı yağlamada yenme yükünün daha yüksek olduğu yani profil yüzeyinin aynı yük için daha az ısındığı görülmüştür (İmrek 1995).

## 2.3 SÜRTÜNME, VİSKOZİTE 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.



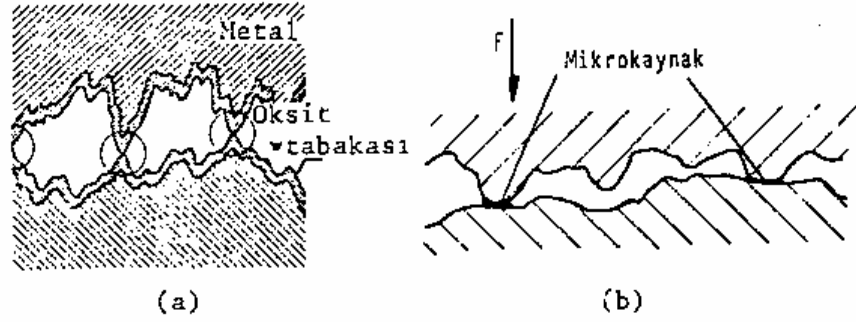
Şeki 2.14 Sürtünme Çeşitleri (a. Kuru; b. Sınır; c. Sıvı)

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 birbirine göre izafi harekette bulunan ve doğrudan doğruya temasta olan iki yüzey arasında oluşan sürtünmedir (Şekil 2.14 a). Yüzeyler arasına 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 2.14 c). İkinci durumda, yani yüzeyler tamamıyla ayrılmadığı takdirde, sınır sürtünmesi hali vardır (Şekil 2.14 b).

Sürtünme olayını açıklamaya çalışan birçok teoriler vardır. Yukarıdaki olaylara dayanarak bu teori şu şekilde açıklanabilir. Yüksüz durumda yüzeyler belirli pürüzlük noktalarında temasta bulunurlar; 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 (Şekil 2.15). 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 2.15 Mikrokaynakların Oluşması

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 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 diğer malzemeyi kendi parçacıklarından oluşan ince bir tabaka ile derhal kaplar ve bu şekilde iki yumuşak malzeme birbirini 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, diğerinin sert olması gerekir (Akkurt 2000).

### 2.3.2 Viskozite

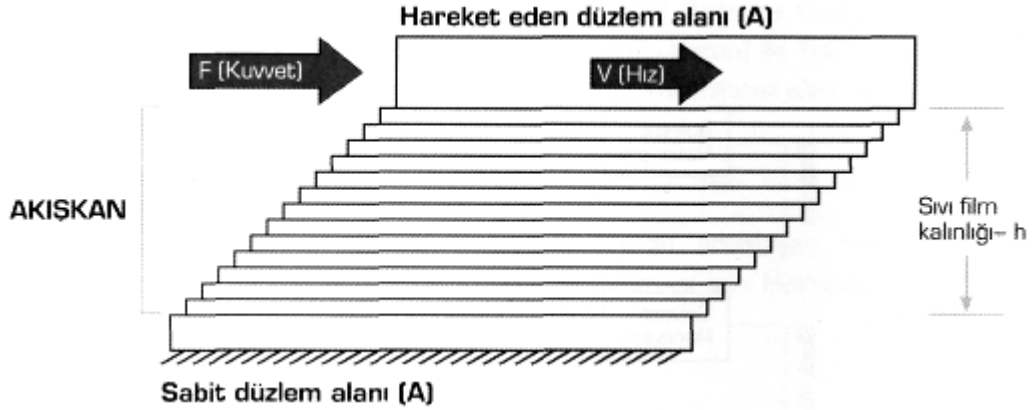
Viskozite; akışkanın akmaya karşı gösterdiği direnç olup, akışkanların en önemli ve belirgin özelliklerinden biridir.

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 2.16 Newtonian Akışkanlarının Paralel Düzlemlerle İzahı

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 2.16).



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

#### **2.3.2.3 Basıncın Viskozite Üzerindeki Etkisi:**

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

#### **2.3.2.4 Viskozite İndeksi:**

Yağların viskozite — sıcaklık ilişkilerini gösteren eğriler düz (flat) veya dik (steed) 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 yolları 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'ın 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.

### **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 cismi 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. Yüzelere asılıp kalarak, sürtünen yüzeyler arasındaki teması keserek.

Makine yağları yalnız motor yağlamasında değil. Aynı zamanda yatak yağlaması, dişli sistemleri, hidrolik sistemler, 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 iş de “yağlama” denmektedir.

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

### **2.3.3.1.1 Yağlama Prensipleri:**

Yağlayıcılar kürecikler halinde parçacıklardan oluşmaktadır. 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.

### **2.3.3.1.2 Sıvı Sürtünme ( Fluid Friction )**

Sürtünmeyi 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 Yağlayıcıların Esas Görev ve Özellikleri:**

1. Sürtünme kontrolü
2. Aşınma kontrolü
3. Sıcaklık 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 oynamaktadır. Başlıca yağlama metotları şunlardır:

- 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 (devir-daimli) sistemler
- 9- Mekanik cebri-besleme-yaglayicilar
- 10- Mekanik yağlayıcılar
- 11- Hidrostatik yağlayıcılar
- 12- Otomatik yağlama (Hani, 2002).

#### **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 reaksiyona girdiğinde zararları açığa çıkmaktadır. Optimum performans için katkı maddesi dengesinin başarılması, yağ formülasyonu yapan kişinin sorumluluğundadır. Bu nedenle arzu edilmeyen etkileri sergilemeyen kombinezonlara ulaşmak için testlere başvurulmaktadır. Yağa bazı özellikleri kazandırmak için katkı maddesi elemanlarının özelliklerini bozmamaları gerekmektedir.

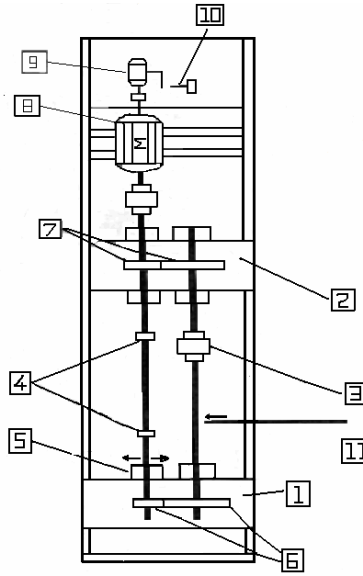
Aşınma önleyici (AW), Sürtünme azaltıcılar (FM), Donma noktasını düşürücü, oksidasyon önleyici, Pas önleyici, Yüksek (aşırı) basınç (EP) katkıları, Viskozite İndeksi (VI) geliştiricileri, Temizleyici ve Dağıtıcılar, Köpük önleyici, Akma noktası düşürücü, Emülsiyon yapıcı, Yapışkanlığı arttırıcı, Renk 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

## 2.4 FZG DİŞLİ AŞINMA TEST CİHAZI

Pitting hakkında güvenilir bilgi birikimi elde etmek amacıyla, çok sayıda dişli numunesinin ve pitting oluşumuna etki ettiği ispatlanmış ya da düşünülen parametrelerin deneysel çalışmalar ile incelenmesi gerekmektedir. Bu incelemelerde genellikle dişli aşınma cihazları kullanılmaktadır.

Günümüzde çok farklı dişli aşınma cihazları vardır. En çok kullanılan cihazlar, Şekil 2.17'de görülen kapalı devre güç iletim sistemine sahip dişli yorulma deney cihazlarıdır.



Şekil 2.17 Kapalı Devre Güç İletim Sistemine Sahip Dişli Test Cihazı (üstten Görünüşü)

1-Test dişli kutusu, 2-Yardımcı dişli kutusu, 3-Tork kaplini, 4-Kardan kaplini, 5-Kayabilen yatak, 6-Test dişlileri, 7-Yardımcı dişliler, 8-Motor, 9- Redüktör, 10-Devir alıcı, 11-Sökülür takılır ağırlık asma kolu

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. Cihazın yükleme şekli hareketsizken yüklenebilen cinstendir. Test edilecek dişlilerin test kutusuna montajını takiben, yardımcı dişli kutusu ve motor arasında kalan mil parçasına bir adet civata takılması ve civatanın, 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 açısal deformasyon kapalı devredeki tüm millere ve dolayısıyla dişlilere dağılmış olur. Yükleme için uygulanan burulma momentinin yönünün, motorun dönüş yönünün aksi istikametinde olmasına dikkat edilmelidir (Başaran, 2001).

#### **2.4.1 Yeni Geliştirilen Dişli Aşınma Test Cihazının Artıları**

Çalışmamızda ilk olarak dişli aşınma deney cihazı tasarlanıp imal edilmiş daha sonra da aşınma testleri yapılmıştır.

Bu yeni test cihazının diğer test cihazlarından bazı avantajlı yönleri vardır;

- Dişli test cihazı tarafından test dişlilerine uygulanan yük tam olarak kolaylıkla belirlenebilmektedir. Bunun için alternatör tarafından üretilen elektriğin ne kadarının ısıtıcı cihaz tarafından tüketildiğinin bilinmesi gerekmektedir. Tüketilen elektrik miktarının tespiti ise, ısıtıcı cihazın üzerinde bulunan voltmetre ve ampermetreler tarafından gösterilmektedir. Aynı zamanda ısıtıcı cihazın üzerinde yakılan 500 W'lık rezistans sayısı da bize tüketilen elektrik miktarını vermektedir. Tüketilen elektrik miktarı ise test dişlilerine uygulan tersinir kuvveti oluşturmakta, dişe uygulanan momenti vermektedir.
- Cihaz durur haldeyken veya çalışır durumdayken kolaylıkla yüklenebilmektedir. Kullanımı oldukça kolay ve emniyetlidir.
- Ara dişlisinin takıldığı paraçolun hareketli olması sayesinde farklı modül ve diş sayılarındaki dişlileri test etme imkanı vardır.
- Ayrıca bu cihaz diğerlerine göre daha ufak boyutlardadır. Tekerlekleri sayesinde istenilen yere rahatlıkla götürülebilmektedir.
- Dişli kutusunda bulunan ısıtıcı rezistans sayesinde farklı sıcaklıklarda dişli testleri yapılabilir.

### 3. MATERYAL ve METOT

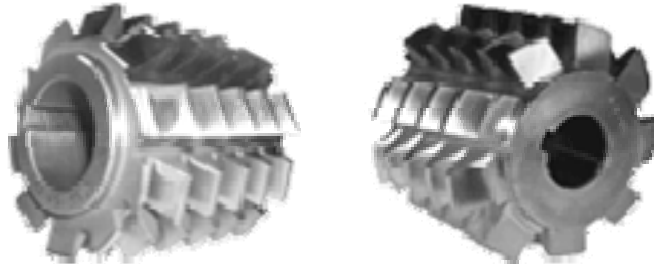
#### 3.1 MATERYAL

Bu çalışmada, silindirik düz dişli çarkların değişik çalışma sıcaklıklarındaki aşınma durumlarını tespit etmek 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 (Scannig Electron Microscope) fotoğrafları çekilmiştir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan tüm deney numuneleri uluslararası kabul görmüş standartlara uygun olarak hazırlanmıştır.

##### 3.1.1 Dişli Çarkların İmalatı

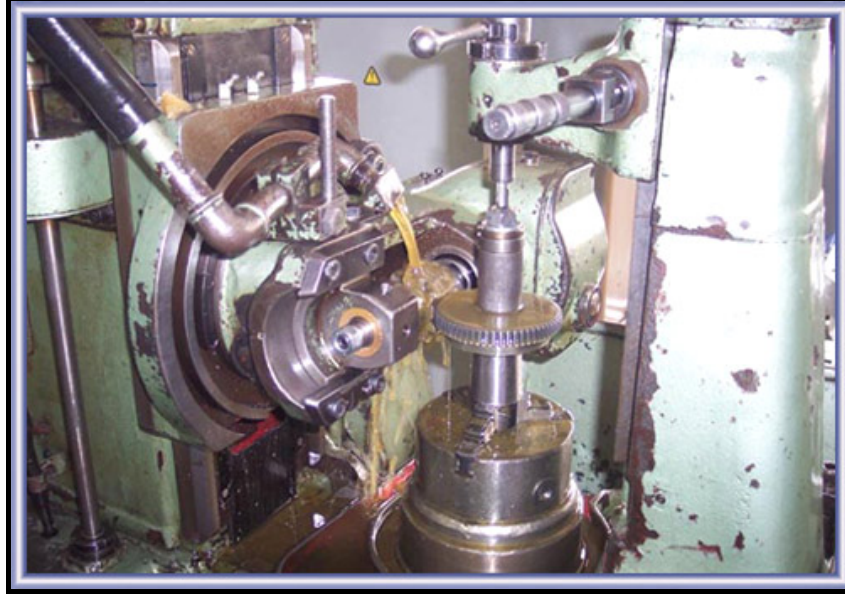
Dişli çarklar birkaç farklı usulle imal edilebilirler. Seçilen usullere göre imalat sırasında modül freze çakısı, kremayer planya, radyal planya (Fellow çakısı) veya azdırma gibi kesici takımlar kullanılır (Resim 3.1) .



Resim 3.1 Azdırma Çakıları

Bu deneysel çalışmada kullanılan dişli çarkların imalatında en çok kullanılan metot olan azdırma çakısı ile azdırma tezgâhında imalat yöntemi kullanılmıştır (Resim 3.2).





Resim 3.2 Dişli Çarkların Azdırma Tezgahında İmalatı

Yapılan deneylerde ve imal edilen dişli aşınma deney cihazında kullanılan dişli çarklara ait özellikler aşağıda verilmiştir (Çizelge 3.1, 3.2)

Çizelge 3.1 Test (Pinyon) Dişlilerinin Özellikleri

	Test Dişlileri
Diş sayısı (z)	32
Modül (m), mm	2
Kavrama açısı ( $\alpha$ )	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
Isıl işlem	Yok
Sertlik	83 HRB

Çizelge 3.2 Döndüren ve Ara (Vasat) Dişlilerine Ait Özellikler

	Döndüren dişli	Ara (vasat) dişli
Diş sayısı (z)	48	80
Modül (m), mm	2	2
Kavrama açısı ( $\alpha$ )	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

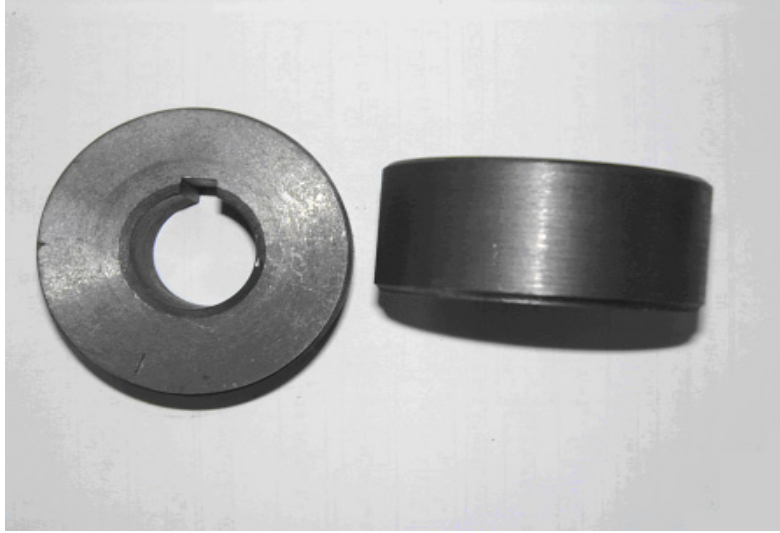
### 3.1.2 Dişli Çark Malzemeleri

Dişli çarklar çeliklerden, dökme demirlere ve plastıklere kadar birçok değişik malzemeden 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.

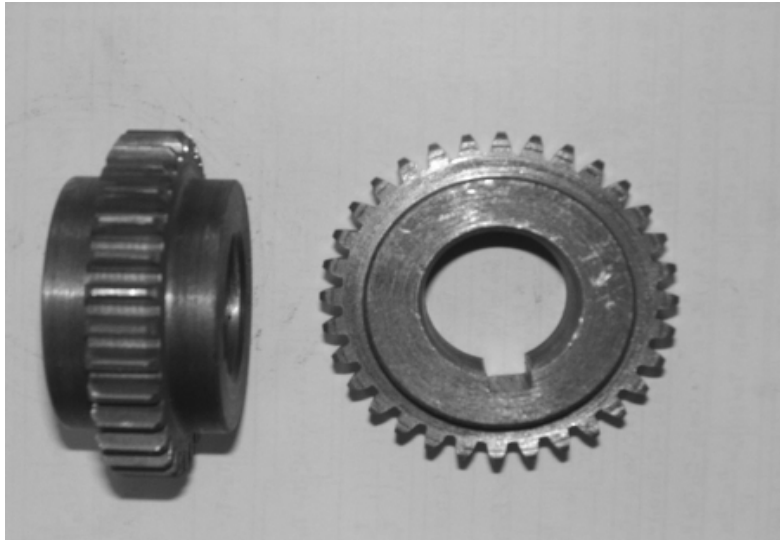
Kullanılan test dişlilerinin imalatında GGG-50 dökme demir malzeme kullanılmıştır. Bunun sebebi küresel grafitli dökme demirlerin, çelik dökümden daha ekonomik ve diğer dökme demirlere göre daha yüksek mukavemetli olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca hem dişlilerin imalat zamanından kazanmak hem de çelik malzemelere göre daha çabuk pitting oluşumunu sağlayabilmek için tercih edilmiştir.

Sfero döküm yoluyla 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 3.3). Daha sonra azdırma tezgâhında azdırma akısı ile dişleri açılmıştır (Resim 3.4).



Resim 3.3 Test (Pinyon) Dişli arklarının Dişleri Açılmadan Önceki Hali



Resim 3.4 Test (Pinyon) Dişli arklarına Diş Açılmış Halde

### 3.1.3 Dişli Yapımında Kullanılan Dişli Malzemeleri

#### 3.1.3.1 Küresel Grafitli Dökme Demirler

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/mm<sup>2</sup> den 10–30 kgf/mm<sup>2</sup> ye düşmektedir. Ayrıca lamel grafitli dökme demirler gevrek olduğundan uzama oranı %0,1–3 civarındadır. Temper dökme demirlerde ise, yumuşatma tavlama ile çekme mukavemeti 32-42 kgf/mm<sup>2</sup> 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 C 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.

### **3.1.3.1.1 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. Çünkü 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 sönmüleme 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 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	Perlitik 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).

### 3.1.3.1.2 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/mm<sup>2</sup> 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 arttıkça 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.

### 3.1.3.1.3 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 arttıkça darbe dayanımı da artar. Ancak bileşimindeki C ve Si oranı arttıkça, aynı sıcaklıklarda darbe enerjileri azalma gösterir.

Çizelge 3.5 KGDD ve Çeliklere Ait Mekanik Özelliklerin Karşılaştırılması

Malzeme	Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Uzama %	Sertlik HB	Poisson sayısı $\mu$	Elastisite modülü $\text{kN/mm}^2$
KGDD (Perlitik-Ferritik)	400-960	250-610	28-3	130-300	0,28-0,29	160-176
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	

(Aslantaş, 2003).

### 3.1.3.2 Çelik Dişli Malzemeleri

Çeliğin içindeki karbon miktarı çok önemlidir, çünkü sertliği ve böylece malzemenin mukavemetini belirlemektedir. Optimum karbon içeriği yaklaşık %0,8 dir, ısıl işlem ve su verme işleminden sonra yeterli miktarda sertlik sağlanmalıdır. Tüm çelikler sertleştirilmemiş olmasına rağmen, en iyi işleme kombinasyonuna ve fiziksel özelliklere ulaşmak için genellikle ısıl işleme tabi tutulurlar. İşlenen dişliler maksimum mukavemet için sertleştirilirler, bu işlem birçok metotla yapılabilir: karbürleme, nitrüleme, alevle veya indüksiyonla sertleştirme, karbon nitrüleme gibi bazı ısıl 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 arttırılabilir. Maksimum uygulanabilir sertliğin artmasıyla karbon içeriği de yaklaşık %0,8 e yükselmektedir, bu da aşınma korumasının karbon içeriğiyle birlikte arttığını göstermektedir.

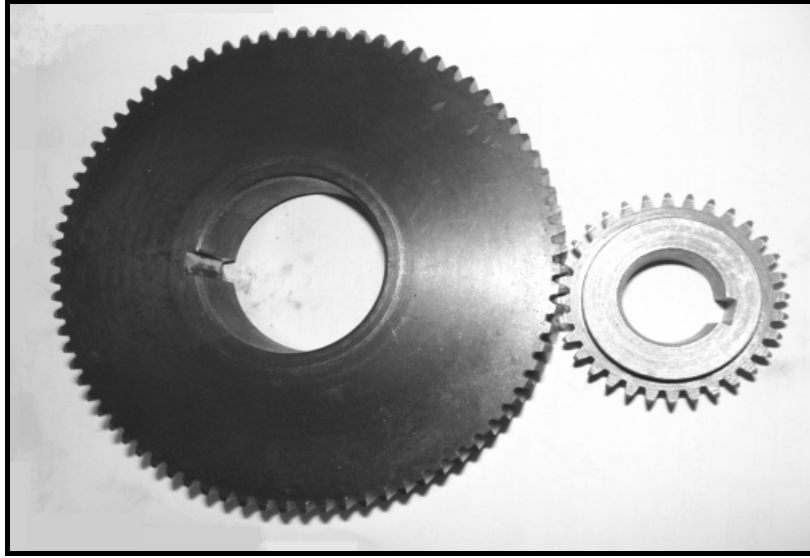
Çelik bileşiminin eşit sertlikte scoring koruması üzerinde bazı etkileri olduğu görülmektedir. Bu özellik malzemelerin kaynak kabiliyetleriyle arasında ilişki olduğunu göstermektedir. Paslanmaz çelik dişliler zayıf scoring özellikleri gösterirler, yüksek nikel alaşımları da aynı özellikleri gösterirler. krom ve molibden daha iyi scoring özelliği gösterirler. nitrülenmiş dişliler karbürlenmiş dişlilere göre daha iyi scoring direnci gösterirler.

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.

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



olmasıdır (Resim 3.5).



Resim 3.5 Çeviren ve Vasat Dişliler

### 3.1.3.2.1 MKE Normu Alaşimsız Makine Yapım Çeliği

Çizelge 3.6 Ç1050 Malzeme Normu Gösterilişi

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

Çizelge3.7 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

Uygulandığı Yerler: Cer kancaları, dişliler, kazmalar vb. yapımında

ISIL İŞLEME DURUMU

SICAK ŞEKİL VERME.....1100 – 850°C

YUMUŞAK TAVLAMA.....650 - 700 °C

NORMALİZE.....	840 - 870 °C
SERTLEŞTİRME.....	820 – 860 °C
MENEVİŞLEME.....	530 - 670 °C
SERTLEŞTİRME ORTAMI.....	YAĞDA – SUDA

#### FİZİKSEL NİTELİKLERİ

##### SERTLEŞTİRİLMİŞ VE MENEVİŞLENMİŞ DURUMDA

KOPMA DAYANIMI.....	60 – 90 kg/mm <sup>2</sup>
AKMA SINIRI.....	36 – 48 kg/mm <sup>2</sup>
KOPMA UZAMASI.....	%18 – 14

##### NORMALİZE EDİLMİŞ DURUMDA

KOPMA DAYANIMI.....	60 – 80 kg/mm <sup>2</sup>
AKMA DAYANIMI.....	34 kg/mm <sup>2</sup>
KOPMA UZAMASI.....	en az %18
ÇENTİK DAYANIMI.....	DVM 6 – 7 kgm/cm <sup>2</sup>

##### SERTLİK DAYANIMI

SUDA.....	61HRc 25mm. Ø
YAĞDA.....	58HRc 25mm.Ø
YUMUŞAK TAVLANMIŞ DURUMDA.....	en çok 260 HB30

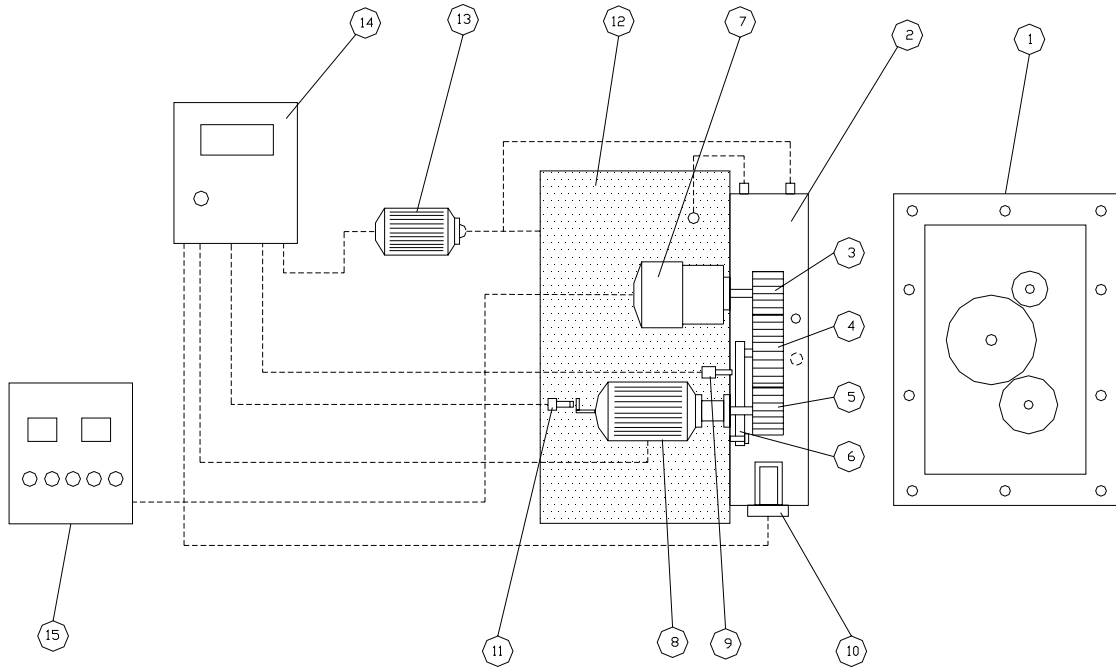
(MKE Normu, 1978)

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 çeliğinin 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.

### 3.1.4 DİŞLİ AŞINMA DENEY CİHAZI

Yapılması planlanan deneyleri gerçekleştirebilmek için dişli aşınma deney cihazı

geliştirilmiş ve imal edilmiştir. Cihazın şematik görünümü Şekil 3.1’de, çeşitli görünüşleri de (Resim 3.6 a,b,c,d)’de verilmiştir. Dişli aşınma deney 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 deney 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 Deney Cihazı Şematik Görünümü

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



Resim 3.6a Dişli Aşınma Deney Cihazının Önden Görünüşü



Resim 3.6b Dişli Aşınma Deney Cihazının Yandan Görünüşü



Resim 3.6c Dişli Aşınma Deney Cihazının Arkadan Görünüşü

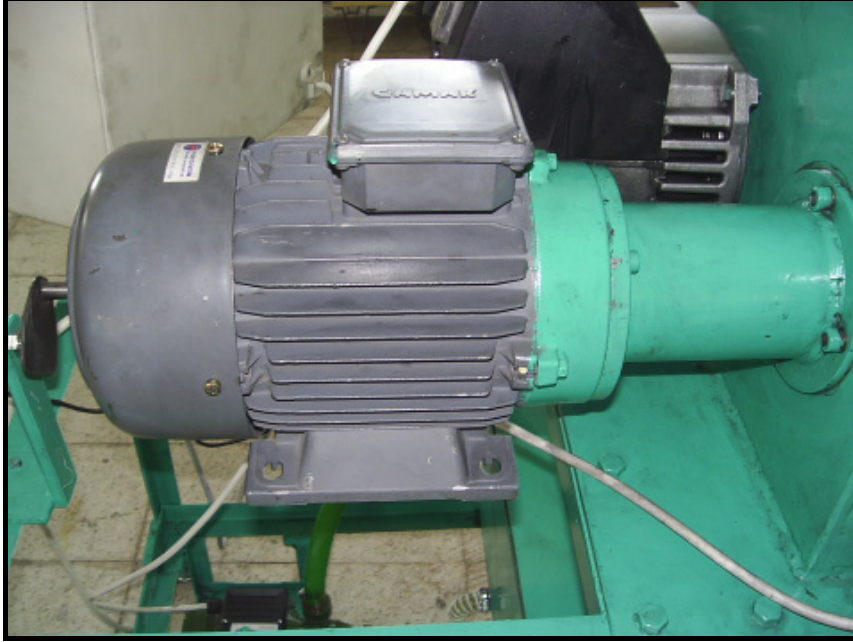


Resim 3.6d Dişli Aşınma Deney Cihazının Üstten Görünüşü

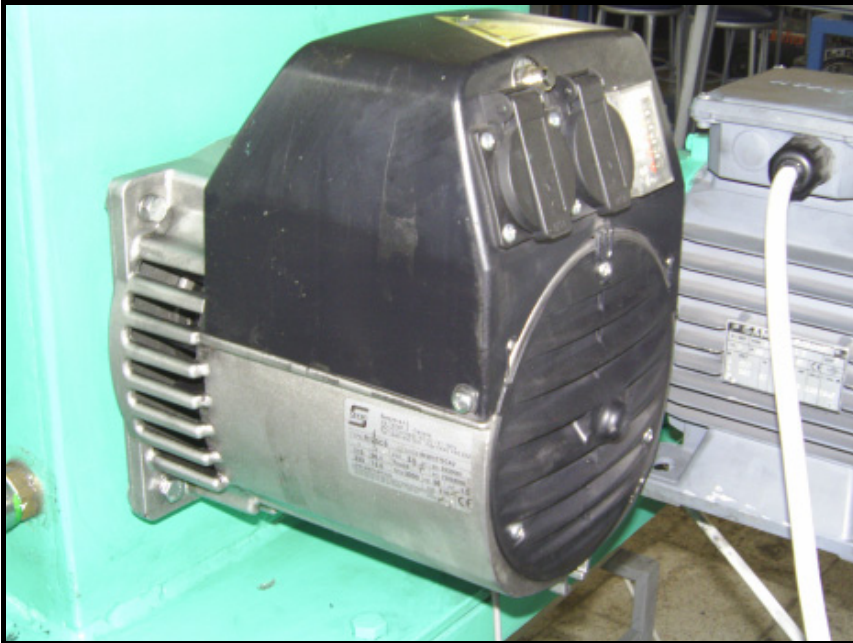
Deney cihazını tahrik eden motor, Gamak marka 3 KW gücünde, 3000 dev/dakika ile dönen trifaze tip elektrik motorudur (Resim 3.8). Kullanılan alternatör SINCRO



R12SCS markadır. Bu alternatör ise 3000 dev/dakikada 3 KW elektrik üretebilecek güçtedir (Resim 3.7).

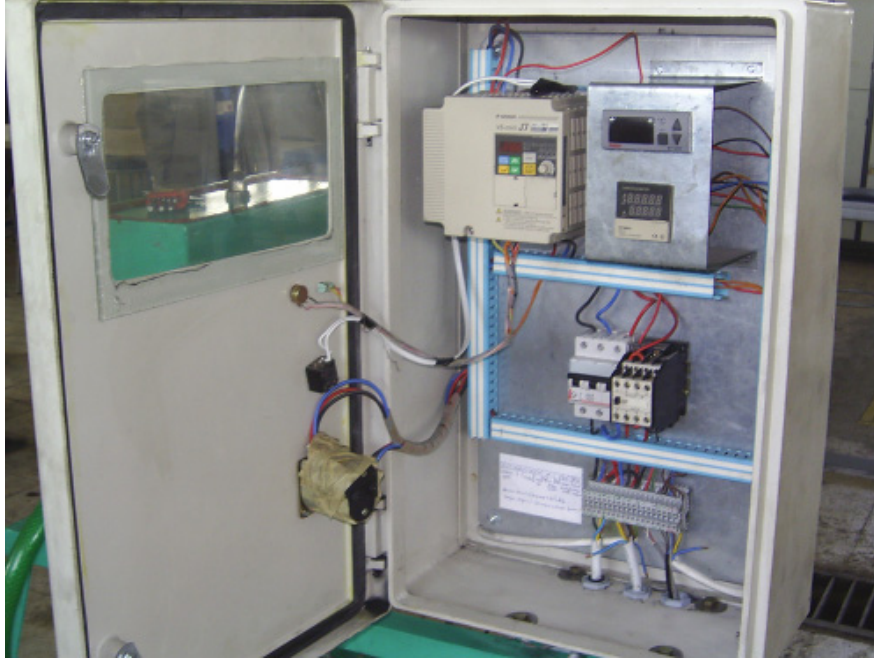


Resim 3.7 Gamak Elektrik Motoru Cihaz Üzerine Bağlanmış Halde



Resim3.8 Sincro Marka Alternatör Cihaz Üzerine Bağlanmış Halde

Ayrıca deney cihazı gelişmiş bir kontrol panosuna sahiptir (Resim 3.9).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 3.10).



Resim 3.9 Test Cihazı Kontrol Panosu

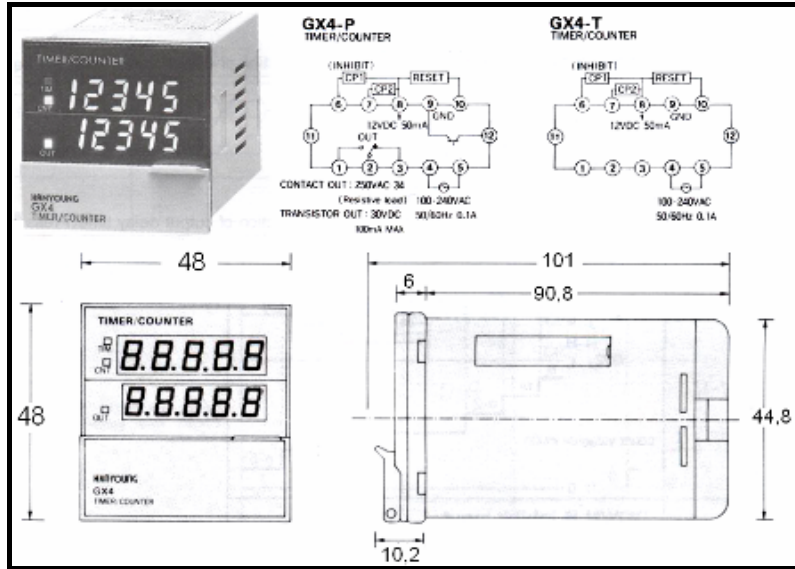


Resim 3.10 Cihazda Kullanılan Genel Amaçlı Frekans İnvvertörü

Deney cihazındaki dişlilerin yaptığı tur sayısını tespit etmek için Hanyoung GX4 timer/counter marka bir sayıcı kullanılmıştır. Sayıcının algılayıcı ucu elektrik motorunun arkasına yerleştirilmiştir (Resim3.11). 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 3.12).



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 metal perde yerleştirilmiştir. Depodaki soğutma suyunu dişli kutusuna pompalayabilmek için Sea Land marka 0,5 HP, 0,37 KW, 2800 dev/dakika özelliklerinde bir pompa kullanılmıştır ( Resim 3.13).



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 istediğimiz sıcaklığa

getirebilmemiz için Enda ET 1311 marka bir ısı kontrol cihazı kullanılmıştır (Resim 3.14 ). Aynı zamanda ısı kontrol cihazına bağlı bir sıcaklık müşiri dişli kutusuna yağın içinde kalacak şekilde içine yerleştirilmiştir.



Resim 3.14 Enda ET 1311 Marka Bir Isı Kontrol Cihazı (İnt. Kyn.1).

Deney cihazının (alternatörün) ürettiği elektriği kontrollü bir şekilde tüketmek ve böylece sistemi yüklemek için havayı ısıtan ısıtıcı cihaz (direnç) yapılmıştır. Bu ısıtıcı cihazın üzerinde beş adet 500 Watt'lık rezistans bulunmaktadır. Aynı zamanda ısıtıcının alternatörden çektiği elektrik miktarını tespit etmek için 15 A'e kadar okuma kapasitesi olan bir ibreli ampermetre ve 250 V'a kadar okuma kapasitesi olan ibreli bir voltmetre yerleştirilmiştir. Isıtıcı rezistansları ayrı ayrı açıp kapatabilmek için şalterler ve emniyetlerini sağlamak için de sigortalar konulmuştur ( Resim 3.15).



Resim 3.15 Test Cihazını Yüklemede 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 (ara-vasat dişli), hareketli bir parça (paraçol) üzerine yerleştirilmiştir. Bu sayede değişik boyutlardaki dişliler de test edilebilecektir (Resim3.16).



Resim 3.16 Dişli Kutusunun İçten 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 yerleştirilmiştir. Deney bitiminde yağı hızlı ve kolay bir şekilde boşaltabilmek için dişli kutusunun altına bir musluk ve hortum bağlanmıştır. Ayrıca dişli aşınma deney cihazının taşıyıcı sehpasının dört ayağına ikisi döner ve kilitlenebilir özellikte tekerlekler bağlanarak deney cihazı mobil hale getirilmiştir.

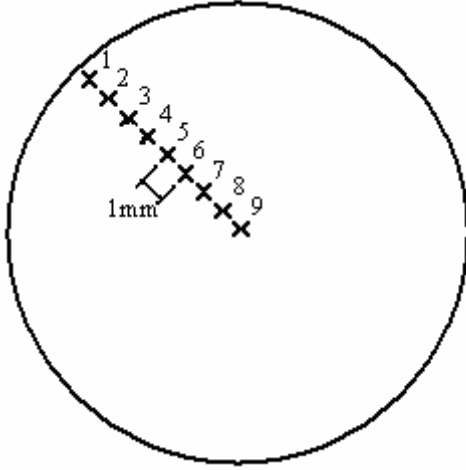
## 3.2. METOD

### 3.2.1 Sertlik Ölçme Deneyi

Dişlilerin sertlik ölçümlerinde Rockwell metodu kullanılmıştır. Sertlik ölçümleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metalografi Laboratuvarında bulunan Mettest – HT marka sertlik ölçme cihazı kullanılarak yapılmıştır ( Resim 3.17). Ölçülen sertlik değerlerinin ölçüm noktaları Şekil 3.2’ de verilmiştir.



Resim 3.17 Mettest-HT Sertlik Ölçüm Cihazı



1-80 HRB
2-85 HRB
3-82 HRB
4-83 HRB
5-81 HRB
6-84 HRB
7-86 HRB
8-84 HRB
9-82 HRB
10-83 HRB

Şekil 3.2 Ölçülen Sertlik Değerlerinin Ölçüm Noktaları

### 3.2.2 Metalografik İncelemeler

Dökümü yapılan 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 3.18).



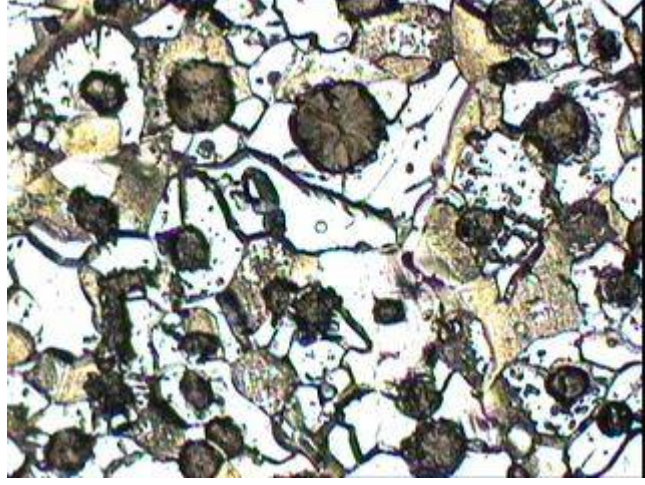
Resim 3.18 Olympus Optik Mikroskop

Hazırlanan bu numunelerle yapı içerisindeki küre dağılımı, küre boyutu ve yapının ferritik-perlitik oranı tespiti edilmiştir. Döküm sonrasında yapılan mikroskopik incelemeler sonrasında matris 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 8.3a, 3b, 3c, 3d). Numunelerin bazıları parlatma işleminden sonra direkt olarak incelenmiş, bazıları ise nital ile dağlanarak incelemeye alınmıştır.

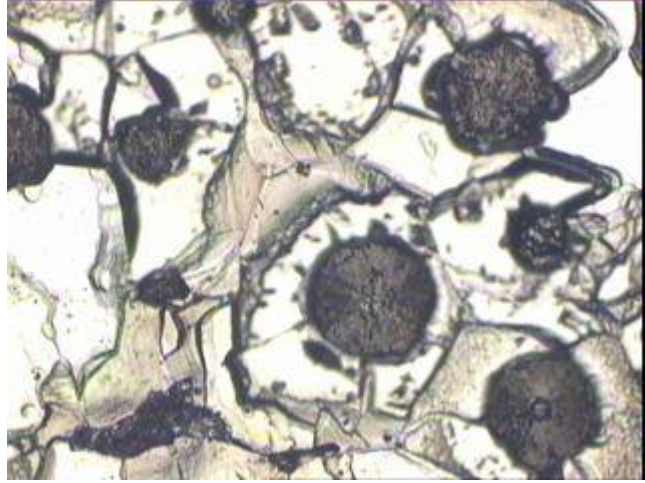


Resim 3.19a Küresel Grafitli Dökme Demir Malzemesine Ait Mikro Yapı (Dağlamasız x100)

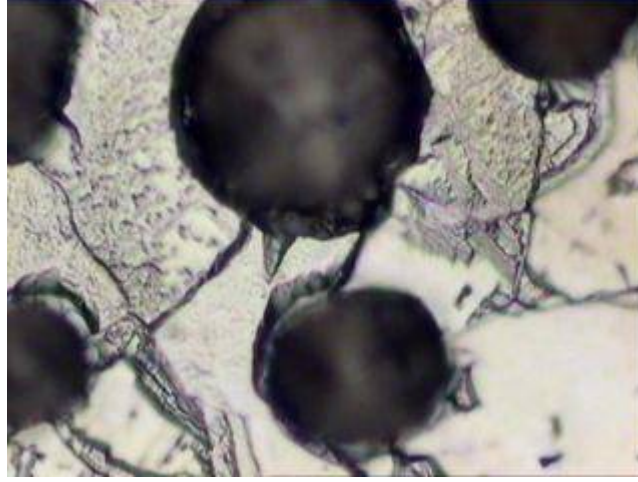




Resim 3.19b K.G.D.D Malzemesine Ait Mikro Yapı (Nital ile Dağlanmış x100 )



Resim 3.19c K.G.D.D Malzemesine Ait Mikro Yapı (Nital ile Dağlanmış x200 )



Resim3.19d K.G.D.D Malzemesine Ait Mikro Yapı (Nital ile Dağlanmış x500 )

### 3.2.3 Pitting Hasar Oluşum Deneyi

Bu çalışmada da diş yüzeylerinde meydana gelen pitting hasarlarının oluşumunu gözlemlemek için geliştirilen dişli yorulma cihazı kullanılmıştır. Deneylerde tasarlanıp imal edilen test cihazının genel görünümü Resim3.20' de verilmiştir.

Deneye tabii tutulacak pinyon ve karşılık dişlileri dişli kutusuna takıldıktan sonra kapak kapatılarak üzerindeki yağ giriş tapası açılıp içerisine makine yağı konulur. Yağın dişli göbek 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 direnç seviyesine getirilerek dişli çarklarda moment oluşumu sağlanır. Dişlinin yaptığı toplam tur sayısını (devrini) belirlemek için bir adet devir sayıcı kullanılmış olup, sayıcının algılayıcı ucu elektrik motorunun arkasına yerleştirilmiştir.





Resim 3.20 Dişli Aşınma Deney Cihazı

Deneylerde test dişlilerinin yapıldığı malzeme, devir sabit tutulup yağ sıcaklığı değiştirilmiştir. Deneylerde Speedol Multi-Track 422, 80 numara yağ kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda 30°C, 60 °C ve 90 °C sıcaklıkta ve her bir sıcaklıkta iki numune olmak üzere toplam altı (6) numune test edilmiştir.

#### Speedol Multi-Track 422 Dişli Yağı

Traktör ve iş makinelerinin transmisyon, hidrolik ve yağ banyolu fren sistemlerinde kullanılmak üzere geliştirilmiş, çok amaçlı yüksek performanslı güç iletim yağıdır. Üstün kaliteli baz yağlar ve katık kompozisyonu sayesinde yağ banyolu fren sistemleri ve aktarma ünitelerinde mükemmel ses kontrolü sağlar.

#### Kullanım yeri

Traktör ve iş makinelerinin aktarma üniteleri, frenleri, hidrolik sistemleri, son tahrik üniteleri, diferansiyelleri ve transmisyonlarında kullanılır. Speedol Multi-trak 422 motor yağı olarak kullanımı uygun değildir.

#### Sağladığı faydalar

Yağ banyolu yağlama yöntemi pas ve korozyonu önler. Dişlilerde meydana gelen aşınmalara karşı etkin koruma sağlar. Çok amaçlı oluşu nedeniyle yağlama ihtiyacını tek bir yağda giderir.

Çizelge 3.8 SAE EP 80 Yağı Performans Seviyeleri

Tipik özellikleri	
KİN. VİS 40 °C	79,6
KİN.VİS 100 °C	11,1
VİSKOZİTE İNDEKS	128
ALEVLENME NOKTASI, °C	-

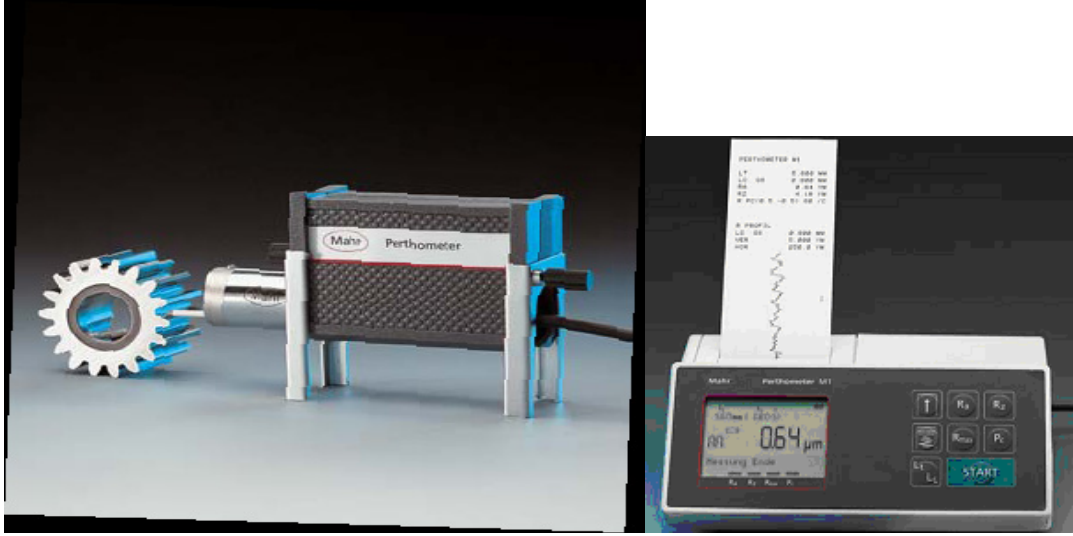
- Yukarıdaki veriler tipik değerler olup üretimden üretime değişebilir.
- Yukarıdaki performansı karşılayacak şekilde harmanlanmıştır (İnt. Kyn. 4)

### 3.2.4 Yüzey Pürüzlülük Testi

Deneyler yapılmadan önce test dişlilerinden bazılarının yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Bütün pürüzlülük ölçümleri Mahr Perthometer M2 marka yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılarak yapılmıştır (Resim 3.21a, 21b ).



Resim 3.21a Mahr Perthometer Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı



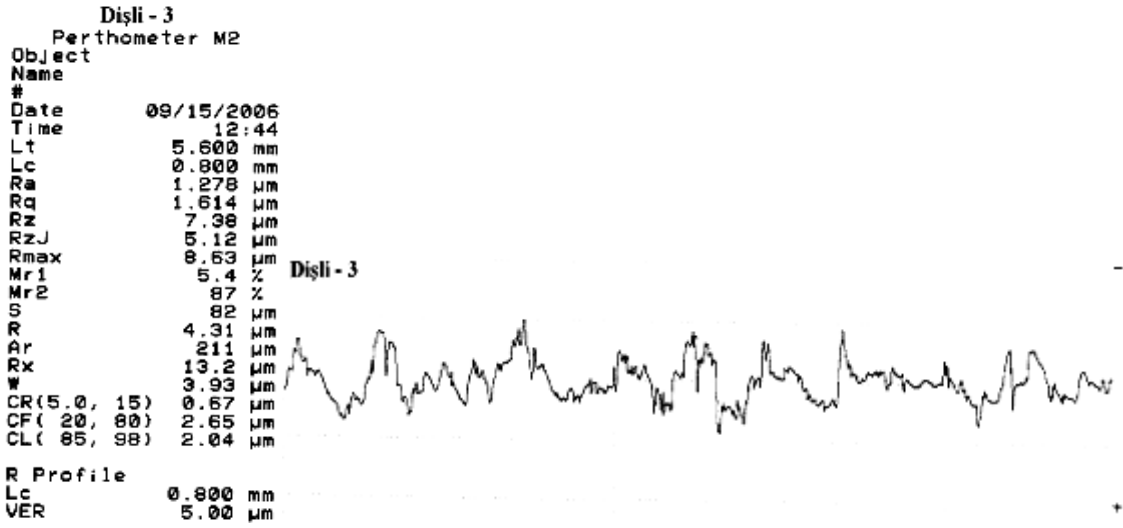
Resim 3.21b Mahr Perthometer Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı Ölçüm Sırasında

Test dişlilerinin deneylerden önceki ve deneylerden sonraki yüzey pürüzlülük ölçümlerinin yapılması ile dişli çark diş yüzeylerindeki hasar oluşumunun tespiti gerçekleştirilmiştir. Test öncesi yapılan ölçüm sonucunda çıkan değerlerden örnek olarak iki tanesi şekil 3.3’ 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.

**Dişli-1**  
Perthometer M2  
Object  
Name  
#  
Date 09/15/2006  
Time 12:40  
Lt 5.600 mm  
Lc 0.800 mm  
Ra 1.210 µm  
Rq 1.629 µm  
Rz 8.28 µm  
RzJ 4.68 µm  
Rmax 12.8 µm  
Mr1 8.3 %  
Mr2 87 %  
S 106 µm  
R 4.94 µm  
Ar 240 µm  
Rx 17.4 µm  
W 7.25 µm  
CR(5.0, 15) 0.87 µm  
CF( 20, 80) 2.33 µm  
CL( 85, 95) 2.14 µm  
R Profile  
Lc 0.800 mm  
VER 5.00 µm

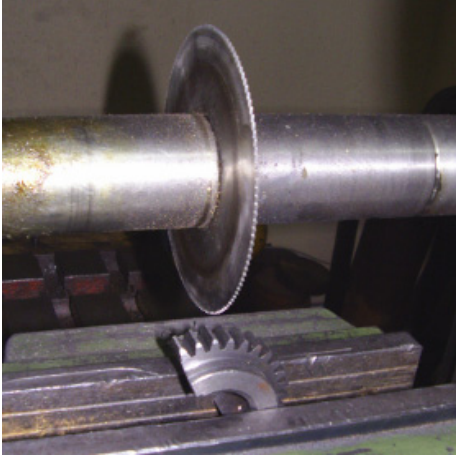
**Dişli-1**





Şekil3.3 Mahr Perthometer Yüzey Pürüzlülük Cihazı ile Test Öncesi Ölçüm Sonuçları

Test dişlilerinin deneyler tamamlandıktan sonra pürüzlülük ölçümü için dişlilerin dişleri tek tek freze tezgâhı kullanılarak kesilmiştir (Resim 8.6).

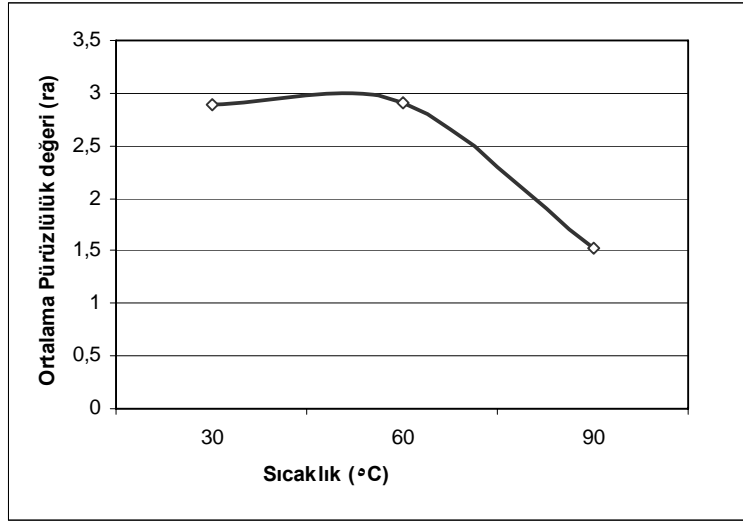


Resim 3.22 Test Dişlilerinin Dişlerinin Frezede Kesilmesi ve Kesilmiş Dişli ile Diş Numuneleri

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 3.9).

Çizelge 3.9 Değişik Sıcaklıklarda Yapılan Pürüzlülük Deney Sonuçları

Dişli no	Sıcaklık (°C)	Vizkozite (SAE)	Ortalama pürüzlülük değeri (Ra)
B <sub>1</sub> - B <sub>2</sub>	30	80	2,884
B <sub>3</sub> - B <sub>4</sub>	60	60	2,908
B <sub>5</sub> - B <sub>6</sub>	90	20	1,528



Şekil 3.4 Pürüzlülük Değeri ile Sıcaklığın Karşılaştırılması

Şekil 3.4' deki grafik incelendiğinde pürüzlülük değeri sıcaklık 60°C' ye gelene kadar düşük değerlerdedir. Çünkü kullanılan yağ, yağlama özelliğini, viskozite değerlerini büyük ölçüde korumaktadır. Sıcaklık arttıkça yağ filmi daha da zayıflamaktadır. Ancak sıcaklık 90°C'ye geldiğinde pürüzlülük değeri düşmektedir. Bunun nedeni ise yüksek sıcaklık nedeniyle yağ filminin işlevini yerine getiremez hale gelmesi, yağ viskozitesinin çok fazla düşmesi ve bu nedenle dişlinin temas halindeki yüzeylerinde çukurcuk oluşumuna fırsat bulamadan komple bir aşınmanın oluşmasıdır. Oluşan bu komple aşınma ve erime nedeniyle yüzeylerin 90°C' de daha pürüzsüz olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklık azaldıkça yağ filmi görevini yerine daha iyi yerine getirmekte ve özellikle 60°C' nin altında pürüzlülük değerleri düşük çıkmaktadır.

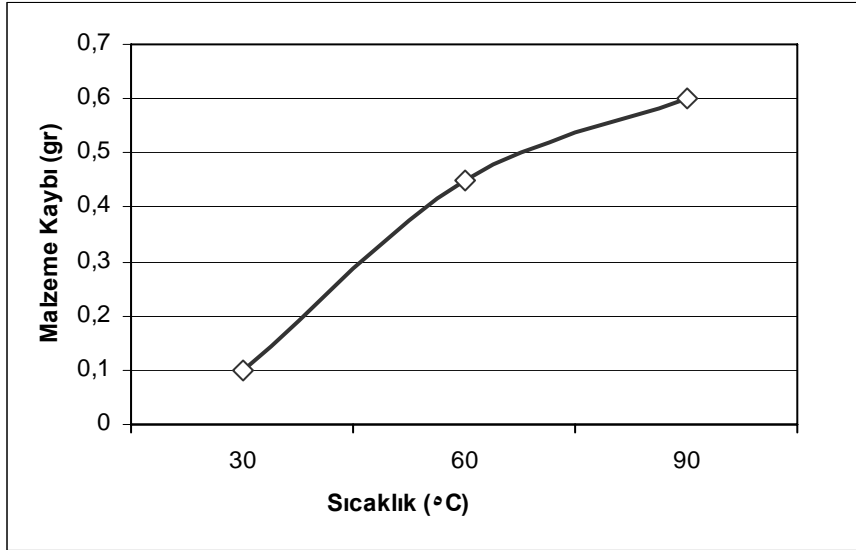
### 3.2.5 Malzeme Kaybı (Ağırlık) Testi Sonuçları

Çalışan dişli mekanizmalarında aşınma sonucunda bir miktar malzeme kayıp

olmaktadır. Deneyleerde bu malzeme kaybını ölçebilmek için 0,1 gr hassasiyetinde tartı kullanılmıştır. Deney yapılan dişliler deneyden önce ve deneyden sonra tartılarak malzeme kayıpları tespit edilmiştir (Çizelge 3.10).

Çizelge 3.10 Test Dişlilerindeki Malzeme Kaybı Verileri

Dişlinin ismi ve çalışma sıcaklığı	Test öncesi ağırlık ( gr)	Test sonrası (5 milyon tur) ağırlık	Aşınma (gr)
B 1 (30°C)	371,2	371,0	0,2
B 2 (30°C)	371,2	371,0	0,2
B 3 (60°C)	377,5	377,0	0,5
B 4 (60°C)	374,7	374,3	0,4
B 5 (90°C)	375,2	374,6	0,6
B 6 (90°C)	369,5	368,9	0,6



Şekil 3.5 Değişik Sıcaklıklardaki Ağırlık Ölçüm Grafiği

Şekil 3.5' deki grafik incelendiğinde malzeme kaybı sıcaklıkla orantılı olarak giderek artmaktadır. Sıcaklık arttıkça yağ viskozitesinin düşmesi sonucu ve yağın basınç altında dayanımının azalması ile diş yüzeyleri arasındaki yağ filmi yırtılmakta ve sonucunda da dişli yüzeyinden kopan malzeme miktarı da artmaktadır. Artan sıcaklık ile birlikte yağ viskozitesi de değişmektedir. Düşen viskozite ile doğru orantılı olarak aşınmalar artmaktadır.

### 3.2.6 SEM (Scanning Electron Microscope) Cihazının Tanıtımı

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 3.23). 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.



Resim3.23 SEM (Scannig Electron Microscope) (İnt. Kyn. 3).

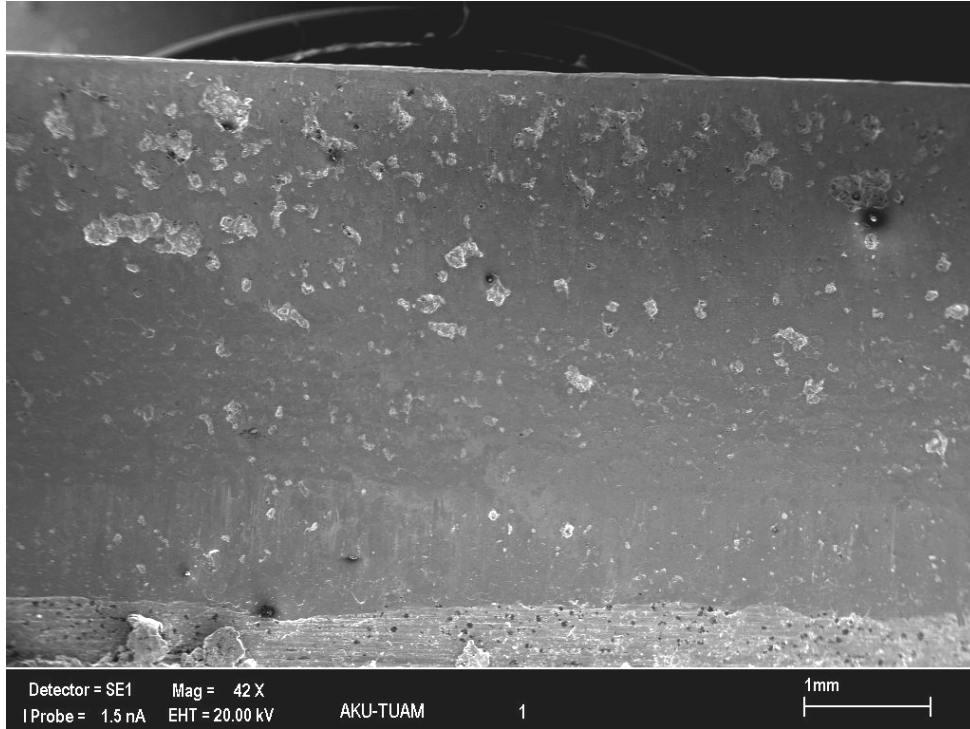
### 3.2.7 Yüzey Hasarlarının SEM Analizi

Yapılan bu deneyde bütün dişliler 5 milyon devir yaptıktan sonra durdurulmuştur. Yüzey incelemeleri için her dişliden üç numune kesilmiş ve daha sonra mikroskopta incelenmiştir. İncelemelerde 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. Deneylede sıcaklık ve viskozite kriterleri kullanıldığı için yüzey hasar incelemeleri de bu kriterler göz önüne alınarak incelenecektir.

### 3.2.8 Sıcaklığın Yüzey Hasarına Etkisi

Sıcaklık arttıkça yağ incelerek özelliklerini yitirmektedir. Bu neden yüzeyde meydana gelen pitting hasarları değişiklik göstermektedir.



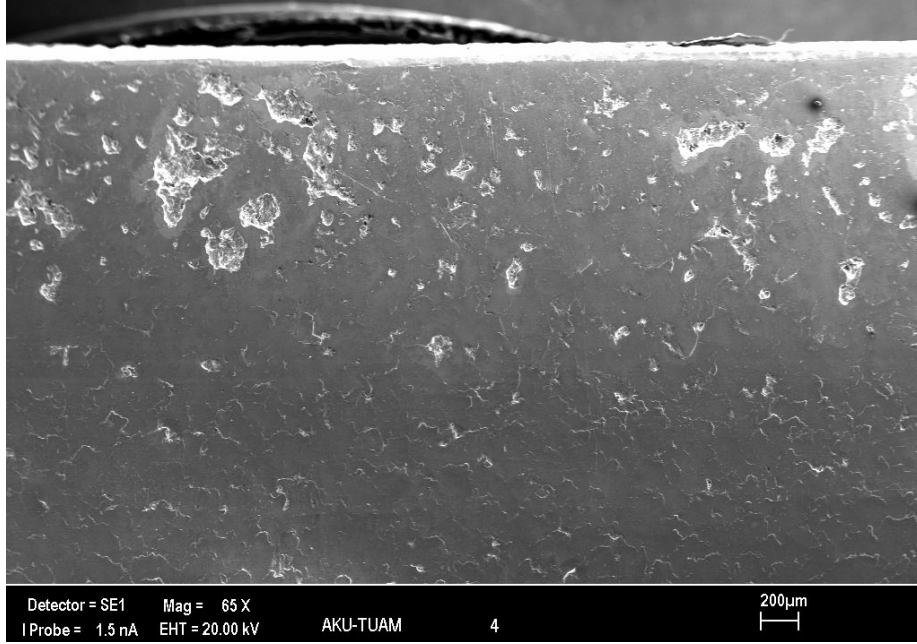
Resim3.24 30 Derecedeki Yüzey Hasarının Genel Görünüşü (Zoom X 42)

Yüzey incelemelerinin genel görünüşleri dikkate alındığında yapılan deneylerde pitting oluşumu dişin uç kısımlarında meydana gelmektedir. Pittinglerin büyüklükleri değişik ebatlarda olmakla birlikte sıcaklığın artmasıyla daha da büyümektedir. Resim 3.24, Resim 3.25 Resim 3.26' da sırasıyla 30–60–90 derece sıcaklıklardaki numunelerden çekilen SEM fotoğrafları görülmektedir.

Düşük sıcaklıklardaki deneylerde pitting oluşumu diş başı bölgesinde meydana gelmektedir artan sıcaklıkla birlikte pitting oluşumu tüm diş yüzeyine yayılmaktadır. Düşük sıcaklıklarda dişin ilk temasa geçtiği noktada (diş ucunda) daha çok yuvarlanma

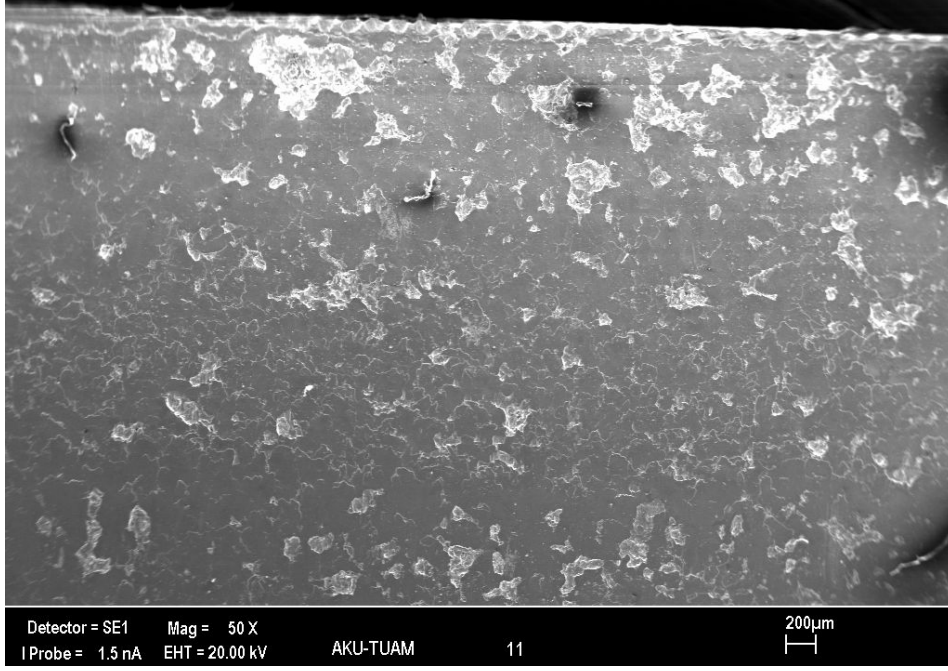


hareketi olduğu söylenebilir. Ayrıca düşük sıcaklıklarda yükün büyük bir kısmı dişin ilk temasa geçtiği noktalar tarafından desteklenmektedir. Artan sıcaklıkla yağ viskozitesi değişmekte ve dişler arasında iletilen yük tüm yüzey tarafından taşındığı düşünölmektedir.



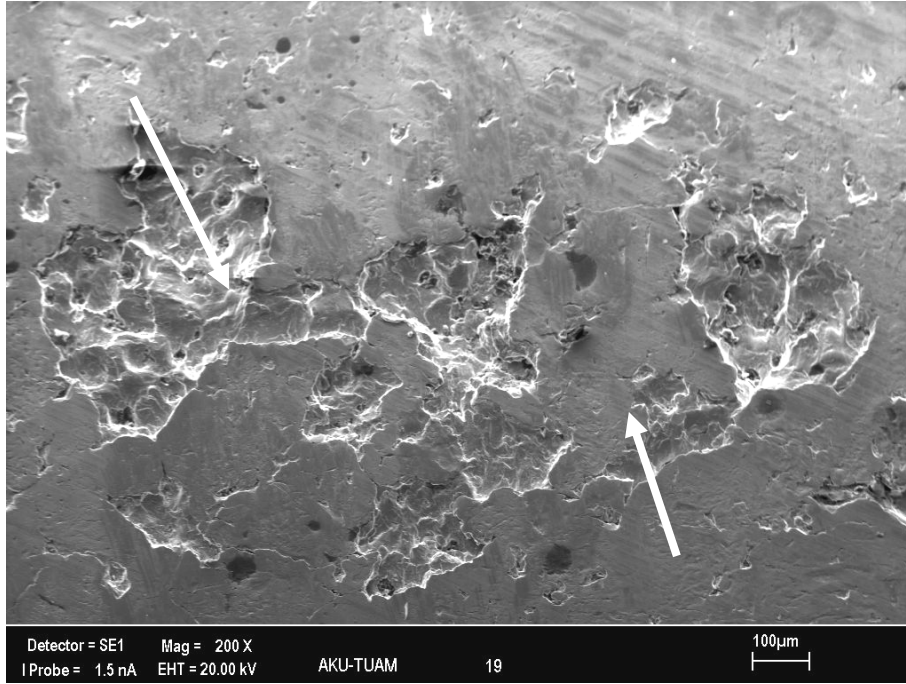
Resim 3.25 60 Derecedeki Yüzey Hasarının Genel Görünüğu (Zoom X 65)

Yüzey incelemelerine genel bakıldığı zaman düzensiz bir yapıda kırılmalar ve kopmalar meydana geldiği görölmektedir.



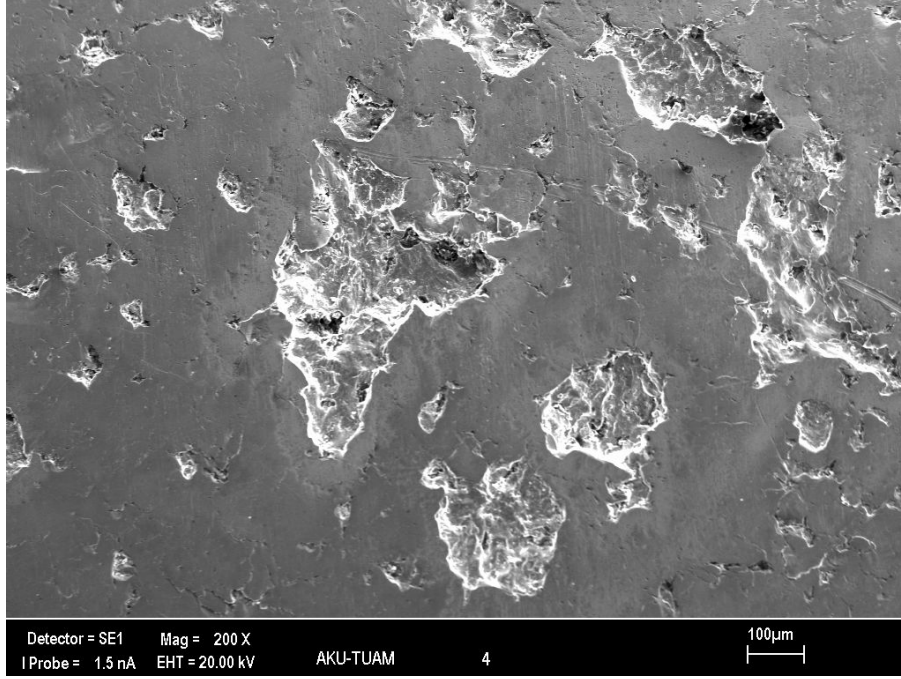
Resim 3.26 90 Derecedeki Yüzey Hasarının Genel Görünüşü (Zoom X 50)

Oluşan pittingler zaman içerisinde oluşan yüzey çatlakları ile kendi çevrelerinde büyüyerek yakınındaki küçük pittinglerle etkileşime geçerek daha büyük çukurcuklar oluşturmaktadır (Resim 3.27).

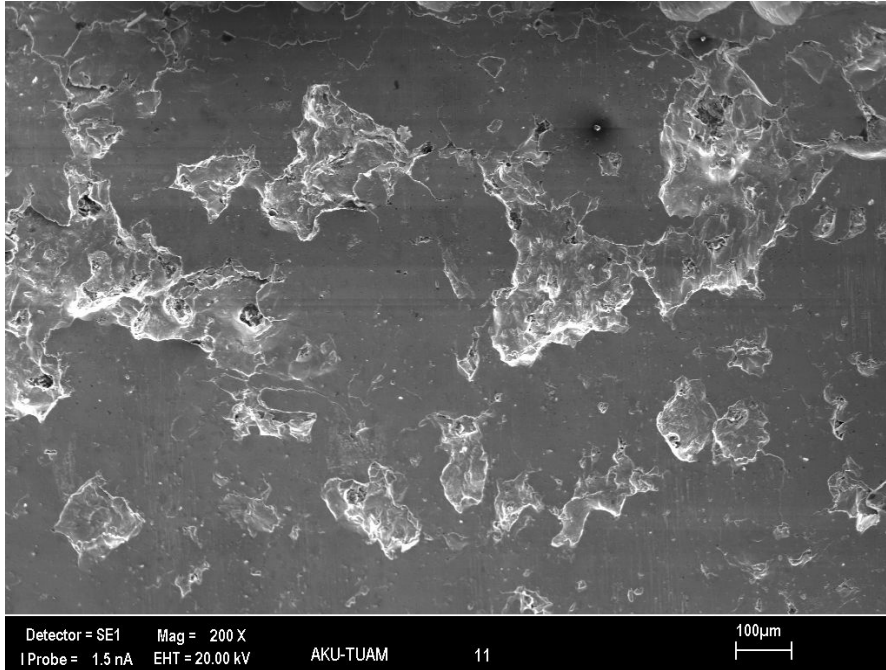


Resim 3.27 Pittingler Arasındaki İlişki (30 Derecede), (Zoom X 200)

Aşağıda Resim 3,27, 3.28 ve Resim 3.29 incelendiğinde bu olay daha açık olarak görülmektedir.



Resim 3.28 Pittingler arasındaki ilişki (60 derecede), (Zoom X 200)



Resim 3.29 Pittingler arasındaki ilişki (90 derecede), (Zoom X 200)

Yapılan karıncalanma deneyleri sonucunda yağ sıcaklığının değişimi diş yüzeylerinde

oluşan karıncalanma hasarlarının boyutunu ve ömrünü önemli derecede etkilediği gözlemlenmiştir. Çünkü yağ sıcaklığı yüksek olan dişlilerde meydana gelen çukurcukların miktarı ve büyüklükleri düşük olanlara göre daha fazladır (Çizelge 3.11).

Çizelge 3.11 Farklı Sıcaklıklarda Yapılan Deneylerin Maksimum Karıncalanma Boyutu

<b>Dişli Numunesi</b>	<b>Sıcaklık (°C)</b>	<b>Maksimum karıncalanma boyutu (µm)</b>
1	30	450
2	60	800
3	90	870

#### 4. BULGULAR

Bu çalışmanın amacı küresel grafitli dökme demirden imal edilen düz dişlilerde meydana gelen pitting hasarının nedenlerinin araştırılmasıdır. Yapılan incelemelerde dişli çarklardaki aşınmaların birçok faktör tarafından meydana getirildiği anlaşılmıştır. Bunların en önemlileri çalışma sıcaklıkları ve yağlayıcılarıdır.

Testler için ilk önce dişli test cihazları araştırılmış ve yeni bir tasarım geliştirilip imal edilmiştir. Bu yeni test cihazının diğer test cihazlarından bazı avantajlı yönleri vardır; Bu cihaz tarafından test dişlilerine uygulanan yük tam olarak kolaylıkla belirlenebilmektedir. Ayrıca bu cihaz diğerlerine göre daha ufak boyutlardadır. Ara dişlisinin takıldığı paraçolun hareketli olması sayesinde farklı modül ve diş sayılarındaki dişlileri test etme imkanı vardır. Kullanımı kolaydır. Cihaz durur haldeyken veya çalışır durumdayken kolaylıkla yüklenebilmektedir. Cihazla farklı sıcaklıklarda testler yapabilmek imkânı vardır. İstenilen yere rahatlıkla götürülebilmektedir.

İmalatı yapılan cihaz üzerinde deneyler yapılmıştır. Deney numuneleri 5 milyon devir yaptıktan sonra durdurulmuş ve numuneler üzerinde incelemeler yapılmıştır.

Yüzey pürüzlülük testlerinde çıkan sonuçlara göre yağ sıcaklığı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün ve malzeme kaybının arttığı görülmüştür. Benzer şekilde kullanılan yağ viskozitesi düştükçe de yüzey pürüzlülüğü ve malzeme kaybı artmaktadır.

SEM fotoğrafları incelendiğinde pittingler dişli uç kısımlarında yoğunlaşmıştır. Ayrıca düzensiz bir yapıdadırlar. Yağ sıcaklığının artması ile yağ viskozitesinin düşmesi sonucunda pitting boyutlarının arttığı ve tüm diş yüzeyine yayıldığı görülmüştür.

## 5. ÖNERİLER

- İmal edilmiş olan dişli yorulma test düzeneği daha güçlü motor ve dinamoyla yenilenecek uygulanan yük artırılıp, daha büyük yüklerdeki aşınmalar incelenebilir.
- Deneyde kullanılan test sıcaklıklarından farklı sıcaklıklar uygulanarak dişli yüzeylerine etkileri incelenebilir.
- Deneyde kullanılan yağdan farklı viskoziteye sahip yağların GGG 50 malzemedeki pitting oluşumu üzerine etkileri incelenebilir.
- Deneyde kullanılan farklı malzemelerle dişliler imal edilerek pitting oluşumu incelenebilir.
- Çeşitli yüzey işleme uygulanmış dişlilere ait dişlerdeki pitting oluşumu üzerinde araştırmalar yapılabilir.

## 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.
- 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.
- Chen, J., Anderson, N., Mckenzie, M., 1998; “Effect Of Planetary Pinion Bearing Lubrication Methods On Operating Temperature And Life”, SAE Special, Vol. 1324, Feb, Transmission And Driveline Systems Symposium: New Developments And Advanced concepts In Systems And Components, pp. 223–232.
- 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.
- Dick, K., Lenard, J.G., 2005; “The Effect Of Roughness And Lubricant Viscosity On The Loads On The Mill During Cold Rolling Of Steel Strips”, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 168, pp. 16–24.
- 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., 2004; "Dişdibi Gerilmelerinin Analizi İçin Düz Dişli Çarkların Sonlu Eleman Modellenmesi", Mühendis ve Makina, Cilt: 19, Sayı:2, 199- 203.
- 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.
- Hsu, S.M., Gates, R.S., 2005; "Boundary Lubricating Films: Formation And Lubrication Mechanism", Tribology International, Vol. 38, pp. 305–312.
- Iglesias, P., Bermudez, M.D., Carrion, F.J., Martinez- Nicolas, G., 2003; "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.
- İmrak, 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., 2002; "Metallurgical Analysis Of Failed Gear", Engineering Failure Analysis, Vol. 9, pp. 359–365.
- Jia, J.H., Zhou, H.D., Gao, S.Q., Chen, J.M., 2002; "A Comparative Investigation Of The Friction And Wear Behavior Of Polyimide Composites Under Dry Sliding And Water- Lubricated Condition", Materials Science And Engineering, Vol. A356, pp. 48–53.
- 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.

- Jia, J., Chen, J., Zhou, H., Hu, L., Chen, L., 2005; “Comparative Investigation On The Wear And Transfer Behaviors Of Carbon Fiber Reinforced Polymer Composites Under Dry Sliding And Water Lubrication”, Composites Science And Technology, Vol. 65, pp. 1139–1147.
- Keskin, M.S., 2002; “Silindirik Düz Dişli Çarklarda Yağlayıcı Viskozitenin Aşınmaya Olan Etkilerinin Deneysel İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kim, S.S., Lee, H.G., Lee, D.G., 2005; “The Tribological Behavior Of polymer Coated Carbon Composites Under Dry And Water Lubricating Conditions”, Composite Structures, Vol.77, pp. 364–372
- Long, H., Lord., A.A, Gethin., D.T, Roylance, B.J; “Operating Temperatures of Oil-Lubricated Medium-Speed Gears: Numerical Models and Experimental Results” Journal of Aerospace Engineering, v 217, n 2, 2003, p 87-106
- Luke, P., Oliver, A.V., 1999; “A Study Of Churning Losses In Dip- Lubricated Spur Gears”, Journal Of Aerospace Engineering, Vol. 213, Number: 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 Luricated With İndustrial 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.
- Padgornik, B., Vizintin, J., 2003; “Wear Resistance Of Plasma And Pulse Plasma Nitrided Gears”, Gear Tecnology, pp. 33–37
- Şekercioğlu, T., Kovan, V., 2006; “Pitting Failure Of Truck Spiral Bevel Gear”, Engineering Failure Analysis, Vol. 14, pp. 614-619
- 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.
- Xiang, D., Shan, K., 2005; “Friction And Wear Behavior Of Self- Lubricating And Heavily Loaded Metal- PTFE Composires”, Wear, Vol. 260 (9-10), pp.1111-1118
- 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 MoSi<sub>2</sub> Under Water Lubrication”, Materials Letters, Vol. 59, pp. 583–587.

**İnternet Kaynakları:**

**Erişim Tarihi:**

- |  |            |
|--|------------|
| 1- <a href="http://sintebros.com.sg/enda_ET1311.pdf">http://sintebros.com.sg/enda_ET1311.pdf</a>           | 10.10.2006 |
| 2- <a href="http://etd.adm.unipi.it/theses/available/etd">http://etd.adm.unipi.it/theses/available/etd</a> | 10.10.2006 |
| 3- - <a href="http://www.tuam.aku.edu.tr/malcih.html">http://www.tuam.aku.edu.tr/malcih.html</a>           | 10.10.2006 |
| 4- <a href="http://www.speedol.com.tr/urunler.html">http://www.speedol.com.tr/urunler.html</a>             | 11.01.2007 |

## 7. EK

### Hertz Basınç Hesabı

#### Eşdeğer varıçap hesabı:

$$R_1 = \frac{d_1 \sin \phi}{2} = \frac{64 \sin 20}{2} = 10,944 \text{ mm.}$$

(Test Dişlisi İçin)

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

#### R<sub>1</sub> ve R<sub>2</sub>' ve bağlı olarak eşdeğer varıçap:

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

#### Eşdeğer elastisite modülünün hesabı:

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

#### Burulma momenti hesabı:

$$Mb = 9550 \frac{P}{n} \text{ N / mm}$$

$$Mb = 9550 \frac{500}{2910}$$

$$Mb = \frac{4775000}{2910}$$

$$Mb = 1640 \text{ N / mm}$$

**Temas basıncı hesabı:**

$$F_T = \frac{2 * M_b}{d_0} = \frac{2 * 1640}{64} = \frac{3280}{64} = 51,25N$$

$$F_N = \frac{F_T}{\cos 20} = \frac{51,25}{\cos 20} = 54,6N$$

**Diş genişliği L= 10 mm olduğundan,**

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

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

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

$P_0 = 148,5MPa$  olarak elde edilir.

## 8. ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı:** Bahadır İŞEL  
**Doğum Yeri:** ESKİŞEHİR  
**Doğum Tarihi:** 1973  
**Medeni Hali:** EVLİ  
**Yabancı Dili:** İNGİLİZCE

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

**Lise:** ATATÜRK ENDÜSTRİ MESLEK LİSESİ- (1990) - ESKİŞEHİR  
**Lisans:** GAZİ ÜNİVERSİTESİ T.E.F. MAKİNE ÖĞRETMENLİĞİ BÖL. (1994)-  
ANKARA

### Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl aralığı

AFYONKARAHİSAR ANADOLU TEKNİK LİSESİ, TEKNİK LİSE VE ENDÜRTRİ  
MESLEK LİSESİ MAKİNE ALANI ÖĞRETMENİ (HALEN AYNI KURUMDA  
GÖREV YAPMAKTA)

GÖREVE BAŞLAMA YILI: 1994