

## **TEŞEKKÜR**

Yüksek lisans çalışmamda beni teşvik eden ve her türlü yardımlarını esirgemeyen başta hocam Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Öğretim Üyesi sayın Yrd.Doç.Dr. Cengiz ÖNER'e teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Ayrıca senkron metal yönetim kurulu üyesi Mak.Müh. Turgut HALAMOĞLU'na, Fırat Üniversitesi T.E.F. Makine Eğitimi Öğretim Üyelerine, Araştırma Görevlilerine, T.E.F. otomotiv ve talaşlı üretim atölyesi teknisyenlerine ve bu çalışma süresince her zaman yanımda bulunduğum değerli aileme teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

|                                                             | <u>Sayfa</u> |
|-------------------------------------------------------------|--------------|
| İÇİNDEKİLER-----                                            | I            |
| ŞEKİLLER LİSTESİ -----                                      | II           |
| TABLolar LİSTESİ-----                                       | III          |
| ÖZET-----                                                   | IV           |
| ABSTRACT-----                                               | V            |
| 1. GİRİŞ -----                                              | 1            |
| 2. YATAKLAR -----                                           | 2            |
| 2.1. Kaymalı Yataklar -----                                 | 2            |
| 2.1.1. Enine (Radyal) Kaymalı Yataklar -----                | 2            |
| 2.1.1.1. Gövdesi Tek Parçalı Kaymalı Radyal Yataklar-----   | 3            |
| 2.1.1.2. Gövdesi İki Parçalı Kaymalı Radyal Yataklar -----  | 3            |
| 2.1.2. Boyuna (Eksenel) Kaymalı Yataklar -----              | 4            |
| 2.1.3. Enine-Boyuna (Radyal-Eksenel) Kaymalı Yataklar ----- | 4            |
| 2.2. Yuvarlanmalı Yataklar -----                            | 4            |
| 2.3. Kaymalı Yatakların Yapısı -----                        | 5            |
| 2.4. Yatak Yükleri -----                                    | 7            |
| 2.5. Müsaade Edilen Yatak Yükleri -----                     | 9            |
| 2.6. Krank Mili Kol Yatakları -----                         | 10           |
| 2.7. Krank Mili Ana Yatakları -----                         | 11           |
| 2.8. Yatak Şelleri -----                                    | 11           |
| 2.9. Yatak Klerensleri (Boşluk) -----                       | 13           |
| 2.10. Yatak Malzemesinden Beklenen Özellikler -----         | 14           |
| 3. YATAK MALZEMELERİ -----                                  | 15           |
| 3.1. Yatak Malzemesi Çalışmaları -----                      | 15           |
| 3.1.1. Beyaz Metaller -----                                 | 17           |
| 3.1.2. Bakır Kökenli Yatak Metalleri -----                  | 18           |
| 3.1.3. Diğer Alaşım Metaller -----                          | 19           |
| 3.2. Yatakların Korunması -----                             | 20           |
| 4. İÇTEN YANMALI MOTORLARDA YAĞLAMA VE AŞINMA-----          | 21           |
| 4.1. Yağlamanın Önemi -----                                 | 21           |
| 4.2. Yataklarda Yağlama Şekilleri -----                     | 22           |
| 4.3. Hidrodinamik Yağlama-----                              | 22           |
| 4.4. Hidrostatik Yağlama -----                              | 23           |

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| 4.5. Yatak Hasarları -----                                            | 23 |
| 4.6. Yatak Hasarlarının Başlıca Sebepleri -----                       | 24 |
| 4.7. Aşınmanın Tanımı -----                                           | 24 |
| 4.8. Aşınma Sistemleri -----                                          | 25 |
| 4.9. Aşınmayı Etkileyen Faktörler -----                               | 25 |
| 4.10. Aşınma Mekanizmalarına Göre Aşınma Türleri -----                | 26 |
| 4.11. Aşınma Deneylerinde Kullanılan Deney Düzenekleri -----          | 26 |
| 4.11.1. Laboratuar Aşınma Deneylerinde Kullanılan Cihaz Türleri ----- | 27 |
| 4.11.2. Deney Koşulları ve Sınıfları -----                            | 27 |
| 5. DENEY DÜZENEGİ -----                                               | 29 |
| 5.1. Deney Setinin Tanıtımı -----                                     | 30 |
| 5.1.1. Hareket İletim Ünitesi -----                                   | 31 |
| 5.1.2. Yatak Ünitesi-----                                             | 31 |
| 5.1.3. Yağlama Ünitesi-----                                           | 32 |
| 5.1.4. Yağ Sıcaklığı Kontrol Ünitesi -----                            | 32 |
| 5.1.5. Yağ Basınç Göstergesi-----                                     | 33 |
| 5.1.6. Yatak Yükleme Ünitesi-----                                     | 33 |
| 5.2. Deney Setinin Kurulması-----                                     | 34 |
| 5.3. Yatak Numuneleri-----                                            | 36 |
| 5.4. Deney Numunelerinin Hazırlanması-----                            | 38 |
| 5.5. Deneyin Yapılışı-----                                            | 39 |
| 5.6. Metalografik Çalışma İçin Yatak Numunelerinin Hazırlanması-----  | 39 |
| 6. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME-----                                     | 41 |
| 6.1. Ağırlık Kaybına Göre Aşınma -----                                | 41 |
| 6.2. Sertliğin Etkisi -----                                           | 43 |
| 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER-----                                          | 49 |
| KAYNAKLAR -----                                                       | 50 |
| ÖZGEÇMİŞ-----                                                         | 52 |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1. Radyal kaymalı yatak ve yatak yükü değişimi .....                             | 3  |
| Şekil 2.2. Eksenel kaymalı yatak görüntüsü .....                                         | 4  |
| Şekil 2.3. Rulmanlı yatağın genel görüntüsü .....                                        | 5  |
| Şekil 2.4. İçten yanmalı motorlarda yatakların kesit görüntüsü.....                      | 7  |
| Şekil 2.5. Kaymalı yatak yük dağılımı .....                                              | 8  |
| Şekil 2.6. İçten yanmalı motorlarda kullanılan kol yatağı .....                          | 10 |
| Şekil 2.7. Krank mili ana yataklarının blok üzerindeki görüntüsü .....                   | 11 |
| Şekil 2.8. Yatak şeli .....                                                              | 12 |
| Şekil 2.9. Ana yatak şellerinin kesit görüntüsü .....                                    | 13 |
| Şekil 4.8. Aşınma mekanizması .....                                                      | 25 |
| Şekil 5.1. Deney düzeneğinin şematik görünümü .....                                      | 29 |
| Şekil 5.2. Deney düzeneğinin görünümü .....                                              | 30 |
| Şekil 5.3. Krank mili ana yatak ve krank mili bağlantı görünümü .....                    | 31 |
| Şekil 5.4. Yağ emiş tertibatı ve yağ pompası yağlama sistemi dış görünümü .....          | 32 |
| Şekil 5.5. Dijital sıc. göstergesi ve termo elamanın deney düz. üzerindeki görünümü..... | 32 |
| Şekil 5.6. Basınç göstergesinin görünümü .....                                           | 33 |
| Şekil 5.7. Yatak yükleme ağırlıklarının görünümü .....                                   | 34 |
| Şekil 5.8. Deney düzeneğinin genel görünümü.....                                         | 35 |
| Şekil 5.9.A. Opel marka motorun orijinal yatakları.....                                  | 34 |
| Şekil 5.9.B. Toz püskürtme yöntemiyle üretilen yatak numunesi .....                      | 34 |
| Şekil 5.10.A. Toz metalin tabancadan püskürtülmesi.....                                  | 38 |
| Şekil 5.10.B. Toz püskürtme işleminin uygulanması.....                                   | 38 |
| Şekil-6.1. Pb-Sn-Cu-ZrO Alaşımından Hazırlanan Yatak Numunesi.....                       | 41 |
| Şekil-6.2. Deneyde Kullanılan Opel Marka Motorun Orijinal Yatağı.....                    | 42 |
| Şekil 6.Y. Kaplama Yapılmış Yatağın Çalışma Sonrası SEM Fotoğrafı.....                   | 44 |
| Şekil 6.Y.1. Kaplama Yapılmış Yatağın Çalışma Sonrası SEM Fotoğrafı.....                 | 45 |
| Şekil 6.X. Orijinal Yatağın Çalışma Sonrası SEM Fotoğrafı.....                           | 45 |
| Şekil 6.X.1. Orijinal Yatağın Çalışma Sonrası SEM Fotoğrafı .....                        | 46 |
| Şekil 6.3.5. Kaplama Yapılmış Yatağın Çalışma Sonrası SEM Fotografi .....                | 46 |
| Şekil 6.3.6. Kaplama Yapılmış Yatağın Çalışma Sonrası SEM Fotoğrafı .....                | 47 |

## TABLÖLAR LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                    |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>Tablo 2.1.</b> Farklı malzemelerden yapılmış yataklarda müsaade edilen yatak yükü değerleri ..9 |  |
| <b>Tablo 5.3.1.</b> 1009 ncu Ana tamir fabrikasında yapılan atomik yapı analizleri sonucu .....36  |  |
| <b>Tablo 6.1.</b> Yatakların ağırlık ağırlıkları .....41                                           |  |

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **KURŞUN ESASLI KRANK MİLİ KAYMALI YATAK MALZEMESİNİN AŞINMA DAVRANIŞI**

**İbrahim CAN**

**Fırat Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Eğitimi Anabilim Dalı**

**2005, Sayfa:52**

Bu çalışmada içten yanmalı motorlarda kullanılan geleneksel krank mili ana yatak malzemesine alternatif olabilecek bir krank mili ana yatak malzemesi geliştirilmiş, bu yatağın aşınma davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Krank mili ana yatakları çok farklı etki ve zorlamaların tesiri altında çalışmaktadır. Bu zorlu şartlara uyum sağlayabilecek, Pb-Sn-Cu-ZrO içerkli yatak malzemesi çelik yatak şeli çalışma yüzeyine toz püskürtme yöntemi kullanılarak kaplanmıştır.

Yatağın aşınma davranışları, hazırlanan deney düzeneğinde motorun gerçek çalışma şartları simülasyonu yapılarak incelenmiştir. Yeni üretilen yatak numunesi ve Opel marka motorun orijinal yatakları aynı anda motora bağlanarak deney seti çalıştırılmıştır. Böylelikle eşit çalışma şartlarında nasıl bir davranış sergiledikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu süreçte, krank mili devir sayısı, yatak yükü, yağ sıcaklığı ve yağ basıncı sabit tutulmuştur.

Her iki malzeme için de, karşıt malzeme olarak motorun orijinal krank mili kullanılmıştır. Krank milinin kollarına, yataklara eşit uzaklıklarda ağırlıklar bağlanarak milin balansı bozulmuştur böylece oluşan merkezkaç kuvveti ile yataklar zorlanmıştır. Yatakların yağlama işlemi ise motora ait yağlama sistemi tarafından gerçekleştirilmiş. Yağ sıcaklığı termostatlı ısıtıcı kullanılarak sabitlenmiştir.

Deney seti 500 saat çalıştırılarak yeni formülasyonlu yatak ve orijinal yatak sökölerek tartı yöntemi ile ağırlık kayıpları tespit edilmiştir. Her iki yataktan alınan numunelerin çalışmış yüzeylerinin SEM (Scaning Electron Microscopy) fotoğrafları çekilip aşınma yorumlanmıştır. Ayrıca EDS (Energy Dispersive Spectrography) analiz, Atomik yapı analizi ve mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen bulgulara dayanılarak, üretimi yapılan yatak numunesinin, orijinal yatak numunesine göre aşınmaya karşı daha dirençli olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Krank Yatakları, Pb, Toz Püskürtme, Aşınma

## **ABSTRACT**

### **Master Thesis**

## **THE WEAR BEHAVIOUR OF LEAD BASIS CRANK SHAFT BEARING MATERIAL**

**İbrahim CAN**

**Firat University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Machine Education**

**2005, Page:52**

In this study, a new crank shaft main bearing material was developed and the wear behaviour of this material experimentally investigated which can be used instead of the conventional one. The crank shaft main bearing have run under the different effects of loads and strengths. From this point of view, the Pb – Sn – Cu – ZrO bearing material coated the steel bearing surface by powder spray process.

The wear behaviour of bearing was conducted with using the real running simulation conditions of engine. The new developed and the original bearing of Opel engines were fixed to engine and run simultaneously. Thus, the run performance have compared at the same conditions. During the run process, the spindle speed of crank shaft, the bearing load, the oil temperature and oil pressures were kept constantly.

The original crank shaft's surface was chosen the counter face for the both materials. The shaft was unbalanced binding the weights equal distance from the crank shaft the bearing were forced by obtained centrifugal forces. The bearing lubrication was provided by the engine's own lubrication system, whereas the oil temperature was fixed using a thermostat heater.

The weight losses of the new developed and conventional bearings were determined after 500 hours of run duration of the experimental setup. The SEM micrographs of the both material's worn surfaces were studied and the wear behaviour

was discussed. In addition, the EDS, atomic structure and microhardness tests were conducted. According to the analysis results, it is observed that the new developed bearing material have an obvious advantage to the conventional one in the mean of wear resistance.

**Keywords:** Crank Shaft Bearings, Pb, Powder spreay, Wear

## 1.Giriş

Modern otomobil motorlarının tasarımı yapılırken yüksek devir, yüksek çıkış gücü, düşük gürültü seviyesi ve düşük özgül yakıt tüketimi şartlarını sağlaması gerekliliği göz önünde tutulmaktadır. Bu ihtiyaçlara karşılık verebilmek için motor yataklarının yüksek yükler ve sıcaklık durumları altında çalışması gerekmektedir.

Motor yataklarının uzun süre, yüksek yük altında çalışması, krank mili yataklarının yorulma direnci, ısı direnç ve aşınma direncini daha fazla arttırma ihtiyacı doğmuştur. Teknolojik gelişmeler sonucu mil ve yataklar arasındaki yağ kalınlığının gittikçe azalması, yatağın çalışma şartlarını daha zorlu hale getirmektedir. Yağ filmi inceldikçe yatak ile mil yüzeyleri temas etmekte, bu durum ise normalin üzerinde aşınma ve yatak sarması tehlikesini ortaya çıkarmaktadır. Motor maliyetlerinin düşük olması yönündeki taleplerin de aynı zamanda artması. Krank millerinin aşınmalarını azaltacak uzun ömürlü yatak malzemelerinin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır.

Bu şartlara cevap verebilmesi için geleneksel yataklardan farklı malzeme içeren kaymalı yatak üretim çalışmaları devam etmektedir. Bu çalışmada kurşun esaslı ve seramik malzeme katkılı yeni bir krank mili ana yatak malzemesi geliştirmeye çalışılmıştır. Bu yeni yatak formülasyonu ile yanma sonucu oluşan yüksek basınç kuvvetlerine cevap verebilecek aşınma direnci ve basma gerilmesi yüksek ancak krank mili muylusunu daha az aşındıran, sonuçta krank mili ömrünü uzatan bir yatak üretilmesi amaçlanmıştır.

Belirtilen özellikleri tek bir malzeme ile karşılama olasılığı yoktur, bu nedenle yatak metalleri alaşımlardan hazırlanır. Hafif metal yatak malzemeleri bu özellikleri oldukça iyi seviyede karşılayabilmektedir. Ancak hafif alaşımların dökümü, yatak çeliğine yapışması hayli zor bir işlem gerektirmekte ve maliyeti yükseltmektedir. Bu çalışmada yatak üretirken belirtilen sorunları aşmak için, günümüzde gittikçe yaygınlaşan toz püskürtme yöntemi kullanılmıştır. ‘Metal püskürtme yönteminde toz veya tel halindeki kaplama malzemesi, bir püskürtme tabancasından yanıcı, yakıcı ve taşıyıcı gazların eşliğinde püskürtülerek iş parçasının üzerine kaplama oluşturulur’(Halamoğlu.2003.)

Kaymalı yataklarda yatak malzemesi mil malzemesinden yumuşak seçilerek metal-metale aşınma (adhesiv aşınma) önlenir. Mil ise çelikten yapılmakta ve sertleştirilmektedir. Bu nedenle deney süresince milde kayda değer bir aşınma olmadığı kabul edilmiştir. Kaymalı yatak aşınma deney cihazları, sadece yatak malzemesinin aşınmasını incelemek üzere tasarlanır (Tevrüz.1998). Aşınma test cihazları kısmen standartlaştırılmıştır (Soydan,2000). Ancak standart test cihazlarına her sistemin şartlarını uydurmak mümkün değildir. Bu sebeple

hazırlanan test cihazı yükleme, sıcaklık, yağlama ve devir sayıları değiştirilebilecek şekilde tasarlanmıştır.

## **2. YATAKLAR**

Muyluları çevreleyerek destekleyen ve dönebilmelerini sağlayan makine elemanlarına, yatak denir (Çerik,1986).

İçten yanmalı motorlarda silindir içerisinde oluşturulan yük veya gücü, makinenin hareket mekanizmaları ile yardımcı makinelere aktaran, piston eksenel hareketlerini devir hareketine dönüştürülmesini sağlayan krank mili, kam mili vb.i hareketli parçaları taşıyan hareketsiz kısımlara “yatak” ve bunların yüzeylerine de “yatak yüzeyi” adları verilir. (Küçükşahin, 1999) (Çerik,1986)

Yataklar krank muylularından daha çok aşınan yumuşak metal kaplı değiştirilebilir zarflardır. (Glenn, 1975)

Motorların gelişmesi, yatakların yapım mükemmelliğiyle yakından ilgilidir. Çünkü: motor gücünün, veriminin artması ve çalışma düzeni üzerinde, yatakların payı büyüktür.

Yataklar yapısal özelliklerine göre, iki guruba ayrılabilir.

I - Kaymalı yataklar

II -Yuvarlanmalı yataklar

Yataklar çalışma sırasında uygulanan yüklerin türüne göre de ikiye ayrılmaktadır

I - Yükü değişmeyen yataklar (elektrik jeneratörleri ve morları v.b.)

II – Yükü değişken yataklar (İçten yanmalı motorların krank mili yatakları v.b.)

### **2.1. Kaymalı Yataklar**

Motorun çalışma sırasında yatağın herhangi bir yeri hareket almıyor ve muylu, yatak içerisinde sürtünerek dönme hareketi yapıyorsa, bu tür yataklara kaymalı yatak denir. Yükleme yönüne göre, kaymalı yataklar üçe ayrılmaktadır: (Küçükşahin, 1999) (Çerik, 1986)

1- Enine (Radyal) kaymalı yataklar

2- Boyuna (Aksiyal) kaymalı yataklar

3- Enine-Boyuna (Radyal-Aksiyal) kaymalı yataklar

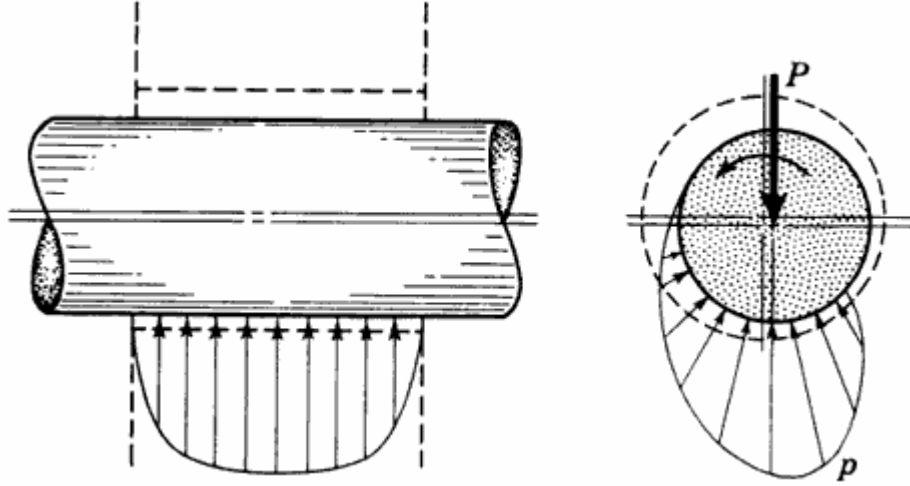
#### **2.1.1. Enine (Radyal) Kaymalı Yataklar**

Enine kaymalı yataklara, “Radyal kaymalı yataklar” da denilmektedir. Şekil 2.1.’ de görüldüğü gibi bu tür yataklarda yük, yatak eksenine dikey konumda etkimektedir. P kuvveti mil dönerken milin yatağa yaslanma yüzeyine şekildeki gibi basar ve kuvvet merkez kaç etkisi ile yumurta grafiği dağılımına benzer şekilde yaslanma yüzeylerinden kenarlara gittikçe azalır.

Kaymalı radyal yatakların gövde kısmı, tek parçalı veya iki parçalı olabilir. O halde; yatak gövdesine göre kaymalı yataklar, ikiye ayrılır. (Küçükşahin, 1999) (Çerik, 1986)

A- Gövdesi tek parçalı, kaymalı radyal yataklar

B- Gövdesi iki parçalı, kaymalı radyal yataklar



Şekil 2.1. Radyal Kaymalı Yatak ve Yatak Yüğü Değışimi

#### 2.1.1.1.Gövdesi tek parçalı kaymalı radyal yataklar

Bu yataklar basit yapılu olup, fazla zorlanmayan, dönme sayısı az ve sürekli çalışmayan muylular için kullanılırlar. Bu tip yataklara, (Gözlü yataklar) denir. Gözlü yataklarda burç bulunuyorsa, yatağın ömrü uzar. Çünkü burç, yataklığa elverişli malzemeden yapıldığı gibi, aşırı aşınması durumunda değıştirilebilir. Bu yatak tiplerinin en büyük sakıncası; muylunun yatak içine yalnız eksen doğrultusunda sokulabilmesidir. Bu tip yataklar içten yanmalı motorlarda biyel kolu piton bağlantılarında yaygın olarak kullanılmaktadır.(Akkurt, 1998)

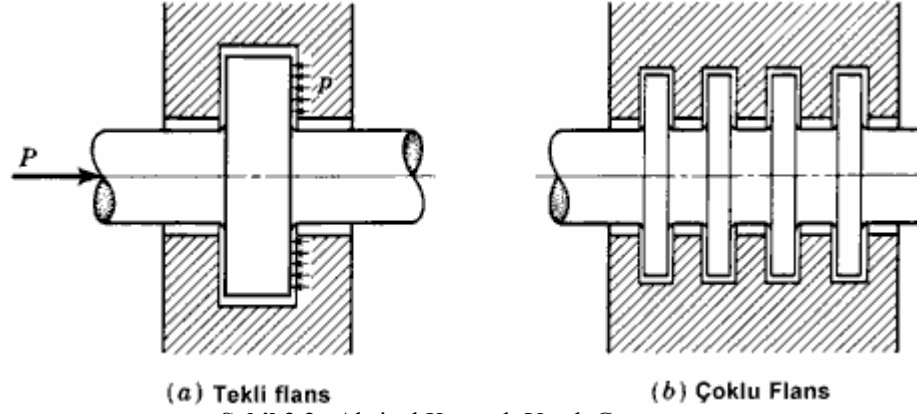
#### 2.1.1.2.Gövdesi iki parçalı kaymalı radyal yataklar

Parçalı yataklar alt parça ve üst parça olmak üzere; gövde kısmı iki parçadan oluşmaktadır. Gövdesi iki parçadan oluşan yataklar genel olarak şu elemanlardan oluşur:

- a- Yatak gövdesi
- b- Yatak kapağı
- c- Kapağı gövdeye bağlayan düzen
- d- İç yatak
- e- Yağlama düzeni

### 2.1.2. Boyuna (aksiyal) Kaymalı Yataklar

Boyuna kaymalı yataklara, (Aksiyall kaymalı yataklar) da denilmektedir. Bu tür yataklara yük, yatak eksenine paralel etmektedir. (Şekil 2.2.)



Şekil 2.2. Aksiyal Kaymalı Yatak Görüntüsü

### 2.1.3. Enine-Boyuna (Radyal-Aksiyal) Kaymalı Yataklar

Enine-Boyuna kaymalı yataklara, Radyal-Eksenel kaymalı yataklar denilmektedir. Bu tür yataklara yük, yatak eksenine hem dik hem de paralel etmektedir.

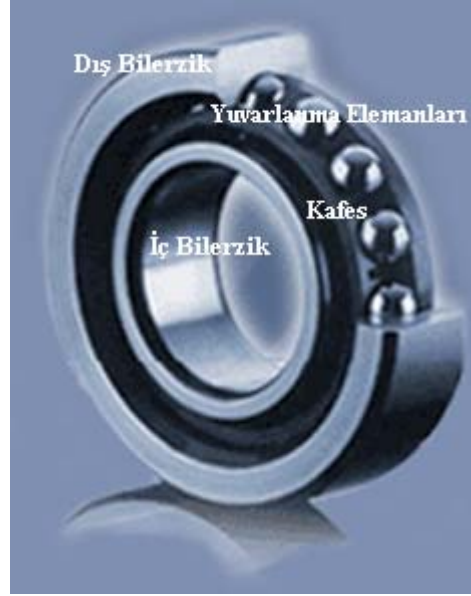
Yağlama bakımından kaymalı yataklar sıvı ve sınır sürtünmeli olabilirler. Bu son durumdaki yataklara kuru sürtünmeli yataklarda denir. Sıvı sürtünmeli yataklar hidrodinamik, gazodinamik, hidrostatik ve gazostatik olmak üzere dört guruba ayrılır.

## 2.2. Yuvarlanmalı Yataklar

Muylunun dönmesini kolaylaştırmak için, değişik biçimlerde yuvarlanan parçaları bulunan yataklara yuvarlanmalı yataklar veya rulmanlı yataklar denir. Şekil 2.3.'de görüldüğü gibi aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır.

Rulmanlı yataklar

- 1- İç bilezik
- 2- Yuvarlanma elemanları
- 3- Kafes
- 4- Dış bilezik
- 5- Yatak kutusu gibi kısımlardan oluşan bir sistemdir.



**Şekil 2.3.** Rulmanlı Yatağın Genel Görünümü

İç bilezik mil üzerine, dış bilezik makine gövdesine geçirilir. Kafes ise, yuvarlanma elemanlarının birbirine göre belirli bir mesafede tutulmasına yarar.

Rulmanlı yatakların kaymalı yataklara göre üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir: Hareketin başlangıcındaki sürtünme ile çalışma süresindeki sürtünme arasında çok az bir farkın olması: Sürtünme katsayısının çok düşük ve buna bağlı olarak enerji kaybının aynı oranda az olması, eksenel bakımdan az yer işgal etmesi. Yağlamanın basit, yağ sarfiyatının az olması, bakım ve değiştirilmesinin kolay olması boyutlarının uluslararası kabul edilen standartlara uygun yapılandırılması ve piyasada hazır bulunması vb.gibi.

Bu avantajların yanı sıra rulmanlı yatakların dezavantajları da vardır. Yüksek devirlerde gürültülü çalışması, ömürlerinin daha az olması ve devir sayısı büyüdükçe ömrünün azalması, radyal yönden daha büyük yer işgal etmesi, sönümleme kabiliyetinin az olması vb. gibi.

Rulmanlı yataklar yuvarlanma elemanlarına ve taşıdıkları kuvvetlere göre değişiklik göstermektedir. Rulmanlı yataklar yuvarlanma elemanlarına göre; bilyeli ve makaralı olarak yapılırlar. Makaralı rulmanların da silindirik, masuralı, konik ve iğneli yapıda olanları vardır. Taşıyabilecekleri yüklere göre rulmanlar radyal yük taşıyan, eksenel yük taşıyan ve radyal yük ve eksenel yükleri bir arada taşıyan radyal-eksenel şeklinde olabilirler. Tüm bu hususlar dikkate alınırsa, rulmanlı yataklar yukarıda anlatıldığı gibi sınıflandırılabilirler.

### **2.3. Kaymalı Yatakların yapısı**

Otomobil motorlarından son zamanlarında daha yüksek performans ve daha düşük yakıt tüketimi talep edilmektedir. Bu talepler yatakların zorlu koşullar altında çalışmasını gerektirmektedir. Bunun sonucu olarak, motor yatakları daha yüksek yükler altında ve daha

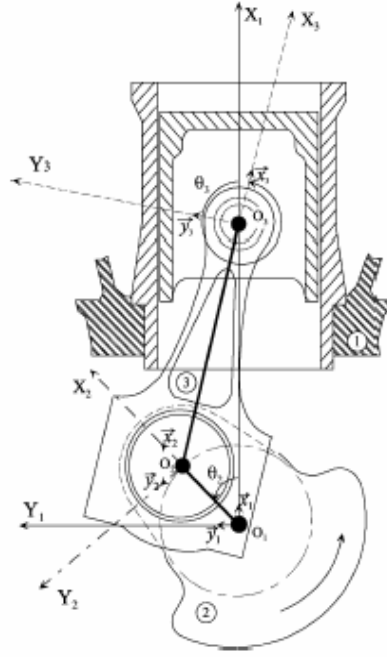
yüksek sıcaklıklarda çalışmaktadır. Yüksek performanslı yeni teknolojiye sahip motorlarda motor yağının viskozitesinin düşük olması, mil ve taşıyıcı arasındaki yağ filminin kalınlığının azaltılması istenmektedir. Bu şartlar altında kullanılan geleneksel yatak malzemelerinin en önemli problemi, düşük aşınma direncidir.

Motor yatakları, yanmanın oluşturduğu kuvvetlerin değişik etkilerine dayanabilmeli, uzun ömürlü olmalı sık sık arıza yapmamalı, muyluları çabuk aşınma ve bozulmalardan korumalı, milin serbest bir şekilde sessizce dönmesini sağlamalıdır, Şekil-2.4’de bir motorda yataklara etkiyen yükler görülmektedir. Kaymalı yataklar bu yükleri karşılayacak özelliklere sahip olmalıdır.

Yataklar yukarıda sayılan özellikleri sağlamaları için değişik malzemelerden yapılırlar, bu malzeme kusnet ve metal olmak üzere iki kısımdan oluşur. Kusnetler, genellikle çelik ya da bronzlardan yapılırlar. Yaygın olarak kullanılanlar ise çelik kusnetlerdir. Yatak malzemeleri, yataklardan beklenen tüm özellikleri karşılayacak tek bir metal bulunmadığından, çeşitli elementlerin bileşiminden oluşan alaşımlardır. Alaşım içerisinde bulunacak elementlerin cins ve miktarları, bunların kullanılacağı motorların özelliklerine ve çalışma koşullarına göre değişir. Bu nedenle yatak malzemesinin mukavemeti gerek soğuk gerekse sıcakken yeterli bir değerde olmalıdır. Ayrıca kuru sürtünme katsayısı düşük, korozyona dayanıklı, ısı iletkenlik katsayısı iyi, yağ tutuculuk özelliği iyi olmalı, sert parçacıkları bünyesine kabul edecek kadar yumuşak olmalıdır, bunlara ilaveten üretimi ve işlenmesi kolay olmalıdır. Yataklardan istenilen bu birbirine zıt olarak kabul edilebilecek özelliklerinin tamamını ideal olarak sağlamak pratik olarak mümkün değildir. Bu özelliklerin bir optimum değeri, alaşımlarla sağlanabilmektedir. Bu nedenle uygulamada çok farklı içerikli ve formülasyonlu kaymalı yatak malzemesi üretilmektedir. Bir çok firma tarafından değişik yata malzemeleri geliştirilmiştir.

İçten yanmalı motorlarda kullanılan kaymalı yataklara, genel olarak “Düz yataklar” ya da “Jurnal yataklar” adı da verilir. Silindirik metal yataklar, “Kep” adı verilen iki yarım silindir parçası şeklinde yapılırlar. Her iki yatak kepi jurnalın çevresinde, gerçek bir yüzey oluşturacak şekilde hazırlanırlar. Aşınan, bozulan yada saran yatakları kolaylıkla değiştirmek için, keplerin içine yine iki yarım silindir parçası şeklinde yapılmış birer “Şel” yerleştirilir. Bazı yatak şelleri ise, burç şeklinde ve tek parçadan yapılarak, basınçla yerlerine geçirilir. Buna örnek olarak piston kol yatağı gösterilebilir.

Uzun ve sürekli yük altındaki çalışması sonucu şel yüzeyindeki metaller aşınır ve yataklar ile mil arasındaki boşluklar çoğalır. Bu gibi durumlarda yataklar bir üst çap da olanları ile değiştirilir. Yataklar mil çaplarına göre küçük ise ana yatak tornalama tezgâhında yenileştirilir.



**Şekil 2.4.** İçten Yanmalı Motorda Yatakların Kesit Görüntüsü

#### 2.4.Yatak Yükleri

Pistonlar ve krank milleri yardımı ile motorun ana yataklarını etkileyen yükler, pistonun herhangi bir konumunda yatak yüklerinin şiddeti, şu üç kuvvetin bileşkesi ile belirtilir şekil 2.4.

- 1) Eksenel veya doğrusal makine parçalarının atalet kuvveti ( $x_2, y_2, x_3, y_3$ )
- 2) Piston kafasını etkileyen gaz basınç kuvveti ( $-x_1$ )
- 3) Piston kolunun ağırlık merkezi altında kalan kütesinin oluşturduğu, krank mili ve ana yatağı etkileyen kuvvet merkez kaç kuvvetidir. ( $y_1$ )

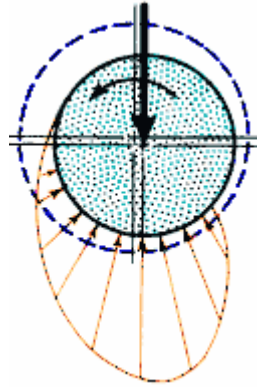
Piston tepesine etkileyen gaz basınç kuvvetlerindeki değişimler, endikatör diyagramlarından elde edilir. Sonra bu diyagramlara dayanılarak gaz basınç kuvvetleri diyagramı oluşturulur. Piston tepesini etkileyen maksimum gaz basınç kuvveti ise, maksimum basıncın piston tepesi yüzey alanı ile çarpılarak bulunur.

Yatakları etkileyen atalet kuvvetleri; piston, varsa piston kolu ve piston kolunun ağırlık merkezine kadar olan kütesinden kaynaklanır. Bunlar; birincil harmonik ve ikincil harmonik gibi isimler almaktadırlar.

Döner hareketli kütleleri atalet kuvvetlerine “merkezkaç kuvvet” adı verilir. Merkezkaç veya santifürij kuvvetin şiddeti, makine devir sayısı değişmedikçe sabit kalır. Şekil 2.5’de görüldüğü gibi yüklerin yönü kranka bağlı olarak sürekli değişir ve yükler elipse benzer bir yapıda karşı tarafta yoğun olarak görülür. Yataklar ile mil arasında oluşan bu tür yükleri karşılayabilmesi için mil ile yatak arasına, yağın dolaşmasına müsaade edecek ve böylece hidrodinamik hareketi oluşturacak bir boşluğun olması gereklidir. Bu yataklar sessiz çalışma,

büyük darbeli yüklere dayanıklılık ve titreşim sönümlleme gibi isteklerin bulunduğu yerlerde kullanılır.

Hidrodinamik yağlama, yüzeyler arasındaki boşluğa ve bağlı hıza bağlı olarak yüzeyleri birbirinden tamamen ayıracak basınca sahip bir yağ tabakası oluşturan yağlama şeklidir. Radyal yataklarda sıvı sürtünmesinin (hidrodinamik yağ tabakasının) oluşması için mil ile yatak birbirine boşluklu geçme şeklinde takılır. Milin açısal hızı  $w=\pi.n/30$  olduğuna göre  $w=0$  iken yani mil durgun haldeyken yüzeyler doğrudan doğruya temas halindedir. Hareketin başlangıcında çok kısa bir süre için yüzeyler arasında kuru sürtünme olur ve mil yatak zarfı içerisinde hareket yönünün ters tarafına doğru tırmanır. Bu durumdan itibaren hareket nedeniyle yağ, yüzeyler arasında yayıldığından sınır sürtünmesi olur ve sürtünme katsayısı azalmaya başlar. Bir müddet sonra tamamen sıvı sürtünmesi bölgesine geçilir ve mil muylusu da yatak zarfı içinde hareket yönüne doğru kayarak eksantrik bir durum alır. Böylece yağ içinde oluşan hidrodinamik basınç, yüzeyleri birbirinden tamamen ayırmış ve sıvı sürtünmesini oluşturmuştur. Sıvı sürtünmesi bölgesinde mil ile yatak merkezi arasındaki eksantriklik hıza bağlı olarak değişmektedir. Bu eksantriklik yağlamanın sürekliliği bakımından hiçbir zaman sıfır olmamalıdır. Büyük boşluk yatağın içinde yağ akımını hızlandırır ve böylece soğutma işlemi gelişir. Ancak büyük boşluk, milin yatak içinde kontrolsüz olarak hareketine neden olur. Bunun sonucu vuruntu ve beyaz metal katmanında yorulma çatlakları meydana gelir. Kalay kökenli beyaz metalli yataklarda, yağ kanalları yatak çapının 0.1'i veya daha küçük değerde yapılır.



Şekil 2.5. Kaymalı Yatak Yük Dağılımı

Tüm atalet kuvvetleri ve merkezkaç kuvvetlerinin şiddetleri, makine devir sayısının karesi ile değiştiğinden, yüksek devirli makinelerin yatak yüklerini önemli şekilde etkilemektedirler. Sözü edilen makinelerde pistonların alüminyum alaşımlardan yapılması, hareketli parçaların ağırlıklarının azaltılması, örneğin piston kollarının “I” ve “H” profillerinden yapılması, piston pimlerinin ve krank millerinin içlerinin boş yapılma nedenleri hep atalet

kuvvetleri ve merkezkaç kuvvetleridir. Böylelikle sözü edilen kuvvetlerin çok büyük değerlere erişmelerine engel olunur.

## 2.5. Müsaade Edilen Yatak Yükleri

Aynı tip ve hacimdeki motorların yatak yükleri, aynı şartlar altında ve devir sayısında çalışsalar dahi birbirlerine eşit olmayabilir. Çünkü yatak yükleri, yukarıda bahsedilen kuvvetlerden başka tasarım karakteristikleri, yağlama yöntemleri ve yağlama yağı, yakıt v.b. faktörlerin de etkisindedir. Bu nedenle, farklı malzemelerden yapılan yataklar için müsaade edilir yük sınırlarına gerek vardır. **Tablo 2.1** de müsaade edilen yatak yükleri belirtilmektedir.

**Tablo 2.1** Farklı Malzemelerden Yapılmış Yataklarda Müsaade Edilen Yatak Yükü Değerleri

| ÇELİK ŞELLİ YATAKLARDA METAL KALINLIĞI | MÜSAADE EDİLİR YÜKLER Bar ( $10^5$ pa) |
|----------------------------------------|----------------------------------------|
| Kalya kökenli babet 0.508 mm           | 81.6-102                               |
| Kurşun kökenli babet 0.508 mm          | 95.2-115.6                             |
| Mikro kalay 0.0762-0.0107 mm           | 136.0-170.0                            |
| Mikro kurşun 0.0762-0.0107 mm          | 136.0-170.0                            |
| Bakır-kurşun 0.508 mm                  | 136.0-204.0                            |
| Alüminyum şelli veya tüm alüminyum     | 238-306                                |
| Bronz şel veya tüm bronz               | 544-680                                |
| Trimetal 0.0254 mm kalınlığında:       |                                        |
| Bakır-kurşun                           | 272-340                                |
| Kurşun-bronz                           | 272-340                                |
| Alüminyum alaşımı                      | 272-408                                |

Çoğu zaman bu yüke “Yatak basıncı” adı da verilmektedir. Yatak yükü veya basıncını veren eşitlik şu şekilde yazılabilir:

$$P = F_t / d.l \quad (\text{kgf/m}^2, \text{Pa})$$

Bu eşitlikte:

$$F_t = \text{Toplam kuvvet (kgf, N)}$$

$$d = \text{Yatak çapı (cm)}$$

$$l = \text{Yatak boyu (cm)}.$$

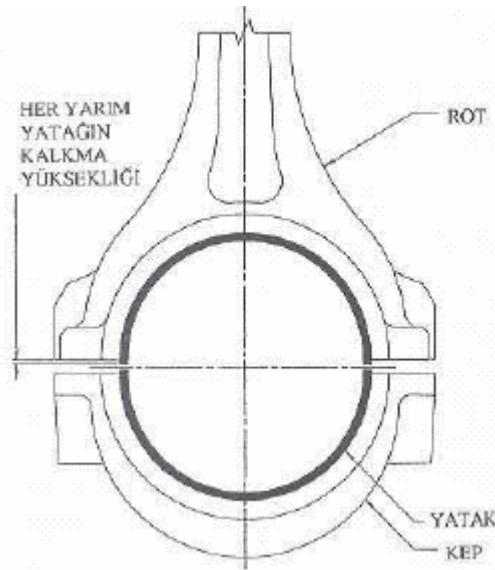
Yatak basıncı (p), herhangi bir basınç gibi  $\text{kgf/m}^2$ , Pascal yada psi türlerinden belirtilebilir. Gerçek basınç, yatak ile mil arasındaki yağlama ve sürtünme yüzeylerine bağlıdır. Bu nedenle,

yatak yüzey alanını (d.l) etkileyen ortalama değerler tablo 2.1 de verilmiştir. Ortalama değerler yatağın özelliğini belirtmesi bakımından yararlıdır.

## 2.6. Krank mili Kol Yatakları

Biyel kolunun küçük tarafı, silindir dikey eksenini üzerinde ve eksenal veya doğrusal olarak hareket eder. Bu arada büyük tarafı (Alt ucu) ise, bir yatak ile bağlı olduğu krank mili kol muylusuna bağlıdır ve dolayısıyla krank milini döndürür. Biyel kolu krank miline bağlayan bu yatağa “krank mili kol muylusu yatağı” adı verilir. Şekil 2.6’da günümüz içten yanmalı motorlarda kullanılan bir kaymalı yatağın biyel kolu içerisine yerleştirilişi görülmektedir.

Yıllar önce krank kol yatakları, bronz veya dökme demirlerden yapılmış şellerin içlerine, kalın bir tabaka “babit metal” dökülerek yapılmaktaydı. Yatak yüzeyi bir sıyrıcı veya “yatak raspası yardımıyla ve el ile alıştırılmakta ve yağ kanalları, şeller arasına konulan layner veya şimler yardımıyla düzenlenmekteydi. Günümüzde bu işlem terkedilmiş ve yerlerini şu an kullanılan yataklara terk etmişlerdir (Küçükşahin,1999) Şekil 2.6.’da günümüz içten yanmalı motorlarda kullanılan bir kaymalı yatağın biyel kolu içerisine yerleştirildiği görülmektedir.



Şekil 2.6 İçten Yanmalı Motorlarda Kullanılan Kol Yatağı

Bu şekilde, krank kol yatak şellerinden (Kusunetlerinden) biri, biyel kolunun üst kısmına yerleştirilmekte ve alt şel ise, krank kol yatağı alt kepine takılmaktadır. Şekle dikkat edildiğinde, yatak şellerinin, biyel kol ve yatak kepi yuvalarından taşıdığı, onlardan biraz daha büyük oldukları görülecektir. Yatak şelleri dökme veya dövme çeliklerden yapılmış ve iç yüzeyi beyaz metal ile kaplanmıştır. Yatak kepleri çoğunlukla dövme çeliklerden yapılmış olup, şelleri ile birlikte birbirlerine iki adet ve ısıtma işlemi ile sertleştirilmiş civata ve taçlı somunla bağlanmıştır.

Krank kol yatakları, krank mili içine açılmış kanallar yardımıyla, ana yataklardan gelen basınçlı yağ ile yağlanır.(Hikmet,1983)

## 2.7. Krank Mili Ana Yatakları

İçten yanmalı motorların krank millerini taşımak ve yatak içerisinde çalışmasını sağlamak amacıyla kullanılan yataklara krank mili ana yatağı denilmektedir. Şekil 2.7.'de görüldüğü gibi ana yataklar bloğunun alt tarafında bulunmaktadır. Ana yataklar blok üzerindeki bölüm ve ana yatak kepi diye iki bölümden oluşur. Esasında bu bölümler yatak gövdesini oluşturmaktadır. Bu belirtilen bölüm içerisine iki parçalı hilal yatak şeli şekil 2.7.'deki gibi yuvalara oturtulur. Yatak şelleri yuvalarına oturturken yağ deliklerinin karşılaşmasına dikkat edilmelidir.



Şekil 2.7 Krank Mili Ana Yataklarının Blok Üzerindeki Görüntüsü

## 2.8. Yatak Şelleri

Günümüz yataklarının büyük bir bölümünde, şel malzemesi olarak bronz, çelik veya dökme demir kullanılmaktadır. Bronz, hemen hemen beyaz metalle aynı genişleme katsayısına sahiptir. Ancak, aynı şeyler dökme demir ve çelik yatak şelleri için söylenemez. Çok yaygın olarak kullanılan şel malzemelerinden biride çeliktir. Bu amaçla, çok düşük (%0.15) karbonlu çeliklerden faydalanılmaktadır. Bazı ağır devirli, yüksek güçlü makinelerin büyük yataklarında şel malzemesi olarak dökme demirden yararlanılır. Yüksek devirli ve küçük güçlü makinelerde yatak şeli olarak saf (som) alüminyum alaşımlarından da yapılmaktadır.

Şekil 2.8 de böyle bir yatak şeli görülmektedir. Krank mili ile birlikte dönmelerine engel olmak- için, yatak şelleri kep içerisine bağlanmalıdır. Alt yatak şeli alt yatak kepine bağlanarak bu sağlanabilir.

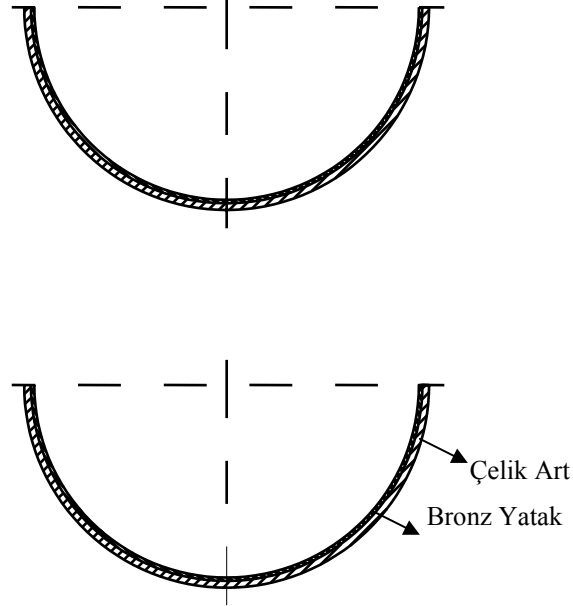


**Şekil 2.8** Yatak Şeli

Yatak şellerinin dizaynı, önemli şekilde yatak malzemesinin kalınlığına, kullanılacak malzemeye ve yağlama sistemine bağlıdır. İnce duvarlı şeller, yapımları ve yatak keplerine takılmaları sırasında büyük bir duyarlılık gerektirirler. Buna rağmen denetim ve yatağın değiştirilmesi açısından kalın duvarlı şellere göre daha elverişlidirler.

1980’li yılların sonlarına kadar kam millerinin yataklanmasında kullanılan dairesel biçimde yapılmış şeller, kepi ile iyi bir uyum sağlayacak biçimde ve gerçek ölçülerinde hazırlanırlar. İyi bir uyum şelin aşınmasına ve beyaz metalin çatlamasına engel olur ve sürtünmeden meydana gelen ısının iyi bir şekilde, yağlama yağına aktarılmasına yardım eder. Şellerin milleri taşıyacak yüzeyleri beyaz metal veya bakır-kurşun ya da herhangi bir yatak metali ile kaplanır. Şekil 2.9. de setko, adı verilen bir yatak şeli görülmektedir. Setko alaşım %94,4Pb, %0,5Mg, %2 Sn, %1,5 Al, %0.7 Ca, %0.9 Hg den oluşmaktadır. Setko şel: bronz bir şel ve bu şelin iç yüzeyinin setrko alaşımı ile kaplanması ile oluşturulmuştur. Trimetal veya üç metalli şel ise çelikten yapılmış bir tabaka, bronz orta kısım ve hi-lead (hayled) adı verilen bir yatak alaşımından oluşmaktadır. Şekil 2.9’da Çelik kusunetli ve yatak metali alüminyum olan, bir yatak şeli görülmektedir. Bu tür yatak şelleri daha çok yüksek devirli motorlarda kullanılmaktadır. Yatak türleri ne olursa olsun, şellerin iç yüzeylerinin beyaz veya babet metal ya da çok sık olmamakla birlikte alüminyum ile kaplanmaktadır. (Küçükşahin, 1999)

Yataklarda ince bir tabaka halindeki beyaz metal, kalın katmana göre daha iyi bir mekanik özelliğe sahiptir. İnce katmanlı şeller daha yüksek gerilmeleri karşılar, metal ile şelin daha iyi bağlanmasına neden olur. Beyaz metal katmanın kalınlığı azaltılarak yorulma süresi ve statik yük taşıma kapasiteleri geliştirilebilir. Genel olarak, metal katmanların kalınlığı mil çapına göre düzenlenir. Diesel motorlarının ana yataklarında beyaz metal kalınlığı  $t_{max} = 0.2 + 0.005.d$  mm değerlerinden küçük olmalıdır. Makine yataklarında ise yukarıda verilen değerler % 100 arttırılmalıdır.



**Şekil 2.9.** Ana Yatak Şellerinin Kesit Görüntüsü

Günümüzde yukarıda verilen yatak kalınlığının üzerinde yataklar kullanılmaktadır. Bu yatakların hatalı oldukları söylenemez. Ancak, bu tür yatakların tam yük taşıma kapasitesi ve malzemenin yorulma direnci düşüktür.

Kurşun kökenli metale sahip olan yataklar biraz daha büyük ısı genişlemeye müsaade etmektedir. Beyaz metalden yapılmış yataklarda, özgül yük için belirli bir maksimum değer yoktur. Fakat çevrimsel gerilmeleri veya diesel makinelerinde kullanılan yatakların büyük bir bölümünde 72 bar yeterli bir sınırdır. 102 bar maksimum basınç değeri olarak görülebilir. Ancak, bu değerde yatağın yorulma ömrü kısalmır. Sabit yüklü yataklarda, turboşarj türbini yatakları, daha yüksek, 175 barlık basınçları taşıyabilirler. Çok kalın beyaz metalli yataklar özel durumlarda, çok daha yüksek yükleri başarıyla taşıyabilmektedirler.

## 2.9. Yatak Boşlukları (Kleresler)

Biyel kolu ve krank mili ana yataklarının müsaade edilen minimum yatak boşluklarını etkileyen çok sayıda parametre vardır. Bunlardan en önemlisi yatak malzemesi ve onun yatakla uyuşmasıdır. Diğer, genişleme nedeniyle boşluğun değişmesine sebep olan işletme sıcaklığıdır. Müsaade edilen boşluklar yağın basıncı, viskozitesi, yatakta dolaştırılan yağ miktarı ve filtre sisteminin verimine bağlıdır. Bu nedenle yağlama diğer bir önemli etkidir. Krank mili muylu çapı 305 mm olan bir motorun farklı yataklarındaki radyal işletme boşlukları şu şekildedir.

Krank mili ana muylu yataklarında .....0.254-0.305 mm

Krank mili kol muylu yataklarında.....0.203-0.254 mm(Özdamar,1992)

Türü yataklar için radyal veya diametrikal boşluklar işletme kataloglarında belirtilmiştir.

## 2.10. Yatak malzemesinden beklenen özellikler

a. Yağlamanın iyi yapıldığı ve yükün bütünüyle sıvı sürtünme ile karşılandığı durumlarda yatak malzemesinin gerekli mukavemet ve rijitlikte olması yeterlidir. Fakat uygulamada böyle ideal koşulları yakalamak mümkün olmadığından yatak malzemesinden belli özellikleri karşılaması beklenir.

b. Maksimum basınç ortalama basınçtan bir kaç kat büyük olabileceğinden yatağın basma mukavemeti kalıcı deformasyona uğramayacak kadar yüksek olmalıdır (**Compressive strength**)

c. Tekrarlı yüklere dayanabilmesi için yorulma mukavemeti yüksek olmalıdır. Özellikle uçak ve otomotiv sanayi için bu önemlidir (**Fatigue strength**).

d. Mildeki sehimler yada birtakım hatalar yatağın plastik deformasyonu ile karşılanabilmelidir. (**Conformability**).

e. Yatak içine giren partiküller aşındırıcı etki yaparak kısa zamanda yatak ve mili bozar. Yatak malzemesi bu tür partiküllerin içine gömüleceği kadar yumuşak olmalıdır. (**Embeddability**).

f. Yatağın sınır sürtünme (boundry lubrication) koşullarında yada yağsız ortamlarda aşınmadan (**wearing**) , çizilmeden (**scoring**) ve sarmadan (**scuffing**) çalışması, yük altında harekete başlayan yada yetersiz yağlamanın beklendiği durumlarda önemlidir. Bu nitelik mil, yatak ve yağlayıcının uyumuna bağlıdır. Yakın özellikteki malzemeler birbirlerini kolayca aşındırırlar. Bu sebeple, genel prensip olarak farklı cins ya da farklı ısı işlem görmüş metaller kullanılır. Bir çok uygulama için mil çelikten yapıldığından sert bir mil ve daha yumuşak yatak malzemesi seçilir. Böylece hem aşınmalar azaltılmış, hem de sadece yatağın aşınması sağlanmış olur. Mil ve yatağın pürüzlülüğü de önemlidir. Mikro sivrilikler yağ filminin yırtılması, dolayısıyla aşınmalara sebep olur.

g. Isıyı kolayca iletebilmeleri için ısıl iletkenlik katsayıları yüksek olmalıdır. (**Thermal conductivity**).

h. Geniş sıcaklık aralığında çalışan yerlerde ısıl genişleme katsayıları düşük olmalı. (**Thermal expansion**).

ı. Düşük sürtünme katsayısı olmalıdır.

Görüldüğü gibi tüm bu beklentileri karşılayabilecek yatak malzemesi bulmak zordur. Hatta bazı beklentiler birbirinin zıddı özellikler gerektirir. (Yatağın basma mukavemetinin yüksek olması ve mildeki deformasyonları karşılayabilmesi örnek olarak gösterilebilir). Bu sebeple tek bir yatak malzemesi yerine farklı özellikleri üstün olan birçok yatak malzemesi kullanılmaktadır.( Müh ve Makine Dergisi)

### **3. YATAK MALZEMELERİ**

#### **3.1. Yatak Malzemesi Çalışmaları**

Motorların iyilik derecesinin bir ölçüsü de daha küçük boyutlu motorlardan daha yüksek güçler elde etmektir. Bu çalışmalar günümüz otomobil motorlarını gittikçe daha zorlu şartlarda çalıştırmaya zorlamaktadır. Bu nedenle yataklara gelen yüklerde aynı oranda artmakta ve çabuk yıpranmaktadır. Bu zorlu şartlar karşısında yatak ile mil arasında kullanılan yağ kalınlıkları da iyice azaldığından dolayı kolayca yatak sarması hasarları ile karşılaşmaktadır.

Yüksek performanslı motorlarda, yüksek motor zorlanmalarını karşılayabilmek ve yatak ömrünü arttırabilmek için yeni yatak malzemeleri üretimi üzerinde çalışmalar yoğunlaşmaktadır.

Yasuaki, G. Ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada pb, Sn, In ve Cu alaşımlı yataklar geliştirmişlerdir. Gerçek bir motor şartlarını sağlayabilecek bir düzenek hazırlayıp yeni geliştirdikleri yataklarını bu deney düzeneğinde test etmiştir. Deney sonuçlarına göre yataklar daha iyi yorulma direnci ve aşınma direnci göstermiştir. Yüksek hızlı motorlarda, geleneksel yataklara oranla daha iyi dayanıma ve yağlayıcılık özelliklerine sahip olduğu belirtmişlerdir.

Toru, D. ve arkadaşları'nın çalışmalarında Alüminyum alaşımlı ve sert parçacık katkılı yatak malzemesi geliştirmişlerdir. Bunlar ürettikleri yataklarının aşınma davranışlarının bir aşındırma deney düzeneği kurarak aşınma dayanımını araştırmışlardır. Kullanılan sert parçacıkların aşınma direncini arttırdığını saptamışlardır.

K.V Sudhakar. Bimetal otomobil yataklarının bozulma analizlerini yapmıştır. Malzemedeki hasarlı alanlar bir tarayıcı elektron mikroskobu ile muayene edilmiş. Metalin temel mikro yapısını belirlemek için optik mikroskop kullanılmıştır. Tetkikler sonucunda bozulmanın gerilme çatlamasına bağlı olduğu ifade edilmiştir.

A.E.Roact ve arkadaşları yüksek hızlı diesel motorlar için kurşun esaslı yeni bir krank mili yatak malzemesi geliştirmiş ve bu yatağı gerçek motor şartlarında çalıştırmışlardır. 100 saat sonunda yapılan analizler sonucunda yüksek sıcaklıklarda ve devirlerde kurşunun yağ tutuculuk özelliğinden dolayı aşınmanın düşük seviyede kaldığı belirtilmiştir.

K.Sakamoto, ve arkadaşları düşük yük uygulamaları için yeni bir alüminyum, kurşun ve silikon içerikli bir yatak geliştirmişlerdir.

Pürçek,G., ve Arkadaşları çalışmalarında çinko alüminyum alaşımlarından imal edilen kaymalı yatağı yatak aşınma test cihazında kuru ortamda 20 N yük, 1500d/dak ve 2.5 saat test etmişlerdir. Yapılan deneylerde yüksek sürtünme katsayısı ve yüksek ağırlık kaybı, yağlı ortamda ise çok düşük sürtünme katsayısı ve ağırlık kaybı elde edilmiştir.

Varol,R., Cu ve Fe içerikli toz metalürjisi (T/M) yöntemi ile üretilmiş kendi kendini yağlayan yatak malzemelerinin hız-ağırlık kaybı, aşınma özelliklerini incelemiş, aynı şartlar altında yüklü uygulamalarda aşınma değerlerinde her iki yatak malzemesinde önemli farklılık olmadığını belirtmişlerdir. Aynı çalışmada demir esaslı T/M yatakların sürtünme özelliklerinin, bronz yataklarından daha kötü olduğu belirtilmiştir.

Ünlü,B.,S., ve arkadaşları bakır esaslı bronz ve pirinç yatakların tribolojik özelliklerinin karşılaştırılması konulu bir çalışma yapmışlardır. Kaymalı yatak malzemesi olarak  $CuSn_{10}$  bronzu ile  $CuZn_{30}$  pirincinden üretilen yatakların aşınma ve sürtünme özelliklerini belirlemek için bir takım deneyler yapmışlardır. Sonuç olarak, kuru ortamda yapılan deneylerde yüksek sürtünme katsayısı ve ağırlık kaybı, yağlı ortamda ise bunların çok daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Savaşkan,T., ve arkadaşları Çinko-Alüminyum esaslı alaşımların ve bu alaşımlardan üretilen kaymalı yatakların özellikleri hakkında bir çalışma yapmışlardır. Üretilen alaşımların özellikleri disk-çubuk esaslı bir aşınma deney düzeneği yardımıyla incelenmiştir. Yataklar içerisinde en az aşınanın  $ZnAl_{40}Cu_2Si$  alaşımlı yatağın olduğunu ifade etmişlerdir.

Çuvalcı,H., Ticari ZA-27 ve birçok hazır kaymalı yatağı laboratuarda kaymalı yatak deney düzeneğinde değişik çalışma koşullarında sürtünme deneylerine tabi tutularak yatakların sürtünme davranışlarını belirlemiştir. Yatak basıncının yatakların sürtünme faktörünü etkilediğini ve basınç arttıkça bu değerlerin önemli ölçüde düştüğünü ayrıca yatak boşluğu arttıkça da yatakların sürtünme faktörü değerlerinin düştüğünü belirtmiştir.

Ünlü,B.,S., ve arkadaşları kaymalı yatakların değişik parametrelere göre tribolojik özelliklerini belirlemek ve bu unsurların kaymalı yatak üzerindeki etkilerini incelemek için radyal kaymalı yatak aşınma cihazı tasarımı yapmışlardır. Bu cihaz üzerinde bu parametrelere göre tribolojik özelliklerinin belirlenmesi bazı deneylerle göstermiştir. Bu yolla bütün deneylerin yatak üzerinde yapılabileceğini açıklamışlar gerçek çalışma ortamında yapılan deneylerden çok fazla sapmalar olmadığını belirtmişlerdir.

Watanabe,K., ve arkadaşları çalışmalarında yataklar üzerine lazer ile mikron çukurlar açarak sürtünme yüzey alanını azaltmış ve bu oyuklarda yağ biriktiğinden yağlamanın iyileştirdiği ve bu sebeple aşınmanın önemli derecede azaldığı ve motorun mekanik kayıpların fark edilir düzeyde azalma olduğu sonucuna varmışlardır.

Shan,M.C., Maeks,E.,F., Yatakların yağlamasını incelemiş ve iyi bir yağlama ile yatakların daha iyi korunduğunu ve yorulmanın geciktiği savını desteklemişlerdir.

Oğulları,E.F., gaz türbinlerinde kullanılan kaymalı yataklardaki Silikon nitrid, Alüminyum oksit, zirkon oksit gibi seramik malzemelerin etkilerini incelemiş ve sonuç olarak yüksek hızlarda yatak malzemesinde kullanılan sert parçacıkların yatak dayanımını arttırdığını göstermişlerdir.

Araştırmalar, içten yanmalı motorlarda kullanılacak çok çeşitli yatak metali ve alaşımın yararlı bir biçimde kullanıldığını göstermektedir. Bilinen yataklarda bu alaşımlar; küçük yataklarda ince bir tabaka olarak 0.33-0.635 mm ve büyük yataklarda ise 6 mm'ye kadar olabilmektedir.

### **3.1.1. Beyaz Metaller**

Kalay alaşımlarının yatak malzemesi olarak başarıyla kullanılmaları 1839 yılında Sir Isaac Babbitt tarafından keşfedilerek kullanıldı. Sir Isaac'ın ilk patentindeki yatak metalinin yapısı, yaklaşık olarak %89 kalay, %9 antimon ve %2bakırdan oluşmaktaydı. Bu tarihten sonra, kullanılan tüm kalay ve kurşunlu alaşımlara Babbit Metal veya Beyaz Metal isimleri verildi.

Beyaz metaller ya antimon, bakır ve bazen kurşun kapsayan kalay ya da kalay antimon ve genel olarak bakır kapsayan kurşun alaşımlarıdır. Bu alaşımlara; mekanik dayanıklılık sağlamak amacıyla küçük miktarlarda nikel, kadmiyum ve arsenik eklenmektedir. Beyaz metaller, yapılarındaki kalay miktarına göre sınıflandırılırlar. Bu durum aynı zamanda yatağın fiyatını da etkiler.

Birinci grup beyaz metaller %90 oranında kalay kapsar. Bunların yapısında antimon ve onun yarı kadar da bakır bulunur. Bunlara Kurşunsuz beyaz metal adı verilir. Birinci gruba giren bazı alaşımlar, ufak bir miktar nikel, gümüş veya kadmiyum kapsayabilir. Yapısındaki alaşım miktarının düşük oluşu nedeniyle, nispeten yumuşak ve dayanıklıdır. Bu grup özellikle Amerika Birleşik Devletleri ve İngiltere'de yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Diğer ülkelerde daha çok düşük güçlü, yüksek devirli makinelerde kullanılır.

İkinci guruba %85 Kalay ve geri kalanı antimon ve bakırdan oluşan yatak metalleri girmektedir. Daha sert oldukları için, yüksek statik yüklere dayanabilen bu alaşımın yorulma dayanımı, birinci guruba göre oldukça düşüktür. Bu alaşım diesel makinelerinin krank mili ana yataklarında kullanılmaktadır.

Üçüncü gurup beyaz metal, yük taşıma kapasitesi ve aşınmaya dayanıklılığı ile göze çarpmaktadır. Bu alaşım %80 kalay ve %20 alaşım metallerini kapsamaktadır. Alaşım metalleri, diğer guruplarda olduğu gibi antimuan, bakır ve farklı olarak kurşundan oluşmaktadır. Alaşım oluşturan metallerin yüzde miktarları, antimuandan kurşuna giderek azalmaktadır. Bu gurubun yorulma dayanımı, önceki iki guruptan daha düşüktür. Buna rağmen, üçüncü gurup beyaz metal yüksek güçlü motorların kıran mili ana yataklarında, biyel kolu üst ve alt yataklarda, kovan ve pervane shaft yataklarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kalay alaşımları içinde kurşunun bulunuşu, düşük erime noktalarına yol açar. Kalay-Kurşun alaşımları 180 ° C’de erirken, sözü edilen diğer kurşunsuz alaşımların erime noktaları 225° C dolaylarındadır.

Yapısında %72-75 kalay bulunan beyaz metaller, motorlar için uygun olmayan mekanik özellik veya niteliklere sahip olduklarından, günümüzde kullanılmamaktadırlar.

Yapısında %5-10 Kalay bulunan Kurşun alaşımları mükemmel sürtünmesiz veya “Antifriksiyon” metalledir. Bunlar daima, %10-15 Antimuan veya küçük miktarda bakır ve bunlara ek olara arsenik, kadmiyum ve diğer metalleri kapsamaktadırlar. Çok düşük maliyetlerinden dolayı yaygın olarak yüksek devirli motorlarda kullanılırlar.

### **3.1.2. Bakır Kökenli Yatak Metalleri**

Beyaz metaller için öngörülen yatak yük, sınırlarının üzerine çıkıldığında, yatak malzemesi olarak bakır alaşımları veya bronzları kullanılabilir. Bronz yataklar, beyaz metaller gibi düşük sürtünmeli (antifriksiyon) özelliklere sahip olmamakla birlikte, yorulma dayanımı ve yük taşıma kapasiteleri yüksektir. Sert olmaları nedeniyle; beyaz metallerde olduğu gibi yabancı maddeleri yapılarına kabul edemezler. Oysa yüzeyleri sertleştirilmiş millerin çentik etkisi gösteren çizilmelerine engel olmak gerekmektedir. Büyük gemi motorlarında sürtünme ve aşınma çok önemli olmadığı, ağır devir sayısı ve yüksek statik yük gerektiren yerlerde bronz yatak ve burçlar kullanılır. Bazı yüksek devirli motorlarda iç yüzeyleri, ince bir katman şeklinde, kurşun bronzu ile kaplanmış ve çelikten yapılmış şeller kullanılır. Yatak olarak kullanılan bakır alaşımlarının büyük bir yüzdesi, önemli miktarda kalay veya kurşun yada her iki metali birden kapsamaktadır. Çünkü bu metaller, alaşımlara mükemmel antifriksiyon özellikler kazandırmaktır. Bilinen diğer metaller ise, kurşunlu alaşımlara katılan, nikel ve kalay bronzuna eklenen fosfor dur.

### 3.1.3. Bronzlar

%10-16 kalay içeren kalay bronzları günümüzde kullanılmakta olan yatak metalleri'dir. Bu tür alaşımlarda kalay yüzdesi çoğaldıkça yatak daha sert olur ve aşınmaya dayanıklılık kazanır. Bu alaşıma %0.5-2 kadar fosfor da katılarak sertlik ve dayanıklılık yükseltilebilir. %14-16 kalaylı bronzlar diğerlerine göre daha pahalı, kırılma eğilimi yüksek veya gevrek yapıdadırlar. Bu nedenle %10-12 Kalay içeren bronzlar yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Bronzlara fazladan kurşun eklenmesi, alaşıma beyaz metallerde olduğu gibi antrifiksiyon özellikler kazandırır. Bu amaçla, bronzlara katılacak kurşun miktarı, bronz içindeki kalayın yaklaşık olarak yarısı kadardır. Böylece, çok iyi bir yatak yüzeyi de elde edilir. Bunun nedeni alaşımın oluşturulması sırasında, kurşunun bakır içinde çözünmemesi ve ufak küreler biçiminde yapıya yerleşmesidir. Oysa, kalay kısmen bakır içinde çözünür ve alaşımın sertleşmesine neden olur. Kurşun ve kalaylı bronzlar (%80 Cu, %10 Sn, %10 Pb) son yıllarda, yaygın yatak malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. Hi-Lead (hayled) adı verilen alaşımda ise %30 Kurşun, %5 Kalay ve %65 Bakır bulunmaktadır. Bu tür yataklarda 760 bar değerine kadar özgül yükler taşınabilmektedir. Bakır kurşun alaşımı yataklar, bakır ve kurşun partiküller arasındaki hızlı korozyon nedeniyle "Galvanik Aksiyon" olayıdır. Bu tür yataklarda taşınabilecek yük 330 barın altındadır.

### 3.1.4. Diğer Alaşım Metaller

Şimdiye kadar çok sayıda alaşım, yatak metali olarak kullanılmıştır. Bunların pek çoğu özel isimlerle pazarlanmış ve pek çoğu da bir süre sonra kaybolmuştur. Aşağıdaki alaşımlar bunlara örnektir.

Kadmiyum alaşımları kalay ve kurşun beyaz metallerden daha iyi bir yorulma dayanıklılığı vermektedirler. Bunların yük taşıma kapasiteleri, beyaz metallerle hemen hemen aynıdır.

İnce bir tabaka indiyum veya kurşun, yada hem kurşun hem de indiyumla kaplanmış gümüş yataklar, ısının giderilmesi ön planda olan yüksek devirli motorlarda kullanılır.

%6-%7 kalaylı, alüminyum-kalay alaşımlarının yük kapasiteleri yüksek fakat antrifiksiyon özellikleri ikinci derecededir. Alüminyum çinko alaşımları değişik yapılarda oluşturulur ve beyaz bronz olarak adlandırılır. Bu alaşım daha çok burç biçimindeki yataklarda kullanılmaktadır.

Düşük hızlarda ve alçak özgül yüklerde, dökme demir de yataklarda antrifiksiyon metal olarak kullanılır. Bu amaç için perlitik dökme demir tercih edilir. Ancak, bu tür yatakların çok iyi yağlanmaları gerekmektedir. Orta ve yüksek devirli motorlarda kullanılan yatak

alaşımlarından biri de setko'dur. Bu alaşım %94,4 Pb, %0,5 Mg, %2 Sn, %1,5 Al, %07 Ca ve %0,9 Hg'den oluşmaktadır.

### **3.2. Yatakların Korunması**

İçerisinde aşındırıcı veya paslandırıcı maddeler bulunan kullanılmış yağ, yatak metallerini aşındırma eğilimindedir. Bu nedenle, yatakların yağlama yağları tarafından korunmaları gerekir. Bu, iki şekilde gerçekleştirilir. Bunlar aşındırıcı veya paslandırıcı maddelerin nötrleştirilmesi ve yatak metal yüzeylerinde koruyucu bir yağ katmanının oluşturulmasıdır. Böylece; yüksek sıcaklıklarda yağlama yağının yatak metalini etkileme tehlikesini ortadan kaldırılır.

#### 4. İÇTEN YANMALI MOTORLARDA YAĞLAMA ve AŞINMA

İçten yanmalı motorlarda yataklar ve yağlama sistemi, yatak yüzeylerinde belirli bir miktar yağın akışına müsaade edecek şekilde yapılmıştır. Yağ yatakla mil arasındaki yağ boşluğuna girer, yatak yüzeyinden geçerek motorun altındaki kartere veya yağ deposuna akar. İçten yanmalı motorların yağlanması gereken kısımları şunlardır;

- a- Ana yataklar ve kol yataklar
- b- Kam mili yatakları
- c- Kam mili dişlileri
- d- Piston pimleri
- e- Supap tertibatı
- f- Silindir yüzeyleri
- g- Türboşarjer ve hava bloverlerinin yatakları.

##### 4.1. Yağlamanın Önemi

Kayma işlemi sırasında üretilmiş olan ısı ve atık parçaları çalışma ortamından uzaklaştırmak, kayma yüzeylerindeki sürtünme ve aşınmayı azaltmak için iki katı kayma yüzeyi arasında sıvı, katı veya gaz yağlama maddelerinin ilavesiyle yapılan işleme yağlama adı verilmektedir. Bu sistemi inceleyen bilim ve teknoloji dalına Triboloji denilmektedir.

Herhangi bir makinenin başarılı bir şekilde çalıştırılması, onun hareketli ve hareketsiz parçaları arasında oluşturulan ve metale teması önleyen yağ filmine ve yağ katmanına bağlıdır.

Tüm yağlama yağları, metal yüzeyler üzerine yayılacak ve yapışacak özellikte olduklarından, hareketli parçalar arasında olduğu gibi çok ince bir yağ katmanı veya yağ filmi oluştururlar. Yağ filminin kalınlığına bağlı olarak, metal yüzeyler arasındaki dokunma, ya azalır veya tümüyle yok edilir.

Yağ sürtünme ve aşınmayı azaltıp motor elemanları için emniyetli bir ömür ile pürüzsüz çalışmayı sağlayan bir maddedir. Yağların çoğu mineral yağlar, sentetik esterler, silikon akışkanlar ve su gibi sıvılardır.

Oysa metal metal teması yok edilse bile, değişken karakterli bazı dirençler, yüzeylerin birbirleri üzerinde kayması nedeniyle yok edilemeyecektir. Bu durumda yüzeylerin girinti ve çıkıntıları arasında bulunan ve metal yüzeylere yapışmış olan yağ partikülleri, diğer metal yüzeye yapışmak isteyeceklerdir. Buna akışkanın sürtünmesi adı verilir.

Göreceli hareketli iki metal yüzey arasında oluşturulan yağ katmanının kalınlığı;

- a- Metal yüzeylerin düzgünlüğü
- b- Yatak basıncı

- c- Yağlama yağının viskozitesi
- d- Hareketli parçaların bağıl hızı
- e- Yatak ile mil arasındaki boşluk
- f- Yatak yüzeyinin şekli veya yatak boyu/çap oranına bağlıdır.

İki metal yüzeyi birbirinden tümü ile ayıran yağ katmanına kalın film adı verilir. Motorlarda yağ filmi kalınlığı yaklaşık olarak 0.00254-0.01778 mm değerleri arasında değişmektedir. Bu durumda metal yüzeyler arasında aşınma olmaz. Eğer yağın viskozitesi azalır veya yağ filmi, yüzeydeki çıkıntılar birbirlerine dokununcaya dek inceler, fakat ana yükün yağ katmanı tarafından taşınması sürdürülür. Böyle bir durumda ince yağ katmanlı veya mükemmel olmayan yağlama adı verilir. Bu gibi yağlama şekillerinde, kalın yağ filminin azalma miktarı ile orantılı olarak metal yüzeylerde aşınmalar olacaktır.

#### **4.2. Yataklarda Yağlama Şekilleri**

İki metalin bir yağ filmi ile birbirlerinden tamamen ayrıldığı sıvı sürtünme, en tercih edilen çalışma biçimidir. Bunu sağlamanın iki farklı yolu vardır. Basıncın kendiliğinden oluştuğu hidrodinamik yağlama ve dışarıdan bir pompa yardımıyla basıncın oluşturulduğu hidrostatik yağlamadır.

#### **4.3. Hidrodinamik Yağlama**

Hidrodinamik yağlamanın çalışma prensibi oldukça ilginçtir. Beauchamp Tower adlı bir İngiliz, yatak sürtünmeleri ile ilgili bir deney sırasında ilginç bir keşif yapmıştır. Eğer (kaymalı) yatakta yeteri kadar yağ olursa, mil döndüğünde, kendiliğinden, yükü karşılayacak bir basınç oluşmaktadır. Bu durum şöyle açıklanır:

Dönmeyen bir milde, yatak boşluğu sebebiyle, mil yükün olduğu yönde küçük bir eksen kaçıklığı ile yatak yüzeyine oturur. Dönme başladığında viskoz sıvı mil tarafından harekete geçirilerek milin yaslandığı (kesitin daraldığı) tarafa itilir. Bu; sıvı kama etkisi yaparak o bölgede basıncın yükselmesini sağlar. Sıvıda kendiliğinden oluşan bu basınç mili taşıyacak güçtedir ve mil yağ filmi üzerinde tamamen sıvı sürtünme ile döner.

Yükün dönme etkisiyle oluşan basınç tarafından karşılanmasına, hidrodinamik yağlama adı verilir.

Kaymalı yataklarda aşınmaların çoğu hareketin başlangıç ve bitimindedir. Hidrodinamik yağlama, milin dönme hareketine bağlı olduğundan, hareketin başlangıcında ve sonunda (hızın

düştüğü anlarda) kısmen sıvı, kısmen de kuru sürtünme vardır. Bu da ilk harekette daha büyük kuvvetler ve aşınma demektir.

Yağlama kanallarının şekli ve konumu önemlidir. Hidrodinamik esasına göre çalışan yataklarda dikkat edilecek en önemli husus, yatakta açılacak yağ kanallarının şekli ve konumudur. Bu kanalların basıncın olduğu bölgede yada çepeçevre açılması basıncı olumsuz yönde etkileyecektir. Kanalların olduğu kısımda ve yakın çevrelerinde kama etkisi oluşamayacağından tüm yatak yüzeyinde oluşan basınç zayıflatılmış olacaktır.

Ayrıca, yağın yanlarından gelmesi yerine ortadan gelmesi tercih edilmelidir. Ortadan uçlara doğru akan yağ daha iyi bir akış ve daha iyi bir soğutma sağlayacaktır.

#### **4.4. Hidrostatik yağlama**

Dönmenin yavaş yada hiç olmadığı durumlarda yada yataklarda oluşan ısı, yağın kendi akışıyla atılamadığı durumlarda dışarıdaki bir yağ pompasıyla basınçlı yağ gönderilerek sıvı sürtünmesi sağlanabilir. Buna hidrostatik yağlama denir.

Hidrostatik yağlama etkisi mil hızına bağlı olmadığından kalkış ve duruşlarda büyük kuvvetler ve aşınma oluşmaz.

Hidrostatik yağlamanın yük taşıma kabiliyeti hidrodinamik yağlamaya göre daha yüksektir. Buna karşılık konstrüktif olarak daha karmaşık, pahalı ve fazla yer kaplarlar.

#### **4.5. Yatak Hasarları**

Yataklarda kayan yüzeylerin doğrudan teması sürtünme ve dolayısıyla hızlı aşınma ve metal yorgunluğunu doğurur. Sürtünmeyi azaltan yağlama ile yatakların çalışma süreleri ve çalışma verimleri uygun seviyeye getirilir.

Yatakların hasarsız çalışma şartlarını sağlamak ve süreklileştirmek için gerekli hesapların yanında bakımın, yağlamanın ve hasar analizlerinin yapılması zorunludur.

Bir yatak hasarını değerlendirirken aşağıdaki notlar önem taşır.

- Hasarın mahiyeti
- Görünüş
- Hasar nedenleri
- Arızalı mekanizmalar
- Önemli hasarlar

Yatağın görünüşü genellikle tam bir teşhis için yeterli delilleri içermemektedir. Hatanın sebeplerinin belirlenebilmesi için;

Çalışma zamanı (Süresi)

Çalışma koşulları

Servis

Yağ ikmali

Aşırı yükler ve diğer parçalardaki hasarlar arızayı belirlemek için gereklidir.

#### 4.6. Yatak Hasarlarının Başlıca Sebepleri

|                     |     |
|---------------------|-----|
| Kir                 | %47 |
| Simetri Ayarsızlığı | %15 |
| Kötü Montaj         | %12 |
| Fazla Yükleme       | %10 |
| Yetersiz Yağlama    | %9  |
| Korozyon            | %5  |
| Diğer Sebepler      | %2  |

#### 4.7. Aşınmanın Tanımı

Aşınmanın tanımı değişik şekillerde yapılabilmektedir.

Kullanılan malzeme yüzeylerinden mekanik sebeplerle küçük parçacıkların ayrılması neticesinde meydana gelen malzeme kaybı olarak tanımlanmaktadır (İzciler.1997)

Cisimlerin yüzeylerinde, mekanik etkenlerle mikro taneciklerin kopup ayrılması sonucu malzemede istenilmeyen bir değişikliğin meydana gelmesi olayıdır (Demirci.1982)

Moore aşınmayı, kullanılan malzemelerin yüzeylerine gaz, sıvı ve katıların teması neticesinde çeşitli etkenlerle malzemenin yüzeyinden mikro tanelerin kopması sonucu meydana gelen yüzey bozulması olarak tanımlanmıştır.

Makine parçalarının taşlanması, honlanması, leblenmesi ve polisaj işlemlerinde de malzeme üzerinden küçük parçacıklar ayrılmaktadır. Bu oluşumlar aşınma görülmekle beraber aşınma olarak incelenmez, zira bu işlemler belirli bir amaç için yapıldığından talaşlı işlem olarak yorumlanmaktadır (Gürleyik.1986)

Malzemedeki yıpranma olayının aşınma sayılabilmesi için aşağıdaki şartların sağlanması gereklidir.

Mekanik bir etkinin olması

Sürtünmenin olması

Yavaş fakat devamlı olması

Malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi

İstenilmediği halde meydana gelmesi

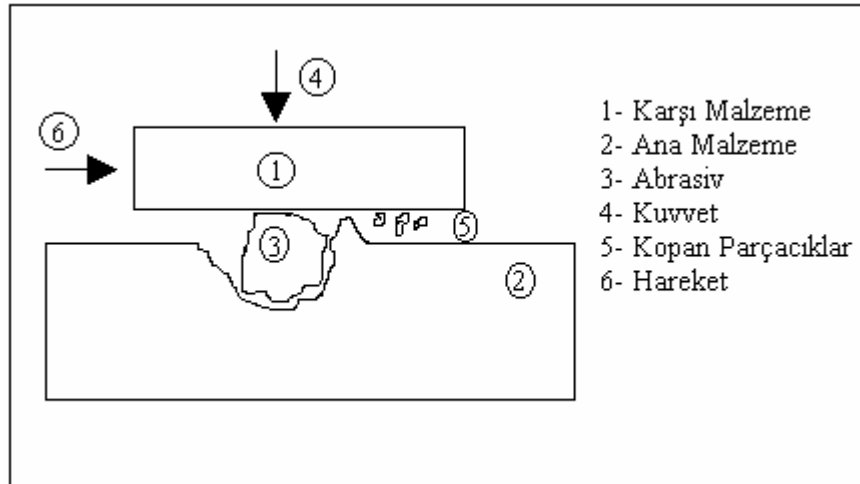
Yukarıda belirtilen etkileri kapsamayan etkilerden dolayı bir problem oluşuyorsa bu hasar türü aşınma olarak gösterilemez.

Aşınma umumiyetle; Yataklarda, silindirlerde, pistonlarda, supaplarda, frenlerde, tekerleklerde, dişlilerde, kırma ve öğütme makinelerinde, inşaat makinelerinde, türbin kanatlarında vb makine yapılarında görülmektedir.

#### 4.8. Aşınma Sistemleri

Aşınma sisteminin temel unsurları şunlardan oluşmaktadır. Şekil 4.8

- a- Ana malzeme (Aşınan)
- b- Karşı malzeme (Aşındıran)
- c- Ara malzeme
- d- Yük
- e- Hareket
- f- Çevre



Şekil 4.1. Aşınma Mekanizması

Bütün bu unsurların oluşturduğu sistem, teknikte “Tribolojik Sistem” diye adlandırılır. Bir triboloji olayın incelenmesinde sisteme ait olan olay ve faktörler ayrı ayrı değil bir bütün

olarak incelenir. Tribolojik sistem ile bu olaya katılan sürtünme ve diğr büyüklükler ile aktarma ve taşıma sırasında dönüşün ve kaybolan enerjinin tamamı kst edilir. Ayrıca aşınma hızı ve sürtünme katsayısı bir malzeme zelliğ değl, bir tribolojik sistem zelliğ olup deneylerle bulunabilir. (Eyre.1991)

#### **4.9. Aşnmay Etkileyen Faktörler**

Aşnmay etkileyen faktörler dört grupta incelenir.

1. Ana malzemeye bağlı faktörler
  - 1.1. Malzemenin Kristal Yapısı
  - 1.2. Malzemenin Sertliği
  - 1.3. Elastite Modülü
  - 1.4. Deformasyon Davranışı
  - 1.5. Yüzey Pürüzlülüğü
  - 1.6. Malzemenin Boyutu
2. Karşı Malzemeye Bağlı Faktörler ve Aşndırıcının Etkisi
3. Ortamın Etkisi
  - 3.1. Sıcaklık
  - 3.2. Nem
  - 3.3. Atmosfer
4. Servis koşlları
  - 4.1. Basınc
  - 4.2. Hız
  - 4.3. Kayma Yolu

#### **4.10. Aşınma Mekanizmalarına Göre Aşınma Türleri**

Makine parçalarının hasar görmesi ve görevini yerine getirememesinin en önemli etkeni aşnmadır. Aşınma bilindiği gibi son derece karmaşık bir olaydır ve bu nedenle de henüz aşnmayı tam olarak açıklayan sistematik bir czm retilmemiştir. Ancak aşınmanın temel unsurları tespit edilmiştir. Cok sayıda değişkenin etkilediği aşnmayı tanımlamak için de o derece farklı aşınma test yöntemleri geliştirilmiştir. Esas itibarı ile aşınma mekanizmalarına bağlı olarak tasarlanan aşınma test yöntemleri genel olarak adhesiv ve abrasiv aşınma mekanizmaları şklinde iki guruba toplanmıştır (İpek,1992).

1. Adhesiv aşınma
2. Abrasiv aşınma
3. Yorulma Aşınması

4. Erozif aşınma
5. Öğütmeli aşınma
6. Oymalı aşınma
7. Kazımalı aşınma
8. Korozi aşınma

#### 4.11. Aşınma Deneylerinde Kullanılan Deney Düzenekleri

Malzemelerdeki aşınmanın büyük ölçüde işletme koşullarına bağlı olduğu bilinir. Önceleri aşınmayı etkileyen temel faktörler detaylarıyla dikkate alınmıyordu. Onun için tüm laboratuvar çalışmaları, yapılanlardan emin olmak için birkaç kez tekrarlanırdı. (I.V.Kragelskii.1965) Deneylerde gerçek çalışma şartlarının kullanımı, en güvenilir yöntem olarak gözlenmiştir. Bununla birlikte araştırma amaçları için sadece bir faktörün göz önüne alındığı koşullarda, makineler üzerinde laboratuvar araştırmalarının yapılmasının uygun olduğu düşünülmüştür.

Aşınma üzerinde yapılan çalışmalarda birçok deney düzeneği kullanılır. Laboratuvar aşınma araştırmaları ya aşınmayı ortaya çıkaran mekanizmaların denenmesi ya da pratik uygulamaları benzetmek üzere uygulanır ve aşınma oranları üzerine yararlı dizayn verileri elde edilebilir. Bunun için aşınmayı etkileyebilen tüm değişkenlerin ölçüm ve kontrolü çok önemlidir.

Tüm etkilerin geçerli olduğu bir laboratuvar benzetimi üretmek mümkün değildir. Geçerli bir aşınma deneyi sadece bir işletme koşulunda olur. Araştırmacılar her zaman benzetmeye çalıştıkları gerçek koşullardan uzaklaşmanın mümkün sonuçlarını bilmek durumundadırlar.

Tüm aşınma deneylerinde zorunlu parçalar; temas basınçları, sıcaklık koşulları, kayma hızları ve kimyasal çevredir.

Genel olarak aşınma araştırmaları şu amaçla yapılır.

- Sistemlerin ya da sistem elemanlarının verimliliği, ömrü, güvenilirliği, performansı, fonksiyonu ve bakım yapılabilirliğinin değerlendirilmesi.
- Sistem elemanlarının kalite kontrolü.
- Malzemenin ve yağlayıcının tribolojik davranışlarının karakterize edilmesi.
- Aşınmanın neden olduğu malzeme kayıplarının araştırılması.(ASM Handbook)

#### **4.11.1. Laboratuvar Aşınma Deneylerinde Kullanılan Cihaz Türleri**

Aşınmaya uğrayan makine parçalarının endüstride kullanma yer ve koşullarının farklı oluşu, ilgili tribolojik olayları incelemek için geliştirilen deney düzeneklerinin de çok çeşitli oluşu sonucunu doğurmuştur. Yapılan araştırmalar sonucu birbirinden farklılık gösteren deney düzeneklerinin sayısının yüzölçümleriyle ifade edileceği belirlenmiştir. Bunların tümünün verilme zorluğu nedeniyle, numunelerin şekilleri itibarıyla yapılmış bir sınıflandırma şeklinde verilmiştir.

#### **4.11.2. Deney Koşulları ve Sınıfları**

Araştırılan makine, sistem, elemanlar yada numunenin fonksiyon ve yapısına bağlı olarak aşınmaları 6 değişik grupta gösterebilir.

**Makine Alan Deneyleri:** Pratik işletme koşulları altında gerçek sistemin denenmesi. Gerçek makine ile yapılan bu deneyler, çalışan nesnenin gerçek performansını ortaya koyar.

**Makine Tezgah Deneyleri:** Pratiğe yöneltilmiş işletme koşulları altında gerçek sistemin denenmesi.

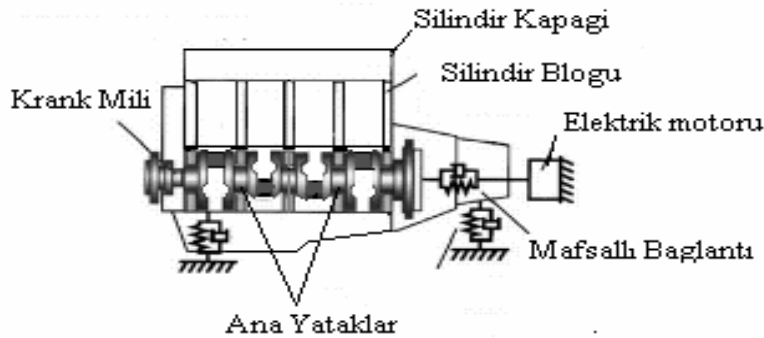
**Model Deneyleri:** Pratiğe yöneltilmiş işlem koşulları altında model numunelerin denenmesi. Model deney numuneleri gerçek elemanlardan fazla kullanılır. Bu tür deneyler gerçek mühendislik koşullarına benzetilmek üzere yapılıyorsa, temel tribolojik parametrelerde de yeterli bir benzerlik gerçekleştirilmeli.

**Laboratuvar Deneyleri:** Laboratuvar işlem koşulları altında keyfi deney numunelerinin denenmesi, Sürtünme ve aşınma işlemlerinin temel çalışmalarında öncelikle kullanılır. Bu deneylerin koşulları, özel tribolojik olayları araştırmak için seçilir.

## 5. DENEY DÜZENEGİ

Kayma sürtünmesinin önemli uygulamalarından biri olan kaymalı yatakların tribolojik özelliklerinin belirlenmesinde en çok pim-silindir, levha-silindir gibi model deney cihazları kullanılmaktadır(Eyre, 1991, Demirci, 1998). Bu modeller deneylerin yapılması ve ölçümlerin kolaylığı bakımından avantajlıdır. Ancak yatakların farklı çalışma şartlarına sahip olması ve tribolojik davranışlarının farklı olması sebebiyle deneylerin doğrudan yataklar üzerinde yapılması gerekir (Tevrüz, 1988). Bugüne kadarki doğrudan yataklar üzerindeki yapılan çalışmalarda mil ve yatağın sökölüp takılabilmesi pratik değildir. Bu çalışmada tasarlanan deney düzeneği ile bu durum ortadan kaldırılmıştır.

Temel deney düzeneği olarak 4 silindirli bir opel 1800 motorun piston, kam mili ve supap mekanizması gibi hareketli parçalar sökölümüş, ancak krank mili muyluları ve yatakların basınçlı yağlama sistemi ile yağlanması sağlamak amacıyla motorun yağlama sistemi çalışır durumda bırakılmıştır. Deney setini oluşturan söz konusu motorun gerçek motorda yatak aşınması üzerinde etkili olan faktörleri oluşturmakta için sistemin simülasyonu yapılmıştır. Söz konusu deney düzeneğinin mil eksenindeki kesit Görünümü Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Bu deney düzeneği 1800cc Opel marka motor bloğu, 2 Hp gücünde bir elektrik motoru, bir adet krank mili, yatak numuneleri, yükleme ağırlıkları, kayış kasnak sistemi, yağ pompası ve yağ filtresinden oluşmaktadır. Deney mili olarak motorun orijinal krank mili kullanılmıştır, yükleme krank milinin balansı (Dengesi) bozularak uygulanmıştır. Yatak olarak motorun orijinal yataklı ve yeni formülasyonla hazırlanan kurşun esaslı alaşım yataklar kullanılmıştır. Yatak ve muyluların yağlanması motorun yağlanması motorun yağlama düzeneğinden sağlanmıştır. Ayrıca deney düzeneğinde mil devri ve sıcaklık da değiştirilebilecek şekilde düzenlenmiştir.



Şeki 5.1. Deney Düzeneğinin Şematik Görünümü

Deneylerde kullanılan krank mili yüzey sertleştirme işlemine tabi tutulmuş alaşımlı çelikten yapıldığı ve yüzey sertliğinin 65 rokvel C değerinde olması, bunun yanında yatak malzemesi olarak sertliğinin çok düşük kalması dikkate alınarak deneyler sırasında krank milinin aşınmadığı kabul edilmiştir. Krank mili muylu yüzeylerinin çok hassas taşlandığı ve polisaj yapıldığı da göz önüne alındığında bu yaklaşımının bilimsel bir çalışma için kabul edilebilir bir uygulama olduğu söylenebilir. Bu nedenle kaymalı yatak aşınma cihazı sadece yatak malzemesinin aşınmasını incelemek için tasarlanmıştır. Bu tür çalışmalarda kullanılan aşınma test cihazları kısmen standartlaşmıştır. Ancak standart test cihazlarında motor çalışma şartlarını yakalamak mümkün olmamaktadır. Bu sebeple çalışmada standart aşınma test cihazları kullanılmamış motor şartlarını olabildiğince sağlayan simüle edilmiş bir deney düzeneği hazırlanmıştır.

### 5.1. Deney Setinin Tanıtımı

Ana yatak deney düzeneği aşağıda belirtilen bölümlerden oluşmaktadır.

- 1 Krank mili tahrik ünitesi
- 2 Hareket iletim ünitesi
- 3 Yatak ünitesi
- 4 Yağlama ünitesi
- 5 Yağ sıcaklığı kontrol ünitesi
- 6 Yağ basınç göstergesi
- 7 Yatak yükleme ünitesi



Şekil 5.2. Deney Düzeneğinin Görünümü

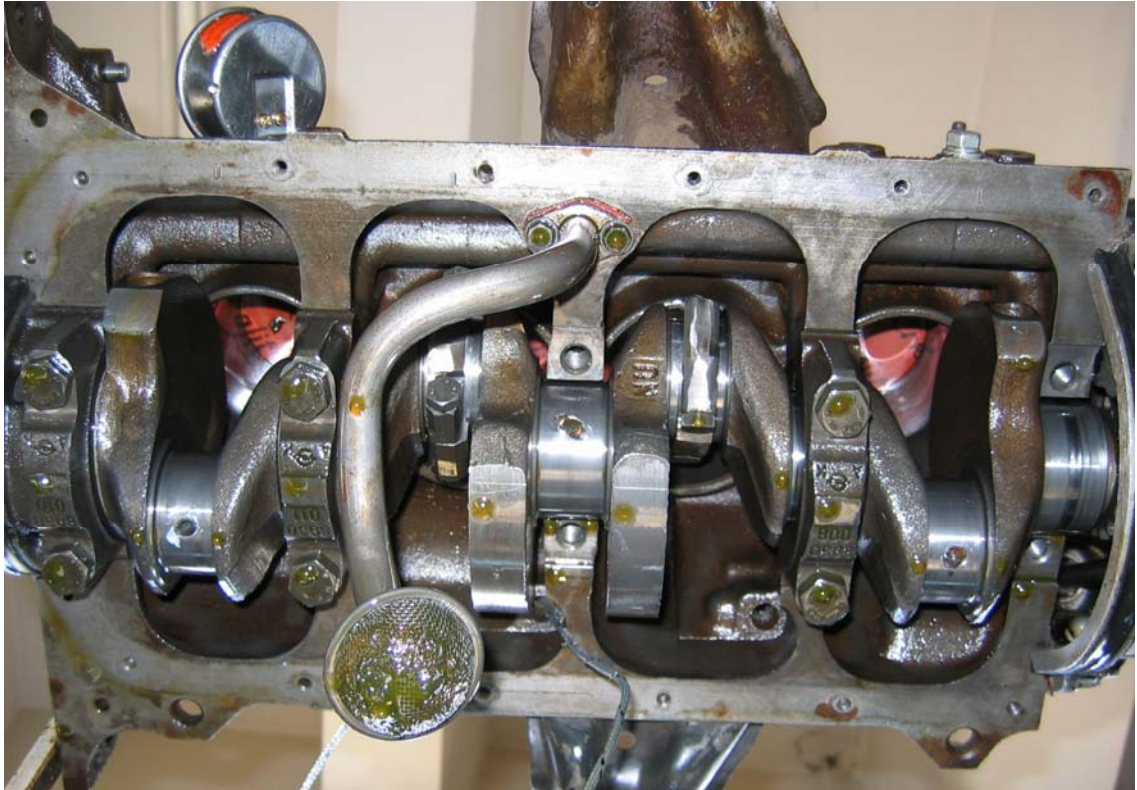
### 5.1.1. Hareket İletim Ünitesi

Şekil 5.2’de deney düzeneği görülmektedir. Deney tertibatı üzerine kurulan kayış kasnak mekanizması ile elektrik motorundan krank miline hareket iletimi sağlamaktadır. Şekil 5.2’de görüldüğü gibi hareket, elektrik motorundan çapları farklı kasnaklar arasında yer alan kayış yardımı ile deney motoruna aktarılmaktadır.

### 5.1.2. Yatak Ünitesi

Üretilen yatakları test ederek aşındırmak amacıyla opel marka motor bloğu içerisinde bulunan krank ana yatak yuvaları kullanılmış ve hazırlanan yatak numuneleri motorun ana yatak yuvalarına takılmıştır. Kep ve yuvalara yataklar Şekil 5.3.’de görüldüğü gibi yerleştirildikten sonra kep cıvataları boşlukları alındıktan sonra kep cıvatalarının boşlukları alındıktan sonra katalogda belirtilen tork değerlerinde sıkılmıştır.

Orijinal motorda 5 adet ana yatak yuvası bulunmaktadır deney amacıyla 1,3 ve 5 numaralı yataklar iptal edilmiş, 2 ve 4 numaralı yatak yuva ve keplerinin bir tanesine orijinal yatak diğerine yeni üretilen yatak numunesi takılmıştır. Böylece her iki yatağa gelen krank mili ağırlığı ve sonradan krank miline ilave edilen ağırlıkların dengesizlik (balanssızlık) nedeniyle oluşturduğu merkezkaç kuvvetinin her iki yatağa etkisi eşitlenmiştir.



Şekil 5.3. Krank Mili Ana Yatak Ve Krank Mil Bağlantı Görünümü

### 5.1.3. Yağlama Ünitesi

Deney süresince yağlama sistemi olarak opel marka motorun orijinal yağlama sistemi kullanılmıştır. Yağ, motorun krank milinden hareket alan yağ pompası ile basıncı 2.5 bar'a yükseltilerek motorda yağlama yapılması gereken yerlere yağ kanalları vasıtası ile taşınmaktadır. Ayrıca boşta kalan yataklarda ve krank mili ana yatak muylularında bulunan yağ deliklerinden yağ çıkışı ahşap tıkaçlar kullanılarak önlenmiş, yataklardaki yağ basıncının sürekli olarak 2.5 bar seviyesinde kalması sağlanmıştır. (Şekil 5.4.)



Şekil 5.4. (a) Yağ emiş tertibatı (b) Yağ pompası ve yağlama sistemi dış görünümü

### 5.1.4 Yağ Sıcaklığı Kontrol Ünitesi

Yağlama yağı çalışma sırasında ısınmaktadır. Yağ sıcaklığının yükselmesi yağlama yağının vasfının bozulmasına ve yağlamanın kötüleşmesine neden olmaktadır. Bu nedenle deneyler sırasında yağ sıcaklığı ölçülerek sıcaklığının aşırı yükselmesi önlenmiştir. Bu amaçla kullanılan sıcaklık ölçme cihazı; demir-constant ısı çifti ve dijital sıcaklık göstergesinden oluşmaktadır. Şekil-5.5.b'de görüldüğü gibi termo eleman motorun yağ çubuğu deliğinden karterdeki yağlama yağının içine indirilmiştir. Isıl çift tarafından karterdeki yağ sıcaklığı algılanarak şekil 5.5.a'da görülen sıcaklık göstergesinden okunabilmektedir.



Şekil 5.5. Dijital Sıcaklık Göstergesi Ve Termo Elemanın Deney Düzeneği Üzerindeki Görünümü

### 5.1.5. Yağ Basınç Göstergesi

Aşınma açısından hidrodinamik yağlama motorlar için çok önemlidir. Hidrodinamik yağlama; sıvı yağlayıcının dönen yada kayan yüzeyler arasında bulunup kalın sıkıştırılmış bir film oluşturmasıdır(Qiu,X. Hamdi,A.). Sürtünme kuvveti yağ film özelliğinin bir fonksiyonudur(Wang,Y. Tung,S.C.). Yağ filminin bazı nedenlerden dolayı yırtılması metal-metal temasını sağlamakta, bu da malzemelerin hızla aşınmasına ve aşınma partikülleri oluşturmasına sebep olmaktadır. Hidrodinamik yağlamada kalın sıkıştırılmış yağ filminin uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır. Krank mili ve yatak mekanizması düşünüldüğünde zamanla aşınma veya yağlama sistemindeki herhangi bir arıza nedeniyle yağ basıncının düşmesine sebep olmakta, meydana gelen bu olumsuz etkiler, yağ filminin kısmi veya genel olarak yırtılmasına sebep olmaktadır.

Yağ basıncının düşmesinin bu olumsuz etkisi göz önünde tutularak sistemdeki yağ basıncı sürekli gözlenerek kontrol edilmiştir.

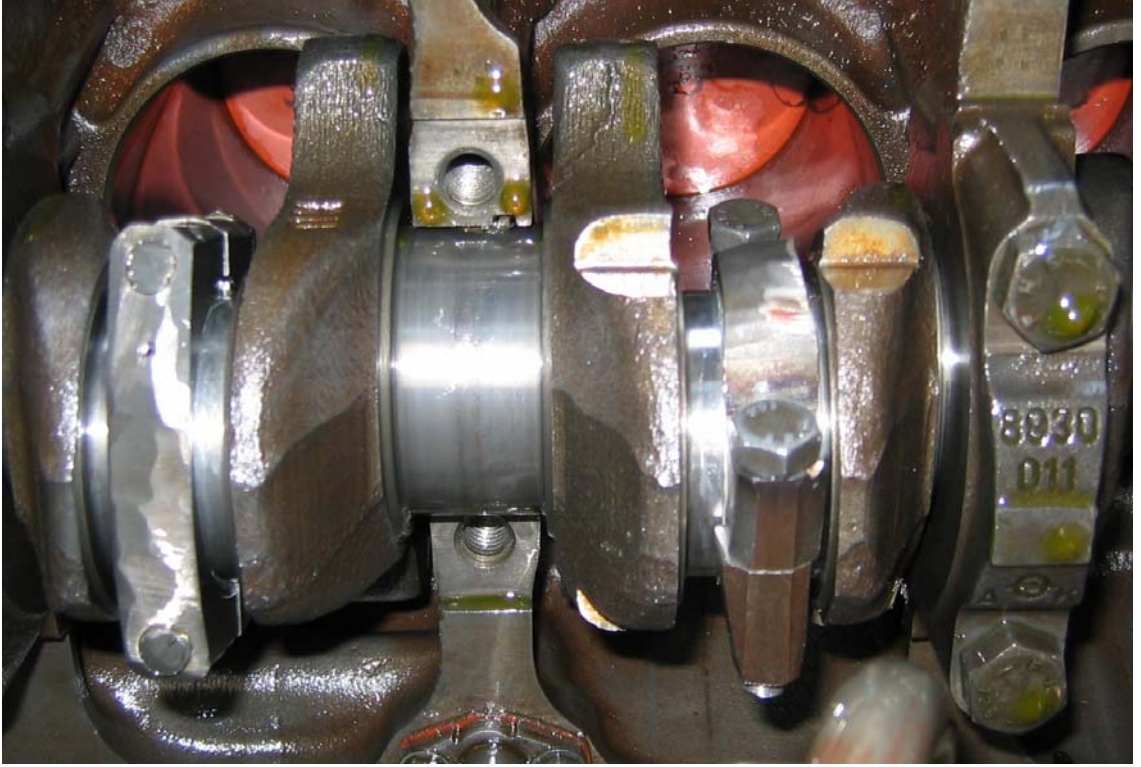
Yağ basıncı blok üzerinde ki ana yağ kanalı üzerinde bulunan yağ müşiri sökölüp yerine manometre bağlanarak ölçölmüştür.(Şekil 5.6.)



Şekil 5.6. Basınç Göstergesinin Görünümü

### 5.1.6. Yatak Yükleme Ünitesi

Hazırlanan deney setinde yataklara bağlanmış olan krank mili kol muylularına bağlanabilen farklı ağırlıklarla milin balansı bozulmuştur. Bu şekilde yataklar merkez kaç kuvvetlerinin etkisiyle istenilen yük etkisinde çalıştırılabilmektedir. Şekil 5.7.'de krank mili kol muylularına bağlanmış ağırlıklar görölmektedir.



**Şekil 5.7.** Yatak Yükleme Ağırlıklarının Görünümü

Deneyde sadece tek bir yük kullanılmıştır ve iki yatağın karşılaştırılması amaçlanmıştır. Kullanılan toplam yatak yükleme ağırlıkları 450 gr olarak alınmıştır. Merkez kaç kuvvetleri aşağıdaki gibi hesaplanarak yataklara gelen yük hesaplanmıştır.

$$F = \frac{G}{g} \left( \frac{\pi}{60} \right)^2 r$$

$$F = \frac{mg}{g} \left( \frac{\pi}{60} \right)^2 r \quad F = 0.45 \left( \frac{3.14.1020}{60} \right)^2 0.055$$

$$F = 70.53 \text{ N}$$

Burada;

F: Merkezkaç (yatak zorlayan) toplam kuvvet (N)

G: Ağırlık (Kg)

g: Yer çekimi ivmesi

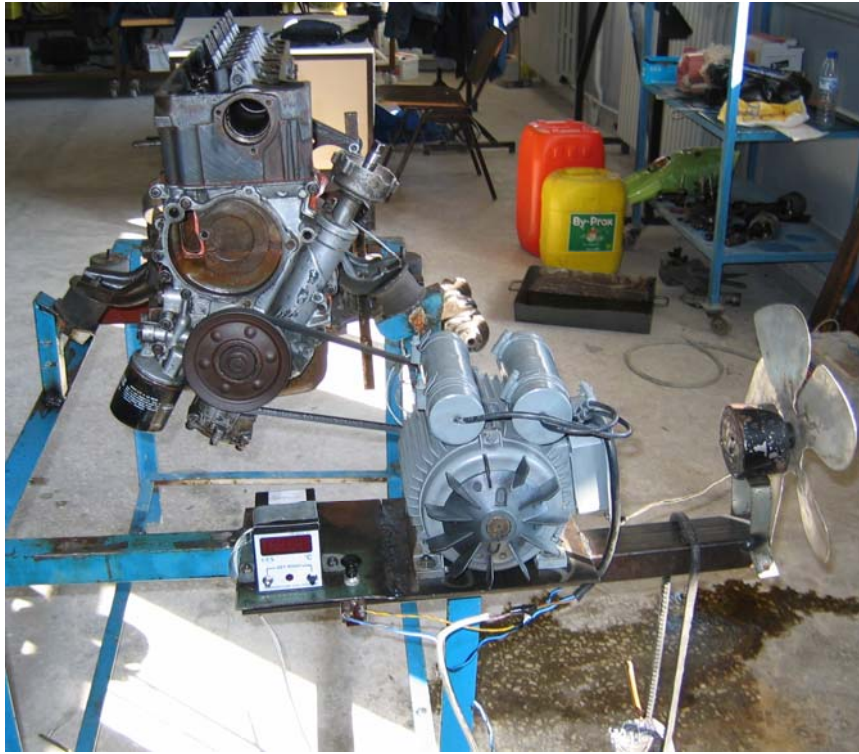
$\pi$ : Sabit sayı

n: Devir sayısı

r: Krank yarı çapı

## 5.2. Deney Setinin Kurulması

Krank mili ana yatak deney seti Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Deneyde kullanılan motor opel marka bir motordur. Bu motor hazırlanırken silindir bloğunda ve silindir kapağında bulunan bütün motor elemanları sökülerek deneyin amacına uygun hale getirilmiştir. Motor üzerinde sadece silindir kapağı, krank mili ve yağlama sistemi çalışır durumda bırakılmıştır. Hazırlanan deney motor bloğu metal sehpa üzerine motor şasi bağlantı noktalarından elastik bağlantı takozları ile terazili bir şekilde bağlanmıştır. Motor bloğu içerisindeki krank miline hareket, kondansatörlü tip elektrik motoru ile verilmektedir. Hareket iletimi 8/11 çap oranına sahip V kasnak ve kayış yardımı ile yapılmaktadır. Bu şekilde kasnak çapları değiştirilerek motor devride değiştirilebilmektedir.



Şeki 5.8. Deney Düzeneginin Genel Görünümü

Krank mili dönerken ana yatakları yüklü çalıştırabilmek için krank mili kol muylularına ağırlıklar bağlanarak milin dönme balansı bozulmuş ve oluşan darbeli hareket sonucu yataklar yüklenmiştir.

Yatakların kuru sürtünme yapmaması için motorun orijinal yağlama sistemi kullanılmıştır. Motorun karterinde bulunan yağlama yağ krank milinden hareket alan dişli pompa tarafından emilir basıncı yükseltilen yağ motor bloğu içerisinde bulunan yağ kanallarından geçerek ana yataklara ulaşır. Motor bloğu üzerinde yağ mşrinin bağlandığı bölüme takılan manometre aracılığı ile çalışma sırasındaki yağ basıncı değerleri okunabilmektedir. Motorda deney esnasında SAE 20W/50 Petrol Ofisi motor yağı kullanılmıştır.

Sistemde bağımsız çalışan bir ısı lme tertibatı bulunmaktadır. Demir-Constant termo eleman motor bloğunda bulunan yağ çubuğu deliğinden motor içerisine geçirilerek kartere yerleştirilmiştir. Termo eleman karterdeki yağ sıcaklığını algılayarak 220 V elektrikle çalışan dijital sıcaklık lme cihazlarına, sinyaller göndererek deney anındaki motor yağ sıcaklığını gösterge panelinden okunabilmektedir.

### 5.3. Yatak Numuneleri

Çalışmanın temelini oluşturan deneysel çalışmalarda yeni üretilen, geleneksel kurşun esaslı yataklardan farklı içerik ve formülasyonlu yatak kullanılmıştır. Bu yeni yatağın aşınma davranışının incelenmesinde elde edilen bulguların mukayese edilerek değerlendirilmesi amacıyla deneylerde deney seti olarak kullanılan motorun orijinal yatağı kullanılmıştır şekil 5.9.A., şekil 5.9.B. Tablo 5.1’de bu yatakların analiz sonuçlar verilmiştir.

Test edilen motor ana yatakları iki farklı malzeme ve karışım oranlarından oluşmaktadır.



şekil 5.9.A. Opel marka motorun orijinal yatakları

**Tablo 5.1.** 1009. Ana Tamir Fabrikasında Yapılan Atomik Yapı Analizleri Sonucu

|             | Kurşun Pb | Kalay Sn | Bakır Cu | ZrO <sub>2</sub> | Diğerleri | Sertlik(HB) |
|-------------|-----------|----------|----------|------------------|-----------|-------------|
| Orj. Numune | 84.23     | 2.25     | 0.58     |                  | 12.25     | 34.86       |
| Kapl.Numune | 90.0      | 5.57     | 1.09     | 2.74             | G.Kalan   | 41.88       |



**Şekil 5.9.B.** Toz püskürtme yöntemiyle üretilen yatak numunesi

Çalışmada beyaz metal olarak adlandırılan bu tür yatakların tercih edilme sebebi önceki bölümlerde de belirtildiği gibi tekrarlanan ve maximum basıncı, ortalama basınçtan çok yüksek olan bir yüklemenin olmasıdır. İçten yanmalı motorlarda kullanılan kaymalı yataklar çalışmaları sırasında yüksek sıcaklıklara maruz kalırlar. Bu değişken yük ve sıcaklık etkisinde çalışan yatakların, özelliklerini muhafaza etmesi istenir. Bu; yatak malzemesinin yağlayıcılık ve yağ tutma özelliğinin yüksek olmasına bağlıdır. Bu özelliğinin kurşun esaslı yataklarda yeterince bulunması, kaymalı yataklarda kurşunun ana element olarak kullanılmasının başlıca nedeni olarak görülebilir.

Ayrıca kurşunun plastik deforme olma özelliği, milde oluşan sehimler ve gerilmelerin yatak üzerindeki olumsuz etkilerini karşılayabilmektedir. Alaşıma eklenen kalayın ise yüzey pürüzlülüğünü azaltarak bu amaçla sürtünme kayıplarının düşürülmesi planlanmıştır. Kullanılan kalay ve kurşunun yumuşak olmasından dolayı yatakların dayanımı çok düşük seviyelerde kalmaktadır. Az miktarda da olsa yatak malzemesine katılan Cu ilavesi ile yatağın basma dayanımını arttırmaktadır. Y.Goto yapmış olduğu benzinli motorlarda kullanılan kurşun esaslı yataklar konulu çalışmasında; yatak içerisine katılan %1 Cu'nun yatağın yorulma direncini iyileştirdiği sonucuna varmıştır. Yine aynı çalışmada yatak malzemesine katılan Cu'nun

içeriğinde Cu olmayan yataklara göre çalışma sonrası çatlak oluşumunu azalttığı belirtmektedir. Bu çalışmada Cu ilavesinin yatağın basma dayanımını arttırdığı düşüncesini desteklemektedir. Yatak sertliğini daha fazla yükseltmek amacıyla yatak malzemesi içerisine  $ZrO_2$  ilave edilmiştir.  $ZrO_2$ 'in tanecik büyüklüğü ve yapı içerisindeki dağılımı bu durum için önem arz etmektedir. Toz püskürtme yöntemi ile üretimini yapılan yatakta %2.74 oranında, %99 saflıkta ve 50 mikron tanecik büyüklüğüne sahip  $ZrO_2$  kullanılmıştır. Yapılan sertlik ölçümlerinde  $ZrO_2$  katkısının yatağın sertliğini orijinal numuneye göre arttırdığı görülmüştür.[Tablo 5.1]

#### 5.4. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Farklı kimyasal bileşenlere sahip yatak alaşımları çelik kusnet içerisine toz püskürtme yöntemi ile kaplama yapılarak üretimi yapılmıştır. Bu yöntemde toz malzeme alev sprej tabancasının üzerindeki bir besleyiciden yer çekimin etkisiyle beslenmekte ve bir taşıyıcı gazın yardımı ile toplanıp ile ergitilmek üzere tabancanın nozuluna taşınmaktadır. Bu kısımda ergitilen tozlar kaplama işlemini meydana getirmek üzere kaplanacak malzeme üzerine püskürtülmektedir.(Lutz, E.H.,1993)

Toz halindeki tanecik büyüklükleri 60-120 mikron arasındadır. Toz alaşımları Şekil 5.4.A ve 5.4.B'de görüldüğü gibi sulzer metko flame sprej (Toz püskürtme) cihazında oksijen ile vakum yapılarak oksijen asetilen alevi ortasından kaplanacak olan nikel çelik kusnetin iç yüzeyine püskürtülerek kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.10.A. Toz Metalin Tabancadan Püskürtülmesi



Şekil 5.10.B. Toz Püskürtme İşleminin Uygulanması

Farklı ergime sıcaklığına sahip olan toz halindeki metal tanecikleri yüzeye mekanik olarak yapışmaktadır. Kaplama esnasında parça sıcaklığı 200 C°'yi geçmediği için soğuk sistem olarak adlandırılmaktadır ( Halamoğlu.T). Elde edilen numuneler şekil 5.9.'da görülmektedir.

### **5.5. Deneyin Yapılışı**

Üretilen yatağın aşınma davranışını incelemek için, yataklar deney setine yerleştirilmeden önce benzin ve alkolle yıkandıktan sonra hassas terazide tartılmıştır. Daha sonra yataklar krank mili bağlanmadan yerlerine oturtularak yatak kepi cıvataları, katalogda belirtilen işlem sırası ve torkunda sıkılarak iç çap ölçüleri komparatör ve mikro metre kullanılarak ölçülmüştür. Ayrıca beraber çalışan silindirlere ait aynı eksenindeki krank mili kol muyluları üzerine ağırlıklar bağlanmış ve krank milinin dengesi bozulmuştur. Bu şekilde ilave ağırlıkların ana yatak muylularına eşit uzaklıkta olması sağlanmıştır. Böylece ağırlıkların oluşturacağı merkez kaç kuvvetin ana yataklar üzerindeki etkilerinde eşit olması sağlanmıştır. Bu ağırlıklarla mil ana yataklara oturtulup yine kepleri sıkma torklarına uygun değerlerde sıkılmıştır. Motorun karteri yerine bağlanıp yeterince yağlama yağı ilave edilmiştir. İlk anda yataklardaki kuru sürtünmeyi önlemek amacıyla motor çalıştırılmadan yağlama sistemi ve yağ pompasının içerisi yağ doldurulmuş ve motor bu şekilde çalıştırılmaya hazır hale getirilmiştir.

Ön hazırlıklar yapıldıktan sonra deney motoru, 500 saat aralıksız çalıştırıldı, çalışma sırasında periyodik aralıklarda yağ sıcaklığı ve basınç değerleri okunmuştur.

Yapılan deneylerde ilk çalıştırma esnasında motorun sürekli rejim sıcaklığının sabit kalması için motorun karterinde bulunan yağlama yağı, harici bir ısıtıcı ile dış ortam sıcaklığına bağlı olarak aralıklı olarak ısıtıldı. Kaplama yapılan yatak ve orijinal yatak numuneleri aynı şartlarda test edildi.

500 saat'lik çalışma sonrasında motor parçaları sökülerek kaplama yapılan yatak ve orijinal yataklar benzinde 24 saat bekletilmiş ve alkolle yıkandıktan sonra sıcak hava üflenerek yağ ve pisliklerden temizlenmiştir.

### **5.6. Metalografik Çalışma için Yatak Numunelerinin Hazırlanması**

Yapılan deneyler sonucu numunelerin mikro yapılarını ve meydana gelen fazları belirlemek amacıyla metalografik çalışmalar yapılmıştır.

Bunlar sırayla;

SEM (scaning Electron Microscopy)

Yüzey Pürüzlülük

Mikro sertlik

Atomik spektral analiz gibi.

500 Saatlik çalışma sonucunda motor yataklarının aynı bölümlerinden parçalar alınarak SEM, Sertlik, Atomik Spektral Analiz ve Yüzey pürüzlülüğü gibi analizler yapılmıştır.

Kaplanmış yatak ve orijinal yataklar 50 mm lik parçalar halinde kesildi ve bakalit içerisine gömüldü, yüzey daha sonra 100, 250, 600, 1000, 1200'lük zımparalar ile zımparalanmıştır. Çulha ile 1 mm'lik elmas pasta ile her iki yatağın bakalit dışında kalan yan yüzeyleri parlatılmıştır. Yüzeyleri parlatılan numuneler tekrar alkol ile temizlenmiştir. Yüzeyleri temizlenen numuneler %4 Nital (%4 Nitrik Asit + %96 alkol) ile dikkatli bir şekilde dağlanmıştır. Dış ortam neminden etkilenip oksitlenmesi için numuneler hava almayan kutulara konulmuştur.

SEM fotoğrafları için ise yine 50 mm lik parçalar kesilmiştir ve yüzeyler alkol ile temizlendikten sonra kutularda muhafaza edilmiştir. SEM fotoğrafları Erciyes Üniversitesi Teknoloji geliştirme merkezinde çekilmiştir.

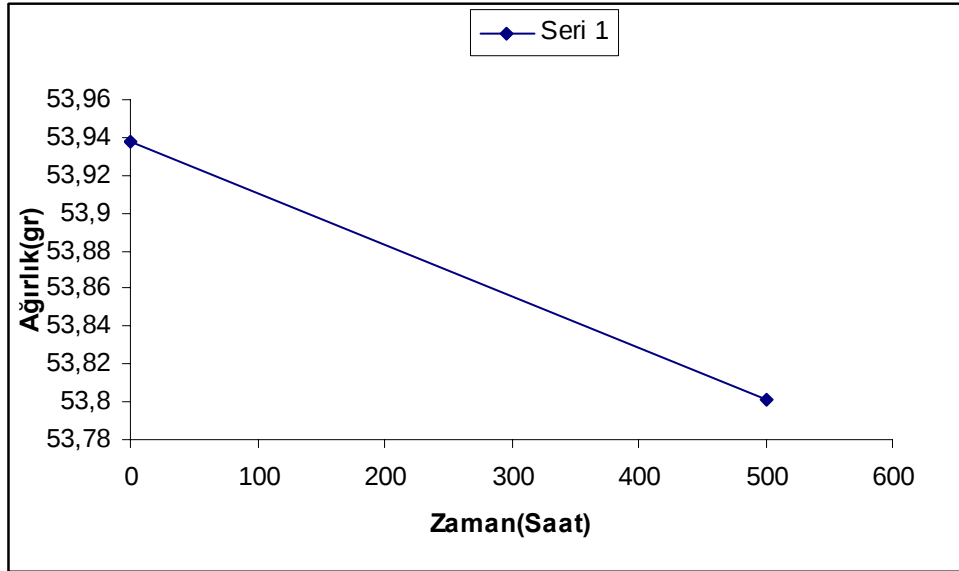
## 6. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

### 6.1. Ağırlık Kaybına Göre Aşınma

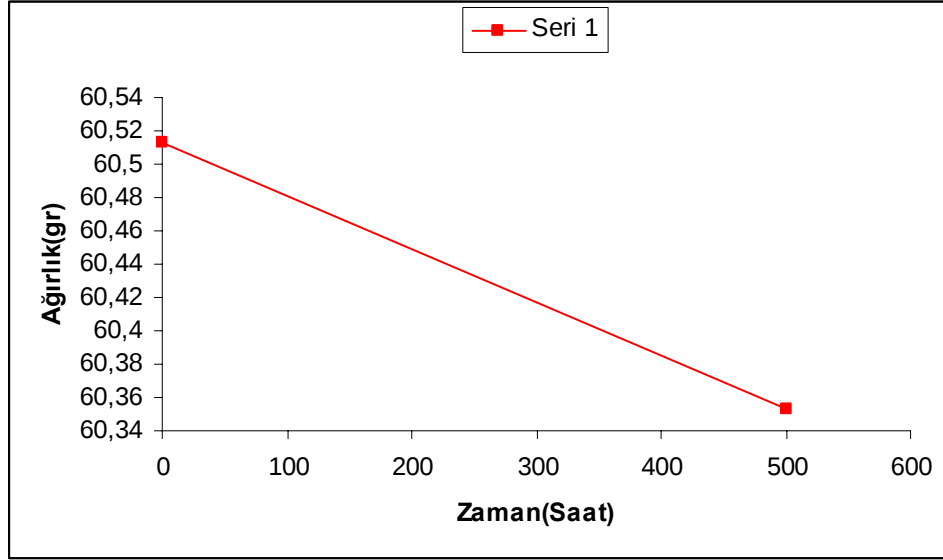
Deneyde kullanılan numuneler ve deney seti yataklar yüklü konumda hazırlanıp, deney düzeneği 500 saat çalıştırılmıştır. Aşınma testi yeterli görülen 500 saatlik çalışma sonunda krank mili ve yataklar sökülerek temizlenip kurutulduktan sonra tartılarak aşınma nedeniyle yataklardaki ağırlık kaybı belirlenmiştir. Yatakları tartma işleminde  $10^{-5}$  gr hassasiyetli elektronik terazi kullanılmıştır. Yatak ağırlıkları tablo 6.1 ve çalışma süresine bağlı olarak ağırlık değişimi şekil 6.1’de verilmiştir.

**Tablo 6.1** Yatakların Ağırlık Değerleri

|               |      | Çalışma Öncesi | Çalışma Sonrası | Ağırlık Kaybı | Çalışma Zamanı |
|---------------|------|----------------|-----------------|---------------|----------------|
|               |      | Ağırlık (gr)   | Ağırlık(gr)     | (gr)          | (Saat)         |
| Kaplama       |      | 53.9374        | 53.8015         | 0.1359        | 500            |
| Yapılan Yatak |      |                |                 |               |                |
| Orijinal      | Opel | 60.5135        | 60.3527         | 0.1608        | 500            |
| Yatağı        |      |                |                 |               |                |



**Şekil 6.1.** Pb-Sn-Cu-ZrO Alaşımından Hazırlanan Yatak Numunesinin Ağırlık Değişimi



Şekil 6.2. Deneyde Kullanılan Opel Marka Motorun Orijinal Yatağın Ağırlık Değişimi

Aşınma deneyleri gerçek motor şartlarının simülasyonu yapılmış deney setinde her iki yatak için eşit şartlarda yapılmıştır. Deney sonucunda toz püskürtme yöntemi ile hazırlanan yeni içerikli yatakta ağırlık kaybının 0.1349 gr orijinal yatakta ise 0.1608 gr olduğu görülmüştür. Rakamlardan açıkça anlaşılabileceği gibi yeni üretilen yatakta daha az aşınma olduğu buna göre yeni yatağın aşınma davranışının orijinal yatağa göre daha iyi olduğu söylenebilir. Motor malzemeleri içerisine ZrO katılması veya motor parçalarının ZrO ile kaplanması malzemenin aşınma davranışını iyileştirmektedir. Levy ve arkadaşları, bu amaçla yaptıkları bir çalışmada, kısmen stabilize edilmiş ZrO seramik malzeme ile piston ve supap yüzeylerini kaplamış, belirli bir çalışma sonunda kaplanmış malzemenin yüzey analizlerinin incelenmesinden, parçanın aşınma davranışının iyileştiği sonucuna varmışlardır. Toz püskürtme yöntemi ile krank mili yataklarının kaplanması sırasında ZrO'nun daha yüksek ergime sıcaklığına sahip olması nedeniyle erimediği katı partiküller olarak yatak malzemesi içerisinde dağıldığı görülmüştür. ZrO'nun bu haliyle yatak yüzeyinde seramik kaplama etkisine benzer bir davranış sergilediğini söylemek mümkündür. Sonuçta yeni üretilen yatak malzemesinin diğer bir önemli özelliği de gözenekli oluşudur. Çalışma sırasında gözenekli malzemenin daha iyi yağ tuttuğu ve aşınmayı azaltıcı yönde katkı sağladığı kabul edilebilir. Motorlarda kullanılan kurşun esaslı krank mili yataklarının gerek yapısal özellikleri (İçerdiği elementer yapı), gerekse yüzey pürüzlülüğü ve sertliğin düşük olması, yataklarda istenmeyen ölçüde aşınmanın meydana gelmesine neden olmaktadır. Yanma sonucu oluşan basınç pistonu hızla iterek krank milini darbeleri bir şekilde yataklara doğru iter. Yataklara gelen bu kuvvet pistonların bulunduğu konuma göre değişir. Yatak malzemesi bu maksimum kuvvete karşı koyacak basma dayanımına sahip olmalıdır.

Yataklar dinamik zorlamalara karşı çalıştıklarından, dayanımlarının yeterince sağlanması gerekir. Bu da yatakların yapısal özelliklerinin iyileştirilmesi ile ilgilidir. Yatakların sürekli yağlanması, oluşan aşınmayı tamamen ortadan kaldırmamaktadır. Normal olarak yağlı sürtünmelerde bütün malzemeler aşınmaya karşı iyi özellik gösterir. Ancak yataklarda her zaman aynı oranda yağlama gerçekleşmeyebilir.

Bu bağlamda, yağlamanın yetersiz olması durumunda yatak malzemesinin yağ emme kabiliyeti ve gözenekliliğinin olması gerekir. Yeni üretilen malzemede aşınmanın daha düşük seviyede kalması, yatağın gözenekli ve yağ tutma özelliğinin iyi olduğu anlamına gelebilir. Nitekim SEM fotoğraflarında yeni yatak yüzey pürüzlülüğünün daha fazla olduğu görülmektedir. Yatak içerisine katılan ZrO<sub>2</sub>'in (zirkonyum oksit) sert kristal oluşturup krank milini çizdiği ve mildeki aşınmayı arttırdığı düşünülebilir. Ancak ana yatak malzemesinin kurşun ve kalayın oluşturması bu sakıncayı azaltmaktadır. Sert ZrO kristalleri yumuşak kalay ve kurşun üzerine gömülmekte ve yüzeyde sert kristallerin kalması önlenmektedir. Milin yüksek sertlikte yüzey sertleştirme işlemine tabi tutulması da bu sakıncayı önlemektedir.

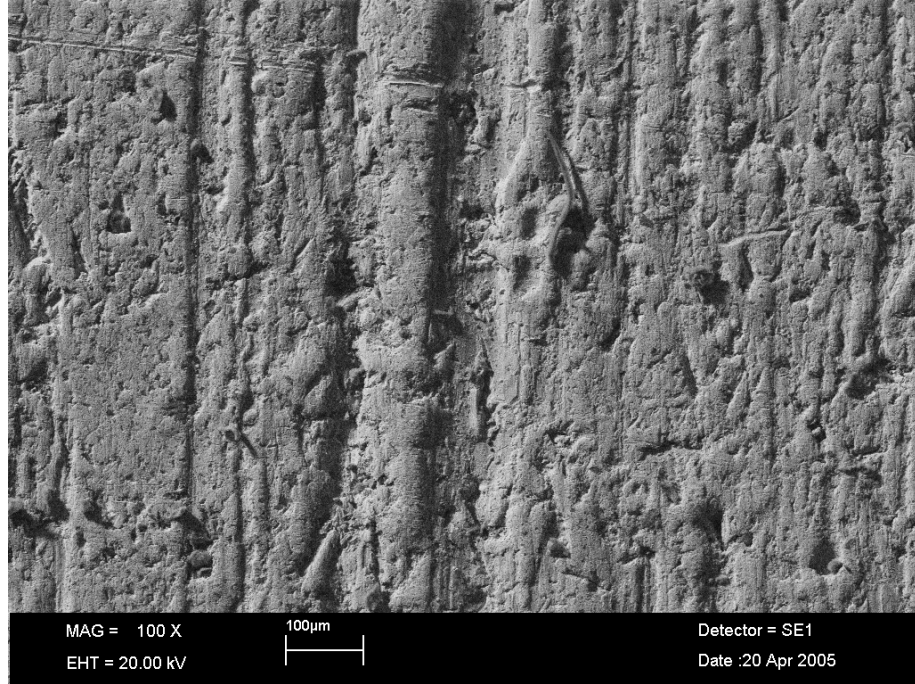
Aşınma üzerinde karşı malzemenin (krank milinin) yüzey pürüzlülüğü de önemlidir. Krank milinin muylu yüzeylerinin çok hassas taşlanmış ve kaliteli bir polisaj yapılmış olması milin cam gibi parlamasına ve pürüzlülüğü çok düşük düzeye indirmektedir. Sonuçta sertleştirilip polisaj yapılmış krank mili ve ZrO ilaveli kurşun esaslı yatak ikilisinin çalışması sırasında yatakta aşınmanın azaldığı anlaşılmıştır.

## **6.2. Sertliğin Etkisi**

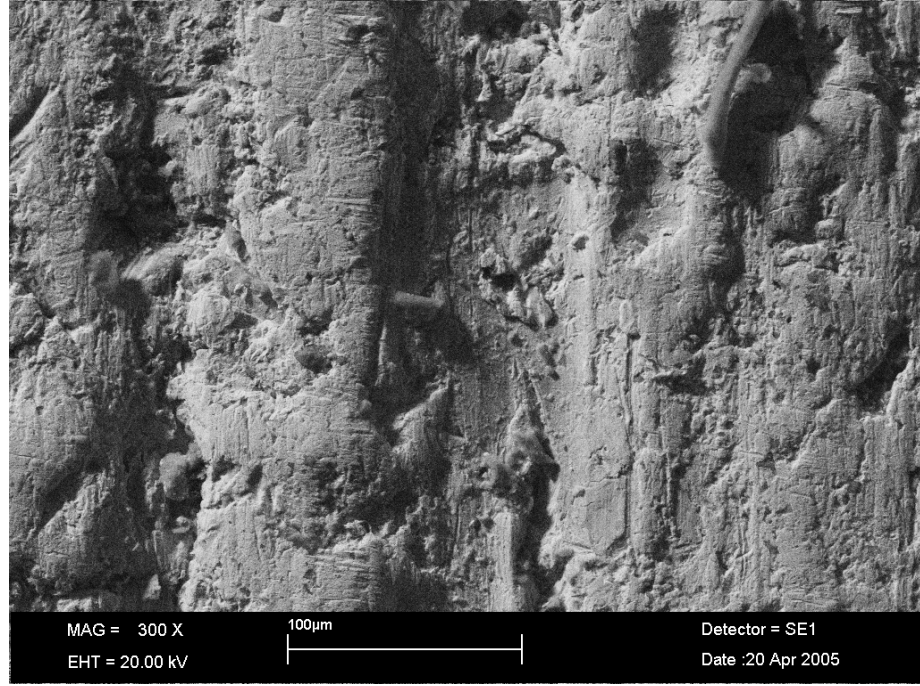
Malzemelerin sertliği ile aşınma dirençleri orantılı olarak değişmektedir. Bir malzemenin sertliğinin artması, onun aşınmaya karşı direncini arttırmaktadır. Deneylere kullanılan orijinal ve yeni formülasyonlu yatakların mikro sertlikleri Tablo 5.1'de verilmiştir. Yataklarda en çok meydana gelen aşınma tipi olan abrasiv aşınma miktarı, matris mikro sertliğinin artırılmasıyla azalabilmektedir. Yeni üretilen yatak malzemesi içerisine katılan ZrO<sub>2</sub>'nin malzemenin sertliğini arttırdığı dikkate alındığında ZrO katkılı yatak malzemesinin aşınma davranışının iyileşmesi beklenir. Nitekim tartma yöntemiyle yapılan aşınma davranışı incelenmesinde ZrO katkılı yatak malzemesinin daha az aşındığı ve ağırlık kaybının daha az olduğu görülmüştür. 100 büyütme SEM fotoğraflarına bakıldığında ZrO katkısız orijinal yatakta aşınma çizgilerinin derin ve sürekli açık olarak görülmektedir (Şekil 6.X.). SEM fotoğrafı aynı büyüklükte çekilmiş ZrO katkılı yeni yatakta ise yatak gözenekleri daha belirgin olup sürekli aşınma çizgileri görülmemektedir (Şekil 6.Y.)

300 büyütmeli SEM fotoğraflarına bakıldığında ZrO katkı ve orijinal yataktaki aşınma çizgilerinin farkı daha net olarak görülmektedir. Orijinal yataktaki aşınma izleri yeni yatağa göre daha derin ve geniştir Şekil 5X1, Şekil 5Y1. SEM fotoğraflarına bakıldığında ZrO katkı toz püskürtme yöntemi ile kaplanarak üretilen yatakların yüzey pürüzlülüğünün SEM fotoğraflarında karatersi bir çukur görünümü vermektedir. Bu çukurların toz püskürtme yönteminin sonucu olarak ortaya çıktığı söylenebilir. Bu oyuklarda biriken yağ, özellikle motorun ilk çalışması esnasında yağlamaya olumlu katkı yaptığı düşünülebilir. Varol, R.'nin yaptığı, toz metalürjisi kullanılarak ürettiği Cu, e esaslı yatak malzemesinde oluşan gözeneklerin yağlamayı iyileştirip aşınmayı azalttığı yönündeki bulgular bu düşüncayı desteklemektedir.

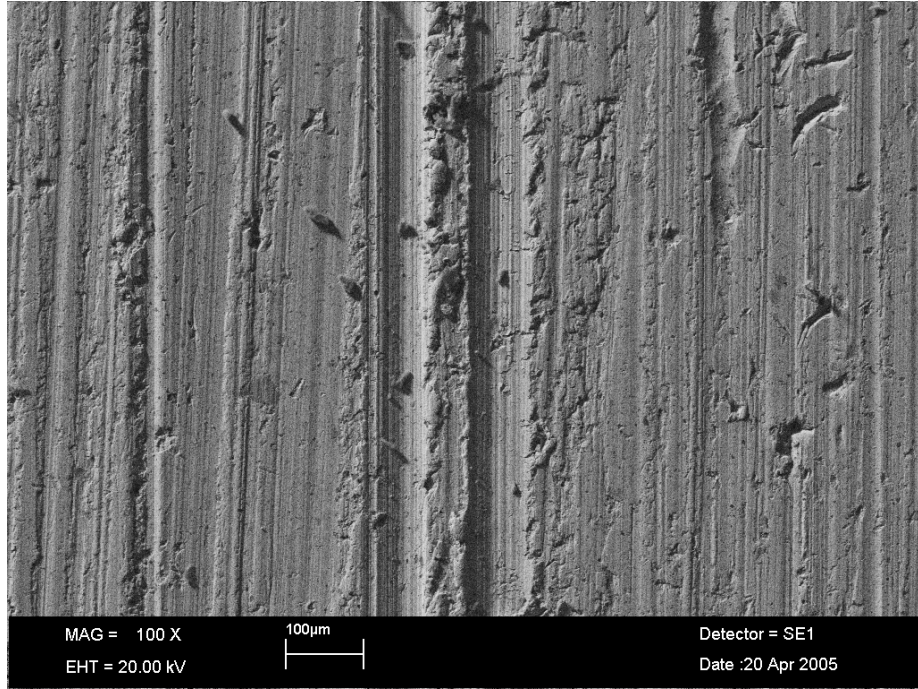
Sertlik ölçme ve atomik spectral analizler ise Kayseri tank ana bakım fabrikası laboratuarlarında yaptırılmıştır.



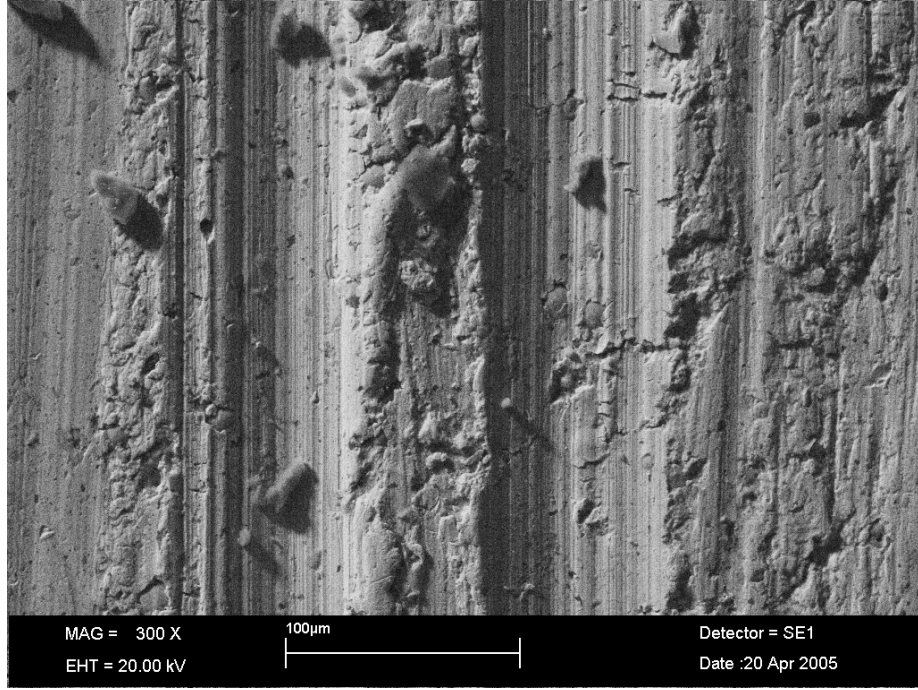
Şekil 6.Y.Kaplama Yapılmış Yatağın Çalışma Sonrası SEM Fotoğrafi



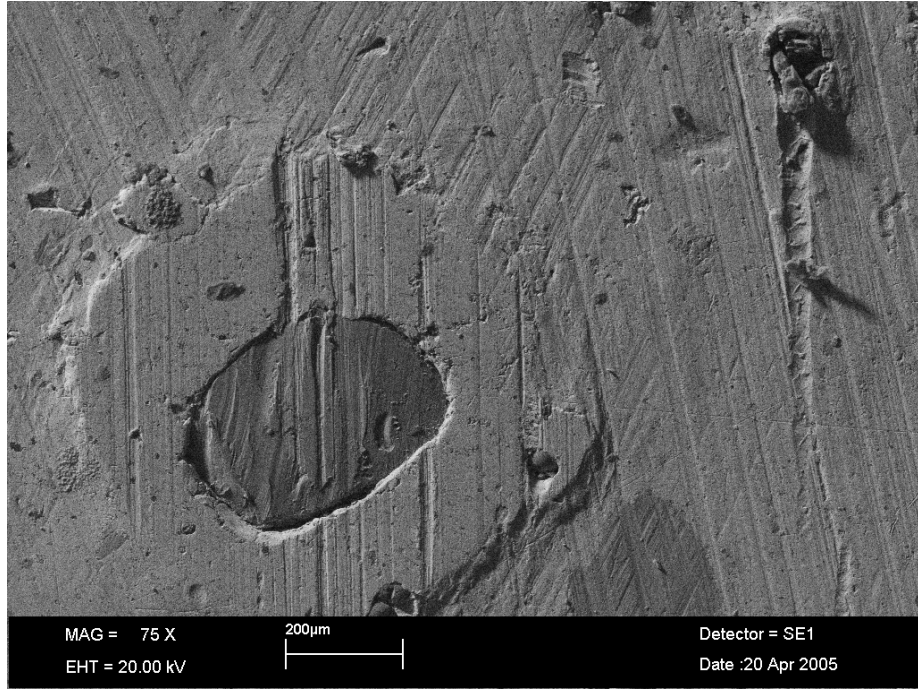
Şekil 6.Y.1..Kaplama Yapılmış Yatağın Çalışma Sonrası SEM Fotoğrafi



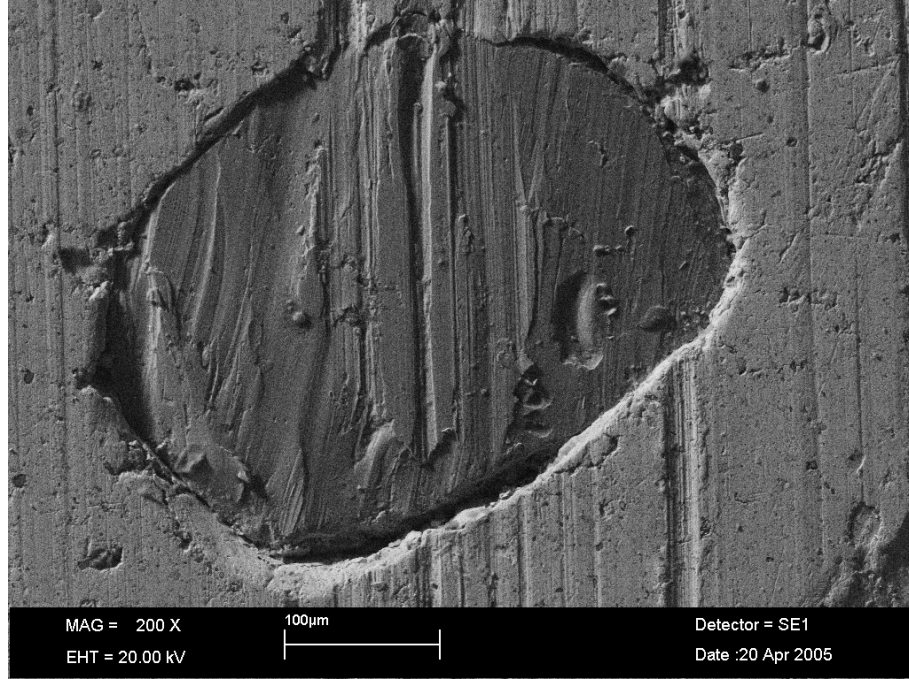
Şekil 6.X. Orijinal Yatağın Çalışma Sonrası SEM Fotoğrafi



Şekil 6.X.1. Orijinal Yatağın Çalışma Sonrası SEM Fotoğrafı



Şekil 6.3.5. Kaplama Yapılmış Yatağın Çalışma Sonrası SEM Fotoğrafı



Şekil 6.3.6. Kaplama Yapılmış Yatağın Çalışma Sonrası SEM Fotoğrafi

Krank mili muylularının kullanılan yatak malzemesine göre çok sert ve stabil olması yağsız sürtünmelerden oluşan krepaj sonucu çoğu kez yatak malzemesinden krank muylusuna malzeme taşınımı söz konusu olmaktadır. Aşırı olmayan krepaj şartlarında muyludan yataklara malzeme taşınması olmamaktadır. Toz püskürtme yöntemi ile yapılan yatak kaplama işleminde, yatak malzemesinden kopan parçaların yatak üzerinde yer değiştirip yatakta yüzey çizilmelerine neden olmuştur. Bu; farklı bir krepaj mekanizması olarak kabul edilebilir.

Yataklarda meydana gelen aşınmanın birçok sebebi vardır. Bu sebeplerin başında kötü yağlama gelmektedir. Çoğu kez kuru metal – metal teması olarak tanımlanan çalışma aşınmayı başlatmaktadır. Böyle bir aşınmada meydana gelen sıcaklık artışı, metal kaynamalarına ve yüzey bozulmalarına neden olarak yüzeyde çeşitli çatlaklar meydana getirir. Yataklarda bu tip arızalar genellikle aşınma döneminde ve motorun ilk çalışması esnasında meydana gelir. Dolayısıyla yatak yüzeylerinde aşırı ısınma ve metal – metal teması aşırı yük altında yatakların krank mili muylusunu sarmasına, krepaj ve çiziklerin oluşmasına neden olabilir.

Deney sırasında motor krank milinin darbeli ve yüklü çalıştığı dikkate alındığında yatak yüzeyinin aşırı ısınması ve mekanik sürtünmelerin yatak yüzeyinden bazı partiküllerin kopmasına neden olabilir. Şekil 6.3.5 de görülen kopmanın yukarıda anlatılan krepaj sonucu olduğu söylenebilir. Kopan parçacığın püskürtme sırasında ergimeden yüzeye yapışan Cu veya ZrO tanecikleri olduğu muhtemeldir. Şekil 6.3.5 de kopan parçacığın ana malzeme olan kurşun içerisine gömülmesi sonucu, bu bölgede taneciğin hemen etrafında ana malzemenin şişerek kabardığı görülmektedir. Taneciğin koparak metalik sürtünme oluşturmalarına rağmen

tanecik yüzeyinde aşırı derin ve geniş çizgilerin oluşmadığı görülmektedir (Şekil 6.3.6). bu deri olmayan aşınma çizgileri kopan Cu ve/veya ZrO taneciğinin sert oluşunun bir sonucu olarak görülebilir.

Kaplama yapılan malzeme üzerine karşıt malzemeden krepaj yoluyla kütle transferi olduğu bildirilmiştir (Vong, Tung, 1999).

## 7. BULGULAR VE ÖNERİLER

1. Toz püskürtme yöntemi ile yatak üretiminde kullanılan malzemelerin ergime sıcaklıkları arasındaki fark çok büyük olmamalıdır. Sıcaklık farkının yüksek olması; düşük sıcaklıkta ergiyen malzeme tozları çok iyi bir alaşım ve daha iyi homojen mikro yapı oluştururken yüksek sıcaklıkta ergiyen malzeme tozları, ergimemekte, alaşım oluşumunu önlemekte ve mikro yapı homojenliğini bozmaktadır. Bu nedenle toz püskürtme yöntemi ile yapılan üretimlerde alaşım tozlarının ergime sıcaklıkları biri birine yakın seçilmelidir.
2. Yeni formülasyonlu alaşımla kaplama yapılan krank mili ana yatakları çalışma sonrası orijinali ile karşılaştırma yapıldığında, daha iyi aşınma direnci göstermiştir.
3. Toz püskürtme yöntemi ile yatak üretimi yapılırken yatak yüzeyinde kendiliğinden mikro çukurlar oluşur. Aslında bu olay yöntemin dezavantajı olarak kabule dileyebilir, fakat kaymalı yataklarda çalışma esnasında bu çukurlara yağ dolarak birer yağlayıcı kese görevi yaparlar. Bu yöntemle üretilen yataklar özellikle motorun ilk çalışması esnasında kuru sürtünmeyi önlediğinden savurma döküm ve diğer döküm yöntemleriyle üretilen yataklardan daha uzun ömürlüdürler. Ayrıca yüzeyde oluşan mikro çukurlar yatak yüzey alanını azalttığı için mil ile yatak arasındaki sürtünme kayıpları da azalır.
4. Yeni formülasyonlu yatağın mikro sertliği orijinal yatağa göre fazla olmasına rağmen sistemden kopan parçacıklar yatak içerisine gömülmüştür. Böylelikle bu parçacıklar mil ile yatak arasında kalarak aşınmayı hızlandırıcı etkisi engellenmiştir. Bu durum SEM fotoğraflarında çok net bir şekilde görülmektedir.
5. Yatakların aynı bölgelerinden alınan numunelerden ZrO içerikli yatağın yüzey serliğinin fazla olmasına rağmen herhangi bir yüzey kırılmasının ve plastik deformasyonun olmadığı görülmüştür.
6. Geliştirilen ZrO Katkılı yatağın mikro yapı ve sertlik değerlerinin iyileştiği, bu yatağın aşınmasının orijinal yatağa göre iyileştiği sonucuna varılmıştır. bu durum SEM fotoğraflarında ve ağırlık kaybı grafiklerinde net bir şekilde belli olmaktadır.

## KAYNAKLAR

1. AKKURT, M., (1996) Makine Elemanları II Cilt
2. AKKURT, M., (1998) Makine Elemanları III Cilt
3. DEMİRCİ, A.H., (1982) Ötektoidaltı Alaşımsız Çeliklerin Yeni İmal Edilen Bir Sürtünme Aşınma Deney Standartlarında, Isıl İşlemlere Bağlı Olarak Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. E.Ü.F., Doçentlik Tezi, İzmir.
4. F.Küçükşahin, Diesel Motorları, 1999
5. F.King, Alüminyum and its Alloys, Wiley, New York, 1987
6. GÖK, M.S.,2001,Taneleri İnceltilmiş Mangane İslah Çeliğinin Aşınma Davranışlarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri, Enstitüsü
7. Goto, Y.et.al.,Alüminyum alloy bearing with higher wear rezistance (in Japenese), proceedings of
8. H.Vefa Çerik, Makine Bilgisi ve Makine Elemanları, 1986
9. Halamoğlu,T., Metal Püskürtme Yöntemiyle Aşınmaya Dayanıklı Kaplamalar, Yüzey İşlemler Dergisi, Eylül-Ekim,2003 Syf.154-159
10. BİNARK,H.,Motor Konstrüksiyonu, syf.216-222
11. GÜRLEYİK, M.Y., DEĞERLİ., (1991). Metal-Metal Yarı Yağlı Kayma Sürtünmesinde Aşınma. 4. Denizli Malzeme Sempozyumu. S. 552-562
12. İPEK,R., KARAMIŞ,M.B.,KAYNAR,O.,1998,Bilgisayar Destekli Abrasiv ve Adhesiv Aşınma Test Cihazları ve Uygulaması, Makine&Metal Teknolojisi, Sayı 77.
13. I.J.Polmear, Light Alloy Metallurgy of the Light Metals, Arnold, UK,1981
14. John EN, Thomas JB. Pratical metallurgy and materials in industry.5<sup>th</sup> ed. Prentice-Hall, New Jersey, 2000
15. Levy,A. and Macadam, S.,The Behavior of Ceramic Thermal Barrier Coatings on Diesel Engine Combustion Zone Components, Surface and Coating Technology, No: 30,51-61 1987
16. Metal Handsbook, Vol.15.9<sup>th</sup> Edition, ASM, New York, 1988,p.786
17. Metal Handsbook, Desk Edition, ASM, Metalspark, Ohio, 1988, p.11
18. Metal Handbook, vol.20, materials selection and desingn, ASM International, OH,1997
19. MOORE, M.A., (1974). A Reviev of Two-Body Abrasive Wear. 27, S.1-7
20. Qui, X., Hamdi, A., Elmourisi, A. and Malaczynski, G., Development of Bench Test Methods fort he Evaluation of Ion – Implanted Materials: Piston/Bore Aplications, Surface and coatings Technology, No:88, 190-196

21. T.Kan, T.Uehara, Die Casting of Aluminyum Alloy, Japan Ligt Metals Pres Co.,Japan,1988,p.438.
22. TEVRÜZ,T.,1998, Kuru Sürtünme ile Çalışan Bronzlu Dolgulu Tetrafloroetilen (PTFE) Radyal Yataklarının Tribolojik Davranışları, 7.Denizli Malzeme Sempozyumu, Pamukkale Üniversitesi Müh. Fak., Denizli, 2-4 Nisan 1997
23. William,H.,C.,(1967) Automotive Fuel, Lubricating and cooling systems, Construction, Operation and Maintenance, New York.
24. [www.Odevsitesi.com](http://www.Odevsitesi.com), Yatak Hasarları
25. [www.Odevsitesi.com](http://www.Odevsitesi.com), Yağlama Teknikleri
26. [www.koumakina2001.8m.com](http://www.koumakina2001.8m.com), Hidrodinamik Radyal Kaymalı Yatak
27. Wang, Y. Tung, S.C.,1999, Scuffin and Wear Behavior of Aliminium Piston Skirt Coatings Against Alumium Cylinder Bore, Wear, No: 225-229, 1100-1108.
28. Vong, Y., Tung, S.C., 1999. Scuffin an Wear Behavior of Aluminum Piston Skirt Coatings Against Aluminum Cylinder Bore, Wear, No. 225 – 229, 1100 – 1108
29. Y.Goto,T.Tomikawa, S.Suga, Development of Pb Alloy Overlay for High Rotational gasoline engines, Elsevier, 2002,p.245-249

## ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Elazığ da doğdum, ilk, orta ve lise eğitimimi Elazığ da tamamladım, 2001 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi makine eğitimi bölümü otomotiv öğretmenliği programından mezun oldum. 2002 yılında yine aynı yerde yüksek lisans programına kayıt yaptırdım.

2001-2003 yılları arasında Elazığ Fırat sürücü kursunda motor eğitmenliği yaptım. 2003-2005 yılları arasında Fırat Üniversitesi Muş meslek yüksekokulunda otomotiv programının dersleri ile birlikte diğer teknik bölümlerin autocad derslerini vermek üzere görevlendirmeli olarak çalıştım.

2005 yılında Fırat üniversitesi teknik eğitim fakültesi makine eğitimi otomotiv ana bilimdalında araştırma görevlisi olarak atandım. Halen aynı bölümde yüksek lisansa ve araştırma görevlisi olarak çalışmaya devam etmekteyim.