İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BUZDOLABI KOMPRESÖR YATAKLARI İÇİN AŞINMAYA DAYANIKLI MALZEMELERİN SEÇİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Met. Müh. Barış Parıldar

Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

Programı : ÜRETİM MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2007

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BUZDOLABI KOMPRESÖR YATAKLARI İÇİN AŞINMAYA DAYANIKLI MALZEMELERİN SEÇİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Met. Müh. Barış Parıldar
506041202

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Mayıs 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 13 Haziran 2007

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Kelami Şeşen
Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Hüseyin Çimenoğlu
Yard. Doç. Dr. Selim Yıldırım

HAZİRAN 2007

ÖNSÖZ

Bu çalışma boyunca verdiği destekten ve gösterdiği anlayıştan dolayı değerli hocam Sayın Prof. Dr. Kelami Şeşen'e teşekkürü bir borç bilirim.

Başta Sayın Fatih Özkadı ve Dr.Feriha Sertçelik olmak üzere, bana destek olan tüm Arçelik A.Ş. ARGE Teknolojileri Malzeme Ailesi ve Termodinamik Ailesi çalışanlarına teşşekürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarında göstermiş oldukları yakın ilgi, içtenlik ve yardımlarından dolayı sayın Turgay Gönül, Seyhan Çağıl ve Fikri Çavuşoğlu'na teşşekür ederim.

Bu çalışmanın bir parçası olmamı sağlayan değerli arkadaşlarım Murat Ergüler ve İrem Nur Duru'ya teşekkürlerimi sunarım.

Mühendislik bilgilerini benimle paylaşan ve arkadaşlıklarıyla hep yanımda olan sevgili mühendis arkadaşlarım, Deniz Şeker, Özgür Bilgiç, Mehmet Tolay, Serkan Yüzer, Erdem Turfan, Kerem Kurt, Barış Ünal, Önder Balioğlu, Ahmet Bozgeyik, Esen Öztop, Deniz Taşkın, Mehmet Ali Oral ve Fatih Kotan'a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca hep yanımda olan ve beni her anlamda, fazlasıyla destekleyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2007 Met. Müh. Barış Parıldar

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **vi**
TABLO LİSTESİ **vii**
ŞEKİL LİSTESİ **viii**
SEMBOL LİSTESİ **x**
ÖZET **xi**
SUMMARY **xiii**

1.GİRİŞ **1**

2.HERMETİK KOMPRESÖRLER **2**
2.1 Soğutma Çevrimi ve Kopresör Tanımı 2
2.2 Pistonlu Hermetik Kompresörü Oluşturan Parçalar 4
2.2.1 Kompresör ana gövdesi 4
2.2.2 Yay sistemi 4
2.2.3 Elektrik motoru 4
2.2.4 Muhafaza 5
2.2.5 Mekanik sistem 7
2.3 Yatak Tanımı ve Yatak Malzeme Sistemleri 7
2.4 Kompresörlerdeki Yatak Grupları 8

3.SÜRTÜNME VE AŞINMA **9**
3.1 Sürtünme 9
3.2 Aşınma Tanımı ve Çeşitleri 11
3.2.1 Abrasif aşınma 11
3.2.2 Erozif aşınma 12
3.2.3 Kazımalı aşınma 13
3.2.4 Adhezif aşınma 13

4.YAĞLAMA **16**
4.1 Yağların Fiziksel Özellikleri 16
4.1.1 Yağ Viskozitesi 16
4.1.1.1 Dinamik Viskozite 16
4.1.1.2 Kinematik Viskozite 17
4.1.2 Viskozite Sıcaklık İlişkisi 18

4.1.3 Viskozite Basınç İlişkisi 18
4.1.4 Viskozite Kayma Oranı İlişkisi 18
4.2 Yağların Isıl Özellikleri 19
4.3 Katkı Maddesi ile Uyumluluk ve Katkı Maddesi Çözünürlüğü 19
4.4 Gazların Yağ İçerisinde Çözünürlüğü 19
4.5 Kompresörlerde Yağlama 19

5.ALTERNATİF SOĞUTKAN R600a 22
5.1 Çevresel Etkiler 22
5.2 Soğutkanlardan Beklenen Özellikler 23
5.3 R600a ve Enerji 23
5.4 Soğutkan ve Yağ İlişkisi 24

6.SİNTER YATAK MALZEMELERİ 25
6.1 Sinter Yatak Malzeme Tipleri 25
6.1.1 Sinter bronz yatak malzemeleri 25
6.1.2 Demir esaslı sinter yatak malzemeleri 26
6.1.3 Demir-bronz sinter yatak malzemeleri 27

7.YÜZEY İŞLEMLERİ 28
7.1 Biyel İşlemi Mangan Fosfat Kaplama 28
7.2 Perno İşlemi, Gaz Nitrürleme 30

8.DENEYSEL ÇALIŞMALAR 31
8.1 Deney Numuneleri ve Deney Numunelerinin Hazırlanması 31
8.2 Numunelerin Karakterizasyonu 32
8.2.1 Kimyasal Bileşimlerin Belirlenmesi 32
8.2.2 Sertlik Ölçümleri 33
8.2.3 Mangan Fosfat Kaplama Tane Boyutunun belirlenmesi 34
8.3 Yapılan Deneyler 35
8.3.1 Kaplama Parametrelerinin Mangan Fosfat Kaplama Tane Boyutu Üzerine Etkilerinin İncelenmesi 35
8.3.1.1 Laboratuar Ölçekli Kaplama Düzeneği 35
8.3.1.2 Mangan Fosfat Kaplama Deney Tasarımı 38
8.3.2 R600a Soğutkan Ortamında Aşınma ve Sürtünme Deneyleri 41
8.3.2.1 Falex block on ring aşınma test cihazı 41
8.3.2.2 Aşınma Hacmi Ölçümleri 44
8.3.2.3 Halka Test Numuneleri 46

8.3.2.4 Blok Test Numuneleri 47

8.3.2.5 R600a – Mineral Yağ Ortamında Aşınma Sürtünme Deney Tasarımı 49

9.DENEY SONUÇLARI 51

9.1 Mangan Fosfat Kaplama Deney Sonuçları 51

9.2 R600a Ortamında Aşınma Sürtünme Deney Sonuçları 53

9.2.1 Blok Aşınma Hacmi İçin Değerlendirme 55

9.2.2 Halka Aşınma Hacmi İçin Değerlendirme 59

ÖZGEÇMİŞ 67

KISALTMALAR

COP	: Performans sabiti
CFC	: Kloro Floro Karbon
HFC	: Hidro Floro Karbon
HC	: Hidro Karbon
BP	: Biyel Perno Deliği - Perno Yatağı
EY	: Biyel Krank Deliği - Krank Eksantrik Muylu Yatağı
PS	: Gövde Silindir Deliği – Piston Yatağı
Krank Basmalı Yatağı	: Krank Uzun Muylu - Gövde Krank Deliği Yatağı
Krank Radyal Yatağı	: Krank Uzun Muylu -Gövde Krank Deliği Yatağı
PAG	: Polyalkylene Glycol
POE	: Polyol Ester
AB	: Alkil Benzen
PAO	: Poli-Alfa Olefin
HAH	: Halka Aşınma Hacmi
BAH	: Blok Aşınma Hacmi

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 5.1 Yaygın Olarak Kullanılan Soğutkanların Çevresel Etki Değerleri 22
Tablo 6.1 Yaygın Olarak Kullanılan Sinter Bronz Yatak Malzemelerinin Kimyasal Bileşimleri 26
Tablo 6.2 Yaygın Olarak Kullanılan Sinter Bronz Yatak Malzemelerinin Yoğunluk Aralıkları.....26
Tablo 6.3 Yaygın Olarak Kullanılan Demir Esaslı Sinter Yatak Malzemelerinin Kimyasal Bileşimleri 26
Tablo 6.4 Yaygın Olarak Kullanılan Demir Esaslı Sinter Yatak Malzemelerinin Yoğunluk Değerleri 27
Tablo 6.5 Demir-Bronz Yatak Malzemelerinin Kimyasal Bileşim Aralıkları 27
Tablo 8.1 Deney Tasarımı 39
Tablo 8.2 Gerçekleşen Deney Şartları.....40
Tablo 8.3 Halka Numunelerinin Kimyasal Bileşimleri.....46
Tablo 8.4 Blok Numunelerinin Kimyasal Bileşimleri 47
Tablo 8.5 Aşınma ve Sürtünme Deney Tasarımı.....49
Tablo 8.6 Deneye Tabi Tutulacak Malzeme Çiftleri.....49
Tablo 8.7 Deney Parametreleri 50
Tablo 9.1 Mangan Fosfat Kaplama Deney Sonuçları 51
Tablo 9.2 Aşınma ve Sürtünme Deney Sonuçları.....54
Tablo 9.3 MINITAB Halka ve Blok Aşınma Miktarlarının Ölçülebilirliği 55
Tablo 9.4 MINITAB Blok Aşınma Deney Sonuçları 56
Tablo 9.5 MINITAB Halka Aşınma Hacmi Sonuç Tablosu 60

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Soğutma Çevrimi Elemanları [2].....2
Şekil 2.2: İdeal Soğutma Çevrimine Ait Basınç-Entalpi Diyagramı [2] 3
Şekil 2.3: Hermetik Kompresörün Patlatılmış Görüntüsü [5].....6
Şekil 2.4: Kompresör Gövdesi [5].....8
Şekil 2.5: Biyel perno deliği- perno yatağına ait I-Deas çizimi [9] 8
Şekil 3.1:Abrasif Aşınma Mekanizmaları [13] 11
Şekil 3.2: Erozif Aşınma Mekanizmaları [13] 12
Şekil 3.3: Kazımalı Aşınma Mekanizması ve Yüzey Deformasyon Görüntüsü [13] 13
Şekil 4.1: Newton Tipi Akışkanın Kayma Gerilmesi – Kayma Oranı Değişim Grafiği 18
Şekil 4.2: Stribeck Eğrisi 21
Şekil 7.1: Mangan Fosfat Kaplama İşlem Kademeleri.....28
Şekil 8.1: Falex Block on Ring halka numunesi teknik resmi 32
Şekil 8.2: Falex Block on Ring blok numunesi teknik resmi.....32
Şekil 8.3: Shimadzu dinamik ultra mikrosertlik cihazı 33
Şekil 8.4: Vickers sertlik izi şematik gösterimi 33
Şekil 8.5: Jeol JSM-6440 taramalı elektron mikroskobu.....34
Şekil 8.6: Mangan fosfat kaplama kristal yapısı 34
Şekil 8.7: Kaplama tane boyutu hesaplamasında kullanılan birim alanın gösterimi..35
Şekil 8.8: Laboratuar ölçekli kaplama düzeneği 36
Şekil 8.9: Falex Block on Ring Aşınma ve Sürtünme Test Cihazı 41
Şekil 8.10: Block on Ring Deney Numuneleri Temas Şekli Ve Hareket Yönü 42
Şekil 8.11: "HP Vee" sürtünme kuvveti – zaman grafiği.....42
Şekil 8.12: Falex Blok on Ring load cell bağlantısı 43
Şekil 8.13: B.O.R. Kontrol Paneli 43
Şekil 8.14: Blok aşınma izi şematik gösterimi.....44
Şekil 8.15: Blok aşınma izi gerçek görüntüsü.....45
Şekil 8.16: Halka dairesellik ölçümü çıktısı 45
Şekil 8.17: Dairesellik ölçümü yapılmış halkada aşınma iz bölgeleri.....46
Şekil 8.18: Blok numunelesinin taşlama öncesi (a) ve sonrası (b) nitrür tabakaları .47
Şekil 8.19: Nitrür Mikroyapısı 48
Şekil 8.20: Blok tiplerinin yüzeyden merkeze mikro sertlik dağılımları.....48
Şekil 9.1: Mangan fosfat kaplama kristal boyutuna etki eden faktörler grafiği.....52
Şekil 9.2: MINITAB programı ile MnP kristal boyutu için elde edilen etkileşim.....52
Şekil 9.3: Blok aşınmasına etki eden faktörler pasta grafiği 56
Şekil 9.4: a) % 03.C+%2Cu (1 no'lu biyel malzemesi) için etkileşim grafiği (1) 1 no'lu biyel ve 100CrMn6 perno çifti, (2) Daha düşük blok aşınması veren 1 no'lu biyel 8620 perno çifti, b) % 0.45 C için etkileşim grafiği (1) İşlemsiz % 0.45C biyel mazmesi ile 100CrMn6 perno çifti, (2) En düşük blok aşınması veren Bİ+MnP kaplamalı % 0.45C biyel malzemesi ile 8620 perno çifti.....58

Şekil 9.5: Halka aşınmasına etki eden faktörler pasta grafiği.....60
Şekil 9.6: Halka aşınması için etkileşim grafikleri.....61
Şekil 9.7: Seçilen Malzeme Çiftlerinin Aşınma Dirençlerinin Karşılaştırılması.....62

SEMBOL LİSTESİ

μ	**:** Sürtünme katsayısı
F	**:** Teğetsel kuvvet (sürtünme kuvveti)
N	**:** Normal kuvvet (yük)
A_r	**:** Sürtünme anındaki gerçek temas alanı
N	**:** Yüzeye etkiyen dik kuvvet
H	**:** Akma mukavemeti
τ	**:** Sürtünme kuvvetinin bağların kopması için gereken kesme mukavemeti
W_{ad}	**:** Aşınma oranı
V	**:** Aşınma hacmi
L	**:** Kayma mesafesi
K	**:** Aşınma katsayısı
W	**:** Normal yük
G	**:** Daha yumuşak olan malzemenin sertliği olmak üzere
u	**:** Kayma hızı
A	**:** Islatılmış yüzey alanı
h	**:** Film tabakası kalınlığı
η	**:** Dinamik viskozite
υ	**:** Kinematik viskozite
ρ	**:** Akışkan yoğunluğu

BUZDOLABI KOMPRESÖR YATAKLARI İÇİN AŞINMAYA DAYANIKLI MALZEMELERİN SEÇİMİ

ÖZET

Günümüzde, enerji kaynaklarının giderek azalması ve enerji maliyetlerinin artması neticesinde buzdolabı endüstrisinde verim, çok büyük öneme sahip hale gelmiştir. Buzdolabı kompresörlerinde aşınma ve sürtünmeden kaynaklanan enerji kayıplarının azaltılması ile COP (kompresör performans sabiti) değerleri üst seviyelere çıkarılabilecektir. Bu bilgiler ışığında, kompresör yataklarında kullanılacak malzemelerin aşınma ve sürtünmeye dayanıklı olarak seçilmesi çok önemlidir.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında hermetik kompresördeki biyel-perno yatağı için kullanılabilecek alternatif malzemeler seçilmiş ve bu malzemelerin kompresör aşınma performansına etkileri incelenmiştir.

Alternatif biyel malzemesi olarak dört ayrı bileşimden toz malzeme hazırlanmıştır. Bu biyel malzemeleri ilk olarak mangan fosfat kaplama deneylerinde kullanılmıştır. Mangan fosfat kaplamaların tane boyut ve dağılımının malzemelerin sürtünme ve aşınma özellikleri üzerine etkili olduğu bilinmektedir. Bu bilgiden yola çıkılarak farklı banyo parametrelerinin kaplama özelliklerine etkisini görebilmek amacıyla bir deney tasarımı yapılmış ve değişken olarak, mangan fosfat banyosu, toplam asit değeri, serbest asit değeri, Fe^{+2} konsantrasyonu ve aktivasyon banyosu sıcaklığı alınmış, alt ve üst sınır değerler belirlenmiştir. İstenen koşullarda hazırlanan farklı bileşimlere sahip banyolarda, seçilen malzeme tipleri kaplanmış, bu banyolardan elde edilen kaplamaların kristal boyutu ölçümleri yapılarak banyo parametrelerinin etkileri MINITAB istatistik programı ile değerlendirilmiştir.

Kristal boyutu üzerinde en etkin faktör olarak Mn fosfat banyosunun Serbest Asit değeri belirlenmiştir. Banyonun toplam asit değeri ile Serbest Asit değerinin karşılıklı etkileşimi ise ikinci derecede önemli, Toplam Asit değeri ise üçüncü önemli faktör olarak ortaya çıkmıştır. Kristal boyutunun en düşük olduğu bölge serbest asit değerinin 16, toplam asit değerinin 36 olduğu bölgedir. Serbest asit değerinin 16 olarak sabit tutulması ve toplam asit değerinin 42'ye çıkması halinde de kristal boyutu düşüktür. Aşınma deneylerinde kullanılacak halkalar serbest asit değerinin 16 toplam asit değerinin 36 ila 42 arasında olduğu banyolarda kaplanmıştır.

Deneylerde alternatif perno malzemesi olarak iki farklı çelik kalitesi kullanılmıştır. Bunlar DIN 100CrMn6 ve SAE 8620 çelik kaliteleridir. 100CrMn6 çelik numuneler su verme işlemine tabi tutulmuştur. 8620 kalite çelik numuneler ise ikiye ayrılmış, bir bölümü su verme işlemine tabi tutulmuş, diğer bölümü ise nitrürlenmiştir.

Bütün alternatif numune çiftleri deney tasarımı yapılarak farklı kombinasyonlarda, Falex Block on Ring (B.O.R.) test cihazında, R600a gaz ortamında aşınma ve sürtünme deneylerine tabi tutlmuştur. Deneylerde B.O.R. deney düzeneği parametleri, hareket açısı, sıcaklık, devir, süre, cisme etkiyen ağrılık ve gaz basıncı sabit tutulmuştur.

Blok ve Halka aşınmaları birlikte değerlendirildiğinde en uygun malzeme çifti olarak ısıl işlemli 100CrMn6 perno – MnP kaplamalı %0.45C içeren halka çifti öne çıkmaktadır. Mangan fosfat kaplama, tüm malzeme çiftlerinde iyi performans göstererek blok ve halka aşınma miktarını düşürmüştür. Nitrürleme yapılan blokların aşınma miktarları yüksektir. Bu, nitrürlü blokların sertliklerinin düşük olmasından veya nitrür tabakasının kırılganlığından kaynaklanıyor olabilir.

SELECTION OF WEAR RESISTANT BEARING MATERIALS FOR REFRIGERATOR COMPRESSORS

SUMMARY

Today, decrease of energy resources and increase in energy costs, productivity in refrigerator industry has become highly important. By reducing energy losses in refrigerator compressors because of wear and friction, COP (Coefficient of performance) values would increase to high levels. Under the shed of this information, it is significant to choose the material which will be used in compressor bearings to resist wear and friction.

In this master thesis alternative materials are chosen for connecting rod-pin bearings in hermetic compressors and the effects of these materials to compressor wear performance.

Alternative connecting rods are prepared from four different powder compositions. These connecting rod materials are firstly used manganese and phosphate plating experiments. It is known that particle, dimension and the distribution of manganese and phosphate are effective on the friction and wear of materials. By taking this information into consideration, in order to see the effects of different bath parameters on covering, an experiment design is made with the following variables; manganese, phosphate bath, total acid value, free acid value, Fe^{+2} concentration and activation bath temperature. Lowest and highest border values are determined. In baths with different components prepared in requested conditions chosen material types are covered, the crystal dimensions of the coverings are measured and the effects of the bath parameters are evaluated by MINITAB statistics program.

Free acid value of the Mn phosphate bath on crystal dimension is determined as the most effective factor. The mutual interaction of the total acid value of bath and free acid value are of secondary importance whereas total acid value revealed as third significant factor. The lowest region of the crystal dimension is the region where free acid value is 16, total acid value is 36. Crystal dimension is low when free acid value is constant as 16 and total acid value is increased to 42. The rings used in wear experiment are covered in baths where free acid value is 16 and total acid value is between 36 and 42.

In the experiments alternatively two different steel qualities are used as pin material. These are DIN 100CrMn6 and SAE 8620 steel qualities. 100CrMn6 steel samples are processed to quenching. 8620 quality samples are separated into two, one part is subject to quenching, the other part is nitrided. All alternative sample pairs are processed to wear and friction experiments in R600 gas environment in Falex Block on Ring (BOR) test machine in different combinations by making experiment designs. In the experiments BOR experiment set up parameters, movement angle, temperature, turn over, time, weight affecting the type and gas pressure are kept constant.

When block and ring wears are evaluated together, thermal processed 100 Cr6 pin-Manganese phosphate plated ring pair with %0.45C is the most proper material pair.

Manganese phosphate covering decreased blocks and ring wear amount by showing good performance in all material pairs. The wear amount of nitrided blocks is high. The low hardness of the nitrideded blocks might be due to the fragility of the nitride layer.

1.GİRİŞ

Buzdolabı endüstrisi için enerji tasarrufu her geçen gün daha önemli bir hedef haline gelmektedir. Evsel soğutma sisteminin temel elemanlarından biri olan kompresörler için verim ifadesi COP'dir. COP değeri, kompresör soğutma gücünün, kompresörün çektiği güce bölünmesi ile hesaplanır. COP değerinin yüksek değerlere çekilebilmesi, bir başka değişle kompresör performansının arttırılabilmesi için kompresör yatak gruplarında oluşan kayıpların azaltılması büyük önem arz etmektedir. Bu doğrultuda yapılabilecek çalışmalar, yatak tasarımını geliştirmek, uygun malzeme seçimini yapmak ve bu malzemeler için uygun yüzey işlemlerini geliştirmek olarak özetlenebilir.

Aşınma, kompresör yataklarında gözlenen çok önemli bir problemdir. Örneğin piston yatağında oluşan aşınma ile kompresörün bir çevrimde basacağı gaz miktarı azalmakta ve istenen soğutma miktarını sağlayabilmek için kompresör daha uzun süreler çalışmaktadır. Bu da beraberinde fazladan enerji sarfiyatını getirmektedir. Bu çerçevede değerlendirilirse aşınmaya dayanıklı malzeme seçimi yataklarda kritik öneme sahiptir.

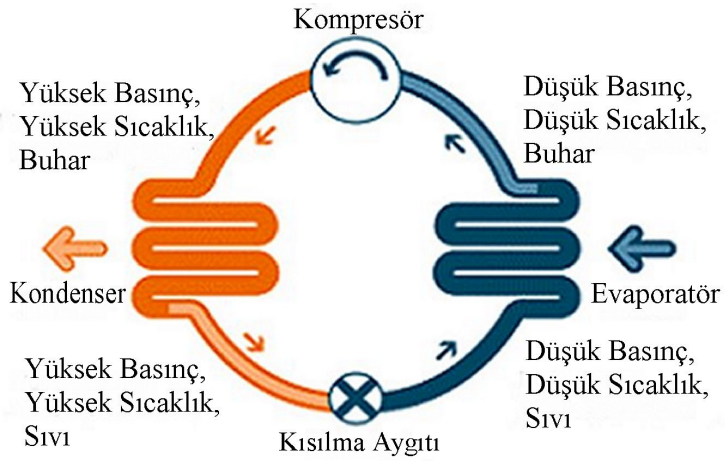
Çevresel etkileri ve soğutma performansına etkileri nedeni ile kompresörlerde kullanılacak soğutkan (soğutucu akışkan) gazların seçimi çok önemli bir hale gelmiştir. CFC (Kloro Floro Karbon) soğutkanların ozon tabakasına etkilerinin tesbitinden sonra kullanımları gittikçe azalmış yerlerini büyük bir oranda HFC (Hidro Floro Karbon) tipli soğutkanlara bırakmışlardır. Ancak HFC soğutkanların soğutma performansları yeterince iyi değildir ve bunun yanında içerdikleri flor, sera etkisi yapıcı bir gazdır ve çevre için önemli bir tehdittir. Son yıllarda HC (Hidro Karbon) soğutkanlar diğer soğutkanlara önemli bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. HC tipli soğutkanlar, mühendisler için henüz yeni olduğu için hem pratik hem teorik olarak netleştirilememiş olan çok fazla özellikleri bulunmaktadır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, evsel tip buzdolabı kompresörü biyel-perno yatağının aşınma ve sürtünme performansının, HC tipli R600a soğutkan ortamında, alternatif yatak malzemeleri ile değişimi incelenmiştir.

2.HERMETİK KOMPRESÖRLER

2.1 Soğutma Çevrimi ve Kopresör Tanımı

Buzdolabı kompresörlerinin görevi, kompresör giriş (düşük basınç) ve çıkış (yüksek basınç) portları arasında basınç farkı oluşturarak soğutkanın soğutma sistemi içerisinde hareketini sağlamaktır [1]. Şekil 2.1'de soğutma çevriminde bulunan ana elemanlar yer almaktadır.

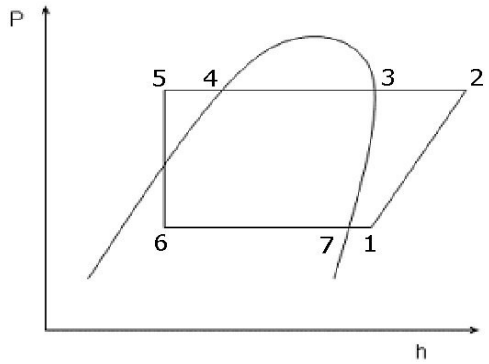


Şekil 2.1. Soğutma Çevrimi Elemanları [2]

İdeal soğutma sistemi çalışma prensibinin anlaşılması amacı ile basınç-entalpi diyagramı incelenebilir (Şekil 2.2). Diyagramda numaralandırılan bölgelerde meydana gelen olaylar özetlenirse;

1-2 bölgesinde kompresörün sıkıştırma işlevi yerine getirilmektedir. Soğutkan kompresör alçak basınç tarafından emilir. Yüksek basınç etkisi ile sıkıştırılır. Soğutkan bu bölge boyunca gaz fazındadır. 2-3 kondenser (yoğuşturucu) girişini ifade etmektedir. Aşırı kızgınlık bölgesi olarak da adlandırılır. 3-4 entalpi farkı kondenser yoğuşma bölgesidir. 4-5 kondenser çıkışında bulunur ve bu kısımda aşırı soğutma gerçekleşir. 5-6 arasında bir genişleme aparatı vasıtası ile adyabatik genleşme yapılarak basınç gradyanı oluşturulur ve düşük basınca geçilir. 6-7 entalpi farkı sistemin soğutma kapasitesidir. Evaporatörde (buharlaştırıcı) gerçekleşen bu

olay sırasında ortamdan ısı çekilir ve soğutkan gaz fazına geçer. 7-1 arasında akışkan aşırı derecede ısıtılır. Bu şekilde kompresör emniyeti sağlanır.



Şekil 2.2: İdeal Soğutma Çevrimine Ait Basınç-Entalpi Diyagramı [2]

Kopmresörler Genel Olarak Aşağıdaki Şekilde Sınıflandırılabilir:

- Pozitif sıkıştırmalı kompresörler (positive displacement compressors)
    a. Pistonlu kompresörler (reciprocating)
    b. Paletli dönel kompresörler (rotary type)
    c. Helisel-Vida tipi dönel kompresörler (screw type)
    d. Çift spiralli kompresörler (scroll)
    e. Trokoidal kompresörler (trochoidal)
- Santrifüj kompresörler (centrifugal compressors) [1].

Kompresörler sıkıştırma ve tahrik mekanizmalarının pozisyon ve konumuna göre de üç farklı grupta incelenebilmektedir:

- Açık tip (kayış kasnak mekanizmalı veya kavramalı kompresörler)
- Yarı-hermetik (motor ve kompresör farklı muhafaza içindedir)
- Hermetik (motor ve kompresör aynı kapalı muhafaza içindedir) [2].

Pistonlu kompresörler endüstriyel alanda kullanılan ilk kompresör tipidir. Hermetik kompresörlerin önemli bir avantajı diğer kompresör tiplerine oranla daha geniş basınç aralığında çalışabilmesidir. Santrifüjlü kompresörlerin üretilmesi ile popülaritesi 1950'den 1970'lere kadar düşmesine rağmen, günümüzde tekrar önem kazanmıştır. Pistonlu hermetik kompresörler için olumsuz özellik olarak bakım

maliyetlerinin yüksek olması ve kapasite olarak santrifüjlü kompresörlere oranla daha düşük değerlere sahip olmaları gösterilebilir. Pistonlu hermetik kompresörlerin tekrar cazip hale gelmesindeki en önemli sebep enerji maliyetlerindeki artıştır. Pistonlu hermetik kompresörler düşük kapasitede yüksek verim değerleri ile çalışabilirler [3].

2.2 Pistonlu Hermetik Kompresörü Oluşturan Parçalar

Kompresör ana gövdesi, mekanik sistem, yay sistemi, elektrik motoru ve muhafaza kompresörün bölümlerini oluşturmaktadır. Şekil 2.3'te hermetik kompresörün patlatılmış görüntüsü bulunmaktadır.

2.2.1 Kompresör ana gövdesi

Kompresör gövdesi için sızdırmazlık önemli bir husustur. Tasarımda bu durum göz önünde bulundurularak genellikle yüksek vasıflı dökme demirden, bazen de alüminyum alaşımlarından üretilir. Kompresör ana gövdesinde:

- Silindir, emme ve egzoz susturucuları,
- Emme ve egzoz manifoldları,
- Emme ve egzoz valfleri,
- Valf tablası,
- Kapasite kontrollü sistemlerde kontrol mekanizması ve elektrik motorunun stator ve rotor bağlantı yuvaları bulunur [1].

2.2.2 Yay sistemi

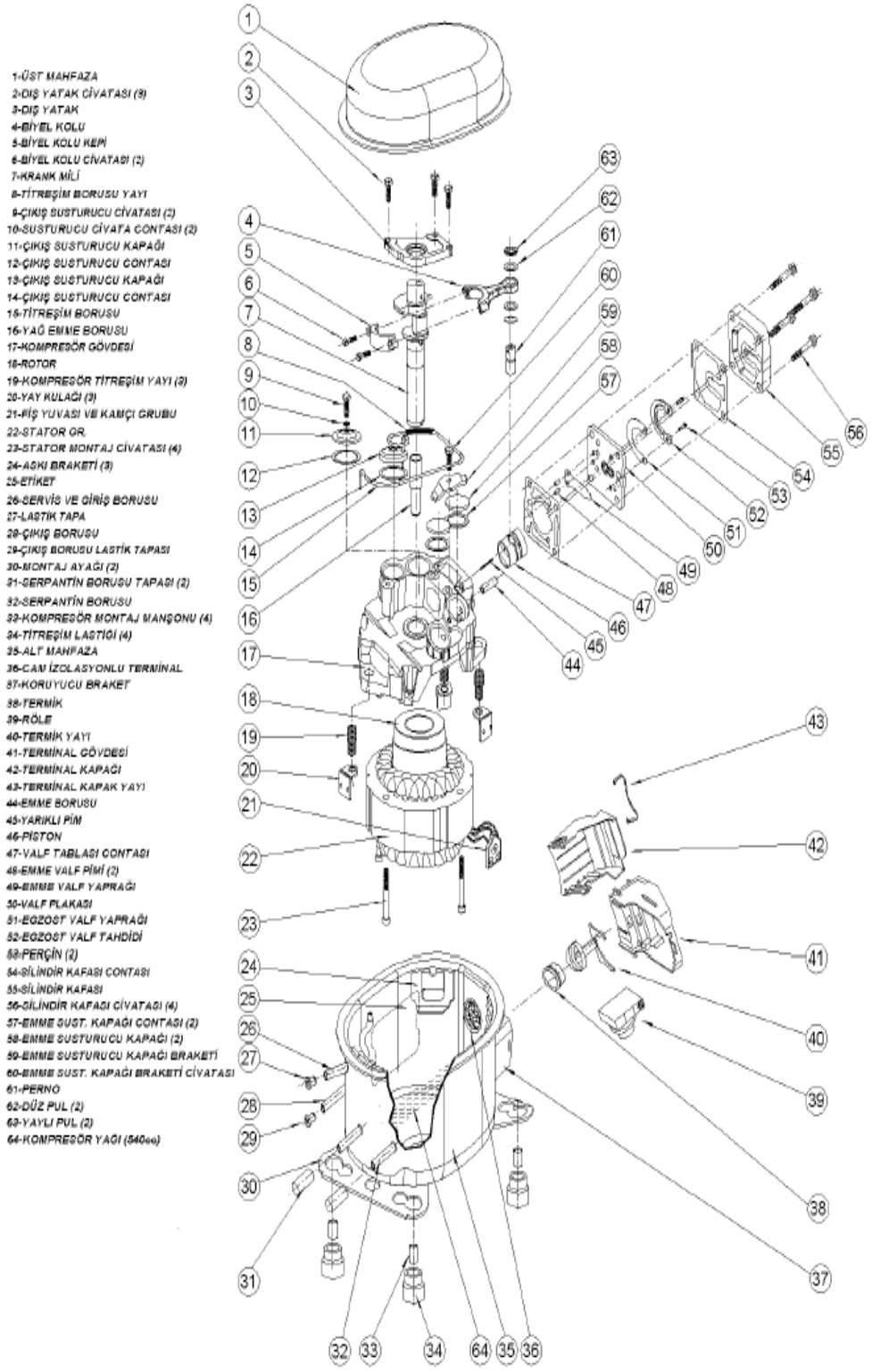
Yay Sistemi, kompresörün çalışması esnasında meydana gelen titreşimleri sönümlemek amacıyla kullanılmaktadır [4].

2.2.3 Elektrik motoru

Elektrik motoru, rotor ve stator ana parçalarından oluşur ve elektrik enerjisinin mekanik enerjiye çevrimini sağlar [4].

2.2.4 Muhafaza

Tüm diğer kompresör parçalarını içinde barındırır ve ana görevi sızdırmazlığı sağlamaktır. Bunun yanında yataklarda yağlamanın yapılabilmesi için bir yağ haznesi görevi de görür [4].



Şekil 2.3: Hermetik Kompresörün Patlatılmış Görüntüsü [5].

2.2.5 Mekanik sistem

Krank, biyel, perno ve piston hermetik kompresör mekanik sistemini oluşturan hareketli parçalardır.

Krank: Çelik veya dökme demirden imal edilir. Dairesel hareketin pistonun doğrusal hareketine çevrilmesinde ilk adımı oluşturur. Krank işlenirken boyutsal toleranslar dar bir aralıkta tutulmalıdır. Elektrik motorundan tahriklenerek dairesel hareket yapar.

Biyel: Biyel, alüminyum, bronz, çelik veya toz metal gibi çeşitli malzemelerden üretilebilir. Büyük çaplı ucu kranka, küçük çaplı ucu ise pernoya bağlı olarak çalışan biyel, krank milinin yapısına göre montaj kolaylığı sağlanması için tek veya çift parça halinde üretilebilmektedir. Krankın dairesel hareketinin doğrusal ileri geri gidip gelme şekline çevrimini sağlar.

Perno: Pernonun ana görevi biyel-piston arası bağlantıyı sağlamaktır. Döküm veya dövme çelikten üretilir.

Piston: Alüminyum alaşımları ve çelik yaygın olarak kullanılan piston malzemeleridir. Pistonun işlevi soğutkan sıkıştırma işlemini gerçekleştirmektir. Sızdırmazlığın sağlanması ile enerji sarfiyatının minimuma indirilmesi gerekmektedir [1].

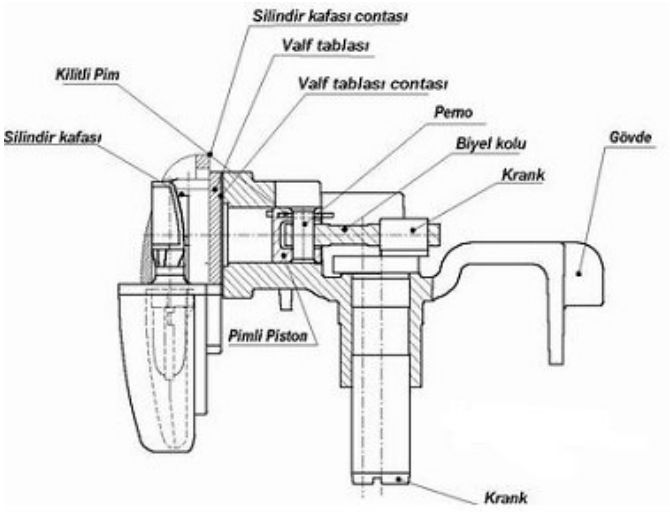
2.3 Yatak Tanımı ve Yatak Malzeme Sistemleri

Yatak, bir mekanizmadaki iki hareketli parça arasında yük iletimini sağlayarak parçaların birbirine göre rölatif olarak tek veya çift eksenli hareketine olanak sağlayan makine elemanıdır.

Yatak tasarımında malzeme özelliklerinin dikkatle belirlenmesi ve ona göre seçim yapılması gerekmektedir. Karşı malzeme ile uyumluluk, çalışma koşullarına uygunluk, gömülebilme kabiliyeti, korozyon dayanımı, yüksek sıcaklık dayanımı ve yorulma dayanımı malzeme seçiminde önemle üzerinde durulması gereken malzeme özellikleridir [6,7,8].

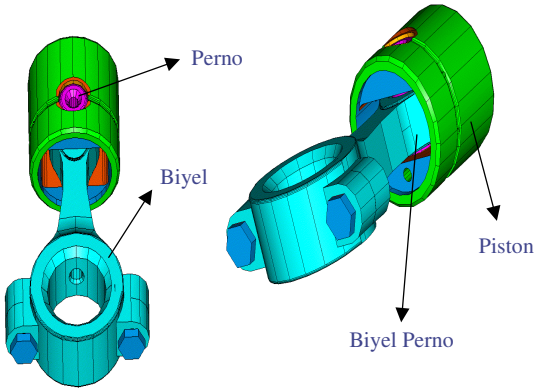
2.4 Kompresörlerdeki Yatak Grupları

Hermetik kompresörde, Biyel Perno Deliği – Perno (BP) , Biyel Krank Deliği – Krank Eksantrik Muylu (EY), Gövde Silindir Deliği – Piston (PS), Krank Uzun Muylu – Gövde Krank Deliği (Krank Basmalı Yatağı) ve Krank Uzun Muylu – Gövde Krank Deliği (Krank Radyal Yatağı) yatakları bulunmaktadır. Kompresör mekanik sisteminin kesit görüntüsü Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4: Kompresör Gövdesi [5]

Bu çalışmada, kompresör söküm analizi verilerine göre en yüksek aşınmayı gösteren yatak olan biyel perno deliği-perno yatağı incelenmiştir (Şekil 2.5). Bu doğrultuda diğer yataklar ile ilgili ayrıntılara değinilmeyecektir.



Şekil 2.5: Biyel perno deliği- perno yatağına ait I-Deas çizimi [9]

3.SÜRTÜNME VE AŞINMA

Aşınma ve sürtünme kayıpları hermetik kompresörler için önemli bir problem teşkil etmektedir. Yapılan araştırmalar göstermiştir ki endüstrileşmiş ülkelerde görülen ekonomik kaybın yaklaşık %0,5'lik bir oranı kayma süresince oluşan sürtünme kayıplarının azaltılamamasından kaynaklanmaktadır. Yeni malzemelerin ve yeni yağlayıcıların devreye sokulduğu yeni tasarımlar ortaya koyarak sürtünme kayıplarının azaltılması modern teknoloji için önemli bir araştırma konusudur. Bu bölümde aşınma, sürtünme ile ilgili temel bilgiler verilecektir.

3.1 Sürtünme

Sürtünme, temas halindeki iki yüzeyin birbirine göre rölatif olarak yaptıkları harekete veya bu hareketin başlaması için etki eden kuvvete karşı gösterdikleri dirençtir.

Malzemelerin sürtünme özelliğinden çeşitli şekillerde yararlanılabilir. Örneğin bazı uygulamalarda yüksek sürtünme kuvvetine ihtiyaç duyulduğu gözardı edilmemelidir. Araba kalkış duruş anlarında ya da bir nesnenin el ile kavranması esnasında sürtünme kuvvetine ihtiyaç duyulmaktadır. Aynı sürtünme kuvveti mekanik sistemler için ise çok önemli bir problem teşkil etmekte ve bu yüzden sürtünmeyi azaltıcı önlemler araştırılmakta ve uygulanmaktadır.

Sürtünmeden yararlanabilmek için istenen başka bir özellik de sürtünme kuvvetini belli limitlerin arasında tutabilmektir. Örneğin otomobil fren sistemlerinde sürtünme kuvveti kontrol altında tutularak yolcuları sarsmadan yavaşlama hareketi sağlanabilmektedir [10].

Sürtünme kuvveti, genelde sürtünme katsayısı ile temsil edilir. Sürtünme katsayısının formülü aşağıdaki gibidir.

$$\mu = \frac{F}{N} \qquad \textbf{(3.1)}$$

μ: Sürtünme katsayısı

F: Teğetsel kuvvet (sürtünme kuvveti)

N: Normal kuvvet (yük)

Sürtünme ile ilgili bir çok teori ortaya atılmıştır. Temel olarak, Fransız ve İngiliz olmak üzere iki yaklaşım mevcuttur. Fransız yaklaşımına göre yüzey pürüzlüğü ve aspiriteler arası mekanik etkileşim sürtünmeye sebep olmaktadır. İngiliz yaklaşımına göre sürtünme, malzemeler arasındaki kohezyon veya bir başka adıyla adhezyon kuvvetlerinin oluşturduğu mekanik etkiye bağlıdır.

Fransız ekolü Amonton'un ortaya koyduğu iki temel yasa ile başlamıştır ki bu iki yasa bundan iki yüzyıl önce Leonardo da Vinci tarafından bulunmuştur. Amonton sürtünme yasalarına göre :

- Sürtünme kuvveti uygulanan yük ile orantılıdır.
- Sürtünme kuvveti temas alanından bağımsızdır.

Daha sonra Coulomb, Amonton'un yasalarını deneysel olarak ispatlamıştır. Fransız yaklaşımı ortaya çok önemli bilgiler çıkarmıştır ancak plastik deformasyon ve aspiritelerin şekil değiştirmesi gibi ağır koşulların görüldüğü durumlar bu yaklaşımın dışında kalmaktadır.

İngiliz ekolü Desaguliers adındaki Fransız bilim adamının yaklaşımları üzerine kurulmuştur. Desaguliers, sürtünme üzerinde adhezyon kuvvetinin etkili olduğu fikrini ortaya atmıştır. Desaguliers iki kurşun bilyanın birbirine bastırılması durumunda birbirine bağlandığını ve tekrar ayrılmaları için bir enerji gerektiğini görmüştür. Bilyaları bir arada tutan kuvvetin adhezyon kuvveti olduğunu kabul etmiş ve sürtünme esnasında aspiriteler arasında bu kuvvetin çok etkili olabileceğini iddia etmiştir [11].

Bowden ve Tabor yirminci yüzyılın ortalarında yaptıkları çalışmalarda adhezyon ile birlikte yüzey aspiritelerinin deformasyonun da sürtünmede çok etkili rol oynadığını bulmuşlardır. Böylelikle malzemelerin mekanik özelliklerinin sürtünme için önemli olduğu ilk kez ortaya konmuştur.
Sürtünme durumundaki gerçek temas alanı aşağıdaki formülden hesaplanabilir:

$$A_r = N/H \qquad \textbf{(3.2)}$$

N yüzeye etkiyen dik kuvvet, H ise akma mukavemetidir. Sürtünme kuvvetinin bağların kopması için gereken kesme mukavemeti (τ) ile ilişkişi de değerlendirilirse sürtünme kuvveti A_r ile τ'nin çarpımı şekline ifade edilebilir. Formüller düzenlenirse aşağıdaki formüle ulaşılır. μ sürtünme katsayısı olarak ifade edilir[12, 13].

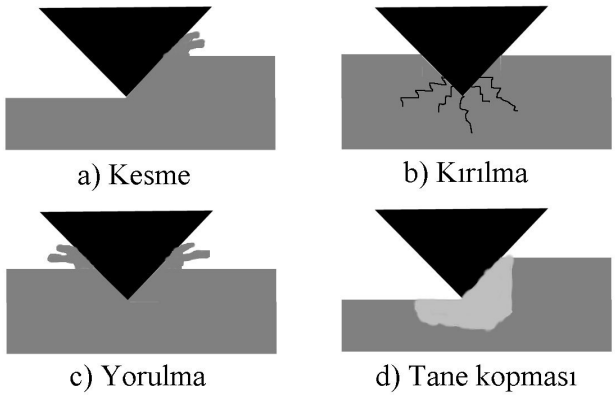
$$\mu = \frac{F}{N} = \frac{A_r \tau}{A_r H} = \frac{\tau}{H} \qquad \textbf{(3.3)}$$

3.2 Aşınma Tanımı ve Çeşitleri

Aşınma, birbiri ile temas halindeki katı yüzeylerde, mekanik hareket neticesinde meydana gelen malzeme kaybı olarak tanımlanabilir. Katı bir parça üzerinden malzeme kaybı ergime, kimyasal bozulma ve atomların fiziksel olarak ayrılması şeklinde olabilir. Aşınma mekanizmalarında görülen değişikliklere göre farklı aşınma tipleri mevcuttur [13].

3.2.1 Abrasif aşınma

Abrasif aşınma, sert parçaların kendi ile aynı sertlikte ya da daha düşük sertlikte bir yüzeye teması sonucu oluşan aşınma türüdür. Abrasif aşınmayı engelemekte karşılaşılan en önemli problem çoğu aşınma probleminde abrasif aşınmanın yanında başka aşınma mekanizmalarının da beraber bulunmasıdır. Şekil 3.1'de abrasif aşınma mekanizmaları görülmektedir.



Şekil 3.1: Abrasif Aşınma Mekanizmaları [13]

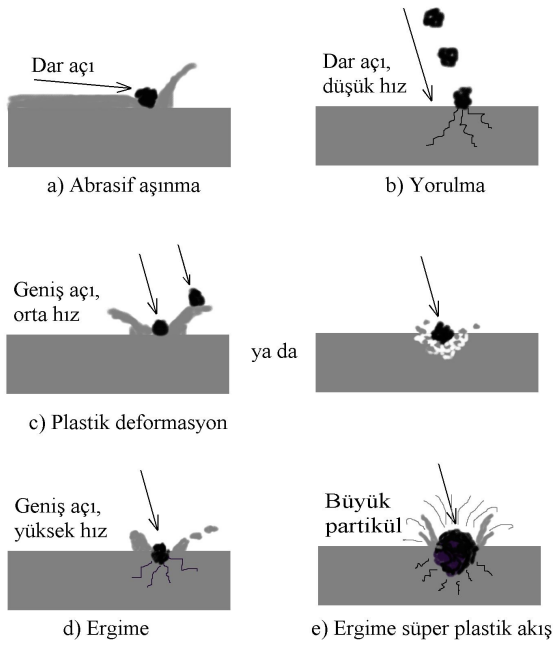
Şekil 3.1a, keskin veya sert bir partikülün yumuşak yüzeyi kestiği klasik abrasif aşınma modelini temsil etmektedir. Diğer bir tür ise aşınan malzemenin seramik gibi gevrek olduğu durumdur (Şekil 3.1b). Aşınma izi kırılma sonucu meydana

gelmektedir. Eğer aşındırıcı keskin değilse aşınma yüzeyi tekrarlı bir şekilde deforme olmaktadır (şekil 3.1c). Aşınma izi yorulma sonucunda oluşmaktadır. Son aşınma mekanizması taneler arası bağların zayıf olduğu durumlarda görülür. Tane kopması olarak adlandırılır (Şekil 3.1 d) [13].

3.2.2 Erozif aşınma

Erozif aşınma, katı veya sıvı partiküllerin malzeme yüzeyine çarpması sonucu oluşan aşınma türüdür. Uçakların tozlu bulutların arasından geçmesi esnasında gaz türbin kanatçılarında meydana gelen aşınma erozif aşınmaya örnek olarak gösterebilir. Mekanik mukavemet aşınma direncinin garantisi olarak kabul edilemez, aşınmanın minimizasyonu için malzeme karakteristiklerinin detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir.

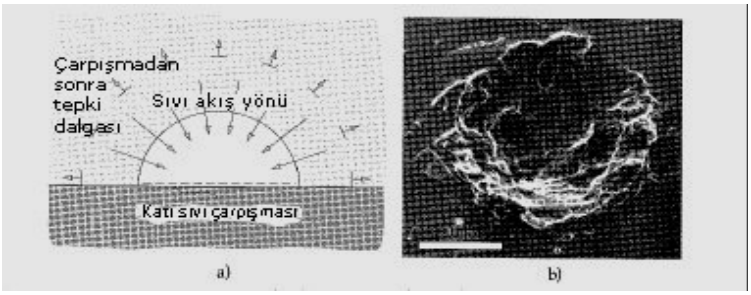
Erozif aşınma, partikül çarpma açısı, çarpma hızı ve boyutu gibi özellikler ile kontrol altında tutulan çeşitli aşınma mekanizmalarını içermektedir. Partiküller sert ve katı ise abrasif aşınmaya yakın özellikler görülmektedir. Sıvı aşındırıcı partiküller mevcut ise abrasif aşınma oluşmaz ve aşınma tekrarlı çarpma yüklerinden kaynaklanır. Şekil 3.2'de erozif aşınma mekanizmaları görülmektedir [13].



Şekil 3.2: Erozif Aşınma Mekanizmaları [13]

3.2.3 Kazımalı aşınma

Kazımalı aşınma, yüzeyi sıvı ile temas halinde olan bir cisme gaz baloncuklarının çarpması sonucu oluşur. Baloncuk oluşumunu sağlayan, sıvı içerisindeki çözünmüş gazın basıncının düşmesi ve gazın serbest hale geçmesidir. Kazımalı aşınma sonrasında yüzeyde delikler ve oyuklar oluşmaktadır.



Şekil 3.3: Kazımalı Aşınma Mekanizması ve Yüzey Deformasyon Görüntüsü [13]

Gaz baloncuğu yüzeye çarptığında temas halinde olduğu sıvının hızı önce artar. Sıvı katı yüzey ile temasa yaklaştıkça hızında çok keskin bir düşüş gözlenir. Sıvı ve katı arasındaki çarpışma sonucunda katının bozulmasına sebep olabilecek kadar yüksek gerilim oluşur. Şekil 3.3 baloncuk oluşumunu ve deneysel çalışma sonucu metal yüzeyinde gözlenen deformasyonu göstermektedir [13].

3.2.4 Adhezif aşınma

Kaymalı temas halinde yüzeyler adhezif aşınma ile çok hızlı bir şekilde bozulabilirler ve çok ağır şatlar altında kayma hareketi çok yüksek sürtünme katsayısı veya yatak sarması gibi problemlerle engellenebilir. Kaymalı temaslarda metal metal temasını getiren yağlama problemleri çoğu kez adhezif aşınma ile sonlanır. Eğer kayan yüzeyler arasında bir yağ filmi mevcut değilse adhezyon ve aşınma kaçınılmazdır.

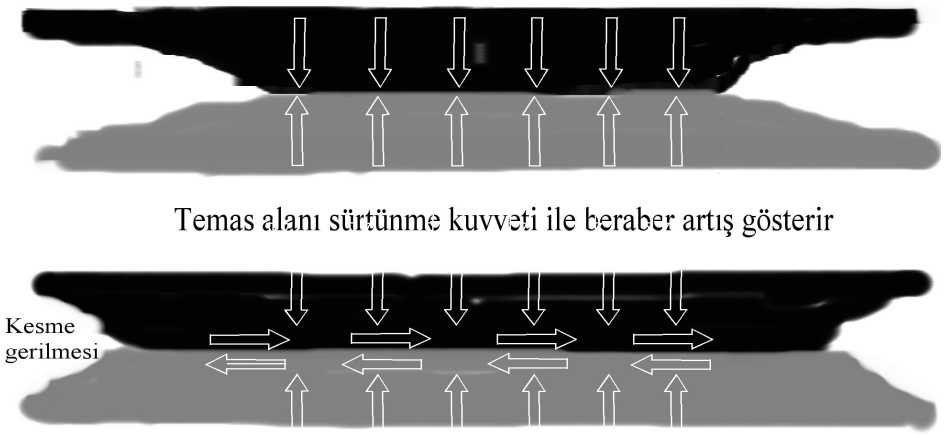


Şekil 3.4: Adhezif Aşınma Oluşumu [13]

Genelde cisimler arası adhezyon kuvveti ihmal edilir. Bunun sebebi yüzeyler arasında daima oksijen, su veya yağ katmanının mevcut olmasıdır. Bunun yanında

yüzey pürüzlüğü ve sertlik arttıkça da adhezyon azalmaktadır. Gerçek adhezyon kuvveti tesbiti yüksek vakumlu sistemlerde yapılabilmektedir. Malzemelerin tribolojik özellikleri vakumlu ortamda normal şartlara oranla büyük farklılıklar göstermektedir.

Farklı malzeme kombinasyonlarında yapılan bir çok test göstermiştir ki adhezyon görülen durumlarda yumuşak malzemeden sert malzemeye malzeme transferi vardır (Şekil 3.4).



Şekil 3.5: Temas Alanındaki Genişlemenin Şematik Gösterimi [13]

Adhezyoun yol açtığı yüksek sürtünme katsayı değerlerinin açıklanması için aspirite bağlarının büyümesinin anlaşılması gerekmektedir. Yüzeylerde plastik deformasyona yetecek kadar bir yük uygulandığında gerilim etkisi ile temas alanında artış olacaktır (Şekil 3.5). Yük daha geniş bir yüzey ile karşılanacağı için birim alan tarafından karşılanan yük ve dolayısı ile basınç düşecektir. Malzemenin akma geriliminin karşılanmasına kadar yük artacaktır. Sonuç olarak sürtünme katsayısı çok yüksek değerlere ulaşacaktır [13].

Adhesif aşınma mekanizması Archard denklemi ile açıklanmıştır. Buna göre;

W_{ad} : Aşınma oranı

V : Aşınma hacmi

L : Kayma mesafesi

K : Aşınma katsayısı

W : Normal yük

G : Daha yumuşak olan malzemenin sertliği olmak üzere;

$$Wad = \frac{V}{L} = K\frac{W}{G}\text{'dir.} \qquad \textbf{(3.1)}$$

4.YAĞLAMA

4.1 Yağların Fiziksel Özellikleri

Yağların temel fonksiyonu aşınma ve sürtünme özelliklerini geliştirmektir. Yağların sahip olması gereken bir başka özellik ise bozulmaya karşı dayanıklı olmalarıdır. İstenen kalitede olmayan ve servis koşullarında bozulan yağ korozyon probleminin oluşmasına sebep olabilir. Herhangi bir mühendislik uygulaması için doğru yağ seçimi yapabilmek için başlıca fiziksel özelliklerin iyi tesbit edilmesi gerekir. Bu bölümde yağların önemli fiziksel özellikleri üzerinde durulacaktır [13].

4.1.1 Yağ Viskozitesi

Yağ viskozitesi yüksek temas basıncı olan yataklarda aşınma ve sürtünme özelliklerini etkileyici çok önemli bir rol oynar [14]. Farklı yağlar farklı viskozitelere sahiptir ve bunun yanında yağ viskozitesi sıcaklığa, kayma oranına ve basınca bağlı olarak değişim göstermektedir.

İlk bakışta yüksek viskoziteli yağların oluşturduğu film kalınlıklarının daha kalın olmasından dolayı performanslarının da daha iyi olacağı varsayılabilir. Ancak bu durum her zaman geçerli değildir. Yüksek viskoziteli yağ ile yağlanmış sistemlerde kayma hareketinin sağlanması için ihtiyaç duyulan kayma gerilmeleri düşük viskoziteli yağ kullanılan sistemlere oranla daha yüksektir. Kayma gerilmesindeki yükselme beraberinde güç kaybını getirir, daha fazla ısı üretilir ve temas halindeki parçaların bozulmasına sebep olabilecek sıcaklık artışı olur. Sıcaklık viskozite değişimini tetikleyen en önemli parametredir [13].

4.1.1.1 Dinamik Viskozite

İki düz yüzeyin birbirinden "h" yüksekliğinde bir film tabakası ile ayrıldığı varsayılırsa. Üst yüzeyin hareketi için gereken kuvvet ıslatılmış yüzey alanı "A" ve hız "u" ile doğru orantılı olarak değişmektedir.

$$F \propto A \times u / h \qquad \textbf{(4.1)}$$

Aradaki akışkan filmin sonsuz incelikte bir dizi tabakadan meydana geldiği kabul edilirse; yağ tabakaları arasında bir hız gradyanı oluşacaktır. Üstte hareketli olan yüzeyden aşağı doğru filmi oluşturan tabakaların hızı azalacaktır. Yağ filmi kalınlaştıkça içereceği tabaka miktarı artacak ve her bir tabakayı hareket ettirmek için gerekli kuvvet azalacaktır. Bu sebeple kayma gerilmesi azalacaktır. Üst yüzeyin hareketi için gereken kuvvet aşağıdaki değişkenlere bağlı hale gelecektir.

$$F = \eta \times A \times u / h \qquad \textbf{(4.2)}$$

Farklı akışkanlar için gerekli akış kuvveti dinamik viskozite adı verilen sabite bağlıdır. Dinamik viskozite birimi Poise'dir. Ancak yaygın olarak centipoise (cP) ve Paskal saniye (Pas) kullanılmaktadır. Dinamik viskozite aşağıdaki şekilde ifade edilir [13].

$$\eta = (F / A) / (u / h) \qquad \textbf{(4.3)}$$

veya

$$\eta = \tau / (u / h) \qquad \textbf{(4.4)}$$

η = Dinamik Viskozite (Pas)

τ = Akışkana etkiyen kesme gerilmesi (Pa)

u/h= Kesme oranı, kesme gerilmesine normal olan hız gradyanı (s^{-1})

4.1.1.2 Kinematik Viskozite

Kinematik viskozite, dinamik viskozitenin akışkan yoğunluğuna oranı olarak tanımlanmıştır.

$$\upsilon = \eta / \rho \qquad \textbf{(4.5)}$$

υ = Kinematik viskozite (m^2/s)

η = Dinamik Viskozite (Pas)

ρ = Akışkan yoğunluğu (kg/m^3).

Kinematik viskozite birimi Stoke'tur (S). Ancak bu birim pratik için çok büyüktür ve genellikle daha küçük bir değer olan centistoke (cS) kullanılır. Aşağıda kinematik viskozite dönüşüm faktörleri verilmiştir [13].

$$1\ (S) = 100\ (cS) = 0.00001\ (m^2/s) \qquad \textbf{(4.6)}$$

4.1.2 Viskozite Sıcaklık İlişkisi

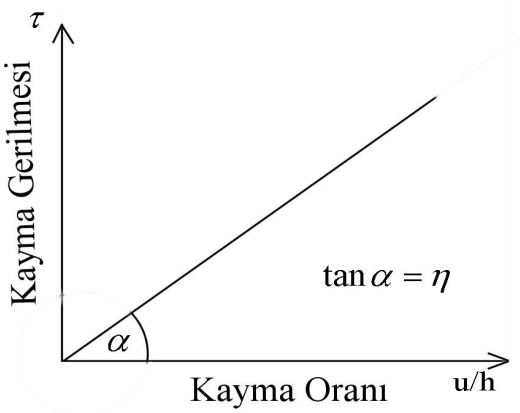
Yağ viskozitesi oprasyon sıcaklığına oldukça duyarlıdır. Yükselen sıcaklıkla yağ viskozitesi oldukça hızlı bir düşüş gösterir. Bazı durumlarda 25°C'lik bir sıcaklık artışında viskozitede %80'lere varan değişim gözlenebilmektedir. Yağ film kalınlığı tesbitini yapabilmek için, operasyon sıcaklıklarında yağ viskozitesinin bilinmesi önemlidir. Viskozite sıcaklık diyagramları ASTM standatlarında bulunmaktadır [13].

4.1.3 Viskozite Basınç İlişkisi

Yağ viskozitesi basınçla beraber artış gösterir. Basıncın atmosfer basıncından yüksek olduğu durumlarda birçok yağlayıcı için basıncın viskozite üzerinde etkisi sıcaklık ve kaymadan daha kuvvetlidir. Yataklarda çok yüksek basınç koşulları oluştuğunda yağlayıcı bir sıvıdan çok, katı karakteristikleri göstermeye başlar. Bu durum aşınma sürtünme davranışının kötüye gitmesine sebep olur [13].

4.1.4 Viskozite Kayma Oranı İlişkisi

Genelde akışkanlar Newton tipi akışkan olarak kabul edilirler. Newton tipi akışkanların viskoziteleri kayma oranı ile lineer bağımlıdır (Şekil 4.1.).



Şekil 4.1: Newton Tipi Akışkanın Kayma Gerilmesi – Kayma Oranı Değişim Grafiği

Saf mineral yağlar için bu kabul yüksek kayma oranlarına kadar geçerlidir; ancak belirli kayma oranlarının üstünde geçerliliğini yitirir. Akışkan Newton tipi olmayan hale geçer. Newton tipi olmayan akış genel olarak akışkanın yapısal karmaşıklığının bir fonksiyonudur. Örneğin su, benzen ve hafif yağların moleküler bağları gevşektir ve Newton tipi akış gösterirler. Su yağ emisyonları, polimer katkılı yağlar ve gres yağları Newton tipi olmayan akışkanlardır.

4.2 Yağların Isıl Özellikleri

Yağların en önemli ısıl özellikleri spesifik ısı, ısıl iletkenlik ve ısıl yayılmadır. Bu üç parametre, yağın soğutma kabiliyeti, yüzeylerin operason sıcaklığı gibi, yağların ısıl etkilerinin belirlenmesinde önemli rol oynar [13].

4.3 Katkı Maddesi ile Uyumluluk ve Katkı Maddesi Çözünürlüğü

Yağ katkılarının birbirleri ile ve yağ ile uyumlu olması ve herhangi bir reaksiyona girmemesi gereklidir. Genel olarak renk değişimi ve koku gibi belirtiler göstermeyen katkılar yağ ile uyumlu olarak kabul edilirler.
Katkı maddeleri yağ içerisinde çözünmelidir. Katkı maddelerinin saklama veya çalışma süresince yağdan ayrılması kesinlikle istenmeyen bir durumdur [13].

4.4 Gazların Yağ İçerisinde Çözünürlüğü

Neredeyse tüm gazlar oksijen içerisinde belirli oranlarda çözünürler. Bir gazın sıvı içerisindeki çözünürlüğü Ostwalt katsayısı ile hesaplanır. Ostwalt katsayısı sabit sıcaklık ve basınçta, sıvı içerisinde çözünmüş gaz hacminin sıvı hacmine oranıdır. Örneğin Ostwald katsayısı 0,2 olan bir durumda 5 litrelik yağ içerisinde 1 litre gaz çözünmüş halde bulunmaktadır. Kompresörler için yağ içerisindeki çözünmüş soğutkan miktarı çok önemlidir [13]. Bu konuya ilerki bölümlerde tekrar değinilecektir.

4.5 Kompresörlerde Yağlama

Yağlama, kompresör yataklarında aşınma ve sürtünme özelliklerinin geliştirilmesi açısından kontrol altında tutulması gereken önemli bir parametredir. Kompresör yağlarının üç ana görevi vardır:

- Sürtünme ve aşınmayı azaltmak
- Piston silindir arasından soğutkan kaçışını engellemek
- Sürtünme ile meydana gelen ısıyı başka bölgelere taşıyarak sıcaklık artışını engellemek.

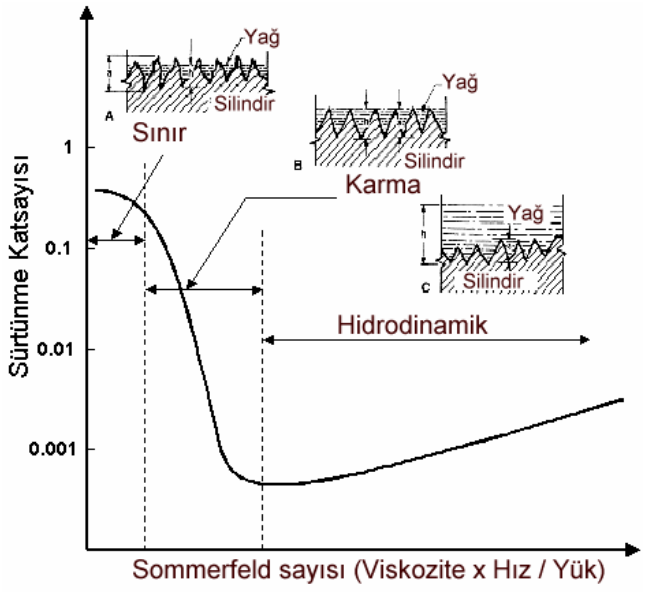
Yağlama ile yatak yüzeylerinde oluşan sürtünme kaynaklı enerji kayıpları azaltılabildiği gibi viskozitesi uygun olmayan ya da soğutkan gaz içinde çözünürlüğü istenilen limitlerin dışında olan yağlayıcılar kullanıldığında sistem veriminde düşüş gözlenebilir. Bu gibi gerçekler göz önünde bulundurularak, kompresör performansını geliştirmek için uygun yağlayıcı seçimi yapılmalıdır [14].

Yataklarda sürtünme katsayısının N/P (η.v/P) faktörüne bağlı değişimini ifade eden eğri stribeck eğrisidir (Şekil 4.3.). N/P (η.v/P) faktörü Sommerfeld sayısı olarak da ifade edilebilir. Stribeck eğrisine göre üç ana yağlama rejimi mevcuttur.

Sommerfeld sayısının yüksek olduğu, sürtünme yüzeyleri arasında film oluşumuna olanak sağlayacak kadar yüksek hız, yüksek viskozite ve düşük basınç koşullarının sağlandığı yataklarda hidrodinamik yağlama gerçekleşmektedir. Sürtünme katsayısı yağlayıcının kinematik viskozitesine lineer olarak bağlıdır.

Eğer çalışma şartları yüzeyler arasında film oluşuma engel olacak kadar ağır ise sistem sınır yağlama rejiminde çalışmaktadır. Bölgesel olarak yağlama yapılsa bile metal-metal teması gerçekleşmektedir ve sürtünme katsayısı yağ viskozitesinden daha çok temas noktsasındaki pürüzlerin deforme olabilmesi için gereken enrjiye bağlıdır. Sınır yağlama şartlarında Sommerfeld sayısı düşük, sürtünme katsayısı yüksek değerlerdedir.

Karma yağlama, sınır ve hidrodinamik yağlama koşullarının arasında kalan bölgede görülen yağlama rejimidir. Karma yağlamada yatak yükü belli bölgelerde yağlayıcı tarafından karşılanabilir ancak yine de metal metal teması mevcuttur. Sabit kayma hızı ve kuvvet değerlerinde viskozite arttıkça sürtünme katsayısında düşüş görülmektedir [12,15].



Şekil 4.2: Stribeck Eğrisi

Kompresör yağı olarak uzun yıllardan beri mineral yağlar kullanılmaktadır. Bunun sebebi mineral yağların klorlu soğutkanlar ile uyumudur. Ancak yeni tip HFC'lar için aynı durum söz konusu değildir ve mineral yağda florlu soğutkanların çözünürlüğü çok düşük olduğu için yeni tip sentetik yağlar geliştirilmiştir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan sentetik yağ tipleri, Polyalkylene glycol (PAG), Polyol ester (POE), Alkil benzen (AB) ve Poli-alfa olefin (PAO)'dir [16].

5.ALTERNATİF SOĞUTKAN R600a

Soğutkan R600a, başka bir adı ile izobütan, ev tipi soğutucular için, getirdiği çevresel faydalar ve enerji tasarrufu sayesinde diğer soğutkanların yerine uygun bir alternatiftir.

5.1 Çevresel Etkiler

Molina ve Rowlands, CFC tipi soğutkanların atmosfere verdikleri zararı ilk olarak tesbit etmişlerdir. Ozon (O_3) kararsız yapıdadır ve sürekli olarak oksijene dönüşüp tekrar geri oluşmaktadır. Güneşten gelen ultraviyole ışınları CFC'lerin içerdiği klorun açığa çıkmasına neden olur. Serbest olan klor ozonun yapısını bozarak ozonun oksijene dönüşümünü hızlandırır. Bunun neticesinde ultraviyole radyasyon ozon tabakasında tutulamaz ve daha alt tabaklara kadar rahatlıkla yayılır.

CFC'lerin sera etkisi ise teşkil ettikleri çevresel tehtidin bir başka boyutudur. Güneşten yer yüzüne ulaşan kısa dalga boylu radyasyon yer yüzü tarafından daha uzun dalga boylu radyasyon olarak geri yansıtılır. Atmosferde bulunan karbondioksit, metan, ozon, diazot monoksit ve aerosoller gibi gazlar bu radyasyonu tutar ve tekrar yeryüzüne yansıtır. Sera etkisi adı verilen bu etki ile yeryüzü sıcaklığı çok büyük oranlarda atrış gösterir.

1987 yılında Montreal protokolünden itibaren ev tipi soğutuculardа CFC yerine HFC soğutkan kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. HFC tipi soğutkanlar ozon tabakasına karşı zararsızdır; ancak büyük miktarda sera etkisine sahiptir. Tablo 5.1'de yaygın olarak kullanılan bazı soğutkanların çevresel etkileri özetlenmiştir.

Tablo 5.1: Yaygın Olarak Kullanılan Soğutkanların Çevresel Etki Değerleri [17]

Soğutkan	**R12**	**R22**	**R134a**	**R600a**	**R290**
Sınıf	CHC	HCFC	HFC	HC	HC
Atmosferik Ömür	130	15	16	<1	<1
Ozon Parçalanma Potansiyeli	1.0	0.07	0	0	0
Küresel Isınma Potansiyeli	8500	1700	1300	8	8

Tablo 5.1'de görüldüğü gibi çevresel olumsuz bir etkisinin olmaması HC bazlı bir soğutkan olan R600a gazını çok cazip hale getirmiştir. Son yıllarda, özellikle Avrupada R600a kullanımı büyük artış göstermiştir [17].

5.2 Soğutkanlardan Beklenen Özellikler

Evsel ve küçük kapasite soğutuculardа kullanılan soğukanların aşağıdaki özelliklere sahip olması gerekir.

- Yüksek korozyon direnci.
- Kimyasal kararlılık.
- Ortam şartlarının altında buharlaşma kabiliyeti.
- Ortam sıcaklığının üstünde kritik sıcaklık değeri [17].

5.3 R600a ve Enerji

Küçük kapasiteli soğutma sistemlerinde yapılan testlerde hidrokarbon soğutkanların florokarbon soğutkanlara oranla %20'lere varan enerji tasarrufu sağladığı görülmüştür. Garland ve Hadfield R600a'lı kompresör COP'lerinin R134a ve R12'li kompresörlere oranla daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir [18].

Bunun yanında soğutkan özellikleri karşılaştırıldığında R600a'nın günümüzde en yaygın olarak kullanılan üç florokarbon soğutkandan bir çok alanda daha iyi olduğu saptanmıştır. R600a ile çalışan soğutma sistemi dizaynı çevresel faktörler ve soğutma teknolojileri açısından kritik bir öneme sahip hale gelmiştir [19]. Bu çalışmada kompresör yataklarındaki aşınma ve sürtünme özellikleri R600a soğutkan ortamında incelenmiştir.

5.4 Soğutkan ve Yağ İlişkisi

Soğutma sistemlerinde, yağ tek başına yağlayıcı eleman olarak değerlendirilmemeli, yağ-soğutkan etkileşimi göz önünde bulundurulmalıdır. Bu karşılıklı etkileşim sonucu, çözünürlük, viskozite, yoğunluk ve ısıl iletkenlik gibi özellikler değişiklik göstermektedir. Soğutma çevriminde, yağ ve gaz birlikte hareket etmekte ve çevrim sonunda kompresöre dönmektedir. Eğer sistemde, ısı değiştiricilerde yağın yoğunlaşması gibi faz ayrılmaları meydana gelirse, ısı transfer mekanizması etkilenir, dolayısı ile tüm sistemin performansı düşer. Örneğin evoporatör faz ayrımının gerçekleşmesinin en muhtemel olduğu bölge, çevrim içerisinde sıcaklık ve basıncın en düşük olduğu bölgedir. Soğutkanın buharlaşması ile evoporatörün soğuk iç yüzeyinde sıvı bir yağ film tabakası oluşur. Eğer bu film tabakası viskoz ise akış kuvvetleri bu filmi kompresöre taşımaya yeterli olmayabilir. Kompresör yağlama dengesinin bozulması gibi bir problem yaratabilecek bu yağ filminin viskozitesi temel olarak içinde çözünmüş olarak bulunun soğutkan miktarına bağlıdır.

Soğutkan çözünürlüğünün çok yüksek olması da ayrı bir problemi beraberinde getirebilir. Viskozitenin aşırı düşmesi nedeniyle yataklarda metal-metal temasını engelleyecek film tabakası oluşamaz. Mekanik aksamda aşınma ve sürtünme problemleri baş gösterebilir.

Bazı endüstriyel tip soğutkanların özellikleri incelenirse; eski tip klor içeren R22 ve R13 gibi soğutkan gazların mineral yağlar içerisinde çözünürlükleri çok düşüktür. Aynı şekilde R134 ve R32 gibi HFC'ların da mineral yağ çözünürlükleri istenenin çok altındadır. Sistem optimizasyonunun sağlanması için yeni sentetik yağlar geliştirilmiştir. R600a; mineral yağ'ın yanında PAG ve POE gibi sentetik yağlar ile uyumludur [16]. Bu bilgiler ışığında genel bir değerlendirme yapılırsa, soğutma sistemi tasarımında yağ-soğutkan uyumu üzerinde dikkatle durulması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

6.SİNTER YATAK MALZEMELERİ

Kendinden yağlama özelliğine sahip yatak malzemeleri, toz metalurjisi ile üretilen en eski endüstriyel parçalardandır ve bunun yanında hacimsel olarak da toz metal üretiminin en büyük bölümünü oluşturmaktadır. Poroz yatak malzemelerinin en önemli avantajları içerdikleri boşluklarda yağ tutabilme özellikleridir. Yağ tutma kapasitesi malzeme hacminin %25'ine kadar çıkabilmektedir.

Yatak hareketi başladığında malzeme içerisine gömülü olan yağ, genleşme katsayısının metalden yüksek olması nedeniyle dışarı çıkar. Hareket durduğunda ise kapiler kuvvetin etkisi ile tekrar yatak malzemesi içerisine emilir [20].

Yanase ve Miyasaka yaptıkları çalışmada sinter malzemelerin aşınma özelliklerinin hazırlanan toz bileşiminin değiştirilmesi ile geliştirilebildiğini göstermiştir. Karışımın %14-18 'i oranında bakır ilave edildiğinde aşınma ve "seizure" direncinin arttığını gözlenmiştir [21].

6.1 Sinter Yatak Malzeme Tipleri

Toz metal yatak malzemeleri bileşimlerine göre üç temel gruptan oluşmaktadır. Bunlar: bronz, demir esaslı ve demir-bronz sinter yatak malzemeleridir. En çok kullanılan toz metal yatak malzemesi %90Cu-%10Sn bileşimine sahip olan bronzdur. Bu malzeme daha düşük maliyeti olan ve daha hafif şartlarda çalışan sistemlerde kullanılan demir esaslı ve demir-bronz sinter malzemelere oranla çok daha iyi yatak performansı göstermektedir [20].

6.1.1 Sinter bronz yatak malzemeleri

Bakır, kalay, kurşun ve grafit tozlarından üretilen bronz yatak malzemeleri iki ana kalite olarak üretilirler. Bu kaliteler de Tablo 6.1'de görüldüğü gibi kendi içinde grafit içeren (A sınıfı) ve grafit içermeyen (B sınıfı) olarak ikiye ayrılır [20].

Tablo 6.1: Bazı Sinter Bronz Yatak Malzemelerinin Kimyasal Bileşimleri

Element	% Bileşim			
	Kalite 1		Kalite 2	
	A Sınıfı	B Sınıfı	A Sınıfı	B Sınıfı
Bakır	87.5-90.5	87.5-90.5	82.6-88.5	82.6-88.5
Kalay	9.5-10.5	9.5-10.5	9.5-10.5	9.5-10.5
Grafit	0.1 max	1.75 max	0.1 max	1.75 max
Kurşun	Diğer Elementlerde	Diğer Elementlerde	2.0-4.0	2.0-4.0
Demir	1.0 max	1.0 max	1.0 max	1.0 max
Diğer Elementler	0.5 max	0.5 max	0.1 max	1.0 max

Her sınıf da yoğunluklarına göre dört ayrı gruba ayrılır. Tablo 6.2'de bronz yatak malzemelerinin yoğunluk aralıklarına göre ayrımı verilmektedir [20].

Tablo 6.2: Sinter Bronz Yatak Malzemelerinin Yoğunlukları

Tip	Yoğunluk g/cm^3	Hacimce minimum yağ içeriği , %
1	5.8-6.2	27
2	6.4-6.8	19
3	6.8-7.2	12
4	7.2-7.6	8

6.1.2 Demir esaslı sinter yatak malzemeleri

Demir esaslı yatak malzemeleri bileşimlerine göre demir-karbon ve demir-bakır alaşımları olarak iki sınıfa ayrılır. Tablo 6.3'te temel demir esaslı sinter yatak malzeme kaliteleri görülmektedir.

Tablo 6.3: Demir Esaslı Sinter Yatak Malzemelerinin Kimyasal Bileşimleri

Element	% Bileşim			
	Kalite 1	Kalite 2	Kalite 3	Kalite 4
Bakır	-	-	7.0-11.0	18.0-22.0
Demir	96.25 min	95.9 min	Bakır ve demir toplamı %97	Bakır ve demir toplamı %97
Diğer Elementler	3.0 max	3.0 max	3.0 max	3.0 max
Demire Bağlı Karbon	0.25	0.25-0.60	-	-
Silisyum	3.0 max	3.0 max	-	-
Aluminyum	0.2 max	0.2 max	-	-

Günümüzde bakır içeren demir esaslı sinter malzemelerin kullanımı düşük maliyet ile üretilebilmeleri ve istenen mukavemet değerlerine sahip olmaları neticesinde oldukça artmıştır. Malzeme içerisinde oluşan metalik ve intermetalik fazlar tribolojik özelliklerin gelişmesine yardımcı olmaktadır. Demir esaslı sinter yatak malzeme kalitelerinin yoğunlukları ve yağ tutma kapasiteleri Tablo 6.4'te belirtilmiştir [20].

Tablo 6.4: Demir Esaslı Sinter Yatak Malzemelerinin Yoğunluk Değerleri

	Yoğunluk, g/cm^3		
Kalite	**min**	**max**	**Hacimce Yağ İçeriği, %**
1 ve 2	5.7	6.1	20
3 ve 4	5.8	6.2	19

6.1.3 Demir-bronz sinter yatak malzemeleri

Bu tipyatak alaşımlarının yoğunlukları 6.0 ile 6.4 g/cm^3 arasında değişmekte olup yağ tutma kapasiteleri %18'in üzerindedir.

Tablo 6.5: Demir-Bronz Sinter Yatak Malzemelerinin Kimyasal Bileşim Aralıkları

Element	**Kompozisyon, %**
Bakır + Kalay (Bakır %89.5-90.5; Kalay %9.5-10.5)	38-44
Toplam karbon	0.5-1.3
Demire bağlı karbon	0.5 max
Demir	53.5-59.5
Diğer elementler	1.25 max

Yaygın olarak kullanılan sinter malzemelerin kimyasal bileşim aralıkları Tablo 6.5'te yer alan değerler arasındadır [20].

7.YÜZEY İŞLEMLERİ

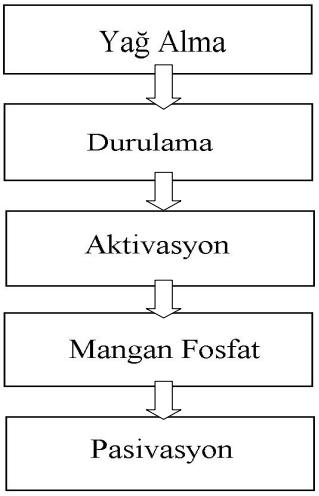
7.1 Biyel İşlemi Mangan Fosfat Kaplama

Mangan fosfat kaplamaların tribolojik özellikleri geliştirici yönde çok önemli iki katkıları mevcuttur. Yağ tutma özellikleri sayesinde sürtünmeyi azaltırlar. İkinci önemli özellikleri ise oluşturdukları yumuşak katmanın basınç altında hafifçe deforme olarak yüzey gerilimini azaltmasıdır. Mangan fosfat kaplamalar aşınma problemi için geçici bir önlemden daha çok ekipman ömrünü arttırıcı etkiye sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı mangan fosfat kaplamalar aşınmaya dirençli kaplamalar kategorisine girmektedir [22].

Kaplama ile elde edilen katman temel olarak hureaulite $(Mn, Fe)_5H_2(PO_4)_2,_4H_2O$'ten meydana gelmektedir. Bunun yanında banyodaki demir miktarına bağlı olarak demir hidroksit ve demir fosfatlar da oluşmaktadır. Yağlı koşullarda en iyi aşınma özellikleri küçük taneli kaplamalardadır [22-24].

Bayno parametreleri kaplama özellikleri üzerinde çok önemli etkiler yapmaktadır. En temel banyo parametreleri, daldırma süresi, banyo konsantrasyonu ve sıcaklık'tır. İstenen özelliklere göre optimizasyon yapılabilir.

Mangan fosfat kaplama işlem kademeleri aşağıdaki gibidir;



Şekil 7.1: Mangan Fosfat Kaplama İşlem Kademeleri

Şekil 7.1'deki işlem kademeleri incelenirse;

Yağ alma banyosu malzeme yüzeyinin temizlenmesi için uygulanan tek işlemdir. Banyo ile metal yüzeyi arasında herhangi bir partikülün kalmaması kaplama kalitesinin arttırılması için önemlidir. Yağ alma banyosunda kullanılan alkalilerden metal yüzeyini ıslatabilme, derinlere nüfuz edebilme, yüzeydeki yağı söküp atabilme, yağı parçalayabilme ve kolayca durulanabilme gibi özellikler beklenmektedir [25].

Aktivasyon banyosu ön fosfatlama olarak kabul edilebilir. İçerdiği mangan, ve sodyum fosfatlar sayesinde yüzeyde metalik tuz tabakası oluşturulur. Aktivasyon banyosunun olmaması durumunda kaplama tane boyutu çok büyük olur ve homojen kaplama yapılamaz. Aktivasyon malzemeleri metal yüzeyindeki katodik çekirdek sayısını artırarak fosfat kalitesini önemli ölçüde etkiler [22-24].

Aktivasyon İşlemi sonucunda ;

- Birim yüzeydeki fosfat kristali sayısında artış,
- Homojen ve ince kristal yapısı,
- Optimum kaplama kalınlığı,
- Optimum reaksiyon süresi sağlanır [25].Fosfat banyosu, fosfatlamanın yapıldığı kademedir. Ortofosforik asit ve mangan fosfat tuzu, katalizörler ve oksidanları içerir. Banyoda ilk gerçekleşen reaksiyon demirin çözünmesidir.

$$Fe + 2H^{+} \rightarrow Fe^{+2} + H_2 \qquad (7.1)$$

Oluşan hidrojen redüklenir. Bu esnada oksidanlar metal yüzeyinde tabaka oluşumunu engellerler. İkinci reaksiyon pH'ın artmasıyla birlikte çözünürlüğü düşük olan fosfat tanelerinin çökelmesidir.

$$5\ Mn^{+2} + 10\ H_2PO^{4-} \rightarrow Mn_5H_2(PO_4)_4 + 6\ H^{+} + 6\ H_2PO^{-4} \qquad (7.2)$$

Banyoda mevcut olan Fe^{+2} iyonları çökelmiş olan fosfat ile birleşir ve hureaulite oluşur [22-24].

Kaplama ile birlikte serbest asit miktarında belirgin bir artış gözlenmektedir.Bu nedenle optimum kaplama kalitesi için banyodaki serbest asitin konsantrasyonunun kontrolü çok önemlidir [25].

Kaplama içindeki fosfat, fosfat banyosundaki pH değişimlerinde çok çabuk olarak çözünür veye çökelir. Bu yüzden fosfat banyosunun pH değerinin kontrolü çok önemlidir [22-24]

Kaplama yapılan bütün numuneler ön işlem olarak buhar işlemine tabi tutulmuşlardır. Buhar işlemi, sinter malzemelerin tribolojik özelliklerini geliştiren bir işlem kademesidir. 450 – 600 °C sıcaklıkta ve atmosfer basıncının biraz üzerindeki basınç değerlerinde malzeme yüzeyine buhar verilir. Aşağıdaki formül buhar işlemi reaksiyonunu göstermektedir.

$$3Fe + 4H_2O \rightarrow Fe_3O_4 + 4H_2 \qquad (7.3.)$$

Yüzeyde oluşan oksit filmi yüzey sertliğini, aşınma ve korozyon direncini arttırır. Ancak sistemdeki oksijen ve su buharı basınç ve sıcaklıklarının dikkatli kontrolü gereklidir. Basınç ve sıcaklık değerlerindeki farklılaşmaya bağlı olarak yüzeyde magnetit dışında oksit filmleri oluşabilir. İdeal bir buhar işleminde yüzeyde yapışma özellikleri iyi ve yoğun tabakaya sahip magnetit oluşturulmalıdır [26-27].

Buhar işlemi ayrıca mangan fosfat kaplama kalitesini arttırmaktadır. Bu özelliği gözönünde bulundurularak aşınma deneylerinde kullanılan tüm kaplamalı halkalar ön işlem olarak buhar işlemine sokulmuştur.

7.2 Perno İşlemi, Gaz Nitrürleme

Nitrürleme işlemi 500-590˚C aralığında yapılan termokimyasal bir işlemdir. Demir esaslı malzemelerin sertleştirilmesi için kullanılır. Malzemeye dışarıdan azot emdirilir. Yüzeyde en sert tabaka bulunur ve merkeze doğru sertlik azalır. Uygulanacak malzemelerdeAl, Cr, Mo, V gibi nitrür yapıcı elementlerin bulunması yüzey sertliğinin yüksek değerlere ulaşmasına yardımcı olacaktır. Nitrürleme, malzemelerin aşınma direncini arttırır. Nitrürleme sonrası dışta beyaz tabaka adı verilen sert nitrür tabakası bulunur. Bunun altında azotun malzeme içerisine difüzyonu neticesinde oluşan difüzyon tabakası bulunur [28].

8.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

8.1 Deney Numuneleri ve Deney Numunelerinin Hazırlanması

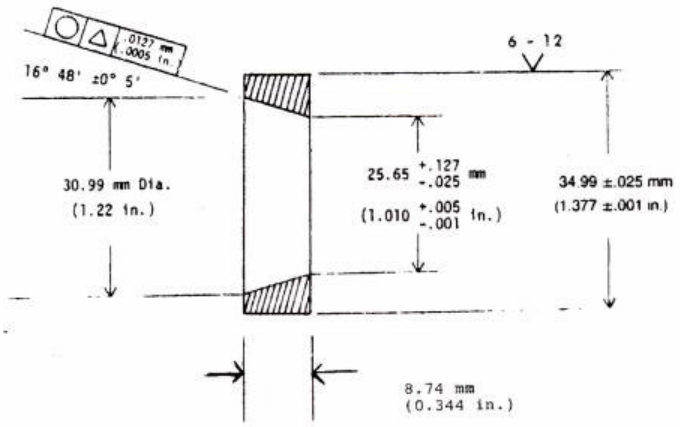
Deneylerde kullanılacak halka numuneleri Toz Metal A.Ş'de hazırlanmıştır. 4 ana bileşimde malzeme toz metal üretim prosesi ile üretilmiştir. 1, 3 ve 4 no'lu halkalar mangan fosfat kaplama çalışmalarında kullanılmıştır. R600a ortamında aşınma deneylerinde kullanılan halkalar ise 1 ve 2 no'lu halkalardır. Bütün numunelerden belirli bir miktar alınıp ikincil bir işlem olan buhar işlemine sokulmuştur.

Halka numuneleri nihai şekillerine NURSAN A.Ş'de CNC tezgahında getirilmiştir. Yüzey parlatma işlemi de bu firmada yapılmıştır. Buhar işlenmiş halkaların bir bölümü Arçelik A.Ş. ARGE laboratuarında bir bölümü ise Arçelik A.Ş. Eskişehir Kompresör işletmesinde Mangan Fosfat kaplanmıştır.

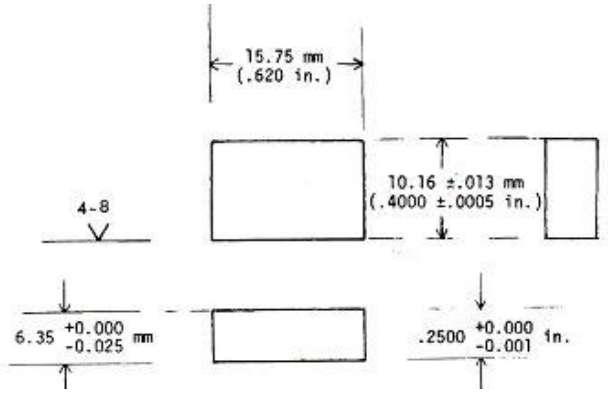
DIN 100CrMn6 ve SAE 8620 kalitelerinde iki farklı blok malzemesi üzerinde çalışılmıştır. 100CrMn6 blok numuneleri ASSAB KORKMAZ ÇELİK A.Ş. firmasından temin edilen 20 mm'lik dairesel kesitli çubuklardan çıkartılmıştır. İlk olarak çelik çubuklar Arçelik A.Ş Çamaşır Makinesi İşletmesi kalıphanesinde CNC tezgahında dikdörtgen kesitli hale getirilmiş, daha sonra tel erozyon ile 0.5mm pay bırakılarak son şekillerine getirilmişlerdir. Yüzey taşlama işlemi yine aynı kalıphanede yapılmıştır. Bloklar Bimed A.Ş. 'de ısıl işlem görmüşlerdir.

SAE 8620 blok numuneleri Huzur Çelik A.Ş.'den temin edilen 30mm kesitli çubuklardan Arçelik A.Ş Çamaşır Makinesi İşletmesi kalıphanesinde, 100CrMn6 bloklar ile aynı şekilde hazırlanmıştır. 8620 kalite blokların bir bölümü Nil Isıl İşlem A.Ş'de ısıl işleme tabi tutulmuş bir bölümü ise ASSAB KORKMAZ ÇELİK A.Ş.'de nitrürlenmiştir. Şekil 8.1'de halka, Şekil 8.2'de blok numunesinin teknik resmi görülmektedir.

Tüm halka ve blok malzemelerinin kimyasal bileşim ve sertlik değerleri "8.4 R600a Ortamında Aşınma Sürtünme Deneyleri" bölümünde verilmiştir.



Şekil 8.1: Falex Block on Ring halka numunesi teknik resmi



Şekil 8.2: Falex Block on Ring blok numunesi teknik resmi

8.2 Numunelerin Karakterizasyonu

Deneylerde kullanılacak tüm malzemelerin bileşim, sertlik ve yüzey pürüzlüğü gibi değerlerinin karakterizasyonu yapılmıştır.

8.2.1 Kimyasal Bileşimlerin Belirlenmesi

Halka numunelerinin karbon ve kükürt değerleri "LECO karbon, kükürt" cihazında ölçülmüştür. Diğer elementlerin tayini için kimyasal analizler "Jeol JSM-6440" taramalı elektron mikroskobunda yapılmıştır. Blok numunelerinin kimyasal analizleri ASSAB KORKMAZ ÇELİK A.Ş. firmasında yapılmıştır.

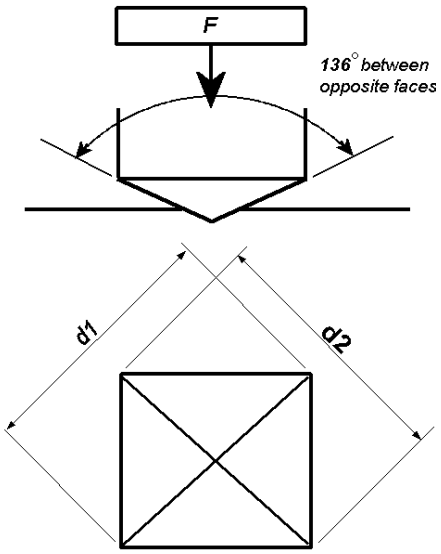
8.2.2 Sertlik Ölçümleri

Halka Serlikleri Shimatzu DXT cihazında, 1/16 inç bilya ve 60 N yük uygulanarak Rockwell F skalasında ölçülmüştür. Blok sertliklerinin ölçümünde ise Shimadzu dinamik ultra mikrosertlik cihazından yararlanılmıştır (Şekil 8.3.).



Şekil 8.3: Shimadzu dinamik ultra mikrosertlik cihazı

10 saniye süre ile 20g yük uygulanarak basılan sertlik izleri d_1 ve d_2 (Şekil 8.4.), "Jeol JSM-6440" taramalı elektron mikroskobunda (Şekil 8.5.) ölçülmüş ve formül 8.1 ile Vickers sertlik değerleri belirlenmiştir.



Şekil 8.4: Vickers sertlik izi şematik gösterimi

F= Yük (kgf)

d = d_1 ve d_2 diyagonallerinin aritmetik ortalaması (mm)

HV = Vickers hardness

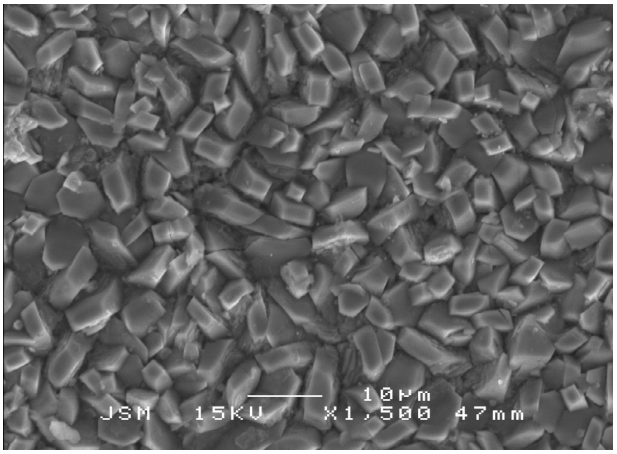
$$HV = 1.854F / d^2 \quad (8.1)$$



Şekil 8.5: Jeol JSM-6440 taramalı elektron mikroskobu

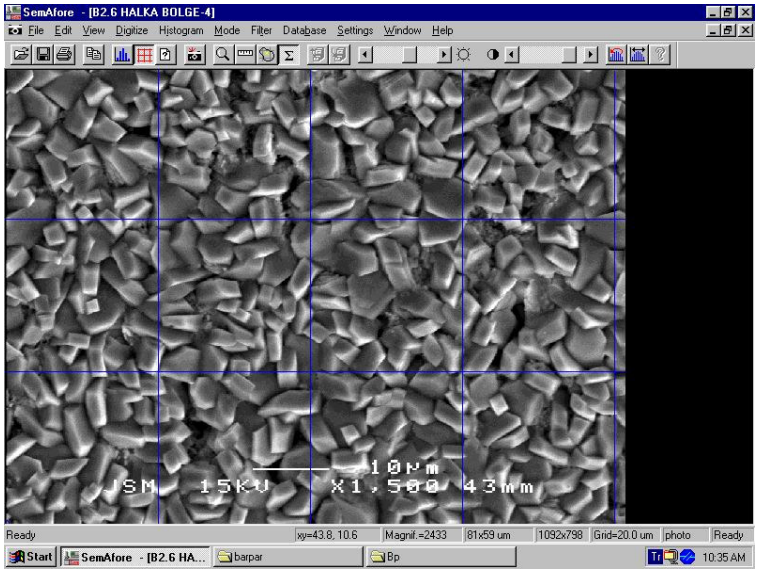
8.2.3 Mangan Fosfat Kaplama Tane Boyutunun belirlenmesi

Kaplanmış numunelerin "Jeol JSM-6440" taramalı elektron mikroskobunda 1500X büyütmede fotoğrafları çekilmiştir (Şekil 8.6.).



Şekil 8.6: Mangan fosfat kaplama kristal yapısı

Daha sonra bu fotoğraflar "SemAfore" programına aktarılmış ve bu programda 400µm^2 lik kareler çizilerek, numune üzerinde seçilen üç ayrı bölümde, kare içerisinde kalan tane miktarı sayılmıştır (Şekil 8.7.). Toplam alan tane sayısına bölünüp ortalama tane boyutu çıkarılmıştır.



Şekil 8.7: Kaplama tane boyutu hesaplamasında kullanılan birim alanın gösterimi

8.3 Yapılan Deneyler

Bu yüksek lisans tez çalışmasında deneyler, kaplama parametrelerinin mangan fosfat kaplama tane boyutu üzerine etkilerinin incelenmesi ve R600a soğutkan ortamında aşınma sürtünme deneyleri olmak üzere iki ana başlık altında toplanmaktadır.

8.3.1 Kaplama Parametrelerinin Mangan Fosfat Kaplama Tane Boyutu Üzerine Etkilerinin İncelenmesi

Mangan fosfat kaplamaların tane boyut ve dağılımının malzemelerin sürtünme ve aşınma özellikleri üzerine etkili olduğu bilinmektedir. Bu bilgiden yola çıkılarak farklı banyo parametrelerinin kaplama özelliklerine etkisini görebilmek amacıyla bir deney tasarımı yapılmış ve faktör olarak mangan fosfat banyosu toplam asit değeri, serbest asit değeri, Fe^{+2} konsantrasyonu ve aktivasyon banyosu sıcaklığı alınmış, alt ve üst sınır değerler belirlenmiştir. İstenen koşullarda hazırlanan farklı bileşimlere sahip banyolarda, seçilen malzeme tipleri kaplanmış, bu banyolardan elde edilen kaplamaların kristal boyutu ölçümleri yapılarak banyo parametrelerinin etkileri MINITAB istatistik programı ile değerlendirilmiştir.

8.3.1.1 Laboratuar Ölçekli Kaplama Düzeneği

Bütün banyolar beşer litrelik beherlerde hazırlanarak küçük ölçekli bir kaplama sistemi kurulmuştur. Şekil 8.8.'de görülen düzenek sırası ile yağ alma (1), durulama

(2), aktivasyon (3), mangan fosfat (4), durulama (5) ve pasivasyon (6) banyolarından oluşmaktadır. Her yeni banyo koşulu için temiz banyo hazırlanmıştır. İlk koşullar ölçüldükten sonra banyolara gerekli müdahaleler yapılmıştır.



Şekil 8.8: Laboratuar ölçekli kaplama düzeneği

Tüm deneylerde yağ alma banyosu 65°C ve daldırma süresi 20 dakikadır. Banyo Kontrolü şu şekilde yapılır:

- Banyo çözeltisinden 10 ml pipet ile Erlen'e alınır.
- Üzerine 50 ml saf su ve 4 –5 damla fenolftalein indikatörü konur.
- Çözelti, 1,0 N H_2SO_4 ile pembe renge gelene kadar titre edilir.
- H_2SO_4 sarfiyatı serbest alkalite noktasını verir. Olması gereken değer, 10 lt'de 4,0 ± 0,2'dir.
- Her eksik alkali noktası için 5 lt'lik banyoya 12,5 gr (8,1 ml) Gardoclean S 5189 ve 1,25 gr Gardobond ADD H7425 eklenir.

Durulama işlemi 1 dakika süre ile soğuk saf suda yapılır.

Aktivasyon banyosu harızlanışı aşağıdaki gibidir.

- Oda sıcaklığında 240 ml suda 15 gr Gardolene V 6561 B çözündürülür. Çözelti sürekli karıştırılarak banyo tankına dökülür.

- 40˚C'de 4760 ml suda 15 gr Gardolene V 6560 A çözündürülür ve çökmemesi için sürekli karıştırılır.

Banyoda kontrol edilen en önemli parametre pH değeridir. pH 8,5 – 9,5 arasında olmalıdır.

Mangan fosfat banyosu şu şekilde hazırlanır.

- 4,5 lt suya 390 ml Gardobond 4004 A eklenir.
- 20 ml suda çözülmüş 2 ml Gardobond ADD H 7030 önceki çözeltiye eklenir ve çözelti suyla 5 lt'ye tamamlanır.

Kaplama kalitesi üzerinde çok önemli etkileri bulunan toplam asit değerinin hesaplanması için banyo çözeltisinden pipet ile 10 ml Erlen'e alınır. Çözelti, 100 ml saf suda seyreltilir ve 10 – 15 damla fenolftalein eklenir. 0,1 M'lik NaOH ile renk kırmızıya dönene kadar titre edilir. NaOH sarfiyatı toplam asit miktarını verir.
Serbest asit tayini için yine banyo çözeltisinden pipet ile 10 ml Erlen'e alınır. Bu çözelti 100 ml saf su ile seyreltilir ve içine 1 damla dimetil sarısı eklenir. 0,1 M NaOH ile renk sarıya dönene kadar titre edilir. Harcanan NaOH miktarı serbest asit derecesini verir. Bu değer 2,5 ile çarpılarak serbest asit değeri bulunur.
Deneylerde istenen sertbest ve toplam asit değerlerinin yakalanabilmesi için banyolara gerekli müdahalelerde bulunulmuştur. Örneğin serbest asit miktarında 1 derecelik azalma görebilmek için 5 lt'lik fosfat banyosuna 30 gr suda seyreltilmiş, 3 gr Gardobond ADD H 7203 eklenir.

Demir miktarı tayini için banyo çözeltisinden 100 ml alınır. Çözeltiye 5 ml 50 %'lik sülfirik asit ve 2 gr üre eklenir. Son çözelti 0,02 M potasyum permanganat ile renk donuk kırmızıya dönene kadar titre edilir. Harcanan $KMnO_4$ miktar, demir miktarını verir. Harcanan $KMnO_4$, maksimum değeri aştığında banyoya; 50 ml suda seyreltilmiş, 5 ml Gardobond ADD H 7030 eklenerek demir çöktürülür.

Pasivasyon banyosunda %0,16 Gardolene D 6800 bulunmaktadır. Banyo kontrolü için 100 ml numune alınır. 3 – 5 damla fenolftalein indikatörü damlatılır. 0,1 N NaOH ile yapılan titrasyon sonunda hedeflenen renk pembedir. Bu renk oluşuncaya kadar geçen sürede harcanan NaOH çalışma noktasını belirtir. Çalışma noktası 8,2 ± 1 olmalıdır. Çalışma noktasını bir derece yükseltmek için 5 lt'lik banyoya 1 g Gardolene D 6800 ilave edilir. Dikkat edilmesi gereken diğer bir parametre olan pH değerini 0,1 yükseltmek için 0,2 g Gardolene D 6800 M ilave edilir.

8.3.1.2 Mangan Fosfat Kaplama Deney Tasarımı

Yapılan tasarımda kaplama özelliklerine etki eden belirli banyo parametreleri faktör alınarak 2 seviyeli, 1 orta noktalı yarım faktöriyel tasarım yapılmıştır.

Değişken olarak seçilen banyo faktörleri ve seviyeleri aşağıdaki gibidir:

Faktörler:

Mn fosfat banyosu Serbest Asit değeri: 12 ve 16

Mn fosfat banyosu Toplam Asit değeri: 36 ve 42

Mn fosfat banyosu Fe^{+2} konsantrasyonu: 0.015 ve 0,015 g/l

Aktivasyon banyosu sıcaklığı: 20 ve 40°C

Taban malzeme etkisinin de gözlenmesi amacıyla 4 faklı malzeme blok olarak seçilmiştir.

Bloklar:

Blok1: Dökme demir (Kompresör Krankı)

Blok2: 3 nolu sinter malzeme

Blok3: 1 nolu sinter malzeme

Blok4: 4 nolu sinter malzeme

Deney tasarımı ile ortaya çıkan deney tablosu Tablo 8.1'de verilmiştir. Deney tablosundaki 12 adet Mn fosfat kaplama banyosu taze olarak hazırlanmış ve kaplama yapılmıştır. Ancak deneyler sırasında Fe^{+2} konsantrasyonu ölçülememiştir. Bunun sebebi kullanılan CN_4'ün demiri kendine bağlaması ve banyodaki Fe^{+2} konsantrasyonunu ölçülebilir limitlerin altındaki değerlere düşürmesidir. Bu sebeple Fe^{+2} konsantrasyonu deney tasarımında incelenecek parametreler arasından çıkarılmıştır. Bütün deneylerde 20 dakikalık süre ile paslı demir plaka çözündürülmüş ve banyo demir konsantrasyonları birbirine yakın kabul edilmiştir.

Her bir deney seti için 2'şer adet olmak üzere toplam 8 numune kaplanmıştır. Daha sonra SEM'de kaplama kristal yapısı ve boyutu belirlenmiştir. Tablo 8.2 deneylerde ölçülen banyo değerlerini ve bekleme sürelerini göstermektedir.

Tablo 8.1: Deney Tasarımı

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	SA	TA	Fe+2 kons	Aktivas. Sýc.
1	1	1	Dökme demir	16	36	0,02	35
2	2	1	Dökme demir	12	42	0,15	25
3	3	0	Dökme demir	14	39	0,075	30
4	4	1	1 No'lu Malzeme	16	42	0,02	25
5	5	1	1 No'lu Malzeme	12	36	0,15	35
6	6	0	1 No'lu Malzeme	14	39	0,075	30
7	7	1	4 No'lu Malzeme	12	42	0,02	35
8	8	1	4 No'lu Malzeme	16	36	0,15	25
9	9	0	4 No'lu Malzeme	14	39	0,075	30
10	10	1	2 No'lu Malzeme	12	36	0,02	25
11	11	1	2 No'lu Malzeme	16	42	0,15	35
12	12	0	2 No'lu Malzeme	14	39	0,075	30

Tablo 8.2: Gerçekleşen Deney Şartları

Banyolar	Parametreler	Deney 1	Deney 2	Deney 3	Deney 4	Deney 5	Deney 6	Deney 7	Deney 8	Deney 9	Deney 10	Deney 11	Deney 12
Mangan Fosfat Banyosu	Sıcaklık, °C	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
	Toplam Asit	36.3	42.1	39.3	42.1	36.1	39.7	42.4	36.8	39.2	36.1	42.3	39.1
	Serbest Asit	16	12.25	13.9	16	12.3	14.75	12.1	16	14	12	16.5	14
	CN4 kons.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Fe^{2+} kons.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Süre, dk	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Yağ Alma	Sıcaklık, °C	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
	Süre, dk	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Aktivs. Banyosu	Sıcaklık, °C	35	25	30	25	35	30	35	25	30	25	35	30
	pH	8.6	8.8	8.8	8.9	9.1	8.9	8.8	8.7	9.2	8.9	9	8.9
	Süre, sn	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Pasivs. Banyosu	Sıcaklık, °C	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
	pH												
	Süre, sn	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

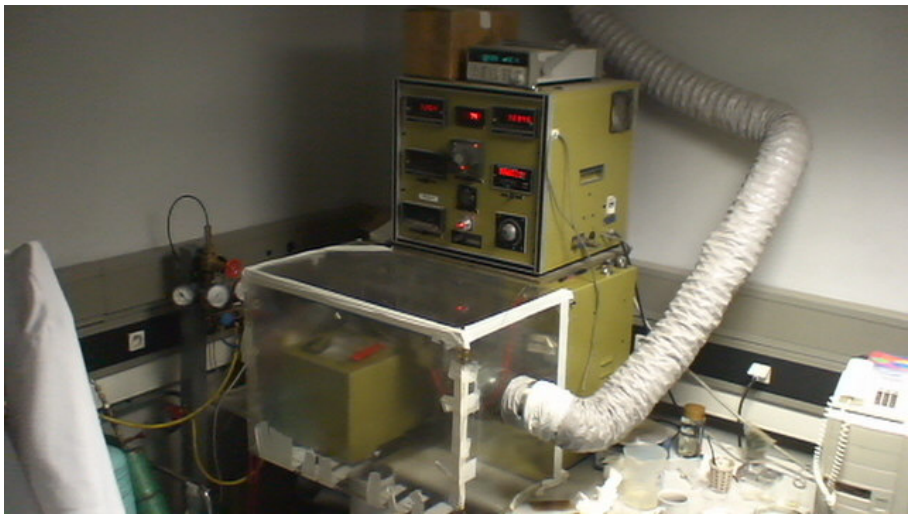
8.3.2 R600a Soğutkan Ortamında Aşınma ve Sürtünme Deneyleri

Literatür araştırması neticesinde kompresör yatak malzemesi olarak kullanılabilecek alternatif malzeme ve bu malzemelere uygulanabilecek bazı yüzey işlemleri belirlenmiş ve bu malzeme çiftleri Falex Block on Ring cihazında teste tabi tutulmuştur. Bu bölümde aşınma sürtünme test düzeneği, kullanılan malzeme seçenekleri, uygulanan yüzey işlemleri ve daha sonra da yapılan deney tasarımı açıklanacaktır.

8.3.2.1 Falex block on ring aşınma test cihazı

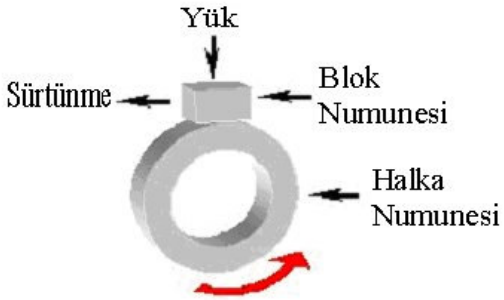
Falex B.O.R. cihazının en önemli özelliği çok esnek olmasıdır. Bu yüzden denenebilecek matematiksel kombinasyonlar sınırsızdır. Buna ek olarak testler, çalışma şartlarını simüle etmek üzere çeşitli yağlar, akışkanlar ve farklı atmosferlerde yapılabilir. Dönüş hızı ve yük değerleri de değiştirilebilir.

Aşınma test sonuçları milimetreküp cinsinden hem blok hem de halka için hesaplanabilmektedir. Aşınma direnci yüksek olan malzemeler daha düşük oranlarda hacimsel kayba uğrayacaklardır [29]. Şekil 8.9'da B.O.R cihazının genel görünümü verilmiştir.



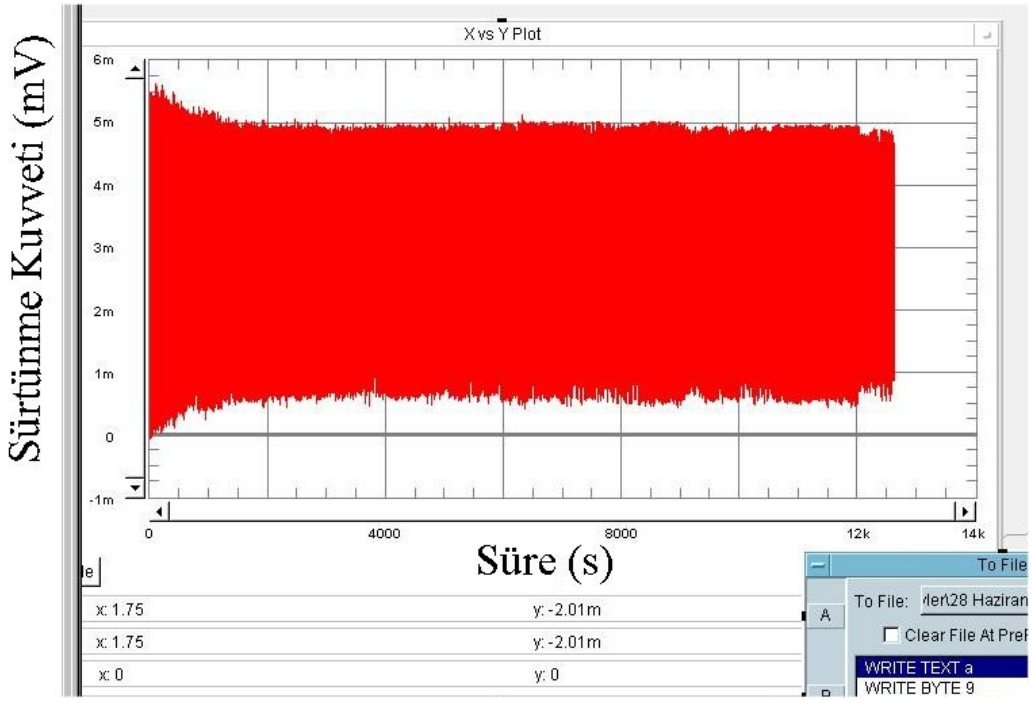
Şekil 8.9: Falex Block on Ring Aşınma ve Sürtünme Test Cihazı

Test bloğu test halkasının üzerine yerleştirilir. Yukarıdan kuvvet uygulanırken halka numunesi belirlenen süre boyunca dönme hareketi yapar. Dönme hareketi tam dairesel veya sarkaç hareketi olabilir. Şekil 8.10'da B.O.R numunelerinin temas şekli görülmektedir.

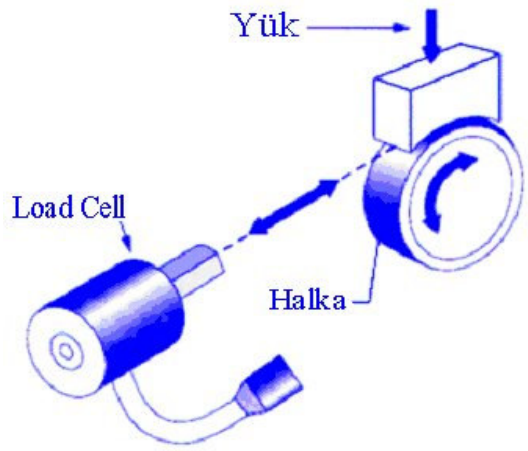


Şekil 8.10: Block on Ring Deney Numuneleri Temas Şekli Ve Hareket Yönü

Sisteme bağlı "load cell" ile deney süresince yüzeyde hareket yönüne ters yönde oluşan tek eksenli sürtünme kuvveti değerleri bilgisayara mV cinsinden aktarılmaktadır (Şekil 8.11). Şekil 8.12'de load cell bağlantısı şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 8.11: "HP Vee" sürtünme kuvveti – zaman grafiği



Şekil 8.12: Falex Blok on Ring load cell bağlantısı

Düzenek kalibre edilmiş ve her mV değerine karşılık gelen kuvvetler hesaplanmıştır. mV değerleri kalibrasyon doğrultusunda Newton'a çevrilir ve sürtünme kuvveti-süre grafiği çizdirilir. Daha sonra bir filtreleme işlemi yapılır. Bu filtreleme ile her saniye içinde toplanan verilerin en yüksek değeri alınır daha düşük olan değerler silinir. Daha sonra sürtünme kuvveti değerlerinden faydalanılarak sürtünme katsayısı-süre grafiği çizdirilir. Bu grafik kullanılarak istenilen bir zaman aralığında sürtünme katsayısı değerleri görülebilmektedir. Deney sonuç tablolarına koyulan sürtünme katsayısı değerleri 6000. saniyeden sonraki sürtünme katsayılarının ortalamasıdır.

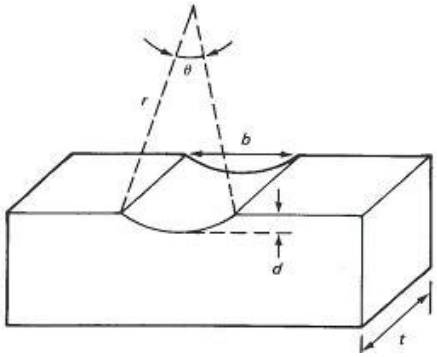


Şekil 8.13: B.O.R. Kontrol Paneli

Şekil 8.13'te B.O.R. control paneli görülmektedir. 1 no'lu gösterge sıcaklık göstergesidir. Deney süresince sıcaklık değerleri bu göstergeden takip edilir. 2 no'lu gösterge devir göstergesidir. 3 no'lu düğme vasıtasıyla ısıtıcı ayarlanır. 4 no'lu düğme ile devir ayarı yapılır. 5 no'lu düğme açma kapama düğmesidir.

8.3.2.2 Aşınma Hacmi Ölçümleri

Deney sonrası kaydedilen en önemli veriler halka ve blok aşınma hacimlerinin ölçümüdür. Blok aşınma hacimleri ASTM G77–97 "Standart Method for Ranking Resistance of Materials to Sliding Wear Using Block on Ring Wear Test" standartına uygun olarak hesaplanmıştır. Bu standarda göre şekil 8.14'te görünen blok ve halka ölçüleri biliniyorsa blok aşınma hacmi aşağıdaki formül ile hesaplanabilir.



Şekil 8.14: Blok aşınma izi şematik gösterimi

t : Blok genişliği, mm

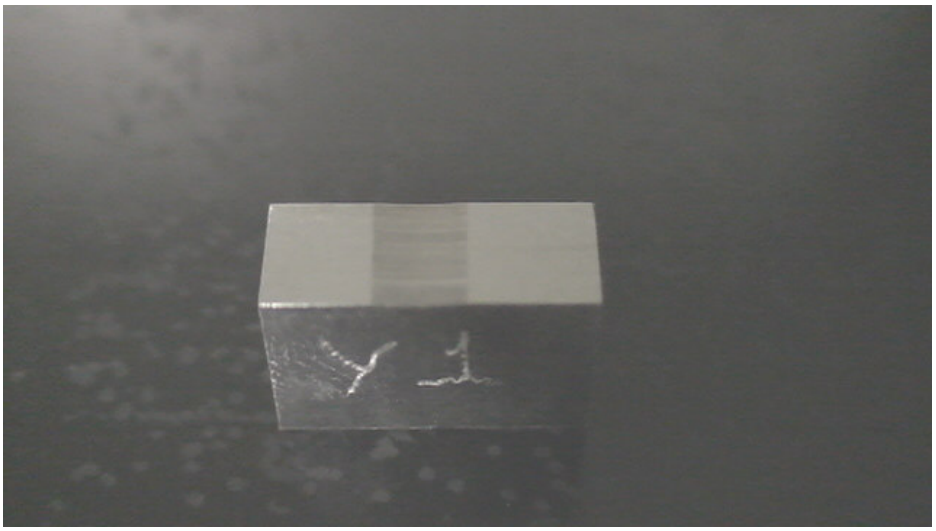
b : Ortalama aşınma iz genişliği, mm

d : Blok aşınma izi derinliği, mm.

D : Halka çapı, mm olmak üzere;

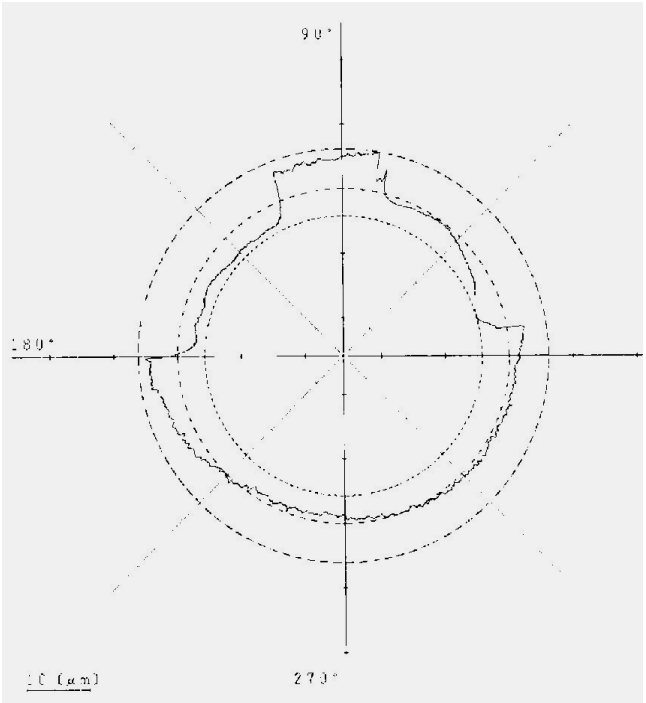
$$\textbf{Blok Aşınma Hacmi} = \frac{D^2 t}{8}\left[2\sin^{-1}\frac{b}{D} - \sin\left(2\sin^{-1}\frac{b}{D}\right)\right] \qquad (8.1)$$

Şekil 8.15'te gerçek test numunesinin aşınma izi görülmektedir. Optik mikroskopta 1.5 büyütmede çekilen bu görüntü bilgisayara aktarılır. Bilgisayardaki yazılım ile aşınma hattı boyunca b uzunlukları ölçülür. Bu ölçümlerin ortalaması alınır. Standart gereğince %10'dan fazla oranda koniklik içeren izler bozuk iz olarak kabul edilir ve test tekrar edilir.



Şekil 8.15: Blok aşınma izi gerçek görüntüsü

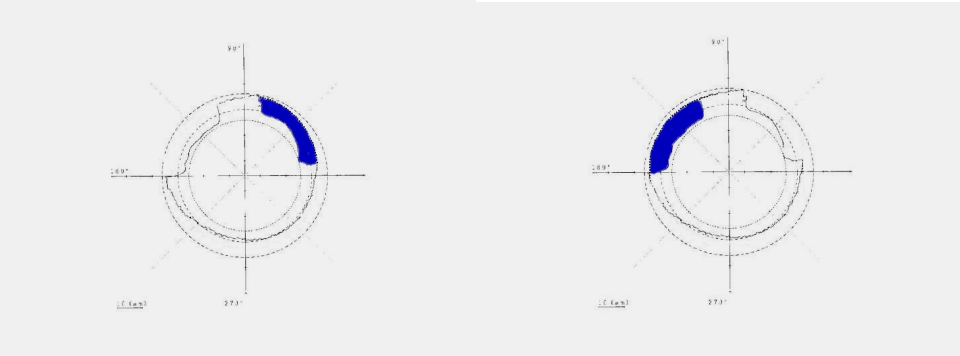
Halka aşınma hacmi ölçümü için ise dairesellik test cihazından yararlanılmıştır. Aşınma izine sahip halka numunesi dış yüzeyinden iz olmayan noktadan başlanarak farklı 5 noktadan 1mm aralıkla dairesellik ölçümü yapılır. Şekil 8.16'da alınan bir



Şekil 8.16: Halka dairesellik ölçümü çıktısı

dairesellik ölçümü görülmektedir. Profilde açıkça görülen aşınma alanı SEMAFORE programında hesaplanır. Farklı 5 ölçümün ortalaması alındıktan sonra bu alan daha önce seçilmiş olan katsayı ile çarpılır halka aşınma hacmi elde edilir. Şekil 8.17'de

aynı halka üzerinde yapılan iki farklı deneyin aşınma izleri boyalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 8.17: Dairesellik ölçümü yapılmış halkada aşınma iz bölgeleri

8.3.2.3 Halka Test Numuneleri

Aşınma test düzeneğinde kompresör biyelini temsil eden parça halkadır. Deneylerde kullanılmak üzere hazırlatılan farklı bileşimlerde 5 adet halka mevcuttur. Tablo 8.3'te hazırlanan halkaların Ar-Ge'de belirlenen kimyasal bileşimleri, sinterleme sonrası ve buhar işlemi sonrası sertlik değerleri görülmektedir. Tüm numunelerin yoğunlukları birbirine çok yakındır ancak 4 no'lu halkaların yoğunlukları bir miktar daha düşüktür.

Karbon oranının artması ile sertliklerin artması beklenmektedir. Seçilen karbon bileşim aralığında bu değişim gözlenememektedir. Sertlikler karbondan bağımsız olarak değişim göstermektedir. R600a ortamında yapılan deney tasarımında sadece 1 ve 2 no'lu halkalar kullanılmıştır. Bunun nedeni alternatif malzemeler ile yapılan ön çalışmalarda çok yüksek aşınmalar görülmesidir.

Tablo 8.3: Halka Numunelerinin Kimyasal Bileşimleri

Numune kodu	Sertlik (HRF)		Kimyasal bileşim (% ağ)					
	Sinterli	Buhar işlenmiş	C	S	Cu	Si	Mn	Fe
1	76	104	0.29	0.0043	2.44	0.21	0.54	96.51
2	78	96	0.42	0.0062		0.1		99.54
3	73	98	0.36	0.0056		0.11	0.69	98.79
4	61	101	0.56	0.0036		0.25		99.19
5	71	104	0.55	0.0059		0.13		99.32

8.3.2.4 Blok Test Numuneleri

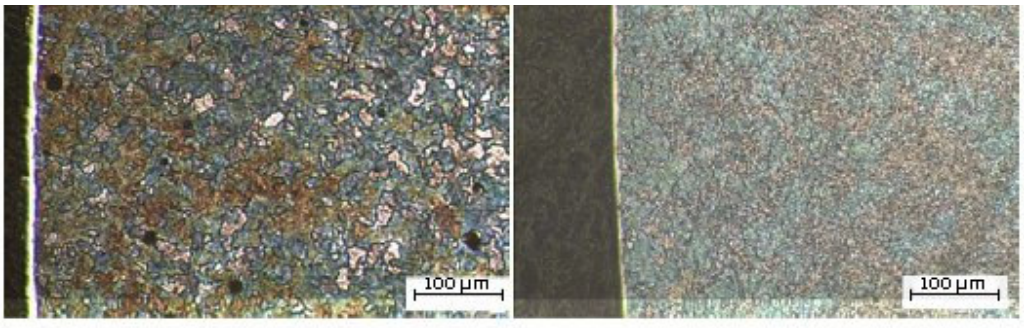
Deneylerde pernoyu temsil etmek için 100CrMn6 ve 8620 olmak üzere iki farklı çelik kalitesi seçilmiştir. 100CrMn6 çelik tipine su verme işlemi uygulanmıştır. 8620 kalitesi iki farklı gruba ayrılmış bir bölümüne su verme işlemi uygulanmış diğer bölümüne ise gaz nitrürleme yapılmıştır. Tablo 8.4'te her iki çelik kalitesinin standart bileşimleri ve deneylerde kullanılmak üzere hazırlanan numunelerinin kimyasal bileşimleri verilmiştir.

Tablo 8.4: Blok Numunelerinin Kimyasal Bileşimleri

Malzeme	Tipi	%C	%S	%Si	%Mn	%Cr	% Ni	% Mo
DIN 100CrMn6		0,98-1.110	0,025 maks	0,15-0,35	0,25-0,45	1,30-1,60	0,25 maks	-
Temin Edilen DIN 100CrMn6 Blok Malzemesi	çubuk	0,99	0,0038	0,36	1,1	1,47	-	-
SAE 8620		0,18-0,23	0,040 maks	0,15-0,35	0,40-0,90	0,4-0,6	0,4-0,7	0,15-0,25
Temin Edilen SAE 8620 Blok Malzemesi	çubuk	0,20	0,0060	0,20	0,83	0,64	0.48	0.17

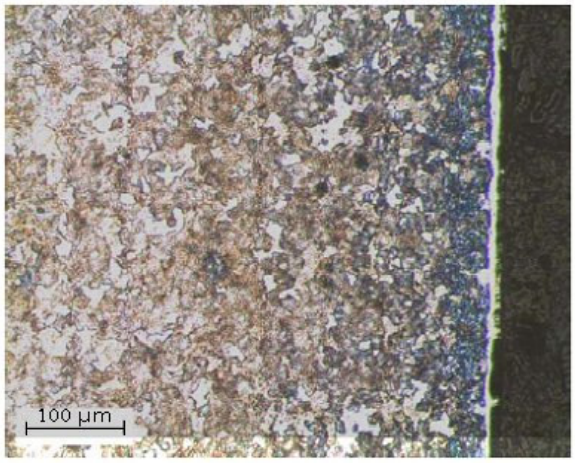
Su verme işlemi sonrasında 100CrMn6 blok sertlikleri yaklaşık 1200HV değerine gelmiştir. Su verilmiş 8620 kalitesinin yüzey sertliği yaklaşık 1000HV nitrürlü olanların yüzey sertlikleri yaklaşık olarak 900HV'dir. Deneylerde kullanılan blokların yüzey sertlikleri deney sonuç tablosunda verilmiştir.

Nitrürlü bloklardaki beyaz tabaka kalınlığı taşlama öncesinde 9-10µm'dir. Taşlamadan sonra kalınlıkta 5 mikrona kadar düşüş gözlenmiştir. Şekil 8.18'de blok numunelerinin taşlama öncesi ve sonrası mikroyapı görüntülerinde beyaz tabaka kalınlığının değişimi rahatça görülmektedir.



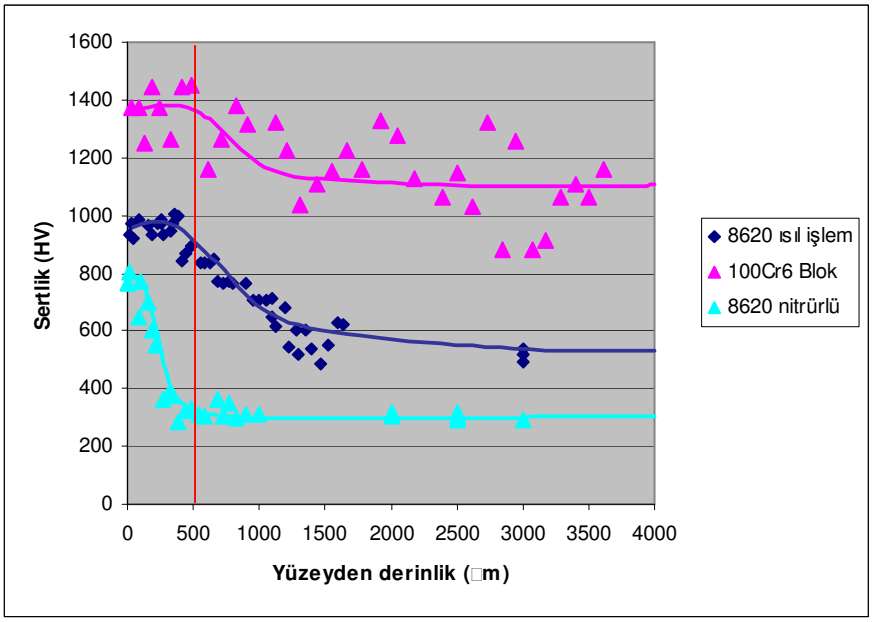
Şekil 8.18: Blok numunelesinin taşlama öncesi (a) ve sonrası (b) nitrür tabakaları

Şekil 8.19'da beyaz tabaka ve nitrür yayınma tabakası daha yakından gözlenebilmektedir. En dış kısımda bulunan tabaka beyaz tabakadır. Malzeme yüzeyinden merkeze doğru belli bir kalınlığa kadar nitrür difüzyonu ile oluşan yayınma tabakası bulunmaktadır. Bu oluşum yüzeyden merkeze gidildikçe sertliğin azalmasına sebep olmaktadır.



Şekil 8.19: Nitrür Mikroyapısı

Kullanılan blokların genel sertlik dağılımları şekil 8.20'de verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi 100CrMn6 bloklarda yüzey ve merkez arası sertlik farkı diğer bloklara oranla daha azdır.



Şekil 8.20: Blok tiplerinin yüzeyden merkeze mikro sertlik dağılımları

8.3.2.5 R600a – Mineral Yağ Ortamında Aşınma Sürtünme Deney Tasarımı

R600a soğutkan ortamında farklı malzeme ve yüzey işlemlerinin aşınma sürtünme özelliklerine etkilerinin incelenmesi için bir deney tasarımı yapılmıştır. Tablo 8.6'da incelenecek faktörler verilmiştir.

Tablo 8.5: Aşınma ve Sürtünme Deney Tasarımı

Faktör	Faktör seviye sayısı	Faktör seviyeleri
Blok malzemesi ve işlemi	3	Mevcut 100CrMn6, Isıl işlemli 8620 ve Nitrürlü 8620
Biyel işlemi	2	İşlemsiz ve Bİ+Mn Fosfat
Biyel malzemesi	2	% 0.45C ve % 0.3C+%2Cu

Blok malzemesi olarak 100CrMn6 ve 8620 kalite çelikler, halka malzemesi olarak da 4 ve 5 numaraları ile kodlanan malzemeler kullanılmıştır. 100CrMn6 bloklara su verme yapılmış, 8620 blokların yarısına su verme işlemi diğer yarısına da nitrürleme işlemi yapılmıştır. Halkalar ise iki farklı gruba ayrılmış bir bölümü önce buhar işlemine (Bİ) tabi tutulduktan sonra mangan fosfat kaplanmış diğer kısmına ise herhangi bir yüzey işlemi uygulanmamıştır.

Tablo 8.6: Deneye Tabi Tutulacak Malzeme Çiftleri

Halka İşlemi	Halka_Malzemesi	Blok işlemi
İşlemsiz	%0.3C+%2Cu (1)	100CrMn6
İşlemsiz	%0.3C+%2Cu	8620
İşlemsiz	%0.3C+%2Cu	8620 nitrürlü
Bİ+MnF	%0.3C+%2Cu	100CrMn6
Bİ+MnF	%0.3C+%2Cu	8620
Bİ+MnF	%0.3C+%2Cu	8620 nitrürlü
İşlemsiz	%0.45C (2)	100CrMn6
İşlemsiz	%0.45C	8620
İşlemsiz	%0.45C	8620 nitrürlü
Bİ+MnF	%0.45C	100CrMn6
Bİ+MnF	%0.45C	8620
Bİ+MnF	%0.45C	8620 nitrürlü

Tasarımda 24 adet deney ile etkilerin incelenebileceği sonucuna ulaşılmıştır. 12 adet karşılıklı malzeme çifti ile 2 tekrar yapılacak şekilde bir deney planı çıkarılmıştır. Tablo 8.7'de karşılıklı olarak deneylerde kullanılacak malzemeler görülmektedir.

Bütün deneyler "Falex Block on Ring" cihazında sıcaklık, süre, kayma hızı, yük, verilen gaz miktarı, yağ miktarı gibi deney parametreleri sabit tutularak yapılmıştır.

Tablo 8.7: Deney Parametreleri

Deney Parametreleri	
Yük (N)	350
Temas basıncı (MPa)	277
Hız (rpm)	100
Frekans (Hz)	1,6
Süre (dk.)	210
Sarkaç harekeri açısı	60
Yağlama koşulu	Yarı daldırma
Sıcaklık °C	75 ±1

Tablo 8.7'de deney parametreleri görülmektedir. Yağlayıcı olarak 7cSt viskoziteli mineral yağ kullanılmıştır. Yağ kendinden katkılı olup malzemeler ve ortam şartları ile uyumludur.

9.DENEY SONUÇLARI

9.1 Mangan Fosfat Kaplama Deney Sonuçları

DOE ile elde edilen sonuçlar kristal boyutunu etkileyen temel banyo parametreleri hakkında fikir edinmek amacıyla MINITAB programı ile değerlendirmeye alınmıştır. Tablo 9.1'de kapama deney koşulları ve ölçülen kaplama tane boyutları verilmiştir.

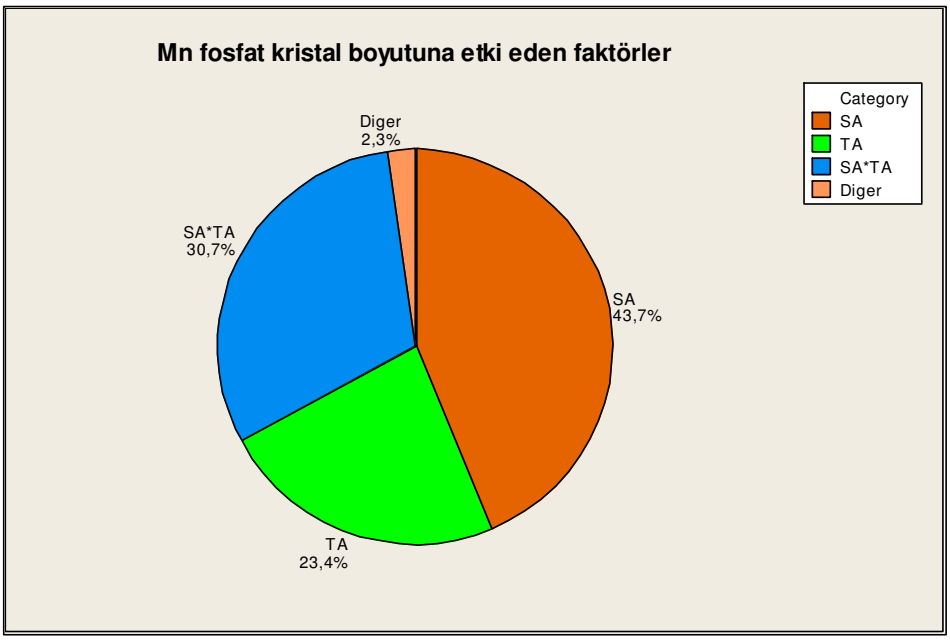
Tablo 9.1: Mangan Fosfat Kaplama Deney Sonuçları

StdOrder	Run Order	Center Pt	Blocks	SA	TA	Fe^{+2} kons	Aktivasyonsıc	Ortalama Tane alanı(μ)2
1	1	1	Dökme demir	16	36	0,02	35	4,5875
2	2	1	Dökme demir	12	42	0,15	25	6,5
3	3	0	Dökme demir	14	39	0,075	30	11,2
4	4	1	3 No'lu Malzeme	16	42	0,02	25	6,1925
5	5	1	3 No'lu Malzeme	12	36	0,15	35	14,675
6	6	0	3 No'lu Malzeme	14	39	0,075	30	11,95
7	7	1	1 No'lu Malzeme	12	42	0,02	35	6,4
8	8	1	1 No'lu Malzeme	16	36	0,15	25	5,11
9	9	0	1 No'lu Malzeme	14	39	0,075	30	7,8
10	10	1	4 No'lu Malzeme	12	36	0,02	25	16,925
11	11	1	4 No'lu Malzeme	16	42	0,15	35	4,785
12	12	0	4 No'lu Malzeme	14	39	0,075	30	9,925

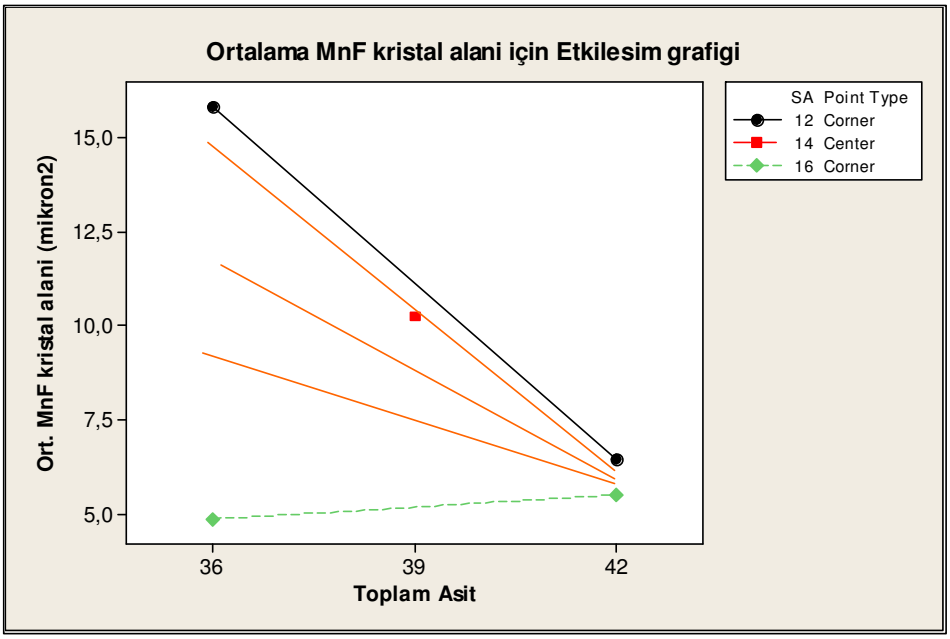
Elde edilen değerler kullanılarak, ancak Fe^{+2} konsantrasyonu faktörlerden çıkarılarak MINITAB yardımı ile yeni bir deney tasarımı tanımlanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Buna göre kaplama kristal boyutuna etkisi olan faktörleri kapsayan bir Doğrusal Model elde edilmiştir. Elde edilen modele göre:

- Kristal boyutu üzerinde en etkin faktör olarak Mn fosfat banyosunun Serbest Asit değeri belirlenmiştir. Banyonun toplam asit değeri ile Serbest Asit değerinin karşılıklı etkileşimi ise ikinci derecede önemli, Toplam Asit değeri ise üçüncü önemli faktör olarak ortaya çıkmıştır (Şekil 9.1). Kristal boyutu değişkenliği üzerinde modelin açıklayamadığı faktör veya değişkenliklerinin oranı ise çok düşüktür (% 2.3).

- Modelin etkileşim grafiği incelendiğinde deney yapılan şartlar aralığında en küçük kristalli kaplamayı elde etmek için Mn fosfat banyosunun Serbest Asit değerinin 16 Toplam Asit değerinin 36 olması öngörülebilir.



Şekil 9.1: Mangan fosfat kaplama kristal boyutuna etki eden faktörler grafiği.



Şekil 9.2: MINITAB programı ile MnP kristal boyutu için elde edilen etkileşim

- Ancak Serbest Asidin 16 değerinde banyo Toplam Asit değerinin 42 olması halinde de ince kristal yapısı elde edilebilmektedir. Banyonun serbest asit

değeri, düşük toplam asit değerlerinde kristal boyutu açısından çok kritik iken yüksek toplam asit değerlerinde çok daha az önem taşımaktadır. Banyonun Toplam asit değeri 36 olduğunda Serbest asit değerindeki küçük değişkenlikler kaplama kristal boyutunun hızla artmasına neden olabilir. Örneğin TA = 36 olduğunda banyo Serbest Asit değeri 16'dan 12'ye kayarsa kristal boyutu hızla 5 mertebelerinden 16 mertebelerine kayacaktır. Bu da aynı banyo içinde farklı kristal boyutları veren kaplamalar üretilmesine sebep olur. Kaplama kristal boyutunun önemli olduğu uygulamalar için TA=42 olacak şekilde çalışmak banyodan elde edilen kaplamalardaki kristal boyutu değişkenliğinin azaltılması demek olacaktır.

- Seçilen aralıkta aktivasyon banyosunun sıcaklığının kaplama kristal boyutu üzerinde etkisi yoktur. Bu nedenle oda sıcaklığında aktivasyon banyosu ile çalışmak endüstriyel tipte kaplama tesisleri için enerji tasarrufu açısından daha faydalı olacaktır.
- Modelde bloklar etkisiz çıktığı için yapılan deney şartları aralığında kaplama taban malzemesinin de kristal boyutu üzerine bir etkisi olmadığı sonucu çıkarılmıştır.

9.2 R600a Ortamında Aşınma Sürtünme Deney Sonuçları

Falex Block on Ring test cihazı ile yapılan deneylerin en önemli çıktısı aşınma sonrası oluşan malzeme kaybıdır. Deneylerde hem blok hem de halka malzemesinden aşınma partikülleri kopmuştur. Her iki malzemede de görülen ağırlıklı aşınma şekli abrasif aşınmadır. Bunun yanında blok malzemesinin iz bölgesinin kenarlarında adhezif aşınma mekanizması belirtilerine de rastlanmaktadır. Bunun sebebi daha yumuşak olan halka malzemesinin soğuk kaynaklama ile blok yüzeyine yapışmasıdır. Aşınma miktarlarına ek olarak sürtünme katsayısı değerleri de hesaplanıp tabloya eklenmiştir. R600a soğutkan ortamında farklı malzeme çiftleri ile yapılan deneylerin sonuç tablosu aşağıda görülmektedir.

Tablo 9.2: Aşınma ve Sürtünme Deney Sonuçları

Halka_islemi	Halka_Malzemesi	Blok işlemi	Soğutkan	BAHx10^3	HAH	Blok sertlik (HV)	Halka sertlik (HRF)	Sürtünme Katsayısı
İşlemsiz	%0.3C+%2Cu	100CrMn6	R 600a	7,21	4,1	1257	76,5	0,131
İşlemsiz	%0.3C+%2Cu	100CrMn6	R 600a	6,10	3,5	1218,8	75,1	0,133
İşlemsiz	%0.3C+%2Cu	8620	R 600a	3,30	10,4	1024	74	0,138
İşlemsiz	%0.3C+%2Cu	8620	R 600a	3,20	4,28	955	70,1	0,136
İşlemsiz	%0.3C+%2Cu	8620 nitrürlü	R 600a	8,30	3,82	811	75,1	0,129
İşlemsiz	%0.3C+%2Cu	8620 nitrürlü	R 600a	9,00	4,61	841	70,1	0,124
Bİ+MnP	%0.3C+%2Cu	100CrMn6	R 600a	4,2	2,33	1254	107,25	0,125
Bİ+MnP	%0.3C+%2Cu	100CrMn6	R 600a	4	2,42	1210	107,25	0,125
Bİ+MnP	%0.3C+%2Cu	8620	R 600a	4,70	2,85	920	105,75	0,133
Bİ+MnP	%0.3C+%2Cu	8620	R 600a	4,40	2,92	940	105,75	0,127
Bİ+MnP	%0.3C+%2Cu	8620 nitrürlü	R 600a	5,30	3,34	810	105,75	0,124
Bİ+MnP	%0.3C+%2Cu	8620 nitrürlü	R 600a	4,10	3,96	803	105,75	0,13
İşlemsiz	%0.45C	100CrMn6	R 600a	13,81	6,07	1285	72,8	0,116
İşlemsiz	%0.45C	100CrMn6	R 600a	17,99	5,28	1266	72,8	0,132
İşlemsiz	%0.45C	8620	R 600a	6,21	6,2	1022	73,4	0,14
İşlemsiz	%0.45C	8620	R 600a	7,50	5,2	963	71,4	0,14
İşlemsiz	%0.45C	8620 nitrürlü	R 600a	11,70	9,69	828	72,9	0,134
İşlemsiz	%0.45C	8620 nitrürlü	R 600a	11,00	8	765	72,9	0,137
Bİ+MnP	%0.45C	100CrMn6	R 600a	4,20	1,69	1283	93,15	0,122
Bİ+MnP	%0.45C	100CrMn6	R 600a	4,50	2,03	1210	93,15	0,133
Bİ+MnP	%0.45C	8620	R 600a	2,20	2,85	950	92,7	0,129
Bİ+MnP	%0.45C	8620	R 600a	4,20	4,4	930	92,7	0,125
Bİ+MnP	%0.45C	8620 nitrürlü	R 600a	4,55	4	790	96,05	0,134
Bİ+MnP	%0.45C	8620 nitrürlü	R 600a	4,50	3,69	755	92,7	0,124

Tablo 9.2'de görüldüğü gibi deneye sokulacak numunelerin sertliklerinin birbirine yakın olması planlanmıştır. Bu doğrultuda, hazırlatılan numunelerden aynı işleme tabi tutulmuş olanların sertlikleri ölçülmüş istenen değerlerden sapma gösterenler elenmiştir.

Sonuç tablosunda halka aşınma hacmi (HAH), blok aşınma hacmi (BAH) ve sürtünme katsayısı değerleri bulunmaktadır. Tüm sonuçlar MINITAB istatistik programında değerlendirmeye sokulmuş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Yapılan deneyler ve tekrar sayısıyla % 80, 90 ve 95 güçle ayırd edilebilen blok ve halka aşınma hacmi farkları Tablo 9.3'te verilmiştir. Buna göre % 95 güçle blok aşınması hacminde yaklaşık $2x10^{-3}$ birimlik, halka aşınma hacminde ise $1,3x10^{-4}$ birimlik farklar ayırt edilebilmektedir. Bu da yapılan deneylerde halka ve blok aşınmalarında bu kadarlık farkların görülebileceği anlamına gelmektedir.

Tablo 9.3: MINITAB Halka ve Blok Aşınma Miktarlarının Ölçülebilirliği

Power and Sample Size: BLOK AŞINMA HACMİ

Center Points Per Block	Total Reps	Runs	Power	Effect
0	6	24	0,80	1 ,55186
0	6	24	0,90	1,79627
0	6	24	0,95	1,99825

Power and Sample Size: HALKA AŞINMA HACMİ

Center Points	Total Reps	Runs	Power	Effect
0	2	24	0,80	1,00443
0	2	24	0,90	1,16262
0	2	24	0,95	1,29335

9.2.1 Blok Aşınma Hacmi İçin Değerlendirme

Blok aşınma hacmi için MINITAB Genel Doğrusal Model (General Linear Model) ile yapılan değerlendirmede blok aşınma hacmi üzerinde etkili olan faktör ve etkileşimler (Tablo 9.4 ve Şekil 9.3) aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Blok aşınma hacmine halka malzemesi %10.2 , halka yüzey işlemi %37.2 ve blok malzemesi ve yüzey işlemi % 15.3 etki etmektedir.
- Bu ana etkileşimlerin karşılıklı etkileşimleri; halka malzemesi*halka işlemi %14.2, halka işlemi*blok işlemi %11 ve blok işlemi*halka malzemesi %5'tir.

İkili etkileşimler olması nedeniyle veriler halka malzemesine göre ayrılarak grafik haline getirilmiş ve yorumlanmıştır.

Tablo 9.4: MINITAB Blok Aşınma Deney Sonuçları

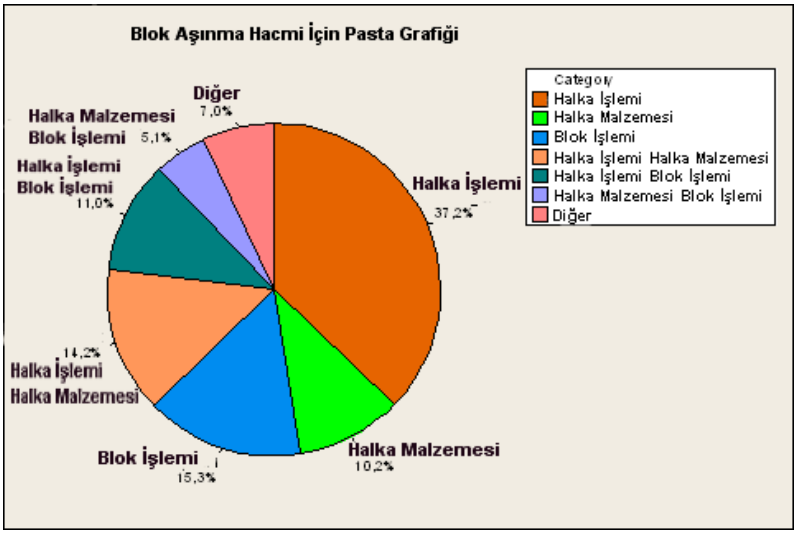
General Linear Model: BAHx1000 versus Halka_islemi; Halka_Malzemesi; ...

Factor	Type	Levels	Values
Halka_islemi	fixed	2	İşlemli; İşlemsiz
Halka_Malzemesi	fixed	2	%0.3C+%2Cu; %0.45C
Blok işlemi	fixed	3	8620; 8620 nitrürlü; Mevcut 100CrMn6

Analysis of Variance for BAHx1000, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq_SS	Adj_SS	Adj_MS	F	P
Halka_islemi	1	123,624	123,624	123,624	74,62	0,000
Halka_Malzemesi	1	33,963	33,963	33,963	20,50	0,000
Blok_işlemi	2	50,895	50,895	25,447	15,36	0,000
Halka isl*Halka Malz	1	47,180	47,180	47,180	28,48	0,000
Halka isl*Blok işl	2	36,675	36,675	18,337	11,07	0,001
Halka Malz*Blok işl	2	16,845	16,845	8,423	5,08	0,022
Diğer	14	23,194	23,194	1,657		
Total	23	332,376				

S = 1,28714 R-Sq = 93,02% R-Sq(adj) = 88,54%

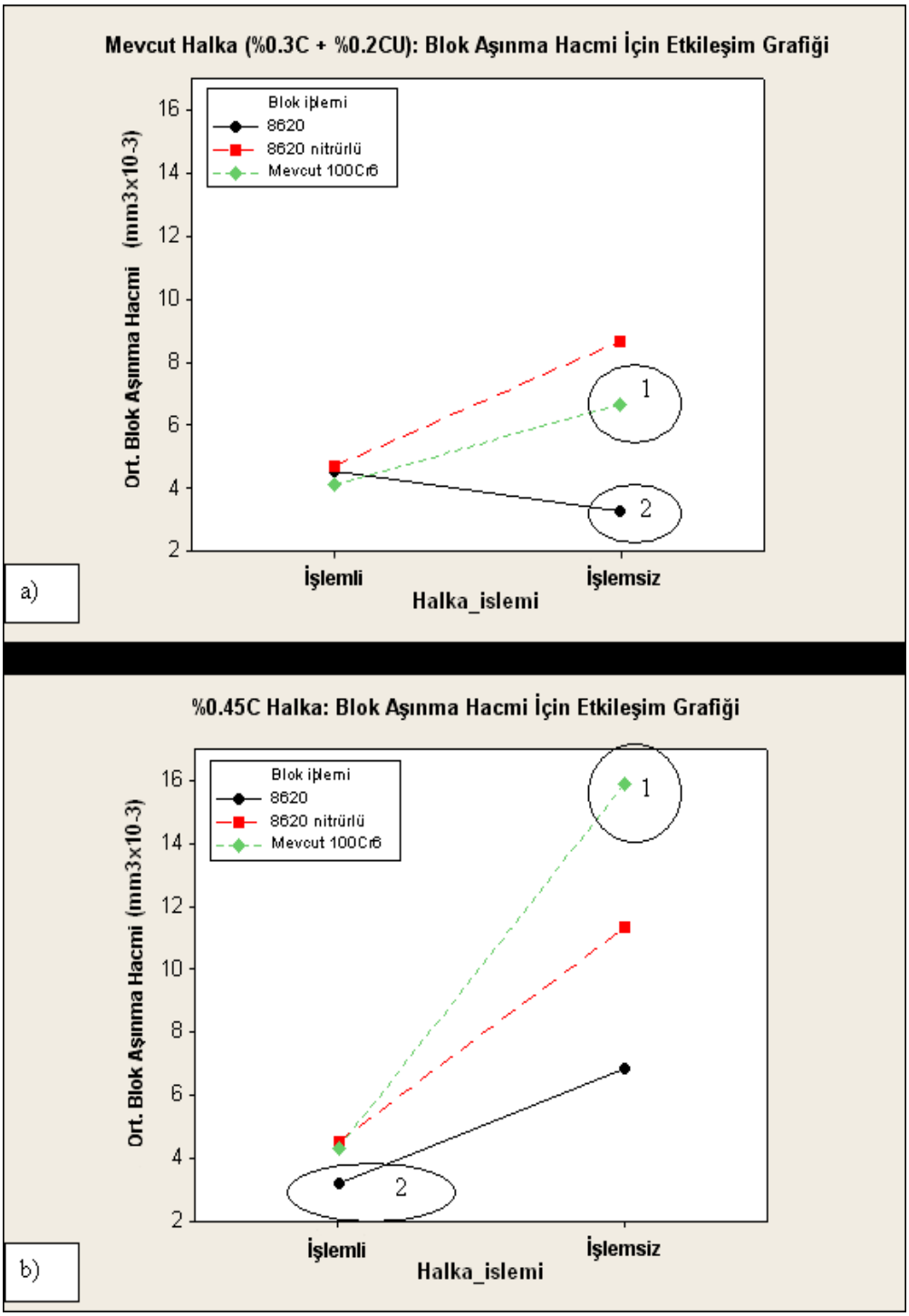


Şekil 9.3: Blok aşınmasına etki eden faktörler pasta grafiği

1 no'lu halka (biyel) malzemesi (Şekil 9.4-a) değerlendirildiğinde;

- 1 no'lu biyel malzemesine Bİ+MnP uygulandığında nitrürlü 8620 ve 100CrMn6 blokların aşınması azalmaktadır. Bİ+MnP uygulamasının ısıl işlemli 8620 blok malzemesi aşınmasında önemli bir fark yaratmadığı görülmektedir. Bİ+MnP kaplamalı 1 no'lu biyel malzemesi kullanıldığında bulunan 3 seçenek de birbirine yakın aşınma performansı vermektedir.

- Halkaya (biyele) bir işlem uygulanmadığında ise blok (perno) malzemesi ve yüzey işlemi, blok aşınmasında önemli farklılıklar yaratmaktadır. Blok aşınma miktarları büyükten küçüğe doğru nitrürlü 8620, ısıl işlemli 100CrMn6 ve ısıl işlemli 8620'dir.
- Blok aşınma sonuçları değerlendirilerek nitrürleme ile istenen malzeme yüzey özelliklerinin elde edilemediği görülmektedir.. Bunun sebebi, malzeme yüzeyinin yeterli sertliğe çıkmaması olabileceği gibi oluşturulan beyaz tabakanın aşınmayı negatif etkilemesi de olabilir.



Şekil 9.4: a) % 03.C+%2Cu (1 no'lu biyel malzemesi) için etkileşim grafiği (1) 1 no'lu biyel ve 100CrMn6 perno çifti, (2) Daha düşük blok aşınması veren 1 no'lu biyel 8620 perno çifti, b) % 0.45 C için etkileşim grafiği (1) İşlemsiz % 0.45C biyel mazmesi ile 100CrMn6 perno çifti, (2) En düşük blok aşınması veren Bİ+MnP kaplamalı % 0.45C biyel malzemesi ile 8620 perno çifti

% 0.45C içeren halka malzemesi (2 No'lu) değerlendirildiğinde (Şekil 9.4-b);

- % 0.45C içeren biyel malzemesine Bİ+MnP uygulandığında, deneye alınan tüm blok malzemelerinde işlemsiz biyelle çalışmaya göre aşınma azalmaktadır. Bİ+MnP kaplamalı % 0.45C içeren biyel malzemesi ile çalışıldığında 100CrMn6 blok ile nitrürlü 8620 blok aşınması arasında önemli bir fark görülmezken ısıl işlemli 8620 ile diğerlerine göre bir miktar daha düşük blok aşınması (Şekil 9.4'te 2) elde edilmektedir. Bİ+MnF kaplamalı %0.45C halka-Isıl işlemli 8620 blok çifti için blok aşınması 1 no'lu biyel 100CrMn6 blok çiftine göre % 52 civarında düşmektedir.
- Halka işlemsiz olduğunda 1 no'lu biyel malzemesinde olduğu gibi blok malzeme ve yüzey işlemi önemli hale gelmektedir. İşlemsiz % 0.45 C içeren halka ile de en düşük blok aşınması ısıl işlemli 8620 malzemesi ile sağlanmaktadır. Ancak bu değer işlemsiz 1 no'lu biyel malzemesi-ısıl işlemli 8620 çiftinden daha yüksektir. İşlemsiz %0.45 C biyel malzemesi-100CrMn6 blok malzemesi çifti (Şekil 9.4'te 1) ise en yüksek blok aşınmasını vermiştir.

9.2.2 Halka Aşınma Hacmi İçin Değerlendirme

Halka aşınma hacmi için MINITAB Genel Doğrusal Model (General Linear Model) ile yapılan değerlendirmede halka aşınma hacmi üzerinde etkili olan faktör ve etkileşimler (Tablo 9.5 ve Şekil 9.5) aşağıdaki gibi özetlenmiştir. Buna göre;

- Halka aşınması üzerinde ana etkilerin halka yüzey işlemi (%43.5) halka malzemesi (% 14.3), ve blok işleminin (% 14.9) olduğu görülmektedir.
- Ayrıca halka malzemesi ve halka yüzey işlemi arasında da karşılıklı etkileşim (% 11.5) söz konusudur.
- Faktörlerin payına bakıldığında halka aşınmasında en fazla etkinin halkaya uygulanacak Bİ+MnP kaplama işleminden geleceğini söylemek mümkündür.

Tablo 9.5: MINITAB Halka Aşınma Hacmi Sonuç Tablosu

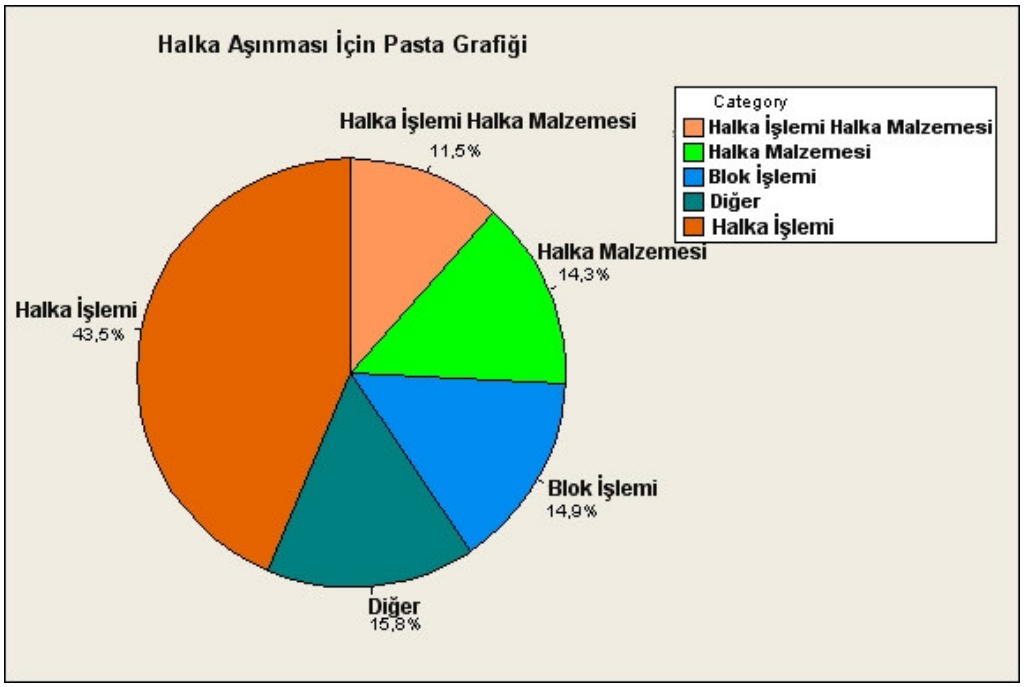
General Linear Model: HAHx10-4 versus Halka_islemi; Halka_Malzemesi; ...

Factor	Type	Levels	Values
Halka_islemi	fixed	2	Bİ+MnF; İşlemsiz
Halka_Malzemesi	fixed	2	%0.3C+%2Cu; %0.45C
Blok işlemi	fixed	3	8620; 8620 nitrürlü; Mevcut 100CrMn6

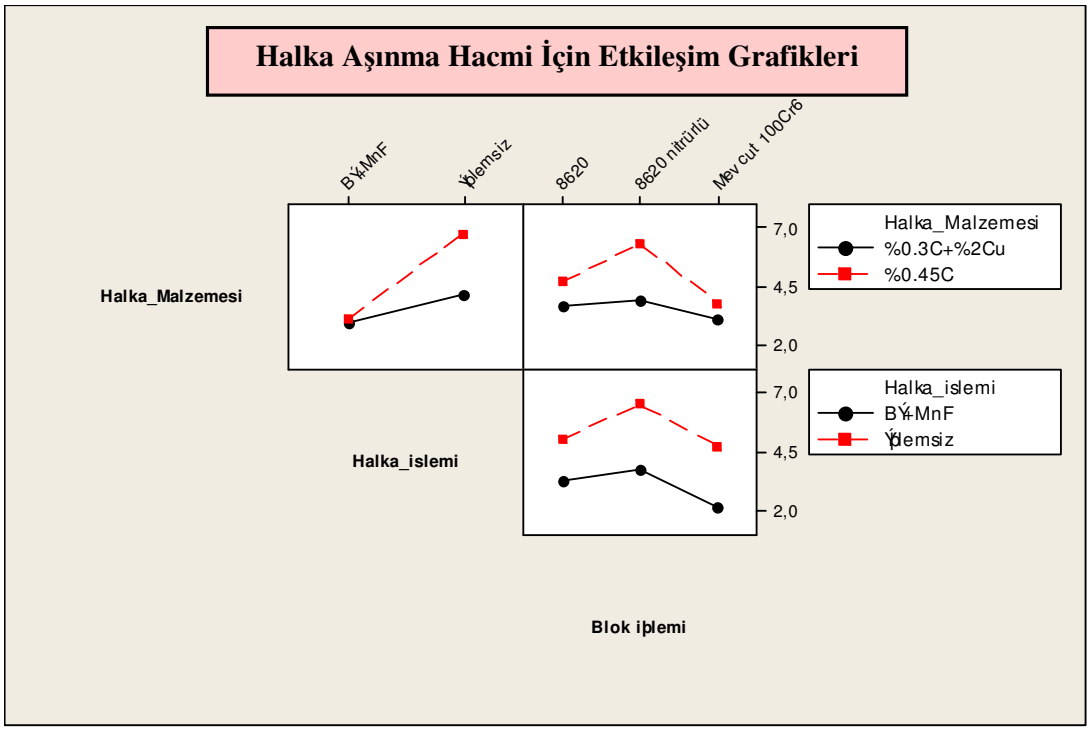
Analysis of Variance for HAHx10-4, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq_SS	Adj_SS	Adj_MS	F	P
Halka_islemi	1	34,488	34,488	34,488	49,67	0,000
Halka_Malzemesi	1	11,303	11,303	11,303	16,28	0,001
Blok_işlemi	2	11,808	11,808	5,904	8,50	0,003
Halka_islemi*Halka_Malz.	1	9,114	9,114	9,114	13,13	0,002
Diğer	18	12,498	12,498	0,694		
Total	23	79,211				

S = 0,833277 R-Sq = 84,22% R-Sq(adj) = 79,84%



Şekil 9.5: Halka aşınmasına etki eden faktörler pasta grafiği



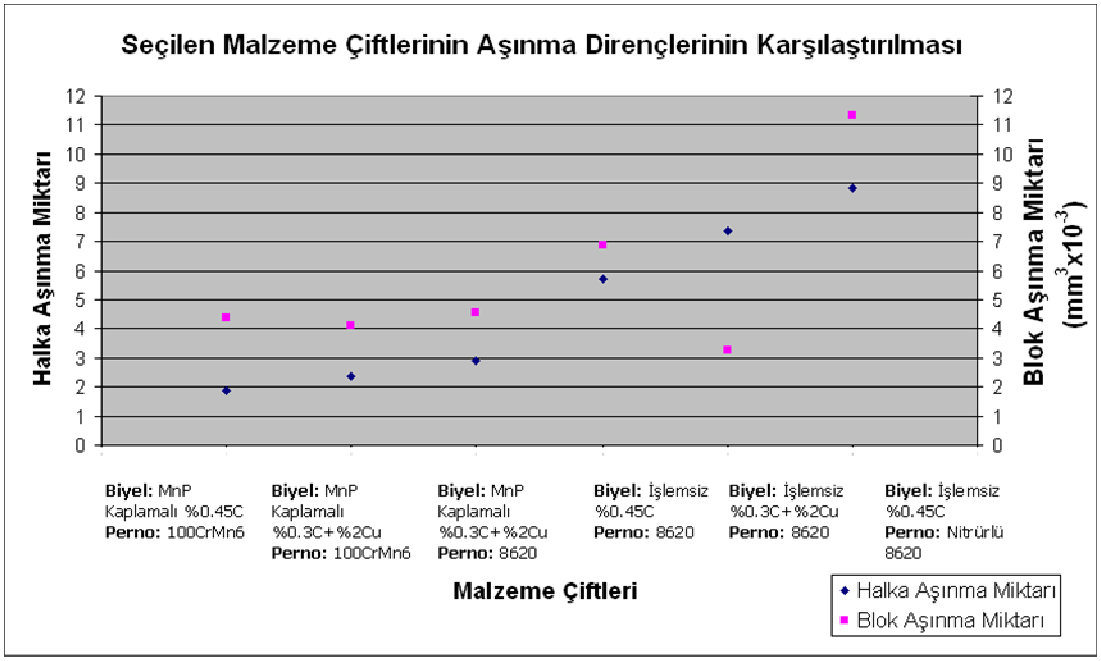
Şekil 9.6: Halka aşınması için etkileşim grafikleri

Halka aşınma hacmi**,** ana etki ve etkileşim (Şekil 9.6) grafiklerinden değerlendirilecek olursa:

- Halka aşınma hacmi halka işlemine göre değerlendirildiğinde gerek %0.45 gerekse 1 no'lu biyel malzemesi olan %0.3C+%2Cu halkalarına Bİ+MnP kaplama uygulandığında halka aşınma hacmi azalmakta ve halka malzemesi önemsiz hale gelmektedir.
- İşlemsiz halkalarda % 0.45C içeren halka her üç blok malzemesiyle de %0,3C içeren işlemsiz biyel halkasına göre daha yüksek halka aşınması vermektedir.
- Deneylere alınan üç blok malzemesi işlemsiz ve işlemli halkalarda halka aşınmasını benzer eğilimle etkilemektedir. Her iki durumda da en düşük halka aşınma hacmi 100CrMn6 blok malzemesi ile elde edilmektedir. Isıl işlemli 8620 ve nitrürlü 8620 ise halka aşınmasını sırasıyla 100CrMn6'ya oranla göre artırmaktadır.
- En düşük halka aşınma hacmi 100CrMn6 yüzey işlemi ve 1 no'lu malzeme ile elde edilmiştir. Blok aşınma hacminde en düşük sonucu veren 8620 bir

miktar daha yüksek halka aşınma hacmine sebeb olurken nitrürlenmiş 8620 ise en yüksek halka aşınmasına neden olmuştur. Böyle bir sıralama ortaya çıkmakla beraber ortalama 8620 ve 100CrMn6 halka aşınma hacmi arasındaki fark çok yüksek değildir.

Bütün bu değerlendirmeler ışığında, malzeme çiftleri arasından en iyi performansı gösteren üç adet çift ve en kötü performansı gösteren üç adet çift, aşınma dirençleri iyiden kötüye doğru sıralanarak şsekil 9.7'de verilmiştir. Aşınma direnci ile ilgili değerlendirme yapılırken ilk olarak halka aşınma hacimleri dikkate alınmalıdır; çünkü halka aşınma miktarları blok aşınma miktarlarından çok yüksektir. Manganez fosfat kaplamalı ve % 0.45C içeren biyel malzemesi ve ısıl işlemli 100CrMn6 çelik kullanılan perno malzemesinden oluşan malzeme çifti aşınma direnci en yüksek olan malzeme çiftidir. Biyel malzemesinin %0.3C+%2Cu bileşimine çekilmesi ve pernonun sabit tutulmasıyla elde edilen malzeme çifti de aşınmaya yüksek direnç göstermektedir. En kötü seçenek olarak ise işlemsiz % 0.45C içeren biyel ile nitrürlü 8620 perno kullanılan malzeme çifti görülmektedir.



Şekil 9.7: Seçilen Malzeme Çiftlerinin Aşınma Dirençlerinin Karşılaştırılması

Özetle;

- Halka yüzeyine uygulanan mangan fosfat kaplama, deneylerde hem blok, hem de halka aşınmasını önemli ölçülerde azaltmıştır.
- Blok ve Halka aşınmaları birlikte değerlendirildiğinde en uygun malzeme çifti olarak ısıl işlemli 100CrMn6 perno – MnP kaplamalı %0.45C içeren halka çifti öne çıkmaktadır.
- Blok malzemesine uygulanan nitrürleme işlemi yüzeyi kırılgan hale getirmektedir. Bunun sonucu olarak nitrürleme abrasif aşınma mekanizmasını tetiklemekte ve deney sonuçlarına olumsuz etkilerde bulunmaktadır.
- Halkalarda abrasif aşınma gözlenmektedir. Bloklarda ise abrasif ve adhezif aşınma birlikte gözlenmektedir. SEM incelemesinde %0.3+%2Cu içeren halkalar ile yapılan deneylerde, blok aşınma izlerinin sınır bölgelerinde bakırın varlığı saptanmıştır. Bu, halkadan kopan partiküllerin blok yüzeyine yapışmasının kanıtıdır ve soğuk kaynaklanma meydana gelmiştir.
- Mangan fosfat kaplama R600a gazı ile uyumsuzluk göstermemiştir. Tüm deneylerde ortamda R600a soğutkanı bulunmaktadır ve gaz, kaplama ve yağ ile ilgili olumsuz bir durum saptanmamıştır.
- Sürtünme katsayılarının aşınmaya etkileri ile ilgili bir yargıya varmak seçilen deney koşulları için mümkün değildir. Aşınma miktarları sürtünme katsayısı ile orantılı olarak değişmemektedir; ancak genel eğilim olarak, kaplamalı halkaların kullanıldığı deneylerdeki sürtünme katsayıları, kaplamasız halka ile yapılan deneylerdeki sürtünme katsayılarına oranla bir miktar daha düşüktür. Bu durum kompresörün mekanik kayıplarında bir miktar azalma ve kompresör COP değerinde artış sağlayabilir.

KAYNAKLAR

[1] **Özkol, N.**, 1999. Uygulamalı Soğutma Tekniği, Makina Mühendisleri Odası Yayını, 115, Ankara.

[2] **Anderson, E. P.**, 1966. Home Refrigeration And Air Conditioning Guide, Howard W. Sams & Co., Inc., Indianapolis, Indiana.

[3] **Brown, R. N.**, 1986. Compressors Selection & Sizing, Gulf Publishing Company, Houston, Texas.

[4] **Cinisli, M. F**., 2003. Hermetik Kompresörlerde Soğutucu Akışkanların İndikatör Diyagramına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[5] **TURFAN, M. E.,** 2005 "Hermetik Pistonlu Kompresörlerde Sürtünme Kayıplarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü.

[6] **Kale, O. Y.,** 1999. Santrifüj Kompresörler ve Kaymalı Yataklar, Petkim Petrokimya Holding A.Ş., İzmir.

[7] **Heinz, P.,** 1971. Recent Developments in Sliding Bearings, Mc Grow-Hill Series in Mechanical Engineering, New York.

[8] **Metals Handbook,** 1992. volume 3, Stainless Steels, Tool Materials and Specific Purpose Materials, ASM International.

[9] **Arçelik A.Ş.,** E.K.İ. Ür-Ge Teknik Resim Çizimi, 2003. Eskişehir.

[10] **Rabonwichz, E.,** 1995. Friction and Wear of Materials, John Wiley and Sons, INC., Canada.

[11] **ASM Handbook,** 1992. volume 18, Friction, Lubrication and Wear Technology, ASM International.

[12] **Hutchings, I.M.,** 1992. **Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials,** CRC Press: Boca Raton.

[13] **Stachowiak, G. W. and Batchelor, A. W.,** 2001. Engineering Tribology, Butterworth-HeinemannWoburn, MA.

[14] **Na B.C., Chun K.J., Han D.C.,** 1998. A tribological study of refrigeration oils under HFC-134a environment, Tribology International 30 (9) 707–716.

[15] **Boyde, S. et al.,** 2000. Effect of Lubricant Properties on Efficiency of Refrigeration Compressors, *Proceedings of the 2000 International Compressor Engineering Conference at Purdue.*

[16] **Marsh, N. K. and Kandil, M. E.,** 2002. *Review of thermodynamic properties of refrigerants + lubricant oils,* Fluid Phase Equilibria, **199**, 1-2, 319-334.

[17] **Maclaine-cross, I. L. and Leonardi, E.,** 1996. *Comparative Performance of Hydrocarbon Refrigerants,* Refrigeration Science and Technology Proceedings, International Institute of Refrigeration, Proceedings of meeting of Scientific Commissions E2, E1, B1, B2, Melbourne (Australia), February 11-14th, pp. 238-245.

[18] **Garland, N.P. and Hadfield, M.,** 2005. Environmental implications of hydrocarbon Refrigerants applied to hermetic compressor, Materials & Design, **26**, 7, 578-586.

[19] **Maclaine-cross, I. L. and Leonardi, E.,** 1997, Why Hydrocarbons Save Energy*,* AIRAH Journal, **51**, 6, 33-38.

[20] **ASM Handbook,** 1998, volume 7, Powder Metal Technologies and Applications.

[21] **Yanase, T., Miyasaka, M.** (2002), Sliding Property of Fe-Cu-C Sintered Materials under High Contact Stress and at Low Sliding Velocity, Hitachi Powdered Metals Technical Report, Vol.1.

[22] **Hivart, P.H., Hauw, B., Crampon, J, Bricout, J. P.** 1998, Annealing improvement of tribological properties of manganese phosphating coatings, Wear 219, 195-204.

[23] **Hivart, P.H., Hauw, Bricout, J.P., Oudin, J.** 1997, Seizure behaviour of manganese phosphate coatings according to the process conditions, Tribology International 30, 561-570.

[24] **Rausch, W.,** 1990. The Phosphating of Metals, ASM International finishing Publications.

[25] **CHEMETALL GmbH.,** 2000. Mangan Fosfat Kaplama Prosesi Sunum Notları.

[26] **Beiss, P.,** 1991, Steam Treatment of Sintered Parts, Powder Metallurgy, **34**, 3,173-177.

[27] **Razavizadeh, K. and Davies, B.L.,** 1979**,** Influence of Powder Type and Density on Pore Closure and Surface Hardness Changes Resulting From Steam Treatment of Sintered Iron, Powder Metallurgy, 4, 187-192.

[28] **ASM Handbook,** 1991**,** volume 4, Heat Treating.

[29] **ASTM, G 77 – 97,** 1994**,** Test Method for Ranking Resistance of Materials to Sliding Wear Using Block-on-Ring Wear Test.

ÖZGEÇMİŞ

Barış Parıldar, 15.12.1981 yılında Kdz. Ereğli'de doğdu. Kdz. Ereğli Anadolu Lisesinden 2000 yılında mezun olduktan sonra aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya- Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümüne girdi. Lisans programını 2004 yılında tamamladı ve ardından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme ve Metalurji Mühendisliği Ana Bilim Dalı Üretim Metalurjisi Programında yüksek lisans yapmaya hak kazandı. 2004-2006 yılları arasında İ.T.Ü. ve ARÇELİK A.Ş. arasında imzalanmış özel bir anlaşma çerçevesinde ARÇELİK A.Ş. Araştırma ve Geliştirme Merkezi Malzeme Teknolojileri Ailesi'nde görev aldı.