

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AŞINMAYA MARUZ PARÇALARIN AŞINMA  
DAYANIMLARININ ARAŞTIRILMASI**

**Reza GHASEMİ OWSALOU**

**Ağustos, 2012**

**İZMİR**

# **AŞINMAYA MARUZ PARÇALARIN AŞINMA DAYANIMLARININ ARAŞTIRILMASI**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Makine Mühendisliği Bölümü, Konstrüksiyon İmalat Anabilim Dalı**

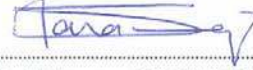
**Reza GHASEMİ OWSALOU**

**Ağustos, 2012**

**İZMİR**

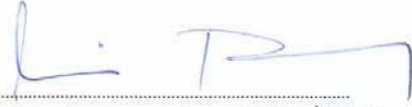
## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

REZA GHASEMİ OWSALOU, tarafından PROF.DR. SÜLEYMAN KARADENİZ yönetiminde hazırlanan “AŞINMAYA MARUZ PARÇALARIN AŞINMA DAYANIMLARININ ARAŞTIRILMASI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof.Dr. Süleyman KARADENİZ

Yönetici



Prof. Dr. Mine DEMİRSEY

Jüri Üyesi



Doç. Dr. Mustafa TOPARLI

Jüri Üyesi



Prof.Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam süresince yardımlarını ve değerli bilgilerini benden esirgemeyen, çalışma azmini ve hırsını örnek aldığım, değerli hocam ve tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Süleyman KARADENİZ'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Çalışmalarım sırasında benden değerli bilgilerini ve samimi yardımlarını esirgemeyen Sayın Araş. Gör. Gökçe Mehmet GENCER'e ve Sayın Araş. Gör. Fatih KAHRAMAN'a teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarımda yardımlarından dolayı Sayın Mak. Tek. Faik SOYSAL 'a ve tüm tez çalışmam boyunca bana destek olan değerli arkadaşlarım Kadir Can BAYKAL ve Serhat CAN 'a tüm samimiyetimle teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca, maddi ve manevi desteklerini benden bir an olsun esirgemeyen, tecrübelerine sürekli ihtiyaç duyduğum annem, babam ve kardeşlerim Aynour ve Sina'ya minnetlerimi sunarım.

Ayrıca gerek İran'daki, gerekse Türkiye'deki bütün eğitim hayatım boyunca bana yardımcı olan tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Reza GHASEMİ OWSALOU

# INVESTIGATION OF ABRASION RESISTANCE OF PARTS THAT ARE EXPOSED TO WEAR

## ABSTRACT

In Industrial production area, technical failure occur up on the wear 's about eleven percent. It is a big rate of economical manufacturing production. Whole of a machine system or a production line might be disturb by the time, cause of the parts exposed to wearing. Many different researches have been done for the different kind of wearing. There are different methods consist in tribological theorem and wearing mechanisms, to prevent and reduce wearing. Maintenance and repair welding is one of commonly use of them. In this method, the damaged parts will welded by suitable welding technique in order to coated the damaged part with a more durable material.

In the cement manufacturing, during the cement production grinding plaque and molars are exposed constantly to wearing. In this experimental study, Farin (cement's raw material) and Klinker grain dust obtained from Farin during process in cement's production line, were used as an abrasive. Also specimens that coated with 5 different hardfacing alloys Fazer 55, Thermo Dur, Unibase 660, Fazer 63 (Cr riched), Fazer65 (Complex carbides) electrodes were used in this abrasive wearing test. This test is done according to ASTM G65 standards. After scrutinizing the abrasive wearing results, with metallographic investigation done by analyzing the photos of microstructure of each specimens. The metallographic results were supported by XRD test.

The results of metallography and XRD analyses shows Fazer 65 (Complex carbided electrode) has a high hardness and wear resistance cause of MC carbides phases in matrix. Also the results confirm that wear resistance was affected by Cr, MO and W carbides phases in microstructure matrixes.

**Keywords:** Wear, wear resistance, abrasive wear testing, hardfacing alloys welding, Farin, Klinker

# AŞINMAYA MARUZ PARÇALARIN AŞINMA DAYANIMLARININ ARAŞTIRILMASI

## ÖZ

Endüstriyel üretim alanında, makine parçalarının teknik hasarlarının yüzde on biri aşınma nedeni ile ortaya çıkar. Ekonomik açıdan bu orana baktığımız zaman büyük maliyete neden olur. Aşınmaya maruz kalan parçalar zaman içerisinde makinenin tahrip olmasına sebep olabilir. Aşınmanın farklı türleri için farklı araştırmalar yapılmıştır. Triboloji teorilerine ve aşınma mekanizmalarına dayanıklı olan, aşınmayı önlemek ve azaltmak için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Tamir bakım kaynağı bu yöntemlerden bir tanesidir. Bu yöntemde mevcut yüzeyin mevcut ana malzemeden aşınma direnci daha iyi verimli olması neden ile endüstriyel işletmelerde çok kullanılan bir metottur.

Çimento üretim fabrikalarında çimento üretim sırasında öğütücü plakalar sürekli abrasif aşınmaya maruz kalmaktadır. Bu deneysel çalışmada çimento ara hammaddesi olan Farin ve ondan elde edilmiş Klinker tozu aşındırıcı olarak kullanarak 5 farklı sert dolgu kaynağı ile hazırlanmış numunelerin üzerinde abrasif aşınma deneyi yapılmıştır. Aşınma testlerinin sonuçları incelenip değerlendirildikten sonra mikro yapı resimlerini desteklemek için XRD testi yapılmıştır. Fazer 55, Thremo Dur, Unibase 660, Fazer 63 (kromca zenginleşmiş) Fazer 65 (kompleks karbürlü) elektrotlar bu deneyde kullanılmıştır.

XRD analizi sonucunda, Fazer 65 (kompleks karbürlü) sert dolgu kaynağının iç yapısında MC karbürlerden oluşan fazlar nedeni ile en yüksek sertlik ve ona doğru orantılı olarak artan aşınma direncine sahip olduğu saptanmıştır. Ayrıca içyapı matrislerinde Cr ve Mo ve W alaşımlarını oluşturan karpit fazların aşınma direncinin artmasında etkileyici oldukları tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelime:** Aşınma, aşınma direnci, abrasif aşınma deneyi, sert dolgu kaynağı, Farin, Klinker

## İÇİNDEKİLER

|                                            | Sayfa     |
|--------------------------------------------|-----------|
| YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU ..... | ii        |
| TEŞEKKÜR.....                              | iii       |
| ABSTRACT.....                              | iv        |
| ÖZ .....                                   | v         |
| <br>                                       |           |
| <b>BÖLÜM BİR – GİRİŞ .....</b>             | <b>1</b>  |
| <br>                                       |           |
| 1.1 Tribometrik Sistem.....                | 2         |
| 1.2 Literatür Araştırmaları.....           | 3         |
| <br>                                       |           |
| <b>BÖLÜM İKİ – SÜRTÜNME.....</b>           | <b>5</b>  |
| <br>                                       |           |
| 2.1 Sürtünme .....                         | 5         |
| 2.2 Sürtünmenin Sınıflandırılması .....    | 8         |
| 2.3 Kuru Sürtünme .....                    | 9         |
| 2.4 Sınır Sürtünmesi .....                 | 11        |
| 2.5 Sıvı Sürtünme .....                    | 13        |
| 2.6 Kayma Sürtünmesi .....                 | 14        |
| 2.7 Yuvarlanma Sürtünmesi .....            | 14        |
| <br>                                       |           |
| <b>BÖLÜM ÜÇ – AŞINMA.....</b>              | <b>16</b> |

|                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.1 Zamanla Gelişen Aşınma .....                             | 17        |
| 3.2 Aniden Meydana Gelen Aşınma .....                        | 17        |
| 3.3 Aşınma Sorunlarına Giriş.....                            | 18        |
| 3.4 Aşınmaya Etki Eden Faktörler .....                       | 18        |
| 3.5 Aşınma Mekanizmaları .....                               | 19        |
| 3.6 Genel Aşınma Türleri.....                                | 20        |
| 3.6.1 Abrasif Aşınma.....                                    | 21        |
| 3.6.2 Adesif Aşınma .....                                    | 22        |
| 3.6.3Yorulma Aşınması .....                                  | 24        |
| 3.6.4 Korozyon Aşınması .....                                | 26        |
| <br><b>BÖLÜM DÖRT - ABRASİF AŞINMANIN GENEL TANIMI .....</b> | <b>28</b> |
| <br>4.1 Abrasif Aşınma Durumları.....                        | 30        |
| 4.1.1 İki Cisimli Abrasif Aşınma .....                       | 30        |
| 4.1.2 Üç Cisimli Abrasif Aşınma .....                        | 30        |
| 4.2 Abrasif Aşınma Mekanizmaları .....                       | 31        |
| 4.2.1 Oymalı Abrasif Aşınma.....                             | 31        |
| 4.2.2 Yüksek Gerilimli Abrasif Aşınma .....                  | 32        |
| 4.2.3 Düşük Gerilimli Abrasif Aşınma (Erozif Aşınma) .....   | 33        |
| 4.2.3.1 Kesme. ....                                          | 33        |
| 4.2.3.2 Pulluklama. ....                                     | 34        |
| 4.2.3.3. Yorulma. ....                                       | 34        |
| 4.2.2.4 Abrasif Aşınma Analizi .....                         | 35        |
| 4.2.2.5 Abrasif Aşınma Direnci ve Sertlik Oranı .....        | 36        |

## **BÖLÜM BEŞ - DOLGU KAYNAĞI İLE AŞINMANIN AZALTMASI.....38**

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| 5.1 Dolgu Kaynağı .....                                            | 38 |
| 5.2 Sert Dolgu İçin Ana Metaller .....                             | 40 |
| 5.2.1 Karbonlu ve Düşük Alaşımli Çelikler .....                    | 40 |
| 5.2.2 Manganlı Östenitik Çelikler .....                            | 40 |
| 5.3 Sert Dolgu Alaşımlarının Sınıflandırılması .....               | 41 |
| 5.4 Sert Dolgunun Sahip olduğu Yapıya Göre Sınıflandırılması ..... | 45 |
| 5.4.1. Ferritik Sert Dolgu Alaşımlar .....                         | 47 |
| 5.4.2. Östenitik Sert Dolgu Alaşımları .....                       | 47 |
| 5.4.3 Martenzitik Sert Dolgu Alaşımları .....                      | 48 |
| 5.4.4. Karbürlü Sert Dolgu Alaşımları .....                        | 49 |

## **BÖLÜM ALTI – ASTM G65-KURU KUM /KAUÇUK DİSK KULLANILARAK ABRAZYON ÖLÇÜMÜ İÇİN STANDART TEST YÖNTEMİ .....51**

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| 6.1 G65 Kuru Kum/Kauçuk Disk Testi ..... | 51 |
| 6.2 Deneyin Kullanım Alanları .....      | 52 |
| 6.3 Aparatlar ve Malzeme .....           | 53 |

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.3.1 Kauçuk Disk .....                                                    | 53 |
| 6.3.2 Abrasif Aşındırma .....                                              | 56 |
| 6.3.3 Aşındırıcı Nozulu .....                                              | 56 |
| 6.3.4 Motor Tahriği .....                                                  | 56 |
| 6.3.5 Disk Devir Sayacı.....                                               | 57 |
| 6.3.6. Numune Tutucu ve Denge Kolu.....                                    | 57 |
| 6.4 Numune Hazırlama .....                                                 | 57 |
| 6.4.1 Malzeme.....                                                         | 57 |
| 6.4.2 Genel Numune Boyutları.....                                          | 57 |
| 6.4.3 Dolgu Kaynağı yapılmış Numuneler.....                                | 57 |
| 6.4.4 Son İşlem.....                                                       | 58 |
| 6.5 Test Parametreleri .....                                               | 58 |
| 6.5.1 Test Süresi .....                                                    | 58 |
| 6.5.2 Aşındırıcı Akış Miktarı .....                                        | 59 |
| 6.5.3 Doğrusal Abrazyon.....                                               | 59 |
| 6.6 İşlemler.....                                                          | 59 |
| 6.6.1 Temizleme .....                                                      | 59 |
| 6.6.2. Ölçme .....                                                         | 60 |
| 6.7. Testin Başlama Sıralaması .....                                       | 60 |
| 6.7.1 Bekleme Süresi.....                                                  | 60 |
| 6.7.2 Aşınma İzi .....                                                     | 60 |
| 6.7.3 Kauçuk Diskin Hazırlanması ve Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar ..... | 61 |
| 6.8 Testin Sonlandırma .....                                               | 61 |
| 6.9 Hesaplama ve Sonuçları Rapor Etme.....                                 | 62 |
| 6.9.1 Abrasif Aşınma Test Sonuçları .....                                  | 62 |

|                                                          |           |
|----------------------------------------------------------|-----------|
| 6.9.2 Kauçuk Diskin Hacim Kaybı Yaklaşımı .....          | 62        |
| 6.10 Hassasiyet ve Eğilim .....                          | 62        |
| <b>BÖLÜM YEDİ- DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....</b>             | <b>63</b> |
| 7.1 Numune Hazırlama .....                               | 63        |
| 7.2 Numunelerin Kaynak Parametreleri.....                | 64        |
| 7.3 Deneyde Kullanılan Aşındırıcılar .....               | 64        |
| 7.4 Numunelerin Metalografik Muayene .....               | 67        |
| 7.5 XRD Analizi .....                                    | 67        |
| 7.6 Sertlik Ölçümü .....                                 | 68        |
| 7.7 Aşınma G65 Testi.....                                | 68        |
| <b>BÖLÜM SEKİZ - SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME .....</b>     | <b>70</b> |
| 8.1 Metalografi Muayene Sonuçları.....                   | 70        |
| 8.1.1 Fazer 55 İç Yapı Fotoğrafları .....                | 70        |
| 8.1.2 Thermo Dur İç Yapı Fotoğrafları .....              | 72        |
| 8.1.3 Unibase 660 İç Yapı Fotoğrafları .....             | 72        |
| 8.1.4 Fazer 63 İç Yapı Fotoğrafları .....                | 73        |
| 8.1.5 Fazer 65 İç Yapı Fotoğrafları .....                | 74        |
| 8.2 Sertlik Sonuçları ve Grafikleri .....                | 74        |
| 8.3 Abrasif Aşınma Test Sonuçları .....                  | 78        |
| 8.3.1 Farin Tozu Kullanarak Elde Edilen Sonuçlar .....   | 78        |
| 8.3.2 Klinker Tozu Kullanarak Elde Edilen Sonuçlar ..... | 82        |

|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| 8.4 XRD Analizi Sonuçları .....     | 86        |
| <b>BÖLÜM DOKUZ – SONUÇLAR .....</b> | <b>89</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>              | <b>94</b> |

## **BÖLÜM BİR**

### **GİRİŞ**

Bir işletmedeki üretimde en önemli konu, belirlenmiş zaman içerisinde gereken üretim miktarının gerçekleştirilmesidir. Bu da üretimde kullanılan makine ve tesislerin aksamadan ve arıza göstermeden çalışabilme durumlarına bağlıdır. Teknoloji ve sanayi gelişmesine bağlı olarak makina mühendisliğinin ilerlemesi, gelişmesi, uygulamalı yöntemlerin gereklilikleri, yeni araştırma alanlarına yol açmıştır. Başlangıçta makine tasarımı, birbirine göre hareket halinde olan makine parçalarının kinematik analizi üzerine kurulmuştur. Mukavemet hesapları gereksinimi, yüksek güçlü makineler gereksinimi duyulmaya başlayınca, ortaya çıkmıştır. Son yıllarda, makine hasarlarını azaltmak ve ekonomik açıdan daha yüksek verime sahip olmak için makine tasarımının bir üçüncü konusunun gelişmesine tanık olunmaktadır. Bu yeni konu, triboloji olarak adlandırılmaktadır.

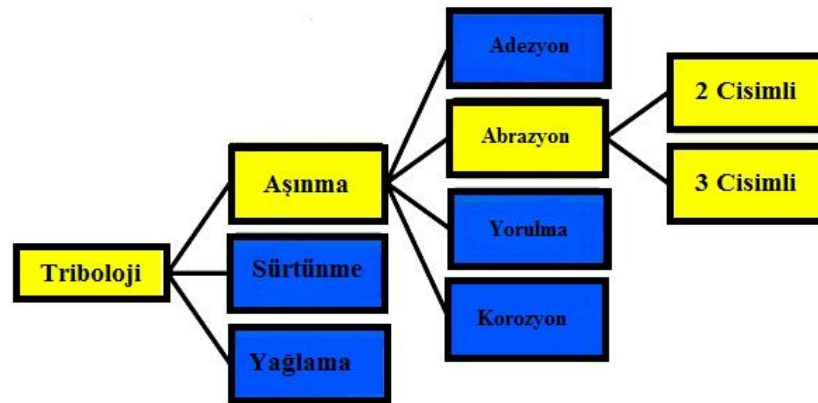
Triboloji, yüzey ve yüzeye bağlı olarak hareket arasındaki etkileşimi inceleyen bilimdir. (Kobrick, 2010). Fizik, kimya, makina mühendisliği ve malzeme bilimi gibi farklı alanları içerir (Bhushan, 2000). 21. yüzyılda yüzey mühendisliği olarak bilinen makine parçalarının yüzey araştırmasının en önemli konusu triboloji olarak bilinen bir bilim temelinden oluşmuştur. Triboloji genel olarak bir veya daha fazla parçanın yüzeylerinin temas halinde, bir süre içinde ve bir düzen konumundayken, elementlerin fiziksel, kimyasal, malzeme ve mekanik özelliklerinden etkilenmesidir. (Bhushan, 2000). Genelde bütün mekanik parçalarda temas halinde olan iki veya daha fazla cismin birbirine göre relatif hareketli elemanlarının temas yüzeyleri arasında sınırlı olarak sürtünme kuvvetinin etkisi ve buna bağlı olarak sıcaklığının artmasıyla enerji kaybı ortaya çıkarır. Bu olayların etkisini azaltmak için alınması gereken tedbirlerin başında yağlama gelir. Triboloji; sürtünme, aşınma, yağlama konularını ve bunlara bağlı olan olayları inceleyen bilim dalıdır (Akkurt, M., 1986).

ASTM 1997'ye göre triboloji, iki önemli parametresi olan aşınma ve sürtünmeyi optimize eder. Bunlara bağlı olarak malzeme seçiminin iyi yapılması ve malzemelerin aşınmaya dayanımının artması ve bunların çeşitli sanayi ve teknolojik

alanlarda uygulanması maliyetin azalması açısından önemli bir rol oynar. (Kobrick, 2010).

### 1.1 Tribometrik Sistem

Triboloji analizinde tribometrik sistemin anlamını, parametrelerini ve ona etki eden faktörleri bilmemiz gerekir. ASTM 2007'ye göre bu faktörler 2 ana kategoriye (yakın faktörler ve uzak faktörler) ayrılır (Şekil 1.1). (Kobrick, 2010) Grup A malzemenin kimyasal, fiziksel, mekanik, geometrik ve iç yapı özelliklerini kapsar ve Grup B, parametreler kapsamında aşınan malzemelerin, çevresel ilişkilerini ve sürtünme sırasında oluşan ara yüzeyleri içerir. Bu parametreler dinamik yük, sıcaklık, hız ve aşınmanın süresini içermektedir. Bir tribometrik sistemin analizini yapabilmek için aşınma ve sürtünmeyi araştırmamız gerekir.



Şekil 1.1 Tribolojik sistemin gösterimi (Kobrick, 2010)

Aşınma probleminin çözümü ile uğraşan bir bilim dalı olan triboloji ilk defa 1966 yılında İngiltere hükümet komitesi tarafından ele alınmıştır. Komite, İngiltere endüstrisinde triboloji prensiplerinin esaslı bir biçimde uygulanması sonucunda elde edilecek tasarrufun araştırmasını yapmıştır. 1966'da Peter Jos araştırmalarında maliyetlerdeki artışı dikkate alarak tribolojik dizayn ile elde edilen tasarrufun yıllık

£515 milyonu bulunduğunu göstermiştir. Ayrıca araştırmalar Almanya ve Amerika'da da aynı durumu göstermektedir. (Stachowiak, ve diğer. 1993) Bu araştırmalara dayanarak aşınmanın bilinmesi ve önlemesi için gerekli tedbirlerin alınması, hızla artan nüfusun ihtiyaçlarını sınırlı olan doğal kaynakların ekonomik bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır.

## 1.2 Literatür Araştırmaları

DIN 50320' ye göre aşınma; “kullanılan malzemelerin başka malzemelerle ( katı, sıvı, gaz) teması neticesinde mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların ayrılması sonucu meydana gelen istenmeyen yüzey bozulması” şeklinde tanımlanmaktadır. Aşınma ve sürtünme deneyleri Society of Automotive Engineers (SAE), American Society for Testing and Materials (ASTM) kuruluşları ile ISO ve DIN standartları tarafından standartlaştırılmıştır (Ludema, 1996). Bu tez çalışmalarında abrasif aşınmanın deneysel testleri ASTM G65 standartlarına göre yapılmıştır. Ayrıca aşınma teorileri ve mekanizmalarının araştırılmasında MODERN TRIBOLOGY HANDBOOK Volume 1 (Bhushan. 2000) ve ENGINEERING TRIBOLOGY (Stachowiak, ve diğer. 1993) ve The Materials Information Society (ASM) Volume 8 (OECD, 1969) referans olarak kullanılmıştır.

Scholl “Fe-Mo-Ni-Si ve Fe-Mo-Ni-Si-C den oluşan yüzey sertleştirme alaşımlarında metallerinin aşınma ve kuru sürtünme aşınma dayanımları” isimli çalışmasında ark kaynağını kullanarak yüzeyi sert dolgu ile kaplanmış alaşımları aşınma ve kuru sürtünme testine tabi tutmuştur. School numunelerin iç yapıları ve sertlik değerleri ile bağlantılı olarak aşınma davranışlarını araştırmıştır. Farklı oranlarda Fe-Mo-Ni-Si ve Fe-Mo-Ni-Si-C alaşımlarını malzeme yüzeylerine uygulayarak numuneler hazırlamış ve aşınma testlerini abrasif aşınma test cihazında 100 m kayma mesafesi, 882 N yüklemde ve 170-930 mm/s kayma hızında gerçekleştirmiştir. Deney sonuçlarına göre abrasif aşınma direncinin sertlik artışıyla, arttığını gözlemlemiştir (Scholl ve diğer,1999).

Pal, “Çeşitli sert dolgu kaynak dolgusu ile kaplanmış dökme demir numunelerinin aşınma davranışlarının incelenmesi” isimli çalışmasında, ASTM G65'e göre abrasif

aşınma dirençlerinin analizinde C, Cr, Mo ve W elementlerinin aşınmaya etkilerini araştırmıştır. Dolgu mikro yapısının ve matristeki karbürlerin sertlik değerlerinin aşınma direncine olan etkilerini araştırmıştır (Pal, 2003).

Yang ve arkadaşları yaptıkları deneylerde, sert dolgu alaşımına azot eklenmesi ile oluşan karbonitrit ( $\text{Fe-Cr}_{13}\text{-Mn-N}$ ) fazının oluştuğu ve bu fazın dolgu aşınma direncini arttırdığını gözlemlemişlerdir. Çalışmalarında ayrıca ısıtılma işlemi tabii tutulmuş numuneler ile ısıtılma işlemi tabii tutulmamış numuneleri karşılaştırdıklarında; ısıtılma işlemi tabii tutulmuş numunelerde sertlik ve aşınma direncinin arttığını tespit etmişlerdir (Yang ve diğeri, 2008).

Toro ve arkadaşları yaptıkları aşınma deneyi çalışmalarında elde ettikleri sert dolguların iç yapılarını incelemişlerdir. Çalışmalarında farklı alaşımlı üç numuneyi tek paso, iki paso ve üç paso olarak hazırlamışlardır. ASTM G65 kuru kum aşınma testi sonuçlarına göre üç pasolu, kompleks karbürli elektrotla kaynaklanan, numunenin daha yüksek aşınma direncine sahip olduğunu tespit edilmişlerdir. Ayrıca kaynak pasolarının malzemenin iç yapısını etkilemesi ile sertlik değerlerinin ve aşınma dirençlerinin etkilendiğini göstermişlerdir (Toro ve diğeri, 2005).

Toro ve arkadaşlarının çalışmalarına benzer başka bir çalışmada ise Wang ve arkadaşları Fe-Ti-V-Mo-C sert dolgu alaşımlı olan numunenin aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Deneylerde abrasif aşınma testleri için blok-bilezik aşınma testi cihazını (block-on-ring) kullanmışlardır. Karbürlerin matrislere dağılmasının sertlik ve aşınma direncini arttırdığını, matristeki Fe-Ti ve Fe-V ve Fe-Mo oranının 8-10% ve 12-15% arasında olmasının iyi bir sertlik ve aşınma direnci oluşturduğunu tespit etmişlerdir (Wang ve diğeri, 2008).

## **BÖLÜM İKİ**

### **SÜRTÜNME**

Sürtünme ve aşınma mekanizmalarını anlamak için, yüzey temas teorilerini bilmek gerekmektedir. Yüzeylerin pürüzlülüğü ve yüzeylerde mikro ve nano ebatlarda oluşan temaslar, aşınma teorilerinin analizi açısından önemlidir.

#### **2.1 Sürtünme**

Genel anlamda sürtünme, temas halinde olan ve birbirine göre bağlı hareket yapan elemanlar arasında harekete karşı ortaya çıkan direnç olarak tanımlanır. Sürtünmenin sayısal değeri bazı durumlarda çok küçük olsa dahi pratikte daima mevcuttur. Sürtünme harekete karşı olan bir dirençtir (Kobrick, 2010). Birbirlerine temas eden hareketli parçalar arasında kayma, yuvarlanma veya kayma-yuvarlanma durumları mevcut olabilir. Böylece sürtünme kinematik bakımdan kayma, yuvarlanma veya kayma-yuvarlanma sürtünmesi şeklinde olur.

Sürtünme kuvveti ile bilinen ilk çalışma (1452-1519) Leonardo da Vinci'ye aittir. Da Vinci'ye göre sürtünme katsayısı sürtünme kuvvetinin normal kuvvete olan oranına eşittir (Stachowiak, ve diğer., 1993).

Triboloji araştırma dalının esası, temas alanlarında sürtünme oluşturan, izafi hareket halinde bulunan katı cisimlerin karşılıklı temas etkisinin sonucudur. Sürtünme kuvvetleri sadece makinelerin faydalı gücünü azaltmakla kalmayıp, birlikte çalışan parçaların boyutlarında değişim meydana getirmektedir ki bu da, makinelerin hassasiyetini bozmaktadır. Olumsuz koşullar altında sürtünen yüzeylerin hasar görmesiyle malzemede deformasyon, iç gerilmeler ve çatlaklar oluşur. Dolayısıyla makine çalışamaz hale gelerek makine elemanlarının “sarma”sı olayı gerçekleşmektedir (Oğuz,1993).

Triboloji biliminin ana konusu, bağlı hareket halinde olan iki yüzeyin etkileşimi esnasında ortaya çıkan sürtünme, aşınma ve bunların etkilerinin azaltılmasına yardımcı olan yağlama ve mühendislik malzemeleridir. Her makinede birbirleriyle sürtünerek iş gören birçok parça bulunmaktadır (Örneğin dişliler, rulmanlar, kamlar,

miller, pistonlar, teker lastikleri, fren balataları). Tüm bu örneklerde iki yüzey birbirleriyle etkileşim halindedir ve birbirine göre bağıl hareket etmektedir (Babalık, 2000; Stachowiak ve diğer., 2001).

Sürtünmede, sürtünme kuvvetini, cinsini, çeşitlerini ve sürtünmenin dağılma tarzını bilmek önemlidir (Bhushan, 2000).

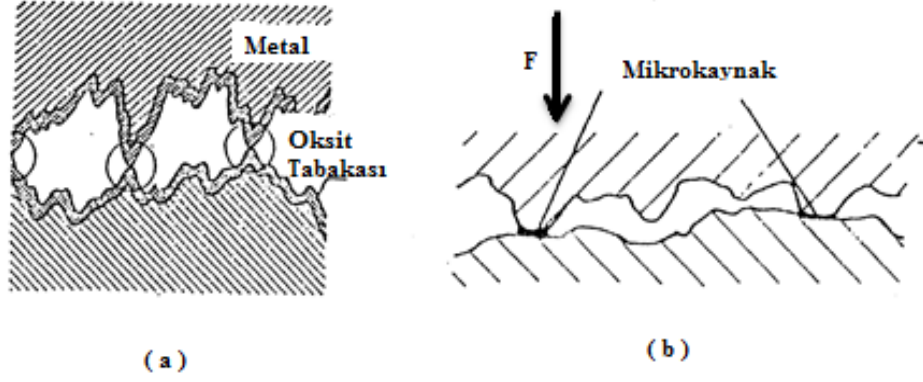
Sürtünme olayını açıklamaya çalışan birçok teori vardır. Bunlardan gerçeğe en yakın olanı Bowden ve Tabor'un kaynak bağları teorisidir. Bowden ve Tabor sürtünme kuvvetini klasik olarak 3 temel başlık altında ifade etmişlerdir (Bhushan, 2000).

1-Sürtünme kuvveti belli temas ortamına bağlı değildir.

2-Sürtünme kuvveti, normal yük ile orantılıdır.

3-Kinetik sürtünme kuvveti hıza bağlı değildir ve statik sürtünme kuvvetinden azdır

Yüksüz durumda yüzeyler belirli pürüzlülük noktalarında temasta bulunur (Şekil 2.1.a); bu noktalardaki tabii tabakalar arasında bağlar oluşur. Yük tatbik edildikten sonra çok küçük olan temas yüzeylerinde çok büyük basınçlar meydana gelir. Bu basınçların altında bazı temas noktalarındaki tabii tabakalar kopar, metalik temaslar ortaya çıkar ve yüksek basıncın etkisi altında bu noktalarda moleküler bağ şeklinde mikroskobik kaynak bağları oluşur. Bu bağlar, tabii tabaka bağlantısından çok daha kuvvetlidir. Temasta bulunan elemanların izafi hareketi ancak bu bağların kopması ile mümkündür. O halde sürtünme gerek metalik, gerekse tabii tabaka bağlarının oluşturduğu dirençtir. Sürtünme kuvveti ise bu bağların kopması için gereken kuvvettir (Şekil 2.1.b).



Şekil 2.1 Yüke bağlı yüzey temasları (a) Yüksüz halde pürüzlü yüzeylerin teması, (b) Yüklü halde yüzeylerin teması

Yukarıdaki teoriye göre sürtünme katsayısını analitik olarak ifade etmek mümkündür. Buna göre yükü taşıyan temas alanında “ $A_g$ ” oluşan metalik bağların yüzdesi “ $\alpha$ ”, bunların kesme mukavemeti “ $\tau_{km}$ ”, tabii tabakalar arasındaki bağların kayma mukavemeti “ $\tau_{ko}$ ” ve tabakanın kopma mukavemeti “ $\sigma_{ko}$ ” ifade edilirse, sürtünme katsayısı Bowden ve Tabor’a göre;

$$\mu = \frac{F_s}{F_n} = \alpha \frac{\tau_{km}}{\sigma_{ko}} + (1-\alpha) \frac{\tau_{ko}}{\sigma_{ko}} \quad (2.1)$$

olarak bulunur. Gerçek temas alanı tamamen metalik temas noktalarından meydana geldiği durumda  $\alpha=1$  olur ve böylece

$$\mu = \tau_{km} / \sigma_{ko} \quad (2.2)$$

yazılır. Diğer taraftan sadece tabii tabaka bağları olduğu halde  $\alpha=0$  olur ve sürtünme katsayısı için;

$$\mu = \tau_{ko} / \sigma_{ko} \quad (2.3)$$

olarak elde edilir.  $\alpha, \tau_{ko}, \sigma_{ko}$  değerlerinin tayini çok güç olduğundan pratikte yukarıdaki bağlantıların kullanılması olanaksız gibi görünür. Buna rağmen bu bağıntılardan şu sonuçları çıkarmak mümkündür:

- a. Sürtünme katsayısı, metal kaynak bağ teşkil etmiş olan temas noktalarının kesme mukavemetine “ $\tau_{km}$ ”, tabakanın kopma mukavemetine “ $\sigma_{ko}$ ” ve tabii tabaka bağlarının kayma mukavemetine “ $\tau_{ko}$ ” bağlıdır.

- b. Metal kaynak bağı teşkil eden temas noktalarının kesme mukavemeti “ $\tau_{km}$ ”, temas halindeki malzemelerin cinsine bağlıdır. Bu bakımdan birbirleriyle kolayca alaşım haline gelebilen demir, krom ve nikel gibi sert malzemeler arasında kuvvetli kaynak bağları oluşmaktadır. Sürtünme katsayısı düzensiz olarak değişmekte, yüzeyler üzerinde izler ve bir yüzeyden diğerine malzeme transferi görülmektedir. Bazı hallerde kaynama noktaları o kadar şiddetli olur ki, yüzeyler birbirine kilitlenir, hareket sağlansa bile yüzeyler oluşan kilitlenme (kaynama) nedeniyle tamamen bozulmuş olur. Buna yenme (yenim, yalama) denir. Bu olay yukarıdaki malzemelerin alaşımları için de geçerlidir.

Kaymanın başladığı andaki kuvvet “ $F_s$ ” ‘nin temas yüzeyindeki normal kuvvet “ $F_N$ ” ye bağlı olarak aşağıdaki şekilde ifadeyle verilir (Eryürek, 1993).

$$F_s = \mu_s \cdot P \quad (2.4)$$

Burada  $\mu_s$  statik sürtünme katsayısıdır. Kayma başladıktan sonra sürtünme kuvveti hafifçe azalır ve aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.

$$F_k = \mu_k \cdot p \quad (2.5)$$

Buradaki  $\mu_k$  kinetik sürtünme katsayısı olup değeri  $\mu_s$  den küçüktür.

## 2.2 Sürtünmenin Sınıflandırılması

Sürtünmenin sınıflandırılması, yüzeylerin yağlama durumuna (yüzeysel şartlara) ve bağlı hareketine (dinamik şartlara) göre yapılmaktadır.

### *Yağlama Durumuna Göre*

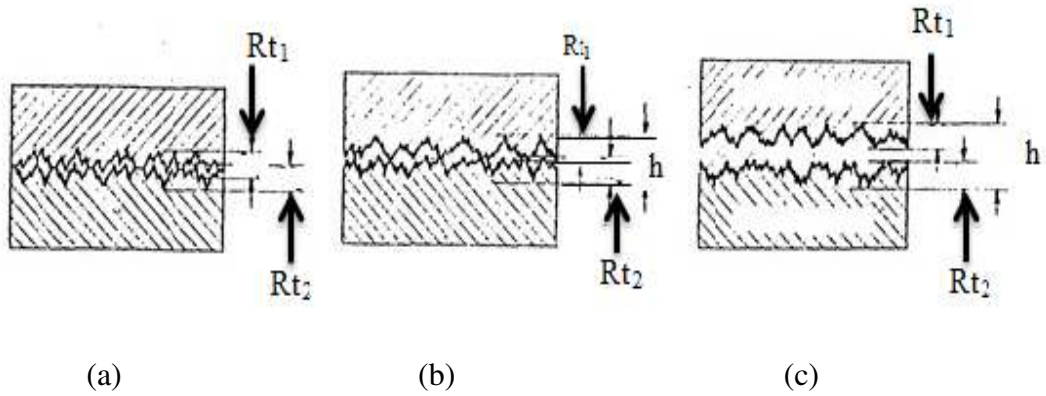
- Katı cisim sürtünmesi
- Sıvı cisim sürtünmesi
- Katı yağlı sürtünme
- Gaz sürtünmesi
- Sınır sürtünmesi
- Tüm şartların beraber görülebildiği sürtünme

### *Bağıl Hareketlere Göre*

- Kaymalı sürtünme

- Yuvarlanmalı sürtünme
- Kaymalı-yuvarlanmalı sürtünme

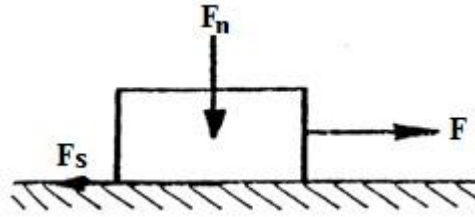
İzafi hareket yapan yüzeyler arasında bir yağlayıcı madde konulması veya konulmaması bakımından sürtünme olayı kuru, sınır ve sıvı olmak üzere üç halde incelenir. Genel anlamda kuru sürtünme birbirine göre izafi harekette bulunan ve doğrudan doğruya temasta bulunan iki yüzey arasında oluşan sürtünmedir (Şekil 2.2.a). Yüzeyler arasında bir yağlayıcı madde konulması halinde iki durum ortaya çıkabilir ve esas sürtünme yağlayıcı maddenin tabakaları arasında oluşur. Bu duruma sıvı sürtünmesi denir (Şekil 2.2.c). İkinci durumda, yani yüzeylerin tamamıyla ayrılmadığı durumda, sınır sürtünmesi hali vardır (Şekil 2.2.b).



Şekil 2.2 Sürtünme Çeşitleri (a) Kuru, (b) Sınır , (c) Sıvı

### 2.3 Kuru Sürtünme

Pratikte sürtünme denilince akla gelen bu sürtünmedir. Aşınma, enerji kaybı ve sıcaklık yükselişi gibi olaylar kuru sürtünme sonucu oluşmaktadır. Fiziksel anlamda kuru sürtünme sadece vakum ortamında mevcuttur. Kuru sürtünme olayı incelenirken temas yüzeylerinin pürüzlü oldukları ve tam olarak temiz olmadıkları dikkate alınmaktadır. Teorik olarak birbirine göre bağıl hareket yapan iki elemanın yüzeyleri arasında oluşan kuru sürtünme Şekil 2.5' de ifade edilmektedir.



Şekil 2.3 İzaflı hareket eden yüzeyler arasındaki teorik kuru sürtünmenin şematik gösterimi

$$\mu = F_s / F_n \quad (2.6)$$

$$F_s = \mu \cdot F_n \quad (2.7)$$

$F_n$  = Normal Kuvvet

$F_T$  = Teğetsel Kuvvet

$F_s$  = Sürtünme Kuvveti

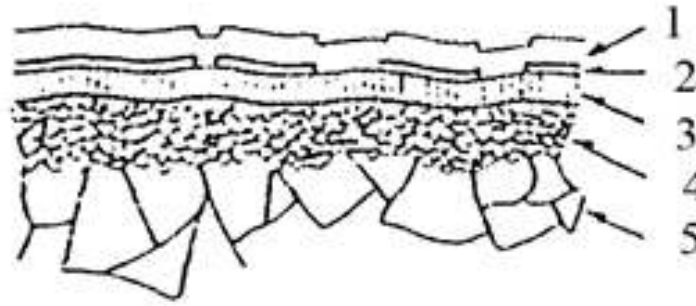
$\mu$  = Sürtünme Katsayısı

Şekil 2.3’de cisimlerin herhangi birine teğetsel kuvvet uygulanırsa iki durum ortaya çıkar:

1. Cisimlerden herhangi birine uygulanan teğetsel kuvvet, sürtünme kuvvetine eşit ve zıt yönlü ise cisimler birbirini üzerinde kaymazlar. Bu durumda hareket olanağı mevcut olmadığından yüzeyler arasında statik sürtünme adı verilen bir direnç oluşur.
2. Cisimlerden herhangi birine uygulanan teğetsel kuvvet, sürtünme kuvvetinden büyük ve zıt yönlü ise cisimler birbirini üzerinde kayarlar. Aşınma ve enerji kaybı bu tür sürtünme durumlarında meydana gelir.

Temas halindeki yüzeylerin arasında çevresel koşulların etkisiyle oksit, yağ, su buharı, pislik vs. gibi yüzey tabakaları bulunur. Absorpsiyon yolu ile oluşan bu tabakalar metal yüzeylere kuvvetli bir şekilde bağlanmakta ve sadece etkin fiziksel

ve kimyasal yöntemlerle temizlenebilmektedir. Bu olaylar sonucunda sürtünme mekanizması Şekil 2.4' de gösterildiği gibi yük uygulanmadan önce temas halindeki tabakalar arasında bir bağlantı oluşturur. Bu tabakaların izafi hareketi sonucu yırtılmadan kaynaklanan metal-metal teması oluşur. Bu temas bölgelerinde soğuk kaynama olayı meydana gelir. Sürtünme esnasında bu kaynama noktaları ya hareketi engeller ya da yüzeylerden parçalar kopararak yırtılmasına ve dolayısıyla makine parçalarının aşınarak kullanılmaz hale gelmesine neden olur. Bu duruma göre sürtünme metal kaynak bağları ile çeşitli kimyasal bileşikleri içeren tabakalar arasındaki bağların oluşturduğu dirençtir (Burhan, 1994).



Şekil 2.4 Kuru sürtünme halinde yüzeylerin durumu

1. Pislik tabakası 2. Absorbsiyon tabakası 3. Oksit tabakası
4. (Soğuk) Şekillendirilmiş tabaka 5. Metal içi

## 2.4 Sınır Sürtünmesi

Yüzeyler arasında bulunan yağlayıcı maddeye rağmen sıvı sürtünmesi hali oluşturulamadığı durumda sınır sürtünmesi hali ortaya çıkar. Pratikte en çok rastlanan bu sürtünme halinde sürtünme katsayısı genel olarak 0,02 ile 0,1 arasında değişir.

Yüzeyler arasına bir yağlayıcı madde verilmesi halinde yağlayıcı maddenin molekülleri, absorpsiyon olayının sonucu olarak metal yüzeylere düzgün ve homojen şekilde yapışırlar. Yapılan deneyler göstermiştir ki, polar karbonlu hidrojenlerin molekülleri aktif karboksil grupları ile metal yüzeylere bağlanmaktadır (Şekil 2.5).

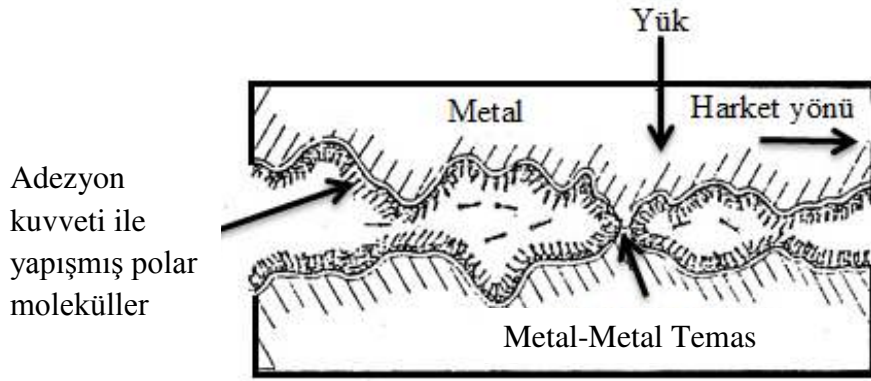
Böylece yüzeyler üzerinde birkaç molekül tabakası kalınlığında absorpsiyon tabakaları oluşmaktadır.

Yağın bu özelliğine yapışma kabiliyeti denir. Bu özellik yağ ve metal yüzeylerin karşılıklı etkilerine bağlıdır. Oluşan bu tabaka, tabii tabakalarda olduğu gibi, metalik yüzeylerde de doğrudan doğruya teması önler. Ancak yağ tabakası ile tabii tabaka arasında önemli bir fark vardır. Havanın etkisi ile oluşan tabii tabakanın esası oksit tabakasıdır, oksit tabakasında tesadüfen bulunan yağ molekülleri çok azdır. Yağ tabakası ise tamamen yağ moleküllerinden oluşur ve özelliğini sürtünen yüzeyleri yağlamak amacıyla yüzeyler arasına verilen yağ maddesinden alır. Yağ tabakasının tabii tabakaya göre kopma mukavemeti çok daha büyüktür. Dolayısıyla doğrudan doğruya metal-metal şeklinde temasta olan yüzeyler daha azdır. Yapışmış yağ tabakasının kopma mukavemeti “ $\sigma_{kf}$ ” ve kayma mukavemeti “ $T_{kf}$ ” ile ifade edilirse, (2.8) denklemi burada geçerlidir. İyi bir yağlama sisteminde  $a$  çok küçük olduğundan sürtünme katsayısı;

$$\mu \approx T_{kf} / \sigma_{kf} \quad (2.8)$$

olarak bulunur. Burada önemli olan yağ tabakasının kopma ve kayma mukavemetleridir. Adi yağların oluşturduğu yağ tabakasının kopma mukavemetini arttırmak ya da kayma mukavemetini azaltmak için yağlara katık (aditif) denilen bir takım ek maddeler konulur.

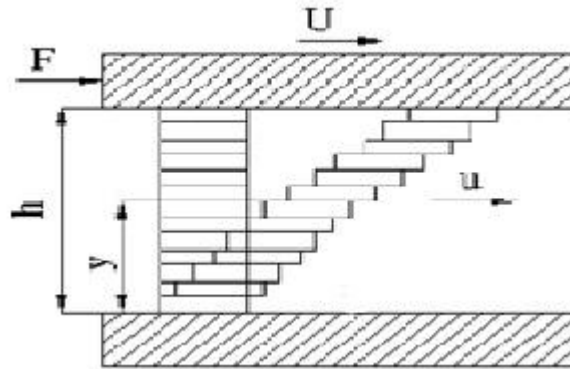
Genellikle organik yağlardan oluşan katık maddeler yağ içerisine çok az miktarda konulur. Bu maddeler metalsel yüzeylerle kimyasal reaksiyona girerler ve yüzeyler arasında, kopma mukavemeti yüksek olan yarı sıvı halinde metalik sabunlar meydana getirirler. Böylece sınır sürtünme; sadece adsorpsiyon tabakalarından oluşan, fiziksel veya kimyasal reaksiyon sonucu meydana gelen tabakalardan oluşan kimyasal esasına dayanabilir. Pratikte kuru sürtünmede olduğu gibi sınır sürtünme şartları altında çalışan sistemlerin sürtünme katsayıları da deney ile tayin edilir.



Şekil 2.5 Sınır Sürtünmesi

## 2.5 Sıvı Sürtünme

Sıvı sürtünme, metal yüzeylerin bir yağ tabakası tarafından tamamen ayrılmış olduğu sürtünme halidir. Metal yüzeyler ile doğrudan doğruya temasta bulunan yağ tabakalarının, adezyon yolu ile malzemelere tamamen yapışmış olduğu görülür. Şöyle ki;  $U$  hızıyla hareket eden yüzeye yapışmış olan tabakanın hızı  $U$ , sabit yüzey üzerindeki tabakanın hızı ise sıfırdır. Ara tabakanın hızı  $y$  mesafesine bağlı olarak  $U$  ile sıfır arasında değişir. Böylece sıvı sürtünme durumunda, sürtünme birbiri üzerinde kayan yağ tabakaları arasında oluşmaktadır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Sıvı sürtünme (Kobrick, 2010)

Sıvı sürtünmenin oluşumunda rol oynayan esas etken yağ tabakasında meydana gelen basınçtır. Basınç durumu hidrodinamik ve hidrostatik olmak üzere iki duruma bağlıdır.

Hidrostatik sıvı sürtünme halinde, dış kuvvetin dengelenmesi ve yüzeylerin birbirinden ayrılması için gereken basınç bir pompa vasıtasıyla sağlanır ve yağ basınç ile yüzeyler arasına gönderilir. İzafi hareket yapan bütün sistemlerde yüzeylerin kinematik ve geometrik şartlarına bağlı olmaksızın statik sıvı sürtünmesi sağlanabilir.

Hidrodinamik sıvı sürtünmesinde yüzeylerin kinematik ve geometrik şartlarına bağlı olarak yağ tabakasında kendi kendine bir basınç oluşur. Bu tür sürtünmede hareketin başlangıcında ve durma sırasında kuru ve sınır sürtünme halleri meydana gelir. Bu sürtünme hareketi sonucunda sistemlerde aşınma meydana gelir.

## 2.6 Kayma Sürtünmesi

Birbirine temas eden veya birbiri üzerinde kayan iki yüzey çok hassas işlenseler dahi gerçek temas alanı görünür temas alanının 0.01 ila 0,1'i kadardır. Gerçek temas sadece küçük pürüz tepciklerinde (çıkıntılarında) meydana gelecektir. Kayma sırasında teğetsel kuvvet arttırıldığında, temas noktalarındaki birleşmeler kaymaya başlar. Tüm birleşmelerin kesilmesi için gerekli sürtünme kuvveti, birleşmelerde malzemenin kesme gerilmesi ile orantılı olarak değişecektir.

$$F_s = A_r \cdot S \quad (2.9)$$

$F_s$ : Kesme için gerekli sürtünme kuvveti,

$A_r$ : Gerçek temas alanı,

$S$ : Malzemenin kesme gerilmesi.

## 2.7 Yuvarlanma sürtünmesi

Yuvarlanma sürtünmesi, üzerine yük gelen bir kürenin veya silindirin, düz bir kütle yüzeyi üzerinde yuvarlanması sırasında oluşur. Bu sürtünme, aşağıda gösterilen bağıntıya uygun olarak yük ile doğru orantılı ( $W$ ) ve yuvarlanma elemanın çapı ile ters orantılıdır.

$$F_r = k \cdot W / D \quad (2.10)$$

Burada;

k: Malzeme ve yüzey şartlarına bağlı sabit,

Fr: Yuvarlanma sırasında oluşan sürtünme direnci,

W: Yük,

D: Silindir veya kürenin çapı,

Yuvarlanma sürtünme katsayısı “ $\mu_T$ ” kayma sürtünmesinde olduğu gibi aynı yöntemlerle bulunur.

$$\mu_T = F_r / W \quad (2.11)$$

Genel olarak yuvarlanma sürtünme katsayısı sürtünme katsayısına göre çok düşüktür. Statik ve kinetik sürtünme katsayıları ile yaklaşık olarak aynıdır (Özsaraç, 1999).

## **BÖLÜM ÜÇ**

### **AŞINMA**

Aşınma, sürtünme halinde bulunan yüzeylerde malzemenin mekanik etkenler etkisiyle kopup ayrılmasıdır (Ludema,1996). DIN 50320’de “aşınma; malzeme yüzeylerinden, mekanik nedenlerle küçük parçacıkların ayrılması sonucu, arzu edilmeyen şekilde meydana gelen değişiklik” olarak tanımlanmaktadır. Aşınma nedeniyle yüzeyler ilk şekillerini kaybederler, parçalar arasındaki boşluklar artar ve amaçlanan fonksiyon normal şekilde yerine getirilemez. Yüzeylerin talaş kaldırarak işlenmesi, taşlanması, parlatılması vb. işlemlerin aşınma olayı olarak kabul edilmeyişinin nedeni ise bu işlemlerin istenilerek ve kontrollü yapılmasıdır. Kimyasal, termal, elektriksel ve fiziksel nedenlerle eskime veya yüzeyden büyük parçaların kırılarak ayrılması da aşınma olayı olarak düşünülmemektedir

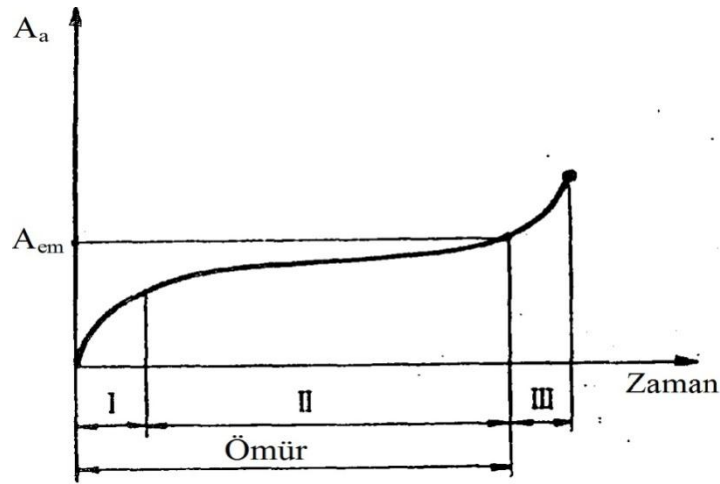
Mühendislik malzemelerinde görülen yıpranmanın aşınma sayılabilmesi için aşağıdaki şartların mevcut olması gerekir (Akkurt, 1986):

1. Mekanik bir etken olması,
2. Sürtünmenin (bağıl hareketin) olması,
3. Hareketin devamlı olması,
4. Malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi,

Aşınma pratik uygulamalarda zamanla gelişen aşınma ve aniden meydana gelen aşınma olarak iki grup altında incelenir. Şekil 3,1’de görüldüğü üzere makina elemanına ait, çalışma şartlarına bağlı olarak müsaade edilen bir aşınma sınırı ( $A_{em}$ ) belirlenirse, aşınma-zaman diyagramından makina elemanının normal çalışma zamanı (ömrü) tespit edilebilir. Parça ömrünün sonlarına doğru parça değiştirilmeli veya parçanın bakımı yapılmalıdır.

### 3.1 Zamanla Gelişen Aşınma

Zamanla gelişen aşınma Şekil 3,1’de görüldüğü üzere üç kademedeyi gerçekleştirir.



Şekil 3.1 Aşınma – Zaman bağıntısı

I. Aşama (Rodaj Safhası): Bu aşama eş çalışacak parçaların birbirine alışma safhasıdır. Bu bölümde parçaların ilk çalışması sırasında büyük bir aşınma meydana gelir. Oluşan bu aşınma daha sonra oluşacak aşınmayı büyük ölçüde etkiler. Bu sebeple parçaların rodajlarının iyi yapılması ve kısa sürede gerçekleştirilmesi, bu kısmı etkileyen en önemli unsurdur. Genellikle rodaj, yüksüz ve normal hızdan daha düşük hızlarda yapılır. Rodajın iyi ve kısa sürede gerçekleştirilmesi için bu safhada özel yağlar kullanılır.

II. Aşama: Bu aşamada aşınma çalışma sırasında temas noktalarında meydana gelir.

III. Aşama: Bu aşamada artan aşınma hızı ile şiddetli aşınma meydana gelir.

### 3.2 Aniden Meydana Gelen Aşınma

Parçaların yüzeyleri çok hızlı bir şekilde bozulur veya bazı hallerde birbirine kilitlenir ve çalışmaz duruma gelir. Genellikle eş çalışan parçaların seçiminde yapılan hatalardan veya yağlamanın yetersiz olmasından meydana gelen aşınma şeklindedir.

### 3.3 Aşınma Sorunlarına Giriş

Aşınma, en genel ifadesi ile mekanik etkileşimlerin sonucu olarak katı yüzeyden malzeme kaldırılması şeklinde tanımlanmaktadır. Aşınmayı yalnızca malzeme özelliğine bağlı değil, aynı zamanda aşınmaya yol açan etkenlerin tamamını dikkate alarak incelemek gerekir. Bir başka deyişle, aşınma sistem bütünlüğüdür (Bayer, 1994). Aşınma, sertlik veya çekme mukavemeti gibi bir malzeme özelliği değildir. Bu sistem bütünlüğüne tribolojik sistem denilmektedir. Bir aşınma olayının oluşumu için aşınma çifti diye nitelendirilen esas sürtünme elemanı ile karşı elemana, ara maddeye, yüke ve harekete gerek vardır. Sistemi meydana getiren elemanlardan esas sürtünme elemanı, aşınması incelenmek istenen elemandır. Karşı eleman ise aşındıran elemandır. Sürtünme sırasında katı, sıvı ve gaz durumunda olabilen “ara madde” bulunacaktır. Vakumsuz ortamda “çevre” devreye girecek ve sistem elemanları üçe çıkacaktır. Eğer isteyerek veya istemeyerek yağlama da söz konusu olursa sistem dört elemanlı olacaktır (TMMOB, 2003).

### 3.4 Aşınmaya Etki Eden Faktörler

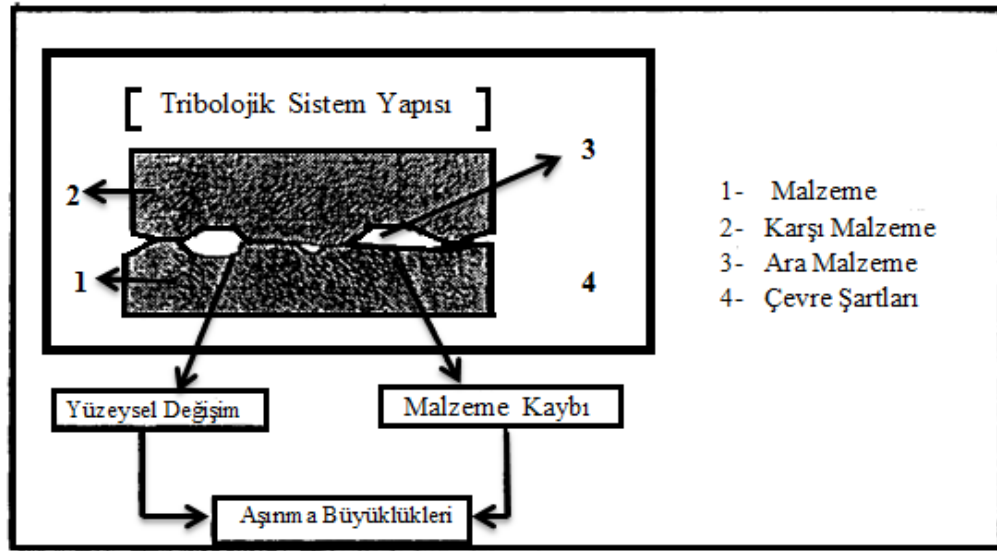
- I -Ana malzeme (aşınan),
- 2-Karşı malzeme (aşındıran),
- 3-Ara malzeme,
- 4-Yük ve
- 5-Hareket

Ayrıca sıcaklık da 6. parametre olarak bunlara ilave edilebilir. Bu parametreler iki grupta toplanabilir.

- A. Şekil ve malzeme
- B. Gerekli enerji

Aşınan parçanın, aşındıran ve ara malzeme tarafından aşındırılması olayı yani yüzey ve şekil değişikliği sürekli izlenmektedir. Aşınan ve aşındıran malzeme

beraberce “aşınma çifti” olarak tanımlanır. Aşınma çifti arasındaki “ara malzeme” sert taneli, sıvı, gaz ve buhar halinde olabilir. Aşınma parçacıkları da ara malzeme gibi etki yaparak aşınma olayına katılırlar. Aşınma çifti ile ara malzemeye birlikte “aşınma kombinasyonu” denilir. Aşınma çifti arasındaki relatif hareket aşınmanın cinsini belirler. Yük, statik, dinamik veya darbe şeklinde olabilir. Tribolojik sistemde küçük bir değişiklik aşınmayı çok şiddetli etkiler. Bu değişiklikler dinamik parametreler, çevre parametreleri veya malzeme parametreleri olabilir (Bhushan, 2000).



Şekil 3.2 Bir tribolojik sistemin şematik olarak gösterimi

### 3.5 Aşınma Mekanizmaları

Metal parçaların kullanıldığı ortamlara göre aşınma durumları şu malzeme grupları ile olmaktadır.

1. Metal – Metal
2. Metal – Ametal
3. Metal – Sıvı

Bu sınıflandırmanın, yağlamanın olduğu veya olmadığı durumlar, kayma veya yuvarlanma sürtünmesi dolayısıyla aşınma şeklinde kısımlara da ayrılması gerekir. Ayrıca şartlar değişebilir ve önceden metal – metal olan durum, metal – ametal

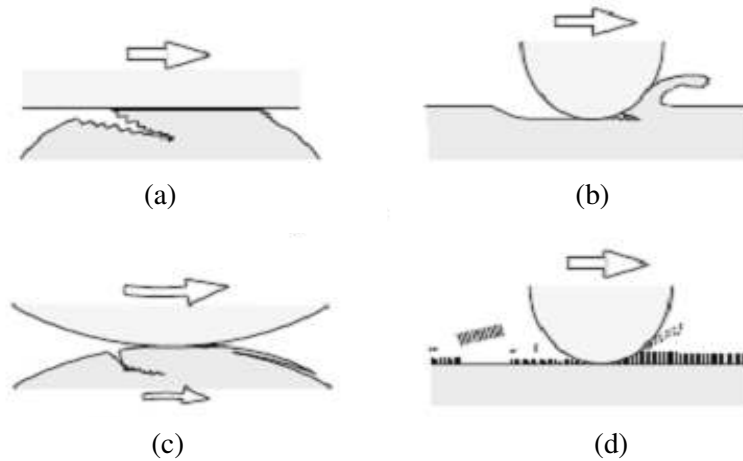
haline dönüşebilir veya başlangıçtaki yeterli olan yağlama sonradan yetersiz kalabilir. Bu nedenlerden dolayı yukarıdaki sınıflandırma gerçek mühendislik pratiğinde kullanılabilirliğini kaybedebilir ve bunun yerine yaygın olan terimlerle gruplandırma tercih edilir.

Aşınma olayına etki eden bir ya da birkaç etken değişik aşınma mekanizmalarını ortaya çıkarır. Bu aşınma mekanizmaları, abrasif aşınma %50, adezif aşınma %15, erozif aşınma %8, korozyon aşınması %8, kimyasal aşınma %5, ve diğerleri %14 olmak üzere endüstride değişen oranlarda karşımıza çıkmaktadır. Bu aşınma mekanizmalarından en çok karşılaştığımız ise abrasif aşınmadır (TMMOB, 2003).

### 3.6 Genel Aşınma Türleri

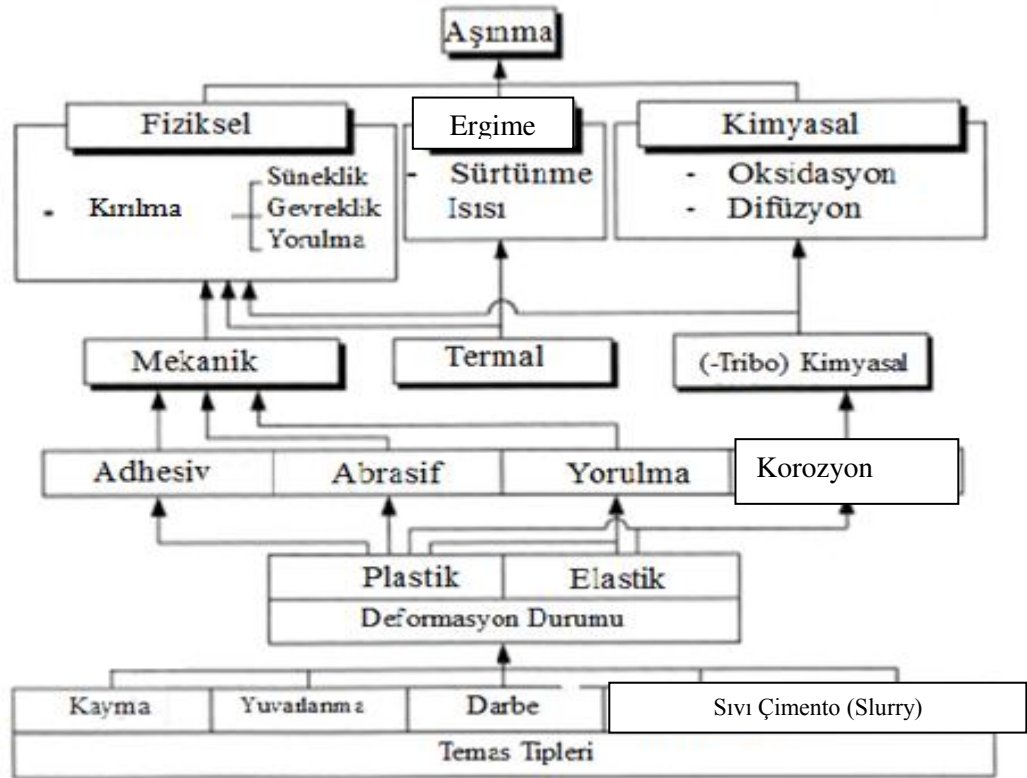
Genel olarak aşınma 4 türde tanımlanmıştır (Burwell, 1975)

1. Abrasif aşınma
2. Adezif aşınma
3. Yorulma aşınması
4. Korozyon aşınması



Şekil 3.3 Genel Aşınma mekanizmaları (a) Adezif aşınma  
(b) Abrasif aşınma (c) Yorulma aşınması (d) Korozyon aşınması

Bu 4 aşınma türü Şekil 3,4'de gösterildiği gibi yüzey temas şekline ve deformasyon şartlarına göre sınıflandırılmıştır.



Şekil 3.4 Aşınma türleri (Bhushan, 2000).

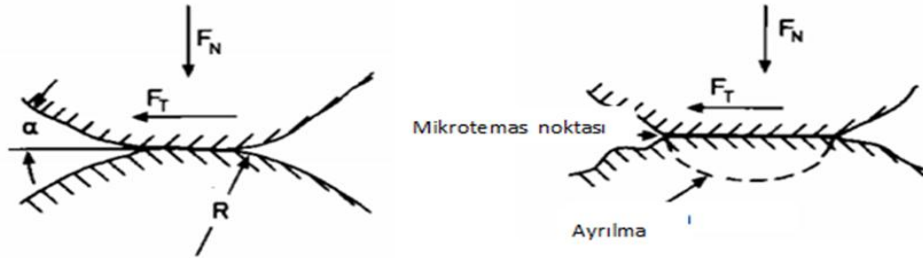
Kayma mekanizması gibi abrasif ve adeziv aşınma plastik deformasyonda meydana gelir. Yorulma ve korozyon aşınması hem plastik ve hem de elastik deformasyonda ortaya çıkar. Abrasif ve adeziv aşınmada parçacıkların kopması deformasyon nedeni ile olur ama yorulma aşınmasında aşınma mekanizması esneklik ve gevreklik sebebi ile olur. Korozyon aşınmasını, kimyasal reaksiyonlar ve sürtünme katsayısı etkiler (Bhushan, 2000).

### 3.6.1 Abrasif Aşınma

Abrasif aşınma, sert parçacıkların katı yüzeye çarpması ya da bu yüzey üzerinde sürtünmesi ile gerçekleşir. Dolayısıyla aşınma, katı parçacıkların yüzeye zarar vermesi ile oluşur ve genellikle malzeme hacminin ya da ağırlığının azalması şeklinde gözlemlenir. Abrasif aşınma genelde endüstriyel alanlarda yaygın olan bir aşınma türü olup, katı malzemeler ya da hammaddelerin, taşınması, stoklanması,

yüklenmesi ve boşaltılması sırasında sıkça ortaya çıkmaktadır. Aşınmayı gerçekleştiren parçacıkların ve aşınan metalin sertliği abrasif aşınma direncini önemli ölçüde etkiler. Metal sertliğinin abrasif aşındırıcı sertliğine oranı arttıkça abrasif aşınma hızı düşmektedir. (TMMOB, 2003). Abrasif aşınma sert yabancı parçacıkların (metaloksit, metal parçacıkları, toz vb.) sürtünen iki yüzey arasında bulunmasından kaynaklanır. Sert ve keskin kenarlı tanelerin mikroskobik talaş kaldırması ve genellikle malzeme içinde oldukça derinlerde değişiklikler meydana getirmesidir.

### 3.6.2 Adezif Aşınma



Şekil 3.5 Adezif aşınma gösterimi ( $F_N$ : Normal Kuvvet,  $F_T$ : Temas Kuvveti,  $\alpha$ : Hareket Açısı)

Adezif aşınma kayma ve yapışma aşınması olarak da bilinen bir aşınma türüdür. İki düzgün katı cismin yağlamalı veya yağlamasız ortamda kayma teması ile oluşmaktadır. Bazı farklılıklara rağmen bu aşınma formları mühendislikte adezif aşınma (kaynaklaşma aşınması, yapışma ve yenme aşınması) başlığı altında toplanabilmektedirler. Bu tip aşınma, eş çalışan yüzeyler arasındaki yükü taşıyan yüzey pürüzlülüklerinin arasında oluşan mikro kaynakların kesme olayı sonucunda ortaya çıkmaktadır (Lipson, 1967). Bununla birlikte bir yüzeyden kopan parçalar diğer yüzeye yapışabilirler. Kayma devam ettiğinde diğer yüzeye yapışmış olan parçalar tekrar orijinal yüzeye yapışabilir veya her iki yüzeyden bağımsız aşınma parçacığı olabilirler. Metalografik olarak, kafes yapıları birbirine benzeyen metallerin korozyon ile aşınma esasına dayanmaktadır. Çünkü birbirinden farklı kristalografik yapıya sahip aşınma çiftinde kaynaklaşma olayının oluşumu düşünülmemelidir. Bu tip aşınma genelde iki yüzeyi ayıran film kalınlığının

başarısızlığı sonucudur. Bu başarısızlık yüksek sıcaklık yüksek basınç ve yüksek kayma hızına sebep olur. Adhesif aşınmaya ait karakteristik örnek motor yataklarının sarmasıdır.

Adezif aşınma ile ilgili deneylerden elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir:

1. Adezif aşınma, benzer veya kolay alaşım yapabilen malzemeler arasında meydana gelmektedir.
2. Aşınma olayı, yüzeylerin izafi hızına ve normal kuvvete bağlıdır. Pratik uygulamalarda nispeten yüksek hızlarda ve yüklerde görülen bir aşınma şeklidir.
3. Adezif aşınma, sürtünmenin olduğu bütün kaynak birleşmelerinde meydana gelmemektedir. Kaynak noktalarının aşınmaya katılan kısmı  $k_a$  ile gösterilirse, aşınan malzeme hacmi (Bhushan 2000).

$$V_a = k_a \cdot A_h \cdot L \quad (3.1)$$

$V_a$  = Aşınan malzemenin hacmi

$k_a$  = Kaynak birleşim noktalarının aşınmaya katılan kısmı

$A_h$  = Yüğü taşıyan alan

$L$  = Kayma mesafesi

Metallerin adezif aşınmasında  $10^{-7} < k_a < 10^{-2}$  arasında olur.

4. Yüzeylerden birinin sertliği diğerine göre nispeten büyük ise kaynak bağlarının kopması yumuşak malzemelerde olur ve yumuşak malzeme sert malzemenin yüzeyine transfer edilir.
5. Adezif aşınmada yağlamanın etkisi çok büyüktür. Sınır sürtünme bölgesinde dahi yüzeylere yapışmış yağ tabakası büyük ölçüde adezyon aşınmasını önler. Yüksek hız ve basınç altındaki yüzeyler arasına katkılı bir yağ konursa aşınma önlenir.
6. Oksit veya nemden oluşan doğal tabakanın aşınma olayı üzerindeki etkisi büyüktür.

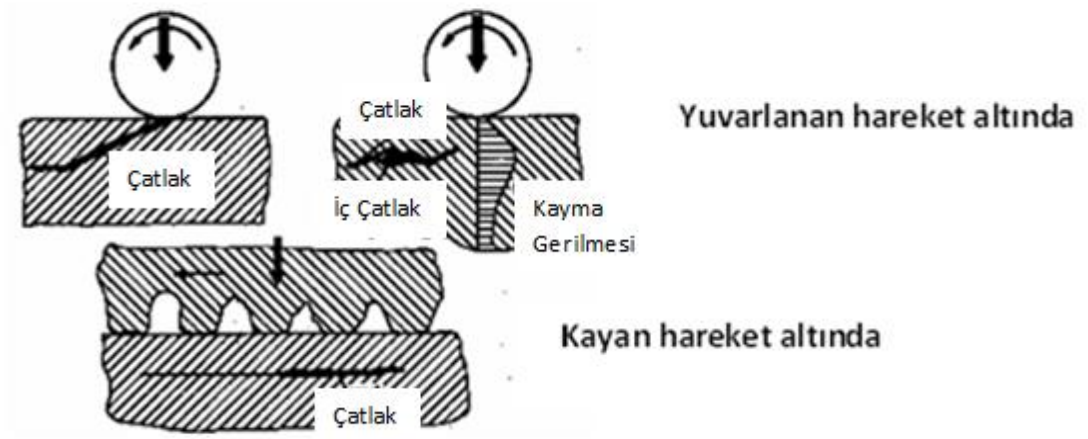
Tablo 3.1 Malzeme özelliklerinin adezif aşınmaya etkisi

| Malzeme Özellikleri                   | Adezif Aşınma |
|---------------------------------------|---------------|
| Oksitli yüzey                         | Az            |
| Kübik kristal yapı                    | Çok           |
| Hegzogonal kristal yapı               | Az            |
| Yüksek deformasyon sertleşmesi        | Çok           |
| Yüksek sertlik                        | Çok           |
| Yüksek elastiklik modülü              | Çok           |
| Yüksek ergime noktası                 | Çok           |
| Yüksek yeniden kristalleşme sıcaklığı | Çok           |
| Küçük atom yarıçapı                   | Çok           |

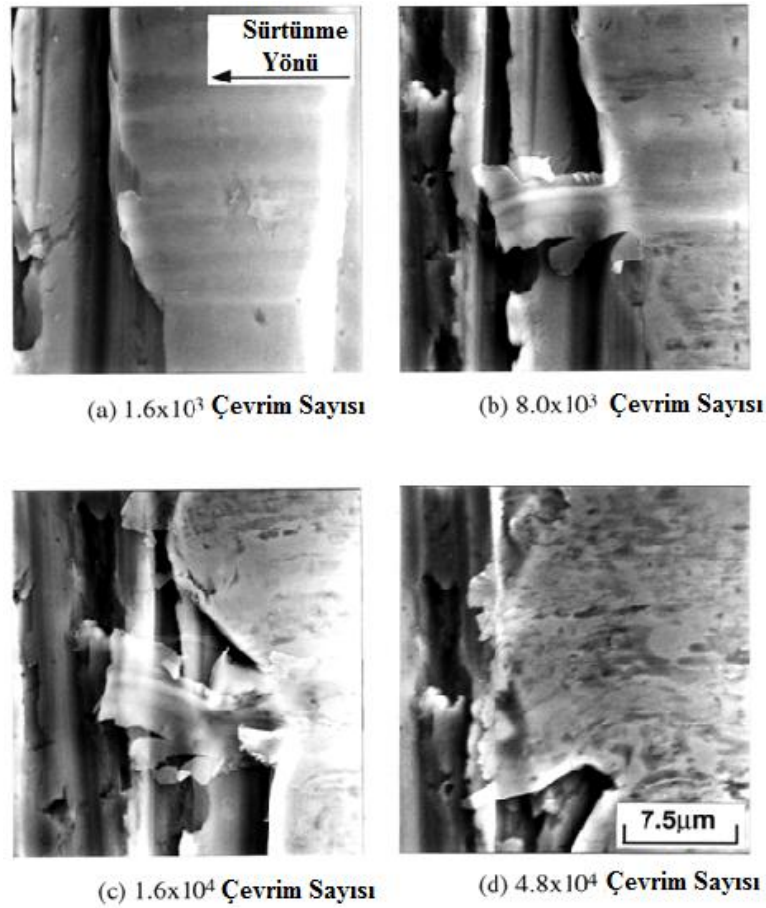
### 3.6.3 Yorulma Aşınması

Temas eden yüzeylere, değişken, tekrarlı yüklemeler etki ettiğinde ortaya çıkan aşınma hasarı yorulma aşınması olarak tanımlanmaktadır. Temas halindeki İki yüzey, birbirleriyle sürekli yük altında periyodik olarak temas ettirildiği zaman, yüzeyler arasında sadece adezif aşınma oluşmaz, burada yorulma aşınması da oluşabilir (Bhushan, 2000). Tribolojik yüklemeler, genellikle yüzeyde, büyüklüğü, zamana ve konuma göre değişen mekanik gerilmelerden kaynaklandığı için, pek çok aşınma mekanizmasında yorulma aşınmasının izleri görülmektedir. Sonuçta, malzeme yüzeyinde çatlak oluşumu ile başlayan süreç, çukur ve oyukların meydana gelmesiyle devam eder ve yüzeyden parçacıkların ayrılmasıyla hasar oluşur (TMMOB, 2003). Yorulma aşınması yuvarlanma hareketi yapan parçaların yüzeylerinde ortaya çıkan ve esas olarak bir malzeme yorulması olayının sonucudur.

İki türlü yorulma aşınması vardır. Basit yorulma aşınmasında oluşan çukurcuklar çok küçük olup büyümezler ve yüzeye yayılmazlar. Tahrip edici yorulma aşınmasında ise oluşan çukurcuklar zamanla büyür ve yayılır. Basit tipteki yorulma aşınması, makine elemanın normal çalışmasını genellikle engellemez. Tahrip edici yorulma aşınma ise elemanı işe yaramaz hale getirir (Akkurt, 1986).

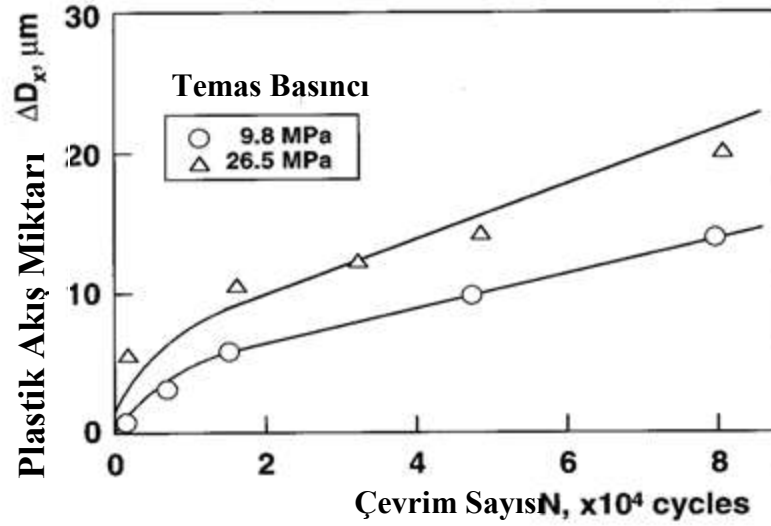


Şekil 3.6 Kayan ve yuvarlanan hareket altında meydana gelen yorulmaya bağlı çatlak



Şekil 3.7 Yorulma aşınmasına maruz kalan bir çeliğin farklı çevrim sayılarında yüzeylerinde oluşan hasarlar (Akagaki, ve diğer., 1987)

Şekil 3.8’de yorulma aşınması çevrim sayısına bağlı olarak plastik akış miktarının değişimi gösterilmiştir (Akagaki, ve diğer., 1988).



Şekil 3.8 Çelik/Çelik sınır yağlamasında yorulma aşınması çevrim sayısına bağlı plastik akış miktarındaki değişim

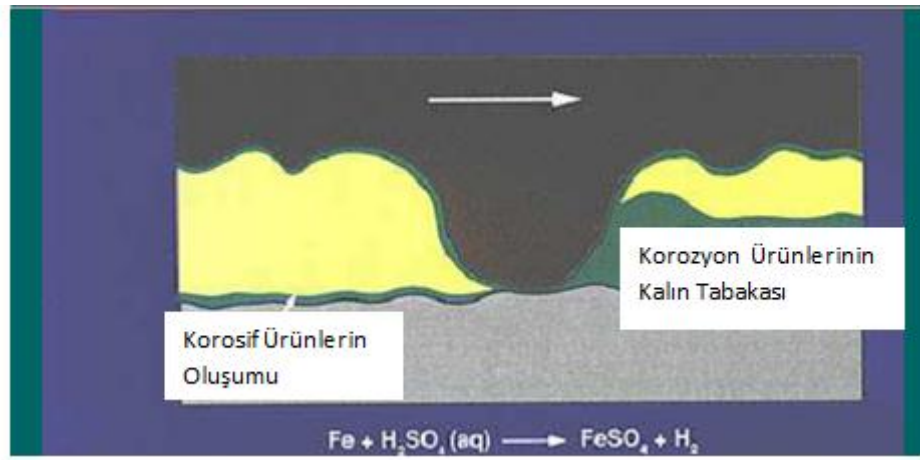
### 3.6.4 Korozyon Aşınması

Korozif bir ortam söz konusu olduğunda parçaları oluşturan metal ve alaşımlar bileşik oluşturmak için çevre ile kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyona girerler ve çeşitli bileşikler oluşturarak metalin içyapısında bir zayıflama yaratırlar. Oluşan bu bileşiklerin ana metalle bağlantıları zayıflar ve bileşikler ana metalden koparlar (Karadeniz, 2005). Korozyon aşınması, metallerde hem korozyon hem de aşınmanın birlikte meydana gelmesi şeklinde tanımlanabilir. Korozyonlu aşınmada meydana gelen malzeme kaybı, bu mekanizmaların ayrı ayrı meydana gelmesi halinde ortaya çıkan malzeme kaybının toplamından daha fazladır. Korozyon aşınmasında, aşınma olayı iki kademedeyi gerçekleştirmektedir:

1. Temas halindeki yüzeyler ortamla reaksiyona girer ve reaksiyon ürünleri yüzeyde bir tabaka oluşturur,
2. Daha sonra, temas noktasında çatlak oluşumu ve/veya abrasif etkilerden dolayı reaksiyon tabakası hasara uğrar. Bu aşınma türünde olumsuz çevre

koşulları çok önemlidir. Ayrıca korozyon aşınması sonucu oluşan korozyon ürünleri korozyon dolayısıyla aşınma hızını arttıran bir etkidir. Korozyon genel olarak mekanik aşınmaya neden olmakta, ancak mekanik aşınma her zaman korozyon mekanizmasını tetiklememektedir (Şekil 3.9).

Korozyon aşınmasında 3 cisimli abrasif aşınma mekanizmasına bağlı olarak aşınma oranının artmasıyla kayan ve sürtünen yüzeyler arasındaki sert oksit tabakaları aşındırılmış olur (Burhan, 1994).



Şekil 3.9 Şematik korozif aşınma gösterimi

Sıcaklık ve ortama bağlı olarak korozif aşınma sekiz farklı şekilde meydana gelebilir (Kobrick, 2010).

1. Oksitlenme
2. Karbürlenme ve metal tozlaşması
3. Nitrürlenme
4. Halojen korozyonu
5. Sülfürlenme
6. Kül (tuz) çökeleği korozyonu
7. Erimiş tuz korozyonu
8. Sıvı metal korozyonu

## **BÖLÜM DÖRT**

### **ABRASİF AŞINMANIN GENEL TANIMI**

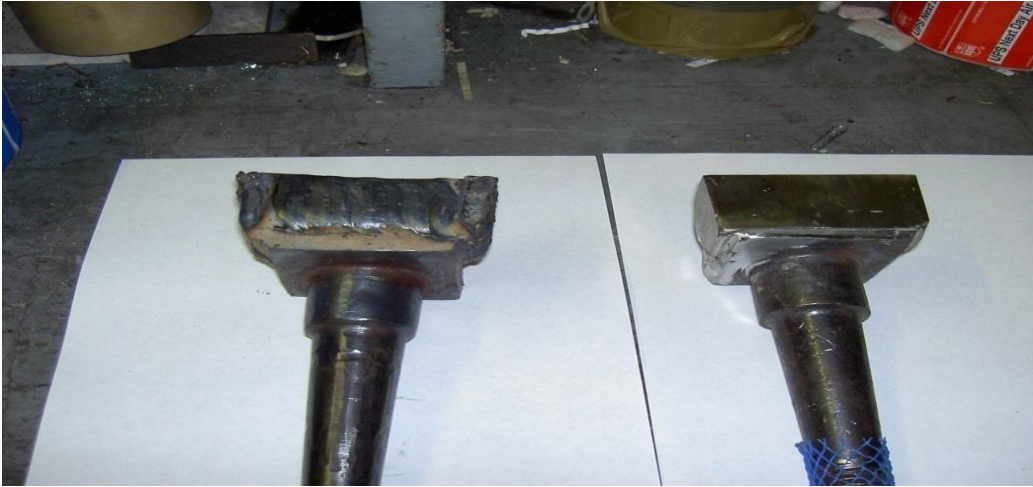
Abrasif aşınma çeşitli aşındırıcılarla temas halinde hareket eden parçalar yada makine elemanlarında meydana gelir. Sabanlar, toprak kazıyıcıları, grayder ve grayder bıçakları gibi zemin ile temas halindeki aletler aşındırıcı tanecikler ile beraber çalışmaktadır. Bunun yanında maden filizlerini işleyen kırma makineleri, doğal mineralleri öğüten bilyalı değirmenler de abrasif aşınma ile karşı karşıya kalır.



Şekil 4.1 Madende kullanılan toprak kazıcı.



Şekil 4.2 Aşınmaya maruz kalan öğütücü pedallar



Şekil 4.3 Sert dolgu ile kaplanmış çekiç

#### 4.1 Abrasif Aşınma Durumları

Genel olarak abrasif aşınma olayı iki grupta toplanabilir.

##### 4.1.1 İki Cisimli Abrasif Aşınma

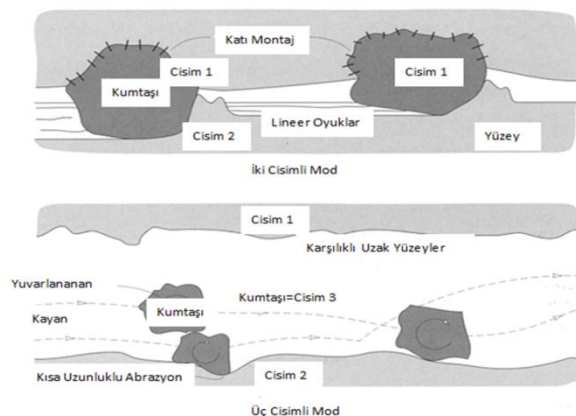
Pürüzlü bir yüzeyin veya keskin kenarlara sahip abrasif partiküllerin bir yüzey üzerinde kaymasıyla esnek yüzeylerden partikül kopması oluşur. Bu kopma sonucundaki talaş oluşumu sürekli metal kesme işlemine benzemektedir (Stachowiak, ve diğer., 1993). Bu aşınma tipine çoğunlukla malzemenin yüzey işlemlerinde (taşlama, zımparalama vb.) rastlanır.

##### 4.1.2 Üç Cisimli Abrasif Aşınma

Üç cisimli abrasif aşınma sert parçacıkların temas eden yüzeyler arasında serbestçe hareket etmesiyle (kayma ya da yuvarlanma) oluşur (Stachowiak, ve diğer., 1993).

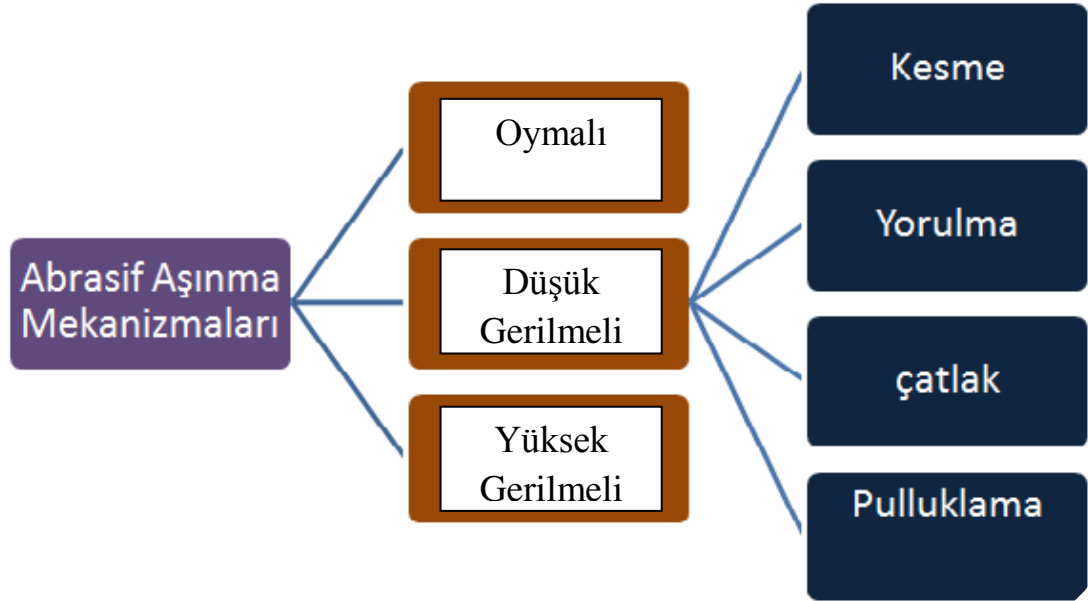
Üç cisimli abrasif aşınmadaki aşınma oranı iki cisimli abrasif aşınmaya göre daha düşüktür. Bunun nedeni hareketli taneciklerin zamanın %90'ını kesme etkisi meydana getirmeden yuvarlanma eğiliminde olmasından kaynaklanır.

Üç cisimli abrasif aşınma oymalı abrazyon, yüksek gerilmeli öğütücü abrazyon ve düşük gerilmeli çizici abrazyon şeklinde üç grupta incelenir.



Şekil 4.4 İki cisimli ve üç cisimli abrasif aşınma modlarının gösterimi (Stachowiak ve diğer., 1993)

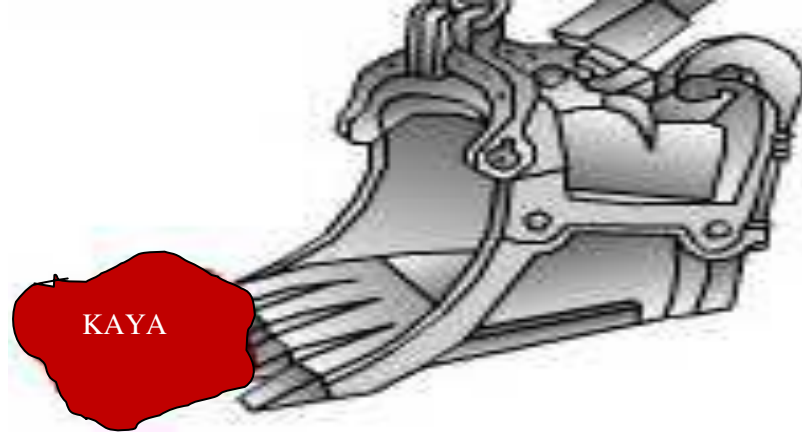
## 4.2 Abrasif Aşınma Mekanizmaları



Şekil 4.5 Abrasif aşınma mekanizmalarının gösterimi

### 4.2.1 Oymalı Abrasif Aşınma

Bu tip aşınma yüksek gerilme ile (genellikle çarpma ile oluşur) karakterize edilir ve yüzeyin önemli ölçüde mikro deformasyonuna sebep olur. Aşındırıcı genellikle sabittir ve iyice desteklenmiştir. Bundan dolayı oluşan aşınma etkisi güçlüdür. Ağır aşındırıcı parça metal malzeme üzerinde basınçla etki ederek ve metal malzemeyi Şekil 4.6’da görüldüğü gibi oyarak aşındırmaktadır. Bu tip aşınmada aşındırıcı parçalar kesme aletleri gibi parçayı aşındırırlar. Bu tür aşınmalara karşı karbür içeren alaşımlar, özellikle belli bir tokluğu olan manganlı östenitik çelik matriste dağılmış karbür içerenler başarı ile kullanılır. Oymalı abrazyona maruz kalan parçalar: Kazıcı kepçeler, ekskavatör kovaları, döner kaya kırıcıları, silindir kırıcılar, çeneli kırıcılar, konik kaya kırıcıları vb.dir.



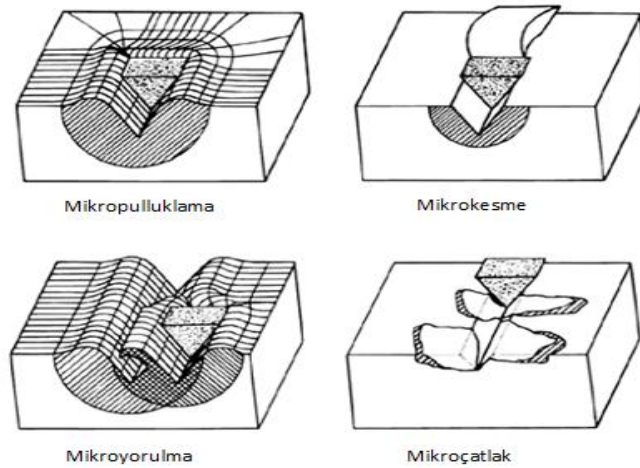
Şekil 4.6 Yüzeye belli bir açıyla çarpan parçacıkların yüzeyden malzeme kaldırma işlemi

#### 4.2.2 Yüksek Gerilimli Abrasif Aşınma

Yüksek gerilimli abrasif aşınma durumu iki yüzey arasındaki mineral parçacıklar ile yüzeyler arasında veya yeterli kuvvetin bulunduğu kumlu ortamlarda sürtünen yüzeyler arasında ortaya çıkar. Yüzeylerdeki normal yükler genellikle düşüktür. Bununla beraber taneciklerdeki yük uygulama alanı çok düşük olduğundan her parçacık üzerindeki gerilme oldukça fazladır. Bu nedenle bu aşınmaya yüksek gerilimli abrasif aşınma denir. Yüksek gerilimli abrazyon, örneğin öğütme milleri ile değirmen milleri arasında ya da değirmen milleriyle değirmen düzlüğü arasında tutulan abrasif parçacıkların tutulduğu çok küçük bir bölgede olur. Yüksek temas basıncı çentik ve aşınma yüzeyi üretir ve çatlak oluşturur ve abrasif parçacıkları koparır. Kuvars gibi sert mineraller akma mukavemeti 2100 MPa olan martenzitik çelikte çentik oluşturur ve aşındırır. Yüksek gerilimli abrazyon, 2 cisimli durumları olabilmesine rağmen, 3 cisimli abrazyon olarak adlandırılır. Yüksek gerilimli abrasif aşınma işlemi boyunca abrasif parçacıkların kırıldığını ve çatladığını göstermiştir. Tam olarak bu abrasif aşınmada, küçük abrasif parçacıkların malzeme aşınmasından nasıl etkilendiği anlaşılamamıştır. Yüksek gerilimli abrasif aşınmada malzeme kaldırma durumları mikroskobik ölekte kesme, plastik deformasyon ve yüzey çatlağının yanı sıra makroskobik ölekte yırtılma, yorulma ve parçalamanın karışımıdır (Bailey, J., 2000).

#### 4.2.3 Düşük Gerilimli Abrasif Aşınma (Erozyon Abrasif Aşınması)

Düşük gerilim de; hafif yüklenmiş abrasif parçacıklar aşınma yüzeyine çarptığı ve yüzey boyunca hareket ettiği takdirde mikroskobik ölçekte kesme ve pulluklama abrasif aşınması oluşur. Sulu ya da nemli çevre koşullarında, korozyon toplam aşınma miktarına katkıda bulunabilir. Her iki durum da düşük gerilimli abrazyon aşınmanın birincil türüdür. Metal kalınlığının aşınma oranı düşük gerilim altında günden güne azalır. Bu yüzden toplam aşınmanın önemli bir kısmı devamlı yenilenen oksit tabakalarının abrazyonundan dolayıdır. Bu durum özellikle tarımsal işlemler gibi nemli koşullarda parçaların kullanılmasıyla oluşabilir (Bailey, J., 2000). Düşük gerilimli çizici abrasif aşınma mikro kesme, mikro pulluklama, mikro yorulma ve mikro çatlak şeklinde dört farklı mekanizma ile meydana gelir. Şekil 4.7

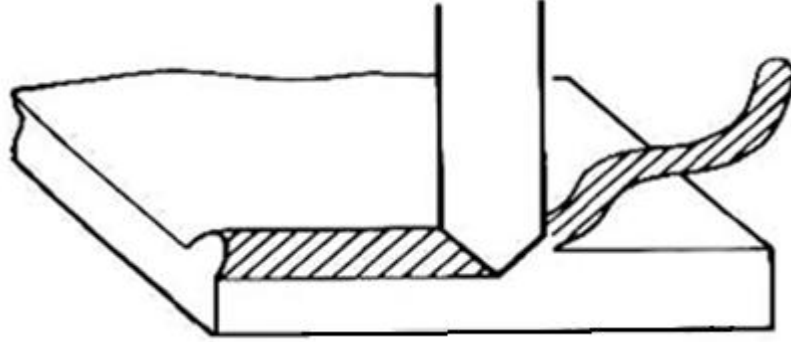


Şekil 4.7 Düşük gerilimli abrasif aşınma mekanizmaları

##### 4.2.3.1 Kesme

Son zamanlara kadar abrasif aşınma mekanizmasının doğrudan gösterimi yoktu. SEM'in (Taramalı Elektron Mikroskobu) gelişmesi abrasif aşınmanın daha ayrıntılı incelenmesini sağlamıştır. Aşınma izlerini SEM analizinde incelediğimiz zaman mikro kesme hatları görülebilmektedir. Kesme mekanizması daha çok iki cisimli abrasif aşınmaya benzer. Bu mekanizmayı açıklamak için Şekil 4.8'de gösterildiği

gibi iğne şeklinde aşındırıcı uç aşınan malzeme üzerinde hareket ederek aşınan malzeme üzerinden parçacık kopar (Stachowiak, ve diğer., 1993).



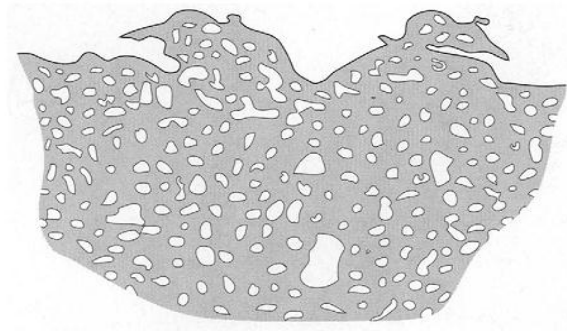
Şekil 4.8 Kesme mekanizması

#### 4.2.3.2 Pulluklama

Pulluklama (Aşınma parçacıkları üretmeden metalin yer değiştirmesi); eğer iki yüzey birbirlerine eğimli ya da eğrisel temasta bulunurlarsa, kayma hareketi ortaya çıkar. Pulluklamanın sonucu malzeme yüzeyinden bir miktar hacim kaybı olur ve abrasif oyuk zayıf yüzeyde şekillenir. Tek temas noktalı sert, keskin aşındırıcının yüzeye teması söz konusu olduğunda yüzey üzerinde pulluklama ile oyuk oluşur. Pulluklama durumunda aşınma parçacığı tek kayma hareketiyle oluşamaz. (Stachowiak, ve diğer., 1993)

#### 4.2.3.3. Yorulma

Aşındırıcılar tarafından malzeme yüzeyinin belli bir alanında hasara neden olan sürekli gerilme metal yorulmasına neden olur. Şekil 4.9'da abrazif oluğun görüntüsü vardır. Abrazif aşınma formu yavaş veya daha yumuşak olduğunda malzeme tekrarlı deformasyona uğrar ve aşınma parçacığı üretir. (Vingsbo, ve diğer., 1981)



Şekil 4.9 Yorulma; Kum tarafından: malzemede meydana gelen aşınma

#### 4.2.3.4 Abrasif Aşınma Analizi

Abrasif aşınma analizi, hacim kaybı miktarına dayanır. Teori olarak, bu hacim kaybını hesaplamak için aşındırıcının ortaya çıkardığı hacim kayıp miktarı hesaplanır (Bharat ve diğer, 2000). Şekil 4.10’da gösterildiği gibi  $V_{ab}$  bir  $L$  mesafesinde şöyle hesaplanır:

$$V_{ab} = d^2 \cdot \tan\theta \cdot L \quad (4.1)$$

Yüzeye yüklenen basıncın gerçek temas yüzeyine oranı, yüzeyin sertliğine eşit olduğundan bu gerçek temas yüzeyi şu şekilde:

$$\frac{1}{2} \pi (d \cdot \tan\theta)^2 = \frac{W}{H_v} \quad (4.2)$$

$$V_{ab} = \frac{2}{\pi \cdot \tan\theta} \cdot \frac{W}{H_v} \quad (4.3)$$

$$V_{ab} = K_{ab} \cdot \frac{WL}{H} \quad (4.4)$$

$L$  : Kayma mesafesi

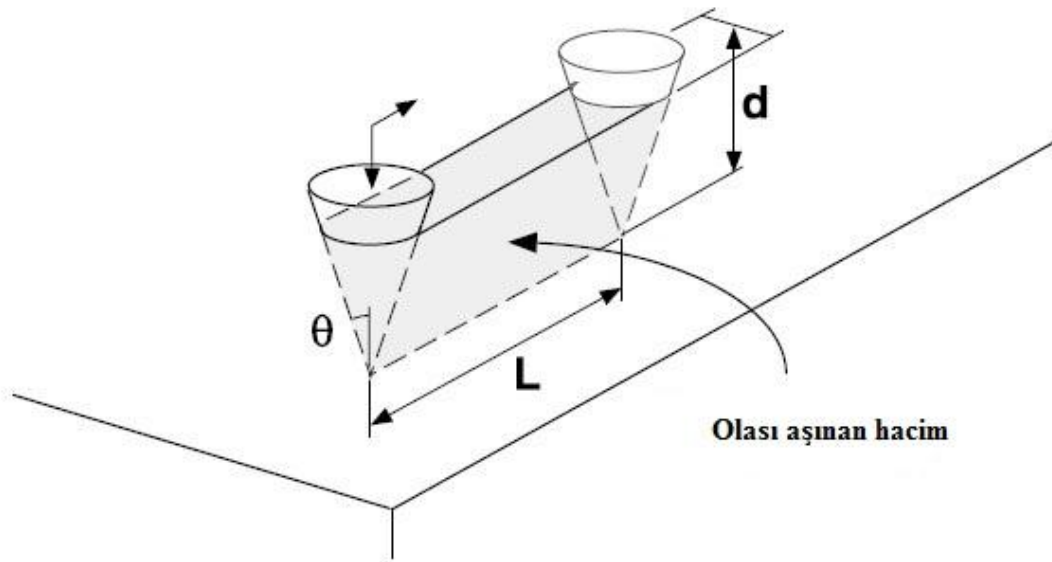
$d$  : Aşındırıcının derinliği

$\theta$  : Aşındırıcının aşınma açısı

$H$  : Aşınmaya maruz kalan malzemenin sertlik değeri

$W$  : Kayma düzlemine etkiyen kuvvet miktarı

$V_{ab}$  : Abrasif aşınma hacim kayıp miktarı



Şekil 4.10 Abrasif aşınmada kaybolan hacim miktarı

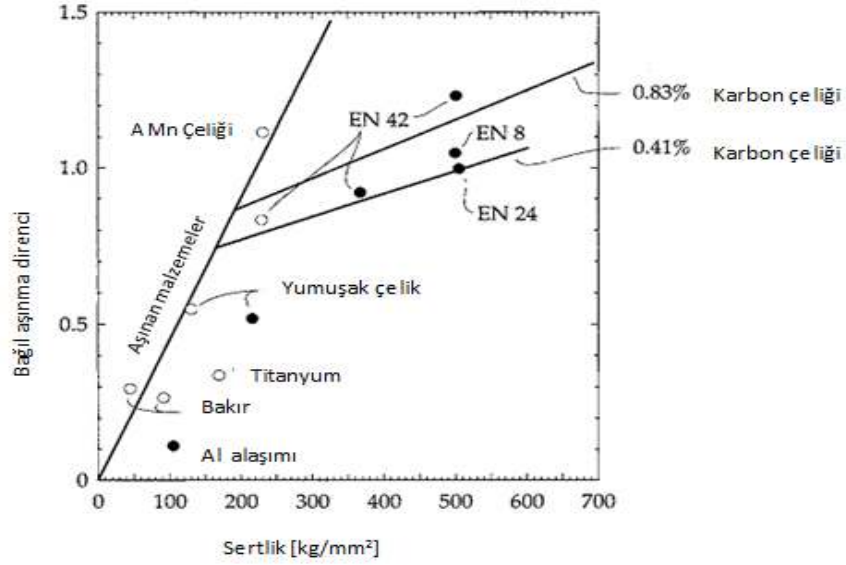
Ayrıca pratikte ASTM standartlarına göre hacim kayıp miktarı başka şekilde de hesaplanır, ki bunları Deneysel çalışma bölümünde gösterilecektir.

#### 4.2.3.5 Abrasif Aşınma Direnci ve Sertlik Oranı

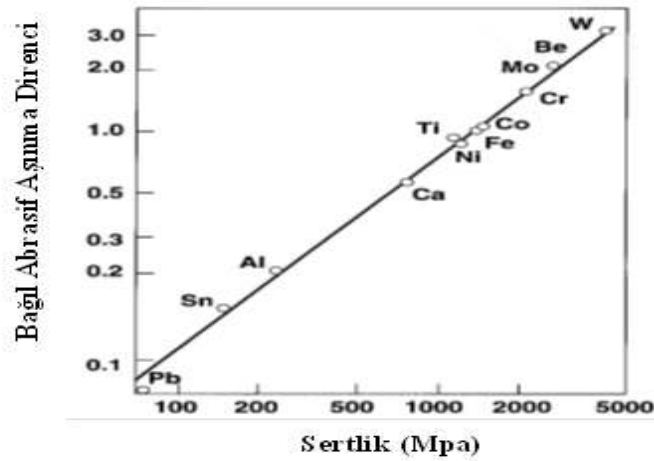
Bir numunenin abrasif aşınmaya direncini hesaplamak için ASTM standartlarına göre aşağıdaki denklem kullanılmaktadır.

$$\text{Abrasif Aşınma Direnci} = \left( \frac{\text{Hacim Kayıp Miktarı (mm}^3\text{)}}{\text{Kayma Mesafesi (m)}} \right)^{-1}$$

Abrasif aşınma direnci sertlikle orantılıdır. Daha sert yüzeylere sahip olan malzemelerin abrasif aşınma hacim kaybı az, abrasif aşınma direnci yüksektir. (Bhushan, 2000; Stachowiak, ve diğer., 1993). Şekil 4.11’da farklı sertliklere sahip olan alaşımların iki cisimli abrasif aşınma test sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4.11 Farklı sertliklere sahip olan alaşımların iki cisimli bir abrasif aşınma test sonuçları (Stachowiak, ve diğer., 1993)



Şekil 4.12 Saf alaşımların sertlik ve aşınma bağıl diyagramı

## **BÖLÜM BEŞ**

### **DOLGU KAYNAĞI İLE AŞINMANIN AZALTILMASI**

Çalışan her alet veya makine eskir veya genel anlamda tahrip olur. Tahrip olma aşınma, kırılma, çatlama ve şekil değişimini içerir. Tahrip olan parçanın yerine ya yenisinin takılması veya tahrip olan parçanın tamir ve bakımının yapılması gerekir. Ancak tahrip olan parçaların tamiri genelde yenisinin teminine göre ucuzdur, yenisini temin etmek genelde uzun zaman alır, işleri aksatır ve ekonomik olmaktan çıkar. Ayrıca aşınmaya maruz kalan parça yüzeylerini dolgu yöntemleri ile doldurulması halindeki aşınmaya karşı ömrü, diğer yöntemlerle elde edilen parçaların yüzeylerinin aşınma ömrüne göre daha uzundur. Bu nedenlerden dolayı tamir-bakım işleri pratikte önem kazanır ve geniş uygulama alanı bulur. Tamir-bakım işleminde belli başlı incelemeler yapılmalıdır. Örneğin parçanın çalışma koşulları, ana metal ve dolgu malzemesinin cinsi, işlem sonucu kabul edilebilen şekil değişimleri, işlem süresi ve maliyeti dikkate alınmalıdır (Karadeniz, 2005). Tamir-bakım işleminde dört ana yöntem;

- 1-Kaynak
- 2-Termal püskürtme
- 3-Elektrokimyasal dolgu
- 4-Sert krom banyosu

#### **5.1 Dolgu Kaynağı**

Ergitme kaynak yöntemlerinden biri ile gerçekleştirilen sert dolgu kaynağı uygulamaları, fazla aşınmış makine parçalarının yenilenmesinde yaygın olarak kullanılır. Günümüzde mevcut standartları, sert dolguyu, aşınmayı azaltmak veya aşınma mekanizmaları ile kaybolmuş malzemeyi telafi etmek amacıyla esas malzeme üzerine yapılmış kaplama olarak tanımlanmaktadır. Dolgu kaynağının gerçekleştirilmesinin iki ana amacı vardır. Bunlar;

- **Koruyucu amaçlı dolgu kaynağı:** Kullanılmış yada kullanılmamış, ancak çalışma koşulları nedeni ile aşınacağı önceden bilinen makina parçalarının ömürlerini uzatmak amacıyla yapılan dolgu kaynağı,
- **Tamir amaçlı dolgu kaynağı:** Kullanım sonucu aşınmış parçaların kaynak dolgusu ile fonksiyonel ölçülerine getirilip, yani yenilenip tekrar ve daha uzun süre kullanılması için yapılan dolgu kaynağıdır.

Her iki amaç için gerçekleştirilen olay, aşınacak veya aşınmış yüzeyleri esas malzeme ile aynı veya farklı teknik özelliklere sahip kaynak malzemeleri ile kaplamaktır. Burada en uygun işlem, teknik açıdan en uygun sert dolguyu yapmaktır (Akay, 1996).

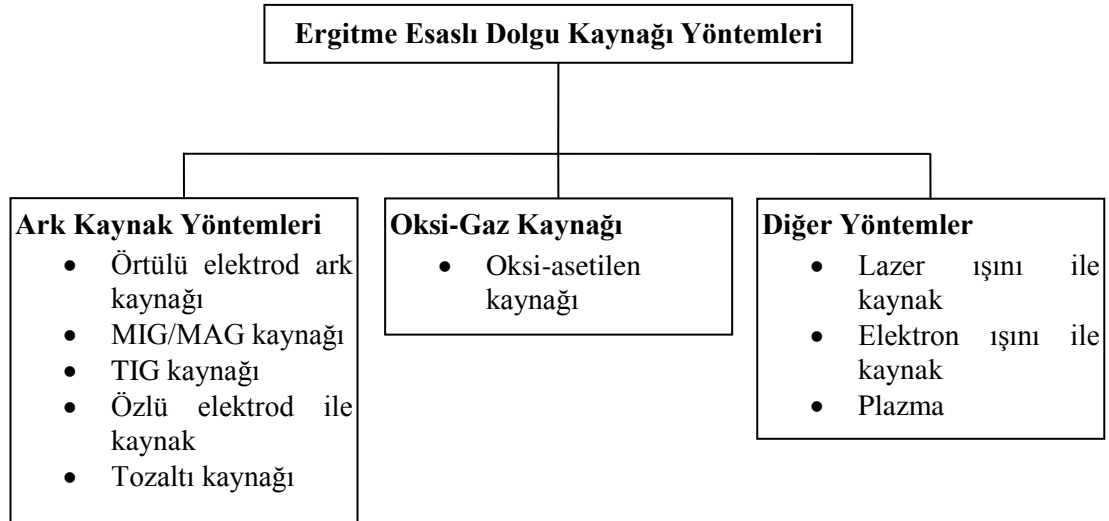


Sert dolgu kaynakları parçaları orijinal boyutuna getirmek için kullanılır.

Sert dolgu kaynakları parçanın aşınmaya karşı direncini arttırmak için kullanılır.

Sert dolgu ve tampon pasosu parçaları orijinal boyutuna getirmek (ana malzeme ile sert dolgu arasındaki uyum için ve boyut ayarı için tampon atılır) ve aşınmaya karşı direncini arttırmak için kullanılır.

Şekil 5.1 Sert dolgu kaynağı kullanım amaçları (Soydan, 2003)



Şekil 5.2 Aşınmayı önlemede etkili kullanılabilen ergitme esaslı dolgu kaynağı yöntemleri (Oğuz, 1993)

## 5.2 Sert Dolgu İçin Ana Metaller

Sert dolgu yapılan ana metaller başlıca iki gruptur:

1. Karbonlu ve düşük alaşımlı çelikler,
2. Manganlı östenitik çelikler.

### 5.2.1 Karbonlu ve Düşük Alaşımlı Çelikler

Karbonlu ve düşük alaşımlı çelikler çok çeşitlidir (Standford,2001). Bunların kaynakları için belirlenmiş genel bir prosedür yoktur. Ana malzemedeki karbon ya da alaşım elementlerinin miktarı arttıkça kaynak öncesinde dikkat edilmesi gereken noktalar artar. Ön tav, son tav, yavaş soğutma ve gerilim giderme gerekebilir. Demir bazlı sert dolgu alaşımlarıyla, karbonlu ya da düşük alaşımlı çelikler üzerine yapılan kaynaklarda dikkat edilecek hususlar gevreklik ve çatlama hassasiyetidir.

### 5.2.2 Manganlı Östenitik Çelikler

Tok ve dayanıklı olan bu tür alaşımlar aynı zamanda darbe altında sertleşebilme özelliklerinden dolayı genellikle aşınma dayanımı istenen yerlerde kullanılır. Ana metal, koruyucu sert tabakanın altında tok ve dayanıklı kalır. Bu tür malzemeler aynı

zamanda gevrek ve yüksek krom-karbürlü alaşımlar için mükemmel bir yapı oluşturur. Genellikle mıknatıslanma özelliğine sahip değildirler fakat, soğuk sertleşmiş olanlar bir miktar mıknatıslanma özelliği gösterirler. Isı, manganlı östenitik çeliklerde olumsuz etki yapar. Ana malzeme 10°C'nin altında olmadıkça ön tav yapılmamalıdır. Ön tav 70°C'yi geçmemeli, kaynak sırasında ise ana malzemedeki sıcaklık 250 °C'yi geçmemelidir (Akay, 1996).

### 5.3 Sert Dolgu Alaşımlarının Sınıflandırılması

Alaşım durumuna göre dolgu maddeleri DIN 8555'e göre 17 gruba ayrılmakta olup, bu gruplar ve kullanım alanları aşağıda verilmiştir.

#### A- Demir İçeren Kaynak Dolgu Malzemeleri

##### Alaşım grubu 1

Bu grup % 0,4 C'a kadar alaşımsız veya % 0,4 C'a kadar hafif alaşımlı ve toplam olarak en çok %5 Cr, Mn, Mo, Ni alaşım elementlerine kadar alaşım elementine sahip dolgu malzemelerini içerir.

##### Alaşım grubu 2

Bu grup % 0,4 C'den fazla C 'lu alaşımsız veya % 0,4 C'den fazla C ile düşük alaşımlı ve toplam olarak en çok %5 Cr, Mn, Ni, Mo alaşım elementlerine kadar alaşım elementine sahip dolgu malzemelerini içerir.

Kaynak malzemesinde daha yüksek miktarda karbür olması nedeniyle bu alaşım grubunun Grup 1'dekinden daha yüksek aşınma mukavemeti vardır.

##### Alaşım grubu 3

Bu gruptaki malzemeler alaşımlı sıcak işleme çelikleri özelliklerindedir. Kural olarak bu kaynak malzemeleri yüksek sertlikte bir dolgunun arandığı yerlerde kullanılır. Elde edilen sertlik,

500 °C'a kadar muhafaza edilir. Kaynak malzemesi çoğu zaman W<sub>7</sub>Cr ile, bazen de Mo, Ni ve V ile alaşımlıdır.

#### **Alaşım grubu 4**

Bu gruptaki malzemeler alaşımlı, hava çelikleri özelliğindedir. Bu kaynak malzemesi hava çelikleri analizini haizdir. Yani W, Cr, V bazı hallerde Co veya Cr-Mo, W ve V ile alaşımlıdır.

#### **Alaşım grubu 5**

Bu gruptaki malzemeler alaşımlı, %5'den fazla Cr ve düşük C'ludur (takriben %0,2'ye kadar C). Bu alaşım grubu Cr eliğı karakterli ve düşük C'lu dolgu malzemesini kapsar. Cr %5 ile %30 arasında değişir, C %0 2'ye kadar bulunur.

Kaynak malzemesinin sertliği martenzit miktarı ile artar. Dolgu benzer bileşimde elik veya daha düşük mukavemette imalat eliğı üzerine uygulanabilir.

#### **Alaşım grubu 6**

Bu gruptaki malzemeler %5'den fazla Cr ve yüksek C (takriben %0,2 ile %2,0) ile alaşımlıdır. Bu alaşım grubu Grup 5'e benzer. Ancak yüksek C miktarı sebebiyle sertlik 500 HB'den yüksektir, paslanmaya karşı mukavemeti daha azdır.

#### **Alaşım grubu 7**

Bu gruptaki malzemelerin içeriği %11 ile %18 Mn ile Mn stenit ve %0,5'ten fazla C ve %3'e kadar Ni'dir. Bu alaşım grubu mangan sert eliğı tipinde bir dolgu verir. Bileşiminde yukarıda sözü edilenlerden başka alaşım elementleri de bulunabilir. Karakteristik özelliği, soğuk zorlamada (şekil değişiminde) mukavemetinin artmasıdır. Böylece sertlik 180'den 550 HB'e kadar yükselebilir.

#### **Alaşım grubu 8**

Bu gruptaki malzemeler Cr-Ni-Mn-stenittir. Bu dolgunun malzemesi Grup 7'nin alaşımlarından daha dayanıklıdır. Soğukta sertleşme artışı daha az olup paslanmaya karşı mukavemeti iyidir. Isıl işlem istemez, talaş kaldırma ile işlenebilir, mıknatışlaştırılmaz.

#### **Alaşım grubu 9**

Bu gruptaki malzemeler Cr-Ni elikleridir (paslanmaya, asitlere ve sıcağa mukavim). Genellikle Cr-Ni-stenit birleştirme kaynağı malzemesi bileşimindedir. Aynı bileşimde alaşımlı elikler, Cr elikleri ve imalat çelikleri üzerinde ve

korozyona yüksek mukavemetin sözkonusu olduğu yerlerde kullanılır. Kaynak malzemesi soğukta sertlik artması ve yüksek dayanıklılık gösterir;

#### **Alaşımlar grubu 10**

Bu gruptaki malzemeler yüksek C ve Cr alaşımlı çeliktir. Co, Mo ve W da bulunabilir. Bu kaynak malzemesi yüksek karbonlu krom çelikleri sınıfındandır. %3-5'e kadar Cr'li bu çeliklerde C %2 ile %5 arasında değişir.

### **B- Az demirli kaynak malzemeleri**

#### **Alaşımlar Grubu 20**

Bu gruptaki malzemeler Co esaslı Cr-W ile alaşımlandırılmış, Ni ve Mo de eklenebilen alaşımlardır. Co-Cr alaşımlı kaynak malzemesi aşınmaya, korozyona ve oksidasyona sıcakta daha iyi mukavemet gösterir. Yüksek sıcaklıklarda sertliğin korunması bu grubun başlıca özelliğidir.

#### **Alaşımlar Grubu 21**

Bu gruptaki malzemeler karbür esaslı alaşımlardır (sinterlenmiş veya dökme). Bu kaynak malzemesinin karakteristik özelliği Cr veya W karbürlerinin yüksek miktarda bulunmasıdır. Dolgu malzemesi çok yüksek bir aşınma mukavemetine sahiptir.

#### **Alaşımlar Grubu 23**

Bu gruptaki malzemeler Ni esaslı Mo ile alaşımlandırılmış, Cr'lu veya Cr'suz alaşımlardır. Ni-Mo veya Ni-Cr-Mo alaşımlı kaynak malzemesinin önemi, sıcağa ve korozyona dayanıklılığından gelmektedir. 500 °C'ye kadar mukavemet ve sertlik yüksektir. Hidroklorik ve sülfürik asitlere karşı dahi, yüksek sıcaklıklarda ve yüksek basınçta korozyona mukavemet, bu grubun esas özelliğidir.

### **C- Demirsiz Kaynak Malzemeleri**

#### **Alaşımlar Grubu 30**

Bu gruptaki malzemeler Sn ile alaşımlandırılmış Cu esaslı alaşımlardır. Bu kaynak malzemeleri %6 ile 12 Sn'lı ve mutlak %0,5 fosforlu Sn bronzlarını kapsar,

%10'a kadar Sn'li alaşımlar preslenmeye uygun homojen malzeme ile %10'dan yukarı homojen olmayan döküm malzemelerini kapsarlar. Dolgu kaynaklarının Brinell sertlikleri 30 ile 130 N/mm<sup>2</sup> arasında olup, sertliği Sn oranına bağlıdır.

### **Alaşım Grubu 31**

Bunlar Al ile alaşımlandırılmış Cu esaslı alaşımlarıdır.

#### **Alaşım elementi Al :**

Bu kaynak malzemeleri ana alaşım maddesi olarak %5 ile %15 Al ihtiva ederler. Bu ikili alaşımlar 60-100 N /mm<sup>2</sup>'lik Brinell sertliği ve iyi kimyasal dayanıklılık gösterirler.

#### **Alaşım elementi Fe:**

Al'un yanı sıra %6'ya kadar Fe'in bulunduğu kaynak malzemesi 90'dan 320 N/mm<sup>2</sup>'ye kadar yükselebilen Brinell sertliklerine sahip olurlar.

#### **Alaşım elementi Ni:**

%5'e kadar Ni ilavesi ile bu kaynak malzemeleri 250N/mm<sup>2</sup>'ye kadar Brinell sertliğindedirler, erozyon ve kavitasyona karşı yüksek mukavemet gösterirler.

#### **Alaşım elementi Mn:**

%15'e kadar Mn, Fe ve Ni gibi diğer elementleri ihtiva eden kaynak malzemeleri 250 N/mm<sup>2</sup>'ye kadar Brinell sertliğine ve 75 N/mm<sup>2</sup>'ye kadar çekme mukavemetine sahip olan bu kaynak malzemeleri sürekli titreşimlere, erozyon ve kavitasyona karşı dayanımları ile kendilerini gösterirler ve yüksek manganlı bileşimlerde yüksek elektrik direncine sahiptirler.

#### **Alaşım elementi Si:**

%2,5'a kadar Si'lu kaynak malzemeleri ancak bazı hususlar dikkate alınarak kaynak edilebilirler ve 200 N/mm<sup>2</sup>'ye kadar Brinell sertlikleri verirler.

### **Alaşım Grubu 32**

Bunlar Ni alaşımlı Cu esaslı alaşımlardır. Buradaki Cu-Ni alaşımlarının kaynak malzemesi %5 ile 45 Ni ve %1,5'a kadar değişen Fe ve %3,5'a kadar değişen Mn ihtiva eder.

Bunların Brinell sertliği 160 N/mm<sup>2</sup>'ye kadar çıkar; kaynak malzemesi özellikle deniz suyundan kaynaklı korozyona dayanıklıdır.

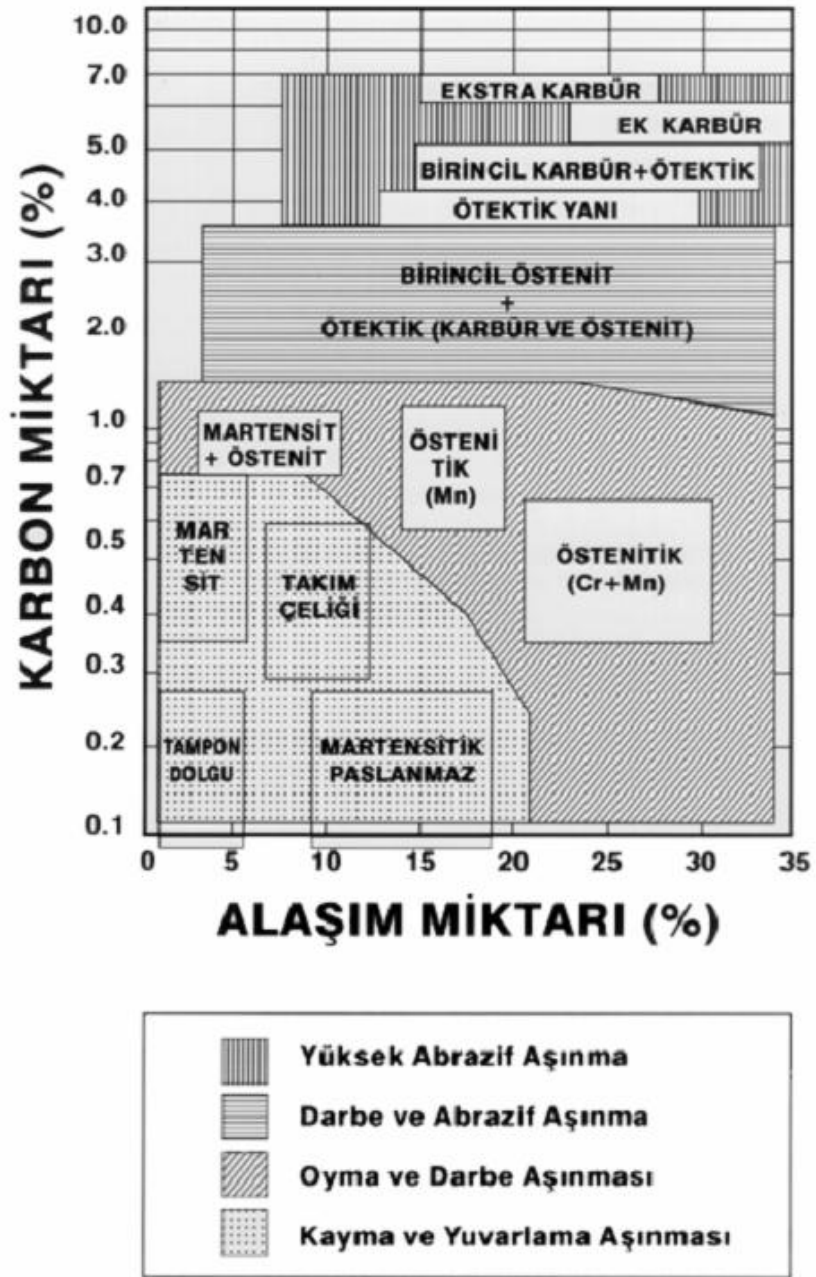
#### 5.4 Sert Dolgunun Sahip olduğu Yapıya Göre Sınıflandırılması

Demir bazlı sert dolgu alaşımları metalürjik fazlarına veya mikro yapılarına göre alt gruplara bölünebilir ve her biri belli bir aşınma türüne diğerlerine göre daha fazla direnç gösterir. Basitleştirmek amacıyla bu alaşımlar dört ana grupta toplanabilir:

1. Ferritik Alaşımlar
2. Östenitik alaşımlar
3. Martensitik alaşımlar
4. Karbürlü alaşımlar

Bazı uygulamalarda aşınma türlerinin kombinasyonu etkilidir. Örneğin; tek bir örtülü elektrodla, birincil östenit ile ötektik karbürleri birleştirerek, darbe ve aşınma direnci özelliği kazandırılabilir. Alternatif olarak, manganlı çelik üzerine veya manganlı dolgu kaynağı üzerine bir paso krom-karbür kaynak metali yığılarak darbe ve aşınma direnci birleştirilebilir. Bileşik elektrot (birincil östenit ile ötektik karbür) darbe direncinin daha önemli olduğu yerde tercih edilebilirken, östenitik manganlı çelik üzerine krom-karbür malzeme de aşınmanın daha önemli olduğu yerde tercih edilebilir.

Çeşitli elektrotların mikro yapıları Kotecki Diyagramında verilmiştir. Karbon miktarı bir eksen ve alaşım miktarı da diğer eksen üzerinde gösterilmiş ve diyagram mikro yapı ve alaşım türüne göre bölünmüştür. Sert dolgu ürünün mikro yapısal özelliği ve direnç göstereceği aşınma türü diyagramdan bulunabilir. (Akay, 1996)



Şekil 5.3 Kotechi diyagramı

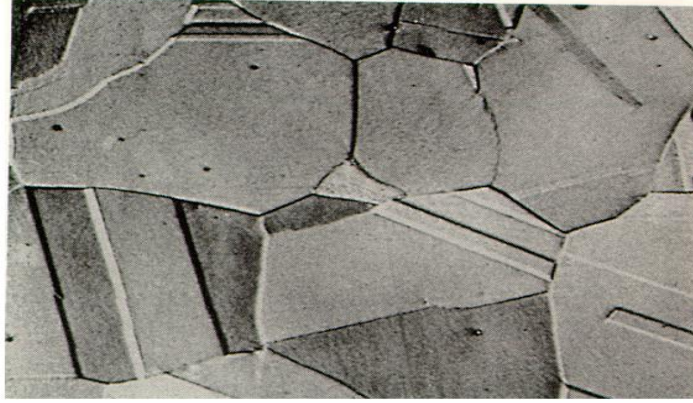
#### **5.4.1. Ferritik Alaşımlar**

Bu alaşımlar en fazla %0.15 C ve en fazla %5 alaşım elementi (Mn, Cr, Mo) içerirler. Düşük karbon ve düşük alaşım miktarına sahip oldukları için yapı baskın olarak ferrittir. Karbon ve alaşım miktarı arttıkça artan miktarda martenzit/beynit ikinci fazı görülür. Bu alaşımların kaynak sonrası sertlikleri 200 HB ile 300 HB arasında değişir. 450 °C'nin üzerindeki kaynak sonrası ısıtılarda martenzitin temperlenmesi nedeniyle sertlikte düşme görülür. Darbe direnci ve metal-metal aşınma direnci iyi düzeydedir. Abrazif aşınmaya karşı direnci düşüktür. Sertlik ne kadar yüksekse, aşınma direnci o kadar yüksek olur. Yukarıda verilen özelliklerden dolayı bu alaşımlar; tampon paso, dolgu, yüksek darbe ve düşük aşınmaya maruz parçaların kaplanması için kullanılır.

#### **5.4.2. Östenitik Sert Dolgu Alaşımları**

Bu tip alaşımlar mikro yapılarının oda sıcaklığında dahi östenit olması sebebiyle böyle adlandırılırlar (Şekil 5.4). %0.5-1 karbon ve %13-20 alaşımlı (başlıca mangan ve çok az oranda nikel ve krom) çelikler manganlı östenitik çelikler veya 'Hadfield Çelikler' olarak adlandırılırlar. Bu alaşımlar genellikle temiz bir yüzey elde edilmesi istenen dolgularda ve karbürli alaşımlarla doldurulacak manganlı östenitik çeliklerde tampon tabaka olarak kullanılırlar. Östenitik alaşımların %0,7 karbon ve %20-30 alaşım elementi (eşit miktarlarda mangan, krom ve nikel) içerenleri, düşük alaşımlı ve karbonlu çelikler üzerine yapılan ve ana metalden fazla karışma olan durumlarda dahi tam östenitiklerdir. Bu durum bu tip sert dolgu alaşımları karbonlu yada düşük alaşımlı çeliklerin manganlı çeliklerle birleştirmelerinde yada karbonlu çeliklerin sert dolgusunda manganlı östenitik çeliklerden daha avantajlı kılar.

Östenitik sert dolgu alaşımları oldukça tokurlar ve soğuk sertleşme gösterirler. Aynı zamanda mükemmel darbe, orta abrazyon dayanımı ve gerilim çatlakları oluşturmama özellikleri vardır. Bu tip alaşımlar 50 HRC'ye kadar darbe ile sertleşirler, bu durum onlara darbe dayanımı yanında iyi bir abrazyon dayanımı da sağlar. Östenitik sert dolgu alaşımları aynı manganlı östenitik ana malzeme gibi 250°C'nin üzerine çıkmamalıdır aksi halde gevrekleşir ve kırılır.



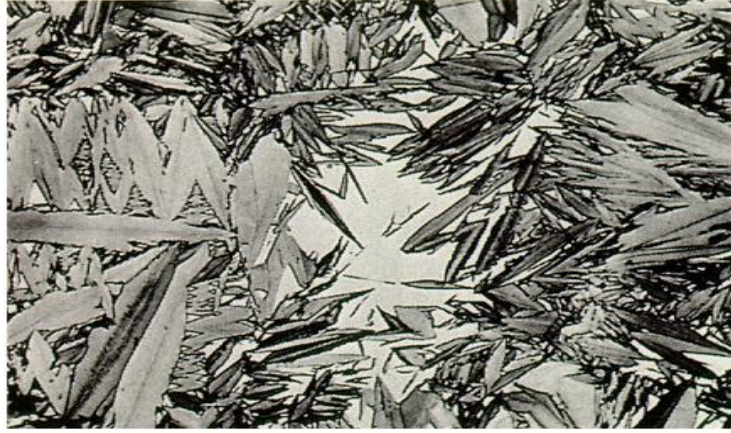
Şekil 5.3 Östenitik bir alaşımların mikro yapı fotoğrafı (Akay,1996 )

#### 5.4.3 Martenzitik Sert Dolgu Alaşımları

Martenzit, çeliklerin hızlı soğuması sonucu oluşan bir fazdır. Martenzitik alaşımlar havada sertleşebildiklerinden soğuma hızı sonuçta oluşacak sertliğe etkiler. Çatlaksız bir kaynak metali için 100-350°C arasında bir ön tav uygulanmalı ve bu işlem yapılırken ana malzemede göz önüne alınmalıdır. Düşük karbonlu ve düşük alaşımlı (%5'in altında) martenzitik alaşımlar çeliklerin sert dolgu kaynaklarında kullanılır. Bu tür alaşımların tokluk, sıkışabilme dayanımı ve metal-metale sürtünme dayanımları iyi olduğundan sert dolgu kaynaklarında ve daha sert malzemelerde tampon tabaka olarak kullanılırlar. Biraz daha yüksek karbonlu ve daha yüksek alaşımlı (% 6-12) martenzitik alaşımlar, oldukça yüksek kaynak sonrası sertliğe sahiptirler. Bu sertlik, bunlara daha iyi metal-metale sürtünme ile abrazyon dayanımı sağlar, fakat tokluk düşer. Bunların toklukları temperleme ile yükseltilebilir.

Sert dolguda daha çok tampon olarak kullanılırlar. Diğer bir grup martenzitik alaşımlar da martenzitik paslanmaz çeliklerdir. % 0.25'e kadar karbon, % 18 alaşım elementi (başlıca krom) ihtiva ederler. Bu grup alaşımlar ısıl şoklara karşı çok iyi dayanım gösterirler. Bu alaşımlar iyi metal-metale sürtünme ve orta seviyede korozyon direncine sahiptirler. Doğru kaynak prosedürü ile merdanelerin sert dolgu kaynaklarında başarıyla kullanılırlar. Martenzitik sert dolgu alaşımları darbe ve adezyon dirençleri yanında, uygun karbon ve krom miktarı seçimi ile iyi abrazyon, darbe ve adezyon direncine de sahip olabilirler. Bu daha iyi çalışma

koşulları sağlar. Bu alaşım grubu birleştirme kaynaklarında ve östenitik ana metallerde kullanılamaz (Akay, 1996).

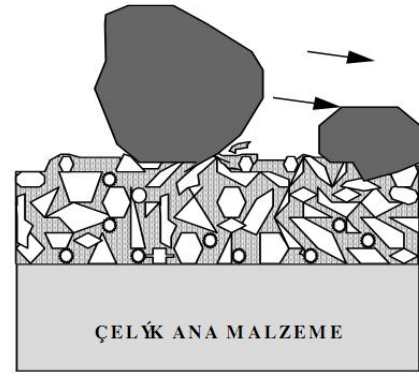
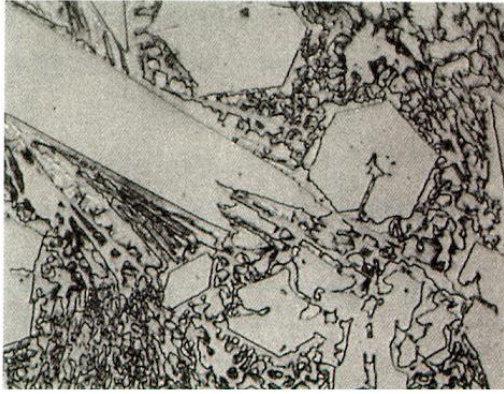


Şekil 5.4 Martenzitik bir alaşımın mikroyapı fotoğrafı

#### **5.4.4. Karbürlü Sert Dolgu Alaşımları**

Aşınma faktörünün yalnızca abrazyon olduğu hallerde: Başlıca krom ve diğer karbürleri en az % 12 oranında içeren dolgu alaşımları kullanılır. Karbürler, kendilerini çevreleyen matristen daha serttir ve mükemmel abrazyon dayanımı sağlar. Abrazyon ve darbenin birlikte olduğu hallerde: Karbon oranı düşük seviyelerde (%3'ten az) olmalıdır, karbürler matris içinde az miktarda dağılmıştır ve bunlar iyi tokluk değerinin yanında iyi bir abrazif direnç de sağlarlar.

Abrazyon ve yüksek sıcaklığın birlikte olduğu hallerde: Karbür alaşım içinde karbon oranı (%7 gibi) arttığında abrazyon direnci yükselir, fakat tokluk düşer. Tüm yüksek karbürlü sert dolgu alaşımları gerilim nedeniyle oluşan çatlakları ihtiva ederler. Bu tür alaşımlar birleştirme kaynaklarında kullanılmamalıdır. Karbonlu, düşük alaşımlı, manganlı östenitik çeliklerle ve dökme demirlerde özel kaynak işlemleri ile uygulanabilir. Ana metal hatasız ve tok olmalıdır. Kaynak dikişinin pullanıp dökülmesini önlemek için karbürlü sert dolgu alaşımları 2-4 paso ile sınırlandırılmalıdır. Çatlaklar ince malzemeye sirayet edebilir. İnce malzemeler üzerine sert dolgu yaparken gerilim çatlaklarının oluşmaması için özel önlemler alınmalıdır. Bu tür alaşımlar 650°C'ye kadar yüksek sıcaklıklarda da abrazyon direncine sahiptirler ve mekanik yöntemlerle işlenemezler (Akay, 1996).



Şekil 5.5 Bazı karbür parçaları abrasif parçacığın hareketini kısıtlarken koparlar, geriye kalan karbürler de aşınmayı geciktirirler (Akay 1996).

## **BÖLÜM ALTI**

### **ASTM G65-KURU KUM /KAUÇUK DİSK KULLANILARAK ABRAZYON ÖLÇÜMÜ İÇİN STANDART TEST YÖNTEMİ**

#### **6.1 G65 Kuru Kum/Kauçuk Disk Testi (ASTM, 2001)**

Bu deney laboratuvar çapında farklı metal malzemelerin abrasif aşınmaya dayanım testidir. Genel olarak bu deneyde hacim kayıp miktarına göre farklı prosedürler uygulanır.

Bu deney 5 farklı prosedüre göre gerçekleştirilir.

**PROSEDÜR A:** Bu prosedür, düşük abrasif dirençten yüksek abrazyon dirence kadar, geniş çapta hacim kaybına göre metalik malzemeleri sınıflandıran izafi bir testtir. Bu test özellikle orta ve yüksek abrasif dirence sahip malzemelerin testlerinde kullanışlıdır.

**PROSEDÜR B:** Bu prosedür, prosedür A'nın daha kısa formudur. Bu yüksek abrasif dirence sahip olan malzemelerde kullanılır. A prosedür koşullarında yapılan testte, hacim kayıp miktarı  $100 \text{ mm}^3$ 'ü geçtiği zaman prosedür B kullanması gerekir.

**PROSEDÜR C:** Prosedür A'nın kısa formlarından biridir ve çok ince kaplanmış malzemeler için kullanılır.

**PROSEDÜR D:** Prosedür A'nın daha düşük yük uygulanan koşullarında kullanılır. Bu prosedür daha az aşınma dayanımı gösteren malzemeler için tavsiye edilir.

**PROSEDÜR E:** Prosedür B'nin kısa formlarından biridir. Bu prosedürde orta veya düşük aşınmaya dayanıklı malzemelerin testleri yapılır.

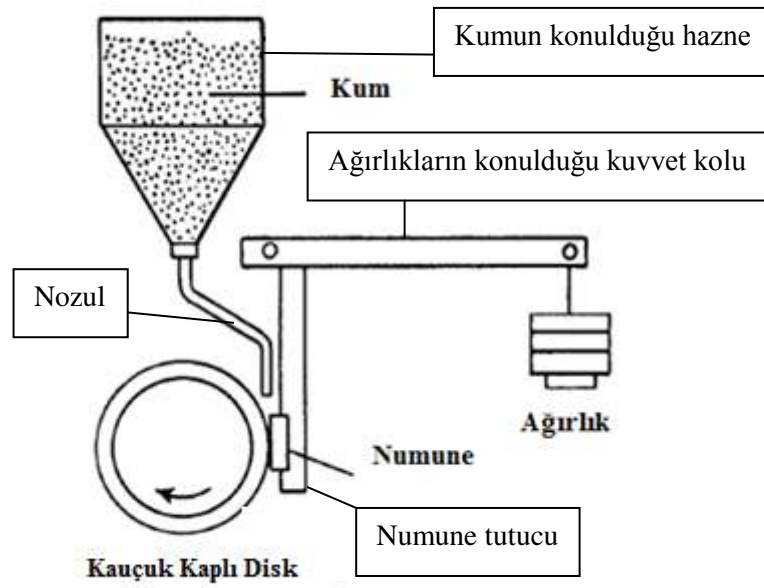
Tablo 6.1 Bazı malzemelerin Prosedür A ve Prosedür B standartlarındaki hacim kayıpları

| Alaşım                       | Sertlik (HV) | Hacim Kaybı (mm <sup>3</sup> ) |            |
|------------------------------|--------------|--------------------------------|------------|
|                              |              | Prosedür A                     | Prosedür B |
| Paslanmaz çelikler           | 207          | 408.0                          | 170.8      |
| Düşük alaşımlı çelik A514    | 256          | ...                            | 134.1      |
| Düşük alaşımlı çelikler 4340 | 540          | ...                            | 74.0       |
| Takım çelikler               | 689          | 45.5                           | 14.6       |
| Yüksek kromlu döküm demir    | 661          | 31.5                           | 12.7       |
| Karbonlu çelikler            | 785          | ...                            | 32.1       |

## 6.2 Deneyin Kullanım Alanları

Abrasif aşınma, aşındırıcı partiküllerin boyutlarına, şekline ve sertliğine ayrıca partiküllerin meydana getirdiği gerilim büyüklüğüne ve abrasif partiküllerin numuneye temasının sıklığına göre değişir. Deney bütün bu parametreleri kapsar ve standart koşullara getirir. Bu deney abrasif test numunesi ile özel sertlikteki kauçuk disk arasına aşınma partiküllerin gönderilmesiyle yapılır. Numune ile döner disk arasına gönderilen aşındırıcıya uygulanan kuvvet, numunenin ucuna takıldığı, ağırlıkla kontrol edilen denge çubuğu tarafından uygulanır. Diskin dönüş yönü kumun akış yönüyle aynıdır.

Sistem içindeki abrasif aşınma oranı abrasif parçacıkların boyutuna, şekline, sertliğine, parçacık tarafından uygulanan gerilim şiddetine ve abrasif parçacığın temas frekansına bağlıdır. Sabit aşınma durumları için bu koşullar standartlaştırılmışlardır.



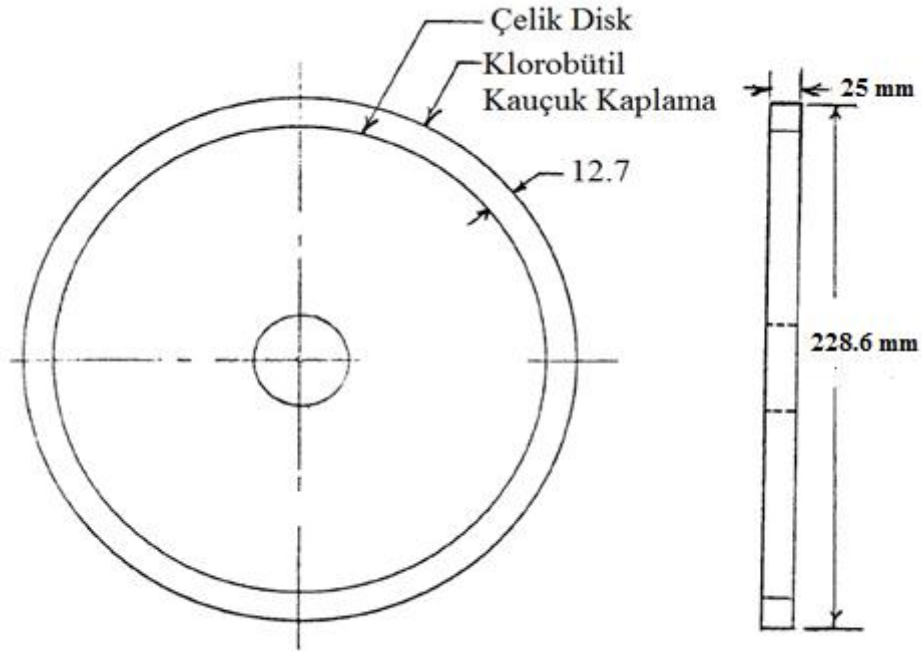
Şekil 6.1 G65'e göre abrazif aşınma mekanizması

### 6.3 Aparatlar ve Malzeme

Bu testte kullanılan cihazın şematik gösterimi Şekil 6.1'de gösterilmiştir.

#### 6.3.1 Kauçuk Disk

Şekil 6.2'de gösterilen ve ölçüleri belirtilen disk çelikten imal edilmiş olup üzerinde klorobütıl kauçuk kaplanmıştır. Optimum kauçuk sertliği Durometre A-60 tır. Çelik disk üzerine kaplanan kauçuğu oluşturan malzemeler ve kullanılan oranlar Tablo 6.2'de verilmiştir. Klorobütıl kauçuk, Tablo 6.2'deki malzemeler kullanılarak 1.15 Bar basınç altında 160°C'de 20 dakika pişirilerek elde edilmiştir.



Şekil 6.2 Kauçuk Diskin Genel Boyutları

Tablo 6.2 Klorobutil Kauçuk içeriği

| Malzemeler                               | Ağırlık Oranları |
|------------------------------------------|------------------|
| Klorobutil No. HT 10-66 (Enjay Chemical) | 100              |
| Agerite Staylite-S                       | 1                |
| HAF black                                | 60               |
| Circolight oil                           | 5                |
| Stearic acid                             | 1                |
| Zinc oxide                               | 5                |
| Ledate                                   | 2                |

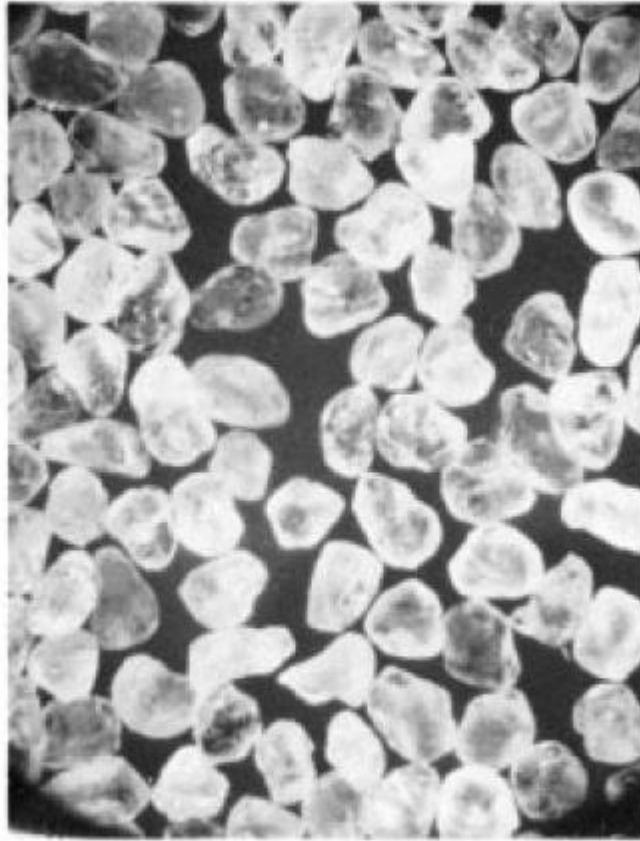
### 6.3.2 Abrasif Aşındırma

Abrasif kuvars kumu olan AFS 50/70 test kumu olarak kullanılır (Bu standardı U.S Silica Co Ottawa Sand öneriyor). Nem oranı ağırlıkça %0,5'i geçmemelidir. Neme maruz kalan abrasif aşındırıcı test sonuçlarını etkiler. Nem oranı aşındırıcının 1 saat boyunca 120 °C'de ısıtılması sonunda ağırlığının ölçülmesi ile belirlenebilir. Eğer aşındırıcı nem oranı % 0,5'in altına düşmezse en az bir saat daha 100 °C'de ısıtılarak kurutulabilir. Abrasif partiküllerin boyutları Tablo 6.3'te verilmiştir.

Tablo 6.3 Aşındırıcı Boyutlandırması

| U.S. Elek Boyutu | Elek Başlangıç Boyutu | % Elek Üzerinde Birikme |
|------------------|-----------------------|-------------------------|
| 40               | 425 µm                | Yok                     |
| 50               | 300 µm                | max 5                   |
| 70               | 212 µm                | min 95                  |
| 100              | 150 µm                | Elekten geçmez          |

Şekil 6.3'de görüldüğü üzere standart abrasif aşındırıcı için Ottawa kum kullanılır ancak yaptığımız çalışmada Farin ve Klinker aşındırıcı kullanılmıştır. Bölüm 7'de bu aşındırıcılar ile ilgili detaylı bilgi verilmiştir.



Şekil 6.3 Ottawa kumu görünümü

### **6.3.3 Aşındırıcı Nozulu**

Nozul, test koşulları için uygun boyutta aşındırıcı akış oranını sağlayacak şekilde olmalıdır. Yeni nozullarla aşındırıcı akış miktarı nozul ağzının genişliğinin artmasıyla 300 g/dak dan 400 g/dak ya kadar sağlanabilmektedir. Deney süresince nozulun ucu test numunesi ve kauçuk diskin birleşimine yakın olmasını sağlayacak şekilde konumlandırılmalıdır.

### **6.3.4 Motor Tahriği**

0.7 kW'lık güce sahip DC motor, torkun test boyunca iletilmesini sağlayan 10/1 çevrim oranındaki dişli kutusuna bağlıdır. Yük altında devir sayısı ( $200 \pm 10$  D/d) olmalıdır.

### **6.3.5 Disk Devir Sayacı**

Diskin dönüş sayısını özel bir yöntemle gösteren cihazdır. Önceden belirlenmiş bir devir sayısında ya da 12000 devire ulaştığında kendisini kapatma özelliğine sahip sayacın kullanılması önerilir.

### **6.3.6 Numune Tutucu ve Denge Kolu**

Numune tutucu, ucuna ağırlıklar asılabilen denge koluna bağlıdır. Böylece diske yatay olarak kuvvet uygulanmış olur.

## **6.4 Numune Hazırlama**

### **6.4.1 Malzeme**

ASTM G65 abrasif test; döküm metaller, dövme metaller, kaynaklı malzemeler, toz metalürji, plazma püskürtme, seramikler vb. malzemelere uygulanabilir.

### **6.4.2 Genel Numune Boyutları**

Numune boyutları numune tutucu ölçülerine ve sabitleyici standartlarına göre hazırlanır. Örneğin 25mm-76mm ve 3.2mm-12.7mm arasında dikdörtgen kesitli numune hazırlanır. Teste tabi tutulacak metallerin (döküm metaller, dövme metaller vs.) istenilen numune boyutuna getirilmesi için talaşlı imalat, frezeleme ve taşlama gerekir.

### **6.4.2 Dolgu Kaynağı Yapılmış Numuneler**

Elektrik ark kaynağı veya gaz altı kaynağı ile hazırlanan numuneler için kaynak parametrelerinin ve kaynak tekniğinin belirlenmesi gerekir. Kaynak parametreleri kaynak yapılan dolgunun kaplamasının aşınma direncini etkiler.

#### 6.4.4 Son İşlem

Abrasif aşınma test numunelerin pürüzlülüğü de aşınma direncini etkiler ve 0,8 $\mu$ m'ye kadar pürüzlülük kabul edilebilir.

#### 6.5 Test Parametreleri

Testin seçtiğimiz prosedürler doğrultusunda Standart bir şekilde yapılması için test parametreleri ayarlanır (Tablo 6.4).

Tablo 6.4 ASTM G65 Test prosedürlerine göre test parametreleri

| <i>ASTM Test<br/>Prosedürü</i> | <i>Uygulanan<br/>Kuvvet (N)</i> | <i>Toplam Disk Devir<br/>Sayısı</i> | <i>Kayma Mesafesi<br/>(m)</i> |
|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| <i>A</i>                       | <i>130</i>                      | <i>6000</i>                         | <i>4309</i>                   |
| <i>B</i>                       | <i>130</i>                      | <i>2000</i>                         | <i>1436</i>                   |
| <i>C</i>                       | <i>130</i>                      | <i>100</i>                          | <i>71,8</i>                   |
| <i>D</i>                       | <i>45</i>                       | <i>6000</i>                         | <i>4309</i>                   |
| <i>E</i>                       | <i>130</i>                      | <i>1000</i>                         | <i>718</i>                    |

##### 6.5.1 Aşındırıcı Akış Miktarı

Aşındırıcı akış miktarı 300 g/dak ile 400 g/dak arasında olmalıdır. Aşındırıcı akış miktarı sabit şekilde ayarlanmadan disk dönüşü başlatılmamalıdır. İşleme başlamadan önce aşındırıcı tozu istenilen akış hızına ayarlanır. Daha sonra disk istenilen hıza getirilir ve ardından tutucuya ağırlıklar eklenir ve teste başlanır. Teste başlamadan önce aşındırıcı toz akış hızı istenilen değere (300 g/dak) gelene kadar disk döndürülmez ve ağırlık eklenmez.

### **6.5.2 Test Süresi**

Test süresi disk hızına bağlı olarak Prosedür A ve D için yaklaşık 30 dakika, Prosedür B için 10 dakika, Prosedür E için 5 dakika, Prosedür C için 30 s 'dir. Verilen zaman parametrelerinin her prosedürde uygulanması için diskin devir sayısı zaman ile kontrol edilir. Bunun için diskin hız parametresi önemlidir.

### **6.5.3 Doğrusal Abrasyon**

Tablo 6.4'de verdiğimiz değerler doğrultusunda toplam disk devir sayısı ve abrazyon mesafesi arasında doğrusal bir oran vardır. Aşınma miktarı diskin çapına bağlı olarak 1 turu 228,6 mm'ye tekabül etmektedir. Devir yaparken çapı azalan kauçuk diskin devir sayısı yeni diskin devir sayısına eşit hale getirilmelidir, ya da azalan aşınma oranı aşınan tekerlek tarafından oluşturulan hacim kaybının normal yeni diskin hacim kaybına oranıyla bulunur. Bunlar hesaplama bölümünde açıklanmıştır.

## **6.6 İşlemler (Prosedür)**

### **6.6.1 Temizleme**

Numunenin ağırlığı ölçülmeden önce çözücü yada temizleyiciyle numune temizlenir ve kurutulur. Numune üzerinde birikmiş tüm yabancı maddelerin numuneden uzaklaştırılmış olmasına dikkat edilmelidir. Bu nedenle yabancı maddeleri temizlemek için kullanılan çözücü malzeme tarafından yakalanabilir. Mıknatıs özellikli çelik numunelerin kalıcı mıknatıslığı giderilmelidir.

### **6.6.2 Ölçme**

Numunenin ağırlık hassaslığı 0,0001 gr olan bir terazide ölçülmelidir. Numuneyi tutucuya düzgün şekilde yerleştirdikten sonra kaldıraç koluna gerekli ağırlıklar (numuneyi diske bastırmak ve gerekli kuvveti oluşturmak için) eklenmelidir.

## **6.7 Teste Başlama Sıralaması**

Teste başlamak için aşağıdaki parametreler ayarlanmalıdır.

- 1- Aşındırıcı toz akış hızı
- 2- Disk devir sayacı
- 3- Ağırlık uygulama

Parametreler ayarlandıktan sonra disk dönüşü başlatılır ve ardından denge kolunun dikkatlice aşağı inmesi sağlanır.

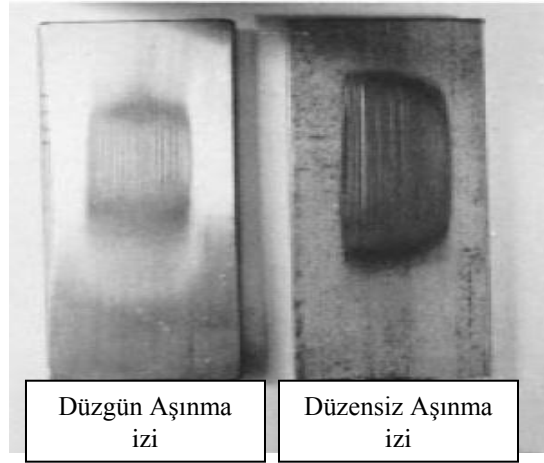
Dolayısıyla önceden ayarlanmış disk devir sayısına ulaşıldığında, numune diskten uzaklaştırılır ve kum akışı ve disk dönüşü durdurulur. Numune numune tutucudan çıkartılır ve ağırlığı ölçülür.

### **6.7.1 Bekleme Süresi**

Numunenin ağırlık ölçümleri için teste ara verildiğinde kauçuk diskin oda sıcaklığına dönmesi için gerekli bir bekleme süresi olmalıdır ve bu süre tüm prosedürler için 30 dakikadır.

### **6.7.2 Aşınma İzi**

Testten sonra aşınma izleri gözlemlenir ve düzgün ya da düzensiz aşınma izlerinin fotoğraflarıyla karşılaştırılır. Düzgün hazırlanmayan örnek kauçuk disk kenarında bir uygunsuzluk gösterir.



Şekil 6.4 Aşınma izi

### ***6.7.3 Kauçuk Diskin Hazırlanması ve Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar***

Kauçuk disk merkezleri aynı olacak ve çelik diskin etrafını saracak şekilde takılır. Bu merkezleme 0,5 mm toleransla olabilir. İzler düzgün dikdörtgen formatında olmalı ve aşınma izinin derinliği ile genişliği her yerde aynı olmalıdır. Dikkat edilmesi gereken önemli bir husus da kauçuk disk çapının 215,9 mm'e kadar azalmasına izin verilmesidir. Kauçuk disk çapının bu değerin altına inmesi durumunda yeni disk takılmalıdır.

### **6.8 Testi Sonlandırma**

Test şu sırayla sonlandırılır.

- 1- Ağırlık kaldırılır.
- 2- Kum akışı durdurulur.
- 3- Disk durdurulur.

## 6.9 Hesaplama ve Sonuçları Rapor Etme

### 6.9.1 Abrazif Aşınma Test Sonuçları

Abrazif aşınma test sonuçları mm<sup>3</sup> cinsinden, testte kullanılan işleme göre rapor edilmelidir. Aynı yoğunluğa sahip malzemeleri karşılaştırırken kütle kaybı kullanılabilir. Ancak bu prosedürleri kullanan araştırmacıların test sonuçlarını yayın ve raporlarda hacim kaybı şeklinde rapor etmelidirler (mm<sup>3</sup>).

$$\text{Hacim kaybı, mm}^3 = \frac{\text{Kütle kaybı(g)}}{\text{Yoğunluk(g/cm}^3\text{)}} * 1000 \quad (6.1)$$

### 6.9.2 Kauçuk Diskin Hacim Kaybı Yaklaşımı

Kauçuk diskin numuneye sürtünen yüzeyinde oluşan abrazif aşınma çentiğinin artmasıyla çapında azalmalar olacaktır. Aşınmayla birlikte küçülen diskten ölçülen hacim kaybı yanlıştır. Hacim kaybı yaklaşımı değeri hesaba katılır ve 228,6 mm çapında disk tarafından üretilen kesin abrazif aşınma oranını gösterir.

$$\text{Yaklaşık Hacim Kaybı} = \text{Hesaplanan Hacim Kaybı} * \frac{228.6}{\text{Kullanımdan sonraki tekerlek çapı}} \quad (6.2)$$

## 6.10 Hassasiyet

Bu test yöntemiyle elde edilen ölçümlerin hassasiyeti sabit test parametrelerine ve test süresi boyunca özel aşındırıcı akış miktarına bağlıdır.

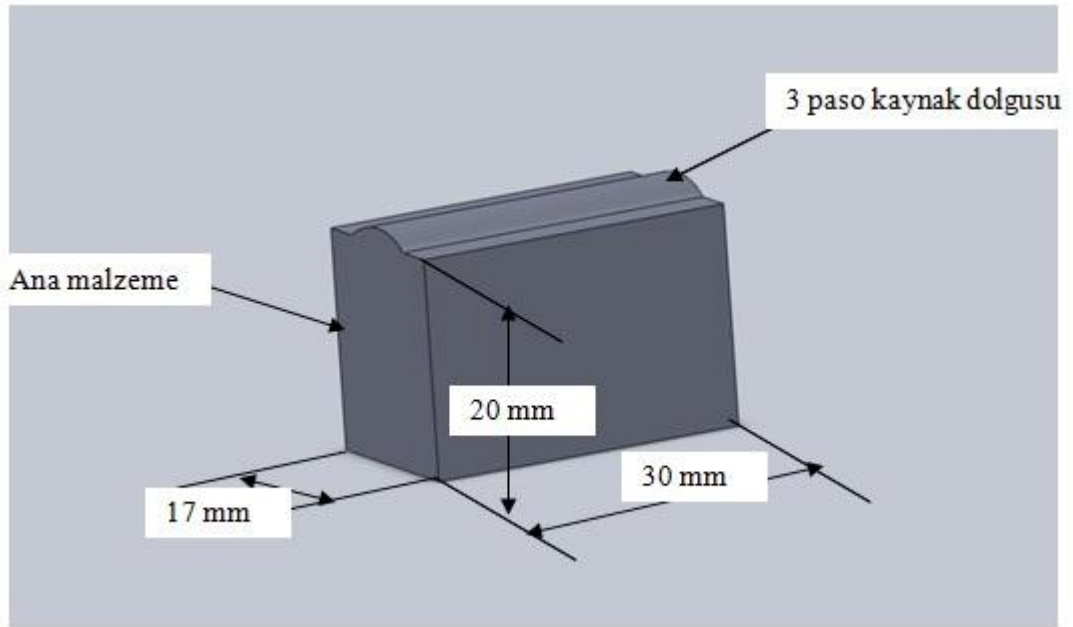
Aynı malzeme üzerinde tekrarlanan testlerde, sonuçların birbirleriyle uyuşmasının derecesi malzemenin homojenliğine, makine ve malzeme temasına ve operatör tarafından testin yakın gözlemine bağlıdır.

## BÖLÜM YEDİ

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 7.1 Numune Hazırlama

ASTM G65 standardına ve kullanılan aşınma cihazının numune tutucu boyutlarına göre numuneler hazırlanmıştır. Öncelikle 17x20x30 mm boyutlarında st37 çelik numuneler kesilir ve freze ile istenilen boyutlara getirilir. Numunelerin hazırlanan yüzeyi üzerine üç paso sert dolgu kaynağı yapılır.



Şekil 7.1 Ana malzeme ve kaynak dolgusu taslak gösterimi

Deneyde 5 farklı sert dolgu kaynak elektrotu kullanılmıştır. Bu elektrotların özellikleri Tablo 7.1 'de gösterilmiştir.

Tablo 7.1 Sert dolgu kaynak elektrotların kimyasal içerikleri

| Elektrod           | C (%) | Si(%) | Mn(%) | Cr(%) | Ni(%) | Mo(%) | V(%) | W(%) | Nb(%) | Cu(%) | Fe(%)      |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|------------|
| <b>FAZER 55</b>    | 0.06  | 0.7   | 1.0   | 12.5  | 0.6   | 0.5   | 0    | 0    | 0     | 0.2   | Geri Kalan |
| <b>Thermo Dur</b>  | 0.5   | 1.1   | 0.5   | 7.5   | 0     | 1.0   | 1.0  | 0    | 0     | 0     | Geri kalan |
| <b>Unibase 660</b> | 0.07  | 0.9   | 5.6   | 0     | 8.5   | 0.75  | 0    | 0    | 0     | 0     | Geri kalan |
| <b>FAZER 63</b>    | 3.20  | 1.0   | 0.3   | 29.0  | 0     | 0     | 0    | 0    | 0     | 0     | Geri kalan |
| <b>FAZER 65</b>    | 4.5   | 1.0   | 0.3   | 23.5  | 0     | 5.0   | 1.7  | 4.0  | 4.0   | 0     | Geri kalan |

## 7.2 Numunelerin Kaynak Parametreleri

Numunelerin kaynak parametreleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 7.2 Kaynak parametreleri

| Numune Adı | Akım(A) | Gerilim (V) |
|------------|---------|-------------|
| Fazer 55   | 120     | 30          |
| Thermo Dur | 110     | 30          |
| Unibase    | 115     | 30          |
| Fazer 63   | 115     | 30          |
| Fazer 65   | 130     | 30          |

## 7.3 Deneyde Kullanılan Aşındırıcılar

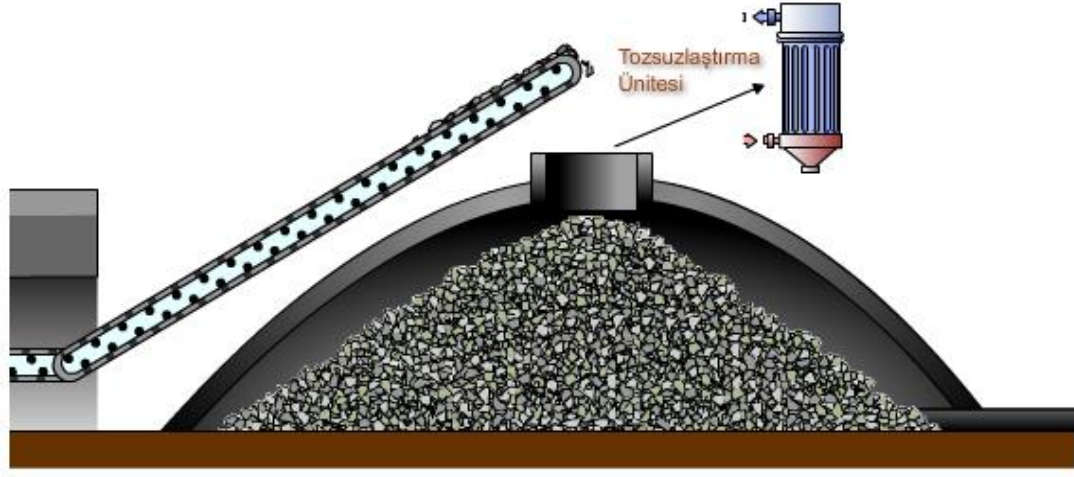
**Farin Tozu:** Belirli kimyasal kompozisyona sahip kalker, kil, demir cevheri, v.b. maddelerin öğütülerek ince bir toz haline getirilmesiyle oluşan maddedir. Bu toz “Farin” olarak adlandırılır.

### 1. Hammadde Hazırlama

Kırılan hammaddeler çeşitlerine göre stoklanır.  
Tozlar transfer noktalarındaki torbalı filtrelerle geri kazanılır.

#### Emisyon Azaltımı

- Tozlar transfer noktalarındaki torbalı filtrelerle geri kazanılır



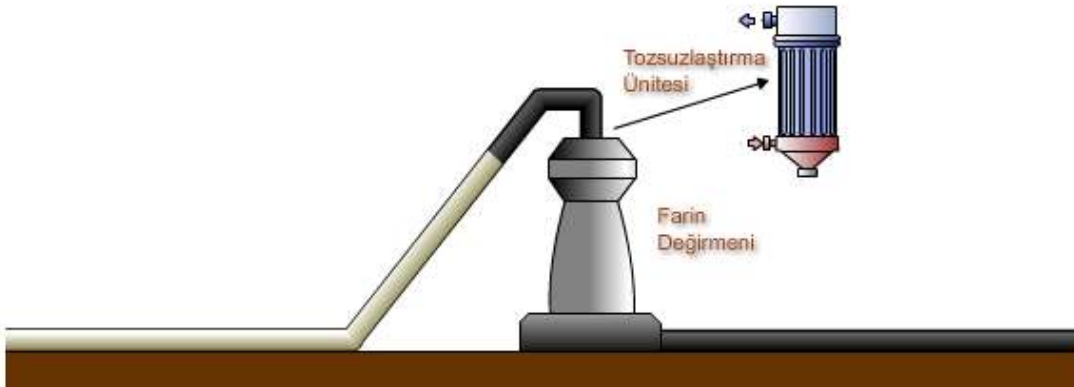
Şekil 7.2 Hammadde hazırlama aşaması (www.tcma.org.tr).

### 1. Hammadde Hazırlama

Alınan hammaddeler değirmende öğütülerek farin haline getirilir.

#### Emisyon Azaltımı

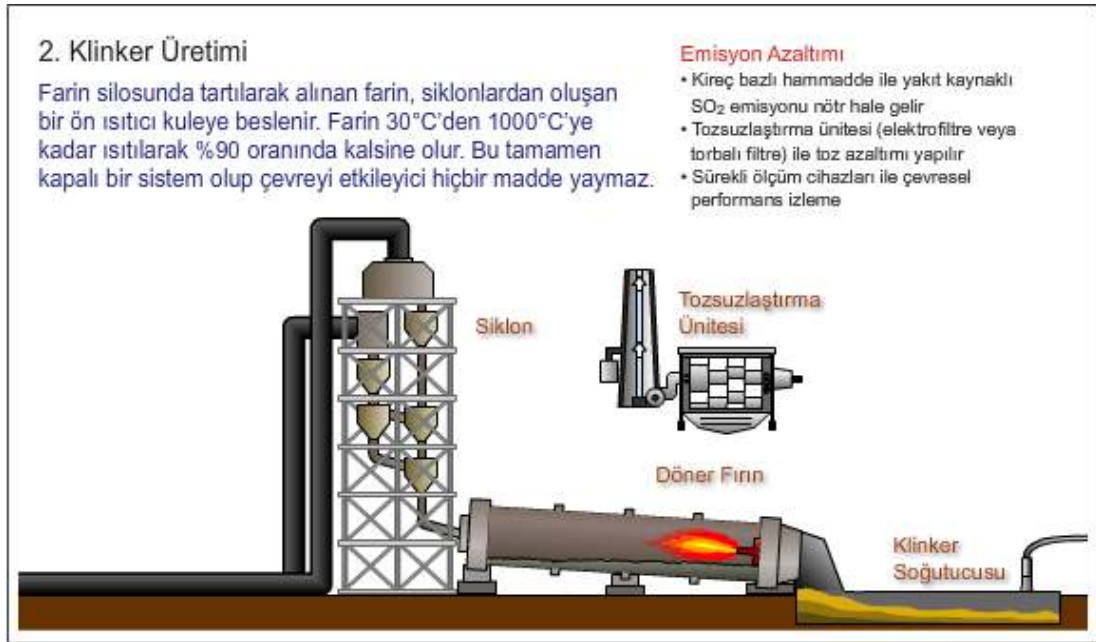
- Tozsuzlaştırma ünitesi



Şekil 7.3 Farin hazırlama aşaması (www.tcma.org.tr).

**Klinker:** Çimento fabrikalarında pişirme işlemi için farin silolarından ön ısıtıcıya farin beslenir. Ön ısıtıcıda farin aşağıya doğru hareket ederken, fırın içerisinden gelen sıcak gaz yukarıya doğru hareket eder. Birkaç kademe silikon kombinasyonundan oluşan ön ısıtıcıda, farin ile sıcak gaz temas ederek ön kalsinasyon işlemi gerçekleşir.

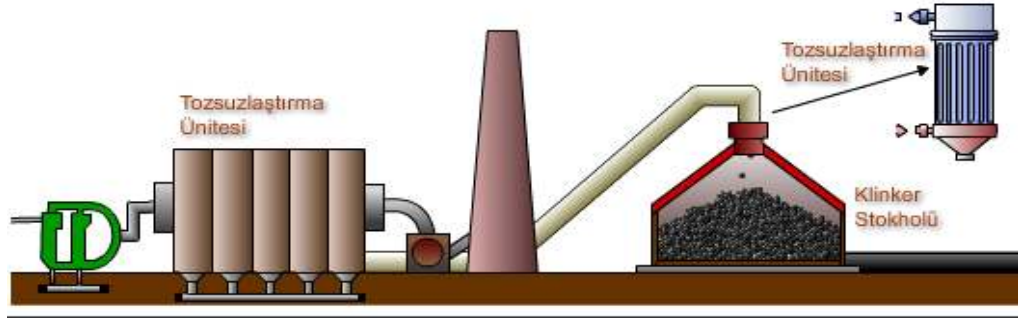
Ön kalsinasyona uğrayan farin döner fırına girer. Toz kömür, doğal gaz, fuel-oil gibi yakıtlar fırın çıkışında bulunan alev borusu vasıtası ile yakılır. Yakılan yakıt ve klinkerleşme reaksiyonları ile birlikte fırın içi sıcaklık 1500-1600°C'ye çıkar. Fırın içerisinde malzeme çıkışa doğru yaklaştıkça sıvılaşmaya başlar. İnce taneler birleşerek büyük boylu klinker tanelerini oluşturur. Oluşan klinker taneleri fırın çıkışından soğutma ünitesine geçerek ani soğutulur. Ani soğutulan klinker tanelerinin sıcaklığı 100°C'nin altına düşürülerek klinker stok bölgesinde stoklanır. İyi bir klinker elde edilebilmesi için, farin homojenize edilerek silolarda stoklanır.



Şekil 7.4 Klinker üretim aşaması 1(www.tcma.org.tr).

## 2. Klinker Üretimi

Ön ısıtıcıdan gelen Farin döner fırında 1500 °C’de pişirilerek partikül haline getirilir ve buna klinker denir. 1300 °C’de fırından çıkan klinker soğutulur sıcaklığı 100 °C’ye düşürülür.



Şekil 7.5 Klinker üretimi aşaması 2 (www.tcma.org.tr).

## 7.4 Numunelerin Metalografik Muayenesi

İncelenmek istenen sert dolgu kaynağı yapılmış numunenin incelenecek yüzeyini parlatmak için öncelikle sulu zımpara ve keçede yüzey parlatma işlemleri yapılmıştır. Zımparalama işleminden sonra numunenin içyapısını inceleyebilmek için tane sınırlarındaki yüksek enerjili atomları koparmak gerekir. Bunu sağlamak için dağlayıcı olarak **Kalling's Reagent** (Bramfitt, 2002) dağlayıcısı kullanılmıştır. Kalling's Reagent bileşenleri 100 ml için aşağıdaki gibidir.

- 33 ml hidroklorik asit
- 33 ml etil alkol
- 1,5 gr bakır klorit
- 33 ml saf su

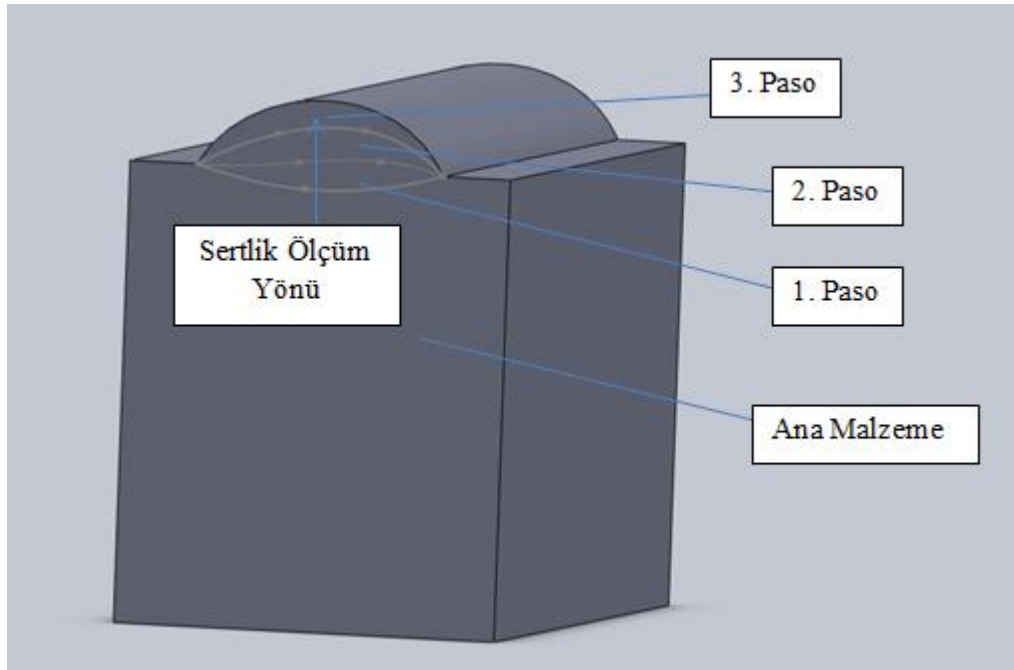
## 7.5 XRD Analizi

Deneyde kullanılan sert dolgu ile kaplanmış numunelerin yüzeylerindeki tabaka yapılarını ve fazlarını tespit etmek amacıyla XRD çalışması yapılmıştır. Bu çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi Metalürji Malzeme Mühendisliği laboratuvarında

gerçekleşmiştir. Tüm numuneler için XRD analizleri RİGAKU D/Max – 2200 cihazıyla X ışını kullanılarak yapılmıştır.

### 7.6 Sertlik Ölçümü

İçyapısı incelenen numunelerin Vickers sertlik cihazında mikro sertlikleri ölçülmüştür. Sertlik ölçümü,  $F=2.94$  N ve  $t=15$  s değerlerine göre uygulanmıştır. Sertlik ölçümleri  $50\ \mu\text{m}$  aralıklarla alınmıştır.



Şekil 7.6 Sertlik ölçümünün şekilsel gösterimi. Sertlik ölçümü ana malzeme üzerinden başlayarak dolgunun uç noktasına kadar ok yönünde ilerleyerek ölçülmüştür.

### 7.7 Aşınma G65 Testi

Üç paso kaynak yapılan numuneler, kaynak işleminden sonra teste tabi tutulacak yüzeylerin testin uygulanabileceği düzgünlüğe sahip olması gerekir. Bu nedenle kaynak numunesinin standartlara uygun olarak incelenebilmesi için teste tabi tutulacak yüzey taşlama ile istenilen düzgünlüğe getirilmiştir.

ASTM - G65 standardı kapsamında Prosedür A'ya göre test işlemleri yapılmıştır. Test işlemlerinde kaynak dolgu bölgesine göre sonuçlar alınmıştır. Aşınma sonuçları rapor edilirken dolgu yoğunlukları Tablo 6.7 referans alınarak belirlenmiştir. Ayrıca

başka araştırmalara ve yapılan deneylere göre sert dolgu malzemesi yoğunluğu 7,8 (gr/cm<sup>3</sup>) olarak hesaplanmıştır (Buchely, ve diğer., 2005).

Tablo 7.3 Bazı alaşımların fiziksel özellikleri

| <b>METALLERİN TEMEL ÖZELLİKLERİ</b>   |                                   |                          |                                             |
|---------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------|
| Bazı Alaşımların Fiziksel Özellikleri |                                   |                          |                                             |
| ALAŞIM                                | YOĞUNLUK<br>(gr/cm <sup>3</sup> ) | ERGİME<br>NOKTASI<br>(C) | ÇEKME<br>MUKAVEMETİ<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
| Çelik                                 | 7,7 – 7,85                        | 1450 – 1520              | 340 – 1800                                  |
| Gri dökme demir                       | 7,1 – 7,3                         | 1150 – 1250              | 150 – 400                                   |
| Östenitik paslanmaz çelik             | 7,8 – 7,9                         | 1440 – 1460              | 600 – 800                                   |
| Mg alaşımları                         | 1,8 – 1,83                        | 590 – 650                | 180 – 300                                   |
| Al alaşımları                         | 2,6 – 2,85                        | 570 – 655                | 100 – 400                                   |
| Zn alaşımları                         | 5,7 – 7,2                         | 380 – 420                | 140 – 300                                   |
| Pirinç                                | 8,25                              | 900 – 950                | 250 – 600                                   |
| Bronz                                 | 8,56 – 8,9                        | 880 – 1040               | 200 – 300                                   |

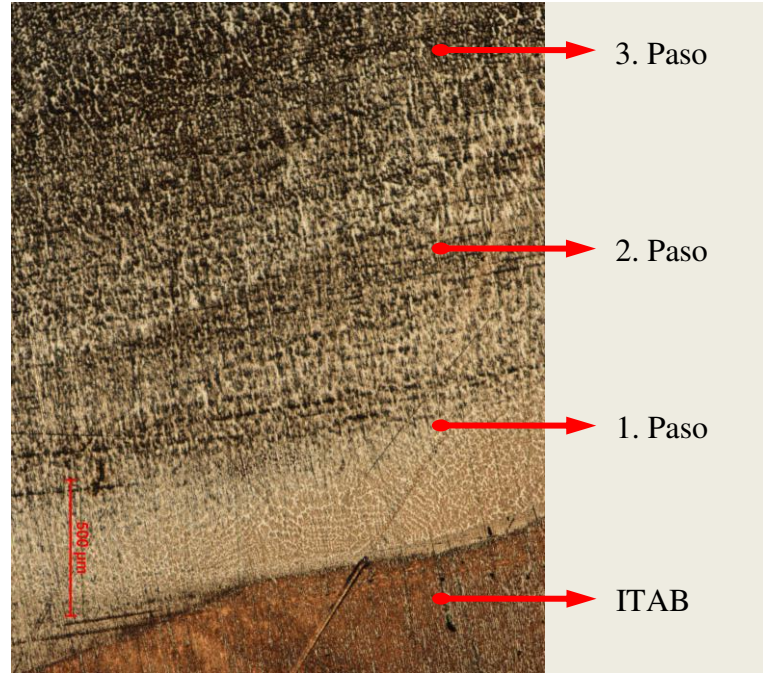
## BÖLÜM SEKİZ

### DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

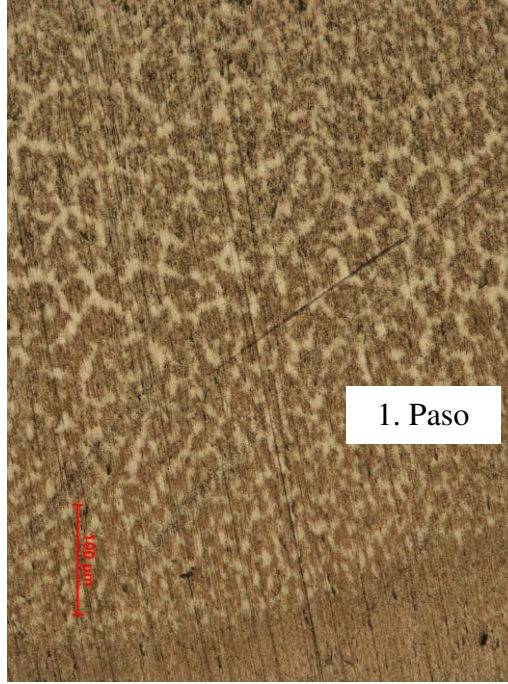
#### 8.1 Metalografik Muayene Sonuçları

##### 8.1.1 Fazer 55 İç Yapı Fotoğrafları

Fazer 55 ile elde edilen sert dolguya ait iç yapı ve farklı büyütmelerde çekilmiş iç yapı fotoğraflarında kaynak bölgesinin (ITAB), 1. Paso, 2. paso ve 3. paso bölgeleri Şekil 8.1’de, 1. paso, Şekil 8.2’de ve 3. paso, Şekil 8.3’de görülmektedir.



Şekil 8.1 Fazer 55 kaynak bölgesi iç yapısı (5x)



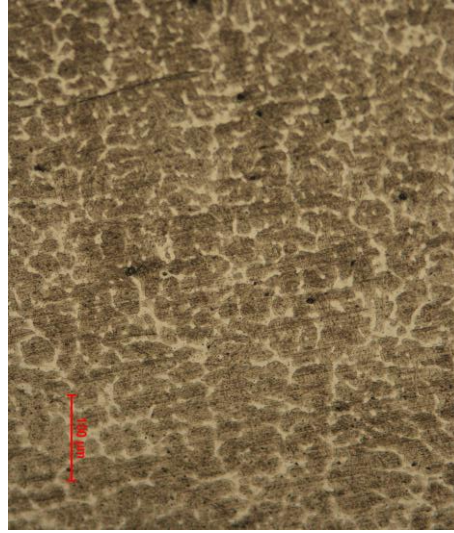
Şekil 8.2 Fazer 55 1. paso iç yapısı (20x)



Şekil 8.3 Fazer 55 3. paso iç yapısı (10x)

### 8.1.2 Thermo Dur İç Yapı Fotoğrafi

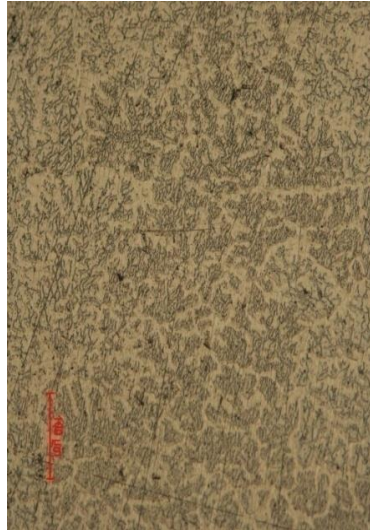
“Thermo Dur” ile elde edilen sert dolguya ait 3. pasonun iç yapı fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 8.4 Thermo Dur 3. paso iç yapısı  
(20x)

### 8.1.3 Unibase 660 İç Yapı Fotoğrafi

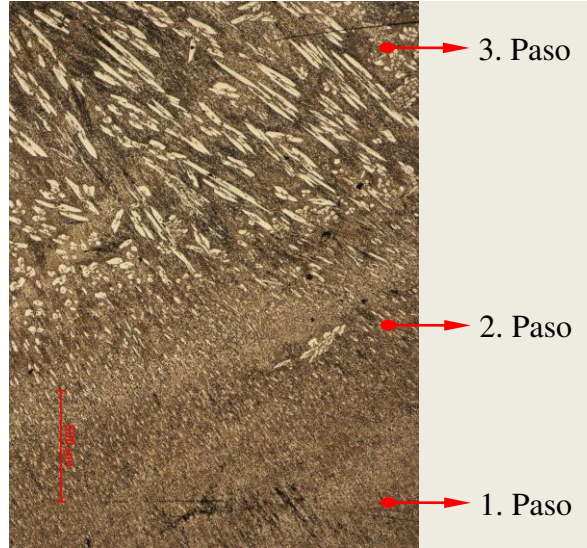
“Unibase 660” ile elde edilen sert dolguya ait 3. pasonun iç yapı fotoğrafı görülmektedir.



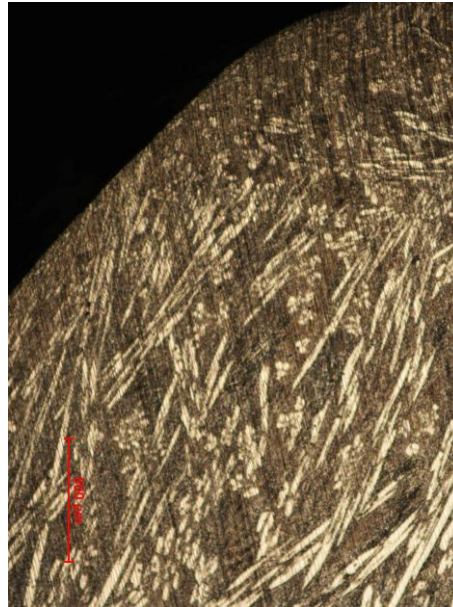
Şekil 8.5 Unibase 660 3. paso iç yapısı (20x)

#### 8.1.4 Fazer 63 İç Yapı Fotoğrafları

“Fazer 63” ile elde edilen sert dolguya ait farklı büyütmelerde çekilmiş iç yapı fotoğraflarında kaynak bölgesinin 1. paso, 2. paso ve 3. paso bölgeleri Şekil 8,6’de ve 3. paso bölgesi Şekil 8,7’de görülmektedir.



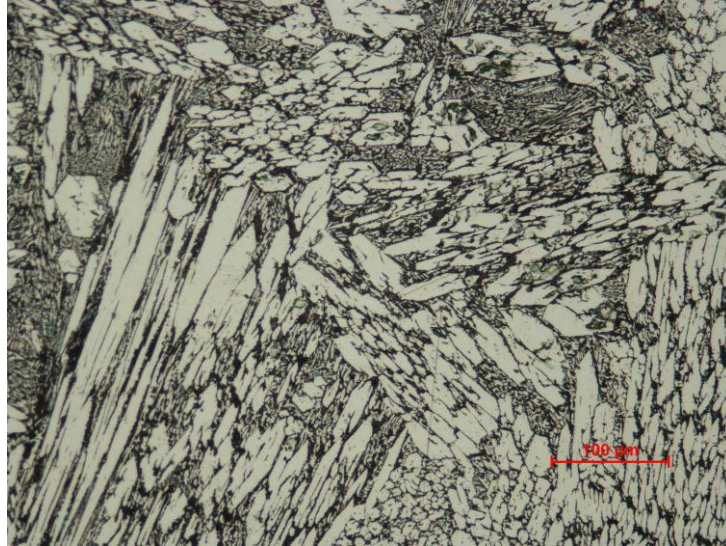
Şekil 8.6 Fazer 63 kaynak bölgesi iç yapısı (5x)



Şekil 8.7 Fazer 63 3. paso iç yapısı (5x)

### 8.1.5 Fazer 65 İç Yapı Fotoğrafı

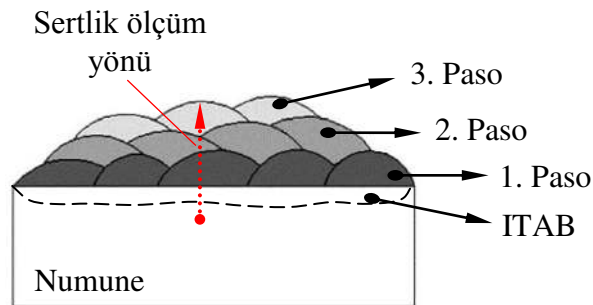
“Fazer 65” ile elde edilen sert dolguya ait 3. pasonun iç yapı fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 8.8 Fazer 65 3. paso iç yapısı (20x)

### 8.2 Sertlik Sonuçları ve Grafikleri

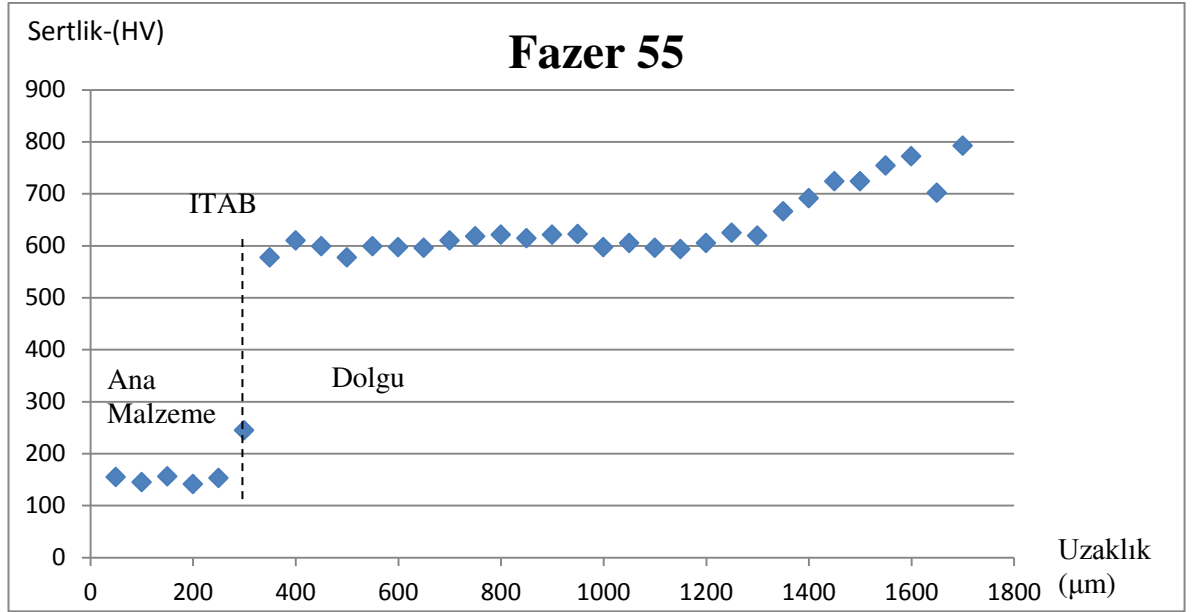
Sert dolgu ile yüzeyi kaplanmış numunelere uygulanan sertlik testinin uygulanışının şematik resmi Şekil 8,9’da gösterilmiştir. Tüm sertlik değerleri 2,94 N yükün  $t=15$  sn süre boyunca uygulanması ile elde edilmiştir. Sonuçları HV (Vickers) olarak verilmiştir.



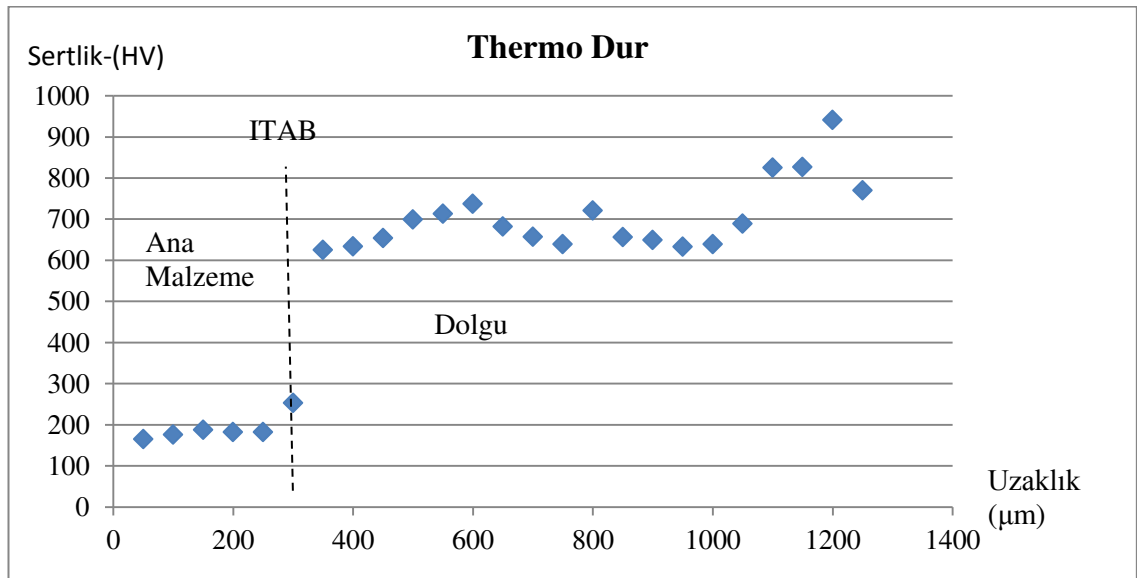
Şekil 8.9 Sertlik testi uygulanışının şematik resmi

Tablo 8.1 Sertlik ölçüm sonuçları

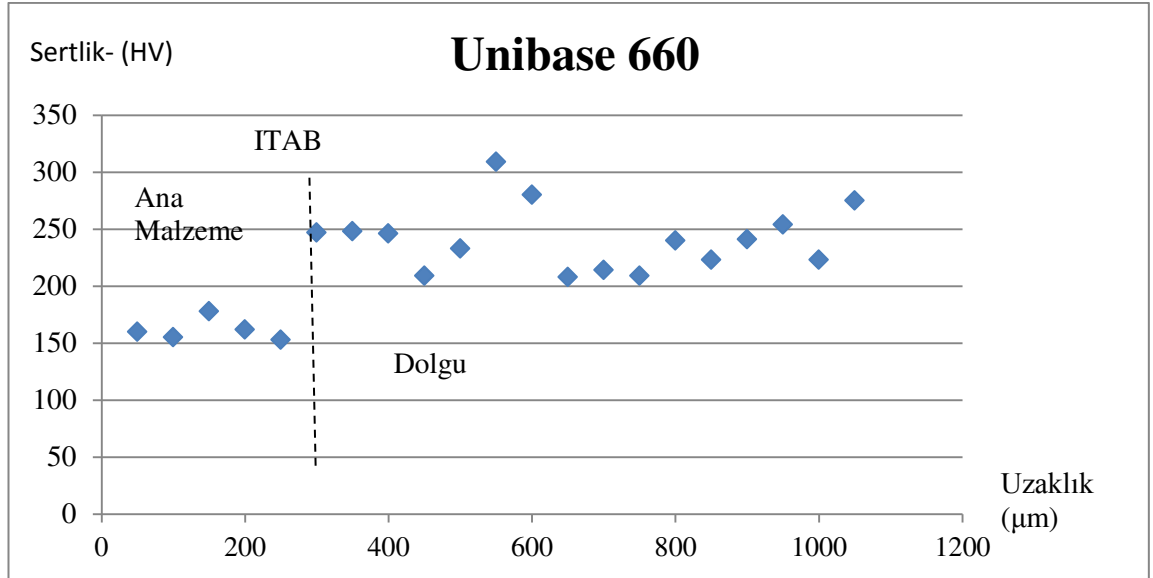
| Numune Bölgesi                         | Mesafe (µm) | Fazer 55 (HV) | Thermo Dur (HV) | Unibase 660 (HV) | Fazer 63 (HV) | Fazer 65 (HV) |
|----------------------------------------|-------------|---------------|-----------------|------------------|---------------|---------------|
| <b>Ana Malzeme</b>                     | 50          | 155           | 165             | 160              | 142           | 176           |
|                                        | 100         | 145           | 176             | 155              | 156           | 168           |
|                                        | 150         | 156           | 188             | 178              | 176           | 156           |
|                                        | 200         | 141           | 182             | 162              | 165           | 150           |
|                                        | 250         | 153           | 182             | 153              | 180           | 145           |
| <b>ITAB</b>                            | 300         | 245           | 253             | 247              | 255           | 268           |
| <b>Kaynak Bölgesi</b>                  | 350         | 577           | 625             | 248              | 807           | 862           |
|                                        | 400         | 610           | 634             | 246              | 849           | 1029          |
|                                        | 450         | 599           | 654             | 209              | 765           | 1146          |
|                                        | 500         | 577           | 699             | 233              | 936           | 1046          |
|                                        | 550         | 599           | 713             | 309              | 881           | 1099          |
|                                        | 600         | 597           | 737             | 280              | 966           | 1015          |
|                                        | 650         | 596           | 682             | 208              | 1024          | 1026          |
|                                        | 700         | 610           | 657             | 214              | 1024          | 1105          |
|                                        | 750         | 618           | 639             | 209              | 883           | 1117          |
|                                        | 800         | 621           | 721             | 240              | 929           | 1114          |
|                                        | 850         | 614           | 656             | 223              | 890           | 1117          |
|                                        | 900         | 621           | 649             | 241              | 1026          | 1196          |
|                                        | 950         | 622           | 633             | 254              | 856           | 1026          |
|                                        | 1000        | 597           | 639             | 223              | 856           | 1183          |
|                                        | 1050        | 605           | 689             | 275              | 895           | 1108          |
|                                        | 1100        | 596           | 825             |                  | 927           | 1013          |
|                                        | 1150        | 593           | 827             |                  | 934           | 1055          |
|                                        | 1200        | 605           | 941             |                  | 1277          | 1093          |
|                                        | 1250        | 625           | 770             |                  | 1203          | 1039          |
|                                        | 1300        | 619           |                 |                  | 997           | 1055          |
|                                        | 1350        | 666           |                 |                  | 927           | 1114          |
|                                        | 1400        | 691           |                 |                  | 1326          | 1146          |
|                                        | 1450        | 724           |                 |                  | 984           | 1120          |
|                                        | 1500        | 724           |                 |                  | 868           | 1078          |
|                                        | 1550        | 754           |                 |                  | 1075          | 1032          |
|                                        | 1600        | 772           |                 |                  | 984           | 1172          |
|                                        | 1650        | 702           |                 |                  | 1172          | 1277          |
|                                        | 1700        | 792           |                 |                  | 815           | 1246          |
| <b>Dolgunun Ortalama Sertliği (HV)</b> | -           | 640,21        | 704,74          | 241,19           | 964,72        | 1101,55       |



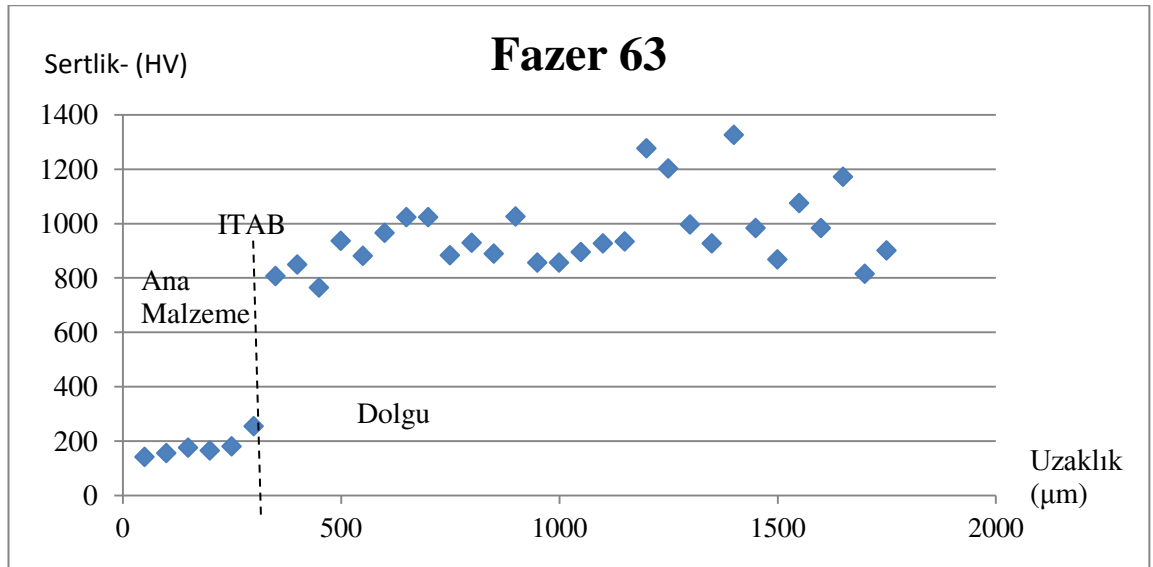
Şekil 8.10 Fazer 55 sertlik grafiği



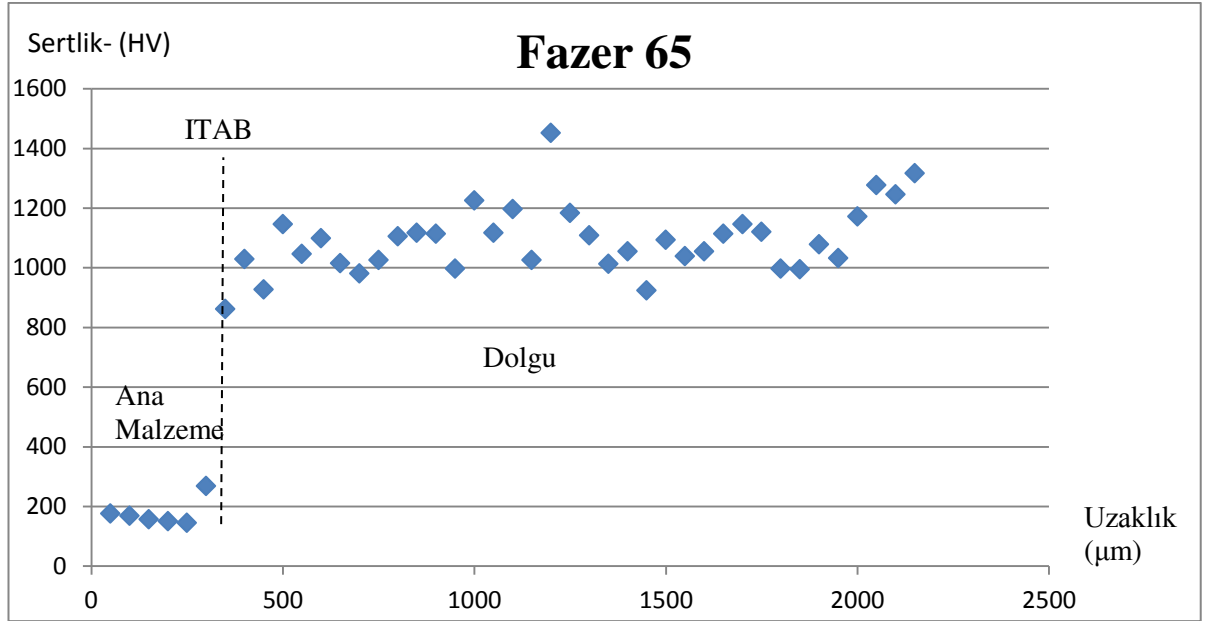
Şekil 8.11 Thermo Dur sertlik grafiği



Şekil 8.12 Unibase 660 sertlik grafiği



Şekil 8.13 Fazer 63 sertlik grafiği



Şekil 8.14 Fazer 65 sertlik grafiği

### 8.3 Abrasif Aşınma Test Sonuçları

ASTM G65 test standartlarına göre yapılan deneyde Tablo 8,2'deki parametreler kullanılmıştır.

#### 8.3.1 Farin Tozu Kullanarak Elde Edilen Sonuçlar

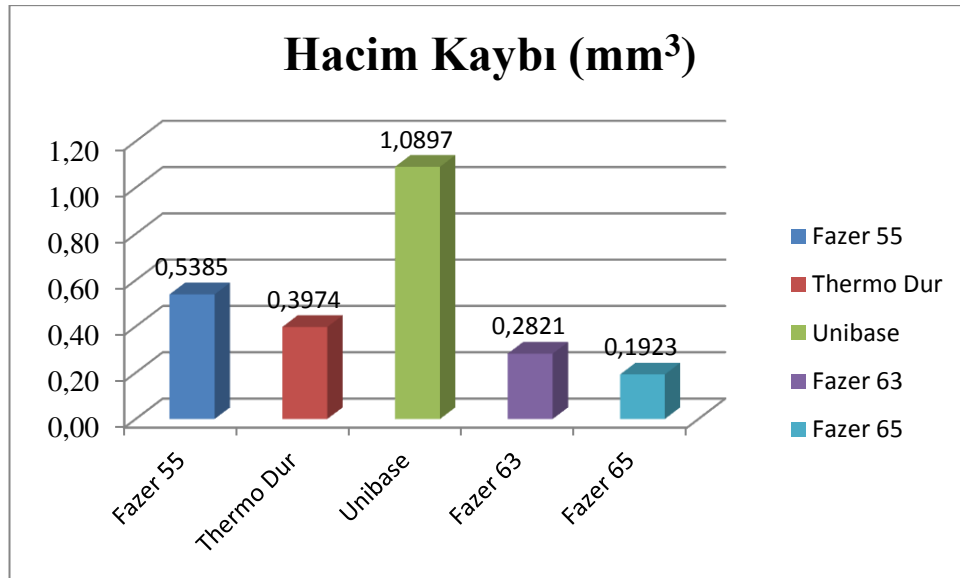
Aşındırıcı partikül çapı 200-250  $\mu\text{m}$ , aşındırıcı akış debisi 250-300 gr/dak ve disk devir sayısı 200 D/d test parametrelerinde numuneler Prosedür A kullanılarak aşındırma testine tabi tutulmuştur. Test sonuçlarında abrasif aşınma direnci ( $\text{mm}^3/\text{m}$ )<sup>1</sup> olarak rapor edilmiştir. Numuneler arasında karşılaştırma yapılırken en az abrasif aşınma direnci olana göre bağlı abrasif aşınma oranı alınmıştır. Bölüm 6'da farin tozu kullanılarak yapılan aşınma deneylerinde ASTM G65 standartlarına göre hacim kayıp miktarını hesaplamak için 6.1 denklemi kullanılmış, Tablo 8.3 ve Şekil 8.15'deki sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 8.2 ASTM G65 Standart Deneyi Prosedür A parametreleri

| <i>ASTM Test<br/>Prosedürü</i> | <i>Uygulanan Kuvvet<br/>(N)</i> | <i>Toplam Disk Devir<br/>Sayısı</i> | <i>Abrazyon Mesafesi<br/>(m)</i> |
|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| A                              | 130                             | 6000                                | 4309                             |

Tablo 8.3 Farin tozu ile yapılan testlerden sonra numunelerin kaynak bölgelerinde meydana gelen kütle ve hacim kayıpları

| Numune Adı  | Kütle Kaybı<br>(gr) | Hacim Kaybı<br>(mm <sup>3</sup> ) | Kayma Mesafesi<br>Yolu (m) |
|-------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| Fazer 55    | 0,0042              | 0,5385                            | 4309                       |
| Thermo dur  | 0,0031              | 0,3974                            | 4309                       |
| Unibase 660 | 0,0085              | 1,0897                            | 4309                       |
| Fazer 63    | 0,0022              | 0,2821                            | 4309                       |
| Fazer 65    | 0,0015              | 0,1923                            | 4309                       |

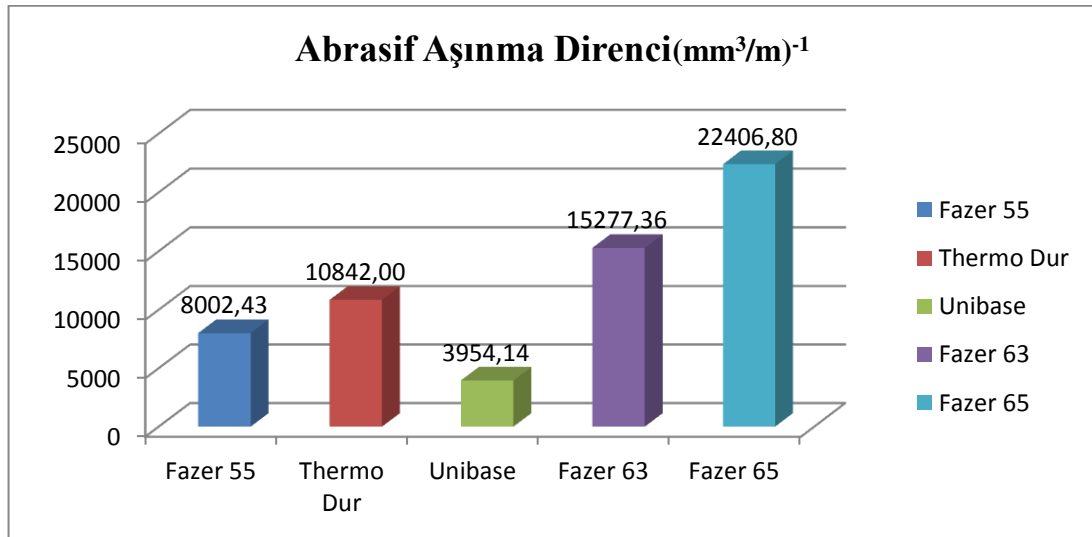
Şekil 8.15 Farin tozu ile yapılan abrasif aşınma testi sonunda, 4309 metrelik kayma mesafesinde meydana gelen hacim kaybının mm<sup>3</sup> olarak şematik gösterimi

Ayrıca numunelere yapılmış sert dolguların aşınma dirençlerini hesaplamak için denklem 8.1 kullanılarak (Buchely, et.al., 2005) Tablo 8.4 ve Şekil 8.16 sonuçları elde edilmiştir.

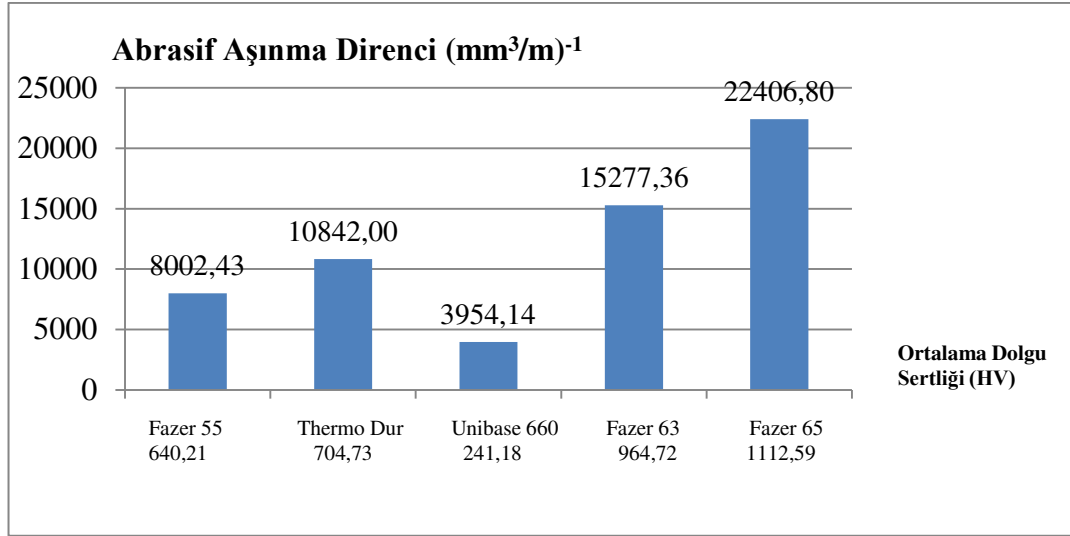
$$\text{Abrasif Aşınma Direnci} = \left( \frac{\text{Hacim Kayıp Miktarı (mm}^3\text{)}}{\text{Kayma Mesafesi (m)}} \right)^{-1} \quad (8.1)$$

Tablo 8.4 Farin tozu ile yapılan testlere göre abrasif aşınma dirençleri

| Numune Adı  | Abrasif Aşınma Direnci (mm <sup>3</sup> /m) <sup>-1</sup> | Hacim Kaybı(mm <sup>3</sup> ) | Sertlik (HV) | Kayma Mesafesi Yolu(m) |
|-------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------|------------------------|
| Fazer 55    | 8002,43                                                   | 0,5385                        | 640,21       | 4309                   |
| Thermo dur  | 10842,00                                                  | 0,3974                        | 704,74       | 4309                   |
| Unibase 660 | 3954,14                                                   | 1,0897                        | 241,19       | 4309                   |
| Fazer 63    | 15277,36                                                  | 0,2821                        | 964,72       | 4309                   |
| Fazer 65    | 22406,80                                                  | 0,1923                        | 1112,59      | 4309                   |

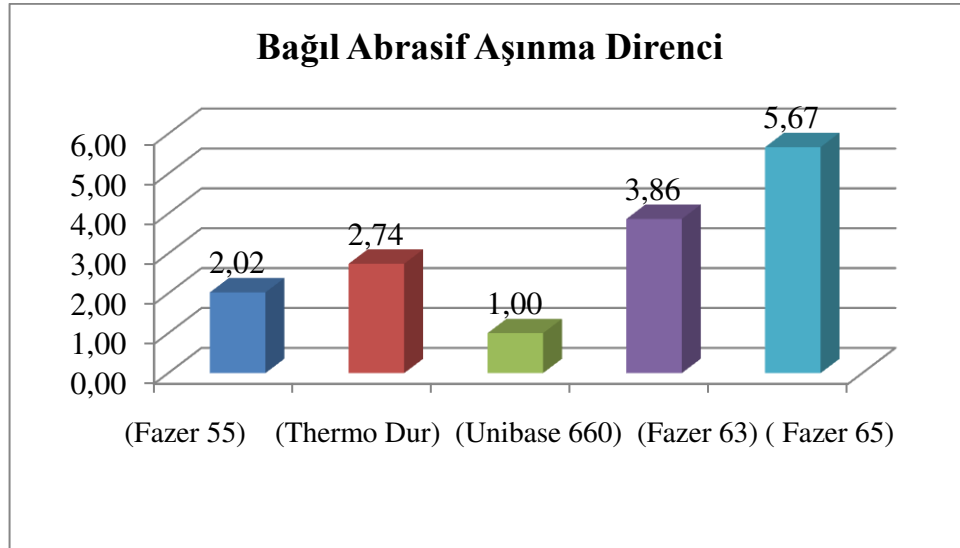


Şekil 8.16 Farin tozu ile yapılan testlere göre sert dolguların aşınma dirençlerinin (mm<sup>3</sup>/m)<sup>-1</sup> kıyaslanarak gösterimi



Şekil 8.17 Farin tozu ile yapılan abrazif aşınma testlerine göre sertliğe bağlı olarak sert dolguların sahip oldukları abrazif aşınma dirençleri

Unibase 660 testlerde en fazla aşınmaya uğradığı için, bağıl abrazif aşınma direnci Unibase 660'a göre yapılmıştır. Şekil 8.18'de görüldüğü gibi FAZER 65 en yüksek aşınma direncine sahip olduğu için, olarak bağıl abrazif aşınma direnci en yüksektir.



Şekil 8.18 Unibase 660'a göre farin tozu ile yapılan abrazif aşınma test sonuçlarına göre bağıl abrazif aşınma dirençlerinin oransal gösterimi

### 8.3.2 Klinker Tozu Kullanarak Elde Edilen Sonuçlar

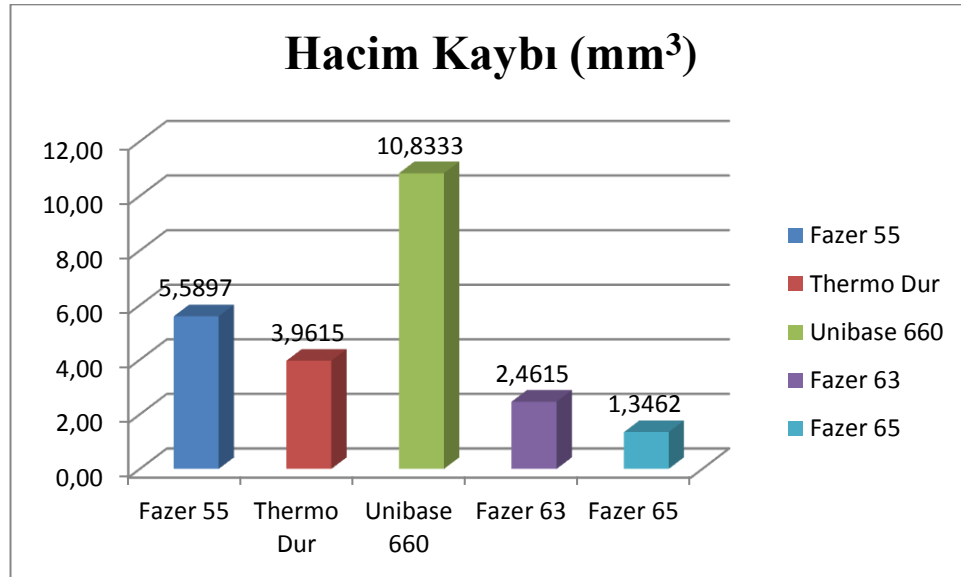
Aşındırıcı partikül çapı 250-300  $\mu\text{m}$  aşındırıcı akış debisi 300-400 gr/dak ve disk devir sayısı 200 D/d test parametreleri ile numuneler Prosedür A kullanılarak aşındırma testine tabi tutulmuştur. Test sonuçlarında abrasif aşınma direnci  $(\text{mm}^3/\text{m})^{-1}$  olarak rapor edilmiştir. Numuneler arasında karşılaştırma yapılırken en az abrasif aşınma direnci olana göre bağıl abrasif aşınma oranı alınmıştır. Bölüm 6'da farin tozu kullanılarak yapılan aşınma deneylerinde ASTM G65 standartlarına göre hacim kayıp miktarını hesaplamak için 6.1 denklemi kullanılmış, Tablo 8.3 ve Şekil 8.15'deki sonuçlar elde edilmiştir. Klinker tozu kullanılarak yapılan testlerdeki test sonuçlarında, denklem 6.2 kullanılarak elde edilen hacim kayıp miktarları Tablo 8.5'de ve Şekil 8.19'da verilmiştir. Ayrıca Denklem 8.1 kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 8.6 ve Şekil 8.20'de verilmiştir. Şekil 8.21 numunelerin sertlik ve aşınma dirençleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekil 8.22'de en az abrasif aşınma direncine sahip numuneye göre diğer numunelerin bağıl abrasif aşınma dirençleri oransal olarak verilmiştir. Yani UNIBASE 660'a göre bağıl abrasif aşınma dirençleri abrazyon mesafesine ve hacim kaybına bağlı olarak  $(\text{mm}^3/\text{m})^{-1}$  cinsinden verilmiştir. Deneylerde kullanılan farin ve klinker aşındırıcıları için ortalama hacim kayıpları alınarak elde edilen oransal sonuçlar Şekil 8.22'de verilmiştir.

Tablo 8.5 ASTM G65 Standart Deneyi Prosedür A parametreleri

| <i>ASTM Test<br/>Prosedürü</i> | <i>Uygulanan Kuvvet<br/>(N)</i> | <i>Toplam Disk Devir<br/>Sayısı</i> | <i>Abrazyon Mesafesi<br/>(m)</i> |
|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| <i>A</i>                       | <i>130</i>                      | <i>6000</i>                         | <i>4309</i>                      |

Tablo 8.6 Klinker için yapılan testlerden elde edilen kaynak bölgesinde meydana gelen kütle ve hacim kaybı

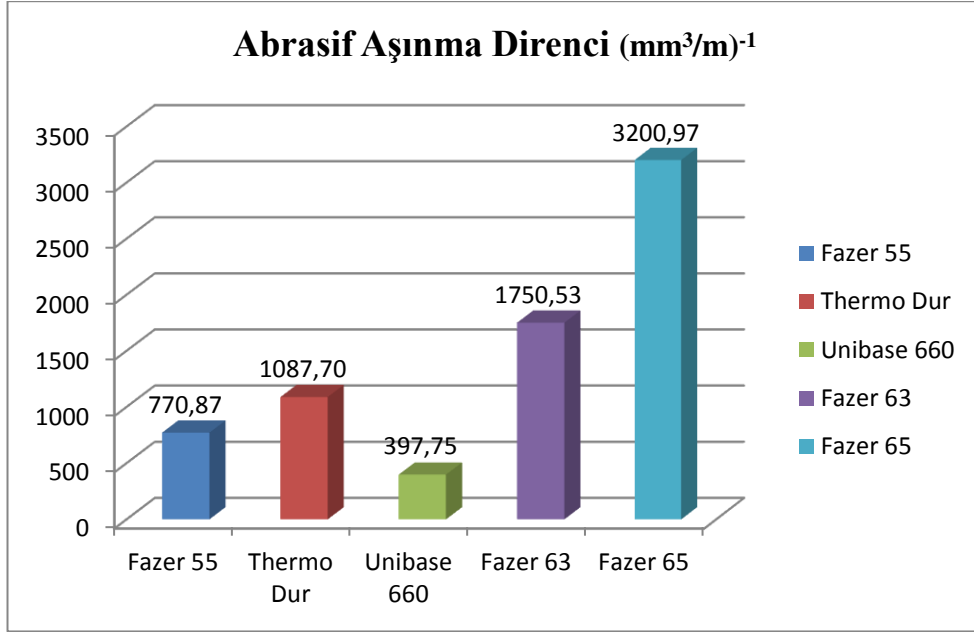
| Numune No   | Kütle Kaybı (gr) | Hacim Kaybı (mm <sup>3</sup> ) | Kayma Mesafesi Yolu (m) |
|-------------|------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Fazer 55    | 0,0436           | 5,5897                         | 4309                    |
| Thermo Dur  | 0,0309           | 3,9615                         | 4309                    |
| Unibase 660 | 0,0845           | 10,8333                        | 4309                    |
| Fazer 63    | 0,0192           | 2,4615                         | 4309                    |
| Fazer 65    | 0,0105           | 1,3462                         | 4309                    |

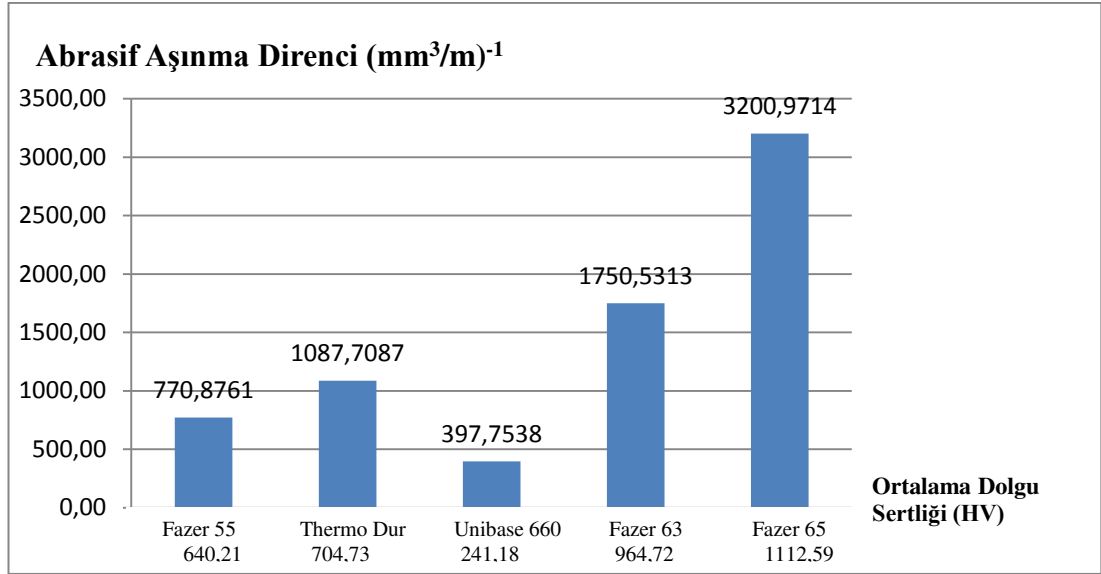


Şekil 8.19 Klinker tozu ile yapılan abrasif aşınma testi sonunda, 4309 metrelik kayma mesafesinde meydana gelen hacim kaybının mm<sup>3</sup> olarak şematik gösterimi

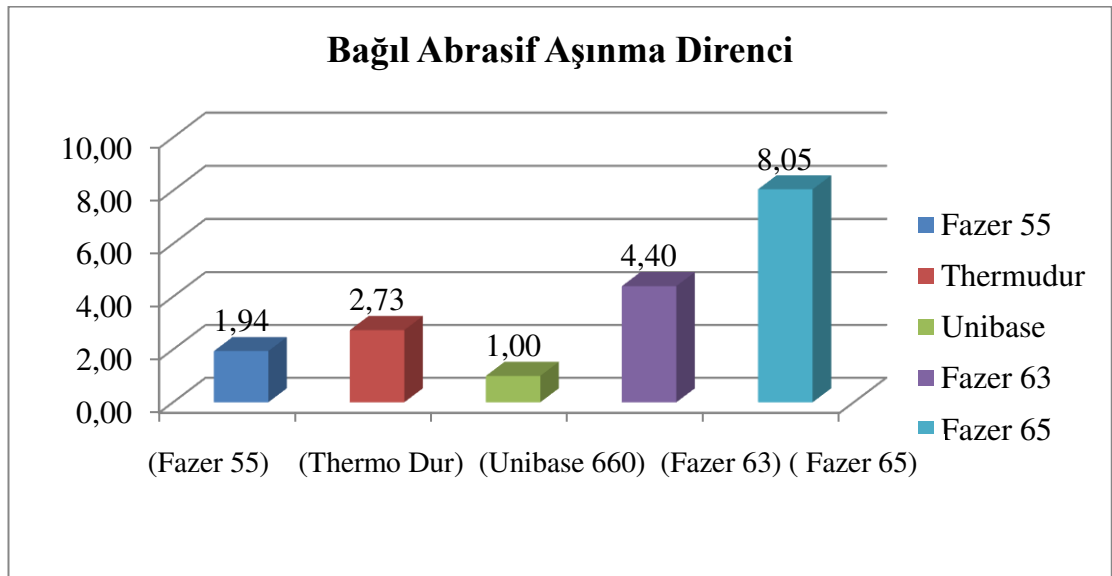
Tablo8.7 Klinker tozu ile yapılan testlere göre abrasif aşınma dirençleri

| Numune      | Abrasif Aşınma Direnci<br>(mm <sup>3</sup> /m) <sup>-1</sup> | Hacim Kaybı<br>(mm <sup>3</sup> ) | Sertlik<br>(HV) | Kayma Mesafesi<br>Yolu<br>(m) |
|-------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| Fazer 55    | 770,8761                                                     | 5,5897                            | 640,2142        | 4309                          |
| Thermo Dur  | 1087,7087                                                    | 3,9615                            | 704,7368        | 4309                          |
| Unibase 660 | 397,7538                                                     | 10,8333                           | 241,1875        | 4309                          |
| Fazer 63    | 1750,5313                                                    | 2,4615                            | 964,7241        | 4309                          |
| Fazer 65    | 3200,9714                                                    | 1,3462                            | 1112,59         | 4309                          |

Şekil 8.20 Klinker tozu ile yapılan testlere göre sert dolguların aşınma dirençlerinin (mm<sup>3</sup>/m)<sup>-1</sup> kıyaslanarak gösterimi



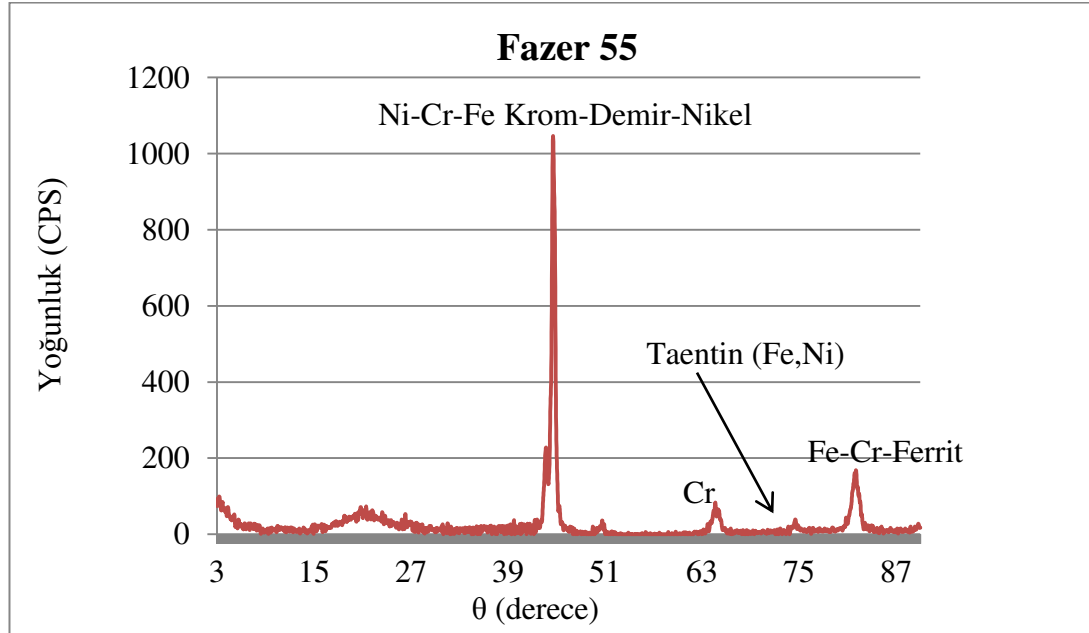
Şekil 8.21 Klinker tozu ile yapılan abrazif aşınma testlerine göre sertliğe bağlı olarak sert dolguların sahip oldukları abrazif aşınma dirençleri



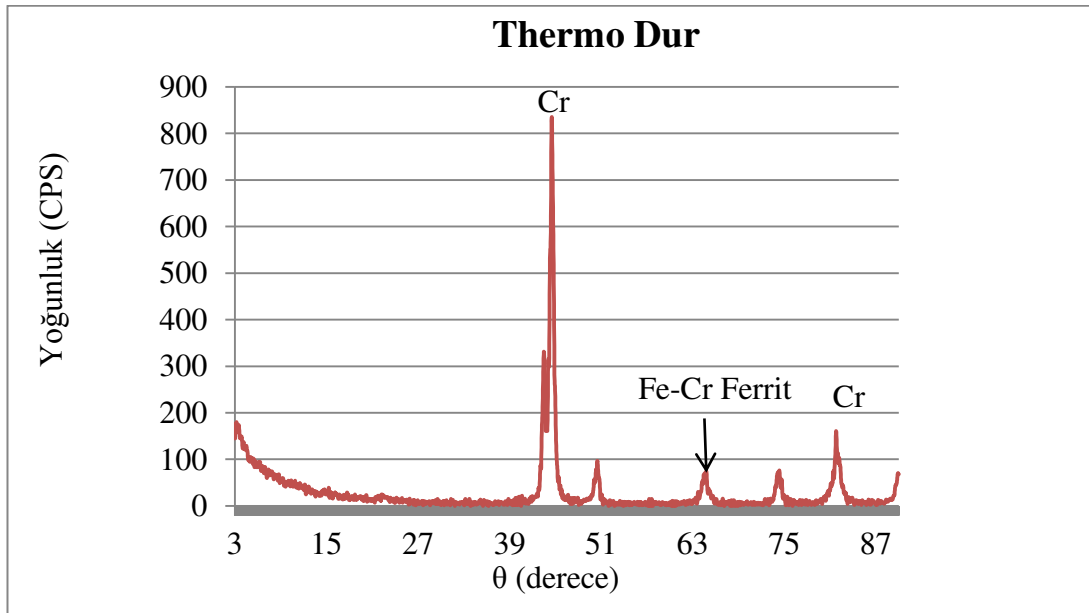
Şekil 8.22 Unibase 660 'a göre klinker tozu ile yapılan abrazif aşınma test sonuçlarına göre bağıl abrazif aşınma dirençlerinin oransal gösterimi

#### 7.4 XRD Test Sonuçları

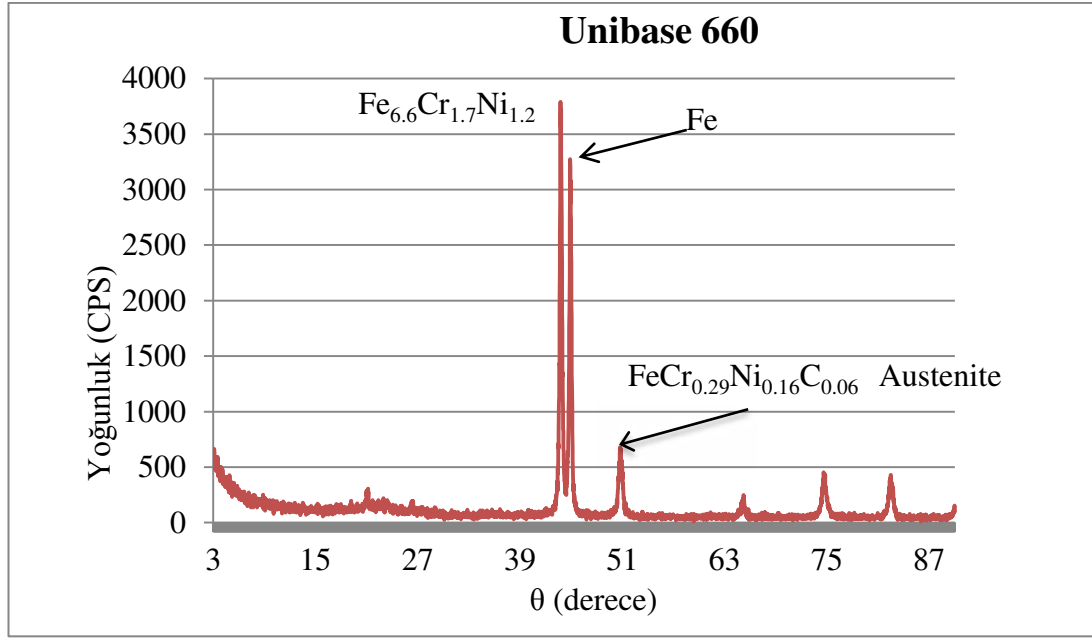
Sert dolgulu kaynak numuneleri dolgularının XRD analiz sonuçları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



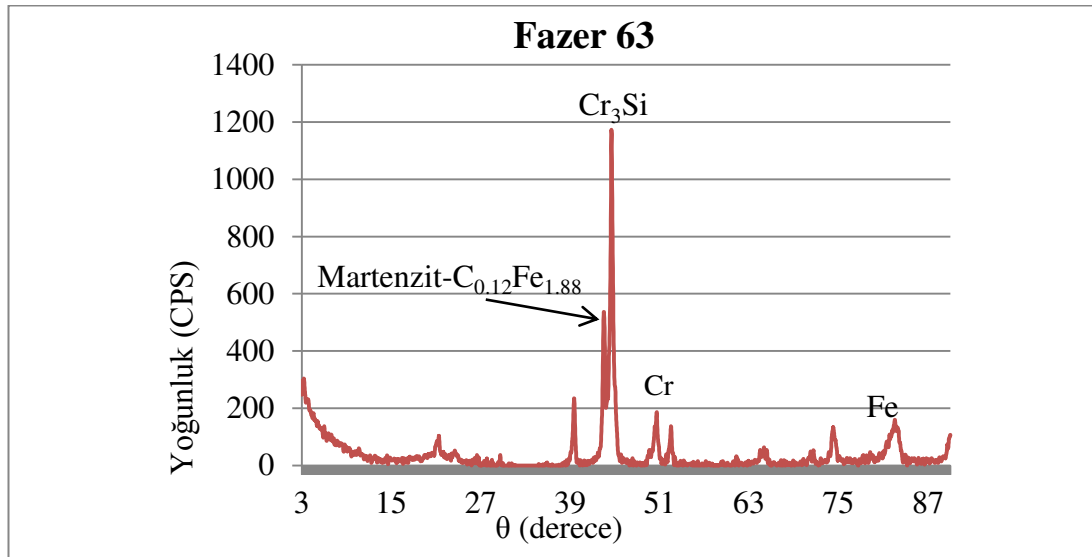
Şekil 8.23 Fazer 55'e ait XRD analizin diagramı.



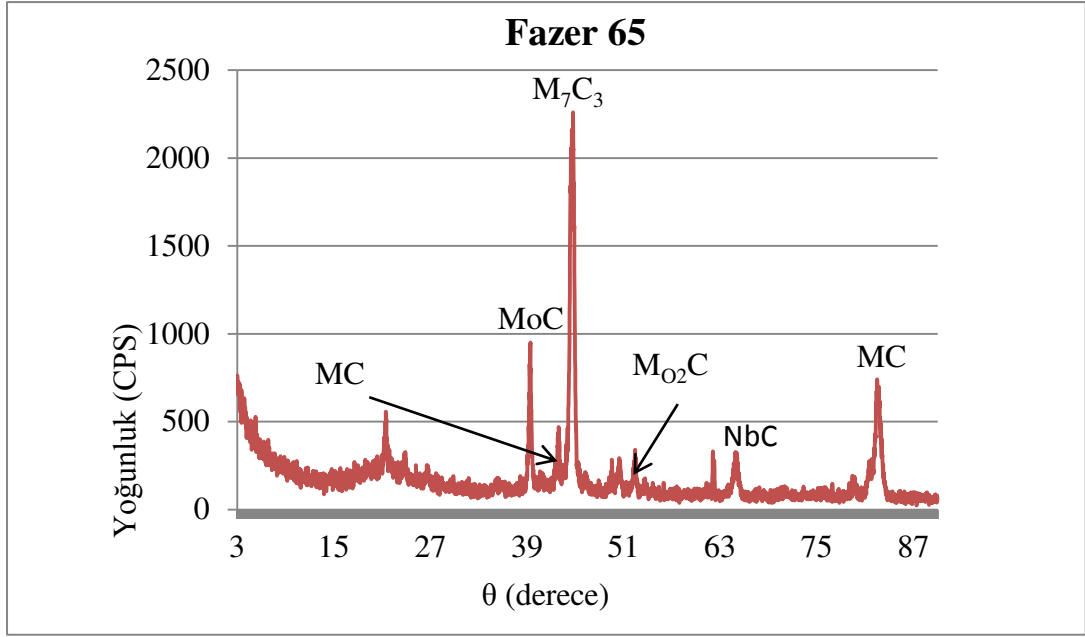
Şekil 8.24 Thermo Dur'a ait XRD analizin diagramı



Şekil 8.25 Unibase 660'a ait XRD analizi



Şekil 8.26 Fazer 63'a ait XRD analizi



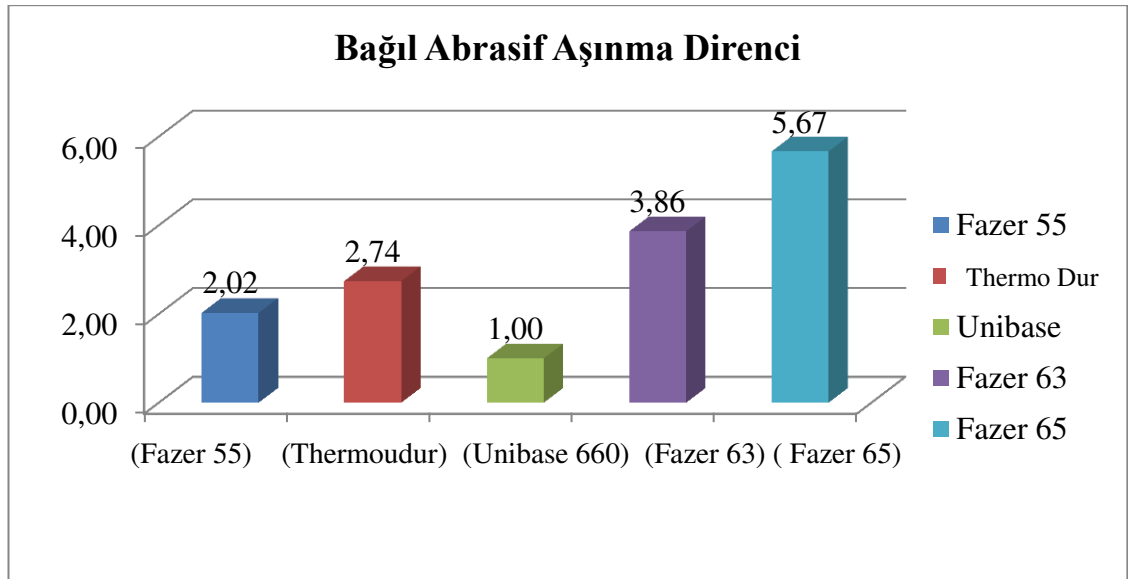
Şekil 8.27 Fazer 65'e ait XRD analizin diagramı

## BÖLÜM DOKUZ

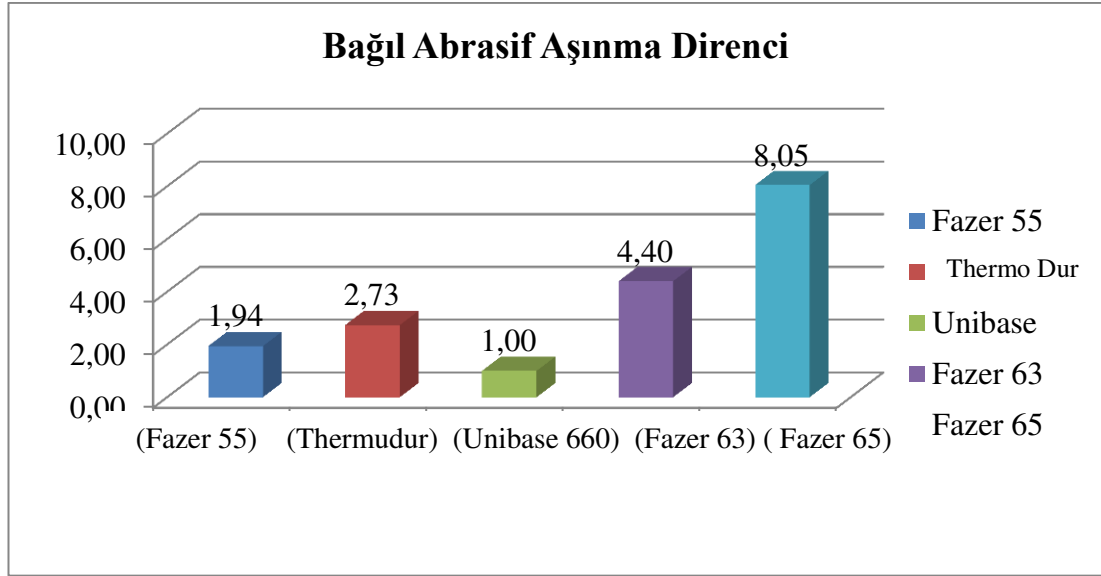
### SONUÇLAR

Aşınma testine tabi tutulacak numuneler 5 farklı sert dolgu elektrodu ile doldurulduktan sonra ASTM G65 standardına göre abrasif aşınma deneyine tabi tutulmuş ve en fazla aşınmaya maruz kalan Unibase 660 olduğu tespit edilmiştir. Fazer 65 ve daha sonra Fazer 63 dolgularının en yüksek aşınma direncine sahip olduğu görülmüştür. Unibase 660 en fazla aşınmaya uğradığı için, bağıl abrasif aşınma dirençleri Unibase 660'a göre verilmiştir.

Şekil 9.1'e bakılırsa Fazer 65 dolgusunun farin tozu aşınma sonuçlarında Unibase 660'a göre **5.67** kat daha fazla ve Şekil 9.2'e bakılırsa klinker tozu aşınma sonuçlarında Unibase 660'a göre **8.05** kat daha fazla aşınma direncine sahip olduğu görülmektedir.

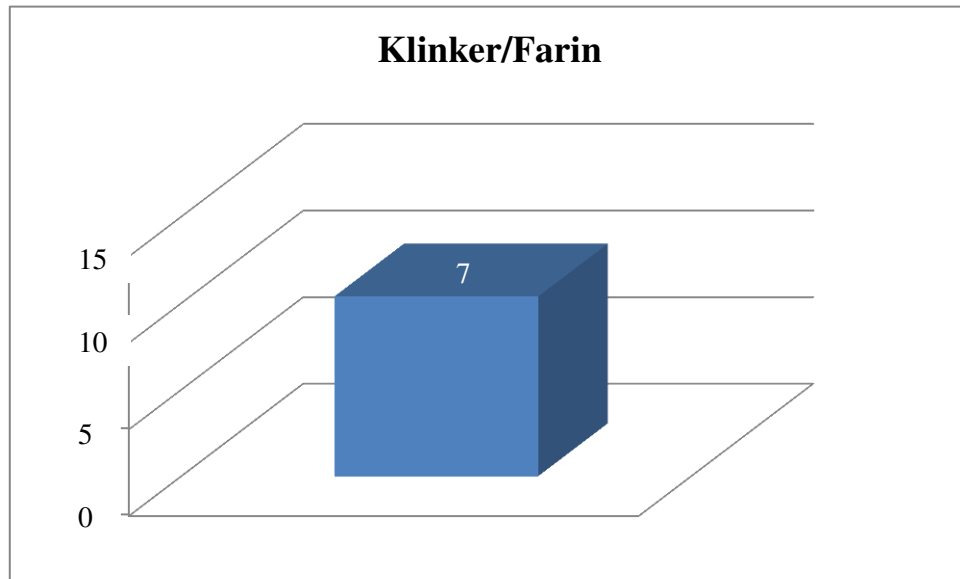


Şekil 9.1 Unibase 660 'a göre farin için bağıl abrasif aşınma direnci



Şekil 9.2 Unibase 660 'a göre klinker için bağıl abrasif aşınma direnci

Aşındırıcılar arasında Fazer 65 numunesi baz alınarak karşılaştırma yapıldığında klinkerin, farine göre yaklaşık 7 kat daha fazla aşındırıcı olduğu ortaya çıkmıştır.

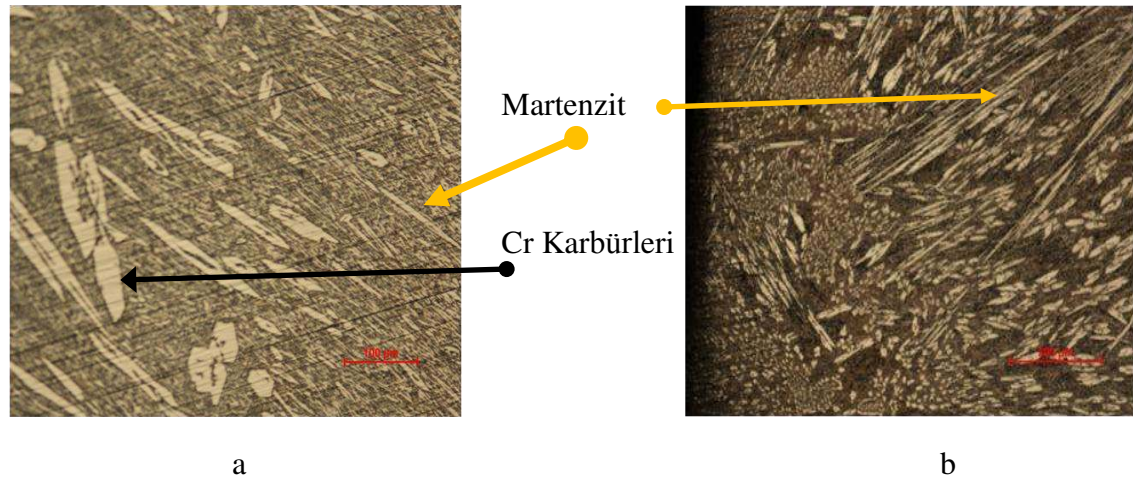


Şekil 9.3 Farin ve klinker aşındırıcılarının, numuneler üzerinde her iki aşındırıcı için ayrı ayrı yapılan test sonuçları alınarak elde edilen ortalama hacim kaybı kıyaslaması

Farklı sert dolgu kaynağı yapılmış numunelerin abrasif aşınma davranışlarını değerlendirmek ve analiz etmek için, en önemli kriterler sert dolguların sertlik değerleri ve sahip oldukları iç yapılarıdır.

Fazer 63 ve Fazer 65 diğer numunelere göre daha sert değerlere sahiptirler. Bölüm 4.2.3.5 de Şekil 4.11 ve 4.12 diyagramlarında gösterdiği gibi daha yüksek sertliğe sahip olan malzemeler daha yüksek aşınma direnci göstermektedirler,, bu nedenle Fazer 65 ve Fazer 63 yüksek sertlik oranlarına sahip oldukları için aşınma dirençleri daha fazladır.

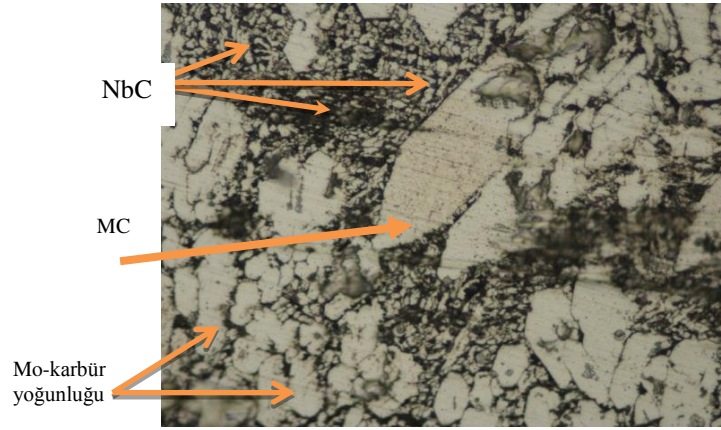
Numunelerin iç yapı analizinde XRD test sonuçlarına bakıldığında Fazer 65’de oluşan karbürlü fazların oluşmasının (krom ve molibden) aşınma direncini arttırdığı gözlenmektedir. Fazer 63’de (Şekil 9.4a ve Şekil 9.4b’de gösterdiği gibi) Cr karbürlü fazın yüksek sertlik ve aşınma direnci oluşmasını sağladığı görülebilir.



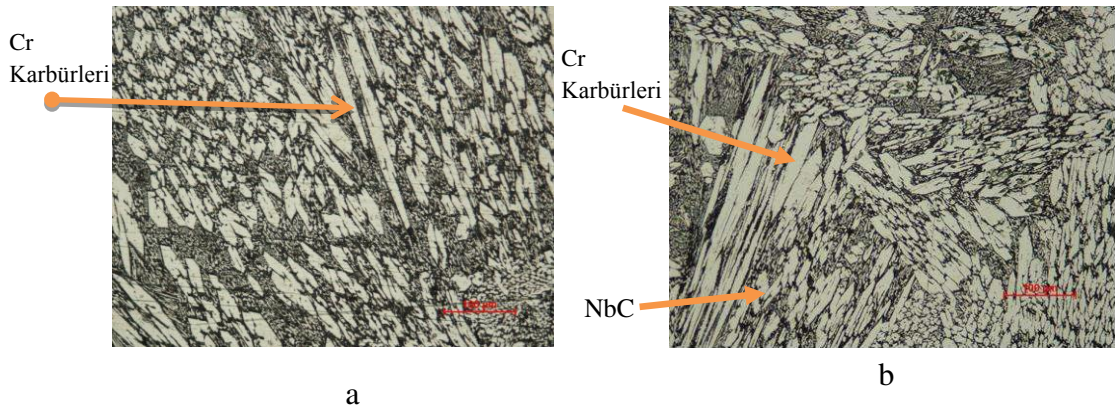
Şekil 9.4 Fazer 63 dolgu bölgesi iç yapısı .(a) Cr karbürlerin ana yapıda gösterişi, (b) Martenzitik yapı

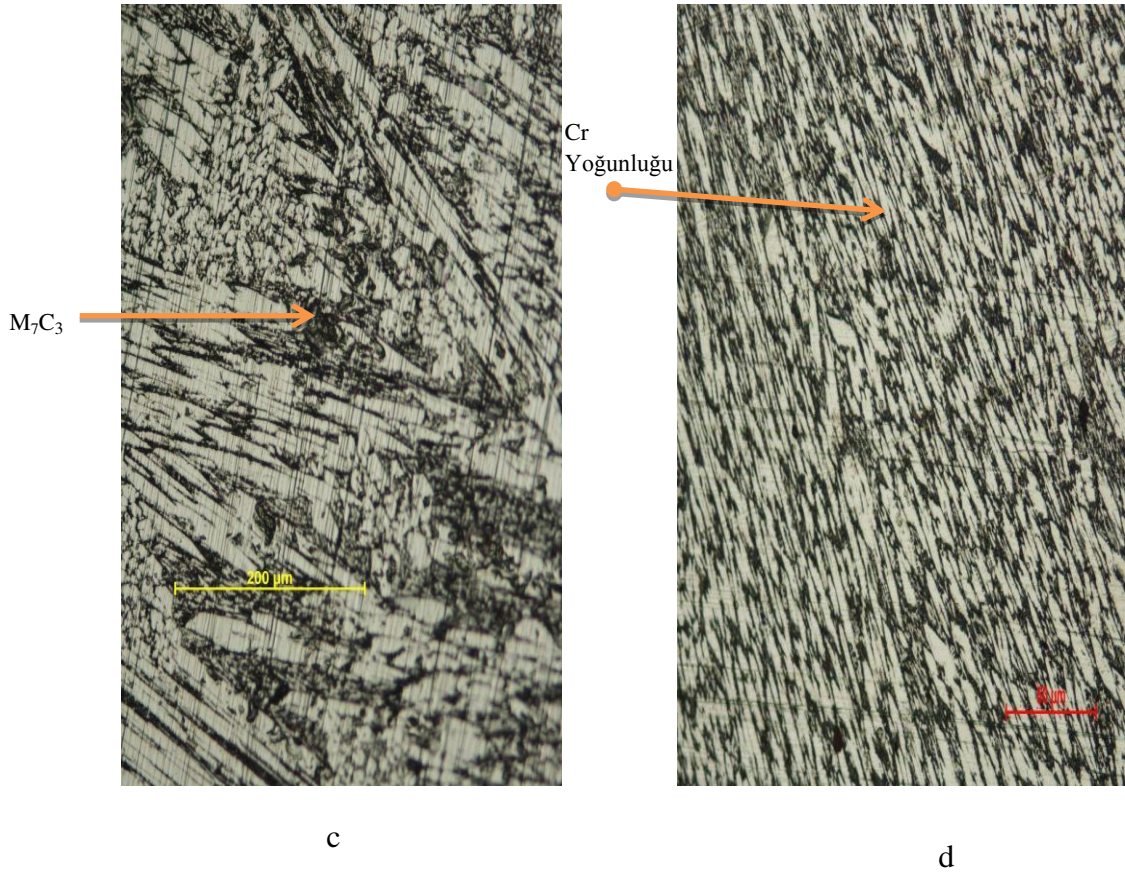
Fazer 65’de MC ve  $M_3C_7$  ‘lü ötektoid matris fazları yüksek sertlik sağlamaktadır. Şekil 9.5’de Fazer 65 ile elde edilen sert dolgunun XRD analizinde görüldüğü gibi  $M_3C_7$  yoğunluğu fazladır. Fazer 65’in yapısında bulunan  $M_3C_7$  kaba taneler, çentik ve kesme oluşumunu önlemektedir. NbC partiküllerinin  $M_3C_7$ ’de önemli bir rolü olduğu söylenebilir. Zira NbC’nün matris içinde iyi bir şekilde dağılma ve yayılmasıyla,  $M_3C_7$  karbürlerinin ayrılma ve kopması önlenmektedir. Şekil 9.6’de MC matris fazları, NbC’leri ve Mo karbürleri gösterilmiştir. Bu fazlar özellikle 2. paso ve 3. pasoda oluşmuştur. Aşınma direncini etkileyen başka bir faktör Cr yoğunluğudur. Fazer 65( kompleks karbürlü sert dolgu) de Cr yoğunluğu 1. paso da daha fazladır. Şekil 9.6.d de gösterildiği gibi Cr karbürleri yoğunluğu görülmektedir. Bölüm 4.2.3.1 ve 4.2.3.2’de bahsedilen mikro kesme ve mikro pulluklama

konumunda Cr karbürleri etkisi vardır. Cr karbürler, aşındırıcı partiküller karşısında mikro kesme ve mikro pulluklamayı azaltmakta ve aşınmayı olumlu bir şekilde etkilemektedir. Ayrıca matriste MC aşındırıcı partiküller tarafından kırıldığında tungsten karbürlerinin etkisi görülmektedir. WC ( $M_6C$ ) matriste az bir miktarda olmasına rağmen, şekil ve ölçüleri nedeniyle plastik deformasyonu fazladır ve bundan dolayı mikro kesme ve çentiği engellemektedir. Sonuç olarak Fazer 65'in birinci pasosu ikinci pasoya göre iç yapısında, yüksek miktarda sert fazların oluşmaması dolayısıyla daha şiddetli mikro kesmeye maruz kalmaktadır. İkinci pasoda,  $M_7C_3$  fazlarında düşük miktarda mikro çatlaklar ve NbC'lerde gevrek kırılma oluşmakta iken, 3. pasodaki ise sert dolgu kaynaklarında en fazla aşınma direncini oluşturmaktadır.



Şekil 9.5 Fazer 65 kaynak bölgesi iç yapısı Matris'de MC yapılar, NbC karbürleri ve Mo yoğunluğun gösterişi.





Şekil 9.6 (a) Cr karbürleri (b) Cr karbürleri ve NbC (c) Matris'de  $M_7C_3$  karbürlerinin gösterişi (d) Cr yoğunluk bölgesi

## KAYNAKLAR

- Akagaki, T. ve Kato, K. (1987). Plastic flow process of surface layers in flow wear under boundary lubricated conditions, *wear*, 117, 179-196.
- Akagaki, T. ve Kato, K. (1988). Simulation of flow wear in boundary lubrication using Vickers indentation method, *STLE, Trib. Trans.* 31 (3), 311-316.
- Akay, S., Sarı, N. ve Kaluç, E. (1996). Aşınmayı Önlemede Etkili Yöntemler, *Mühendis ve Makine*, 39 (456)
- Akkurt, M. (1986). *Makina Elemanları ve Konstrüksiyonu Kürsüsü*, Cilt 2, İstanbul: Birsen Yayınevi.
- ASM Handbook, (2000). *Mechanical Testing and Evaluation*, volume 8.
- ASTM Designation, (2001). *G65 Standart Testing*,
- Babalık, F.C. ( 2000). *Makine Elemanları ve Konstrüksiyon Örnekleri*, Cilt 2, Bursa: Vipaş A.Ş. Yayınları.
- Bayer, R.G. (1994). *Mechanical Wear Prediction and Prevention*, New York: Marcel Dekker Yayınevi.
- Bhushan, B. (2000). *Modern Tribology Handbook*, CRC Yayınevi.
- Bramfitt, B.L. ve Benschoter, A.O. ( 2002). *Metallographer's Guide Practices and Procedures for Irons and Steels* 39 E Research Laboratories Bethlehem Steel Corporation
- Burwell, J.T. (1957/58). Survey of Possible Wear Mechanisms, *wear*, 1, 119-141.

- Dean, S.K. ve Doyle, E.D. (1975). Significance of Grit Morphology in Fine Abrasion, *wear*, 35,123-129.
- Howard, K. ve Dana, M. (2000). *Mechanical Testing and Evaluation*. ASM Handbook, 8.
- Karabaşoğlu, M. (2008). *Aşınma Deney Cihazı Tasarımı ve İmalatı*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karadeniz, S.(2005) *Tamir Bakım Kaynağında Dolgu Maddesi Seçimi*. II. Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi.
- Kayaba, T. ve Kato, K. (1981), *The Adhesive Transfer of The Slip-Tongue and The Wedge*, *ASLE Trans.* , 24(2), 164-174.
- Kobrick, R.L. (2010). *Characterization and Measurement Standardization of Lunar Dust Abrasion for Spacecraft Design and Operations*, A thesis submitted to the Faculty of the Graduate School of the University of Colorado in partial Doktora tezi, Uzun bilimler departmanı.
- Lipson, C. (1967). *Wear Considerations in Design*. Michigan üniversitesi yayınevi. Hall Inc.
- Ludema, C.K. (1996). *Friction, Wear, Lubrication, A Textbook in Tribology*, 107-108.
- Moore, M.A. (1981). *Abrasive Wear*, ASM Materials Science Seminar on Fundamentals of Friction and Wear of Material 4, Pittsburg, Pennsylvania, Metals Park, Ohio, Publ. ASM,73-118
- OECD Aşınma araştırma merkezi. (1969). *Wear of Engineering Materials: Friction, Wear and Lubrication – Tribology - Glossary of Terms and Definitions*. OECD, Paris.

- Oğuz, B, (1993). *Aşınma Sorunları ve Dolgu Kaynakları*. Oerlikon Yayını.
- Özsaraç, U. (1999). *Endüstriyel Yatak Alaşımlarının Aşınma Davranışlarının Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Pal, T.K. ve Chatterjee, S. (2003). *Wear Behaviour of Hardfacing deposits on cast iron, wear, 255,417-425.*
- Scholl, M., Devanathan, R. ve Clayton P. (1999). *Abrasive and dry sliding wear resistance of fe-mo-ni-si and fe-mo-ni-si-c weld hardfacing alloys*, Oregon Graduate Center, Beaverton, U.S.A.
- Soydan, Y. Ulakan, L. (2003). Triboloji Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Merkezi Teknolojik Yayınlar Serisi No:1, 35-40.
- Stachowiak, G.W. Batchelor, A.W. (1993). *Engineering Tribology*, Tribology Series, 24, Elsevier.
- Standford, K. ve M & JAIN, K.V. (2001). *Friction and Wear Characteristics of Hard Coating, wear, 251. 990-996.*
- TMMOB. (2003). II. Ulusal Demir-Çelik Sempozyumu ve Sergisi: Bildiriler Kitabı, Yay. No: E/2003/336, Ankara.
- Toro, A., Buchely, M.F., Gutierrez, J.C. ve LE, . Leon, L.M. (2005) The Effect of Microstructure on Abrasive Wear of hard facing Alloys, *wear, 259. 52-61.*
- Türkiye Çimento Mühtasilleri Birliği Resmi Elektronik Adresi.(2009).farin ve klinker hazırlama aşaması (2012).
- <http://www.tcma.org.tr/index.php?page=icerikgoster&menuID=54>

Uzuner, H. (2001) *Polimerlerin Sürtünme ve Aşınma Davranışları*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Vingsbo, O. & Hogmark, S. (1981). *Wear of Steels*, ASM Materials Science Seminar on Fundamentals of Friction and Wear of Materials, 4-5, Pittsburg, Pennsylvania, Metals Park, Ohio, Publ. ASM, 373-408.

Wang, X., et. al., (2008). Microstructure and wear properties of the Fe-Ti-V-Mo-C hardfacing alloy, *wear*, 35, 123-129.

Yang, K. (2008). Effect of Carbonitride Precipitates on the Abrasive Wear Behaviour of Hardfacing Alloy, *Applied Surface Science*, 254, 5023-5027.