

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI ORANLARDA MİKRO ALAŞIM BOR İÇERİKLİ
AISI 4140 ÇELİĞİNİN AŞINMA DAVRANIŞININ
ARAŞTIRILMASI**

**Tezi Hazırlayan
Mohammad Amin ARMAN**

**Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA**

**Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Haziran 2017
NEVŞEHİR**

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI ORANLARDA MİKRO ALAŞIM BOR İÇERİKLİ
AISI 4140 ÇELİĞİNİN AŞINMA DAVRANIŞININ
ARAŞTIRILMASI**

**Tezi Hazırlayan
Mohammad Amin ARMAN**

**Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA**

**Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Haziran 2017
NEVŞEHİR**

Yrd. Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA danışmanlığında Mohammad Amin ARMAN tarafından hazırlanan “**Farklı Oranlarda Mikro Alaşım Bor İçerikli AISI 4140 Çeliğinin Aşınma Davranışının Araştırılması**” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

06/06/2017

JÜRİ

Başkan : Prof. Dr. Bülent KURT

İmza

Üye : Doç. Dr. Bülent AKTAŞ

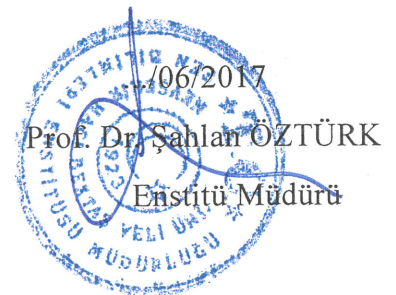
İmza

Üye : Yrd. Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA

İmza

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim kurulunun 4.7.2017 tarih ve 2017.30.209 Sayılı kararı ile onaylanmıştır.



TEZ BİLDİRİM SAYFASI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada yer alan bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu ve bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

(İmza)
(Mohammad Amin ARMAN)

TEŐEKKÜR

Çalıőmalarım süresince, yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, her türlü desteğini esirgemeyen kıymetli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA'ya teőekkürlerimi sunarım. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü tüm öğretim elemanlarına teőekkür ederim.

Başta dostluğunu ve yardımlarını esirgemeyen Araő. Gör. Serkan DAL ve Metalürji ve Malzeme Mühendisi Yusuf KARACA'ya, her zaman büyük özveriyle yanımda olan arkadaşlarıma ve hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim annem Rahile BEGZAD, babam Mohammad Rafik BEGZAD, ağabeyim Dr. Ahmet őefik BEGZAD başta olmak üzere tüm kardeőlerime çok teőekkür ederim.

FARKLI ORANLARDA MİKRO ALAŞIM BOR İÇERİKLİ AISI 4140 ÇELİĞİNİN AŞINMA DAVRANIŞININ ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Mohammad Amin ARMAN

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2017

ÖZET

Bu çalışmada, 1635 °C ergitilmiş AISI 4140 çeliğine farklı oranlarda borsuz, 11, 17, 26, 32 ve 38 ppm bor ilave edilmiş ve % 200-300 oranlarında haddelenmiş numunelerin aşınma davranışları incelenmiştir. Borsuz ve farklı oranda bor içeren AISI 4140 çeliğinin aşınma direnci 10N, yükler altında incelenmiştir. Borsuz, farklı oranlardaki AISI 4140 çeliğinin 10N, yükler altında aşınma sonrası elde edilen aşınma izlerinin optik görüntüleri incelenmiş ve bor oranı arttıkça aşınma nedeniyle malzeme kaybının arttığı görülmüştür. Numunelerin kütle kayıpları hassas terazi kullanılarak aşınma miktarları tespit edilmiştir. Aşınma sonrası SEM görüntülerinde malzeme kayıpları ve parça kopma derinlikleri net bir şekilde görülmüştür. XRD çalışmaları ile AISI 4140 çeliğinde oluşan fazlar yöntemiyle belirlenmiştir. Yüzey özellikleri değişen tabakaların sertliği Vickers sertlik cinsinden ölçülmüştür. Bor oranı optimum oranlarda (32 ppm bor içeren) sertlik değerlerinde artış gözlenmiştir. Sonuçlar literatür ile karşılaştırılarak tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler : *Borlu çelikler, AISI 4140 çeliği, Aşınma, Mikroyapı.*
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA
Sayfa Adeti : 102

**INVESTIGATION OF WEAR BEHAVIOUR OF DIFFERENT
MIKROALLOYING BORON ADDED AISI 4140 STEEL**

(M. Sc. Thesis)

Mohammad Amin ARMAN

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

June 2017

ABSTRACT

In this study, boron, 11, 17, 26, 32 and 38 ppm boron were added at different ratios to the 1635 ° C molten AISI 4140 steel and the wear behaviors of rolled samples at 200-300% were investigated. The wear resistance of AISI 4140 steel containing boron and boron in different proportions was investigated under load of 10 N. The optical images of the AISI 4140 steel at different rates and at different rates of 10 N under load were investigated and the loss of material due to abrasion increased as the boron content increased. The amounts of abrasion were determined using the mass loss of the samples and the sensitive balance. In post-abrasion SEM images, material losses and fracture depths were clearly seen. XRD studies and AISI 4140 quartz phases. The hardness of the changing layers of the surface properties is measured in Vickers hardness. At the optimum rates of boron content (containing 32 ppm boron), an increase in hardness values was observed. The results are discussed in comparison with the literature.

Keywords : *Boron steels, AISI 4140 steel, Wear, Microstructure*
Thesis Supervisor : Yrd. Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA
Page Number : 102

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1.....	1
1.Giriş.....	1
1.2 GENEL BİLGİLER	3
1.2.1 Borun Tarihçesi.....	3
1.2.2. Türkiye’de Bor Üretiminin Tarihçesi.....	4
1.2.3 Borun Genel Özellikleri	5
1.2.4 Bor Elementinin Kristal Yapısı.....	6
1.2.5. Bor Elementinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	6
1.2.6 Bor Mineralleri	7
1.3. Ticari önemi olan bor mineralleri	7
1.3.1. Boraks (Tinkal)	8
1.3.2. Kolemanit	8
1.3.3. Üleksit	8
1.3.4. Probertit	8
1.3.5. Kernit (Razorit).....	9
1.3.6. Hidroborasit	9
1.3.7. Pandermit.....	9
1.4. Borun Kullanım Alanları	9
1.4.1. Cam Endüstrisinde Kullanımı.....	9
1.4.2. Yalıtım cam elyafı.....	10
1.4.3. Borosilikat	10
1.4.4. Tekstil Cam Elyafı	10
1.5. Seramik Endüstrisinde Kullanım	11
1.5.1. Sır ve Emaye.....	11
1.5.2. Seramik Sırları	11

1.5.3. Emaye.....	12
1.6. Temizleme ve Beyazlatmada Kullanım	13
1.6.1 Sodyum Perborat ve Sodyum Hipoklorit Ağartıcıların Karşılaştırması.	13
1.7. İnşaat ve Çimento Sanayinde Kullanım	14
1.7.1. İnşaat Endüstrisinde Isı ve Ses Yalıtım Amaçlı Uygulamaları	15
1.7.2. Borun Çimento Endüstrisinde Kullanımı	15
1.8. Yanmayı Önleyici/Geçiktirici Malzeme Olarak Kullanımı.....	15
1.9. Nükleer Uygulamalarda Kullanım	16
1.9.1. Atom Reaktörlerinde	16
1.9.2. Nötron Absorpsiyonunda.....	16
1.9.3. Nötron İzolatörü Olarak Kullanılması.....	17
1.9.4. Borlu Paslanmaz Çelik	18
1.9.5. Nötron Odaları	18
1.9.6. Borlu Reaktör Grafiti	18
1.9.7. Enerjide Kullanım	19
1.9.8. Borun Hidrojen Üretimi ve Depolanmasında Kullanımı	19
1.9.9. Borun Yakıt Pili Yakıtı Olarak Kullanımı.....	21
1.9.10. Borun Motor Yakıtı Olarak Kullanımı.....	21
1.9.11. Borun Motor Yakıtı Katkı Maddesi Olarak Kullanımı	23
1.9.12 Metalurji ve Makinede Kullanım	24
1.9.13 Sağlıkda Kullanım.....	24
1.9.14 Bor Nötron Yakalama Terapisi.....	25
1.9.15 Tarımda Kullanım	26
BÖLÜM 2.....	27
2. Çelikler	27
2.1 Çeliklerin Karbon Oranına Göre;.....	27
2. 2. 1. Mikroalaşımli çelikler	28

2.3. Çelik Çeşitleri	29
2.3.1. Çeliklerin Karbon Oranına Göre Sınıflandırılması,	29
2.3.2. Düşük Karbonlu Çelikler.....	29
2.3.3. Orta Karbonlu Çelikler.....	29
2.3.4. Yüksek Karbonlu Çelikler	30
2.3.5. Yüksek Karbonlu Takım Çelikleri.....	30
2.4. Çeliklerin Kimyasal Bileşim Esas Alınarak Sınıflandırılması	30
2.4.1. Alaşimsız çelikler (sade karbonlu çelikler)	30
2.4.2. Alaşımli Çelikler	31
2.4.3 Alaşım Miktarına Göre.....	33
2.4.4 Esas Alaşım Elementine Göre.....	34
2.4.5 Kullanım Alanlarına Göre Çelikler	35
2.5 Otomat çelikleri.....	36
BÖLÜM 3.....	37
3. Aşınma.....	37
3.1. Aşınma Sisteminde Temel Unsurlar.....	37
3.2.Aşınma Rejimleri:	40
3.2.1 Aşınmayı Etkileyen Faktörler.....	40
3.3. Aşınma Direncine Karbürlerin Etkisi.....	43
3.4. Aşınma Direncine Matrisin Etkisi.....	43
3.5. Aşınma Mekanizmaları.....	43
3.5.1. Adhesiv aşınma	44
3.5.2. Abrasiv aşınma.....	45
3.5.3. Yorulma aşınması	47
3.5.4. Eroziv aşınma	48
3.5.5. Öğütmeli aşınma	48
3.5.6. Oymalı aşınma	49

3.5.7. Kazımalı aşınma.....	49
3.5.8. Korozyon aşınması.....	49
3.6. Aşınma Deneyleri ve Ölçüm Yöntemleri	51
3.6.1. Aşınma deneyleri	51
3.7.1. Ağırlık farkı yöntemi.....	53
3.7.2. Kalınlık farkı yöntemi	54
3.7.3. İz değişimi yöntemi.....	54
3.7.4. Radyo izotop yöntemi	54
3.7.5. Abrasiv aşınma için deney yöntemleri.....	55
3.7.6. Kayma ve dönme temaslarında aşınma.....	56
BÖLÜM 4.....	59
4.AISI-4140 çelikleri.....	59
BÖLÜM 5.....	66
5.Borlu Çelikler.....	66
5.1. Borlu Çelik kalitelere Örnekler	67
5.2. Borlu Çeliklerin Mekanik ve İşlenebilme Özellikleri.....	67
5.3. Borlu Çeliklerin Isıl İşlemleri.....	68
5.4. Borlu Çeliklerin Genel Kullanım Alanları.....	69
5.5. Tarımsal Mekanizasyonda Borlu Çelikler.....	69
5.6. Fe-B İkili Denge Diyagramı	71
5.7. Borür Tabakasının Yapısı, Bileşimi ve Kalınlığı.....	72
5.8. Demir Borürlerin Büyüme Mekanizmaları ve Özellikleri	76
BÖLÜM 6.....	81
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	81
6.1. Malzeme ve Deneysel Çalışma Sistematiği.....	81
6.2. Mikroyapı İncelemesi.....	83
6.2.1. Optik mikroskop ile inceleme.....	84

6.2.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile inceleme.....	84
6.3. Mekanik Testler	85
6.3.1. Sertlik deneyi.....	85
6.4. XRD Deneyleri.....	86
6.5. Aşınma Deneyleri.....	86
BÖLÜM 7.....	89
7. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	89
7.1. Optik Mikroskop İncelemeleri	89
7.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) inceleme.....	90
7.3. Sertlik deney sonuçları ve tartışma	91
7.4. XRD Deney Sonuçları ve Tartışma.....	92
7.5. Aşınma Deney Sonuçları ve Tartışma	93
8. SONUÇLAR.....	97

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1.1 Ticari değeri olan bor mineralleri	7
Tablo 1.2 Sodyum perborat ve sodyum hipoklorit ağartıcıların karşılaştırması.	13
Tablo 2.1 Az alaşımlı çeliklerin Türk Standartları'na göre gösteriminde kullanılan katsayılar [29].....	34
Tablo 3.1 Yükleme ve Hareket Değişkenlerinin Sistemi Etkilemesi	39
Tablo 3.2 Aşındırıcı malzemelerin sertlik değerleri [23].....	42
Tablo 3.3 Malzeme özelliklerinin adhezif aşınmaya etkisi.....	45
Tablo 4.1 AISI-4140 çeliğinin kimyasal kompozisyonu	59
Tablo 4.2 AISI-4140 çeliğinin ısıl özellikleri	60
Tablo 4.3 AISI-4140 çeliğinin mekanik özellikleri.....	61
Tablo 4.4 AISI-4140 çeliğinin elektriksel özelliği	61
Tablo 4.5 AISI-4140 çeliğinin ısıl işlem özellikleri	62
Tablo 4.6 AISI-4140 çeliğinin yaklaşık kritik sıcaklıkları.....	62
Tablo 5.1 Fe ₂ B ve FeB fazlarının tipik özellikleri.....	80
Tablo 6.1. Asil Çelik A.Ş./Bursa tarafından verilen numunenin % ağırlık olarak kimyasal analizi	82
Tablo 7.1 Farklı oranlarda bor içeren AISI 4140 çeliğin sertlik değerleri.....	91
Tablo 7.2 Farklı oranlarda bor içeren AISI 4140 çeliğin ortalama sürtünme katsayısı ve aşınma miktar değerleri.....	94

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Bor Elementin kiristal yapısı	6
Şekil 1.2 Hydrogen on Demand™ sistemiyle hidrojen üretimi.....	20
Şekil 1.3 Bor yakıtlı motor sisteminin temsili şeması.	23
Şekil 2.1 Fe C 3 içerisinde çözünen elementlerin çeliğin sertliğine etkileri.....	32
Şekil 2.2 Çeşitli alaşım elementlerinin ötektoid dönüşüm sıcaklığına etkileri	32
Şekil 3.1 Bir tribolojik sistemin DIN 50320 normuna göre şematik gösterimi.	38
Şekil 3.2 Sürtünen iki çisimde aşınmanın temel	39
Şekil 3.3 Abrasiv aşınma mekanizmaları.....	46
Şekil 3.4 Üç elemanlı abrasiv aşınma.	47
Şekil 3.5 Aşınmalara etki olan yorulmaların şematik gösterimi.	48
Şekil 3.6 Korozif aşınmanın şematik resmi.	51
Şekil 3.7 Gerçeklik derecesine göre aşınma testlerinin sınıflandırılması	52
Şekil 3.8 Aşınma deney türlerinin şematik resimleri.....	53
Şekil 3.9 Malzemenin aşınma miktarını ölçmek için en yaygın kullanılan dört metodun şematik olarak gösterimi.	56
Şekil 3.10 Kaymalı aşınma test düzeneklerinin şematik olarak gösterilisi	58
Şekil 4.1 AISI-4140 çeliğine ait TTT diyagramı.....	64
Şekil 4.2 AISI-4140 çeliğine ait CCT diyagramı	65
Şekil 5.1 Borlu çeliklerin kristal yapısı.....	67
Şekil 5.2 Fe-B ikili denge diyagramı	72

Şekil 5.3 Borür tabakasının şematik olarak gösterilişi.....	73
Şekil 5.4 Borür tabakalarının türleri, a) FeB; b)Fe ₂ B; c) Geçiş zonu	74
Şekil 5.5 Borür tabakası ve geçiş zonu kalınlığının borlama süresi ile değişimi	76
Şekil 5.6 Bazı çeliklerde, borür tabakası kalınlığının borlama süresi ile değişimi	76
Şekil 5.7 Bazı çeliklerin ve saf metallerin borlanma sonrasındaki mikro yapılan	78
Şekil 5.8 Gaz ortamda borlanan bir malzemenin yüzeyinde oluşan borür tabakası ve matris içerisindeki B ve Fe atomlarının dağılımı	79
Şekil 6.1 Deneysel çalışma sistematığının şematik gösterimi.....	83
Şekil 6.2 Optik görüntülerin alındığı mikroskop.....	84
Şekil 6.3 SEM görüntülerin alındığı mikroskop.....	85
Şekil 6.4 Mikro sertliklerin alındığı sertlik cihazı.....	85
Şekil 6.5 XRD çalışmalarının yapıldığı cihaz	86
Şekil 6.6 Şematik pin-on-disk aşınma cihazı	87
Şekil 6.7 Aşınma deneyinde kullanılan Pin-on-disk aşınma cihazı.....ç.....	88
Şekil 6.8 AISI 4140 çeliğinden hazırlanan 25x5 mm çapında aşınma numuneleri.....	88
Şekil 7.1 AISI 4140 çeliğine aşınma testlerinde 10 N yük uygulanarak elde edilen optik fotoğraflar	89
Şekil 7.2 AISI 4140 çeliğin aşınma yüzeylerinin SEM resimleri.....	90
Şekil 7.3 Farklı oranlarda bor içeren AISI 4140 çeliğin sertlik sonuç grafiği.	92
Şekil 7.4 Farklı oranlarda bor içeren AISI 4140 çeliğin XRD sonuçları.	93
Şekil 7.5 Farklı oranlarda bor içeren AISI 4140 çeliğin 10 N yükte oluşan ortalama sürtünme katsayısındaki değişim.	95

Şekil 7.6 Farklı oranlarda bor içeren AISI 4140 çeliğin 10 N yükte aşınma miktarları..95

Şekil 7.7 AISI 4140 çeliğin 10 N yük altında aşınma deneyi sonrası sürtünme katsayıları

..... 96



BÖLÜM 1

1.Giriş

Dünya genelinde bor üretiminin %90'ını Türkiye ve ABD tarafında yapılmaktadır. Türkiye'de ticari olarak üretilmekte olan ve aynı zamanda üretiminin büyük bir bölümü ihraç edilen mineraller olarak, üleksit, kolemanit ve boraks mineralleri ve borik asit, boraks dekahidrat, boraks pentahidrat, sodyum perborat monohidrat ve susuz boraks yer almaktadır. ABD'de boraks pentahidrat, susuz boraks, bor oksit, sodyum metaborat, sodyum penta borat, kernit minerali ve borik asit, ticari amaçlı olarak; borlu ürünler olarak potasyum pentaborat elde edilmektedir. Bölgesel olarak bor kullanımı dünya piyasasında değişmektedir. ABD ve Batı Avrupa'da Bor minerallerinin kullanım alanı ve miktarında değişiklikler gözlenmektedir. ABD bölgesinde bor kullanımları genel olarak %68 cam, % 3.5 tarım, % 3.5 alev geciktirici %3.5 seramik, ve % 5 deterjan üretiminde yapılmaktadır. Avrupa genelinde borat minerallerinin en büyük kullanım alanları deterjan sanayidir. Avrupa bölgelerinde tüketimi genel olarak %35 deterjan, %10 seramik ve %2 tarım alanında ve %23 cam alanında tercih edilmektedir.

Genel olarak ülkemiz içerisinde borat kullanımı minimum düzeyde olup, dünya çapında kullanılması %1-2 civarındadır. Ülkemiz içerisinde 2000 yılı itibariyle borun %38'i seramik ve firit, %12'si deterjan, %27'si demir-çelik, %12'si cam ve cam elyafı, %5'i kimya, %6'sı diğer sektörlerde kullanılmak amaçlı tüketilmiştir.

Boratlar cam sektöründe kullanıldığı zaman; ergimiş bor camın aradaki mamulünün içerisine girdiğini zaman vizkozite arttırıp, yüzeydeki sertlik ve dayanıklılık oranlarını arttırdığında ısılara karşı her zaman izolasyon oranlarının gerekli olduğu cam mamullerine katılarak tüketilmektedir.

Erimiş borlar seramik sanayisi sektöründe; bor ile kaplaması yapılan emaye seramiği çizilmeye karşı dayanıklı kılması ve onun paslanmasını önlemesi açısından kullanılmaktadır.

Temizleme ve beyazlatma işlemlerinde; deterjan ve sabunlarda, su yumuşatıcı, mikrop öldürücü, beyazlatıcı etkisi nedeniyle kullanılmaktadır.

Çimento ve İnşaat alanında; çimento açısından izolasyon ve dayanıklılık artırıcı fonksiyonunu sağlaması açısından kullanılmaktadır. İçeriği bor olan çimentonun diğer çimentoya göre daha hızlı soğuduğu ve daha dayanıklı olduğu kanıtlanmıştır. Bu özelliğinden dolayı yol çalışma alanlarında kullanımları gün geçtikçe daha fazla değerli kılmışlardır.

Yanmayı geciktirici/önleyici kimyasal olarak ise; borun, ergime noktasının yüksek bir değere sahip olması, yanma durumlarına karşın yeteri kadar dirençli olmasından dolayı yanmaları geciktirici/önleyici madde olarak tercih edilmektedir. Nükleer uygulama alanlarında, nötron soğurmalar güçlerinde borların maksimum seviyede yüksek olması nedeniyle atomların katalizörlerinde bor içerikli çelik, titanborlar ve borlu karbürleri kullanılmaktadır. Nükleerdeki oluşan kazaların güvenliği açısından, nükleer atık depolayıcısı olarak; reaktör aksamları, nötron soğurucular, reaktör kontrol çubukları kullanılmaktadır.

Faaliyetlerini enerji alanında devam ettirdiğinde; hidrojenlerin üretimi ve depolamasında, motorların yakıtında katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Konusu enerji olan projeler ve araştırmalar henüz deney aşamasındadır. Temiz bir çevre ile düşünebilecek üretim ve gelişimin yer alması beklenmektedir.

Faaliyetlerini tarım alanında devam ettirdiğinde; borlar bitki örtülerinin geliştirilmesini ve önlenmesi amacı ile kullanılmaktadır. Borlar, değişebilen boyutlarda, birden fazla bitki türlerinin temel besin maddesi olmuştur.

Metalürji veya Makine alanında; bor kimyasal bileşimleri veya reaksiyonları sıcaklık değerleri yüksek, yapışkan, düzgün, temiz sıvı oluşturma ve koruyuculuğundan ötürü cürufaları koruyucu olarak kullanabilen ve erime işlemlerini çabuklaştırıcı bir kimyasal olarak da tercih edilmektedir. Önemli bir özelliği de çelik malzemenin sertliğini artırıcı kimyasal olarak da kullanılmasıdır. Borlar, metalürji/makine sanayilerinde demir esaslı malzemelerden üretilen makina parça içeriklerinin eleman aşınmalarına, korozyon etkilerine karşın malzemelerin dirençli kılınması için yüzey sertleştirmesinde kullanılmaktadır.

Faaliyetlerini sağlık alanında devam ettirdiğinde; BNCT, kanserle savaş tedavisinde oldukça yaygın kullanılmıştır. Genellikle; beyin kanserinin tedavilerinde hasta olan

hücreler seçilerek kaybolmasında ve sağlıklı hücrelere zararlarının düzeyleri düşük olması nedeniyle tercih nedeni haline gelmiştir. 21.yy zenginliği olarak da nitelendirilen bor madenleri, ülkemizin tek önemli stratejisi olan cevherlerdir. Bor madenleri enerji sektörüne, uzay teknolojisinden, savunma sanayisinden, nükleer teknolojisine çok geniş ve farklı alanlarda kullanılan bir maden haline gelmiştir [1]. Tez genelinde hazırlanan bu çalışmada, bor ve bor ürünlerin değerinin kavranması ve makine parçalarında birçok yerde kullanılan AISI 4140 çeliğinin aşınma davranışına borun etkisinin araştırılması hedeflenmiştir.

1.2 GENEL BİLGİLER

1.2.1 Borun Tarihçesi

Dünya tarihinde, borlar altın sektöründe 4000 yıl öncesi kadarıyla Babiller Uzak Doğu'sundan boraks ithal ederek kullanıma geçmişlerdir. Mısırlılar, bor elementini tıp alanında, mumyalamada ve metalürji gibi uygulama alanlarında kullandığı bilinmektedir. Tibet gölünde ilk olarak boraks üretimi başlamıştır. Borik asitler; 1700'lü yıllarda borakstan üretilmiş, 1800 yıllarında elementel borlar üretilmeye başlamıştır. Elementel olarak kullanılan borlar 1808 yılında bağımsız olup bilimsel çalışmalar yapan İngiliz kimyacı Sir Humpry Davy, Fransız Kimyacı Gay-Lussac ile Baron Louis Thenard tarafından elde edilmiştir. Bor içerikli doğal minerallere genel olarak boratlar adı verilmektedir. İnsanlar tarafından boratlar yıllardır kullanılmıştır.

Gelişmiş bor endüstrisi, 13. yüzyıllarda Marco Polo sayesinde Tibet bölgesinden dünya pazarına çıkarılmasıyla başlamıştır. İtalya'nın Tuscani alanlarında 1771 yılında, Sassolit 'in sıcak su kaynaklarında bulunduğu anlaşılmış olup, 1852'de Şili'de endüstriyel anlamda ilk olarak boraks madenciliği başlamıştır. ABD dünya bor gereksinimini California, Nevada, Caliko, Mountain ve Kramer yörelerinde ki yatakların bulunup işletilmesi ile karşılayan ülkeler arasında birinci sırayı yer almıştır. Ülkemizde 1861 yıllarında ilk olan işletmenin tarafından üretilen Maadin Nizannamesi uyarınca Fransız şirketlerine bağlı kalmarak 1865 yılların da yetki verilerek başlatıldığı bilinmektedir [2].

1.2.2. Türkiye’de Bor Üretiminin Tarihçesi

Bebek’te 1850’li yıllarda, mermer işi ile ilgilenen Henri Groppler Polonya’lı bir mülteci olup, eski ortağı Fransız mühendis Camille Desmazures’e hediye olarak alçı taşlarından elde edilmiş heykeller vermiştir. Heykellerin içeriğinde Fransız Camille Desmazures, maksimum seviyelerde boraks olduğunu fark eden, ortağıyla beraber ülkemizin genelinde boraks bulmaya başlamışlardır. Balıkesir ilindeki Susurluk ilçesi yakınlarında Sultançayırı çevresinde bulunmaktadır. Bu mineral “pandermit” adını almış bir bor minerali çeşididir. Fransız bilim adamları, pandermitin kullanılması adına 1856 yılında Sultandan 37 dönüm arazi üzerine “alçıtaşı” madeni çıkarmak üzere 20 sene anlaşmalı işletme yetkisi almışlardır. Bor mineralleri Osmanlı zamanında yabancı firma/firmalar tarafından “alçıtaşı” olarak işletilmeye başlamıştır. 1950 yılında Sultan çayırındaki cevherler Desmond Aber Smith’den 3/12002 sayılı şartname ile bu yıllarda dünya tekeli firma durumundaki Borax Consolidated Ltd’ye bırakılmıştır. Borax Consolidated 1951 yıllarında yaklaşık 11.000 ton ihracat yapmış olsa da 1954 yıllarında bor cevherinin bittiğini ileri sürerek, Sultan Çayırı’nda bulunan ocağın kullanımını kapatmışlardır[2].

1961 yılına kadar piyasadaki düşük değerli tenörlü cevherlerin satışını devam ettirerek ülkemizdeki faaliyetlerini sürdürmüşlerdir. Etibank tarafından 14 Haziran 1935 yılından itibaren bor mineralleri ile olan ilgisini devam ettirmiştir. Kütahya/Emet bölgesinde ki MTA’nın Tersiyer Linyit Araması adı ile başlatmış olduğu çalışma kolemanit yatağı bulunmuştur. Jeolojij bilimi adına ilk tespitlerden sonra alınan ruhsat 15 Mayıs 1958’de Etibank kurumlarına devir edilmiştir. Etibank ruhsatı aldıktan sonra 1958 ve 1959 yıllarında aramalarını sürdürmeye devam ederken aynı zamanda üretime geçmiştir. Borax Consolidated Ltd.1955 yılında yabancı sermayeyi teşvik kanunlarından yararlanmak için Türk Boraks Madencilik Anonim Şirketini kurmuştur [2].

Bu tarihlerden sonra Türkiye’de bu yeni şirket aracılığıyla madencilik araştırmalarını ve uygulamalarını yürütecektir. Bu şirketin hisselerinin % 94’ü Borax Consolidated, % 2’si Türk hissedarlar, % 4’ü İngiliz hissedarlardır. İlerleyen zamanlarda başka kararnamelemler ile yabancı olan iki şirkete işletme ve arama izinleri verilmiştir. Bunlar; American Potash And Chemical Co. ve Ugine Kuhlman’dır. Bor tuzları incelemeleri ve arama ruhsatları yerli madencileri adına Eskişehir Kırka’da 1950 yılında MTA uzmanlarınca verilmeye başlanmıştır. Boraks yataklarının ruhsatı 1968 yılından itibaren Etibank’a

bırakılmıştır. Etibank tarafından bu yatakları işlemek için gerekli çalışmalara 1969 yılında başlanarak 1970 yılında tesislerin kurulmasına geçilmiştir. Balıkesir'in Bigadiç İlçesi bölgesinde 1950 yıllarından itibaren bor tuzu (KOLEMANİT - ULEKSİT) üretilip daha sonra ihracını eden Türk Girişimcileri (Bortaş-Ali Sayakçı-Rasih-İhsan-Yakal Madencilik) vardı. 1950 yıllarında faaliyet göstermekte olan Fransız KEMAD Ltd.'nin saha içi sınır anlaşmazlığı sebebiyle Bakanlar Kurulu Kararıyla 13.02.1976 da Tulu Açık İşletmesinin yer aldığı sahanın Etibank'a verilmesi ile bölgede madencilik faaliyetlerine geçmiş olan Etibank, 08/04/1976'da Emet Müessesesine bağlı "Etibank Bigadiç Madenleri İşletmesi Şantiyesi" açılışı sağlanmıştır [2].

Bursa'nın Mustafa Kemalpaşa, Kestelek yakınındaki borlu tuz yatakları (KOLEMANİT) MTA Enstitüsünün Linyit Araştırmalarında ortaya çıkması 1954 yıllarındadır. Tüm borlu tuz sahalarının imtiyazı hakkında olduğu gibi 4 Ekim 1978 tarih ve 2172 sayılı Devletçe İşletilecek Madenler ile ilgili yasa gereği 21/08/1979 tarihinde çalışmalar o tarihteki adımız ile Etibank'a bırakılmıştır. Günümüzde bu görev 1983 yılında Devletçe İşletilecek Madenler kapsamında çıkartılan 2840 sayılı kanun ile Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü tarafınca sürdürülmektedir[2].

1.2.3 Borun Genel Özellikleri

51. yaygın olarak kullanılan elementler; borat ve borosilikat adıyla yer almış bor elementi, yaklaşık olarak 3 ppm'lik dikkatlik (konsantrasyon) kalitesine sahiptirler. Kimyasal sembolü "B" olup, periyodik cetvel içerisinde 3A grubunda metalik grubunda yer almayan elementtir. Elementin yaklaşık olarak E.S (ergime sıcaklığı) 2300°C olup, K.S (kaynama sıcaklığı) 4000°C'dir. C - Si element gruplarına denkliği maksimum ve O (oksijen)'e karşı afinitesi maksimum olabilen element çeşididir. Proton sayısı 5, atomik ağırlık 10,81 olan B'un kendine özgü toz halindeki rengi koyu kahverengi ve çok gevrek; sert yapılı monoklinik kristal halinin rengi ise sarımsı kahverengine sahiptir. Kristal haldeki elementel borun üretilmesi için sıcaklık ve yüksek basınç gereklidir. Kristal bor, amorf bordan sertlik ve kırılgenlik gibi fiziksel özellikleri bakımından daha çok tercih edilebilir karaktere sahip olmuştur [3].

1.2.4 Bor Elementinin Kristal Yapısı

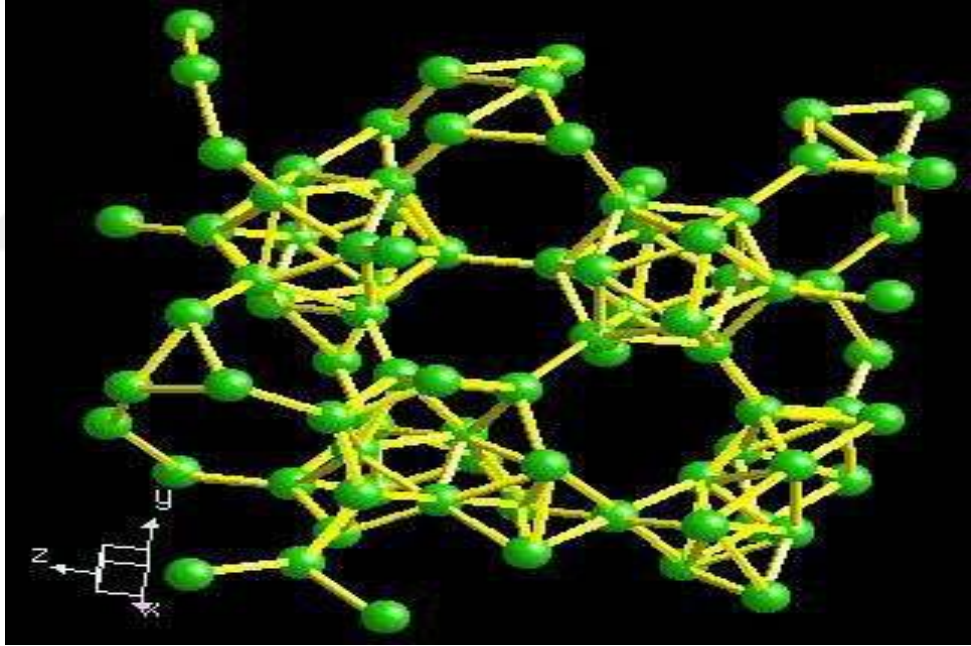
Elementin en son katmanında 3 elektron bulunduğundan dolayı 3 bağ oluşturma özelliğine sahiptir. Borun kristal yapısındaki birim hücrelerinde 12 adet B atomunu yer almaktadır. 12 adet B atomu içeren kısımların birbirine farklı bir şekilde bağlanması ile 3 tane birbirinden değişik kristal yapı oluşması sağlanır [4].

Oluşan kristal yapılar;

1. Alfa-rombohedral

2. Beta-rombohedral

3. Tetragonal



Şekil 1.1. B Elementin kristal yapısı [4].

1.2.5. Bor Elementinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Oda koşullar içerisinde B (bor), kararlı bir yapıya sahip ve 800°C üstü sıcaklık oranlarında yükseltgenme yapılarak çeşitli oksit içerikleri oluşturmaktadır. Sulu ortam içerisinde çözünemeyen bor, kaynatıldığı zaman oksit içeriklerine çok az bir şekilde dönüşüm sağlayarak yavaş yavaş çözünürler. Borlar, nitrik asitlerinin haricinde mineral

asit içeriklerine karşıda oldukça dayanıklılık göstermektedir. Bor oksit içerikleri veya elementel bor, birçok karbonlu bileşikleri ile kömür tozu olarak havasız ortam içerisinde 1250°C-1600°C aralığındaki yüksek sıcaklıklarda işlemlere tutulduğunda bor karbürlerine dönüştürülür. Elmaştan sonra bilinmiş olan en sert malzeme içeriğine sahip elementtir. Kübik kristal yapıya sahip bor nitrür oluşumu için sıcaklık ve basınç yüksek bir şekilde ilave edilmesi gerekmektedir.

B (bor) yanıcı olup, tutuşturulma derecesi oldukça yüksektir. Farklı bir şekilde yanma sonucu aktarılabilecek katı ürün vermesi ve çevreyi kirletecek emisyonun açığa çıkarmaması gibi bir özelliğe sahip olmasından dolayı katı yakıt hücresi olarak da günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır[5].

1.2.6 Bor Mineralleri

1.3. Ticari önemi olan bor mineralleri

Tablo 1.1 Ticari değeri olan bor mineralleri [6].

Mineraller	B ₂ O ₃ (%)	Üretildiği Yer
Kernit(Razorit)	51.0	Kırka- A.B.D- Arjantin
Boraks(Tinkal)	36.6	Kırka- Emet- Bigadiç- A.B.D
Pandermit	49.8	Sultançayır- Bigadiç
Borasit	62.2	Almanya
Propertit	49.6	Kestelek- Emet- A.B.D
Kolemanit	50.8	Emet- Bigadiç- A.B.D
Üleksit	43.0	Bigadiç,Kırka,Emet,Arjantin

1.3.1. Boraks (Tinkal)

Doğada genel olarak rengi olmayıp ve saydam olarak bulunmaktadır. İçerisinde ki bazı elementler nedeni ile sarımsı, pembe ve grimsi renkte bulunmaktadırlar. Sertlik oranları 2- 2.5, özgül ağırlık oranları ise 1.7 g/cm^3 . B_2O_3 içerikleri % 36.5 civarındadır. Tinkalkonite dönüşme tinkal su oranlarının gitgide düşerek kolay bir şekilde dönüşüm sağlanır. Kille birlikte ara katkı maddesi olarak tinkalkonit, üleksit ile birlikte bulunurlar. Ülkemiz sınırları içerisinde Eskişehir-Kırka yataklarında üretimi sağlanmaktadır[6] .

1.3.2. Kolemanit

Kristalleşme Monoklinik sistemde sağlanır. Sertlik değerleri 4-4.5 özgül ağırlıkları ise 2.42 g/cm^3 'dir. B_2O_3 içerikleri ise; %50.8'dir. Su içerisinde yavaş çözünüp, HCl asitte hızlı bir şekilde çözünmektedir. Borun bileşikleri arasında yaygın olarak kullanılır durumundadır. Türkiye sınırları içerisinde Bigadiç'te ve Kestelek'te , Avrupa sınırları içerisinde Amerika Birleşik Devletlerin'de bulunmaktadır [6].

1.3.3. Üleksit

Doğada sütun ve lifsi şeklinde bulunmaktadır. Saf olanı, beyaz rengi tonlarında olmaktadır. İpek parlaklığında olan türleri de bulunmaktadır. Genel olarak probertit ve kolemanit, hidroboraksitle birlikte yer almıştır. Türkiye'de Bigadiç, Kırka ve Emet; bölge sınırlarında, dünya piyasasında ise Arjantin sınırlarında üretilmektedir. B_2O_3 içerikleri % 43 civarındadır[6].

1.3.4. Probertit

İşinsal ve lifsi şekilli kristaller şeklinde bulunmaktadırlar. Açık sarımsı Kirli beyaz, renklerde olup kristal boyutu 5mm-5cm aralığında değişmektedir. Kestelek bölgesinde üleksit minerali ikincil mineraller şeklinde gözlenmektedir. Ancak Emet bölgesinde tekdüze tabaka şeklinde birincil ve Doğanlar, İğdeköy civarında, tabakası kalın olarak oluşmaktadır. B_2O_3 bileşimleri ise % 49,6'dır[6].

1.3.5. Kernit (Razorit)

İğne şeklinde küme kristaller halinde bulunur. Tabiatta renksiz ve saydam, sertliği 3, özgül ağırlığı ise 1.95 gr/cm^3 'dür. Az çözünme durumu ise; soğuk sudan dolaydır. Türkiye'de Kırka yataklarında sodyumborata katısının alt kısımlarındadır. Dünyada ise genellikle Arjantin'de ve ABD'de bulunmaktadır. B_2O_3 içeriği %51'dir [6].

1.3.6. Hidroborasit

Doku özelliği liflidir. Bazen beyaz renkli olup, bazen de içerisinde bulunan safsızlık değerlerine bağlı olarak kırmızımsı ya da sarı renkte üleksit, kolemanit, probertit ile birlikte bulunur. Bir merkezden ışınsal ve iğne şeklindeki kristallerin rastgele yönelmiş ve birbirini kesen kümeler şeklinde bulunur. Türkiye'de en çok Emet, Doğanlar, İğdeköy yörelerinde ve Kestelek'te oluşmaktadır. B_2O_3 içeriği % 50.5'tir [6].

1.3.7. Pandemit

B_2O_3 içeriği ise % 49.8'dir. Ülkemizde Sultancayırı ve Bigadiç yataklarında gözlenmektedir. Beyaz renkte ve yekpare olarak bulunmakta olup, kireç taşına benzemektedir [6].

1.4 Borun Kullanım Alanları

1.4.1. Cam Endüstrisinde Kullanımı

Dünya genelinde bor kullanımının % 42'si cam endüstrisindedir. Boratların ana kullanım alanı cam endüstrisidir. Bor oksit; borosilikat camlar ve yalıtımlı camların elyafında değerli bir bileşiği haline gelmiştir. Cam sanayisinde borlu bileşiklerin ana tüketim yeri haline gelmişlerdir. Konteyner camlar, düz camlar gibi benzer çeşitli ürünlerde düşük miktarlarda da olsa borlu bileşik bulunmaktadır. Susuz boraks, bor oksit, borlu bileşiklerini borik asitleri gibi ya da kolemanite benzer mineraller şekli gibi cama katılmaktadır. Borlu oksitler, yüksek güçlü cam elde edici olarak da kullanılmaktadır. Farklı ifadelerle tanımlanacak olursa kristallenmeyi önlemektedir. Isıl şoklara karşı dayanımı yüksek olup, genleşmeleri ise düşüktür [7].

1.4.2. Yalıtım cam elyafı

Yalıtım cam elyafı, lifli şekilde üretildiği gibi, düz camların bileşimi ile aynı bileşimde bulunmaktadır. Cam ergimesi için bor oksit veya borik asit kaynakları katılmaktadır. Cam harmanları, fırın içerisinde 1450°C de ergitilir ve paslanmaz çeliklerin büküm makinelerinden geçirilmektedir. Borikli asitler, camsı yapıcı özelliğine sahiptir. Lifleşmeye yardımcı olduğu gibi eriyiğin viskozitesini düşürmektedir. Yalıtımlı camların elyafının üretimlerinde borlu bileşikler olarak boraks pentahidrat günümüzde hala aktif bir şekilde kullanılmaktadır. Uygulama alanları bakımından inşaat endüstrisinde, yalıtım cam elyaflarında gibi birçok alanda uygulanır. Kazan, ses yalıtım ve otomobiller sektöründe kullanılmaktadır.[8].

1.4.3. Borosilikat

Borosilikatlar cam içerisine borlu bileşik eklenmesi ile üretimi başlamaktadır. Borik asitler camların kimyasal özelliği olan ısıl genleşme katsayısını indirme özelliğine sahiptir. Bundan dolayı borların ısılarla karşı dirençleri arttırılır. Borlu bileşikler asitlere karşı dayanıklılığı ve çizilmeyi artırır. Renk yansımaları gerçekleşir. Kimyasal maddelere karşı dayanımlarını yükseltmektedirler. Camlar türüne göre borlu oksitlenmiş içeriği % 0,5–23 aralığında değişmektedir. Pyrex camın içerisinde Corning firması % 13,5 bor oksit kullanmaktadır. Bu tip camların kullanım alanları hızla ısıtılmakta/dondurulmakta özellikteki tava, kahve pişiricilerin bünyesinde ve laboratuvar camlarının yapımında kullanılmaktadır [9].

Borosilikat camlar bazı üretimlerde kullanılmaktadır. Bunlar; çamaşır makinasının pencere camı, otomobil farları, endüstriyel cam seramikler, fırınların kaplarında, ısılarla dayanıklı mutfak seramiği elde edilmesinde tercih sebepleri olmuştur. [9].

1.4.4. Tekstil Cam Elyafı

Tekstil sektöründe fiber glassların en değerli özelliklerinde; darbe etkilerine, gerilmelere ve kimyasallara karşı yüksek mukavemet özelliği ve hafifliğidir. Bu özelliklerinden dolayı tekstil cam elyafı kompozit olarak ya da plastik olarak da kuvvetlendirici amacıyla kullanılmaktadır. Kolemanit minerali alkali içermezler ve bu özelliği nedeniyle düşük alkali borosilikat cam (E-glass) üretiminde tercih sebebi olmuştur.

Gelişmiş E-glass %6–10 oranlarında B₂O₃ içermektedir. Bor oksitler, camlara kararlılık özellikleri vermektedir. Maddi olarak pahalı olduklarından dolayı borik asitler sodyum içermeyen kolemanit mineralinin kullanımı tercih edilmesi daha faydalı olmuştur. Düşük orandaki alkali, camın ergimesini zorlaştırmaktadır. Bor oksit içerikli cam çeşidinin ergimesini kolaylaştırmaktadır. Kolemanit mineralleri harmanlara katkı sağlaman amacıyla CaO ilavesi yapılmaktadır.

Bunda dolayı kireç içerikleri için daha az gereksinime ihtiyaç duyulur. E-glassın kullanım alanları bot, uçak, otomobil gibi sanayilerde tercih sebebi olmuşlardır. E-glasslar kimyasal, mekaniksel ve elektriksel özellikleri belirli bir dengeye sahip olmuştur. Bundan dolayı E-glass kompozitlerde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Dielektrik özelliği düşük olduğundan dolayı radar tarafından algılanamayan yüksek gerilim cam malzemeleri gizlilik açısından çok değerli malzeme durumunda olmuştur[10].

1.5. Seramik Endüstrisinde Kullanım

Bor minerallerinin seramik sanayi sektöründe ürünleri genellikle seramik sır ve porselen emayelerin üretiminde frit aşamalarında kullanılmıştır[11] .

1.5.1. Sır ve Emaye

Emayeye sır hammaddeleri pişirme sıcaklığında erimeli ve cam oluşturmalıdır. Sır ve emayeler, sabitlenmiş altlık tabakalar üzerinde ergimiş çok ince bir cam kaplamalardır. Boratlar cam yapıcı özelliğine sahiptirler. Bu yüzden dolayı kristallenmeyi önlemektedir. Borat maddesinin ergime noktası yaklaşık olarak 741°C'dir. Erime sıcaklık değeri silikadan düşük olduğundan düşük sıcaklıkta cam yapılabilir. Böylelikle az miktar bor katkısı ile düşük sıcaklıkta cam oluşumunu sağlarlar. Borosilikat camlar kimyasal şoklara karşı dayanıklıdır. Bu yüzden dolayı yüksek sıcaklık seramiklerinde değerlidir. Az bir miktar bor katkısı, eriyiğin viskozitesini azaltırken akıcılığını artırmayı sağlar.

1.5.2. Seramik Sırları

Boratlar genel olarak kullanımı sır yüzeylerinin kırınım indislerini arttırmaktadır. Sır parlaklıklarını artırarak sırların viskozite değerlerini ve yüzeydeki gerilimleri düşürmeyi

amaçlarlar. Sırların olgunlaşmalarını hızlandırırlar. Yüzeylerin düzgün olmasını sağlarlar. Borat olarak ilave yapılarak mekaniksel dayanım ve çizilme dayanımını artırmaktadır. Su şoklarına ve kimyasal bileşimlerine dirençlik sağlarlar. [13]

Borat minerallerin sırlarda kullanımları sudaki çözünürlüğüne bağlı bir durumdur. Sularda çözünmekte olan borat minerallerinin sır hammaddesi olarak kullanılması durumunda bu mineraller fritleştirilmektedirler. Fritleştirme işlemleri, sırlı hammaddelerin ergitilerek su içerisinde çözümü sağlanamayan kimyasal anlamda pasif olabilen camlara dönüşmesi olaylarıdır. Duvar ve yer seramik sektörlerinde fazla miktarlarda fritler tercih edilmektedir. Sıcaklık değerli düşük sırında boraks ve borik asit suda eriyen özellikte olduğundan dolayı frit olarak kullanılmaktadır.

Yüksek sıcaklıktaki sırlarda hammadde, frit elde edilmeden kullanılarak suda çözünemeyen mineraller ya da oksitler tercih edilmektedir. Kolemanitler, B_2O_3 kaynağı olup suda çözünmezler, ayrıca da bazı sırlarda çok popüler hale gelmişirler[13].

1.5.3. Emaye

Emayeler, genellikle metallerin kaplanmasında kullanılmıştır. Metal malzemelerin emaye şeklinde kaplanabilmesi alt takabaları tamamen inert yapmayı sağlamaktadır. Yüksek ısılara karşı dirençli kılmaktadır. Dekoratif olarak görünümü sağlamaktadır. Silika, soda ve boraksile emaye friti oluştururlar. Gelişmiş frit yaklaşık olarak %25 borlu oksitler içermektedir. Asidik borik ilavesi sonucu sırların daha minimum sıcaklıklarda alttaki tabakaların yapışmasını ve kaplanmasını sağlarlar. Emaye fritleri, metallerin değişik bir kaplama uygulama alanlarıdır. Emayeli fritlerin hammaddede harmanın ergitilmesiyle yapılmaktadır. Burada elde edilen cam ürünündeki hammaddeler kuvars, feldspat ve borakstır. Emaye friti püskürtme, daldırma veya elektrostatik püskürtme yöntemi ile uygulanırlar. Bor oksit, boraks, boraks dekahidrat veya boraks pentahidrat olarak hammadde içerisine %17-32 B_2O_3 ilave edilir. Bazı durumlarda bor oksit susuz boraks veya borik asit olarak katılır [13].

1.6. Temizleme ve Beyazlatmada Kullanım

Deterjanlar gelişmiş günümüzde birçok kimyasallardan meydana gelmektedir. Yüze aktif maddeler daima yüzey gerilimleri düşürmektedir. Kumaşlar ıslanmalarını sağlarlar, ayrıyeten de yap ve kirlerden uzaklaştırırlar. Ağartıcılar, oksidasyonlar ile madde içerisinde bulunan lekeleri uzaklaştırırlar. Ağartmalarda aktivatör olarak kullanılan TEAD maddesi de Na tuzu, düşük sıcaklık değerlerinde ağartılma verimlerini artırmak için kullanılmaktadır. Dünya piyasasındaki deterjan üretimleri O (oksijen) bazlı sodyum perborat ve sodyum hipoklorit olara 2 ana ağartıcı olarak kullanılırlar. Avrupa piyasasında sodyum perboratlar ağartıcı deterjanlar, ABD’de ise hipoklorit ağartıcı deterjan ile üretim sağlanmaktadır [14].

1.6.1 Sodyum Perborat ve Sodyum Hipoklorit Ağartıcıların Karşılaştırması.

Tablo 1.2 Sodyum perborat ve sodyum hipoklorit ağartıcıların karşılaştırması [15] .

	Sodyum Perborat	Sodyum Hipoklorit
Etken olan madde	O	O
Etken madde	40 °C de ki etkinliği Düşüktür.	40 °C de ki etkinliği Yüksektir.
Kumaşlara etkileri	Kumaşa çok Az zarar vermektedir	Kumaşa çok fazla Zarar vermektedir.
Renklere etkileri	Renklere az zarar verirler.	Renklere fazla zarar verirler.
Çevrelere etkileri	Çevreye çok az Zararlıdırlar.	Çevreye Çok fazla Zararlıdırlar.

Bileşiği ağartmak gibi özellik gösterebilen sodyum perborat; boraks ve hidrojen peroksitin birlikte tepkimesi sonucunda katı, beyaz, kararlı olan bileşikler B(bor)'dur. Ağartıcı olarak kullanılan maddeler renkli toz ve sıvı deterjanlar içerisinde kullanılmazlar. Klasik olarak kullanılan toz deterjan içeriğinde %10-25 sodyum perborat tetrahidrat bulunmaktadır. Tetrahidratın dehidrasyonu ile üretim yapılan sodyum perborat monohidrat %15,5 aktifleşen O içermektedir. Sodyum perborat monohidrat ieriğinde%10–20 kompakt formülasyonu halinde bulunur. Őuan 60°C'deki yıkama sıcaklığı, 40°C'nin altına düşmektedir. Bu durumlarda dikkat çekici etken ise polyester ve sentetik elyafların kullanımının artmış olmasıdır.

Günümüzde ağartıcıların aktivatörlerinin girişi, perborat ağartıcıların düşük sıcaklık seviyelerinde kullanımını olanaklı kılmışlardır. Yıkama sıcaklığı daha düşük olanlar ise perboratın kullanılan tipini belirlememizi sağlarlar. Monohidrat yapısından daha az Sodyum perborat tetrahidrat, znrlenir. znmez nedeniyle ağartılma amacı yeteceği kadar seri değildir. Deterjan üreticiler bu sebeplerden dolayı monohidratları daha pahalı olmasına rağmen tetrahidratlara göre tercih ederler. Aktif oksijeni perboratlar taşımaktadırlar. Deterjan retiminde perboratlar, tetrahidratların kullanıldığı kadar kullanmaya başlamışlardır. Monohidratlar, tetrahidratlara göre soğuk su içerisinde daha fazla çözünmektedirler[15].

Dünya pazarında deterjan içerisinde klor bazlı ağartıcı maddeler kullanılmasından dolayı bazı çevresel baskılar artmıştır. Beyaz amaşır deterjan üretimlerinde kullanılan, perborat bazlı ağartıcılara istekler artmıştır.

1.7. İnşaat ve imento Sanayinde Kullanım

Türkiye'de üretilmekte olan perlit yapı içeriğinin %80 inşaat alanında ses, ısı yalıtım malzemeleri amacıyla kullanılmıştır. Bazı ısısız iletken değerlerinin minime olmasıyla işlenme, kullanabilme ve hafiflik gibi kolaylığı, sıcaklık dayanımı, asit ve bazlara dayanıklılığı, bakterileri bulundurmaması sayesinde önemli avantajı, perlitin inşaat alanında çok fazla kullanılmasına olanak sağlamıştır. [16].

1.7.1. İnşaat Endüstrisinde Isı ve Ses Yalıtım Amaçlı Uygulamaları

Genleşme görmüş olan perlitik yapı ses ve ısı yalıtımını sağlamak amacı ile serbest olarak duvarlarda, döşemelerde kullanılabilir. Birçok uygulamalar sayesinde çift cidarlı duvarların iki cidarı arasına serbest bir şekilde genişleştirilmiş perlit ile dolum yapılmaktadır. Ayrıca şekillendirilmiş izolasyon malzemelerinin kullanım alanları; perlitik hafif yapı elemanları, boru izolasyonu, tavan kiremitleri alanında tercih edilmektedir [16].

1.7.2. Borun Çimento Endüstrisinde Kullanımı

Borlu çimentoların; hidrasyon ısısı düşük, düşük su emmesi oranı, Cl ya da diğer kimyasal elementlere karşı pasif betonların elde edilebilmesi ve daha düşük büzülme oranına sahip olması gibi performans özelliği sebebiyle birçok uygulamaları yerler de bulunmaktadır.

Potansiyel kullanım yönleri bakımından ise; Baraj savakları, HES baraj inşaatlarında kütle betonu olarak, beton yollarda özellikle silindire sıkıştırılmış betonlar, viyadük, rıhtım, sahil betonları, endüstriyel zemin betonları, petrol kuyuları, Nükleer santraller (radyasyon kalkanı olarak).

Özellikle bor tipi çimentolar "beton yol", "baraj" yapımında kullanılmaktadır. Bor tipi çimento betonların ve yol yapımlarında kullanılabilirliği ve yol performansına etkisini araştırmak amacıyla Karadeniz Bölgesinde 1000 metresi olmak üzere beton yol yapımında ise 1600 metre bor tipi çimentolar kullanılarak devam edilmiştir [16].

1.8. Yanmayı Önleyici/Geçiktirici Malzeme Olarak Kullanımı

Borat mineraller yanma reaksiyonlarını geciktirdiklerinden dolayı, cam elyafı olarak tekstillerin elde edilmesinde kullanılmaktadırlar. Tutuşma işleminin ve alev yayılmalarını alev geciktiriciler engellemektedir. Borik ile çinko oksitlerinin reaksiyonu sonucu elde edilen çinkoborat, bileşiği olan bir bor türüdür. Çinkoboratin, alev geciktirici olarak alümina hidratlar tercih edilmektedir. Kömür halinde halojen vermeyen malzemeler üretimleri sırasında iki malzeme yanarak sağlayabilirler. Yanma gibi kimyasal olaylarında çok düşük seviyede duman ve toksit içermektedirler. Malzemelerin alev alma derecelerini azaltabilmek için kullanılan malzemeler ile alev

geciktirici olarak kullanılan malzemelerin ilavesiyle gerçekleşmektedir. Boratlar, değişik malzemelerde ancak değişik şekiller de alevlerin geciktirilmesinde de kullanılmaktadırlar. Bor içerikli malzemeler ergitilerek malzemelerin üzerlerini kaplarlar ve O(oksijen) ile alevlerin temaslarını sonlandırarak alev almayı önlemiş olurlar. Plastik malzemelerin üretilmesinde çinko boratlar tercih edilirler. Borik asit, boraks dekahidrat ve pentahidrat gibi çözünen boratlar selülozik malzemelerde işlenerek Çinko boratlar şeklinde tercih edilirler [17].

Sonuç aşamasında sektördeki yeri, halojen içermemiş çinko boratlar, alüminyum hidroksit ya da magnezyum hidroksit gibi alev geciktiriciler ile ilgilenmektedirler. Çinko borat çeşitleri, hidroksit ile reaksiyona giren alüminyum ve magnezyum dolgulu PVA'yla birlikte çalışabilen alev geciktirici türüdür. [17].

1.9. Nükleer Uygulamalarda Kullanım

1.9.1. Atom Reaktörlerinde

Paslanmaz bor tipi çelik, nötron soğurucu olarak tercih edilmektedirler. Bor tipi çubuklar daha hızlı ve düzenli yanarlar. Borlar büyük bir oranda nötronların soğurulma işleminin gerekli olduğu tercihlerde kullanılır. Esas anlamda koruyucu bir özelliğe sahiptir. Borlu çelikler, bor karbürler, titan-bor alaşım grupları ya da boral reaktörde nötron akımları içinde kullanılmaktadırlar. B 10 izotopu, bora kıyasla on kat daha fazla kesitleri soğurma özelliğine sahip olduğundan dolayı tercihen kullanılır. B11 izotopları, B10'lara göre tam tersi olarak, aktif elemanlarının korunması ve reaktörlerin kaplanabilmesinde tercih sebebi haline gelmişlerdir.[18].

Atomların soğutma havuzlarında reaktör kontrol sistemleri ve reaktörün alarm ile kapatılmasında bor kullanılır. [18].

1.9.2. Nötron Absorpsiyonunda

Borlar, atom ağırlıklarının ve yoğunluklarının minimum durum nedeniyle tercih sebebi olmuştur. Kadmiyumlara kıyasla 3 kat daha avantajlıdır. 2300°C yüksek ergime sıcaklığı ve reaktör yöntemlerinde kimyasal dirençlik avantajlı durum haline gelmiştir. Sonucu istenmeyecek olan nötron bombardımanları, radyoaktif bileşimler oluşturamazlar. Borların minimum gama radyasyonu vardır. Kadmiyumlarda ise nötron

bombardımanından sonra 6 MeV şiddetlerinden sonra dayanıklı olmayan 4 izotop vererek gama ışınlarını yayarlar. Kontrol işlemlerinde yapılan aşamalar 100.000 kW'lık reaktörlerde 50 kilogram B yeterli olmaktadır. Bor içerikli asitler denemeler sırasında Norveç'in Boiling Water reaktörüyle boğularak sürdürülebilirliğini bir anda tamamen durdurulabilmiştir [18].

Tercih edilen çubuklar kontrol işlemlerinden dolayı kullandıkları için; çelik ve alaşımları yüksek dayanımlı olarak tercih edilmişlerdir. Kullanılan alaşım elementleri kadmiyum, hafniyum, bor olarak yer almaktadırlar. Borun atomsal çekirdekleri, nötron döngülerine karşı oldukça duyarlıdır. Yutulma özellikleri çok fazla olduğundan dolayı, nükleer santralde özellikle kontrol malzemeleri olarak tercih edilmektedirler [18].

B10 kimyasalları, nötronları absorbe işlemi yapılarak gazlar olan "He ya da Li" yayınlamaktadır. B11 ya da C12 atomları nötron yönetici amaçlı iş görmektedir. Bor karbür; bor içerikli karbürden yapılmış olan boru çeşitleri, atom reaktörlerinde emniyet çubuğu amacı ile tercih edilmektedir. Borlu karbürler, sertlik oranlarını radyoaktif ışın etkisiyle yok etmektedir. Parçalanıp uflanma gösterirler. Aynı zamanda %36'ı kadarı ile zayıf vermektedir. Atomların reaktöründe bor nitrür kullanılması halinde ortaya çıkan Li, malzeme içinde kalmakta, (Helyum) soğutma görevi yapan (Sodyum) etkisiyle etkisiz duruma getirilebilirler. Emniyet gazları olarak reaktörde bu gazlar tercih edilmektedir. Bir diğer avantaj ise donanım elemanların ucuz olmasıdır [18].

1.9.3. Nötron İzolatörü Olarak Kullanılması

Borallar; % 35 Bor karbürden ve % 65 Alüminyum' dan yapılmış nötron büyük kesitli malzeme grubudur. Bu çeşit malzeme grubundan gerçekleşen 6.4 milimetre kalınlıktaki levhalar, beton plaklar 640 mm kalınlığında olup izolasyon gücüne sahiptir. Malzemenin üretimi için, B₄C tozu, yeteri kadar alüminyum ile mikser yapıp grafit potalar içerisinde 670°C'de ergitilir. Üretilmiş olan alaşım ile 3 mm kalınlığındaki alüminyum levhalar arasında 600 °C'de haddeleme işlemi yapılır ve plaklar elde edilip kalınlığı ise çok incedir. Tavlama işlemlerine gerek duyulmaz. Plak yükleri çok azdır. Bundan dolayı hem sabit, hem de gemi vs. reaktörlerinde kullanılır. Bor, kesinlikle kolay kesilmekte, delinmekte, vida açılmakta fakat zor kaynak edilebilmektedir. Borallar, genellikle araştırma reaktörlerinde tercihen kullanılır. Yüksek ve güçlü sanayi

rektörlerinde ortaya çıkan sıcaklık çok fazla olduğundan, boraks ile kullanılan alüminyum elementi amaca uygun cevap verememektedir. Boroksit ve alüminyum ile yapılan “Boroksal”, boralla aynı özelliktedir ve onun yerine kullanılır. Diğerlerine göre daha ucuzdur, fakat çok daha az bor atomu içerir[18] . Elektrik direkleriyle iletim hattının, direk arasındaki yalıtkanlık görevini sağlayan malzeme grubudur. Borallar genellikle camdan ya da porselenden yapılmaktadır [18].

1.9.4. Borlu Paslanmaz Çelik

İzolasyon amacıyla kullanılmakta olan %1’lik borlu çeliğin, normal haldeki paslanmaz çeliklere göre on beş kat daha fazla nötron absorpsiyon yüzeyine sahiptir. 300°C’ de suya çok dayanıklıdır (Cr-Ni çeliği benzeridir). Benzer çelik türleri uygulanarak reaktörler inşasında maliyet maksimum oranda azalma sağlanır. Normal çelik, ferroborla birlikte indüksiyon fırınlarında eritilerek borlu çelikler üretilir. Haddeye ve dövmeğe uygundur. Kaynağa çok uygun değildir. Bu nedenle daha çok perçin yapımında tercih edilir [18].

1.9.5. Nötron Odaları

B10 izotop atomları, borların kendi içerisinde çok büyük absorpsiyon değerine sahiptir. Özellikler arasındaki seviyede radyasyonik izolator olarak kullanımı olmayıp, <<”bor odalarında”>>gerçekleştiği gibi, <<“nötron odaları”>> üretiminde ayrı bir şekilde kullanılır. İyonizasyon odalarındaki iç yüz, borlu ya da bor içeren malzemelerle kaplanabilmekte ya da oda, B–florürle doldurulmaktadır. Bu amaçla kullanılacak Bor florürü, Si – tetra florürden temizlemek gerekir. B – florürler ise sular organik maddelerin etkilerine yönelik dayanaksız olduğundan dolayı, odaları cam - metal konstrüksiyonla takviye gerekir [18].

1.9.6. Borlu Reaktör Grafiti

Reaktördeki moderatörün grafit bor içerikleri, maksimum olarak %0,00002 olmak zorundadır. Asıl olan grafit içerisinde eser olarak bulunan bor ve B10 proton sayıları aynı, nötron sayıları farklı olan izotopları, grafit ile beraber güçlü nötron absorblayıcıdır. Bor içeriğini normal şartlarda bu seviyelerde kalabilmesi için [18].

1.9.7. Enerjide Kullanım

Çalışmalar bilimsel boyutta olup; B (bor) ve B (bor) bileşiklerini, hidrojen depolayıp üretimde kullanılan enerji deposu fonksiyonu göstermektedir. Bundan dolayı borların, H ve yakıt pilleri teknolojilerindeki değeri gitgide artmaktadır. H, bor içerikli sodyum bor hidrürlerden zararlı yan ürünü hiçbir şekilde oluşturmaksızın üretimi yapılmaktadır. Ayrıca da sodyum bor hidrürler potansiyel yakıt konumunda olarak yakıt pillerinde tercih edilmektedir. Ayrıca da element olarak da borlar kullanılmaktadır. Yanabilirlik seviyesi yüksek olduğundan dolayı, direkt olarak araçlarda motor yakıtı ya da katkısız madde olarak da enerji sektöründe tercih sebebi haline gelmiştir. [18].

1.9.8. Borun Hidrojen Üretimi ve Depolanmasında Kullanımı

Hidrojen adsorbe edebilen yapılarında bor bulunduran ve birçok maddeler içeriğinde olmasına rağmen açığa çıkarıp, borlu bileşik olan bor hidrürler söz sahibi gibi yetkili bir duruma gelmiştir. Bu çeşit kimyasalların içerisinde sodyum bor hidrür en değerlisidir [19].

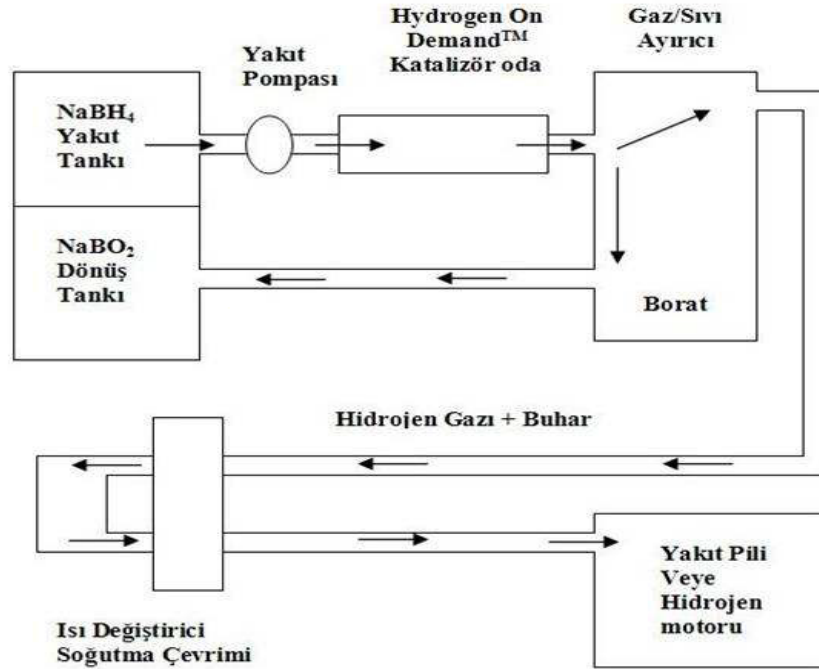
Sodyum borhidrür, Millennium Cell firması tarafından geliştirilen “Hydrogen on Demand (İhtiyac anında hidrojen)” tekniğiyle ticari anlamda kaliteyi arttırmıştır. Teknikte, sodyum bor hidrür, suyla beraber oda sıcaklığında reaksiyona yüksek basınç olmaksızın girmekte ve H elde edilmesidir. Tepkimeler, kontrol edilebilir bir ısı salmakta ve zararlı yan ürün ortaya çıkarmamaktadır [19].

Yan ürün olan sodyum metaborat atılmak veya yeniden kazanım için kullanılmış yakıt sahasına gönderilir. Üretilen hidrojen gazı direk olarak sodyum borhidrürün reaktöre pompalanma hızı ile bağlantılıdır [19]. Hidrojen üretim hızı kullanılan katalizör miktarı ile de orantılıdır. “Hydrogen on Demand” sisteminin avantajları şunlardır:

- Bu yöntemle hidrojen üretimi diğer kimyasal yöntemlere göre daha güvenli, kolay ve kontrol edilebilir özelliğe sahiptir.
- Hacimsel ve kütleli olarak depolanabilecek hidrojen miktarı yüksektir.
- Sodyum borhidrür çözeltisi yanıcı-patlayıcı değildir.
- Hidrojen üretimi sadece katalizör varsa yapılır.

- Hidrojen üretim hızı kontrol edilebilir.
- Gaz halindeki yan ürün sadece su buharıdır.
- Reaksiyon ürünleri çevre için zararsızdır
- Katalizör ve sodyum metaborat tekrar kullanılır.

“Hydrogen on Demand” sisteminin farklı bir çeşit avantajları vardır. Sistem ile ilgili birçok problemler mevcuttur. Kullanım için gerekli katalizörler oldukça pahalıdır. Sodyum borhidrürün kendisi de pahalı olup sistemin ekonomik olabilmesi sodyum borhidrür üretim maliyetinin düşmesine bağlıdır [19]. 1 mol sodyum borhidrür üretmek için 4 mol sodyum metale ihtiyacı duyulması üretimi etkileyen ana faktördür [19]. Şu an için, yakıt pili ile çalışan bir arabada sodyum borhidrür maliyeti benzin maliyetinin 40 katıdır [19].



Şekil 1.2 Hydrogen on Demand™ sistemiyle hidrojen üretimi [19]

Hem bilimde, hem de teknoloji çevresinde yapılan petrol türevleri, metal hidrür, metanol likid hale getirilmekte yada sıkıştırılmış depolanmış hidrojenlerin; yakıt

ağırlıkları, güç-kontrol, güvenlik, çevre ve maliyet açısından borlu hidrürler ile yapılan bir karşılaştırmada; bor hidrürün başka enerji kaynaklarına harika bir üstün özellik sağladığı farkına varılmıştır. Kısa olarak borlu hidrürler başka enerji kaynaklarına ve H (hidrojen) elde edilmesinde ve depolanması prosedürü karşısında alternatifsiz bir durumda bulunmaktadır.

Sodyumlu borhidrürler içerisinde kiH (hidrojen) elektrokimyasal yollarla elektrik enerji dönüşümü gerçekleştikten sonra ortaya çıkmış sodyum meta borat tekrar işlenip sodyum bor hidrüre dönüşmektedir. Bilim ve teknoloji alanları bir yandan borhidrürün petrol ve türevleri yerine kullanımının bir çok avantajı olduğunu petrole dayalı dağıtım ve pazarlama sisteminin ve alt yapısının borhidrür kullanımına, keza dağıtım ve pazarlamasına uygun olduğu, alt yapıda herhangi bir değişiklik yapmanın gereksiz olduğunu vurgularlarken, bor hidrür ve bundan hidrojen üretim maliyetlerinin petrol türevleriyle rahatlıkla rekabet edebileceğini ifade etmektedirler. [19].

1.9.9. Borun Yakıt Pili Yakıtı Olarak Kullanımı

Yakıt olarak sodyum bor hidrürleri kullanmakta olan Direct Borohydride Fuel Cell, olan Doğrudan bor hidrürlü yakıt pili geliştirilmiştir [20]. Sodyumlar doğrudan olarak bor hidrürlü yakıt pillerinde, H (hidrojen) üretimdeki ara kademeleri olmadan elektrik üretilmektedir. H (hidrojen)depolama ve üretim bölümleri olmaksızın doğrudan sodyum borhidrür yakıt olarak kullanılmaktadır. Doğrudan sodyum, borhidrürlü yakıt pili özellikle güç gereksinimi düşük olan radyo, telefon, el süpürgesi, küçük televizyon, vb ve askeri, seyyar telsiz, telefon, elektronik harp cihazları, personel ısıtma, insansız araçlar, sensör, vb. uygulamalarda öneme sahiptir [20].

1.9.10. Borun Motor Yakıtı Olarak Kullanımı

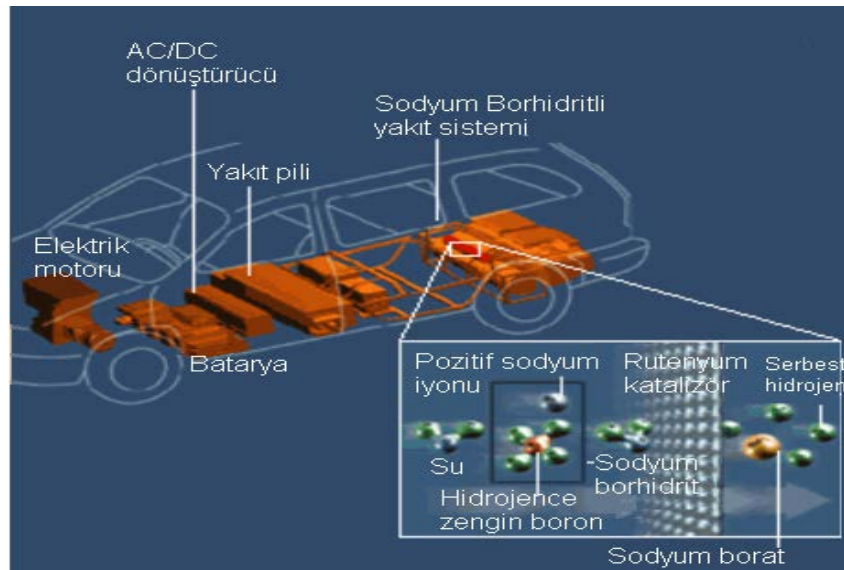
Enerji kaynakları olarakta kullanılabilen H (hidrojen)'ler, yandığı zaman hiçbir şekilde kirletilmiş yan ürünler vermeyen açığa enerjilerini çıkarmaktadırlar. Hidrojenden daha fazla birim hacim enerji potansiyeline sahiptir. [20]Ortamda ki sıcaklık ya da basıncında depolanabilen, taşınabilen, motorlar içerisinde çok yüksek seviyelerde yanabilme performansı göstermektedir. sıcaklığı ve basıncında depolanıp taşınabilirler, motor içinde yanma performansları yüksektir [20] . Bor metal olarak kullanıldığı zaman diğer çeşitli metallere göre H (Hidrojen) ve petrolerden çok fazla enerji potansiyeli açığa

çıkartır. (Şekil1,3). Borlu mineraller yandığı zamanda, petrolle kıyasla beş defa daha enerji sunar[20].

Motor içerisinde potansiyel kullanımlara sahip bor yakıtlı bor elementinden ibarettir. Motorların içerisinde saf O (oksijen) ile karıştırılmaktadır. Güvenlilik açısından güvenilirdir ve kaza gibi bir durumla karşı karşıya bırakmazlar. Borlu minerallerin enerji yoğunlukları olduğundan çok fazla yüksek değerlere sahiptir [20].

Borların içerisinde yanmakta olan ya da yanma sonucu oluşan atıkların koyulabileceği büyük tankların toplam hacimleri“sıvı hidrokarbon” yakıt tanklarından daha büyük değerlerdir [20]. Bundan dolayı arabalar için oldukça pratik bir yakıt olarak kullanılmaktadır. Borları yakıt olarak kullanabilen araba türleri çevreye olumsuz gaz çıkışı olmayacaktır. Borların yanması sonucu oluşabilen borlu oksit bileşikleri daha sonra tekrardan borlara dönüşebilmek amacıyla depolanma işlemleri yapılmaktadır. Borların tutuşabilme fonksiyonları için saf O (oksijen) gereklidir [20].

Bor yanma haznesine, hazne duvarındaki delikten kontrol edilebilir bir hızda iplik halinde beslenir (Şekil 1.3). İplik hazne içinde sürekli yanar haldeki ateşle karşılaşır ve bor ipliği geldikçe yanma devam eder. Borun yanması saf oksijen ve yüksek basınç ile mümkün olduğundan oksijenin havadan ayrılması gerekir. Saf oksijenin havadan ayrılması sıcak metalik gümüş filtresi kullanılarak yapılır [20].



Şekil 1.3 Bor yakıtlı motor sisteminin temsili şeması [20].

1.9.11. Borun Motor Yakıtı Katkı Maddesi Olarak Kullanımı

Savaş teknolojileri ve insansız araçlarda metal yakıtlar, güç kaynakları olarak potansiyel kullanım alanlarına sahiplerdir [24]. Yakıtları metalik faz olan ve bünyelerinde maksimum seviyede yanma sıcaklığı verebilen metaller içerirler. Roketlerde maksimum seviyede yakıt gücü yakıtın yanma sıcaklık seviyesinin yüksek olması koşulunda gerçekleşir. Bu özelliklerle kendinden en çok bahsettiren aday element borlardır. Borlar metal durumuna gelmiş, katı ya da sıvı yakıtlara katkı maddeleri olarak ilave edilmesiyle sağlanır. Sıvı özellikteki yakıtı ilave edildikten sonra homojenlik özelliği gösteren süspansiyonu sağlayabilmek için jelleştirici gibi madde eklenmesiyle, katı roket yakıtlarında, metal tozu haline getirip oksitleyici ve polimer olamayan yakıtlarla karşılaştırılması gerekmektedir. Borlu mineraller katı olan roket yakıtlarının yanma sıcaklık seviyelerini yükseltip, yanma olaylarında homojenlik göstermektedir [20].

Yakıt olarak kullanılan mineraller borlardır. Borlar 1950 yılından bu yana incelenmekte olup, bazı askeri amaçlı ve ramjet itenekli füzelerde kullanılmıştır[20] 1950 li yıllarda ABD ordusu ZIP, HEF, HERMES, örneklerinde yüksek enerji içeren B (bor) içerebilen yakıt projesi geliştirilmiştir. Böyle önemli olan bilimsel analiz çalışmaları çok önemli ve gizli bilim adamları tarafından yürütülmüştür. “Valkyrie XB-70A” olarak bilinen, bor bazlı yakıt kullanan uzun menzilli bombardıman uçağı üretilmiştir. Bu milyar dolarlık bor tipi yakıt olarak kullanılan projeler 1959 yılında iptaline başvurulmuş ve iptal edilmiştir.[20]. Fransa’daki ‘ONERA’ programları borların yakıt maddesi olarak kullanımlarına yönelik analiz/çalışmalar yapmaktadır. Ve halen günümüzde devam etmektedirler.

Hipersonik özellikteki bu füzeler, bu program ile ramjet itenekli olarak geliştirilmiştir. Bor tipli yakıtlar, ramjete maksimum performanslı bir jet yakıtları olan kerosenden bile daha yüksek özgül darbeyi bu çalışmalar sonucunda kazandırabildiğini göstermiştir. (Şekil1,3). [20].

1.9.12 Metalurji ve Makinede Kullanım

Bor bileşikleri, sıcaklıkları yüksek düzgün, yapışkan, koruyucu ve çapaksız sıvı oluşturma özellikleri nedeniyle demir dışı metal sanayinde koruyucu cüruf oluşturu ve ergitmeyi hızlandırıcı madde olarak kullanılmaktadır.

Flakslama uygulamasında bor, Cu alaşımının ergitilmesinde ve altınların analizlerinde, üretilmesinde, Gaz lehimleme olarak çeliklerin lehim kaynakları yapılması sırasında tercih edilmektedirler..

Çeliklerin sertliğinin ve mukavemetinin artırma işlemleri bor ilavesi ile yapılmaktadır. Çelik malzemelerine 50 ppm seviyelerine kadar bor ihtiva edebilirler. Sertleşebilme kabiliyetleri borlu çeliklerinde oldukça yüksektirler. Paslanmaz çeliklerin içerisine borlar ilave edilmektedir.

Ferrobörler; çelik, dökme demir, sürekli mıknatıslar ve amorf metallerin üretiminde kullanılır. Dünya ferrobör üretiminin % 50'den fazlası çelik endüstrisinde kullanılmaktadır.

Borlama işlemlerinde de bor bileşikleri kullanılmaktadır. Çelik yüzeylerinin sertlikleri borlama ile yapılmaktadır. Borlanmış çelikler, yüksek derecede korozyona ve aşınma direncine sahip olup özellikle hidrolik aletlerin ve bazı petrol-kuyusu delme matkaplarının yüzeylerinin cilalanması gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Otomotiv endüstrisinde sürtünme katsayısını azaltmak ve hareketli aksamaları korumak için, tercihen, borlama işlemlerinden geçmiş malzemeler, tercih edilmektedir.

Nitrür yüzeyin kaplamalarında sürtünme katsayılarını düşürmek nedeniyle bor elementi yaygın olarak kullanılmaktadır. Vakum oranı yüksek ve uygun sıcaklık altında h-BN'ün buharlaştırılarak c-BN film elde edilmesi ile kaplama işlemi gerçekleşmektedir.

Elektro kaplama alanlarında tampon ve temizleyici olarak da bor kimyasalları tercih edilmektedirler. Yatakların gözenliğini ve çukurunu azaltmak için çok az miktarda borik asitler ve flouroboratla tercih edilmektedir. Flouro-borik asitler, kalay-kaplama tellerinin temizlenmesi işlemlerinde % 10 oranlarında tercih edilmektedir.

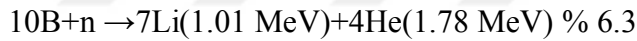
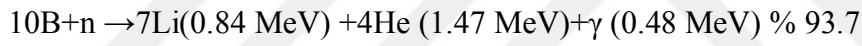
1.9.13 Sağlıkda Kullanım

Kanser ile savaş tedavisinde BNCT (Boron Neutron Capture Therapy) kullanılmaktadır. En önemli özelliği; beyin kanserlerinde hastalıklı hücrenin seçimi yapıлып imha

edilmesine yaraması ve sağlıklı hücrelere olan zararının düşük seviyede olması sebebiyle günümüzde ve geçmişte tercih nedeni olabilecektir [20].

1.9.14 Bor Nötron Yakalama Terapisi

BNCT'lerin fiziksel temelleri basit yapıya sahiptirler. İki bileşenli nükleer reaksiyon sistemlerine sahiptirler. İzotopları kararlı olan ^{10}B grupları, düşük enerjili veya termal nötronlar ışındığında Helyum-4 (^4He) yani α partikülü ve Lityum-7 (^7Li) çekirdek oluşumu sağlanmaktadır. Çok uzağa yüksek seviyedeki enerji yükleri hareket edemezler. Tümör hücrelerine tümüyle enerjisini bırakmaktadırlar. Böylelikle direkt DNA'ya zarar vererek hücrelerin tekrardan üremelerine engel olmaktadır. ^{10}B 'un ışınlanması sonucu oluşan bu ürünler yüksek doğrusal enerji aktarım (lineer energy transfer) karakteristiklerine sahiptirler. Buradaki ürünlerin yol uzunluğu $4.5\text{-}10\ \mu\text{m}$ arasındadır ve bu uzunlukta yaklaşık bir hücrenin çapı kadardır. BNCT'nin temel reaksiyonu aşağıda gösterildiği gibidir :



1950 ve 1960'lı yılların başlarından beri BNCT'de klinik olarak kullanılan bileşiklerde istenilen özellikler düşük toksiteye, yüksek tümör: beyin bor oranına ve $20\text{-}35\ \mu\text{g}$ bor/g ^{10}B konsantrasyonuna sahip olmasıdır. BNCT'de kullanılan bor içeren bileşikler sodyum merkaptodekahidrodokaborat, $\text{Na}_2\text{B}_{12}\text{H}_{11}\text{SH}$, BSH) ve 4-dihidroksiborilfenilalanin (BPA) bileşikleridir ve türevleridir. Son yıllarda seçici tümör hedeflemenin ön plana çıkması ile daha önce tasarlanan ve sentezlenen yapılardan farklı olarak tümör hücresi seçiciliğini sağlayacak (folik asit gibi) daha çok biyokimyasal ve fizyolojik esaslara (lipozomlar, lipidler, DNA bağlayıcıları, hormonlar) sahip bileşikler sentezlenmektedir. BNCT önemli diğer bileşeni ise nötron kaynağıdır. BNCT başarılı olması için tavsiye edilen termal nötron akışı $30\ \mu\text{g/g}$ ^{10}B konsantrasyonlu tümör hücresine dağıtılan yaklaşık $10^{12}\ \text{n/cm}^2$ 'dur. Derinde olan tümör hücreleri için epitermal nötronlar kullanılmaktadır [20].

Hastane yakınların ve yakın çevresinde genel anlamda deneysel nükleer reaktörlerin olması uygun değildir. BNCT amaçlı yeni küçük ölçekli reaktörlerin inşa edilmesi fikri

yüksek yatırım maliyetleri ve hastane çevresindeki kabul edilebilirliğinin düşük olması yüzünden cazip kalmamaktadır. Uygun maliyeti, kolay bakım, küçük ölçekli ve yüksek kabul edilebilir değerlerini karşılayabilen nötron kaynakları hızlandırıcıya dayalı nötron kaynaklarıdır [20].

1.9.15 Tarımda Kullanım

Tarım sektöründe gübre amaçlı kullanılmaktadır. Tarım alanında bor içerikli gübrelerin kullanımları verimlerini arttırmaktadır. 1.5 kg'a bir hektar borlu gübreler kullanarak domateste %18'lik verim artışı etmeyi sağlıyor. Borlu gübreler ile şeker pancarında %15, fındıkta %19 verim artışı sağlanmaktadır.. İçeriği Mikrobesein, süper cins olan gübre grupları minimum 200 ppm bor içermektedir. Tarım alanında bor içerikli olarak en yaygın kullanılanlar sodyum oktaborat, borik asit, boraks pentahidrat ve borakslardır. Boroksit düşük konsantrasyonlarda gübrelerde mikrobesein olarak ve yüksek konsantrasyonlarda bitki öldürücü olarak iki zıt yerde kullanılmaktadır Borların düşük miktarları bitkiler için gerekli olmasına rağmen fazla miktarda zehirlidirler. Türde ki toksitelerden, ötürü borat içerikli bitki öldürücü amacıyla kullanılabilirler. Fakat selektif olarak kabul etmediğinden dolayı tarım sektöründe sınırlı bir şekilde kullanımları mevcuttur. Tarım sektörü dışı alanlarda, yabancı ve fazlalık olan otların önlenmesinde kullanılır. Borakslar, testereyle kesilip kereste üzerini böceklerin saldırısından korumak için kullanılır.

Borlar dökme içerikli gübrelere, Cu, Fe, Mn, Mo ve Zn bazen deCo elementleri mikrobesein amacıyla eklenmektedir. Borlar, granül şeklinde dökme gübrelerin harmanlı bileşimlerine ve püskürtme işlemlerinden önce sıvı gübre içerisine katılır. Borların eksikliğinde bitkilerde yapraklar şekilsiz, gövde kısa, kalın, kırılkan ve küçüktür. Borların eksikliği meyve ağacı, tütün, kahve ve zeytin ağacının yapılarında bulunurlar. Armut ve elma ağaçları borların eksikliğinde yapısında mantarlanma oluşmasını sağlamaktadırlar [20].

BÖLÜM 2

2. Çelikler

Demir (Fe) esaslı metaller Fe-C alaşımları ve alaşımlı çelikler olmak üzere iki kısımda incelenir. Fe-C alaşımlarında sadece Fe ve Karbon(C) bulunurken, alaşımlı çeliklerde ise Fe ve C yanı sıra ilaveten Mangan (Mn), Krom (Cr), Nikel (Ni) gibi diğer alaşım elementleri de vardır. Çelikler % 0.02 ile %2 civarlarında değişken özellik gösterebilen C(karbon) miktarlarının bileşimlerinden meydana gelebilen alaşımlara denir. Çeliklerin alaşımlarında ki C seviyesi çeliklerin gruplandırılmasın da etkin rol oynamaktadır. Genelleme yapıldığında çelikler içerdikleri C oranına göre üç kısma ayrılır. % 0.25'e kadar karbon içerenler düşük karbonlu, % 0.25–0.55 arasında karbon içerenler ise orta karbonlu, % 0.55'den yüksek karbon içerenlerde yüksek karbonlu çelikler olarak sınıflandırılırlar. Diğer yandan % 0,8 karbon içeren çelikler ötektoid adını alır ve bunun nedeni, bu bileşimdeki östenitin yavaşça ötektoid sıcaklığının altına soğutulması halinde tamamı α ferrit ve sementitden oluşan bir yapının meydana gelmesidir. Çeliğin % 0,8'den az C içermesi halinde ötektoid altı çelik, % 0,8'den fazla olması halinde ise ötektoid üstü çelik adını alır [21].

2.1 Çeliklerin Karbon Oranına Göre;

1. Düşük Karbonlu Çelikler: Bu çelikler, % 0,25 oranına kadar C içerirler. Bunlar; çok yumuşak ve yumuşak çelikler olmak üzere iki gruba ayrılırlar.

a. Çok Yumuşak Çelikler: % 0,07 ile % 0,15 arasında C içerirler ve soğuk şekillendirmeye elverişlidirler.

b. Yumuşak Çelikler: % 0,15 ile % 0,25 oranında C içerirler. Çok yaygın olarak kullanılan alaşımsız çeliklerdir. Çok iyi kaynak edilebilirler ancak su verme yöntemiyle iyi sertleştirilemezler.

2. Orta Karbonlu Çelikler: Bu çelikler, % 0,25 ile % 0,55 oranları arasında C içerirler. Isıl işlem için çok uygun çeliklerdir. Yani, bu çeliklerin yapı ve özellikleri ısıl işlemle büyük ölçüde değiştirilebilir. Bu çelikler, C oranlarına göre genel dövme çelikleri, mil çelikleri ve aşınmaya dayanıklı çelikler olmak üzere üç gruba ayrılır.

- a. Genel Dövmeye Çelikleri: % 0,25 ile % 0,35 arasında C içerirler.
 - b. Mil Çelikleri: % 0,35 ile % 0,45 oranları arasında C içerirler. Mil, tel ve dingil yapımında kullanılırlar.
 - c. Aşınmaya Dayanıklı Çelikler: % 0,45 ile % 0,55 arasında C içerirler. Ray, ray tekerleği, silindir ve pres kalıplarının yapımında kullanılırlar.
3. Yüksek Karbonlu Çelikler: % 0,55 ile % 0,9 arasında C içerirler. Yüksek mukavemet ve aşınma direnci gerektiren yerlerde kullanılırlar. Kullanım alanına örnek olarak, pres kalıp blokları gösterilebilir.
 4. Yüksek Karbonlu Takım Çelikleri: Bu çelikler % 0,9 ile % 1,6 oranları arasında C içerirler. Yüksek aşınma direnci ve yüksek mukavemet gerektiren yerlerde kullanılırlar. Kullanım yerlerine örnek olarak torna kalem ve matkap uçları verilebilir [22].

2. 2. 1. Mikroalaşımli çelikler

Dünya genelinde kırk yıl içerisinde üretilmiş miktarlar bakımından en önemli değişimini göstermiş mikroalaşımli çeliklerdir. İlk olarak yapı çeliklerinin dayanımı yetersiz olması sebebiyle geliştirilmiştir. Mikro alaşımli çelikler akmadaki değerleri yüksek olan mukavemetlerine sahip olup, düşük karbon miktarı ile düşük oranlarda Nb, V, P, Mg, Cr, Al ve Ti gibi alaşım elementleri ihtiva etmelerinden dolayı düşük karbonlu mikroalaşımli çelikler olarak isimlendirilmişlerdir. Bu alaşım element ilaveleri nedeniyle, biraz tane küçültme alaşımlaması ve karbürler, nitrürler ya da karbonitrürler gibi partikül oluşması sonucu çökeltme alaşımlandırmaları ortaya çıkmaktadır [23].

Mikro alaşımli çelik türleri bir anda değişik sertleştirme işlemleri ile ve gerekli olan termo mekanik işlem basamaklarının uygulama ile dayanımı yüksek, tokluğu yüksek, sıcaklıkta gevrek kırılma emniyeti düşük, kaynaklanabilirlik mükemmel ve aşınmalara karşı dayanım gibi değişik, çok iyi özelliklere sahip bir malzeme grubudur. Dövmeye ve yassımamüller gibi üretimi gerçekleştirilmektedir. Uygulamaları yoğun olarak; gaz ve petrol boru hatları, off-shore konstrüksiyonlarında (yassı mamullerde) gerçekleştirilmektedir. Günümüzde otomotiv alanına yönelmiş dövmeli mamullerin üretiminde de yoğun bir büyüme gözlemlenmektedir.

Modern yapı çelikleri diye de anılan çelikler genellikle yalın karbonlu çeliklere oranla daha yüksek dayanımlı çeliklerdir. Bunlar göreceli yüksek dayanımlarından ötürü "Yüksek Dayanımlı Düşük Alaşım" ya da YDDA çelikleri olarak bilinirler [23].

Bu tür yapı çelikleri İngilizce kaynaklarda HSLA çelikleri (High Strengths Low Alloy Steels) ya da Fine Grained Structural Steels olarak, Almanca kaynaklarda ise feinkornbaustaehele olarak belirtilmektedir. YDDA çeliklerinde alaşım elementi toplamı genellikle % 2 değerini aşmaz. Çoğunda ise, mangan katımları dışında bu değer % 0,1-0,2 arasındadır. Mikroalaşım çelikler genelde -100°C'den 300°C'ye kadar geniş bir sıcaklık aralığında kullanılırlar. Yüksek kırılma emniyetinin ve kötü şartlar altında bile güvenilir kaynaklanmanın arzulandığı yerlerde klasik yapı çeliklerinden çok üstün olmaları tercih nedenidir [23].

2.3. Çelik Çeşitleri

2.3.1. Çeliklerin Karbon Oranına Göre Sınıflandırılması,

2.3.2. Düşük Karbonlu Çelikler

Düşük Karbonlu Çelik grupları, %0,25 değerine kadar C içermektedirler. Çok yumuşak ve yumuşak çelik olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadırlar. Yumuşak Çelikler: % 0,15 ile % 0,25 oranında karbon içerirler. Çok yaygın olarak kullanılan alaşımsız çeliklerdir. Çok iyi kaynak edilebilirler ancak su verme yöntemiyle çok iyi sertleştirilemezler. Çok Yumuşak Çelikler: % 0,07 ile % 0,15 arasında karbon içerirler ve yumuşak olduklarından soğuk şekillendirmeye elverişlidirler [24].

2.3.3. Orta Karbonlu Çelikler

Orta karbonlu çelikler; %0,25-% 0,55 değerleri arasındaki C miktarındadır. Isıl işlemler açısından uygun bir çelik olup, yumuşak çelik grubunun tersinde çok daha iyi sertleştirilebilme özelliğine sahiptir. Orta karbonlu çelikler, C oran değerleri çeşitlerine göre; aşınmaya dayanıklı çelikler, dövme çelikleri ve mil çelikleri olmak üzere üç gruba ayrılmışlardır. Dövme çelikleri genel anlamda %0,25-%0,35 aralığında C miktarı içermektedirler [24].

2.3.4. Yüksek Karbonlu Çelikler

Yüksek C ' lu çelik grupları %0,55 - %0,9 aralığında C miktarı içermektedirler. Mukavemet ve aşınma direnci yüksek uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Örnek olarak pres kalıp blokları üretimlerinde kullanım tercihi olmuştur. [24].

2.3.5. Yüksek Karbonlu Takım Çelikleri

Yüksek C 'lu takım çelikleri; %0,9-%1,6 değerleri aralığında C içermektedirler. Mukavemet ve aşınma direnci yüksek uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Matkap uçları ve torna kalemi uygulama alanlarına örnek olarak verilebilirler[24].

2.4. Çeliklerin Kimyasal Bileşim Esas Alınarak Sınıflandırılması

2.4.1. Alaşımız çelikler (sade karbonlu çelikler)

Bunlar yapılarında az miktarda mangan silisyum oksijen azot ve kükürt gibi çelik üretim yöntemlerinden gelen elementler bulunduran demir karbon alaşımlarıdır. Alaşımız çelikler ucuz ve kolay şekillendirilebilirler. Mekanik özellikleri yapılarında bulunan karbon oranına bağlı olarak değişir. Bugün için demir çelik endüstrisinde üretilen çeliklerin büyük bir çoğunluğu alaşımız çeliklerdir [25].

Sertleşme yetenekleri azdır, sertleştirme işlemlerinden sonra parçada çatlama ve çarpılmalar meydana gelir. Kalın kesitli parçalar ise istenilen düzeyde sertleştirilemezler. Korozyona karşı dayanımı azdır. Alevle ve indüksiyonla yüzey sertleştirilme yapılabilir. Yapılarındaki karbon oranlarına göre alaşımız çelikler 3 kısma ayrılırlar.

- Düşük karbonlu çelikler : %0,05 - 0,3 karbon içerir.
- Orta karbonlu çelikler : %0,3 - 0,8 karbon içerir .
- Yüksek karbonlu çelikler : % 0,8 - 1,7 karbon içerir.

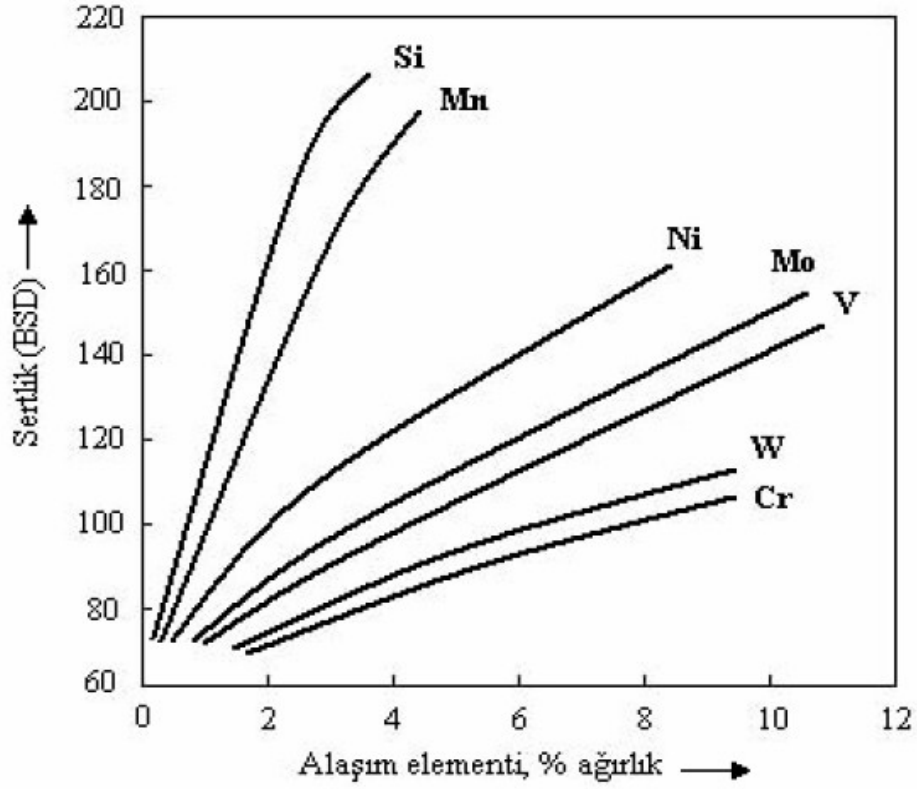
Az karbonlu çelikler sertleştirilemezler bunların uygun yöntemlerle yüzeylerin sertleştirilmesi mümkündür. Orta karbonlu çelikler ısı işlemlere oldukça yatkındır dayanımları az karbonlu çeliklere oranla daha iyidir. Yüksek karbonlu çeliklerin

sünekliği azdır. Kesilmeleri ve işlenmeleri güçtür. Talaş kaldırma işlemine yumuşatma tavlaması ile yatkınlık kazandırılabilir.

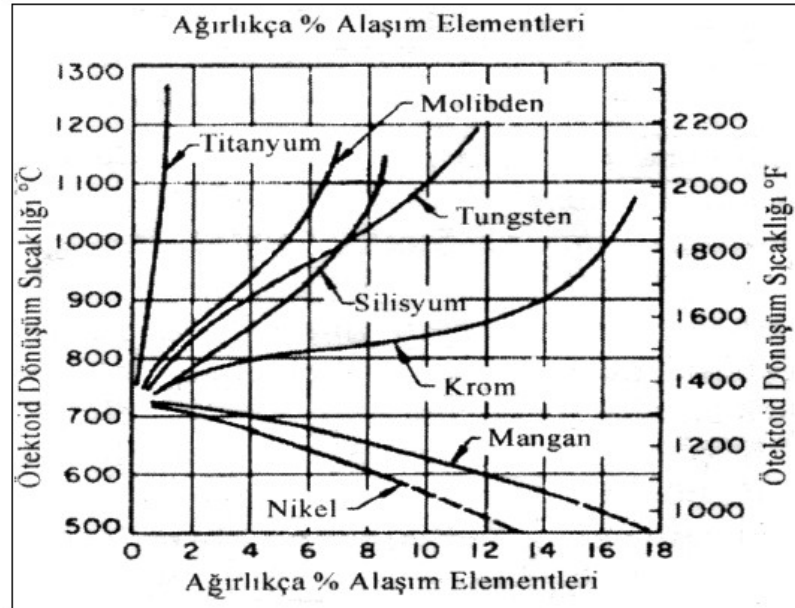
C harfi ve ortalama yüzde karbon oranının yüz katı ile gösterilirler. Ortalama karbon oranı % 0,45 olan alaşımsız çelik C 45 şeklinde gösterilir. Karbon (C) işaretinden sonra gelen küçük harfler ise alaşımsız çeliğin türünü gösterir. Örneğin; ortalama karbon oranı % 0,45 olan alaşımsız asal çelik Ck 45 şeklinde gösterilir [25].

2.4.2. Alaşımlı Çelikler

Karbonlu çeliklerden normal olarak sağlanamayan kendine has özellikleri kazanmak için, bir veya birden fazla alaşım elementi katmak suretiyle yapılan çelikler alaşımlı çeliklerdir. Mn, Si gibi alaşım elementlerinin bir veya birden fazlasının, çeliğin içindeki değerleri Mn%1,65 Si%0,60'dan fazla olan ve bunlara eklenen öteki elementlerden -Al, B, Cr, Co, Mo, N, Ti, W, V, Zr- birinin veya birkaçının bulunması istenen çelikler, alaşımlı çelikler sınıfına girer.



Şekil 2.1 Fe C₃ içerisinde çözünen elementlerin çeliğin sertliğine etkileri [25]



Şekil 2.2 Çeşitli alaşım elementlerinin ötektoid dönüşüm sıcaklığına etkisi [25].

2.4.3 Alaşım Miktarına Göre

Az Alaşımli Çelikler: Bu tip çeliklerin gösteriminde C işareti kullanılmaz. Ortalama yüzde karbon oranının yüz katı yazıldıktan sonra, oran sırasına göre alaşım elementlerinin simgeleri ve bu elementlerin Tablo 2.1' deki katsayılarla çarpılarak tam sayıya yuvarlatılmış ortalama yüzde oranları belirtilir.

Tablo 2.1 Az alaşımli çeliklerin Türk Standartları'na göre gösteriminde kullanılan katsayılar [25].

Alaşım Elementi	Katsayısı
Cr, Co, Mn, Ni, Si, W	4
Al, Be, Cu, Pb, Mo, Nb, Ta, Ti, V, Zr	10 100
P, S, N, Ce, C	1000
B	

Otomat Çelikleri: Karbon oranı az alaşımli çeliklerde olduğu gibi yazılır. Çelikte S, Mn, Pb ve P elementlerinden hangileri varsa bu sırayla gösterilir ve yalnız kükürdün ortalama yüzde oranı yüz ile çarpılarak belirtilir. Örneğin; bileşiminde % 0,45 C, % 0,20 S ve % 0,15 - % 0,30 Pb bulunan otomat çeliği 45SPb20, bileşiminde % 0,09 C, % 0,15 - % 0,30 S, % 0,90 - % 1,30 Mn ve % 0,15 - % 0,30 Pb bulunan otomat çeliği ise 9SMnPb23 şeklinde gösterilir [25].

Yüksek Alaşımli Çelikler: Yüksek alaşımli çeliklerin gösterimi için en başta X harfi kullanılır. Karbon oranı, az alaşımli çeliklerde olduğu gibi yazılır ve alaşım elementlerinin her birinin gerçek yüzde oranı kendi simgesinden sonra belirtilir. İkinci derecede önemli olan alaşım elementlerinin oranları gösterilmeyebilir. Örneğin;

bileşiminde % 0,08 C, %18Cr ve % 8 Ni bulunan yüksek alaşımlı çelik X 8 Cr 18 Ni 8 şeklinde gösterilir [25].

2.4.4 Esas Alaşım Elementine Göre

Manganlı Çelikler: Mangan çeliğin dayanımını, sertleşebilme, dövülme ve kaynak kabiliyetini, su verme derinliğini artırır. Paslanmaya korozyona olan dayanımını geliştirir. Fakat esnekliği az miktarda azaltır. Dönüşüm hızını düşürmesinden dolayı, sertleşebilirliği artırır ve böylece daha büyük kesitlerde sertleşebilirlik sağlar. Ancak, tane kabalaşması da yapar ve meneviş kırılma hızına sebep olur. Darbe ve basma zorlamalarında aşınma direncini arttıracak şekilde, soğuk sertleşme eğilimi vardır. Manganın sertlik ve dayanımı arttıran özelliği, karbon miktarına bağlıdır. Manganın yüksek karbonlu çeliklerdeki etkisi, düşük karbonlu çeliklere oranla daha fazladır. Manganın en önemli özelliği kükürtle MnS bileşiği yapması ve demir kükürt FeS bileşiği oluşumunu engellemesidir. FeS sıcak kırılma hızına neden olur .

Molibden Çelikleri: Dayanımı ve sertleşebilirliği iyileştirmek için sade karbonlu çeliklere küçük miktarlarda molibden eklenir. Bu çeliklere eklenen molibden miktarı (ve hemen hemen bütün standart alaşımlı çeliklere) yaklaşık %0.25'le sınırlandırılmıştır. Çünkü bu miktarın deneysel olarak iyileştirilmiş tokluk, sertleşebilirlik ve dayanım özellikleri için optimum olduğu bulunmuştur. 40xx serilerinin düşük alaşımlı çelikleri öncelikle oto endüstrisinde karbürleme sınıfları olarak kullanılırlar. Bu çelikler yoğunlukla olarak arka aks dişlileri ve otomatik güç aktarma parçaları için kullanılırlar. 4047 alaşımı, en dayanıklı ve sertleşebilir olduğu için alaşımlı çelik serileri için örnek olarak alınacaktır. Alaşımsız % 0.40 C çeliği östenitleme sıcaklığından soğutulduğunda normal olarak ferrit ve perlit dönüşür. Sadece hızlı soğuma ile orta (beynitik) yapıları oluşturulabilir. Başlangıçta %0.25 Mo - %0.47 C çeliği difüzyon kontrollü östenit + ferrit + perlit dönüşümü sürekli soğuma dönüşüm diyagramında esasen sağa, aşağıya kaydırır. Sonuç olarak arttırılmış beynitik oluşum miktarı üretilir. Havada soğutulmuş 4047 alaşımının (kesit ½ inç) mikro yapısı ötektoid öncesi ferrit ve ince perlitten oluşmuştur. Bu alaşım için östenitleme sıcaklığından soğuma hızı, fırında soğutmada olduğu gibi düşürüldüğünde gösterildiği gibi perlit kabalaşır. % 0.25 molibdenin 1040 karbon çeliğine eklenmesi temperleme sırasında yumuşama işlemini gösterildiği gibi bir miktar engeller. Büyük molibden

atomları Fe_3C 'e girer ve difüzyonu engelleyerek Fe_3C 'nin birleşme hızını yavaşlatır. Buna karşın 4047 alaşımındaki molibdenin küçük miktarı temperleme sıcaklığının artırılmasıyla dayanımda hızlı bir düşüşe neden olmaz. 4047 alaşımının sertleşebilirliği aynı karbon içeriğiyle yalnızca sade karbonlu çeliklerin biraz üzerine yükseltilir.

Krom – Molibden Çelikleri: 41xx alaşım serisinin oluşturmak için küçük miktarda (% 0.13 – 0.20) molibdenin yanı sıra % 0,5 – 0.95 oranında krom eklenir. Krom eklenmesi aynı karbon miktarına sahip sade karbonlu çeliklerin sertleşebilirlik, mukavemet ve aşınma direncini daha da artırır. Buna karşın düşük alaşımlı yapı çeliklerine kromun ilave edilmesi bu çeliklerin aynı şartlar altında temper kırılma eğilimine hassasiyet eğilimini artırır. Çok önemli 41xx alaşım çeliklerinin kimyasal kompozisyonları ve tipik uygulamaları verilmiştir. Krom ve molibdenli düşük alaşımlı çelikler iyileştirilmiş sertliklerinden dolayı martenzit oluşturmak için suda soğutmanın yerine yağda soğutulabilir [25].

Yağda soğutma yavaş olduğu için sıcaklık gradyanları ve hacimce çekilmeden kaynaklanan iç gerilimler ve su verme sırasındaki genişleme, çarpılma ve çatlak eğilimleri azaltılabilir. 4140 alaşımının sürekli soğutma dönüşüm diyagramı gösterilmiştir. % 0,40 C çeliğinin faz dönüşümünü modifiye etmekte molibdenin etkisi kromun ilavesi ile özellikle de bu miktar % 0,7'yi aştığında genişletilmiştir. Östenitten martenzite ve östenitten beynite dönüşüm için sıcaklık ve zaman aralığı genişletilmiş ve krom ilavesiyle Bs sıcaklığı düşürülmüştür. Çelik alaşımının sertleşebilirliği de krom ilavesi ile artırılır ve krom – molibdenli çelik alaşımlarında östenitten perlitte dönüşümde büyük bir erteleme vardır [25].

2.4.5 Kullanım Alanlarına Göre Çelikler

Çeliklerin geniş bir kullanım alanına sahip olmasından dolayı, kullanım alanlarına göre sınıflandırılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Çelik hangi alan için üretiliyorsa o alanın ismini alarak sınıflandırılır. Buna en çok bilinen inşaat çelikleri örneği verilebilir [30].

Kullanım alanlarına göre çelikleri aşağıdaki şekilde sınıflandırmak mümkündür:

- İmalat çelikleri,
- Yay çelikleri,

- Takım çelikleri,
- Kazan çelikleri
- Ray çelikleri
- Korozyona ve ısıya dayanıklı çelikler
- Yapı çelikleri
- Otomat Çelikleri'dir.

2.5 Otomat çelikleri

Otomat çelikleri yüksek oranda Mn (Mangan) ve S (kükürt) ihtiva eden alaşımsız yani sade karbonlu çeliklerdir. Talas kaldırmaya elverişlidirler. Talaş kaldırma işleminde çok düşük kesme kuvveti gereği yüksek kesici kalem ömrü ve işlenen parçada iyi bir yüzey kalitesi sağlamaktadır .

Otomat çelikleri konstrüksiyon elemanları üretiminde, otomotiv endüstrisinde, makine ve teçhizat üreten endüstri kollarında, inşaat sektöründe ve optik yada ölçü cihazları parçaları gibi hassas mekanik parçalar üreten endüstri kollarında kullanılmaktadır.

Otomat çeliklerinde S, Mn, Pb ve P elementlerinden hangisi varsa bu sırayla gösterilir. Karbon ve kükürdün yüzde oranı yüz ile çarpılarak yazılır. Örneğin; otomat çeligi % 0,45 C, % 0,20 S ve % 0,15 Pb içeriyorsa 45SPb20 şeklinde gösterilir [25].

BÖLÜM 3

3. Aşınma

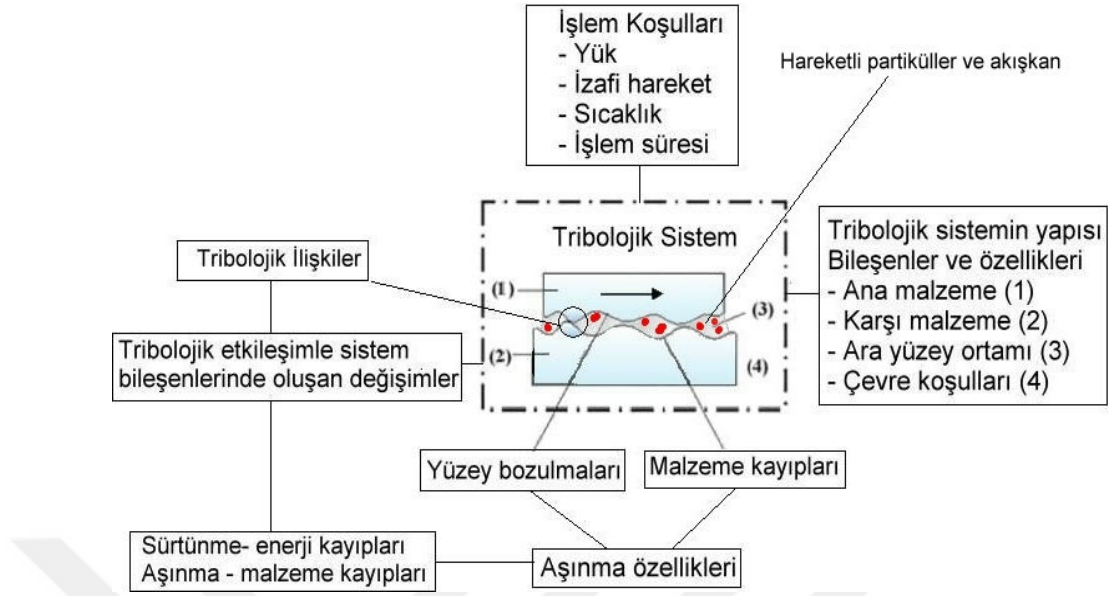
Aşınma genel anlamda, katı yüzeylerden mekanik yolla istenmeyen bir şekilde malzeme kaybının ortaya çıkması olayıdır. Üretilmiş parçaların değiştirilmesine neden olan kusurların başından gelmektedir. Aşınmaya harcanan maliyet, tamir ve değiştirme sürelerinin yol açtığı kayıpların tüm ülkeler için ne kadar büyük olacağı kolaylıkla anlaşılabilir [26].

DIN 50320 ve ASTM G4093 standartlarına göre aşınma, “kullanılan malzemelerin başka malzemelerle (katı, sıvı veya gaz) teması sonucu mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların ayrılmasıyla meydana gelen ve istenmeyen yüzey bozulması” şeklinde tanımlanmaktadır [27].

Genel olarak aşınma; yataklarda, pistonlarda, supaplarda, tekerleklerde, kesici uç ve ağızlarında, dişlilerde kırma ve öğütme değirmenlerinde, yol, toprak ve ziraat makinelerinde, türbin kanatlarında, maden cevheri üretim cihazlarında vb. gibi tüm karşılıklı sürtünmeli çalışan elemanların bulunduğu yerlerde meydana gelmektedir [27].

3.1. Aşınma Sisteminde Temel Unsurlar

Bu aşınma sisteminde temel elemanlar; ana malzeme, karşı malzeme (aşındıran), ara malzeme, yük (temas kuvveti), izafi hareket ve çevredir. Bütün bu elemanların oluşturduğu sistem, teknikte “Tribolojik Sistem” olarak adlandırılır. Bir tribolojik sistemin standartlara uygun şematik olarak gösterimi şekil 3.1.’de görülmektedir.



Şekil 3.1 Bir tribolojik sistemin DIN 50320 normuna göre şematik gösterimi [27].

a) Ana Malzeme (Aşınan): Fiziksel ve kimyasal farklılıklar, yüzeydeki yapıları, şekil durumu tamamen belirgin olan durumlarda aşınma özelliği incelenen katı cisim şeklinde tanımlanabilir.

b) Karşı Malzeme (Aşındıran): Aşınmanın oluşumunda başlıca öneme sahip olan karşı sürtünme elemanları, rijit bir cisim, gaz ya da sıvı olabilir. Bu eleman temel sürtünmüş elemanla birlikte aşınmanın çiftini oluşturmaktadır.

c) Ara Malzeme: Esas sürtünme elemanı ile karşı sürtünme elemanı arasında katı, sıvı, gaz, buhar ya da bunların karışımı şeklinde bulunan maddedir. Örneğin bu ara maddeyi, yüzeyler arasına herhangi bir nedenle girmiş kum taneleri oluşturabileceği gibi, aşınma esnasında kopan parçacıklar da ara madde görevini üstlenebilir.

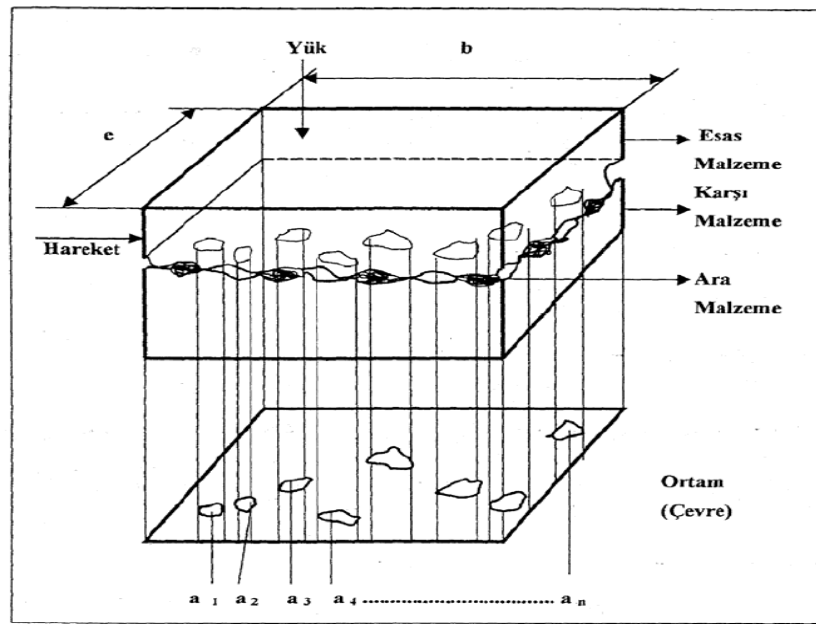
d) Yük: Etki eden kuvvetin büyüklüğü, türü (statik, dinamik, darbeli veya titreşimli olup olmadığı), doğrultusu ve zamana göre değişimi yüklemenin şiddetini belirleyen etmenleri oluşturur.

e) **İzafi Hareket:** Temel sürtünme elemanının karşı sürtünme elemanına göre izafi hareketinin cinsi (kayma yuvarlanma veya çarpma etkilerinden hangisinin ağırlıkta olduğu), büyüklüğü ve doğrultusu ile belirlenir.

f) **Çevre:** Sistemi içine alan ve genellikle sıvı veya gaz halinde bulunan ortamdır. Su, hava ve gazlar teknikte en sık rastlanılan çevre ortamlarıdır.

Tablo 3.1 Yükleme ve Hareket Değişkenlerinin Sistemi Etkilemesi [27].

Başlangıç (giriş) büyüklükleri	Tribolojik olay sırasında Değişen faktörler		Sonuç Büyüklükleri
Sürtünme Elemanlarının Yapısı	Yüzey Pürüzlülüğü Değişimi	Yapı değişimi	Sürtünme kuvveti
Yükleme	Ara maddesi	Fiziksel Kimyasal özellikler (mukavemet, iç gerilmeler)	Aşınma Miktarı
Hareket	Sıcaklık değişimi		



Şekil 3.2 Sürtünen iki cisimde aşınmanın temeli[27].

Aşınma, genellikle önceden bilinen bir hasar tipidir. Birbirleriyle temasta olan malzeme yüzeyleri oksit filmleri veya yağlayıcılar ile korunsalar bile, mekanik yüklemeler altında oksit tabakasının veya yağlamanın bozulması, iki yüzeyin birbiriyle doğrudan temasına sebep olabilir. Bu temas sonucu oluşan sürtünme, malzemenin çalışma koşullarındaki ömrünü ve performansını sınırlayan aşınmaya sebep olur. Bu hasar uygun yağlama, filtreleme, uygun malzeme seçimi ve uygun tasarım gibi faktörlerle en aza indirilebilir, fakat kesinlikle tümüyle önlenemez. Aşınmaların türlü yönleriyle korozyonlara benzemektedir.

Zaman ile bu hasar tipleri kendi kendine gelişmektedir. Bu iki oluşumda daha önceden bir derece bilinmektedir. Her ikisinin de çeşitli yönleri vardır. Bazı aşınma olayları korozyon olaylarına benzer yüzey olayları olduğundan, yüzey parçalarını, olaylarını etkileyen her olay aşınma olaylarını etkilemektedir.

3.2. Aşınma Rejimleri:

Hafif Aşınma:

Aşınma parçacıkları: Küçük (0,01–0,02 μm)

Yüzey: Parlak

Bu aşınma hasarı işletme koşullarında kabul edilebilir boyuttur.

Şiddetli aşınma:

Aşınma parçacıkları: Büyük ($> 1 \mu$)

Yüzey: pürüzlü ve çizikli

Bu aşınma hasarı işletme koşullarında kabul edilemez boyuttur.

3.2.1 Aşınmayı Etkileyen Faktörler

Aşınmalara etki eden faktörler çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadırlar. Çeşitleri, 4 gruba ayrılmaktadır. Bunlar:

1-Ana malzemeye bağlı faktörler

a) Malzemelerin kristal yapısı

b) Malzemelerin sertliği

e) Elastite modülleri

d) Deformasyon davranışları

e) Yüzeydeki pürüzlülük

2-Diğer malzemelere bağlı olan aşındırıcı ve faktör etkileri

3-Ortamdaki olayların etkileri

a) Atmosfer

b) Sıcaklık

c) Nem

4-Servis koşulları

a) Kayma yolu

b) Basınç

Tablo 3.2 Aşındırıcı malzemelerin sertlik değerleri [28].

Aşındırıcı cinsi	Mikro sertlik(kg/mm)	Dayanabildiği sıcaklık
Elmas	10000	700–800
Bor karbür	3700–5000	700–800
SiC	2300–2600	1300–1400
Alüminyum oksit	2000–2300	1700–1800

Alüminyum oksit (Al aşındırıcı taneleri) sert ve köşelidirler. Silisyum karbür (SiC) aşındırıcı taneleri ise daha sert ve köşeli olmalarına rağmen, alüminyum oksit aşındırıcılara göre kırılındırlar. Yüksek sıcaklıklarda bazı alümina ve silisyum karbür aşındırıcıların sürtünme katsayıları incelenmiş, neticede silisyum karbür'ün sürtünme katsayısının sıcaklığın yükselmesiyle azaldığı bulunmuştur.

Yüzeyler arasında sürtünme söz konusu olduğuna göre sürtünme kuvvetinin bir kısmı sistemde sıcaklık olarak ortaya çıkacaktır. Özellikle sistemde kuru bir sürtünme mevcut ise ortaya çıkan ısının boyutları oldukça yüksek olmakta, hatta bazı malzemelerde mikro yapı değişikliklerine bile neden olmaktadır. Co-Co çiftinin sıcaklığa bağlı olarak, belli bir sıcaklıktan sonra değişik mikro yapıya sahip olması sıcaklığın aşınma üzerindeki etkisini karakterize etmesi bakımından ilgi çekicidir [28].

Aşınma yüzeylerine verilen enerji, ilk önce elastik ve plastik şekil değiştirme (deformasyon) işi ve kırılma işine dönüşürken, yüzey mekanik aktivasyona uğrar ve reaksiyona girmeye başlar. Şekil değiştirme işi genelde, ısı enerjisine dönüşmektedir [28].

3.3. Aşınma Direncine Karbürlerin Etkisi

Alaşımın mikro yapılarında bulunan karbürler alaşımın aşınma direncini arttırmada önemli bir rol oynamaktadırlar [29]. Mikro yapıda bulunan karbür miktarının artması ve karbürlerin irileşmesi abrasiv aşınma direncini arttırmaktadır. Matris/karbür ara yüzünün mukavemeti, karbürler arası mesafe ve abrasiv aşındırıcı ile farklı sertlikteki karbürlerin varlığı da alaşımların abrasiv aşınma direncini etkilemektedir. Karbürlerin çok küçük ve sık dağılımı malzemenin sertliğini artırarak aşınma hızını azaltabilir. Aşındırıcı parçacıkların karbürlerden daha sert olması, aşınma esnasında karbürlerin kesilmesine ve çatlamasına sebebiyet verebilir. Bu durumda aşınma direncinde bir azalma görülür [29].

3.4. Aşınma Direncine Matrisin Etkisi

Matris tarafından yeterli desteğin sağlanmasıyla abrasiv aşınma sırasında karbürlerin dökülmesi önlenmediği söylenebilir. Çoğu durumlarda bilhassa ağır abrasiv aşınma şartları altında çatlaklar önce karbür/matris ara yüzündeki yüksek gerilme konsantrasyonlarından dolayı bu bölgelerde başlamaktadır. Daha iyi abrasiv aşınma direncinin matris fazın artan mikro sertliği ile elde edilebileceği düşünülebilir. Her ne kadar sert ve saf metallerdeki sertlik ve aşınma direnci arasındaki ilişki doğrusal olsa da, çok bileşenli alaşımlar için hiçbir basit kural bulunmamaktadır. Abrasiv aşınmada ise, aşınmış yüzeylerdeki deformasyon sertleşmeye neden olacak, aşınma yüzeyinde sertliği artıracak ve aşınan yüzeyin sertliği aşınma direncini belirleyecektir. Matris mukavemeti katı eriyik sertleşmesi ile de artabilir. Bazı araştırmacılar yüksek mukavemetli matrisin, karbürlere daha iyi bir destek sağlayabileceğini ve ince partiküllerin daha erken dökülmesini önleyebileceğini ileri sürmektedir [29].

3.5. Aşınma Mekanizmaları

Temel aşınma çeşitleri olarak dört çeşit aşınma mekanizması vardır. Bunlar; adhesiv aşınma, abrasiv aşınma, yorulma aşınması, korozif aşınma ile; erozif aşınma, öğütmeli aşınma, oymalı aşınma, kazımalı aşınmadır [30].

3.5.1. Adhesiv aşınma

Özellikle birbiriyle kayma sürtünmesi yapan, metal-metal aşınma çiftinde meydana gelen kaynaklaşma olayının bir sonucudur. Birbiriyle temasta bulunan benzer kafes yapılı iki metalik yüzey arasında adhezyon kuvveti dediğimiz bir çekim söz konusudur.

Bu kuvvetin meydana gelebilmesi için malzemelerin moleküllerinin birbirine çok yaklaşması gerekir. Temas halindeki iki metal, zaten birbiriyle yüzeylerindeki pürüzler vasıtasıyla etkileşirler. Malzeme ağırlığından veya bir dış kuvvet etkisiyle, çok küçük olan pürüz tepelerine gelecek olan basınç veya gerilme çok büyük olur. Bu kuvveti taşıyamayan pürüzler plastik deformasyona uğrarlar. Eğer malzemenin deforme olma kabiliyeti yüksekse, mikro adhezyon alanları şiddetle temas yüzeyine tamamen yayılır. Böylece yüzeyde emilmiş bulunan sıvı veya gaz molekülleri ve oksit tabakaları parçalanır.

Tablo 3.3 Malzeme özelliklerinin adhezif aşınmaya etkisi [30].

ÖZELLİKLER	ADHEZİF AŞINMA
Yüzeyin oksit içeren malzeme	Az
Kristal yapısı kübik	Çok
Kristal yapısı hegzagonal	Az
Deformasyon sertleşmeleri yüksek	Çok
Sertlik yüksek	Az
Elastisite modülleri yüksek	Az
Erime sıcaklığı yüksek	Az

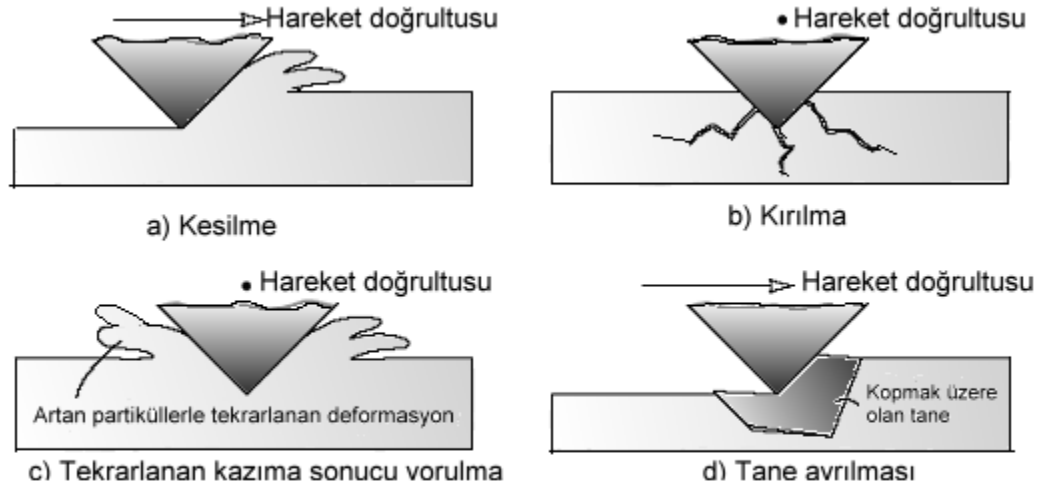
3.5.2. Abrasiv aşınma

Abrasiv aşınma, bir yüzeyden malzeme kaybına neden olabilen mekanik aşınma yöntemlerinden birisidir. Metal şekillendirmede yaygın olarak kullanılan talaşlı imalat yöntemleri esasen bu tür aşınmaya dayanmaktadır. Sert parçacıkların yumuşak metale batması da abrasiv aşınmaya neden olabilmektedir. Buna örnek olarak, bir sisteme dışarıdan giren kum vb. gibi parçacıkların veya bir motordaki yanma ürünlerinin sebep olduğu aşınma verilebilir.

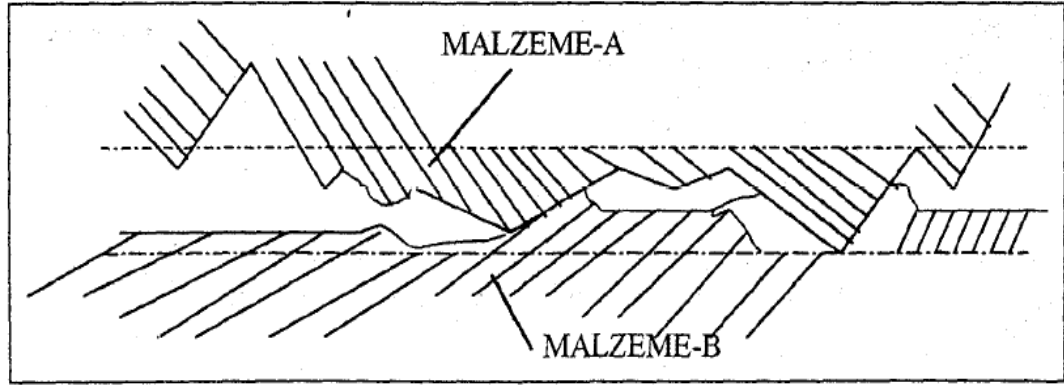
Abrasiv aşınma miktarı aşındırıcı partiküllerin şekli ve boyutunun yanı sıra malzemeyi oluşturan çeşitli fazların abrasyon özelliklerine bağlıdır. Numune sertliğinin aşındırıcıdan daha büyük olması durumunda aşınma miktarında büyük oranda düşüşler ortaya çıkar [30].

Şekillerde ki bu tip aşınma olayların keskin ve sert taneler, malzemelerin yüzeyinde mikron boyutlarda talaşlı kaldırma yetkisi/etkisi göstermektedirler. Aşınmalardaki, olaylarda 2 eleman ve 3 eleman olmak üzere iki çeşidi vardır. 2 elemanlı

abrasiv aşınmalar, doğrudan etkileşimler elemanların birbirleriyle sürtünmesi sonucu meydana gelmektedir. (Şekil 3.3).

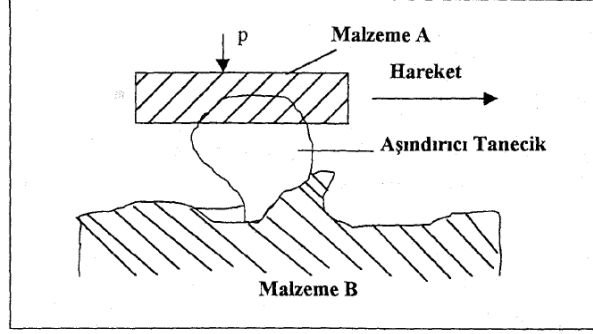


Abrasiv aşınma mekanizmaları : mikro kesilme, kırılma, yorulma ve tane ayrılması



Şekil 3.3 Abrasiv aşınma mekanizmaları [30].

3 elemanlı olan abrasiv aşınma olayında, karşı ya da ana malzemeler aralığında hareketleri serbest aşınmış taneler olabilecekleri gibi, aşınmaları sonucu da yüzeylerinde parçacıkları kopabilen ara malzemeler gibi davranmış 3. elemanlar olarak görülme ihtimalleri vardır. (Şekil 3.4).

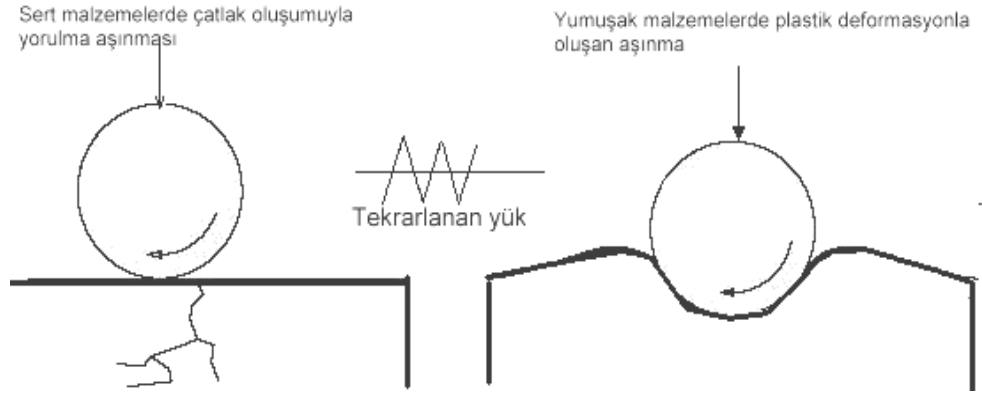


Şekil 3.4 Üç elemanlı abrasiv aşınma[30].

Abrasiv aşınmayı etkileyen iki temel faktör, aşındırıcı partikül ile metal yüzeyi arasındaki sertlik farklılığı ve teması meydana getiren basınç büyüklüğüdür. Abrasiv aşınma hızı, malzeme yüzeyine etki eden normal yük azaltılarak düşürülebilir. Böylece parçacıkların yüzeye daha az batması ve çapak kaldırması açısından daha az iz bırakması sağlanır.

3.5.3. Yorulma aşınması

Yorulma aşınması, belirli sayıda tekrarlanan titreşim zorlamalarında oluşur. Yüzeyde oluşan tekrarlı yük sayısının yüksek veya az oluşuna göre yüksek çevrimli ya da düşük çevrimli yorulma aşınma mekanizmaları oluşur [31]. Genel olarak tribolojik zorlamalar yüzeylerde görülen, konuma ve zamana göre büyüklüğü değişebilen mekanik gerilmeleri sonucunda meydana geldiklerinde, Birçok aşınma proseslerinde yorulma aşınmaları görülmektedir. Malzemenin yüzeylerinde sonuç olarak bazı çatlaklar oluşmaktadır. Bu çatlaklarda, yüzey üzerinden parçacıkların ayrılması, oyuklaşmaların ya da çukurların meydana gelmesini sağlamaktadırlar.



Şekil 3.5. Aşınmalara etki olan yorulmaların şematik gösterimi [31].

3.5.4. Eroziyon aşınma

Eroziyon aşınma, bir sıvı veya taşıyıcı içerisindeki sert partiküllerin malzeme yüzeyinden hızlı kayması veya yuvarlanması sırasında, yüzeye temas eden partiküllerin malzeme yüzeyinden parça koparması ile oluşan aşınma türüdür. Erozyon aşınması abrasiv aşınmaya benzer olarak plastik deformasyon ve gevrek kırılmayı bir arada oluşturabilir. Erozyon aşınmasının yapısı aşınan malzemeye, aşındırıcılara, darbelerin durumuna, başlangıçtaki partikül kütlelerine, hıza ve geliş açısına bağlıdır. Malzemelerin erozyon davranışı aşındırıcının şekli, sertliği, tokluğu ve boyutundan büyük oranda etkilenmektedir.

Erozyon özellikleri büyük oranda kullanılan test düzeneğine bağlı olduğundan çok hassas olarak ayarlanmalıdır. Genellikle hızlı gaz ya da sıvı akısıyla taşınan partiküller test malzemelerine gönderilir. Gaz kullanılan metotlar ASTM G76 ve DIN 50332 endüstriyel standartlarında yer almaktadır. Kaplamaların dayanıklılığının tespitinde erozyon kullanılmasıyla ilgili bazı denemeler yapılmıştır. Kalın termal püskürtmeyle elde edilen kaplamalar diğer malzemelerle aynı prensiplerle test edilebilmektedir [31].

3.5.5. Öğütmeli aşınma

Öğütmeli aşınmalar, çok yüksek basınçlar altındaki partiküllerin metal yüzeyleri ile çok düşük hızlarda karşılaşmaları sonucunda, metal yüzeyinden parçacıkların kesilerek veya çok sayıda ufak çizikler açılarak koparılması sonucu oluşurlar [31].

3.5.6. Oymalı aşınma

Oymalı aşınmalar, malzemenin yüzeyinin yüksek gerilmelerdeki çarpma durumlarında, yüzeyden bir parçanın kesilerek veya kopması sonucu oluşurlar[31].

3.5.7. Kazımalı aşınma

Birbirleriyle karşılaşan yüzeyde mikro kaynaşmaların meydana geldiği adhesiv aşınmalarına bir miktar benzemektedirler. Kazımalı aşınma birbirlerine göre hareket etmeyen yüzeylerde meydana gelirken, Adhesiv aşınmaları, birbirleri üzerinden kayan yüzeylerde meydana gelirler. Bu durumda iki aşınma türü arasındaki farktır. Fakat kazımalı aşınmalar, çok düşük değerdeki genlikte titreşim hareketlerinin oluşmasını sağlayan sistemlerde, mikro boyuttaki kaynaşmaların oluşmasıyla meydana gelirler [31]

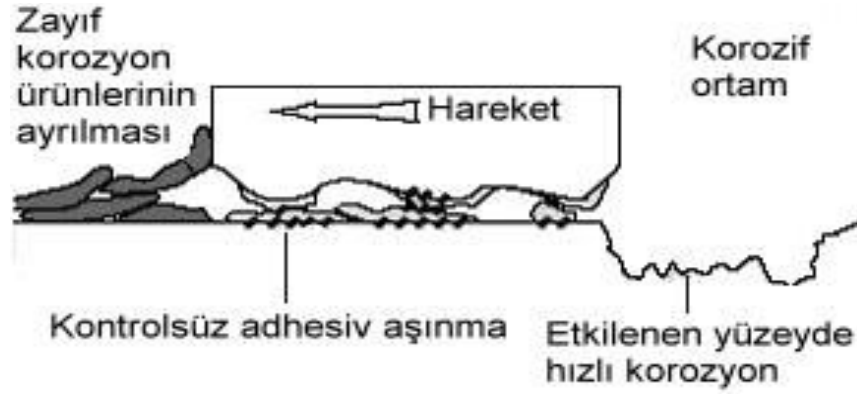
3.5.8. Korozyon aşınması

Özellikle korozif aşınmada, sıvı ve gazların bulunduğu bir ortamda meydana gelen temaslarda, malzeme yüzeyinde kimyasal ve elektrokimyasal etkilerle reaksiyon ürünleri oluşur. Eğer bu reaksiyon ürünleri yüzeye güçlü bir şekilde yapışır ve ana malzeme gibi davranırsa, aşınma mekanizması aynı ana malzemeninki gibi olabilmektedir. Bazı durumlarda, reaksiyon ürünleri çok daha farklı aşınma mekanizmalarına sebep olmaktadır. Korozif ortamla katı malzemelerin etkileşimi ile oluşan reaksiyon ürünlerinin baskın olduğu tamamen farklı bir aşınma meydana gelebilir. Korozif ortamla hızlanmış olan bu tribokimyasal aşınma, korozyon aşınması olarak adlandırılır. Korozif aşınmada, tribokimyasal reaksiyonla yüzeyde bir reaksiyon tabakası oluşur. Aynı zamanda, bu tabaka sürtünme ile ortamdan uzaklaşabilir. Bu yüzden reaksiyon tabakalarının kısmen oluşum hızı ve bozulma miktarı aşınma oranını belirler [31].

Yüzeydeki kimyasal reaksiyonlar adhesiv aşınmanın önlenmesinde yararlı olmaktadır. Ancak kimyasal reaksiyon kontrolsüz bir şekilde gerçekleşirse, önemli malzeme kayıplarına yol açabilir. Eğer malzeme bir film oluşumu ile korozyona uğramışsa ve aynı anda bir kaymalı temas da varsa, birbirini takip eden, aşağıda belirtilen dört durum ortaya çıkabilir:

- Korozyon ve aşınmanın oluşumunu engelleyen sabit bir yağlayıcı film tabakası oluşmuş olabilir.
- Kaymalı temas altında kalan, oluşmuş durumdaki zayıf film kısa ömürlü olur ve bu tabakanın düzenli bir şekilde oluşup tekrar bozulması ise, yüksek oranda aşınmaya neden olabilir. Sürtünme katsayısı bu oluşum esnasında düşük olabilir ya da olmayabilir.
- Koruyucu yüzey filmleri aşınmış olabilir. Kalan film tabakası ve ana malzeme arasında bir galvanik çift oluşabilir ve sonuçta yüzeyde korozyon nedeniyle, çok hızlı aşınmış bir bölge oluşması söz konusu olur.
- Korozif etki ve aşınma işlemleri birbirinden bağımsız olarak hareket ettiği gibi, birbirine eklenerek birlikte de hareket edebilirler [31].

Yağ gibi korozif etkili kimyasal maddelerin, makine parçalarının yüzeylerinde oluşan yüzey filmlerinin bir kısmını tribolojik zorlamalarla kırması ve aşındırıcı parçacıkların oluşturmasına yol açması, aşınmayı artırır. Metalik malzemelerin yüzeylerinde Tribo oksidasyon aşınması görülmektedir. Sonuç olarak malzemelerin yüzeylerinde çatlaklar oluşmaktadır. Bunun sonucunda, yüzey üzerinden parçacık ayrılmaları, oyuklaşma ya da çukurcuk oluşumuna sebep olmaktadır[31].



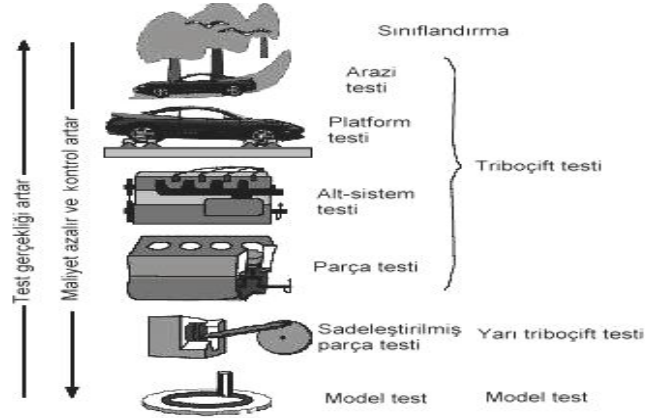
Şekil 3.6 Korozif aşınmanın şematik resmi [31]

3.6. Aşınma Deneyleri ve Ölçüm Yöntemleri

3.6.1. Aşınma deneyleri

Makine elemanlarında aranılan özelliklerden bir tanesi kullanım ömürleridir. Makine parçalarının çabuk aşınması makinenin ömrünü kısaltarak maliyeti arttırdığı gibi, onarım için geçen sürede üretimin önemli ölçüde aksamasına neden olmaktadır. Bu nedenle, makine imalatında aşınmaya maruz kalabilecek yerlerde aşınma direnci yüksek malzemeler kullanılmalıdır. Bu malzemelerin tespiti için de mutlaka birçok laboratuvar deneylerinin yapılması gerekir. Laboratuvar şartlarında yapılan deneylerde ana malzemenin bir modeli ile çalışılır. Bu model basit bir geometrik şekle sahip olup, fazla bir masrafa gerek kalmadan üretilebilir ve daha sonra bir deney cihazına takılarak her türlü aşınma ölçme işlemleri bunun üzerinde yapılabilir. Aşınma deneylerinde aşınma ölçüm deney yöntemleri olarak bilinen ağırlık farkı, kalınlık farkı, iz değişim ve radyo izotop yöntemleri vardır [32].

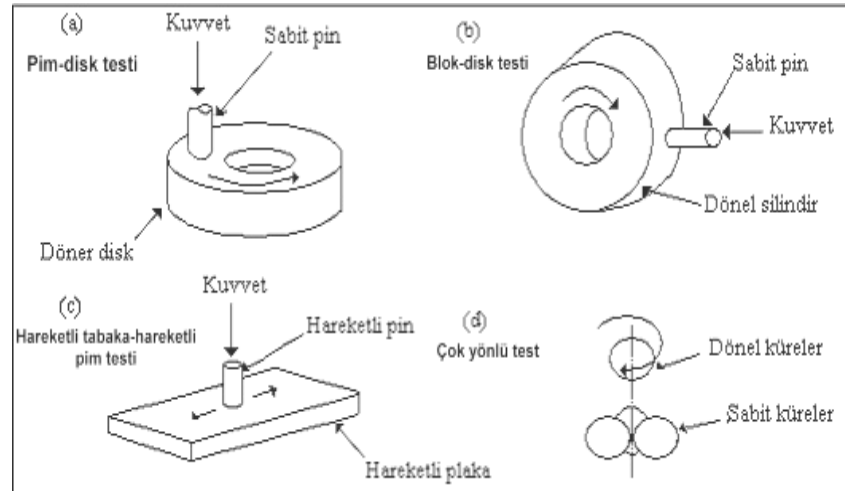
Aşınma testlerini, tribolojik sistemin özelliklerine göre daha iyi sınıflandırmak mümkündür (Şekil 3.7.). Maliyet ve zaman kısıtlamaları dikkate alındığında, incelemeler daha basit test cihazlarında gerçekleştirilmektedir. Aşınma elemanları gerçek olmalı, fakat tribolojik sistemin geri kalanı laboratuvar ortamında aşınma mekanizmasını tam olarak canlandırmalıdır.



Şekil 3.7 Gerçeklik derecesine göre aşınma testlerinin sınıflandırılması [32].

Malzeme kaybı olarak tanımlanan aşınmanın ölçümü, temas eden parçalardan birinde veya her ikisinde hacim ve ağırlık kaybı esas alınarak yapılır [32].

Sürtünme, aşınma ve yağlamanın bir karakterizasyonunu veren birkaç teknik vardır. Tribolojik davranışların çalışılmasında basit geometrik kavramlar kullanılır. Bunlar; pim-disk testi, blok-disk testi, çok yönlü (unidirectional) test, hareketli yüzey üzerinde hareketli pim testi olarak sınıflandırılabilir.



Şekil 3.8. Aşınma deney türlerinin şematik resimleri [32].

Sürtünme, bir enerji kaybı yöntemidir, bu yüzden uygulanan yükün sürtünme bileşeni kuvvet sensörleri ile ölçülür. Aşınma deneylerinden elde edilecek bilgiler;

1. Kullanılan donanım (temas geometrisi),
2. Aşınan pim ve aşındıran diskin ölçüleri,
3. Temas eden en az iki malzeme,
4. Yüzey durumu,
5. Uygulanan normal kuvvet, F_n ,
6. Uygulanan basınç, P_a ,
7. Kayma mesafesi,
8. Zaman, t ,
9. Hız, V ,
10. Test sıcaklığı, T ,
11. Atmosfer,
12. Yağlayıcı,
13. Test sayısı.

3.7.1 Ağırlık farkı yöntemi

Ekonomik olması ve ölçülen büyüklüğün, alet duyarlılık kapasitesi dahilinde bulunması sebebiyle en çok kullanılan yöntemdir. Ağırlık kaybının ölçülmesi, 10^{-4} veya 10^{-5} gr hassasiyetinde oldukça duyarlı bir terazi yardımı ile yapılır. Aşınma miktarı gram veya mili gram cinsinden ifade edilirse, metre veya kilometre olarak tespit edilen sürtünmelerde ki sayısal değerine denk gelen ağırlık kayıp miktarları (gr/km), (mg/m) ile ifade edilebilmektedir. Birim alanları için ağırlık kayıp hesabı yapılacak ise; (gr/cm^2) gibi çeşitli birim kullanılabilir. Hacimsel aşınma oranı olarak belirtilecek ağırlık kayıp

oranı, gene de ağırlık kaybı hareketiyle kullanılacak malzemelerin deney numunesi ve yoğunlukları üzerlerine etki eden yükleme ağırlıkları hesaplara katılmak suretiyle, yol ve birimler yüklemeler ağırlığına karşılık gelebilen hacimsel kayıplardan gidilerek bulunabilir. [33]. Yapılan tanıma göre, piyasada tercihen kullanılmakta olan ağırlık farkı ölçme metotların da kullanılmış bağıntı şu şekildedir;

$$W_a = \Delta m / M.s.p$$

3 elemanlı abrasiv aşınma olayında, genel olarak DIN 50320'de verilmiş boyutu olmayan aşınma oranları formüllere yaygınlaşmış olarak kullanılır.

3.7.2. Kalınlık farkı yöntemi

Aşınma sırasında oluşacak boyut değişikliğinin ölçülmesi, başlangıç değeri ile karşılaştırılması yolu ile elde edilir. Kalınlık farkı olarak tespit edilen bu değerlerden gidilerek, hacimsel kayıp değeri ve birim hacimdeki aşınma miktarı hesaplanır. Kalınlık, hassas ölçme aletleri yardımıyla $1\mu\text{m}$ duyarlıkta ölçülmelidir[33].

3.7.3. İz değişimi yöntemi

Sürtünme yüzeyinde, plastik deformasyon yoluyla geometrisi belirli bir iz oluşturulur. Deney boyunca, bu iz karakteristیک bir boyutunun (çapının) değişimi ölçülür. Uygulamalarda iz bırakıcı olarak en çok kullanılan alet Vickers veya Brinell sertlik ölçme ucudur. Elmas piramit veya bilyenin bıraktığı iz boyutlarındaki değişim, mikroskop yardımıyla ölçülerek belirlenir [33].

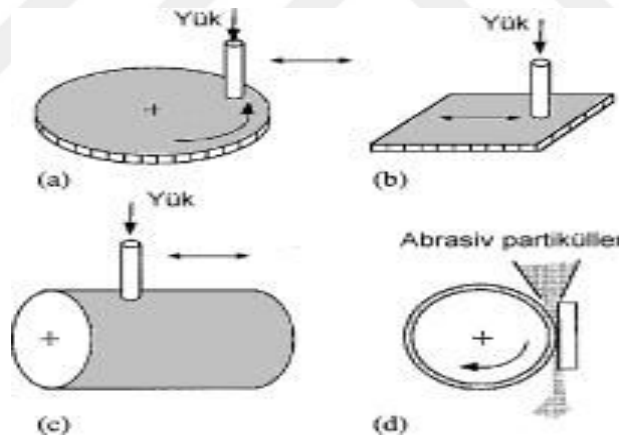
3.7.4. Radyo izotop yöntemi

Sürtünme yüzey bölgesinin proton, nötron veya yüklü α parçacıklarıyla bombardıman edilerek radyo aktif hale getirilmesi esasına dayanır. Aşınmanın büyük hassasiyetle ölçülebilmesi ve sistem içerisinde çalışma şartlarını değiştirmeden ölçü alınabilmesi avantajlı yönleridir. Fakat ekonomik olmaması nedeniyle, ancak özel amaçlarda kullanılır. Özel problemlerin çözümü dışında, yaygın olarak kullanılan bir yöntem değildir[33].

3.7.5. Abrasiv aşınma için deney yöntemleri

Abrasiv aşınma direncinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan pek çok test çeşidi mevcuttur. Laboratuvar test yöntemleri abrasivi aşınmalar içinde kullanılmakta olan en yaygın su, iki esasta yapılmaktadır:

Bunlardan birincisi; Malzeme üzerinde sabitleşmiş bir abrasiv pim şeklinde hazırlanmış numunelerin kayması, ikinci esaslar; dönmekte olan tekerlekler ve temas halinde kayan düz bir numune arasına serbest abrasiv tanelerin daima olarak dökülme olayıdır. Deneylerde sabitlenmiş veya hareketli sert partiküller aşındırıcı yüzeyler olarak kullanılır. Zımpara kağıtları veya diskleri ya da numune ile karşı malzeme arasında hareketli partiküller kullanılır[34].



Şekil 3.9. Malzemenin aşınma miktarını ölçmek için en yaygın kullanılan dört metodun şematik olarak gösterimi. (a) Abrasiv disk üstü pim, (b) Abrasiv düzlem üstü pim, (c) Abrasiv tambur üstü pim, (d) Lastik tekerlekli abrasiv testi [34].

Şekil 3.9 (a)' dan (c)'ye kadar olan yöntemler bu birinci esasa göre yapılmış iki kısımlı abrasiv aşınma metodlarıdır. Pin-on-disk (pim-disk) (a) pin-on-tambur (pimtambur) (c) düzenekleri yaygın olarak bilinenleridir. Deneylerde numune veya aşındırıcı diskin

pozisyonları değişebilmektedir. Bu yöntemlerde genellikle abrasiv malzeme olarak sert partiküllere sahip zımpara kâğıtları veya bezler kullanılır. Aşınma oranları abrasiv olarak kullanılan malzemelerde aynı izler üzerinden geçmesinin tekrarları olarak azalır.

Bunun sebepleri aynı çizgi üzerinden geçen aşındırıcı tane sayısının azalmasıdır. Bu nedenle test pimlerini hareketli hale getiren ve spiral izler oluşturmasını sağlayan aygıtlar kullanılarak test yüzeylerinin taze aşındırıcılarla karşılaşmaları sağlanmaktadır.

Şekil 3.9 (d)'de görüldüğü gibi üç cisimli aşınma testlerinde bu sorun kısmen de olsam azalmasına rağmen, karşı cismin sağladığı taneciğin özelliklerine karşı oldukça hassas bir hale gelmektedir. Buradaki olayın önemleri ve miktarları, numunenin malzemesi, atmosfer, kayma hızı, yük, ve başka faktör ile değişir. Şekil 3.9 (a)'daki disk üzeri pim geometrisinde, pimin disk üzerinde radyal olarak hareket etmesi ile test yapılmaktadır.

Bu esnada disk üzerinde spiral bir iz oluşur. Diğer bir geometrik şekil, Şekil 3.9 (b)'deki bir abrasiv levha üzerinde dik olarak kayan pimden oluşan geometridir. Üçüncü geometri de, Şekil 3.9 (c)'de üzerine abrasiv kağıt sarılmış dönen bir silindirin üzerinde aksenal olarak hareket eden pimden oluşan geometridir. Bu durumların her birinde pim üzerine sabit bir yük uygulanır. Testten önce ve sonra pim tartılarak aşınma miktarı ölçülür [34].

3.7.6. Kayma ve dönme temalarında aşınma

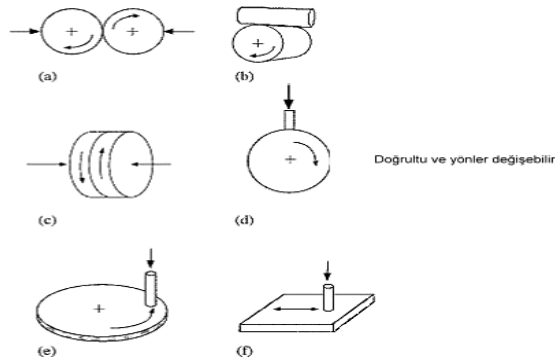
Kayma ya da dönme herhangi bir özel aşınma mekanizmasını göstermez. Fakat iki yüzey arasındaki göreceli hareket sonucunda temas şekilleri çeşitlilik göstermektedir.

Değişik şekillerde oluşan bu temaslarda çok değişik tipte malzeme kayıpları oluşmaktadır.

Oluşan yüzey hasarlarında adhezyon ya da yüzey yorulması nedeniyle oluşan aşınmalar yaygın olarak görülmektedir. Aynı zamanda yüzey çıkıntıları nedeniyle oluşan boşlukların etkisiyle, tribokimyasal aşınma tipleri ve diğer aşınma mekanizmalarının da görülmesi mümkündür. Kayma ve dönel temaslarla oluşan sürtünme ve aşınmaların makine elemanlarında sıklıkla görülmeleri nedeniyle, bu olaylar doğal olarak büyük ilgi görmektedir. Bu yüzden çok sayıda kayma ve dönel temaslı aşınma testleri geliştirilmiştir [34].

Kaymalı temaslarda yüzey etkileşimleri ve tipleri yüzeyde oluşan hasarların çok çeşitlilik göstermesine neden olmaktadır. Test şartlarında yapılacak çok küçük değişiklikler etkin aşınma mekanizmasının aşırı ve keskin değişiklikler göstermesine neden olmaktadır. Bu durum aşınma ve sürtünme değerlerini de oldukça değiştirmektedir. Malzemelerin sıralanmasında model testler seçilirken yapılan uygulamanın koşullarının detaylı olarak belirtilmesi çok önemli olmaktadır. Temas gerilimi, termal koşullar, kayma hızı ve kimyasal ortam kayma ve dönme aşınmalarında ana test parametreleri olmaktadır [34].

Kaymalı aşınma test sonuçlarının açıklanması genellikle abrasiv ve erozif aşınmaya göre çok zor olmaktadır. Bu tipte aşınmalar sert partiküller nedeniyle olmakta ve çok sayıda mikro oluşum sonucunda elde edilmektedir. Kayma temaslarında etkileşim yapısının değişimi tüm test boyunca çeşitlilik gösterebilmektedir. Bunun sonucunda aşınma miktarı, kayma mesafesi sıklıkla orantılı olarak değişmemekte ve ana malzemelerin özellikleri (sertlik, tokluk v.b.) ile ilgili olarak kesin bir garanti verilememektedir [34].



Şekil 3.10 Kaymalı aşınma test düzeneklerinin şematik olarak gösterilmesi [34].

Kayma aşınma testleri çok çeşitli geometrik düzenlemelerle gerçekleştirilebilmektedir (Şekil 3.10.). Pratik olarak testler arasındaki farklılık test numunelerinin simetrik ya da asimetric olarak uygulanmasıdır.

Şekil 3.10. (a) ve (c) simetrik uygulamaları göstermektedir. Bu tür simetrik uygulamalar genellikle aynı malzemelerin test edilmesinde belirleyici sonuçlar vermektedir. Simetrik yaklaşımlar model testlerde sıklıkla kullanılmamaktadır.

Şekil 3.10. (d) ve (f)'de verilen asimetrik uygulamalar oldukça yaygındır. Bu şekilde kesintisiz temas sonucunda test numunesinin konumuna göre farklı ve belirleyici sonuçlar elde edilmektedir. Muhtemelen bunun nedeni numune şekli ve test koşullarının basit ve esnek olmasına, ayrıca asimetrik pim disk düzeneğinin değiştirilebilir olmasına bağlıdır (Şekil 3.10. (e)). Bu yöntem kayma aşınmalarının tespitinde sıklıkla kullanılmaktadır.

Pim-disk yöntemlerinde ısıtma ve kapalı kutularda kontrollü atmosferlerde çalışmak mümkün olmaktadır. Aynı zamanda pim-blok ya da pim-silindir düzenekleri de sıklıkla kullanılan yöntemler arasında yer alır (Şekil 3.10. (d)).

Çeşitli kayma test düzenekleri ulusal standartlarla belirlenmiştir. Blok-halka (ASTM G77), kaymalı silindirler (ASTM G83), pim-disk (ASTM G99) ve küre-disk (DIN 50 324) standartları bunlara örnek olarak verilebilir. Tribolojik standartlar farklı laboratuarlardan gelen sonuçların karşılaştırılmasında kolaylık sağlanmasına hizmet etsede aşınma ve sürtünmenin sisteme olan etkisi tam olarak belirlenememektedir [34].

BÖLÜM 4

4.AISI-4140 çelikleri

AISI-4140 çeliği, düşük alaşımlı Cr-Mo'li ıslah çeliklerinin en yaygın kullanılabildiği alanına sahip olup, krom- molibden çeliği olarak bilinmektedir. AISI 4140 serisi çeliği, düşük alaşımlı yapı çelikleri, dövme kalite çelikler, orta karbonlu çelik ve alaşımlı çelik olarak da isimlendirilir.

Kullanım alanları arasında, otomobil ve uçak yapımı, krank mili, aks mili ve kovanı, yivli mil ve benzeri sünekliği yüksek parçalar, ayrıca dişli çark ve bandaj vb. parçaları sayabiliriz. Ayrıca, soğuk çekme mil ve çubukları, makine çelikleri, yaylar, türbin motorları, turbo jeneratörlerin fren halka ve kolları, gemi zincir ve demirleri yapımında, demir yol tekerlekleri ve millerinde, starter dişlilerinde ve birçok yerde kullanılmaktadırlar [35].

Tablo 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6'de AISI4140 çeliğine ait kimyasal kompozisyonlar, mekanik, ısıl işlem, ısı ve elektrik özellikleri ile kritik sıcaklıklar görülmektedir.

Tablo 4.1 AISI4140 çeliğinin kimyasal kompozisyonu [35].

Element	% Ağırlık
<u>C</u>	0.38-0.45
<u>Mn</u>	0.75-1.00
<u>P</u>	0.035 (max)
<u>S</u>	0.04 (max)
<u>Si</u>	0.15-0.30
<u>Cr</u>	0.80-1.10
<u>Mo</u>	0.15-0.25

Tablo 4.2 AISI4140 çeliğinin ısı özellikleri [35].

Özellikler		Koşullar	
		T (°C)	İşlem
Isıl Genleşme (10-6/oC)	12.3	20-100	Yağda sertleştirilmiş, 600°C 'de temperlenmiş
Isıl İletkenlik (W/m-K)	42.7	100	
Özgül Isı (J/kg-K)	473	150-200	

Tablo 4.3 AISI4140 çeliğinin mekanik özellikleri [35].

Özellikler		Koşullar	
		T (°C)	İşlem
Yoğunluk ($\times 1000 \text{ kg/m}^3$)	7.7-8.03	25	
Poison Oranı	0.27-0.30	25	
Elastisite Modülü (GPa)	190-210	25	
Çekme Dayanımı (Mpa)	655.0		815°C 'de tavllanmış
Akma Dayanımı (Mpa)	417.1		

% Uzama	25.7	25	
% Kesit Daralması	56.9		
Sertlik (HB)	197	25	815°C 'de tavllanmış
Darbe Dayanımı (J)	<u>54.5</u>	25	815°C 'de tavllanmış

Tablo 4.4 AISI4140 çeliğinin elektriksel özelliği[35].

Özellikler		Koşullar		
		Değer	T (°C)	İşlem
Elektrik Direnci (10-9 Ω -m)	<u>12.3</u>	<u>222</u>	20	
		263	100	
		326	200	
		475	400	
		646	600	

Tablo 4.5 AISI4140 çeliğinin ısıtım özellikleri [35].

Özellikler	Koşullar	
	Sıcaklık (°C)	Soğutma
Sıcak Şekil Verme	850-1050 °C	
Normalizasyon	840-880 °C	
Yumuşak Tavlama	680-720 °C	
Sertleştirme	820-860 °C	Su
	820-860 °C	Yağ

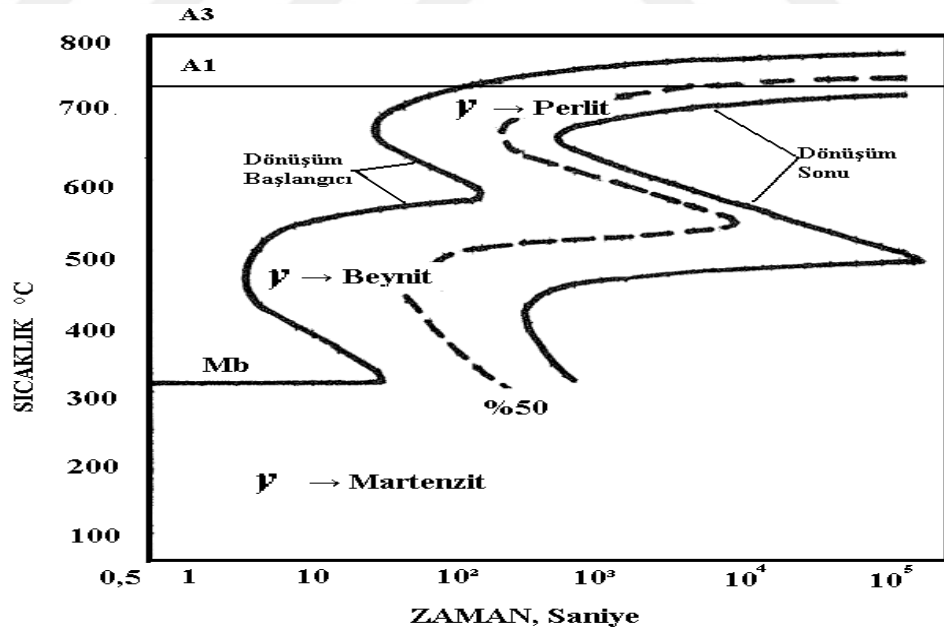
Tablo 4.6 AISI4140 çeliğinin yaklaşık kritik sıcaklıkları[35].

Element	Mf	Ms	Ar1	Ac1	Ar3	Ac3
Sıcaklık(°C)	260 °C	343 °C	680 °C	732 °C	743 °C	804 °C

AISI-4140 çeliği aynı gruptan çeliklerle kıyaslandığı zaman orta derecede sertleşebilir ancak onlara nazaran dayanım ve tokluğu ise daha iyidir. Fakat çalışma ortamlarındaki performansı normal değerlerdedir. Yüksek karbon içeriğinden dolayı daha iyi sertleşir ve mukavemeti artar. Çekme dayanımları 1650 MPa'a kadar çıkabilir. Sertleştirme ve temperleme ısıtım işlemine uygundur. Çalışma ortamlarındaki dayanımı 480 °C'den sonra hızlı bir şekilde azalır. Isıtım işlem ve gerilme konsantrasyonu ile çeşitli sıcaklıklarda dönüşüme uğrayabilirler.

Ç-4140 çeliğinden yüksek dayanım istendiğinde, ısıl işlem sonucu hidrojen gevrekliği oluşabilir. Ancak bu esnada hidrojen gevrekliğini önlemek ve süneklik kazandırmak için 2-4 saat 190 °C’de ısıl işleme tabi tutulurlar. 540 °C’ye kadar sürünme dirençlerini korurlar. 1100- 1200 °C’de kolayca şekillendirilebilirler ve sıcak şekillendirildikten sonra yavaşça soğutulmalıdırlar. Bu çelikler, bu ısıl işlemlerden sonra kaynak kabiliyeti iyileşir. Soğuk şekillendirme ile % 62 oranında şekillendirilebilirler. AISI-4140 çelikleri çubuk, merdane, levha, plaka, mil veya döküm yöntemiyle üretilip şekillendirilebilirler. Yüksek dayanımlı makine parçaları ve elemanlarında kullanılır [36].

Östenit dönüşümü sırasında görülen ve öncelikle dönüşüm ürününün özelliklerini belirleyen çok yönlü olayların irdelenmesinde zaman-sıcaklık-dönüşüm diyagramlarından faydalanılır. TTT (Time – Temperature - Transformation) ve CCT (Continuously – Cooling - Transformation) diyagramları olarak bilinen bu diyagramlarla dönüşüm olayları sıcaklık ve zamana bağlı olarak gösterilir.

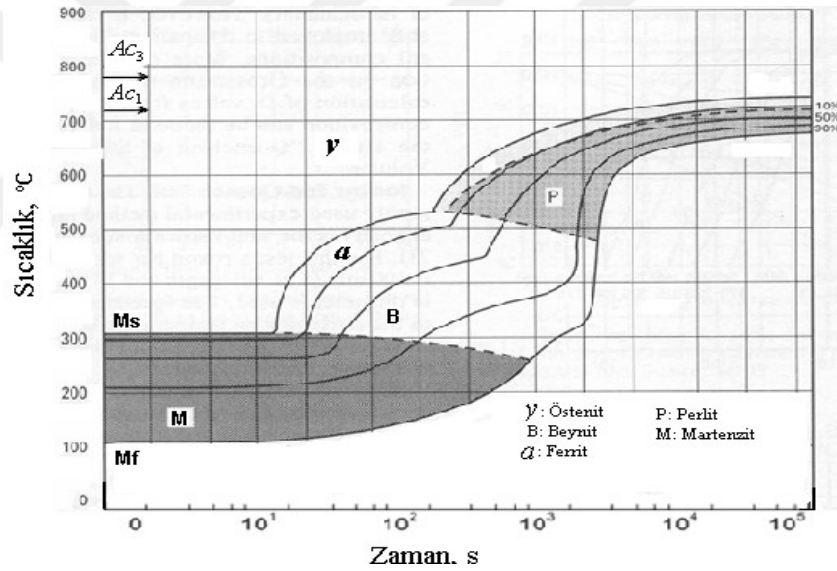


Şekil 4.1 AISI-4140 çeliğine ait TTT diyagramı [36].

Şekil 4.1 'te izotermik dönüşüm için AISI4140 çeliğine ait TTT diyagramı görülmektedir. TTT diyagramı ile malzememiz istediğimiz yapı göz önüne alınarak

belirlenen bir sıcaklığa hızla soğutulur ve bu sıcaklıkta bekletilir. İstedğimiz dönüşüm gerçekleşinceye kadar sabit sıcaklıkta bekletilir ve tekrar soğutulur.

Çelikte yapının tamamen perlit ya da beynit olması istendiğinde bu diyagramdan faydalanılır. AISI4140 çeliğinin yapısının tamamen perlit ya da beynit olmasını istediğimizde Şekil 4.1'teki değerler okunarak bu yapılar elde edilir. AISI4140 çeliğine ait CCT diyagramı Şekil 4.2' te görülmektedir. Bu diyagram, özel soğutma ortamlarında ulaşılabilen soğutma hızının, östenitten martenzite veya beynitten perlite faz dönüşümünün etkilerini içermektedir. Bu diyagramlar su verme ortamının etkilerinin teorik olarak görülebileceği diyagramlardır [36].



Şekil 4.2 AISI4140 çeliğine ait CCT diyagramı [36].

AISI4140 çeliklerinin soğutma prosesini anlamak için hayli kritik öneme sahip olan martensit dönüşümünün başlangıç ve bitiş sıcaklıkları (Ms,Mf) bu diyagramdan okunabilir (Şekil 4.2). Bu sıcaklıklarla birlikte AISI-4140 çeliğine ait olarak çeliğin ısıtılmasında kritik östenit dönüşüm sıcaklıkları olan 1 Ac ve 3 Ac ile çeliğin soğutulmasında östenitten perlite dönüşüm sıcaklığı olan 1 Ar ve östenitten ferrite dönüşüm sıcaklığı olan 3 Ar sıcaklıkları Tablo 4.6'de verilmiştir. CCT diyagramı ile soğutma hızları sonunda malzemedeki yapılar görülür. Çok hızlı soğutma (örneğin su) ile yapının tamamen martenzite dönüşeceği şekilde çok açık bir şekilde görülmektedir. Çok hızlı olmamak kaydı ile örneğin yağda soğutularak beynitik bir yapı

elde edilebilir. Yine Şekil 4.2’te malzemede ferrit ve perlit yapısı oluşturmak için yavaş soğuma gerektiği görülmektedir [37].



BÖLÜM 5

5.Borlu Çelikler

Dünyada üretilen birçok borlu çelik kalitesi mevcuttur. Üretilen borlu çeliklerin çoğu Mn ve Cr ile alaşımlandırmaktadır. Bazı hallerde Ni ve Mo içermektedir. Genellikle karbon oranı % 0,10 ile % 0,45 arasında değişen çeliklere bor ilave edilmektedir. Toplam bor içeriği, çözülmeyen bor bileşikleri de dahil olmak üzere 60 ppm değerini geçmemelidir. Borlu çelikler 300 ppm alüminyum ile deokside edilirken, 300 ppm titanyum ile borun nitrür yapması kontrol edilmektedir.

Borlu çelikler yüksek sertlik ve yüksek aşınma dayanımına sahip alaşımlı çeliklerdir. Kolay işlenebilir olmaları ve uygulanan ısı işlemleri sonrasında da çok iyi mekanik özellikler sergilemeleri bu tip çeliklerin en önemli özelliklerindedir. Benzer kabiliyetleri sunan yüksek alaşımlı çeliklere daha ucuz olmaları da dikkate alınır, borlu çeliklerin gittikçe zorlaşan ekonomik koşullarda otomotiv, beyaz eşya ve makine imalat sanayi kolları için iyi bir alternatif oluşturdukları söylenebilir. Özellikle son yıllarda Avrupa otomotiv üreticileri tarafından borlu çeliklerin darbelere maruz kalabilecek yerlerde sürücü ve yolcu güvenliğini artırmak amacıyla sıklıkla kullanıldığı bilinmektedir.

Forklift kollarında, yaylarda, soğuk çekilmiş çubuklarda, inşaat çeliklerinde, vites dişlilerinde, kar küreme makinelerinin iş gören kısımlarında, tank paletlerinde, kepçelerin tırnaklarında ve benzeri aşınma dayanımı gerektiren iş parçalarının yapımında yeni borlu çeliklerin kullandığı görülmektedir. Türkiye’de borlu çelikler son zamanlarda otomotiv sanayinde şartnamelerde doğrudan veya eşdeğer kalite olarak belirtilmesi, talaşlı imalatla üretim maliyeti yüksek çıkan parçalar yerine borlu çeliklerin soğuk dövülebilirlik ile birlikte hızlı, seri ve yüksek adetli vida ve bağlantı parçaları yapımında kullanılmaktadır [38].

Bor ilavesi çeliğin sertlik ve mukavemetini, borlu çeliklerin sertleşebilme kabiliyetleri daha yüksektir. Bor paslanmaz çeliklere de ilave edilmektedir.

5.1. Borlu Çelik kalitelere Örnekler:

SAE 15B35H-SAE 15B18- 30MnB4Cr-ZF7B-ZF7- ZF6DIN 16MnCrB5- SAE 15B16- AFN 28MCB5- DIN 30MnB4- SAE 15B34- AFNOR 35B2- DIN 30MnCrB5- SAE 14B41H-JIS SUP11A



Şekil 5.1 Borlu çeliklerin kristal yapısı [39].

5.2. Borlu Çeliklerin Mekanik ve İşlenebilme Özellikleri

Makina imalat sanayi çalışanlarını; çekme mukavemeti, akma sınırı, yüzey sertliği, çentik darbe mukavemeti gibi mekanik özelliklerin yanında kaynak edilebilme kabiliyeti, sertleşme kabiliyeti ve şekil değiştirme kabiliyeti gibi malzemenin işlenebilme özellikleri de ilgilendirir [40]. Yani, bir malzemenin mekanik özellikleri kadar kolay işlenebilme özellikleri de önemlidir.

Borlu çelikler, ısıl işlem öncesi nispeten düşük mekanik özelliklere sahiptirler. Sıcak hadde ürünü yassı levha halinde satın alınan borlu çeliklerin mekanik özellikleri, benzer karbonlu yapı çeliklerinin mekanik özellikleriyle yaklaşık olarak aynıdır. Bunun anlamı, sıcak veya soğuk şekil vermenin veya derin çekmenin bu tip çeliklerde oldukça kolay olmasıdır.

Normal yapı çeliklerinin şekillendirilmesinde kullanılan yöntemler, aynı takımlarla ve aynı işleme hızlarıyla bu tip çeliklerde de kullanılabilir. Borlu çeliklerin kaynağı da zor değildir. Bunun nedeni, düşük alaşım içeriğine sahip olmalarıdır. MIG kaynağı veya direnç nokta kaynağı borlu çeliklerin kaynağında kullanılabilen kaynak

yöntemleridir. Bunlardan direnç nokta kaynağı ısıdan etkilenmiş daha küçük bir bölgeye neden olduğundan genelde tercih.

Borlu çeliklerin korozyon ve yorulma dirençlerinin de yüksek olduğu çeşitli araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur. Özellikle düşük karbonlu beynitik çeliklere yapılan bakır-bor katkısı ile üretilen çeliklerin; savaş gemilerinin, köprülerin ve petrol platformlarının yapımında kullanılıyor olması korozyon direncinin yüksekliğinin bir göstergesidir [41].

5.3. Borlu Çeliklerin Isıl İşlemleri

Şekil verme sonrası su verme sıcaklığına kadar ısıtma (~900°C), malzeme kalınlığına bağlı olarak bu sıcaklık değerinde bir süre bekletme ve sonrasında yağda veya suda su verilerek sertleştirmeyle borlu çelikler yüksek mekanik özelliklere ulaşırlar. Böylesi bir sertleştirme ısıl işlemi sonunda oldukça sert (45–50 HRC) ama aynı zamanda sürtünme ve aşınmaya karşı da mükemmel direnç gösteren yüksek mekanik özelliklere sahip bir yapı elde edilmiş olur.

Sertleştirilmiş borlu çeliklerin temperleme işlemi uygulanmadan da kullanılabildiği literatürde bazı kaynaklarca ifade edilmiş olsa da, iş parçasının kullanım koşullarına bağlı olarak daha tok bir yapıda olmasının istenildiği durumlarda temperleme işlemi yine malzeme kalınlığına bağlı olarak uygulanabilir. Sertleştirilmiş borlu çeliklere uygulanan düşük temperleme sıcaklıklarının (150–200°C) sertliği neredeyse hiç düşürmeden sünekliliği yani tokluğu arttırdığı bilinmektedir.

Şiddetli darbe kuvvetlerinin etkisi altında çalışacak iş parçalarının darbe dirençlerinin arttırılabilmesi için 400–450°C gibi daha yüksek temperleme sıcaklıklarına çıkılması önerilmektedir [42]. Borlu çeliklerde en büyük kazanımın elde edilen yüksek sertlik değerleri konusunda olduğu ortadadır.

Daha çevreci olan suda su verme işleminin bu tip çeliklere uygun olması da bir avantajdır. Önemli bir diğer avantajda, düşük temperleme sıcaklıklarının çok iyi tokluk değerleri vermesidir. Bu da maliyet anlamında enerji gibi büyük bir girdinin azaltılması anlamını taşır.

5.4. Borlu Çeliklerin Genel Kullanım Alanları

Uygulanmış ısıtıl işlem sonrası borlu çeliklerde sertlik değeri yüksek olduğunda, aynı zamanda ise korozyonlara ve sürtünmeye karşı çok iyi dirençlik özelliği gösterdiği için genellikle ağır çalışma koşullarına uygun olup toprak ve yol işleme aletleri ile ziraat aletleri yapımına ve otomobillerde pasif güvenlik gerektiren yerlere önerilmektedir.

Son zamanlarda otomotiv üreticileri tarafından bor tipi çelikler, hafif malzeme elde etmek ve darbe olaylarına karşı maruz kalabilecek yerlerde aracı kullananların ve yolcuların güvenliklerini geliştirmek amacı ile yapısal parça çeşitlerinde sıklık ile kullanıldıkları söylenmekte ve bilinmektedir [43]. Forklift kollarında, kar küreme makinalarının iş gören kısımlarında, tank paletlerinde, kepçelerin tırnaklarında ve benzeri aşınma dayanımı gerektiren iş parçalarının yapımında yine borlu çeliklerin kullanıldığı görülmektedir.

5.5. Tarımsal Mekanizasyonda Borlu Çelikler

Quirke ve arkadaşları (1988), orta karbonlu, yüksek karbonlu ve borlu çeliklerin relatif aşınma dirençlerini bulmuş ve ayrıca tarla ve laboratuvar sonuçlarını kıyaslamışlardır. İnceledikleri malzemeler içinde en az karbon içeren malzeme olmasına rağmen borlu çeliklerin oldukça yüksek aşınma direnci gösterdiklerini not etmişlerdir.

Araştırmacılar, borlu çeliklerin sadece sert olmadıklarını aynı zamanda tok bir yapıda da olduklarını ve bu yüzden de toprağın doğal aşındırıcılarına karşı çok iyi dayanım sergilediklerini de belirtmişlerdir. Bhakat ve arkadaşları 2004 yılındaki çalışmalarında; yağda su verilerek sertleştirilmiş yüksek karbonlu (~0.70C) çelik numuneleri, bor veya krom mikro-katkılarıyla hazırladıkları ve sonrasında ısıtıl işlem uyguladıkları orta karbonlu (~0.30C) çelik numuneler ile laboratuvar ortamında, pim-disk aşınma cihazında, abrazif aşınma dirençleri açısından karşılaştırmışlardır.

Toprak işleyen uçlarda aşınma dayanımını arttırmak amacıyla öngördükleri bu katkıların, suda su verme gibi daha çevreci ve ekonomik bir işleme sertleştirme ve sonrasında yapılan temperleme neticesinde oldukça başarılı olduklarını belirtmişler ve bu amaç için kullanımlarını önermişlerdir. Borlu çeliklerin hem kayma aşınmasına hem de abrazif aşınmaya karşı çok iyi direnç gösterdiklerini bundan dolayı daha sert toprak

aşındırıcılarına da çok iyi direnç göstereceklerini ifade eden araştırmacılar aynı zamanda laboratuvar deney sonuçlarını geliştirdikleri bir matematiksel modelin tahminleriyle de kıyaslamışlardır.

Er ve Gaşan (2006), işlemsiz ve farklı şartlarda ısıtılmış SAE 15B35H ve SAE 15B41H borlu çelik numuneleri, işlemsiz ve karbürizasyonla yüzeyi sertleştirilmiş SAE 950C ticari pulluk uç demirinden numunelerle abrazyon davranışları açısından laboratuvar şartlarında deneysel olarak incelemişler ve sonuçlarını karşılaştırmışlardır.

Isıtılmış borlu çelik numunelerin tümünün, karbürizasyonla yüzeyi sertleştirilmiş numunelerden daha az aşındıkları çalışmanın sonunda belirtilmiştir. Araştırmacılar, borlu çeliklerin su verme işlemi sonrasında yüksek sertlik değerlerine ulaştıklarını ve sonrasında uyguladıkları temperleme ısıtılması neticesinde de sertliklerini çok kaybetmediklerini gözlemlemişlerdir. Borlu çeliklerin geleneksel uç demiri malzemelerine karşı iyi bir alternatif olabileceği de vurgulanmıştır.

Bhakat ve arkadaşları 2007 yılındaki çalışmalarında ise, 50–60 HRC gibi yüksek sertlik değerlerinin arzu edildiği zorlu toprak koşullarına karşı önerdikleri bor ve/veya krom mikro-alaşım katkılı orta karbonlu (~0.30C) çelikleri laboratuvar kuru kumlu abrazyon test cihazında farklı yükler altında incelemişlerdir.

Bu amaç için geliştirilen çeliklerin daha çevreci ve ekonomik bir yöntem olan su verme işlemi sonunda istenen sertlik değerlerine ulaştığı ifade edilmiştir. Mikroyapılar, martenzitik veya martenzit ve karbür karışımında olduğu araştırmacılarca gözlemlenmiştir. Abrazyon deneyleri sonunda, borlu ve kromlu çeliklerin yüksek karbonlu (~0.70C) çeliklerden daha az aşındıklarını tespit eden araştırmacılar bu tip çelikleri özellikle zorlu toprak şartlarında çalışacak toprak işleme aletlerinin aktif uçlarına önermişlerdir.

Tarımsal mekanizasyonda çok çeşitli uygulama alanları için borlu çeliklerin özellikle batılı ülkelerde yaygın olarak kullanıldığını yapılan araştırmalar sonunda görmekteyiz. Zor toprak koşullarında gösterdikleri üstün performanstan dolayı toprak işleyici aktif uçlarda kullanılmasının yanı sıra borlu çelikler aynı zamanda küçük tip ziraat alet ve

makinalarına ve yine aşınma dayanımı arzu edilen bağ-bahçe aletlerine de önerilmektedir .[44]

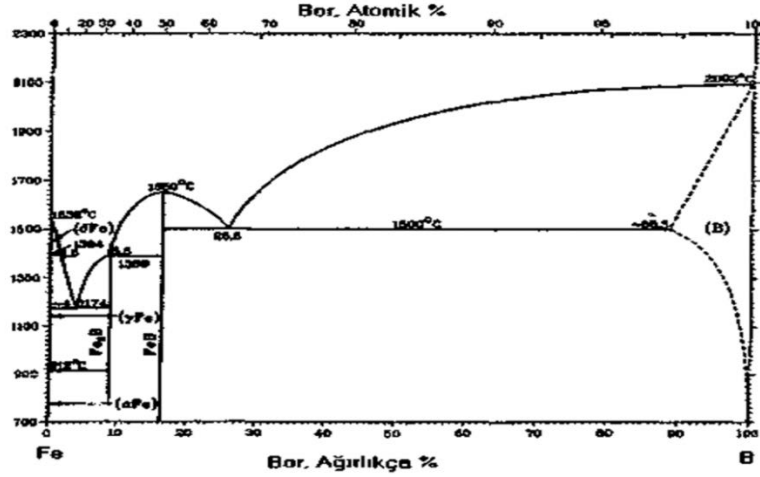
Yakın zamanda Erdemir tarafından ürün çeşitleri arasına dâhil edilen borlu çeliklerin, üretici firma tarafından tanıtım katalogunda 5620 ve 5630 kalite numaraları ile ziraat aletleri yapımına önerilmiş olması da ülkemiz adına sevindiricidir.

5.6. Fe-B İkili Denge Diyagramı

Bor, periyodik cetvelde ‘‘IIIA’’ grubunda yer almaktadır. Bor elementinin proton sayısı 5 ve atom ağırlığı 10,81 gram'dır. Bor atomunun yarıçapı, 0,46 ⁰A ve ergime sıcaklığı 2092 0C'dir. Bor elementinin valansı +3, iyon yarıçapı 0,23 ⁰A 'dür. Bor elementi, rombohedral kristal yapısına sahip olup latis parametreleri sırasıyla a=1,093 nm ve c=2,381 nm'dir. Bor, amorf yapıda da olabilmektedir[45].

Bir alaşımda katı eriyik oluşum şartları arasında en önemli olanı, atomik boyut faktörüdür. Bor elementi a-Fe'de atom çapına bağlı olarak hem arayer hem de yer alan konumunda bulunabilmektedir Fe-B sisteminde borun atom yarıçapının demirin atom yarıçapından 2.69 kat daha küçük olması, bu elementle katı eriyik yapma imkânı sağlamaktadır (Şekil,5.2).

Bor difüzyonlarından dolayı gerek olan aktivasyon enerjisi 62 kcal/mol olarak tespiti yapılmıştır. a-Fe fazlarına yakın bölgesi, Fe-B ikili denge diyagramlarında, günümüzden 50 yıl öncesine kadar birçok defa değişik yapılmış, son çalışmalarca tespit edilmiş, borların a-Fe ve α -Fe fazları içinde %0,5 B kadar çözünümlü tespit edilmiş, γ -Fe fazları içinde çözünürlük ise tam anlamda tespitine varılamamıştır.



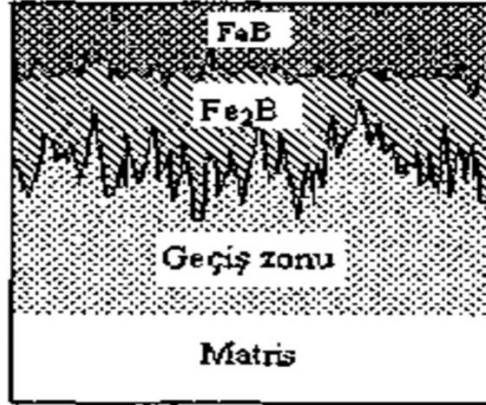
Şekil 5.2 Fe-B ikili denge diyagramı [45].

Denge diyagramından demir ile bor arasında Fe_2B (8,83 B) ve FeB (16,23 B) bileşikleri oluşmaktadır. Ötektik reaksiyon bor iyon difüzyonunun hâkim olduğu γ -Fe tane sınırlarında ve/veya Fe_2B , $Fe_3(C,B)$ 'de başlamaktadır. Ötekiğin yapısı ve özellikleri, bileşimin yanında sıvı tabakanın soğuma hızına da bağlıdır. Yüksek soğuma hızında ince mikroyapı, yüksek sertlik ve tokluk elde edilmektedir.

İncelemeler sonucunda, Fe_2B fazının 1389–1410 °C arasında ve FeB fazının ise 1540–1657 °C aralığında yer almıştır. Fe_2B peritektik reaksiyon sonucu 1407 °C'de oluşmaktadır.

5.7. Borür Tabakasının Yapısı, Bileşimi ve Kalınlığı

Borür tabakasının özellikleri, borlanacak malzemenin bileşimine, borlama metoduna, borlama ortamına ve zaman, sıcaklık gibi işlemdeki şartname bağlı kalacak, düz formda ya da dişli/kolonsal formlarda olabilmektedir. Borlama işlemi sonucunda çeliklerde başlıca iki tabaka meydana gelmektedir. Bunlar; borür tabakası ve geçiş zonedir (Şekil 5,2).



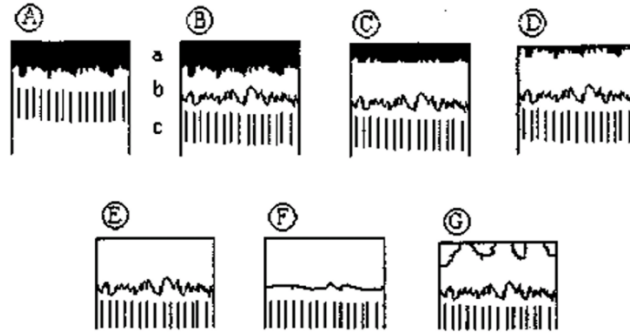
Şekil 5.3 Borür tabakasının şematik olarak gösterilişi [46].

Borür tabakalarının şekli ile ilgili olarak kaplama tabakalarının bileşim ve belirleyici görünüşleri esas alınarak geliştirilmiş bir sınıflandırma sistemi Şekil 1.8'de görülmektedir. Borlanmış bir numunenin metalografik olarak hazırlanması sonucunda, borür tabakasının kalınlığı, yapısı (kolonsal veya düz), porozite içerip içermediği tespit edilebilir.

Bu tabaka türlerinin görünüşlerinden, kaplama yapısının özelliklerini belirlemek mümkün değildir ancak malzemenin yüzeyinde oluşan borür tabakasının kolonsal yapılı oluşu tamamen tabakanın görünüşü hakkında bilgi vermektedir. Oluşturulan bu sınıflandırma sistemi borür tabakasının görünüşünü karakterize etmek ve borlama işleminin uygun olup olmadığına karar vermek için imkân sağlamaktadır.

Bu borür tabaka türlerinden E ve F grubu borürler yani tek fazlı (Fe_2B) tabakalar endüstriyel uygulamalarda tercih edilmektedir. Bu tip tabakalar her zaman elde edilmeyebilir. Özellikle hâkim tabakalarda daha çok D tipi borür tabakası elde edilmektedir.

Yüksek silisyum veya alüminyum ihtiva eden çeliklerde, bu elementlerin kaplama-matris ara yüzeyinde birikerek yumuşak ferrit fazı oluşturmaları sebebiyle, borlama işlemi tercih edilmemektedir (Şekil 5.2 tipi). Borlama işlemi sonucunda elde edilen tek fazlı (Fe_2B) borür tabakasının bazı avantajları vardır. Bunlar; Fe_2B fazının, FeB fazına göre daha az kırılğan olması, borlama sonrası ısıl işlemlere uygulanabilirliğe sahip olması ve kaplamanın özellikleridir.



Şekil 5.4 Borür tabakalarının türleri, a) FeB; b)Fe₂B; c) Geçiş zonu [46].

Difüzyon yönüne bağlı olarak, kolonsal yapı sergileyen tek fazlı Fe₂B fazı, çift fazlı Fe₂B+FeB fazlarına göre daha çok tercih edilmektedir. Gerçekte FeB ve Fe₂B fazları birbirlerine basma ve çekme gerilmeleri uygulamakta ve çoğu zaman bu gerilmeler sebebiyle, iki faz arasında yüzeye paralel veya dik ilerleyen çatlaklar oluşmaktadır. Fe₂B basma, FeB fazı çekme etkisi yapmaktadır. Genellikle FeB/Fe₂B arayüzeyinde, FeB fazının çekme gerilmelerine Fe₂B fazının ise-basma gerilmelerine maruz kaldığı ileri sürülmektedir.

Bu yüzden termal şok veya mekanik etkiler altında ayrılmalar ve tabaka halinde kalkmalar meydana gelmektedir. Bu sebeple, minimum FeB içeriğine sahip kaplama tabakaları elde edilmeye çalışılmaktadır. Çift fazlı borür tabakalarında yüzeyin hemen altında porozite oluşumu görülür. Bor kaplamalarda, borür tabakasının ince olması durumunda, porozite oluşumu ve tabakanın kalkma riskinin düşük olduğu düşünülmektedir. Eğer çift fazlı Fe₂B+FeB borür tabakası, vakum veya tuz banyosunda 800 °C sıcaklık civarında uzun süre ısıl işleme tabi tutulursa, tek fazlı Fe₂B fazı elde etmek mümkün olmaktadır.

Borlama işlemi esnasında çelik bileşiminde bulunan elementlerin yeniden dağılırlar. Bu arada FeB ve Fe₂B tabakalarının, karbon ve silisyum çözündürme kabiliyeti olmamasından dolayı, bor yayını esnasında karbon ve silisyum borür tabakasından içeriye doğru itilirler.

Bunun sonucu olarak borür tabakası ile borlanan metal matris arasında 'geçiş bölgesi' olarak isimlendirilen bir yapı meydana gelir. Geçiş bölgesindeki mikroyapı, matrisin mikro yapısından farklı bir görünüme sahiptir ve borür tabakasına göre daha kalındır".

Bu bölgedeki bor dağılımının otoradyografi yöntemi ile incelenmesi sonucu, geçiş bölgesi kalınlığının, normal metalografik yöntemle belirlenene göre daha kalın olduğu belirlenmiştir.

Aynı yöntemi kullanan Bozkurt", geçiş bölgesinin, borür tabakasından 10–15 kat kadar fazla bir kalınlığa sahip olduğunu tespit etmiştir. Şekil 5,6'da Ck 15 çeliğinde borlama süresine bağlı olarak geçiş bölgesi ve borür tabakasının kalınlıklarının değişimi görülmektedir. [47]

Genel olarak, geçiş bölgesindeki tane boyuta, ana malzeme tane boyutuna göre daha büyük olduğu halde, sinterlenmiş Fe-C alaşımlarında bu bölgede tane büyümesine rastlanmadığı ileri sürülmektedir.

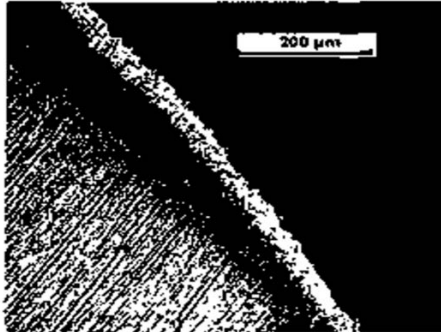
Borür tabakasının kalınlığı, borlanan parçanın kullanım şartlarına göre; borlanan malzemenin cinsi, borlayıcı ortamın bileşimi, işlem süresi ve borlama sıcaklığına bağlı olarak belirli sınırlar dâhilinde istenilen kalınlıkta ayarlanabilir. Optimum borür tabaka kalınlığı mümkün olan en kalın tabaka demek değildir. Tabaka kalınlığı, daima amaca uygun olmalıdır. Eroziyon için (seramik endüstrisinde kullanılan pres takımlarında olduğu gibi) kalın tabakalar uygundur. Mesela, termoplastik ve termoset malzemelerin ekstrüzyonunda malzeme hamurunda cam ve asbest fiberler, ağaç talaşı veya TiO_2 gibi pigment olarak kullanılan ve oldukça aşındırıcı olan dolgu maddeleri vardır. Adhezif aşınma için ise (zımba takımlarında olduğu gibi) ince tabakalar gereklidir.

Teorik olarak borür tabakasının kalınlığı yaklaşık olarak $5\mu m$ olması adhezif aşınmadan korunmak için yeterli olacaktır. Bununla beraber Fe_2B kristallerinin birbirine kenetlenen dişli bir yapıya sahip olmaları sebebiyle alaşımsız veya az alaşımlı çeliklerde bu kalınlıkta homojen bir tabaka üretmek mümkün değildir. Metallerin talaşsız şekillendirilmesinde kullanılan yüksek alaşımlı takım çeliklerinde bu amaç için en iyi sonuç $15-20\mu m$ tabaka kalınlığında elde edilmiştir.

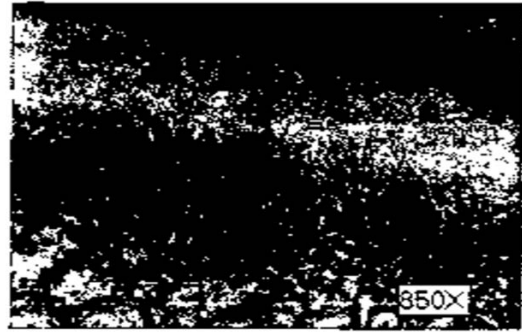
Bazı çeliklerde, borür tabakası kalınlığının borlama süresi ile değişimi Şekil 5,6'da verilmektedir. Tabakanın gevrekliliği tabakanın kalınlığın artmasına bağlı olarak, çift faz (" Fe_2B+FeB ") tabakada, tabaka kalınlığının çok olmamasına özellikle dikkat edilmelidir. Çelik içerisinde ki bor yayınımları,alaşım elementinin oranları arttıkça daha

adım başlar. Bu adım yayınma kontrollüdür. Oluşacak borlu tabakaların kalınlığı, yayınma kanunlarına uygun olarak borlama süresi ve sıcaklığına bağlı olarak parabolik ($x^2=D.t$) bir artış göstermektedir.

Borür fazlarının oluşumu, borlama ortamının aktif bor konsantrasyonuna bağlı olarak, tane sınırları ve dislokasyonlar gibi mikro hataların, yüzey pürüzlülükleri ve çizikleri gibi makro hataların bulunduğu daha reaktif noktalarda başlamaktadır. Yüksek saflıktaki demirde olduğu gibi, demir-bor reaktifliğinin çok düşük olduğu şartlarda, bu noktalardan sadece bir kaçı reaksiyona girer ve rastgele dağılmış reaksiyon ürünü adacıklar meydana gelir. Ortamın bor potansiyelinin daha yüksek olduğu durumlarda, metal yüzeyindeki daha az reaktif olan noktalar da devreye girerek sürekli bir tabaka oluşur. Bu durum, daha düşük bor potansiyelli ortam ile daha reaktif metal şartlarında da sağlanabilmektedir. Şekil 1.11'de borür tabakası ve matris içerisindeki bor dağılımını görmek mümkündür. Tablo 1,6'da ise Fe_2B ve FeB fazlarının tipik özellikleri verilmektedir [49].



(e) Saf nikel, 950°C'de 5 saat borlanmış



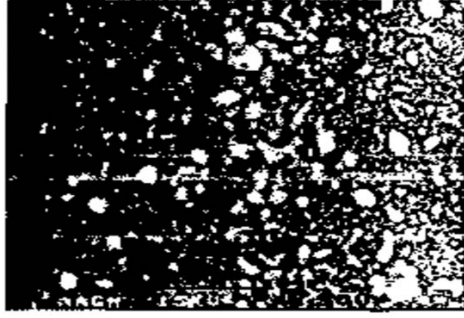
(f) AISI 316L, 950°C'de 6 saat borlanmış



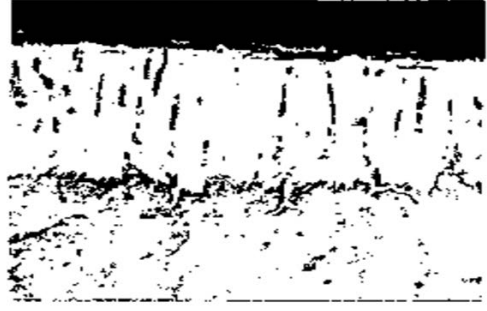
(g) 950°C'de 4 saat borlanmış AISI 1015



(h) 950°C'de 2 saat borlanmış AISI 1040



(i) 950°C'de 1 saat borlanmış AISI M2



(k) 950°C'de 6 saat borlanmış AISI W4

Şekil 5.7. Bazı çeliklerin ve saf metallerin borlanma sonrasındaki mikro yapıları:(a) AISI 4140, (b) AISI H13, (c) Saf Krom, (d) DDK. 80, (e) Saf Nikel, (f) AISI 316L, (g) AISI 1015, (h) AISI 1040, (i) AISI M2, (k) AISI W4 [49].



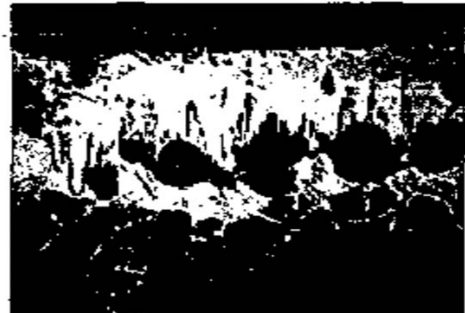
(a) AISI 4140, 950°C'de 8 saat borlanmış



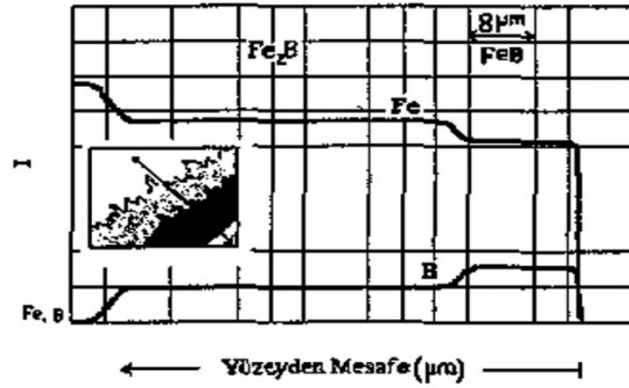
(b) AISI H13, 900°C de 3 saat borlanmış



(c) Saf krom, 940°C'de 8 saat borlanmış



(d) DDK 80, 950°C'de 6 saat borlanmış



Şekil 5.8. Gaz ortamda borlanan bir malzemenin yüzeyinde oluşan borür tabakası ve matris içerisindeki B ve Fe atomlarının dağılımı [49].

Tablo 5.1 Fe₂B ve FeB fazlarının tipik özellikleri[49].

Özellik	Fe ₂ B	FeB
Kristal Yapı	Hacim Merkezli Tetragonal	Ortorombik
Latis Parametresi	A= 5.078, c=4.28	A= 4.053, b= 5.495 c=2,946
Bor içeriği (%Ağırlıkça)	8,83	16,23
Yoğunluk (gr/cm ³)	7.43	6,75
Elastisite Modülü (GPa)	280–295	590
Mikrosertlik (GPa)	18–20	19–21
Oluşum Entalpisi (AH) (kJ/mol)	–71,13	–71,13
Gibbs Serbest Enerjisi (kJ/mol)	–71,75	–69,47

Ergime Sıcaklığı (°C)	1389–1410	1540–1657
Termal Genleşme Katsayısı (ppmTC)	7,65 (200–600°C) 4,25(100–800°C)	23 (200–600°C)
Termal iletkenlik (W/m.°K)	30.1 (20°C)	12.0 (20°C)
Elektriksel Direnç	38	80
Renk	Gri	Gri

Çeliklerde yayınma mekanizmasını etkileyen en önemli faktör, yayınmanın gerçekleştirildiği sıcaklıktır. Borlama sıcaklığına bağlı olarak borür tabakasının büyüme kinetiği Eşitlik 3'de verilen bağıntı yardımıyla incelenerek yayınma katsayısı ve yaklaşık tabaka kalınlığı belirlenebilmektedir. D; yayınma katsayısını, D₀; yayman atomların yayınma sabitini (cm²/sn), Q; aktivasyon enerjisini (cal/mol), R; gaz sabitini (1.987cal/mol°K) ve T; mutlak sıcaklığı (°K) ifade etmektedir.

$$D = D_0 \cdot e^{-Q/RT} \quad (3)$$

Borür tabakasının büyümesi FeB ve Fe₂B fazlarında bor atomlarının difüzyon hızı tarafından kontrol edildiği ve bor atomlarının numune yüzeyine dik doğrultuda yayınması sonucu tabakanın büyüme gösterdiği kabul edilmektedir [49].

BÖLÜM 6

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Malzeme ve Deneysel Çalışma Sistematiği

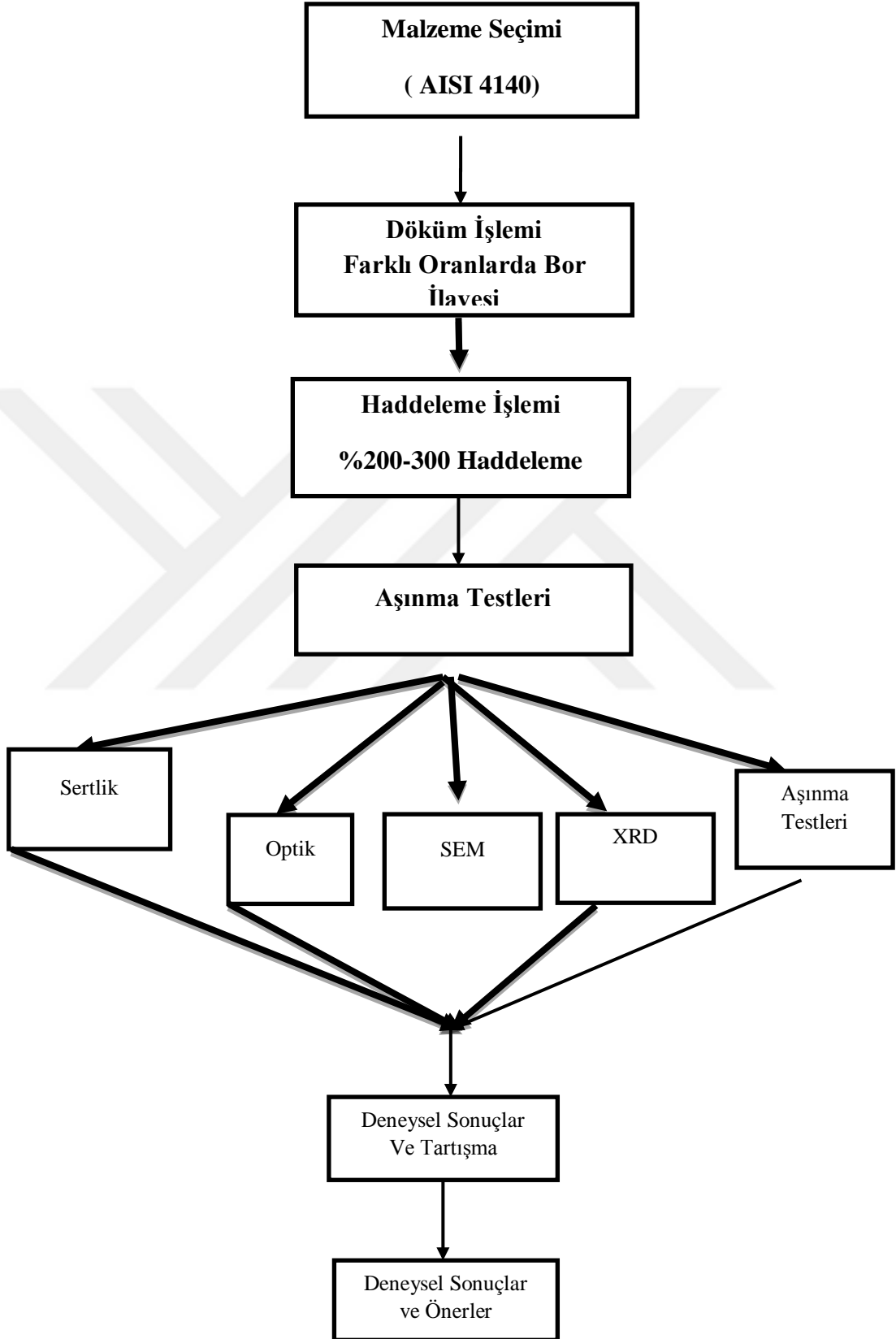
Deneysel çalışmalar için ülkemizde en çok kullanılan AISI 4140 çeliği tercih edilmiştir. AISI 4140 çeliği genel olarak düşük alaşıma sahip olup, Cr-Mo'li çelikler en geniş kullanım alanına sahip oldukları için, çelik çeşidi olarak krom- molibden içerikli olarak bilinirler. 4100 serisi çeliği, düşük alaşımlı yapı çelikleri, dövme kalite çelikler, orta karbonlu çelik ve alaşımlı çelik olarak da isimlendirilir. Kullanım alanları arasında, otomobil ve uçak yapımı, krank mili, aks mili ve kovana, yivli mil ve benzeri sünekliği yüksek parçalar, ayrıca dişli çark ve bandaj vb. parçaları sayabiliriz. AISI 4140 sürtünmeye, çatlama ve darbeye karşı oldukça dayanıklı bir çeliktir. AISI 4140 kimyasal bileşiminde 0,80 Mn, 0,0035 Pmax, 0,0035 Smax bulunan bu çelik özellikle makine ve otomotiv sanayisinin vazgeçilmez bir üretim hammaddesidir. Otomobillerin özellikle de motor aksamında bulunan bazı parçalar AISI 4140 çelikten imal edilir. Krank mili ve krank kolları AISI 4140 çelikten imal edilir. Aynı zamanda sürekli çalışan parçalardan aks mili ve kovana da yine bu çelik türünden imal edilir.

Serpa Döküm A.Ş./İstanbul'da borsuz ve 5 farklı borlu çelik dökülmüş ve bunların aşınma testleri ve sonrası karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen AISI 4140'ın bileşimlerinin analizi Tablo 6.1.'de görülmektedir.

Tablo 6.1. Asil Çelik A.Ş./Bursa tarafından verilen numunenin % ağırlık olarak kimyasal analizi

Malzeme	Kodu	(Carbon)	(Si)	(Mn)	(P)	(S)	(Ti)	(Al)	(B)	(Cr)	(Mo)
4140	11	0,44	0,18 2	0,83 8	0,01 3	0,00 7	0,027 9	0,066 2	0,000 2	0,8 8	0,16 2
4140	12	0,44	0,18 6	0,84 6	0,01 5	0,00 9	0,025 2	0,068 2	0,001 1	0,8 9	0,17 5
4140	13	0,44	0,18 2	0,82 2	0,01 4	0,00 7	0,021 2	0,071 2	0,001 7	0,8 8	0,16 3
4140	14	0,44	0,17 3	0,79 6	0,01 1	0,00 4	0,019 6	0,062 3	0,002 6	0,8 6	0,16 4
4140	15	0,45	0,17 2	0,79 2	0,01 4	0,00 7	0,017 3	0,063 2	0,003 2	0,8 7	0,16 8
4140	16	0,44	0,15 6	0,76 5	0,01 3	0,00 7	0,014 2	0,046 3	0,003 8	0,8 8	0,17 1

Tez süresince yapılan (deneysel) çalışmaların sıra akışı Şekil 6.1. de verilmektedir.



Şekil 6.1 Deneysel çalışma sistematığının şematik gösterimi

6.2. Mikroyapı İncelemesi

6.2.1. Optik mikroskop ile inceleme

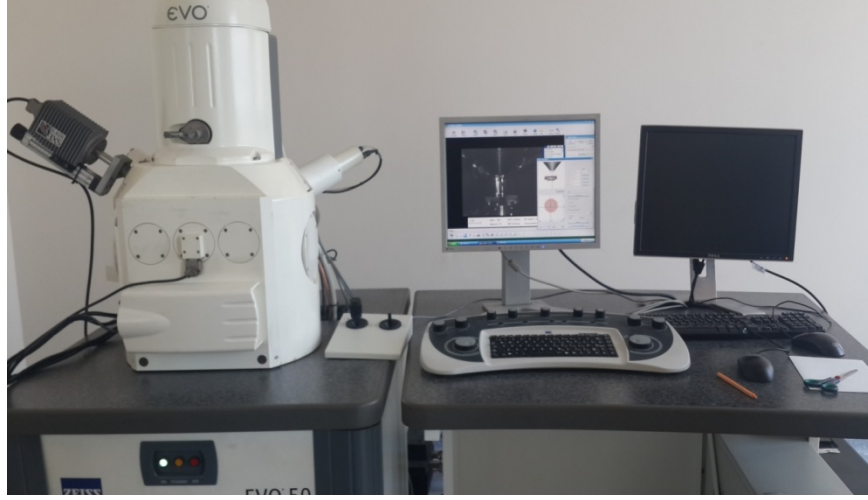
Optik mikroskop incelemeleri Harran Üniversitesi'nin Malzeme ve Makine Laboratuvarları'nda yapılmıştır. Aşınma sonrası numuneler alkolle temizlendikten sonra KOZO XJM 200 markalı cihazda aşınma izlerinin optik fotoğrafları çekilmiştir(Şekil 6.2.).



Şekil 6.2 Optik görüntülerin alındığı ters metal mikroskobu.

6.2.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile inceleme

Optik mikroskopla tespit edilemeyen aşınma detaylarını belirlemek için SEM kullanılmıştır. Optik mikroskopta inceleme için hazırlanarak kullanılmış numunelerin ikincil elektron yöntemi ile SEM mikroyapı görüntüleri, Harran Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan ZEİSS EVO 50 markalı cihazda elde edilmiştir.



Şekil 6.3 SEM görüntülerin alındığı mikroskop.

6.3. Mekanik Testler

6.3.1. Sertlik deneyi

Mikroyapı fotoğrafları çekilen numuneler üzerinde Harran Üniversitesi Malzeme ve Makine Laboratuvarları'nda AOB Lab markalı mikro Vickers sertlik cihazında 1kg yük 10sn uygulanarak 5 farklı bölgelerden sertlik ölçümleri yapılmış ve bunların ortalamaları sonuç olarak değerlendirilmiştir(Şekil 6.4.).



Şekil 6.4 Mikro sertliklerin alındığı sertlik cihazı.

6.4. XRD Deneyleri

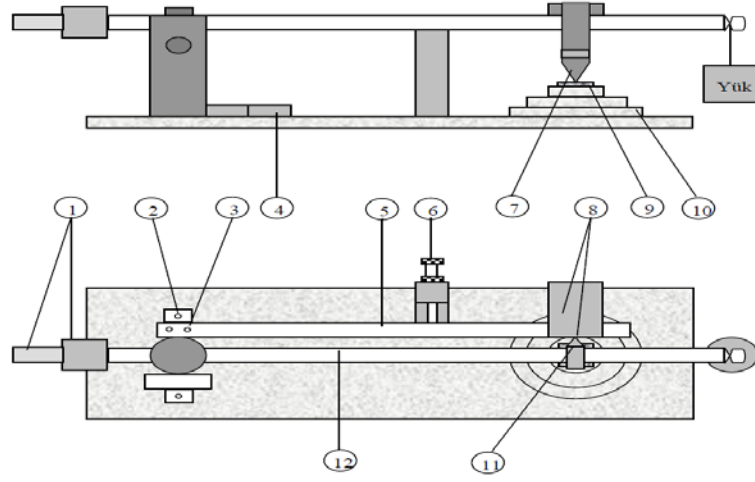
XRD çalışmalarıyla malzeme içerisindeki oluşan faz dağılımını tespit ederek aşınma da meydana gelen durumun yorumlanmasında değerlendirilmiştir. XRD çalışmaları Harran Üniversitesi Merkezi Laboratuvarındaki Ultima II cihazında yapılmıştır(Şekil 6.5).



Şekil 6.5 XRD çalışmalarının yapıldığı cihaz.

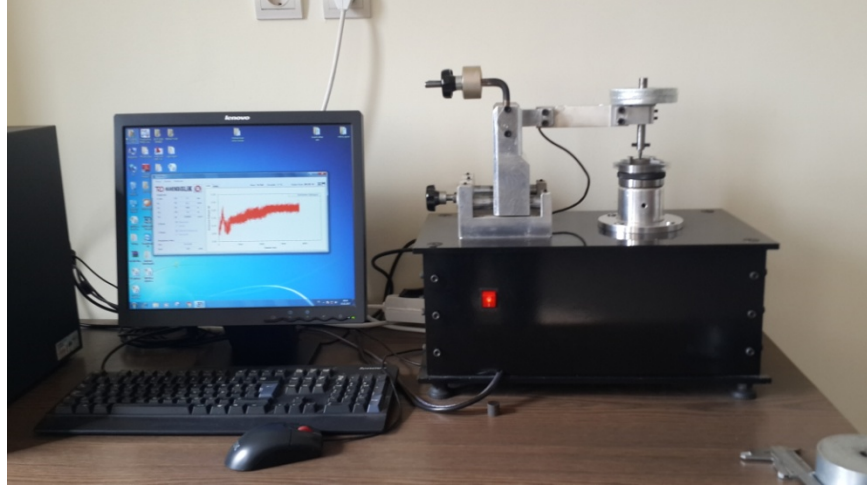
6.5. Aşınma Deneyleri

Farklı oranda bor ilave edilmiş AISI 4140 çeliğindeki farklı borun tribolojik özelliklerini belirlemek için Şekil 6.6'da şematik olarak gösterilen pın on disk aşınma analiz cihazları kullanıldı.



Şekil 6.6 PİN ON DİSK şematik aşınma cihazı

Aşınma deneyi için numune boyutları 25 mm çapında ve 5 mm kalınlığında kesildi (Şekil 6.8). Aşındırıcı karşı eleman olarak ise, yüksek hız çeliğinden yapılmış 8 mm çapında bir pin kullanıldı. Aşınma deneyleri 0,2 m/sn kayma hızında, 1000 m kayma mesafesinde 10 N yük uygulanarak kuru sürtünme şartlarında gerçekleştirildi. Deneyde kullanılan Pin-on-disk aşınma cihazı aşağıda Şekil 6.7,de gösterilmiştir.



Şekil 6.7 Aşınma deneyinde kullanılan Pin-on-disk aşınma cihazı.



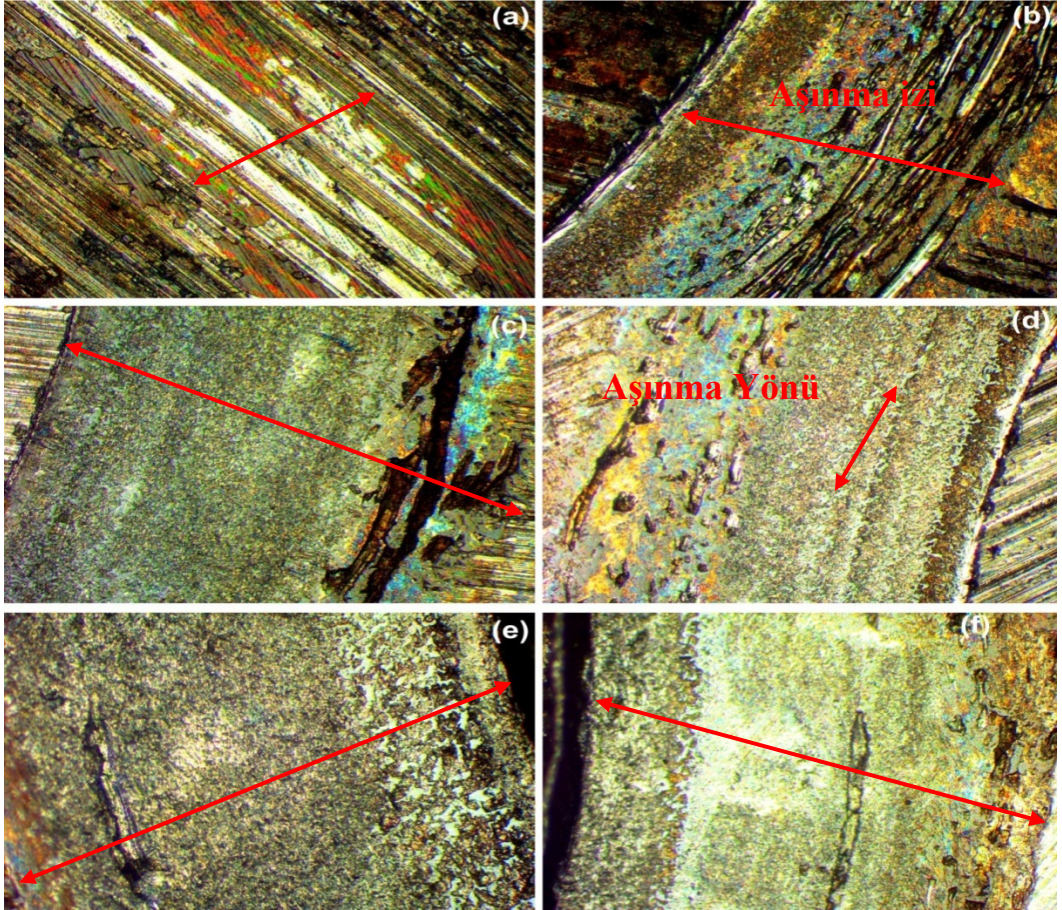
Şekil 6.8 AISI 4140 çeliğinden hazırlanan 25x5 mm çapında aşınma deney numuneleri.

BÖLÜM 7

7. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

7.1. Optik Mikroskop İncelemeleri

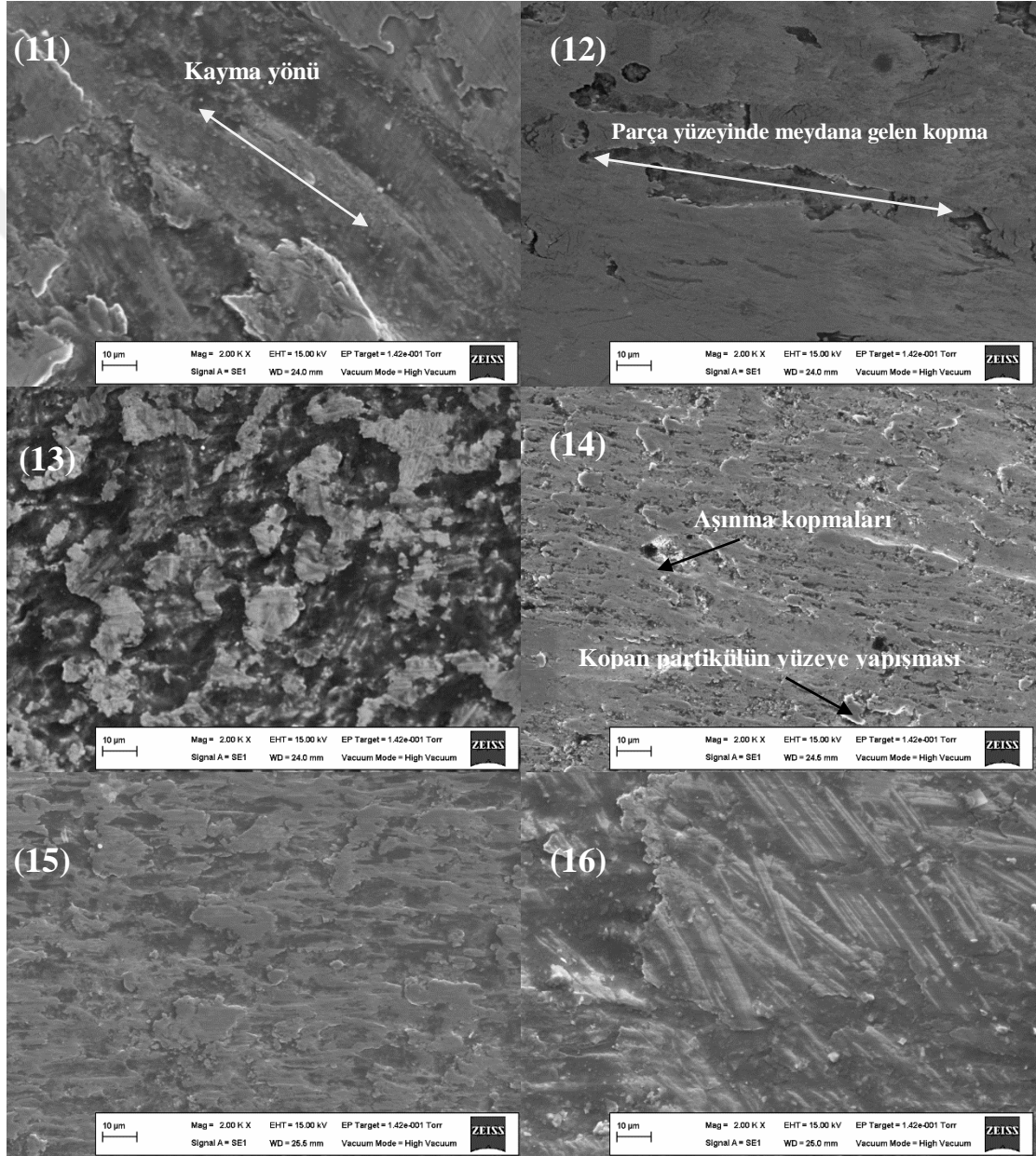
Aşınma deneyleri sonrasında borsuz ve farklı oranlardaki AISI 4140 çeliğinin 10 N yük altında aşınma sonrası elde edilen aşınma izlerinin optik görüntüleri şekil 7.1'de verilmektedir. Şekil 7.1'den anlaşılacağı gibi aşınma izleri ve aşınma sonucunda numuneden parça kopmaları görülebilmektedir. Daha çok aşınma mekanizması olarak adhesiv aşınmanın meydana geldiği görülmektedir. Adhesiv aşınmadan ötürü kopan partiküllerin parça yüzeyine yapıştığı görülmüştür.



Şekil 7.1 AISI 4140 çeliğine aşınma testlerinde 10 N yük uygulanarak elde edilen optik fotoğraflar (a) 2 ppm, b) 11 ppm, c) 17 ppm, d) 27 ppm, e) 32 ppm, f) 38 ppm).

7.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) inceleme

Aşınma deneyleri sonrasında borsuz ve farklı oranlardaki AISI 4140 çeliğinin 10 N yük altında aşınma sonrası elde edilen aşınma izlerinin SEM görüntüleri Şekil 7.2’de verilmektedir. Şekil 7.2. ‘de verilen SEM görüntüleri optik görüntülerden alınan sonuçların benzerlerini taşımaktadır.



Şekil 7.2 AISI 4140 çeliğin aşınma yüzeylerinin SEM resimleri.

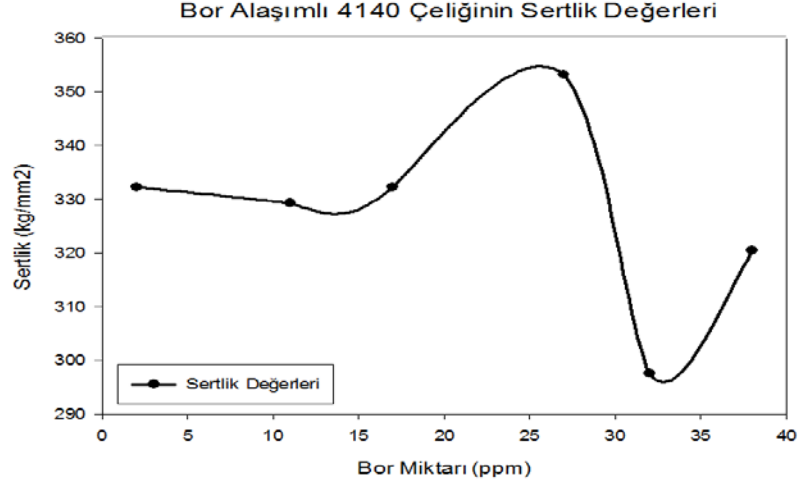
Aşınma sonrası Şekil 7.2. de SEM resimlerinden anlaşıldığı üzere partikül kayıplarının ve numune kopma derinlerini net bir şekilde görülmektedir.

7.3. Sertlik deney sonuçları ve tartışma

Döküm ve haddeleme sonrası elde edilen borsuz ve farklı oranlardaki AISI 4140 çeliğinin sertlik değerleri Tablo 7.1’de ve sertlik değişim grafiği ise Şekil 7.3. ‘de verilmektedir. Şekil 7.3.’de verilen sertlik grafiğinde optimum bor içeren değerlerde sertliğin arttığı gözükmemektedir. Optik görüntülerde bor oranı arttıkça aşınma sonucunda numune kaybının arttığı görülmüştür. Buradaki optimum değerlerde sertliğin artması ile birlikte aşınma sonucunda numune kaybının azalması gerekirken arttığı görülmüştür. Bunun olası nedeni mikrosertlik ölçümü yapıldığından perlit fazına yoğunlukla denk geldiği düşünülmektedir.

Tablo 7.1 Farklı oranlarda bor içeren AISI 4140 çeliğinin sertlik değerleri

Numune No	Sertlik (kg/mm ²) HV5
11	332,31
12	329,32
13	332,22
14	353,22
15	297,56
16	320,42

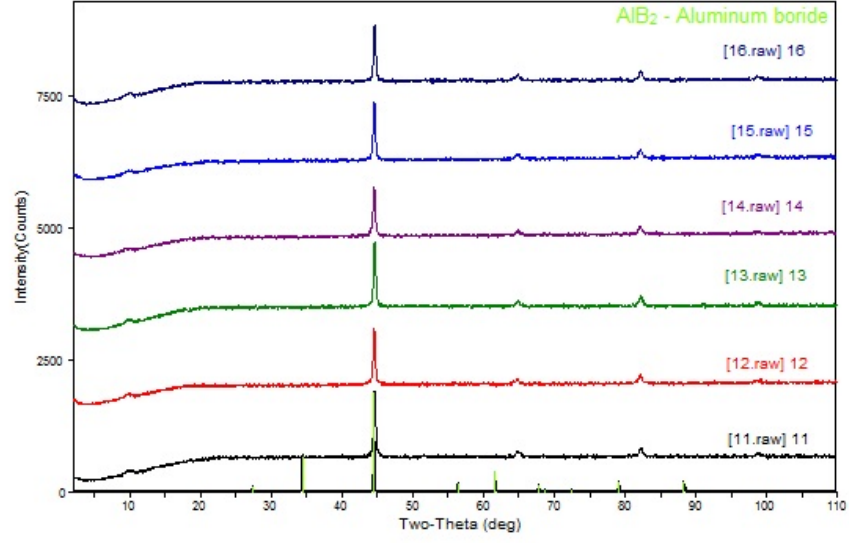


Şekil 7.3 Farklı oranlarda bor içeren AISI 4140 çeliğın sertlik sonuçları.

Literatürde optimum değerlerde sertliğin arttığı görülmektedir. Sertlik sonuçları ile literatür uyumlu gözükmemektedir. Fakat aşınma sonrası numune kaybının optimum oranlarda da farklı bir durum sergilememesi tartışılması gereken bir durum olarak ortaya çıkmıştır.

7.4. XRD Deney Sonuçları ve Tartışma

Aşınma deneyleri sonrasında borsuz ve farklı oranlardaki AISI 4140 çeliğinin 10 N yük altında aşınma sonrası yapılan XRD analiz sonucu Şekil 7.4’da verilmektedir. Şekil 7.4. ‘da verilen XRD sonuçlarında yapı içerisinde AlB_2 ve $Fe_{24}N_{10}$ bileşikleri gözlenmiştir. $Fe_{24}N_{10}$ bileşikler malzemenin tamamında görülmekte iken, AlB_2 bileşiği borlu malzemelerde görülmüş ve bu bileşiğin efektif bor etkisini azaltarak sünekliği artırdığı düşünülmektedir. Bu süneklikteki düşüş borlu çeliğın efektif bor etkisini azalttığından dolayı aşınma değerlerinde borsuz çeliğe göre daha fazla aşınma ortaya çıkardığı düşünülmektedir.



Şekil 7.4 Farklı oranlarda bor içeren AISI 4140 çeliğin XRD sonuçları.

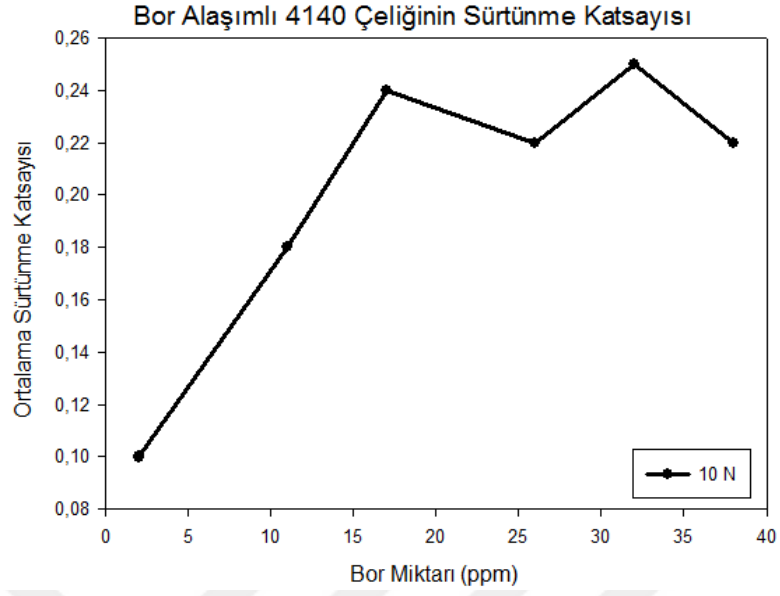
7.5. Aşınma Deney Sonuçları ve Tartışma

Borsuz ve farklı oranlardaki AISI 4140 çeliğinin 10 N yük altında aşınma sonrası elde edilen ortalama sürtünme katsayısı ve aşınma miktarları Tablo 7.2. de verilmektedir. Ortalama sürtünme katsayısı ve aşınma miktarı değerleri bor oranına göre farklılıklar göstermektedir. Genel olarak aşınma deney sonuçları bor miktarı arttıkça AISI 4140 çeliğinin sürtünme katsayısında bir azalma meydana getirmiştir. Aşınma miktarında ise aksine bir artış meydana gelmiştir. Çeliğin tane sınırlarında sert Fe_2B fazlarının çökmesi aşınma miktarındaki artışa neden olduğu düşünülmektedir.

Tablo 7.2. Farklı oranlarda bor içeren AISI 4140 çeliğın ortalama sürtünme katsayısı ve aşınma miktarları.

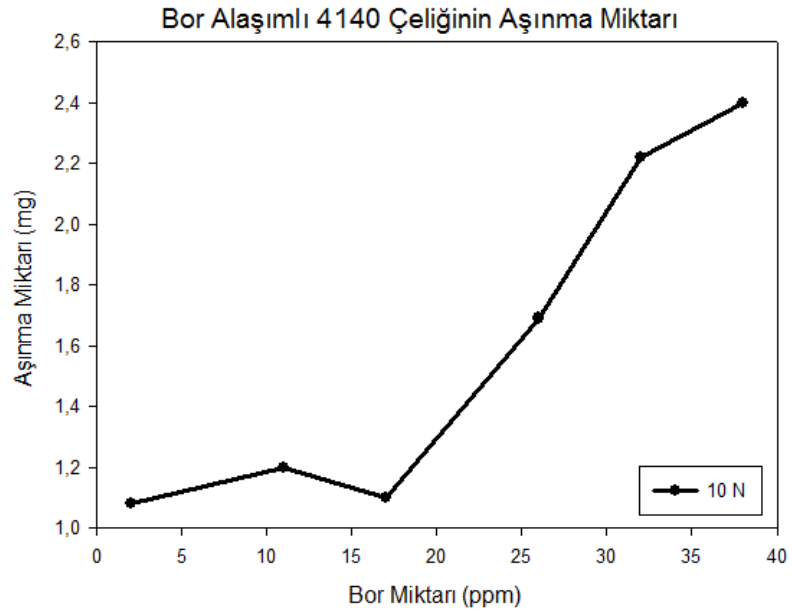
Numune	Ortalama Sürtünme Katsayısı	Aşınma Miktarı (mg)
	10N	10N
11	0,10	1,08
12	0,18	1,2
13	0,24	1,10
14	0,22	1,69
15	0,25	2,22
16	0,22	2,40

Aşınma testleri sonucunda ortalama sürtünme katsayısı ve aşınma miktarlarının grafiğı Şekil 7.5 de verilmektedir. Şekil 7.5. de ortalama sürtünme katsayı ve aşınma miktarları grafiğı gösterilmiştir.



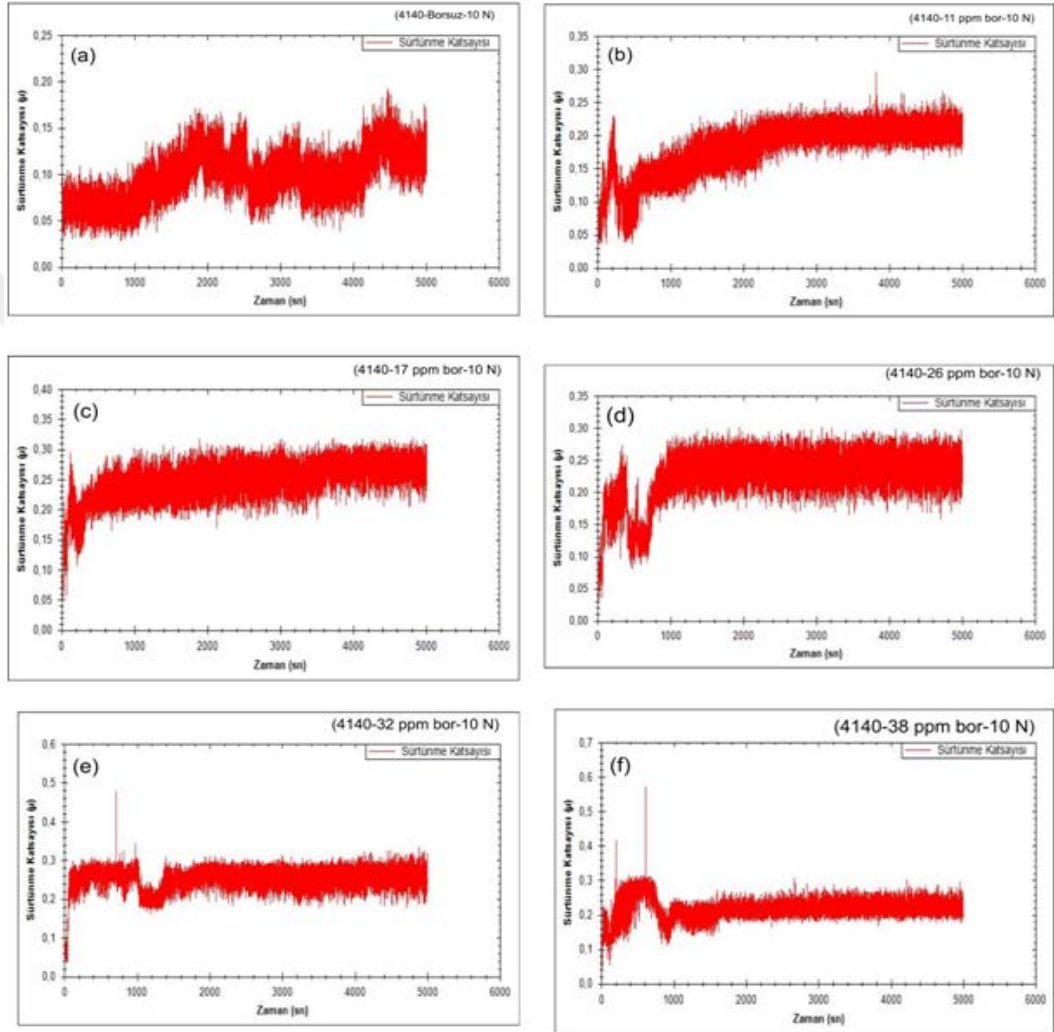
Şekil 7.5 Farklı oranlarda bor içeren AISI 4140 çeliğın 10 N yükte oluşın ortalama sürtünme katsayısındaki değişim.

Borsuz ve farklı oranlardaki AISI 4140 çeliğinin 10 N yük altında aşınma sonrası elde edilen sürtünme katsayısının zamana bağlı olarak değişimi Şekil 7.7. de verilmektedir.Şekil 7.6. da ise aşınma miktarının bor oranına göre grafiği verilmektedir.



Şekil 7.6 Farklı oranlarda bor içeren AISI 4140 çeliğın 10 N yükte aşınma miktarları.

Şekil 7,7'den görüldüğü gibi bor katkı miktarı artıkça çeliğin sürtünme katsayısında bir azalmaya neden olmuştur. Sürtünme katsayısındaki azalma borlu çeliklerde oluşan, AlB_2 fazı ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 7.7. AISI 4140 çeliğin 10 N yük altında aşınma deneyi sonrası sürtünme katsayıları;(a) Borsuz AISI 4140, b) 11 ppm, c) 17 ppm, d) 27 ppm, e) 32 ppm, f) 38 ppm).

8. SONUÇLAR

- Borsuz ve farklı oranlardaki AISI 4140 çeliğinin 10 N yük altında aşınma sonrası elde edilen aşınma izlerinin optik görüntülerinden ve SEM görüntülerinden aşınmanın adhesiv mekanizmayla meydana geldiği görülmüştür.
- Aşınma sonrası SEM görüntülerinde partikül kayıpları ve numune kopma derinlerini net bir şekilde görülmüştür.
- AISI 4140 çeliğinin sürtünme katsayısında bor ilavesi ile bir azalma meydana gelmiştir.
- AISI 4140 çeliğine ilave edilen bor miktarı arttıkça aşınma miktarında bir artış olmuştur.
- Bor oranı optimum oranlarda (32 ppm bor içeren) sertlik değerlerinde bir artış gözlenmiştir.
- Aşınma deneyleri sonrasında borsuz ve farklı oranlardaki AISI 4140 çeliğinin 10 N yük altında aşınma sonrası yapılan XRD analiz sonucu yapı içerisinde AlB_2 ve $Fe_{24}N_{10}$ bileşikleri gözlenmiştir. $Fe_{24}N_{10}$ bileşikleri malzemenin tamamında görülmekte iken, AlB_2 bileşiği borlu malzemelerde görülmüş ve bu bileşiğin efektif bor etkisini azaltarak sünekliği artırdığı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. DPT , Devlet Planlama Teşkilatı “Bor Mineralleri”, Eylül 1995
2. Kimya Müh. Odası, “Bor Madenlerinin Mevcut Durumu Gelişmeler Görüş ve Öneriler”. *Kimya Mühendisliği Dergisi. Sayı:160/161, 4-11*, Ankara.2001.
3. Adem, T., “ Borlamanın Paslanmaz Çeliğin Radyasyon ZırhlamaÖzellğine Etkisinin Araştırılması ” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi YüksekLisans Tezi* , 2008
4. Adnan, Y. , Eti Maden , “Enerji Tasarrufunda Bor ve Perlit” *Baudis U., Fichte R.*, 1995.
5. Bayça, S., Şahin, S., “Borlama. Mühendis ve Makine Dergisi”, Sayı 532, 2004.
6. Mühendis ve Makine Dergisi, Sayı 512 Karaman, Y., “Endüstriyel Borlama ve Tekstil Endüstrisinde Bir Uygulama”, *S.D.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 121s, Isparta. , 2003.
7. İsmail, H. A., “Türkiye’de ve Dünya’da Bor” , *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği*, Yüksek Lisans Tezi. , 1997.
8. Bekteş, M., “Fe-Mn İkili Alaşımlarının Mekanik Özellikleri Üzerine Borlamanın Etkisi”., *Süleyman Demirel Üniversitesi, Doktora Tezi*, 79s, Isparta. 2010.
9. M., Çalık, A., Uçar, N., “Fe-Mn İkili Alaşımlarının Mekanik Özellikleri Üzerine Borlamanın Etkileri”., *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14-2(2010),120-123, Isparta., 2010.
10. Berzina I.G., Gusev E.B., Fedina G.N., Fedin V.M., “Investigation of Boron Diffusion During Boronizing of Engineering Steel”, *45. Phys. Met. Metall*, 57 (5), 81-84., 1984.
11. BOREN Araştırma Merkezi “Bor ve Kullanım Alanları”, www.boren.gov.tr
12. Çinkı, M.M., “Ulusal Maden Varlığımız ve Bor Gerçeği”. *Ankara Ticaret Odası Yayınları*, 196s. Ankara., 2001.
13. Ediz N., Özdağ H., “Bor Mineralleri ve Ekonomisi”. *D.P.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 133-149, Kütahya. 2001.
14. ETİ MADEN “Bor Nerelerde Kullanılır ?” , www.etimaden.gov.tr
15. Özsoy, A., “Borlama ile İlgili Genel Bir Değerlendirme”, *Endüstriyel Yüzey Teknolojileri Dergisi*, Sayı22, 10-13, 2001.

16. Demirci, H., “Mühendislik Malzemeleri”. *Aktüel Yayınları, Motif Matbaacılık*, 252s. İstanbul. 2004.
17. Savaşkan, T., “Malzeme Bilgisi ve Muayenesi”. *Derya Kitabevi, Beta Basım*, 284s. Trabzon., 1999.
18. Sivrioğlu İ., “Bor Mineralleri ve Bor Bileşikleri Üretiminde Etibank’ın Çalışmaları ve İleriye Dönük Planları”. *Bor Bileşikleri Üretim Teknolojileri Araştırmaları Danışma Toplantısı, TÜBİTAK-MAM, 9s, Gebze. 1996.*
19. TUBİTAK – MAM “Borun Kullanım alanları” , www.mam.gov.tr
20. Çalık, A., “Türkiye’nin Bor Madenleri ve Özellikleri”. *Mühendis ve Makine Dergisi, Sayı 508, Ankara., 2002.*
21. Charre, M. D., “Microstructure of steel and cast irons,” (*Trans. J.H. Davidson*), *Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York*, 417 s. 2004.
22. Bekteş, M., “Fe-Mn Alaşımlarının Mikrosertlik Ölçümleri”. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 44s, Isparta., 2004.*
23. Kunc R., and Prebil I., “Low-cycle fatigue properties of steel 42CrMo4”, *Materials Science and Engineering A, Volume 345, Issues 1-2, Pages 278- 285 2003.*
24. Tekin, E., “Mühendisler İçin Çelik Seçimi”, *MMO Yayın No, 119, 285 s. 1992.*
25. Unterweiser, P. M., Boyer, Howard E. James J. Kubbs, ed. Heat treater's guide: “standard practices and procedures for steel”. *American Society for Metals: Metals Park, Ohio. 1982*
26. Bourithis L. Papaefthymiou, S. Papadimitriou G D., “Plasma Transferred Arc Boriding of a Low Carbon Steel”, : Microstructure and Wear Properties , *Applied Surface Science*, 200, 203–218, (2002).
27. Çetin, M., “Borlanmış Hadfield Çeliklerin Aşınma Dayanımının İncelenmesi”. *Metallurji ve Malzeme Mühendisliği, Sakarya. 2003.*
28. Duman, M.Ş., “Kompozit Malzemelerdeki Aşınmanın İncelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi., 1999.*
29. Iakovou, R., Bourithis L., Papadimitriou G., “Synthesis of Boride Coatings on Steel Using Plasma Transferred Arc (PTA)” *Process and its Wear Performance, Wear, 252, (2002)*
30. Kayalı E.S. ‘aşınma ve kaplı takımların aşınması’ *İ:T:Ü: Kimya-Metalurji Müh.Bölümü 8 Kasım, İstanbul., 1995.*

31. Kayalı E.Sabri. “ sürtünme ve aşınma “, *Workshop on Coatings, Tübitak*, 24–25 Kasım ,Gebze., 1993.
32. M.Ş., “Kompozit Maizemelerdeki Aşınmanın İncelenmesi”, *Yüksek Lisans Çimenoglu*, 1999.
33. H.Kayalı E.S. , “Kobalt Esaslı Alaşımların Aşınma Özellikleri”, *4. Denizli malzeme sempozyumu.*, 1991.
34. Muratoğlu, M. “SiC Katkılı 2124 Al Kompoziti ve Yaşlandırılmış Kompozitin Aşınma Davranışının Araştırılması”, *Doktor Tezi.*, ELAZIĞ, 1997
35. Tayanc, M., Toktaş, A., “ SAE 4140 Çeliğinin İslahında Menevişleme Sıcaklığının İç Yapı ve Süneklik Üzerine Etkisinin İncelenmesi”, *Kalıp Dünyası*, Yıl, 3, Sayı, 15 2002.
36. Şen, U., Bindal, C., Yılmaz, F., “Çeşitli Yenileme İşlemlerine Uğratılan SAE 4140 Tank Palet Çeliklerinin Özellikleri”, 6. *Denizli Malzeme Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 70-75 s. 1995.
37. Ulutan M., “ C-4140 Çeliğinin Yüzey Sertleştirme İşlemleri ve Kaplama Yöntemleri Sonrası Mekanik Davranışlarının Araştırılması ”, *Doktora Tezi*, *Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir. 2007.
38. Nair, F., Karamış, M.B., “Endüstriyel Uygulamalarda Borlanmış Çeliklerin Aşınma Davranışının İncelenmesi”, 7. *Denizli Malzeme Sempozyumu*, 2-3-4 Nisan, Çamlık-Denizli, 354-360, 1997.
39. Meyrick, G., “Steel class notes and lecture material for MSE” 651.01-*Physical Metallurgy of Steel*, 111, 174 s. 2001.”
40. Nair F., Karamış M.B., Taşdemirci A., “Endüstriyel Uygulamalarda Borlanmış Çeliklerin Aşınma Davranışının İncelenmesi”, 8. *Denizli Malzeme Sempozyumu*, 334-343, Denizli., 2000.
41. Uzun, H.A., “ Borlama ile Yüzeyi Sertleştirilmiş Çeliklerin Aşınma ve Korozyona Karşı Dayanımları” , S.D.Ü., *Fen Bilimleri Enstitüsü*, *Yüksek Lisans Tezi*, 75s, Isparta, 2002.
42. Yünker, U., “Borlanmış Çeliklerin Aşınma Davranışlarının Belirlenmesi”. , *Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, *Yüksek Lisans Tezi*, 161s, Manisa. 2000.
43. Özsoy, A., “Çeliğin Borlanmasında Borür Tabakası, Geçiş Zonu ve Anamatrisin Özelliklerinin İncelenmesi”, *Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, *Doktora Tezi*, 101s, Eskişehir. 1991.

44. Shackelford, J. F. and Alexander, W., (Editor), “CRC materials science and engineering handbook-3rd ed”.*, CRC Press LLC,(pdf form), 1714 s. 2001.*
45. Yılmaz, S.S., Ünlü, S.B., Varol, R., “Borlamanın Demir Esaslı Malzemelerde Yorulma Davranışına Etkisi ”. *Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, 3.1 (2007) 3 1, Manisa 2007..*
46. Çalık A., Özsoy A., “Termal Çevirimli Borlama İşleminin Ç1010 Çeliğine Etkileri”. *11. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi, Bildiriler Kitabı, 1281– 1288, İstanbul. 2002.*
47. Çalık, A., Delikanlı, K., Uzun A., Ç 1035, “Çeliğin Borlama Özelliklerinin İncelenmesi”., *II. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir., 2004.*
48. Özmen Y., Çetincan A., “Borlamanın Çeliklerde Aşınma Dayanımına Etkisi”., *5. Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, 583-591, Ankara. 1992.*
49. Taşcı A., “Borlanmış Çeliklerin Aşınma ve Korozyon Dayanımları”., *Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü,Y.Lisans Tezi, 45s, İstanbul., 1993.*

ÖZGEÇMİŞ

Mohammad Amin ARMAN 1990 yılında Afganistanın Faryab şehrinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini liseyi Fayab'da tamamladı. 2008'de LYS sınavında katıldıktan sonra Belh Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Kimya Teknolojisi Bölümünde hak kazandı 2013 yılında üniversiteden mezun oldu. 2014 yılın ağustos ayında Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesinde TÖMER'E başladı 2015 yılında Üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Ana Bilim Dalında Yüksek Lisansa başladı. 2017 yılında yüksek lisansını tamamlayıp hak kazandı. Hala evlanmadı gelecekte Afganistan'nin üniversitelerinde akademisyen olmayı düşünüyor.

Adres: 2000 Evler Mahallesi Toki 3. Etap Rafik BAŞARAN caddesi D 12 blok
8.daire – Nevşehir Türkiye

Telefon: 00905536800445

Belgegeçer:

e-posta : armanbekoghli@gmail.com