

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

**AISI 304 PASLANMAZ ÇELİĞE İLAVE EDİLMİŞ BORUN
MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE
ETKİSİ**

**Tezi Hazırlayan
Resul SOLAK**

**Tezi Yöneten
Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA**

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

**EYLÜL,2018
NEVŞEHİR**

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

**AISI 304 PASLANMAZ ÇELİĞE İLAVE EDİLMİŞ BORUN
MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE
ETKİSİ**

**Tezi Hazırlayan
Resul SOLAK**

**Tezi Yöneten
Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA**

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

**EYLÜL, 2018
NEVŞEHİR**

KABUL ONAY SAYFASI

Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA danışmanlığında Resul SOLAK tarafından hazırlanan " **304 PASLANMAZ ÇELİĞE İLAVE EDİLMİŞ BORUN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİ**" başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji-Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

07/09/2018

JÜRİ

Başkan : Prof. Dr. Bülent KURT



Üye : Dr.Öğr.Üyesi Soner SAVAŞ



Üye : Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA



ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 12/09/2018 tarih ve 37-301 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

12.9.2018
Prof. Dr. Şahlan ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü



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.


Resul SOLAK

TEŐEKKÖR

Her zaman ender bilgilerini ve tecrübelerini benden esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA' ya teŐekkÖrÖ borç bilirim.

Tez çalışmasında her zaman destek veren sayın hocam Prof. Dr. BÖlent KURT' a teŐekkÖr Öderim.

Aynı zamanda YÖksek MetalÖrji ve Malzeme MÖhendisi Yusuf KARACA' ya yardımları için teŐekkÖr Öderim.



AISI 304 PASLANMAZ ÇELİĞE FARKLI ORANDA İLAVE EDİLMİŞ BORUN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLER ÜZERİNE ETKİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Resul SOLAK

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Eylül, 2018

ÖZET

Bu çalışmada; mutfak eşyaları, evyeller, ev aletleri, endüstriyel mutfaklar, kimya ve petro kimya sektörü, gıda sektörü, otomotiv sanayi, eşanjör ve boyler üretimi gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılan AISI 304 paslanmaz çeliğine farklı oranlarda bor ilave edilmiş numuneler üzerinde çalışılmıştır. Vakumsuz indüksiyon ocağında farklı oranlarda ilave edilmiş borlu 304 paslanmaz çelik numunelerin (9 ppm, 13 ppm, 16 ppm, 22 ppm, 48 ppm ve 63 ppm) mikroyapı ve sertlik değerleri incelenmiştir. Mikro alaşım bor ilavesiyle birlikte numunelerin sertlik değerleri, ilave edilen bor miktarı ile orantılı olarak yükselmiştir. Yapılan çalışmalar aynı zamanda literatür ile karşılaştırılarak tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: *304 Paslanmaz Çelik, Bor, SEM, Mikroyapı*
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA
Sayfa Adeti: 65

**EFFECT ON AISI 304 STAINLESS STEEL ADDED BORON
MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES RATES**

(M. Sc. Thesis)

Resul SOLAK

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

September, 2018

ABSTRACT

In this study; boron added samples at different ratios to AISI 304 stainless steel which is widely used in many areas such as kitchen utensils, households, household appliances, industrial kitchens, chemical and petrochemical sector, food sector, automotive industry, exchanger and boiler production. Microstructure and hardness values of boron 304 stainless steel specimens (9 ppm, 13 ppm, 16 ppm, 22 ppm, 48 ppm and 63 ppm) added at different ratios in vacuum induction furnace were investigated. The hardness values of the samples increased in proportion to the amount of boron added. Also, the studies made are discussed in comparison with the literature.

Key words: 304 Stainless Steel, Boron, SEM, Microstructure

Thesis advisor: Assoc. Prof. Dr. Cemal ÇARBOĞA

Page Number: 65

İÇİNDEKİLER

KABUL ONAY SAYFASI.....	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiv
GİRİŞ	1
BÖLÜM 1	3
BOR İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER	3
1.1. Bor ve Mineralleri	3
1.2. Bor Elementinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	3
1.3. Borun Tarihçesi	3
1.4. Bor Bileşiklerinin Genel Özellikleri	4
1.4.1. Boraks dekahidrat.....	4
1.4.2. Boraks pentahidrat.....	5
1.4.3. Susuz boraks.....	5
1.4.4. Borik asit	5
1.4.5. Borik asit (susuz borik asit).....	5

1.4.6.	Sodyum perborat	6
1.4.7.	Bor karbür	6
1.4.8.	Bor nitrit	6
1.4.9.	Bor halojenürler.....	6
1.5.	Bor ve Rezervelerinin Dünya Piyasasındaki Durumu.....	7
1.6.	Borun Genel Kullanım Alanları	7
1.6.1.	Cam elyafında kullanımı	8
1.6.2.	Borosilikat camlarda kullanımı	8
1.6.3.	Seramik alanında kullanımları	9
1.6.4.	Tarımda kullanımı	9
1.6.5.	Temizleme ve beyazlatma sanayinde kullanımı.....	10
1.6.6.	Alev geciktiriciler.....	10
1.6.7.	Cam sanayide kullanımı	10
1.6.8.	Metalürji alanında kullanımı	11
1.6.9.	Bor fiberleri	11
1.6.10.	Nükleer uygulamalarda kullanımı.....	11
1.6.11.	Enerji depolamada kullanımı	12
1.6.12.	Yakıtta kullanımı.....	12
1.6.13.	Sağlık alanında kullanımı.....	12
1.6.14.	Atık temizlemede kullanımı	12
1.6.15.	İnşaat-çimento sektöründe kullanımı	12

1.6.16.	Ahşap korumada kullanımı	13
1.6.17.	Diğer kullanım alanları.....	13
BÖLÜM 2		14
ÇELİKLER VE AISI 304 ÇELİĞİ		14
2.1.	Çelik	14
2.2.	Demir-Karbon Denge Diyagramı.....	15
2.3.	İçerdikleri Kimyasal Oranlarına Göre Çeliklerin Sınıflandırılması.....	16
2.3.1.	Karbon oranına göre çelikler.....	17
2.3.1.1.	Sade karbonlu çelik.....	17
2.3.1.2.	Orta karbonlu çelik	17
2.3.1.3.	Yüksek karbonlu çelik	18
2.3.2.	Alaşımli çelik	19
2.3.2.1.	Düşük Alaşımli Çelik.....	19
2.3.2.2.	Yüksek Alaşımli Çelikler.....	19
2.3.2.3.	Mikroalaşımli Çelikler.....	20
2.4.	İlave Edilen Alaşımların Elementlerinin Etkileri.....	20
2.4.1.	Karbon.....	20
2.4.2.	Mangan.....	20
2.4.3.	Silisyum.....	21
2.4.4.	Kükürt.....	21
2.4.5.	Fosfor	21

2.4.6.	Krom.....	21
2.4.7.	Nikel.....	22
2.4.8.	Molibden	22
2.4.9.	Vanadyum	22
2.4.10.	Wolfram	22
2.4.11.	Niobyum.....	22
2.4.12.	Titanyum	23
2.4.13.	Kobalt.....	23
2.4.14.	Alüminyum.....	23
2.4.15.	Bor.....	23
2.4.16.	Bakır	23
2.4.17.	Azot	23
2.5.	Çelik Türleri	24
2.5.1.	Kalitesiz yumuşak çelikler	24
2.5.2.	Kolay kaynak çelikleri	24
2.5.3.	Yapı çelikleri	25
2.5.4.	İmalat çelikleri.....	25
2.5.5.	İslah çelikleri	25
2.5.6.	Soğuk Çekme Yapılmış Çelik.....	26
2.5.7.	Paslanmaz çelikler.....	26
2.5.8.	Takım çelikleri	26

2.6. AISI 304 Çeliği	27
BÖLÜM 3	28
BOR İLAVESİ YAPILAN ÇELİKLER	28
3.1. Fe-B Bileşikleri	28
3.1.1. Fe-B denge diyagramı	28
3.1.2. Ferrobor	29
3.1.3. Ferroborların Çelik İmalatındaki Önemi	29
3.1.4. Efektif Borlar	30
3.1.5. Bor oksit	30
3.1.6. Bor nitrür	31
3.1.7. B ₄ C (Bor Karbür)	31
3.1.7.1. B ₄ C Yapısı	32
3.2. Borlu Çeliklerin Kullanım Alanları	32
3.3. Bor İlaveli Çeliklerin İşlenebilme ve Mekanik Özellikleri	33
BÖLÜM 4	34
ISIL İŞLEM	34
4.1. Çeliklerin Isıl İşlemi	34
4.1.1. Tavlama	34
4.1.1.1. Normalizasyon	34
4.1.1.2. Gerilme giderme	34
4.1.1.3. Yumuşatma	35

4.1.1.4.	Kaba tane tavlaması	35
4.1.1.5.	Difüzyon tavlaması	35
4.1.1.6.	Küreselleştirme	35
4.1.2.	Sertleştirme.....	35
4.1.2.1.	Isıtma	36
4.1.2.2.	Bekletme	36
4.1.2.3.	Soğutma	36
4.1.2.3.1.	Perlit kademesinde dönüşüm	37
4.1.2.3.2.	Beynit kademesinde dönüşüm	37
4.1.2.3.3.	Martenzit kademesinde dönüşüm	38
4.1.3.	İslah etme	38
4.1.3.1.	Su verme	39
4.1.3.1.1.	Su ortamında sertleştirme	39
4.1.3.1.2.	Yağ ortamında sertleştirme.....	39
4.1.3.1.3.	Tuz banyosunda sertleştirme	39
4.1.3.1.4.	Havada sertleştirme.....	39
BÖLÜM 5		40
DENEYSEL ÇALIŞMALAR		40
5.1.	Çalışma sistemi	40
5.2.	Malzeme Seçimi.....	40
5.3.	Metalografik İşlemler.....	41

5.3.1.	Numunelerin kesilmesi.....	41
5.3.2.	Bakalite alma.....	42
5.3.3.	Numunelerin zımparalanması ve parlatılması.....	42
5.3.4.	Numunelerin dağlanması.....	44
5.4.	Optik Mikroskop İşlemi	44
5.5.	SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu)	45
5.6.	Mikrosertlik testi	45
BÖLÜM 6		47
DENEYSEL SONUÇLAR		47
6.1.	Optik Mikroyapı Analiz Sonuçları.....	47
6.2.	SEM-EDS sonuçları ve tartışma	53
6.3.	Mikrosertlik sonuçları	57
BÖLÜM 7		59
SONUÇ-TARTIŞMA ve ÖNERİLER.....		59
KAYNAKLAR		60
ÖZGEÇMİŞ		64

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Bor rezervelerinin, dünya piyasasındaki durumu.....	7
Tablo 2.1. Az karbonlu çeliklerin kimyasal bileşim aralıkları.....	17
Tablo 2.2. Orta karbonlu çeliklerin kimyasal bileşim aralıkları.....	18
Tablo 2.3. Yüksek karbonlu çeliklerin kimyasal bileşim aralıkları.....	18
Tablo 2.4. Alaşım elementlerinin alt sınırı	24
Tablo 2.5. AISI 304 çeliğinin kimyasal bileşimleri.....	27
Tablo 2.6. AISI 304 çeliğinin mekanik özellikleri	27
Tablo 3.1. Bor nitrür ticari kalite sınıflandırılması.....	31
Tablo 5.1. Çalışmamızda kullanılan numunenin % ağırlık olarak kimyasal bileşimi	41
Tablo 6.3. AISI 304 çeliğinin mikrosertlik değerleri	57

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Bor ve borun ürünleri olan malzemelerin gösterim şeması	4
Şekil 1.2.	Borların tüketimleri gösteren dairesel dağılım	8
Şekil 2.1.	Demir- Karbon denge diyagramı	15
Şekil 3.1.	Demir-bor denge diyagramı	28
Şekil 3.2.	Östenitten ferrite dönüşümü esnasında tanelerde meydana gelen değişiklik	30
Şekil 4.1.	Östenitin soğuma hızına bağlı olarak yaptığı dönüşümler	37
Şekil 4.2.	Sertleştirme işlemi ile ortaya çıkan perlit yapısı	37
Şekil 4.3.	(a) İğneli ve (b) taneli beynit yapısı	38
Şekil 4.4.	Sertleştirme işlemi ile ortaya çıkan martenzit yapısı	38
Şekil 5.1.	Numunelere uygulanacak deneysel işlem süreçleri	40
Şekil 5.2.	Kesme makinesi	41
Şekil 5.3.	Kalıba (bakalite) alma makinesi	42
Şekil 5.4.	Zımparalama-parlatma cihazı	43
Şekil 5.5.	Otomatik zımpara cihazında kullanılan diskler	43
Şekil 5.6.	Optik mikroskop ve görüntü sistemi	44
Şekil 5.7.	Taramalı elektron mikroskopunun (SEM) fotoğrafı	45
Şekil 5.8.	Mikrosertlik ölçüm cihazı	46
Şekil 6.1.	9 ppm Bor içeren AISI 304 çeliğinin optik mikroyapı fotoğrafı	47
Şekil 6.2.	13 ppm Bor içeren AISI 304 çeliğinin optik mikroyapı fotoğrafı	48

Şekil 6.3.	16 ppm Bor içeren AISI 304 çeliğinin optik mikroyapı fotoğrafı	49
Şekil 6.4.	22 ppm Bor içeren AISI 304 çeliğinin optik mikroyapı fotoğrafı	50
Şekil 6.5.	48 ppm Bor içeren AISI 304 çeliğinin optik mikroyapı fotoğrafı	51
Şekil 6.6.	63 ppm Bor içeren AISI 304 çeliğinin optik mikroyapı fotoğrafı	52
Şekil 6.7.	Ağırlıkça %18 Cr- 15Ni içeren ostenitik tip paslanmaz çelikte bor elementinin çözünürlüğü	53
Şekil 6.8.	9 ppm Bor içeren numunenin SEM görüntüsü ve noktasal analizleri	53
Şekil 6.9.	İzotermal Fe-Cr-Ni üçlü denge diyagramı (750 °C)	54
Şekil 6.10.	48 ppm Bor içeren numunenin SEM görüntüsü ve noktasal analizleri	54
Şekil 6.11.	48 ppm Bor içeren numunenin SEM görüntüsü ve noktasal analizleri	55
Şekil 6.12.	48 ppm Bor içeren numunenin SEM görüntüsü ve noktasal analizleri	55
Şekil 6.13.	48 ppm Bor içeren numunenin SEM görüntüsü ve noktasal analizleri	56
Şekil 6.14.	48 ppm Bor içeren numunenin SEM görüntüsü ve noktasal analizleri	56
Şekil 6.15.	Farklı oranlarda bor içeren AISI 304 çeliğinden elde edilen mikrosertlik çizgi grafiği	57

GİRİŞ

Geçmiş tarihlerden şuan ki duruma kadar en fazla tercih edilen malzemeler arasında yer alan çelikler, bilim ve teknolojik durumların ilerlemesiyle ülkeler arasında uzay, inşaat, otomotiv, tıp, tarım alanlarında kullanılması bakımından birinci sırada yerini korumaktadır. Büyüyen ve büyümekte olan ülkenin, geçinilebilmesi ve maddi anlamda dünya sıralamasında kayda değer bir yere sahip olabilmesi için küçümsenemeyecek kadar önemli bir faktör haline gelmiştir. Günümüzde ki analizler incelenmeye alındığında çelik imalatının, bir ülkenin kalkınması ve maddi anlamda dünya piyasasında oldukça önemli bir yere sahiptir. Ülkemiz ise 2016 senesi 2015'e kıyasla dünya ülkeleri arasındaki sıralamasını 8'inci büyük ülke durumuna gelmiştir.

Türkiye, ABD, Güney Amerika ve Rusya, ticari olarak değerli bir şekilde bor ve minerallere sahiptir. Bor ülkemizde doğal kaynakların başında gelirken, sektör alanında ise kullanılabilir bir ürün haline gelmektedir. Zaman geçtikçe borların kullanımına yönelik sanayi ve akademik çalışma da artış görülmüştür. Çelik malzemesine ilave edilen borlar en büyük örnek olarak verilebilir [1].

Çelik içerisinde ki borlar minimum seviye de çözünürlüğe sahiptir. Metallere dönüşüm karakterleri ve sertleşebilme üzerine çok değerli bir öneme sahip olmasından dolayı avantaj sağlamaktadır. Metal olan malzemelere borların ve bor bileşiklerinin sağlamış oldukları yararlar; mukavemet, ısıya dayanım, iletkenlik, ısı transferi, aşınma ve korozyona dayanım, yapışma ve tutunma, manyetik geçirgenlik, elastiklik, yüzey koruma, kronolojik sıcaklığa dayanım, soğurma gibi özellik kazandırmaktadır [2].

Bor ve borlu çelik üzerine 1935 yılında deneysel çalışmalar başlamıştır. Borlu çeliklerin gelişimi, II. Dünya Savaşının başlaması ve Jominy test metodunun bulunmasından itibaren artış sağlamıştır.

Çarboğa, C., 2010 yılında yapmış olduğu doktora tez çalışmasında, kullanım alanı inşaat ve yapı çeliği olan Ç1020 çeliklerine farklı oranlarda bor ilave edilerek esas malzeme ile farklı oranda bor ilave edilmiş çeliklerin mekanik ve mikroyapı özelliklerini karşılaştırmıştır. Optimum bir ortamda gerçekleştirilmiş olan ve haddelenen borlu çeliklerin, esas olan malzemelerin mikro yapısal özellikleri, sertlik değerleri, çekme dayanımları ve çentik darbe dayanımlarını karşılaştırmıştır [3].

2014 yılında Ölmez E. Tarafından yüksek lisans tezinde döküm tekniği ile üretimi yapılan AISI 304 paslanmaz çeliklerin, malzemeye Al-5Ti-1B master alaşımı ve ferrobör ilavesi yapılarak mekanik özelliğin, mikro yapının ve aşınma davranışlarının geliştirilme amacı ile yapılmıştır. Farklı oranlarda Al-5Ti-1B master alaşımlarından ve ferrobör malzemelerinden, üretilmiş olan AISI 304 paslanmaz çeliklere ilavesi yapılmıştır. 800 °C- 900 °C ve 1000 °C'de 1 saatlik bir süre ile homojenleştirme uygulaması yapılmıştır. Elde edilen numunelerin mikroyapıları, aşınma yüzeyleri ve kırılma modları, SEM, x-ışını kırınım analizlerinde ve optik mikroskopta incelenmiştir. 1000 °C homojenleştirme işlemi yapılan ve % 0.005 bor içeren numune en sert malzeme olduğunun sonucuna varılmıştır. Bor nitürler, alaşımlı malzemeler de tespit edilmiştir [4].

Uygulama alanı ve daha fazla popüler olan borlu çelikler, normal bir fiyat ile beraberinde gelişmiş olan üretim teknolojisiyle yüksek özellikler kazandırılmıştır. Sert aşınmalara karşı dirençli malzemeler olarak düzenlenmiş olsa da bor çelikleri, günümüzde çok geniş uygulamalarda kullanılmaktadır [5,6]. Çelik türlerinin sertlik özelliklerini yükseltmenin ardından, günümüzde borun malzemelerin mekanik özelliklerine de etkisi olmaya başlamıştır [7-8-9].

Yaygın olarak kullanılmakta olan 304 östenitik paslanmaz çeliğine farklı oranlar da bor ilave edilere, detaylı bir mikroyapı ve mikrosertlik çalışması hedeflenmiştir. 304 paslanmaz çelikleri çok farklı alanlarda kullanılmaktadır. Bu alanlar; ev aletleri, mutfak eşyaları, kimya ve petro kimya sektörü, endüstriyel mutfaklar, gıda sektörü, evyeler, otomotiv sanayi, eşanjör ve boiler üretimidir. Yapılması hedeflenen bu çalışma özgün bir değere sahip olup, günümüze kadar 304 paslanmaz çelik gruplarına bor ilavesi yapılmamış olup, bunun üzerine de herhangi bir çalışma bulunamamaktadır.

BÖLÜM 1

BOR İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

1.1. Bor ve Mineralleri

Borun, atom numarası 5, atomik ağırlığı 10.81, yoğunluğu ise 2.84 gr/cm^3 'dir. Doğada serbest halde bulunmazlar, her zaman bileşik olarak bulunurlar. "B" simgesine sahip olan borlar periyodik cetvelde IIIA grubunda yer almaktadır. Ametal ve metal arasında yarı iletkenlik özellikleri gösterirler. Kaynama noktası $2550 \text{ }^\circ\text{C}$, ergime noktası $2300 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. Tahmini olarak söylenmekte olan ve yaklaşık olarak 230 çeşit yeryüzünde bor mineralleri bulunduran bir elementtir.

1.2. Bor Elementinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Bor elementleri, $800 \text{ }^\circ\text{C}$ ve daha fazla sıcaklıklarda yükseltgenerek değişik oksitler oluşturur ve oda koşullarında kararlıdır. Kaynatıldıklarında oksitlerine minimum bir şekilde dönüşerek yavaş yavaş çözünme sağlayarak, sulu ortamlarda çözünmesi söz konusu değildir. 12 mineral asitlere karşılık olarak oldukça dayanıklılık göstermektedir. Sadece nitrik asitlere karşı dayanıklılık göstermezler. Elmaslardan sonra sertlik özelliği iyi olarak bilinen kübik bor nitrürler, yüksek basınç ve yüksek sıcaklık gibi ilave şartlar istemektedir.

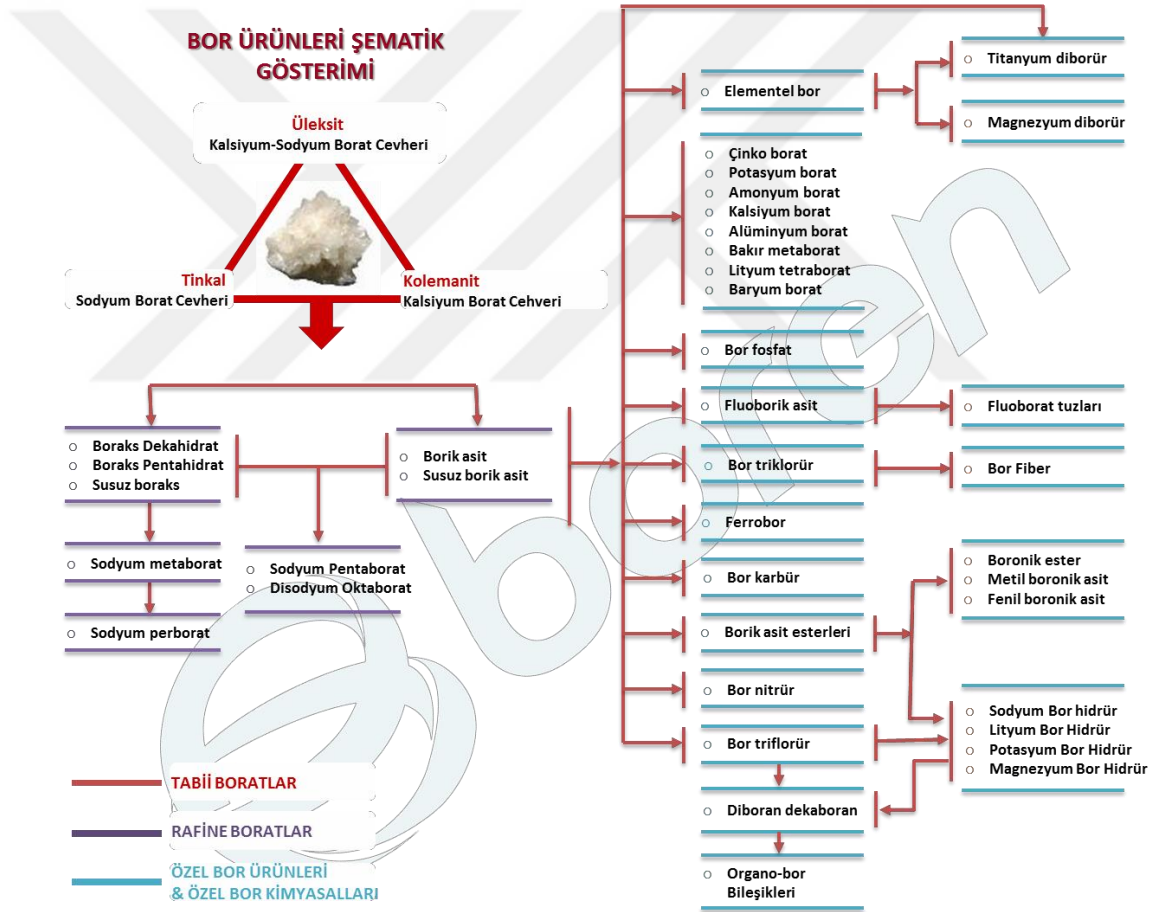
1.3. Borun Tarihçesi

Geçmiş zamanda borların mineralleri olarak ticaret amaçlı kullanılan ilk madde borakslardır. Borakslar şu açıdan dolayı tercih edilebilir. Bunlar; ölüleri mumyalayabilme ve bazı hastalıkları tedavisel yönde yaklaşım, Mezopotamya Uygarlıkları ve Mısırlılar, Babilliler değerlendirilmiş malzemeleri eritmek nedeniyle boraksı tercih etmişlerdir. Ve son olarak da Çinliler porselenleri cilalamak amacıyla boraksı tercih sebebi olmuştur. Kompleks deoksidasyon bileşik gruplarının, çelik sertleşme özelliklerine ilk olarak 1938 senesinde faydalı olduğu görülmüştür. Bu olayların tespitlerinden sonra araştırma çalışmalarını sistemli bir şekilde gerçekleştirerek, çeliklere bor ilavesi ile beraber çeliklerin sertleşme derinliklerinin ve sertlik alma güçlerinin yükseldiği ortaya atılmıştır. Ayıryetten II. Dünya savaşında Birleşik Amerika Devletinde ve Sovyet Sosyalist

Cumhuriyetlerinde çelik olan malzemelerin sertleştirme özelliklerini yükseltmek adına kullanılmış olabilecek alaşım elementlerinden tasarruf edebilmek adına yeni bor alaşımli çelik üretimi için çalışmalar başlatılmıştır [10].

1.4. Bor Bileşiklerinin Genel Özellikleri

Eskiden, günümüze kadar olan süreçlerde bor ve bor bileşikleri şuan ki teknolojimize kadar kullanılmıştır. Teknolojik tepkimeler sonucunda bor ve bileşikleri metalurji ve malzeme alanında maden değerinde olmuştur [11]. Bor ve ürünlerinin şeması Şekil 1.1. de verilmiştir.



Şekil 1.1. Bor ve borun ürünleri olan malzemelerin gösterim şeması [12]

1.4.1. Boraks dekahidrat

İlerleyen dünya piyasasında alkali metaller, boratın en değerlilerinden biri olan ve doğada tinkal minerali olarak bulunan disodyum tetraborat dekahidrat olarak da isimlendirilen

boraks dekahidrattır. Oda sıcaklığında özgül ağırlıkları 1.71, özgül olan ısı 0.385 kcal/gr°C, moleküler ağırlık 381,4 gr/mol olan boraks dekahidratların oluşum ısıları -1497.2 kcal/mol'dür. Kristak yapıları monoklinik olup renksiz ve tuzludur. Doyurulmuş boraks çözeltileri 105 °C'de kaynamaktadır.

1.4.2. Boraks pentahidrat

Boraks pentahidratların molekül ağırlıkları 291.35 gr/mol'dür. Özgül ısıları 0.316 kcal/gr°C, oluşum ısıları -1143.5 kcal/mol'dür. Doyurulmuş boraks çözeltisinin 60 °C'nin üstüne çıktığında kristallenmesi oluşmaktadır.

1.4.3. Susuz boraks

Moleküler ağırlığı 201.27 gr/mol olan disodyum tetraborat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$), meydana geliş ısıları -783.2 kcal/mol ve özgül ağırlıkları 2.3 gr/cm³ olan renksiz ve sertlikleri yüksek bir kristaldir. Ergime noktaları 741 °C'dir.

1.4.4. Borik asit

Borik asitlerin molekül ağırlıkları 61.83 gr/mol, B_2O_3 içeriği % 56.3 ve ergime noktaları 169 °C'dir. Özgül ağırlıkları 1.44, oluşum ısı -1089 kJ/mol ve çözünme ısı 22.2 kJ/mol olan kristal yapıdadır. Oda sıcaklıklarında su içerisinde ki çözünürlüğü az olmasına rağmen, sıcaklıkları arttıkça çözünürlükleri de önemli bir ölçüde artmaktadır. Sanayi alanında borik asitleri kristallendirmek için doyurulmuş olan çözeltileri 80 °C'den 40 °C'ye soğutulmalıdır. Bor mineralinden üretilmiş olan borik asitler seramik, cam ve cam yünü sanayiinde başlıca olmak üzere birçok alanda kullanılmakta olup, kullanım alanları geliştirilmiştir. Borik asitler de, genel anlamda bor minerallerinin sülfürik asit ile reaksiyona girdirilerek elde edilmektedir.

1.4.5. Borik asit (susuz borik asit)

Genellikle ticari olarak kullanılan bor oksit B_2O_3 % 1 oranında su içermektedir. Optimum sıcaklıklarda bor asitlerden sı kaybettirilerek elde edilir. Oda sıcaklıklarında higroskopiktir. Cam sanayisinde sıklıkça kullanılmaktadırlar. Borik asitlerden yüksek sıcaklıkta su buharlaşması olurken B_2O_3 kaybı yükselmektedir. Camların üretim aşamalarında, borik asitlerin yerine, bor oksitler tercih sebebi olmaktadır. Tercih sebebi olma nedeni ise, enerji

ve hammadde avantajı sağlamasıdır. Bor oksitler çeşitli porselen sırların hazırlanmasında, camlarda, ergitme işlemi ve seramik kaplama işlemlerinde kullanılır. Bu kullanım alanlarından ibaret, ayrıyeten de pek çok organik reaksiyonun katalizörü ve birçok bor bileşiminde başlangıç maddesidir.

1.4.6. Sodyum perborat

Genel anlamda Sodyum perboratlar ($\text{NaBO}_2\text{H}_2\text{O}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) tetrahidrat yapısındadır. Perboratların üretiminde % 33 civarında B_2O_3 boraks mineralleri kullanılmaktadır. Bursa Bandırma'daki Eti Bor A.Ş. Boraks ve Asit Fabrikaları İşletmeleri tarafından sodyum perborat' lar üretilmektedir. Sabun- deterjan sanayisinde ağartıcı olarak kullanılmaktadır. Katkı maddesi olarak tekstil edüstrisinde, kozmetikte, reçine, mum, tutkal ve sünger yapımında kullanılmaktadır.

1.4.7. Bor karbür

Bor- karbon sisteminde bulunmakta olan tek bileşik bor karbürdür. Granür katı olarak elde edilmektedir. 1800- 2000 °C aralığında, grafit kalıp içerisinde preslenerek masif malzeme olarak elde edilmektedir. Saf bor karbürler parlak görünüme sahip olup, ergime sıcaklıkları 2450 °C, yoğunlukları ise 2.52 gr/cm^3 'dür. Seramik içerikli zırhların yüzey yapımında, contalarda ve aşındırıcı parçalarda sıcak preslemeden elde edilmiş bor karbürler kullanılmaktadır.

1.4.8. Bor nitrit

Bor nitritler, hegzagonal bir yapıya sahiptir. Bu yapıda ise beyaz, talka benzeyen, yoğunluk değerleri 2.27 gr/cm^3 bir tozdur. Sertlikleri kübik sistemlerde daha çok ön plana çıkmaktadır. Çok iyi yalıtkanlık özelliğine sahiptir. Teorik yoğunlukları 3.45 gr/cm^3 'tür. Büyük bir kimyasal dirence sadece ergitilerek sağlarlar. Sert alaşımların işlenebilmesinde ve kesici olan malzemelerin yapımında kullanılmaktadır.

1.4.9. Bor halojenürler

Halojen grubunda yer alan; klor, flor, iyot, brom gibi elementlerin bor ile yaptıkları bileşiklerdir. %95'i bor- fiber imalatında kullanılır. Kullanılma sebebi ise, düşük

viskoziteli, ışığı kırabilen bir sıvı ve renksiz olmasıdır. Bor florür ise boğucu kokulu, yanıcı olmayan renksiz bir gazdır. Metal özelliklerine sahip olabilen B bileşikleridir. Metaller ile ya da metal oksitler ile beraber borların reaksiyon sonucunda elde edilmektedir.

1.5. Bor ve Rezervlerinin Dünya Piyasasındaki Durumu

En değerli bor yataklarının başında ülkemiz yer alırken sırayla Rusya ve A.B.D ile devam etmektedir. ABD’de bulunan, “Mojave Çölü”, Güney Amerika’da yer alan “And Kemerı”, Türkiye’nin de bulunduğu ve yer aldığı “Güney-Orta Asya Orojenik Kemerı” ticari olarak dünya bor rezervi bulundurmak olan dört bölge olarak bilinmektedir.

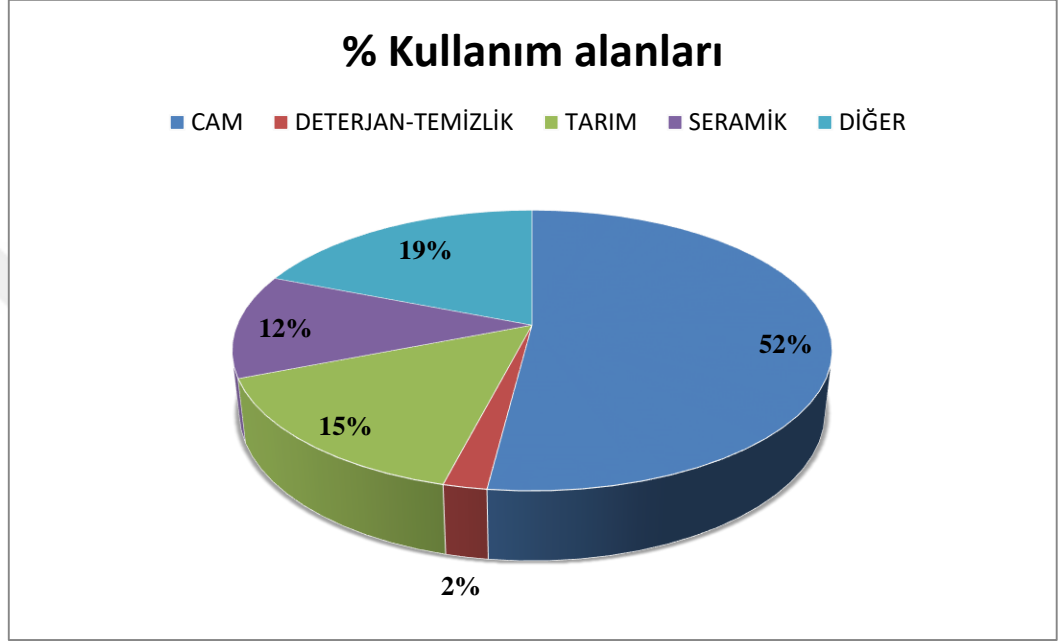
Tablo 1.1. Bor rezervlerinin, dünya piyasasındaki durumu [13]

Ülke	Toplam Rezerv (Bin ton B ₂ O ₃)	Toplam Rezerv (% B ₂ O ₃)
Türkiye	955.297	72.1
A.B.D.	80.000	6.7
Rusya	100.000	8.4
Çin	47.000	3.9
Arjantin	9.000	0.8
Bolivya	19.000	1.6
Şili	41.000	3.4
Peru	22.000	1.8
Kazakistan	-	-
Sırbistan	16.200	1.3
İran	1.000	0.0
Toplam	1.199.700	100.0

1.6. Borun Genel Kullanım Alanları

Endüstri alanlarında çeşitli malzemelerin ve ürünlerin imalatında bor mineralleri ve bileşikleri kullanılmaktadır. İnsanlık tarihi en eski çağdan başlamış olup, günümüzde bor bileşiklerinin kullanımı ve metalik malzemelerin üzerine bor kaplama işlemleri devam etmiştir. Şuan ki durumumuzda bu kullanım alanı çok daha fazla genişlemeye gitmektedir. Ayrıca 400’den daha fazla endüstri alanında uygulamalar bulunmaktadır

[14]. Milli savunma araçları, uzay ve uçak malzemesinde, yakıtlarda, elektronik ve iletişim alanlarında, nükleer uygulamasında, polimer sanayi, tarım, kimya ve deterjan sektörü, seramik ve inşaat alanlarında bor ve borlu bileşikler sıklıkla tercih halinde olan malzemelerdir. Fakat tüketilmekte olan bor ürününün % 80 civarı cam, seramik- frit, tarım ve deterjan sektörlerinde yoğunlaşmıştır.



Şekil 1.2. Borların tüketimleri gösteren dairesel dağılım [15]

1.6.1. Cam elyafında kullanımı

Yumuşaklığı, düşük maliyetlik, mükemmel gerilme dirençleri ve kimya alanında ki etkilere dayanıklılığı nedeniyle polimerlerde, lastiklerde ve kâğıtlarda yer almış olan cam elyaf, eklendiği malzeme içeriğinde dayanıklılık ve sertlikler vermektedir. Böylece sertleştirilmiş polimerler otomotivlerde, uçaklarda, çeliklerde ve diğer metallerin yerlerini doldurmaları başlamışlardır. Karayolları onarımları, trafik işareti gibi güncel kullanım alanı yapılacak araştırma işlemlerinin geniş kapsamlı olacaklarının işaretidir. Ayrıca otomotiv sektöründe borların kullanılması, paslanmaları geciktirir ve arabaları hafifletmeye giderek, yakıt tasarrufu yapmayı sağlamaktadır.

1.6.2. Borosilikat camlarda kullanımı

Borlar, camların ısıya karşı dayanımını, cam üretimi anında hızlıca erimelerini ve çok kristalli yapı oluşumlarına engel olmasını sağlarlar. Ayrıca kırılma, parlatma ve yansıtılma gibi özellikleri yükseltmektedir. Camların asitlere ve çizilmelere karşı dış

etkenlerden korumayı borlar sağlamaktadır. Tiplerine bağılı olarak camlar; cam eriyiklerinin % 0.5 ile % 0.23'ü bor oksitlerden oluşturmaktadır. Örnek vermek gerekirse Pyrex'de % 13.5 B₂O₃ bulunmaktadır. Genelleme yapıldığında camlara kolemanit, boraks ve borik asit şeklinde karışık şekilde ilavesi sağlanmaktadır.

1.6.3. Seramik alanında kullanımları

Seramik sektöründe borlar genel anlamda sırlı ve fritli alanlarda kullanılmaktadır. Sır alanında kullanılacak olan borların oksit içeriği ağırlık olarak % 8- 24 aralığındadır. Sır alanındaki borların asıl kullanılma amaçları, cam ile malzeme arasında ısısız dengeyi sağlayabilmek ve ısısız genişleme kat sayılarını ayarlamaktadır. Bor kullanımının diğeri bir nedeni ise, ergitme işleminin ilk bölümünde cam üretiminin başlanmasını sağlamaktır. Sırların içerisine bor ilavesi ayrıca sırların mekanik gücünü ve çizilme dirençlerini arttırmaktadır. Diğeri taraftan da borlar renklendirici katılımlarına alt yapı oluşturmaktadır.

Bor oksitler % 20'ye oranlarına kadar, emayelerin viskozitelerini ve doygunlaştırabilme ısılarını azaltmaktadır. Emaye içerisine ilave edilen hammaddelerin özel olarak % 17-32'si bor oksit içerip, sulu haldeki borakslar kullanılmaktadır. Çizilmelere karşı seramik malzemeleri dirençli kılan B, % 3-24 civarında kolemanit şeklinde sırlar katılır [12].

1.6.4. Tarımda kullanımı

Bitkilerin büyümelerinde oldukça değerli bir konumda olan borların mutlaki olarak gereklilikleri yaklaşık olarak Seksen İki yıl önce belirlenmelerine rağmen bitki grupları üzerinde etkileri tam anlamda anlaşılmamıştır.

Sebze içerikleri ve gruplarının beslenebilmesi ve gelişebilmesi üzerlerine yapılan araştırma sonuçlarında; borların, sebze gruplarında sebze içeriklerinin beslenebilmesi ve gelişebilmesi üzerlerine yapılan araştırmalar sonucunda; borların, sebzelerin büyümelerini ve kalitelerini iyileştirdiği görülmüştür.

Meyve ağaçları üzerinde çiçek açma, meyve verebilme ve meyve kaliteleri açılarından değerli bir mikro besleyicilerdir. Optimum miktarlarda bor içeriği olan meyve ağaçlarında, çiçek açabilme ve meyve kapasitelerinde artışlar, meyve içerisinde ve kabuklarında yaralanma ve çürüklerde azalma, glikoz ve besleyicilerin iletimlerinde hızlanmalar olduğu gözlenmiştir.

Toprak bünyelerine borik asitler, borakslar gibi değişik bor kaynakları kullanılarak ana madde borlar uygulaması sağlanmaktadır. Yalnızca uygulama esnasında uygulaması yapılacak olan bor kaynakları toprağın pH değerlerini bozmayacak düzeyde nötr ve kolay çözünebilir olması gerekmektedir [12].

1.6.5. Temizleme ve beyazlatma sanayinde kullanımı

Mikrop öldürücü etkisiyle sabun ve deterjanklara, su yumuşatabilme etkileriyle % 10 boraks dekahidrat, beyazlatıcı etkilerini yükseltmek amacıyla da toz deterjanların içerisine % 10-20 miktarlarında sodyum perborat ilavesi yapılmaktadır.

1.6.6. Alev geciktiriciler

Borat içerikli maddeler, ahşaplarda, selülozik yalıtımlarda, PVC ve tekstil gibi malzeme içeriğinde alev geciktirici olarak kullanılmaktadır. Borlar, yanmakta olan malzemelerin üzerlerini kaplayarak O₂ ile temaslarını keserek yanmaları bastırmaktadır. Plastik malzeme gruplarında çinko boratlar kullanılma anında bor asit şeklinde, boraks dekahidrat ve boraks pentahidrat gibi çözünebilir boratlar ise selülozik malzemelerde kullanılmaktadır.

Böceklerde ve mantarlarda ahşapların uzun zamanlı olarak korunabilmesi için, disodyum oktaborat tetrahidrat başarılı bir şekilde kullanılabilir. Bu şekildeki malzemeler için özel önlemler almaya gerek yoktur. Boyama, spreya veya basınç şeklinde basit bir şekilde uygulanmaktadır.

1.6.7. Cam sanayide kullanımı

Cam sanayisinde sıklıkla kullanılan element bordur. Ergiyik halde bulunan cama eklenip, ara mamule ilave olarak kullanıldıklarında akışkanlık artmaktadır. Sonuç olarak yüzey sertlikleri ve dayanımları artırmaktadır.

Tekstil ve izolasyon tipi cam içerikli elyaflarda borlar, sıvı kristal göstergelerde borosilikat cam, özel olarak kullanılan fırınların kaplarında, laboratuvar araç gereçlerinde, arabaların far ve sinyal camlarında, camların yünlerinde, LCD ekranlarda ve cam çeşidi olan CRT' lerde kullanılmaktadır. Aynı olarak da uzay sanayilerinde, elektronik endüstride ve nükleer reaktörlerde de bor ilaveli bazı özel camlar tercih sebebi olmuştur.

1.6.8. Metalürji alanında kullanımı

Sıcaklıkları yüksek yapışkan, düzgün, koruyucu halinde ve çapaksız sıvı oluşturma özellikleri ile demir dışı metallerde koruyucu cüruf oluşturması ve ergitmeleri hızlandırıcı madde olarak bor bileşikleri kullanılmaktadır.

Bor bileşikleri fraksiyama uygulamalarında, bakırın eritilmesiyle ve altınların analizlerinde, çeliklerin lehimlenmelerinde kaynak yapımı ve gaz lehimlemelerinde kullanılmaktadır.

İlavesi yapılacak olan borların malzemenin mukavemetini ve sertliklerini yükseltmektedir. Bor bileşikli çeliklerin sertleşme özellikleri daha yüksektir. Farklı olarak da borlar paslanmaz çeliklere de ilave edilmektedir.

Dökme demirlerin, çeliklerin, sürekli mıknatısların ve amorf metallerin imalatlarında ferrobörler kullanılmaktadır. Ferrobörlerin dünya piyasalarındaki üretiminin % 50' den fazlası çelik endüstrilerinde, % 10'luk kısmı ise Nd-Fe-B sürekli mıknatıs imalatında kullanılmaktadır.

Yüzeysel kaplamalarda sürtünme kat sayılarını düşürebildiği için yaygın şekilde bor nitürler kullanılmaktadır. Yüksek vakumlu ortamlarda ve optimum sıcaklıkta h- BN'ün buharlaştırılarak c- BN film elde edilmesiyle gerçekleşmektedir.

Elektro kaplama uygulamalarında kimyasal içerikleri temizlemek ve tampon olarak da borlar kullanılmaktadır.

1.6.9. Bor fiberleri

Spor araç- gereçleri, uzay ve hava araçları gibi alanlarda bor fiberler tercih sebebi olmuştur. Polimer reçineler ile birlikte bor fiber kompozitler oluşmaktadır. Hava ve uzay araç imalatında kullanılmış olan ilk ileri kompozit malzeme bor fiberlerdir. Lakin maliyet bakımından yüksek olduğundan dolayı bor fiber kullanımı kısıtlıdır [12].

1.6.10. Nükleer uygulamalarda kullanımı

Bor bileşikli çelik, bor karbür ve titan bor alaşımları bor reaktörlerinde tercih edilmektedir. Paslanmaz borlu çelikleri, nötron absorbanı olarak tercih edilmektedir. Yapılan çalışmalar sonuçlarında tahmini olarak her bir atomu bir nötron absorbe eder.

1.6.11. Enerji depolamada kullanımı

Sodyum sülfat ve H₂O termal depolama pillerinde, yaklaşık % 3 oranında boraks dekahidratı, kimyasal karışım gündüz güneş enerjisini depolar. Akşamları ya da geceleri bu depolanmış enerjiler ısınmak amacı ile kullanılmaktadır. Binaların tavan malzemelerine yerleştirildiğinde güneş ışınlarını emmektedir. Ve evlerin ısınmalarını sağlamaktadır.

1.6.12. Yakıtta kullanımı

Son zamanlardaki sodyum borohidrattan enerji üretimi yapan ve hücre yakıtları ile ilgili çalışma serilik kazanmıştır. kimyasal bağlarında hidrojen mevcut olan sodyum borohidratın, elektrik üretimi sağlayıp, katalist hidrojeni açığa çıkarırlar. İmalatların temel edildiği prensibi H₂O ve boraksların tepkimeleridir. Bu şekildeki tepkimelerden imalat edilmiş hidrojenler direkt içten yanmalı motorlara beslenmektedir. Ayrıca hücre yakıtlarında da kullanılabilirler.

1.6.13. Sağlık alanında kullanımı

Hücre içerisinde sentezlenemediğinden dolayı besinler ile beraber dışarıdan alınması gerekli olan borlar, insan vücudunun içerisinde gelişen ve gelişmekte olan teknoloji süreci içerisinde vazgeçilmez besleyici olarak değer taşımaktadır. Vücut içerisindeki borlar, Mg, P ve Ca dengesini ayarlayarak kemik oluşumuna, beyin ve kas fonksiyonlarının gelişmelerine yardımcı olmaktadır.

1.6.14. Atık temizlemede kullanımı

Atık olarak biriktirilmiş suyun içerisinde, cıva- kurşun- gümüşten oluşmakta olan ağır metal grubunun bu birikmiş sulardan temizlenmesinde sodyum borohidratlar sıklıkla kullanılmaktadır.

1.6.15. İnşaat-çimento sektöründe kullanımı

İzolasyonik ve sertlik yükseltici olarak kullanılan ve daha sağlam, hafifliği yüksek, ayrıyeten de depremlere, ısılara dayanıklı bina yapımında, yalıtımlarında kullanılırlar.

1.6.16. Ahşap korumada kullanımı

Zararlı gruplarına girmekte olan bakteri ve çürüme olaylarına karşı koruyuculuk ve alev geciktirici olarak tercih edilmektedir. % 30'luk sodyum oktaborat çözeltisi her zaman kullanılıp, olumsuz giden kimyasal olaylara karşı tedbir amaçlı kullanılmaktadır.

1.6.17. Diğer kullanım alanları

Bor triklorürler, polimer sanayilerinde, silisyum imalatında ester ve alkilleme işlem aşamalarında kullanılmaktadır. Etil benzen imalatlarında ise bor trifluorür katalizör olarak da tercih edilmektedir.

Gelişen ve gelişmekte olan teknoloji ile, bor kullanımlarını ve bağımlılıklarını yükseltmekte, borların stratejik mineral içerikli olma özellikleri giderek daha bir belirginleşmeye gitmektedir. Dünya piyasasında imalatı olan bor minerallerinin % 10'a yakını doğru olarak mineral olarak, geriye kalan kısımları ise rafine ürünleri elde edebilmek için tüketilmektedir. Döküm çeperlerinin, aşınmalara ve yüksek sıcaklıklara dayanaklı olabilecek malzemelerin püskürtme memelerinde, bor nitrür ve bor karbür bileşikleri kullanılmaktadır.

BÖLÜM 2

ÇELİKLER VE AISI 304 ÇELİĞİ

2.1. Çelik

C ve Fe' den oluşmakta olan alaşım gruplarına çelik denir. Çeliklere değişik miktarlarda C ve alaşım element ilavesi yapılarak değişik özellikler kazandırılabilir. Bunun yanında çelik gruplarına çeşitli işlem uygulaması yapıp, içyapısında değişiklik oluşturulabilir. Bu açıdan da çok farklı kullanım alanlarına sahip olabilirler.

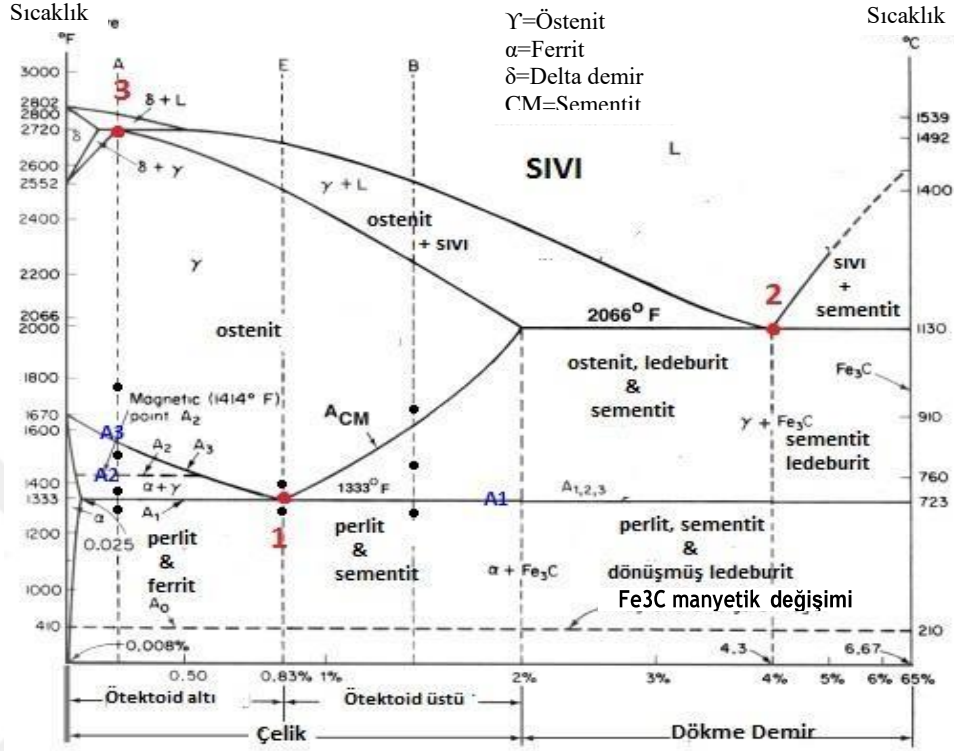
Çelik grupları özelliklerine bağlı olarak çeşitlendirilmektedir. Lakin genel olarak aşağıda gibi sınıflandırılabilir.

- Yumuşak Kalitesiz Çelikler
- Kolay Kaynak Çelikleri
- Yapı Çelikleri
- İmalat Çelikleri
- İslah Çelikleri
- Paslanmaz Çelikler
- Takım Çelikleri
- Kullanım Yerine Göre Çelikler

Çelik gruplarının önemli özellikleri olarak bilinen şekli aşağıda sıralanmıştır;

1. Isıl işlemlere karşı oldukça duyarlıdır. Yüksek sıcaklık dayanımı sayesinde, fiziksel, mekanik ve elektriksel özelliklere tam olarak ulaşılabilir.
2. Gerekli sıcaklıklara geldikleri zaman haddeleme, presleme ve dövme gibi şekillendirilebilirlik özelliğine sahiptir.
3. Şekilleri ve yüzeysel düzgünlük, talaş kaldırıcı tezgâhlarda işlenebilir.
4. Kaynaklama işlemleri yapılarak, çeliklerin birleştirilmesi yapılabilmektedir. Tek şart; uygun kimyasal bileşimi sağlayabilmektir.
5. Metal ve plastik maddelerde kaplamaya, çeliklerin büyük bir bölümü çeşitli emaye elde edilmesine ve boyanmalarına elverişli özellik göstermektedir.

2.2. Demir-Karbon Denge Diyagramı



Şekil 2.1. Demir- Karbon denge diyagramı

Farklı sıcaklıklar, basınçlar ve bileşimlerdeki değişim mikro yapısını gösteren faz diyagramına denir [16]. Bu farklı özellikleri tek bir faz diyagramında gösterebilmek oldukça zorlu ve kullanılabılır değildir. Bundan dolayı faz diyagramları genel olarak basınç- bileşim, basınç- sıcaklık ve sıcaklık- bileşim olarak farklı farklı incelenmektedir. Bu diyagram çizimleri; tek bileşenli, ikili ve üçlü alaşım sistemleri olarak yapılmaktadır.

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi C oranı % 2'den az olan malzemelere çelik, % 2'den fazla C içeren bileşimlere dökme demir denmektedir. Şekil 2.1.' de faz ayrıntıları detaylı olarak gösterilmektedir.

Ferrit (α -demir): HMK yapısındadır. Çok düşük oranlarda C çözündürmektedirler. Oda sıcaklıklarında % 0.008 çözündürürken 723 °C sıcaklıkta % 0.025 çözündürür. C oranı düşük olduğundan dolayı sertlik ve mukavemetleri düşüktür. İşlenebilirlikleri ve süneklilik oranları oldukça yüksektir.

- **Östenit (γ - demir):** Kararlı YMK özellik göstermektedir. Sıcaklıkları 910-1401 °C aralığındadır. Sertlik oranları ve tokluk dereceleri yüksektir. Oda sıcaklıklarında daima

olarak kararsızlardır.

- **Perlit ($\alpha+Fe_3C$):** 723 °C sıcaklıklarda oluşan ötektoid bileşimlere sahip olan çeliklerin östenit bölgesinden yavaş olarak soğutulması ile oluşmaktadır.
- **Sementit (Fe_3C):** Fe_3C ' ler intermetalik bir yapıya sahiptirler. Kırılgandır. Sertlikleri oldukça yüksektir. Ortorombik kristal yapıları mevcuttur. Ferromanyetik durumları oldukça belirgindir.
- **Ledeburite:** Fe_3C ve östenit fazının oluşturmuş olduğu ötektik bileşimlerdir. A₁ noktasının altına düştüğünde yapılar tamamen perlitte dönüşmektedir.
- **Martenzit:** C oranı olarak aşırı doymuşluk göstermektedir. Östenitlerin hızlı bir şekilde soğutulması ile oluşmaktadır. HMK tetragonal yapıya sahiptirler.
- **Beynit:** Fe_3C ve Fe fazlarının oluşturmuş oldukları 2 faz içeren yapılardır. Östenitlerin dönüşümleri ile oluşmaktadır.
- **Ötektoid nokta:** % 0.8 C oranına sahip ve A₁ (723 °C) sıcaklıklarında oluşmaktadır. Östenit bölgesinden soğutulmaya başlanıldığında, çelikler bu noktalara geldikleri zaman tek fazlı (γ) yapıdan ($\alpha+Fe_3C$) çift faza dönüşümü gerçekleşmektedir.
- **Ötektik nokta:** % 4.3 C içermektedir. Sıcaklıkları ise 1130 °C 'dir. Bu noktalarda kesişimi olup, oluşumu gerçekleşmektedir. Bu noktada sıvı fazlar katılışp, iki farklı katı fazdan ($\gamma+ Fe_3C$) oluşan ledeburite dönüşmektedir.
- **Peritektik nokta:** % 0.25 C içermektedir. Sıcaklıkları 1492 °C' dir. Bu nokta da üç faz ($\delta+\gamma+sıvı$) dengede bulunmaktadır.
- **A₁ sıcaklığı:** 723 °C' de bulunurlar. Birçok faz dönüşümleri için önemli bir sıcaklık değeridir. Diğer ismi ile ötektoid sıcaklık çizgisi olarak bilinmektedir.
- **A₂ sıcaklığı:** 760 °C de gerçekleşir. 760 °C'nin altında demirler manyetik halde, üzerinde ise paramanyetik halde bulunur.
- **A₃ sıcaklığı:** 910 °C'den ötektoid sıcaklık değerine düşen doğrulardır.
- **A_{CM} sıcaklığı:** Ötektoid üstü çelik gruplarında tam östenit alanlarına iniş yapan sıcaklık sabitidir.

2.3. İçerdikleri Kimyasal Oranlarına Göre Çeliklerin Sınıflandırılması

C oranları % 0.8'den düşük olanlara ötektoid altı çelikler, C oranı % 0.8 olanlara ötektoid çelik, % 0.8'den fazla olanlara ötektoid üstü çelikler denir. Çelik grupları genel olarak,

alaşım ve alaşımsız çelik olarak sınıflandırılmaktadır. Alaşım olarak kullanılmış elementlerin toplamları % 5'ten düşük olanlara az alaşım çelikler, % 5'ten yüksek olan çeliklere de yüksek alaşım çelikler denir.

2.3.1. Karbon oranına göre çelikler

2.3.1.1. Sade karbonlu çelik

% 0.20 civarında C bulundurmaktadır. Dünyalar arasındaki çelik piyasalarının büyük bir kısmını kapsamaktadır. İnşaat sektöründe ve yassı mamul alanlarında çubuk, profil v.b. alanlarında sıklıkça kullanılmaktadır. Teknolojik alanlarda sementasyon ve nitrürasyon işlemlerine tabi tutularak, yüzeyleri oldukça sert ve iç kısımları toklaşmış olan çelik grupları da bu alanda bulunmaktadır.

Tablo 2.1. Az karbonlu çeliklerin kimyasal bileşim aralıkları [17]

Element	Ağırlıkça (%)
C	0.00-0.20
Mn	0.30-0.60
Si	0.10-0.20
P	Max. 0.04
S	Max. 0.05

2.3.1.2. Orta karbonlu çelik

% 0.20 ile % 0.60 aralığında C içeren çelik gruplarına orta karbonlu çelik adı verilmektedir. Orta seviyede mekanik özelliklere sahip olan çelikler C oranlarına göre değişkenlik göstermektedir. Isıl işlem aşamalarından geçtikten sonra, sertleşebilirlik özellikleri yükselmektedir. Orta karbonlu çeliklerin kullanım alanları oldukça önemlidir. Makine üretim sanayilerinin tercihleri olduğu çeliklerin başına ilk gelmektedir. Şekillenme, işlenebilme ve kaynak becerileri düşük C'lu çelik türlerine göre daha düşüktürler. Kimyasal bileşimlerinin aralıkları Tablo 2.2.' de verilmektedir.

Tablo 2.2. Orta karbonlu çeliklerin kimyasal bileşim aralıkları [18]

Element	Ağırlıkça (%)
C	0.20-0.50
Mn	0.60-0.90
Si	0.15-0.23
P	Max. 0.04
S	Max. 0.05

2.3.1.3. Yüksek karbonlu çelik

C oranı yaklaşık olarak % 0.60' dan fazla olan çeliklerdir. Optimum şartlarda yüksek mukavemetli ve süneklilikleri azdır. Isıl işlem olaylarından sonra sertlik değerleri yükselim kazanmaktadır. Bundan dolayı aşınma olaylarına dayanıklıdır. Ayrı olarak da kesici özelliğe sahiptirler. Şekil alabilme ve kaynak kabiliyetleri, düşük ve orta C' lu çeliklere göre daha düşük özelliğine sahiptir. Yüksek C' lu çeliklerin grubunda olan çelikler genel anlamda takım çeliklerinde kullanılmaktadır.

Tablo 2.3. Yüksek karbonlu çeliklerin kimyasal bileşim aralıkları [17]

Element	Ağırlıkça (%)
C	0.55-0.90
Mn	0.70-1.00
Si	0.15-0.30
P	Max. 0.04
S	Max. 0.05

2.3.2. Alaşımli çelik

C ilaveli çeliklerin, kendine özelleşmiş bazı özelliklerini kazanmaları için, bir ya da birden fazla alaşım elementlerini ilave etmek suretiyle yapılan çeliklere alaşımli çelikler adı verilmektedir. C çelikleri için alaşım elementleri olan; Mn, Si, Cu ya da daha yüksek alaşım elementleri belirlenmiş aralık değerlerinde bulunmaktadır. Yüksek alaşım çelikleri buldukları temel alaşım elementleri ya da elementlerine göre ayrılmaktadır. Çelik gruplarına ilave edilen alaşım elementlerinin fayda ettiği yararlar şöyle sıralanabilir:

- Martenzitik bir yapı oluşabilmesi için az C' lu çeliklerin kesitleri boyunca hızlı soğutulması gereklidir.
- Çelik gruplarına alaşımlama yaparak darbe dayanımları önemli ölçüde yükseltilebilir.
- Aşınma dirençleri ve yorulmalara karşı davranışları, bazı alaşım elementlerinin ilavesi ile farklı şekilde artış göstermektedir [19].

Alaşımli gruplarındaki çelikler:

1. Düşük alaşımli çelikler
2. Yüksek alaşımli çelikler
3. Mikro alaşımli çelikler

şeklinde çeşitleri mevcuttur.

2.3.2.1. Düşük Alaşımli Çelik

% 5'den az element bulduran, genel olarak su verilerek ve temperleme işlemlerine tabi tutularak kullanılan çeliklerdir. Bazı önemli özellikleri (Tokluk, mukavemet ve korozyon direnci) göz önünde bulundurduğu servis koşullarında daha düşük maliyetli olan alaşımsız çeliklere tercih edilir. Alaşım çelikleri ile kıyaslandıklarında daha yüksek sertleşebilirlik becerilerine ve ısı işlemler anında daha düşük çatlamaya ve çarpılma eğilimlerine sahiptir.

2.3.2.2. Yüksek Alaşımli Çelikler

% 5'den daha fazla alaşım elementleri ya da elementi içeren çeliklerdir. Bu grubun en

gözde çelik çeşitleri; paslanmaz çelikler, manyetik çelikler ve özel amaçlı takım çelikleridir.

2.3.2.3. Mikroalaşımli Çelikler

Genel anlamda yassı mamul imalatında kullanılan ve az C' lu çeliklerde düşük miktarlarda alaşım elementi bulunduran çeliklerdir. HSLA çelik, DF çelikler, IF çelikler bu türde ki çelik gruplarına örnek verilebilmektedir.

2.4. İlave Edilen Alaşımın Elementlerinin Etkileri

Çeliklerin içerisine bir ya da birden fazla ilave edilerek, çeliklere belirli özellikler kazandıran veya kaybettiren bileşen çeşitlerine alaşım elementleri adı verilir. Alaşım elementleri diğer metal gruplarına kıyasla daha çok çelik gruplarının yapısında değişikliklere neden olmaktadır.

2.4.1. Karbon

Çeliklerin imalatlarında ki en temel alaşım elementi olarak bilinmektedir. C oranları yükseldikçe sertlikleri ve dayanımları dikkate alınacak şekilde yükselmektedir. Fakat % 0.8 C' a kadar akma sınırları değeri ve çekme gerilmeleri artmaktadır. Bu değerlerden sonra kırılma özelliği de yükselmektedir. Isıl işlemler sonucunda sertlikleri, kalıntı östenitleri nedeni ile daha fazla yükselmezler. Çelik gruplarının alacakları en yüksek sertlik değeri 67 HRC' dir. Bu sertlik değeri de C miktarı % 0.6 olduğunda sağlanmaktadır. Dövülebilirlik, süneklik, derin çekme ve kaynak mukavemetleri çelik içerisinde ki C miktarlarına bağlı olarak olumsuz etkilenebilmektedir. Isıl işlemleri sırasında çatlama riski en çok yüksek C' lu çeliklerde görülmektedir.

2.4.2. Mangan

Cevher halinde yapıların içerisinde yer almaktadır. Mekanik özelliklerini iyileştirmek amacı ile ayrı olarak ilavesi söz konusudur. Çelik içerisinde temel alaşım elementleri olarak da kullanılabilir. Çeliklerin dayanım özellikleri arttırırken, bir yandan da süneklik durumlarını azaltmaktadır. Çeliklerin sertleşebilirliklerini ve dövülebilirlik özelliklerini iyileştirmektedir. Kaynaklanabilirliklerini negatif anlamda etkilememektedir. C miktarlarının yükselmesi ile manganın olumlu etkisi

yükselmektedir. Ayrı olarak da çeliklerin yüzeysel kalite seviyelerini pozitif anlamda değer katmaktadır.

2.4.3. Silisyum

Çeliklerin imalatlarında ‘‘O’’ yok edici etkisi bakımında kullanılmaktadır. Dökümlere akıcı özelliklerini kazandırabilmek için de ilave olarak kullanılmaktadır. Malzemelerin tokluklarında ve sünekliklerinde azalma olmadan, sertliklerini ve dayanımlarını arttırmaktadır. Yüksek miktarda silis içeriği olan çeliklerin ısı dayanımları ayrı olarak yüksekti. Sertleşebilme, aşınma dayanımları ve elastiklik özelliklerini yükseltmelerine karşı olumsuz anlamda etki bırakmaktadır. Çelik içeriklerindeki Si oranı yükseldikçe tanelerin büyüklüğünde de artış görülür.

2.4.4. Kükürt

Talaşlı şekillenmeleri iyileştirmek için, otomat çeliklerinin içerisine yüksek miktar da kükürt kullanılmaktadır. Bundan farklı olarak istenilmeyen elementtir. Daimi olarak azalmaya çalışılmaktadır. S miktarı yükselme gösterdikçe, şekillenmeleri boyuna doğrultularda etkilenmeler az iken, dik doğrultularda darbe dayanımları ve süneklikler düşmektedir. Mangan ile denge olmadığında sıcaklıkta kırılmalıklar yaşarlar, kaynaklanabilirliği ve sertleşme iyi yönde ilerleyemez.

2.4.5. Fosfor

Buldukları çelik içerisinde malzemelerin tokluk oranlarını düşürmekte olan, olumsuz etkilere sahip bir elementtir. Çeliklerin dayanımları ve sertliklerini yükseltici özellikleri olmalarına rağmen sünelilik ve darbe dayanımlarını düşürmektedir.

2.4.6. Krom

Çelik gruplarına sıklıkla eklenen elementtir. Oksidasyonlara, korozyon olaylarına dayanımları, aşınma dirençlerini ve sertleşebilirliklerini yükseltmektedir. Çelik içerisine eklenen, Cr, Cr₂₃C₆ ve Cr₇C₃ gibi sert karbürler oluşturarak sertliği doğal olarak artırırken, dönüşümsel hızları yavaşlatıp sertlik derinliklerini de değişmeyen miktarlarda tutmaya devam ederler. Paslanma olaylarına karşı dirençli olurlar. Malzemelere parlaklık rengini vermektedirler. Çekme direncini ve sıcaklıklara dayanımlarını artırırılar.

2.4.7. Nikel

%5 civarlarında kullanılan Ni, alaşımlı çeliklerde geniş bir biçimde kullanılır. Ni' ler malzemelerin mukavemetlerini ve tokluklarını yükseltmektedir. Özel alanı olan paslanmaz çeliklerde daha geniş alana sahiptir. Ni, tanelerin boyutlarını küçültme etkilerine de sahiptir. Sıcaklıklara ve tufallaşmalara karşı iyileştirici özelliklere sahip olmalarının yanında, Cr ile birlikte kullanılarak sertleşebilmeyi, süneklilikleri ve yorulma dirençlerini yükseltmektedir.

2.4.8. Molibden

Düşük Ni ve düşük Cr içeren çelik gruplarında molibdenler temper gevrekliklerini gidermek açısından tercih edilir. Temperleme işlemlerinden sonra, Ni ve Cr çeliklerinin darbe dayanımı yükselir. Çekme-Akma dayanımlarında da artış görülür.

2.4.9. Vanadyum

Vanadyumlar, çelik içerisinde önemli seviyede küçültücü olarak, Ni gibi kullanılırlar. Sertleştirme proseslerinde tane irileşmelerini engellerler. Sıcaklık dayanımlarının artması ile beraber sertliklerinde de artış görülür. Kesmeye çalışan malzemelerde, darbe dirençlerin artmasını sağlayarak kesici kenarın uzun süre korunmalarında oldukça etkilidir.

2.4.10. Wolfram

Çeliklerin dayanımlarını yükselten alaşım elementlerindedir. Takım çeliklerinin yüksek ısıya dayanmalarını, takım ömürlerinin uzamalarını ve kesici kenarların sertliklerinin muhafazalarını sağlarlar. Bundan dolayı yüksek hızlı çeliklerde, takım çeliklerin de ve ıslah çelik çeşitlerinde alaşım elementleri olarak tercih sebebi olurlar. Sıcaklıklara dayanımlı olabilecek çeliklerin imalatlarında kullanılmaktadır.

2.4.11. Niobyum

Niobyumlar tane boyutlarını inceltici özelliklerine sahiptir. Akma sınırları da oldukça yüksektirler. Şiddetli karbür yapabilme özelliğinden dolayı sertlikleri de yüksek olurlar.

2.4.12. Titanyum

Yüksek karbür yapabilme özelliklerinden dolayı, orantılı olarak sertlik özelliklerini de arttırmaları. Güçlü karbür yapabilme özellikleri vardır. Ayrı olarak da sertlik derecelerini arttırmaktadır. Deoksidanlar da kullanılmaktadır. Tanelerin kalınlıklarını inceltebilme özelliklerine sahiptirler.

2.4.13. Kobalt

Tane büyümelerini, maksimum sıcaklık seviyelerinde yavaşlattığı için, genellikle hız çeliklerinde ve sıcaklıklara dayanımlı çelik gruplarına ilave edilir.

2.4.14. Alüminyum

Tane kenarlarını inceltici özelliğe sahiptir. Isıtmalarda tanelerin kabalaşmasında ve yaşlanmaları azaltırlar. Kuvvetli bir deoksidandır.

2.4.15. Bor

Düşük ve orta karbonlu çeliklerin sertleşebilirliğini artırabilir durumları söz konusudur. % 0.0005-0.003 oranlarında sakınleştirilen çeliklere ilave edilmektedir.

2.4.16. Bakır

Sıcak şekillendirmelerde kırılğan bir özelliğe sahip olduklarından dolayı % 0.5 oranlarından yukarı çıkılmaz. Sertlikleri ve korozyonlara karşı dayanımları artırıcı ilave alaşım elementleridir.

2.4.17. Azot

1100 VSD sertliğe Nitrürasyon işlemleri ile ulaşılmaktadır. Yaşlanmalar meydana gelmektedir. Mekanik dayanımların artması ile korozyon dayanımları da yükseltmektedir. Tablo 2.4. 'de çelikler içeriğinde ki alaşım elementlerin buşunması gereken alt sınır ağırlıkları % olarak verilmektedir.

Tablo 2.4. Alaşım elementlerinin alt sınırı

Element	Sınır Ağırlık (%)
Al	0.10
Cu	0.40
B	0.0008
Bi	0.10
Co	0.10
Cr	0.30
Pb	0.40
Mn	1.60
Mo	0.08
Ni	0.30
Si	0.50
Ti	0.05
V	0.10

2.5. Çelik Türleri

2.5.1. Kalitesiz yumuşak çelikler

Tasarım alanlarında tercih edilecek olan malzemelerde çekme dayanımları, aşınmalara karşı dirençli, sıcaklıklara karşı duyarlı, çekmelere ya da uzamadan çıkabilecek sorunları söz konusu değilse kalitesiz yumuşak çelikler kullanılabilir. Çöp tenekeleri, bahçe parmaklıkları gibi kullanım alanlarında aranabilecek özellikler sadece korozyona karşı dayanıklılık ise bu gibi yerlerde düşük karbonlu çelik kullanılması aynı zamanda malzemenin kolay kaynak yapılabilmesini, yumuşak olduğundan kolay şekil verilebilmesini ve böylece hem işçilikten hem malzeme maliyetinden tasarruf edilebilmesi sağlanmış olur.

2.5.2. Kolay kaynak çelikleri

C miktarları ve kalınlıklar yükseldikçe kaynaklanabilirlik zorlaşmaktadır. Fakat birkaç tedbirlerin alınmasıyla gerçekleşir. Boyutları yirmi (20) mm' den ince malzemelerde karbon miktarları % 0.25'den az ise herhangi bir önleme gerek kalmadan malzemeyi kaynak etmek mümkün olur. Bu şekilde ki çelik çeşitlerine kolay kaynak çelik adı verilmektedir.

2.5.3. Yapı çelikleri

Yapı çelikleri genel anlamda alaşımsız çelik olarak da ifade edilebilir. C miktarlarına bağlı kalarak mekanik özelliklerde farklılık gösterebilmektedir. Fosfor ya da Azot başta olmak üzere, imalat hammaddelerinden ve imalat şekillerinden kaynaklanan Mn, Si, Cu ve P alaşım elementleri de oldukça kuvvetlidir. Belirtilmiş olan mukavemet değerleri soğuk ya da sıcak haddelerden geçirilerek almış oldukları formlar için geçerli sayılmaktadır.

2.5.4. İmalat çelikleri

Alaşımsız makine üretimi çelikleri ya da sade karbon çelikleri olarak da bilinmektedir. % 0.20-0.70 oranlarında C içeren alaşımsız çelik gruplarına girmektedir. C miktarları yüksek olduğundan dolayı C çeliği olarak da adlandırılabilir. İmalat çeliğinin sertleşebilirlikleri içerdiği C oranları doğrultusunda yükselirken, toklukları da C oranları ile zıt şekilde değişim göstermektedir.

2.5.5. İslah çelikleri

Alaşım çelikleri ya da yalın C' lu çelikler olarak da tercih edilene bilinir. Nikel, Krom, Molibden, Vanadyum, Tungsten gibi alaşım elementlerine sahiptirler. Üretim çeliklerinden en önemli farkı tam olarak sertleşebilirlik göstermesidir. Alaşım sahibi olan çelik gruplarının iç bölgelerdeki sertleşebilme yetenekleri düz C' lu çelik gruplarına göre daha yoğundur. Nedeni ise bileşimlerinde bulunan Krom, Nikel ve Molibden gibi elementler su verebilme esnalarında çeliklerin çatlama, çarpılma risklerinin düz C' lu çelik gruplarına göre daha az olmalarını sağlarlar. Örnek vermek gerekirse, Ç 1020, 1040, 4140, 5160 ıslah çeliklerindedir.

Kimyasal içeriklerine göre dört grupta baz alınır. İslah çelikleri olarak ayrılmaktadır.

Bunlar:

1. Alaşım içermeyen
2. Mn ilaveli
3. Cr ilaveli

4. Cr-Mo ilaveli

2.5.6. Soğuk Çekme Yapılmış Çelik

Oda sıcaklıklarında bir veya birden fazla kalıptan geçirilerek imalat ve ıslah çeliklerinin şekil almaları sağlanabiliyorsa, bu çelik gruplarına soğuk çekme çelik adı verilmektedir.

2.5.7. Paslanmaz çelikler

Alaşım miktarları az ve alaşımsız olan çelik grupları ortamlara bağlı kalarak seri bir şekilde paslanır veya kimyasal bir korozyona maruz kalırlar. Pas izinden ve tahribatlardan korunabilmek adına boyar maddeler tercih edilirken, eklenen önlem işlemleri istenilen korumaları sağlamayabilir.

İçerdiklerinde Krom, Silisyum ve Alüminyum gibi elementler, O ile birleşerek, incemsi, yoğunlaştırılmış ve viskozitesi yüksek bir film tabakası oluştururlar. Bu şekilde ki tabakalar paslanma oluşumunu engellemektedir. Çeliklerin alaşım durumu, paslanma olayları ile ilgili değildir. Paslanabilme konularında, parçaların talaşlı işleme özellikleri açısından oldukça önemlidir.

Paslanmaz çelikler şu şekilde sınıflandırılır;

- Cr çelikler
- Cr-Ni çelikler
- Cr-Mn çelikler
- Çok fazlı çelikler

2.5.8. Takım çelikleri

C ve alaşım oranları yüksek olan çelik gruplarına takım çelikleri adı verilir. Islah çelik grubundan en önemli ayırıcı içyapılarında gerçekleşmiş temizlik nedeni ile belirtilmiş mukavemet ve sertlik değerlerindeki sapmanın düşük olmasıdır. Bundan dolayı ıslah çeliklerle ekonomik olarak kıyaslandığında ıslah çeliklere göre çok pahalıdır. Isıl işlemi görmeden direk olarak satın alınır. Müşteriler tarafından işlenebildikten sonra ısıl işlem aşaması uygulanabilir. Bu türde ki çeliklerde, ısıl işlem sonucunda istenilen özellikleri sağlayabilir.

2.6. AISI 304 Çeliği

Östenit grubunda yer alan AISI 304 çeliği, paslanmaz çeliklerinin en yaygın kullanım alanına sahiptir. Mutfak eşyaları, evyeler, ev aletleri, endüstriyel mutfaklar, kimya ve petro kimya sektörü, gıda sektörü, otomotiv sanayi, eşanjör ve boyler üretimi gibi çok sayıda alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çok geniş uygulama alanlar da mükemmel derece de korozyon dayanımlarına sahiptirler. Birçok mimari olarak kullanılan inşaat sektörü uygulamalarında paslanma gibi bir olay söz konusu değildir. Aynı olarak gıda üretimlerinde ya da prosesi yapılan yerlerde, kolay olarak temizlenebilme, organik kimyasallara, inorganik kimyasallarına ve renkli olan maddelere karşı dirençli ve dayanımlılık özelliği göstermektedir. 304 paslanmaz çelikler, orta sıcaklıklarda bulunan klorit ortamlarda, 50 °C sıcaklığının üzerinde ki sıcaklıklarda çekme kuvvetlerinin uygulandığı stres korozyonlarının kırılması, çekirdeklenme ve çatlama aşınmalarına maruz kalmaktadır.

Tablo 2.5. AISI 304 çeliğinin kimyasal bileşimleri

Malzeme	Kimyasal Bileşim(% Ağırlıkça)									
	C	Ni	Cr	Mn	P	S	Si	Cu	Mo	N
AISI 304	0,058	8,07	18,17	1,0	0,032	0,0005	0,41	0,24	0,1	0,043

Tablo 2.6. AISI 304 çeliğinin mekanik özellikleri

Özellikleri	
Elastik modülü	193 (GPa)
Çekme Dayanımı	515-720 MPa
Akma Dayanımı	210 (MPa)
Sertlik	201(HB)

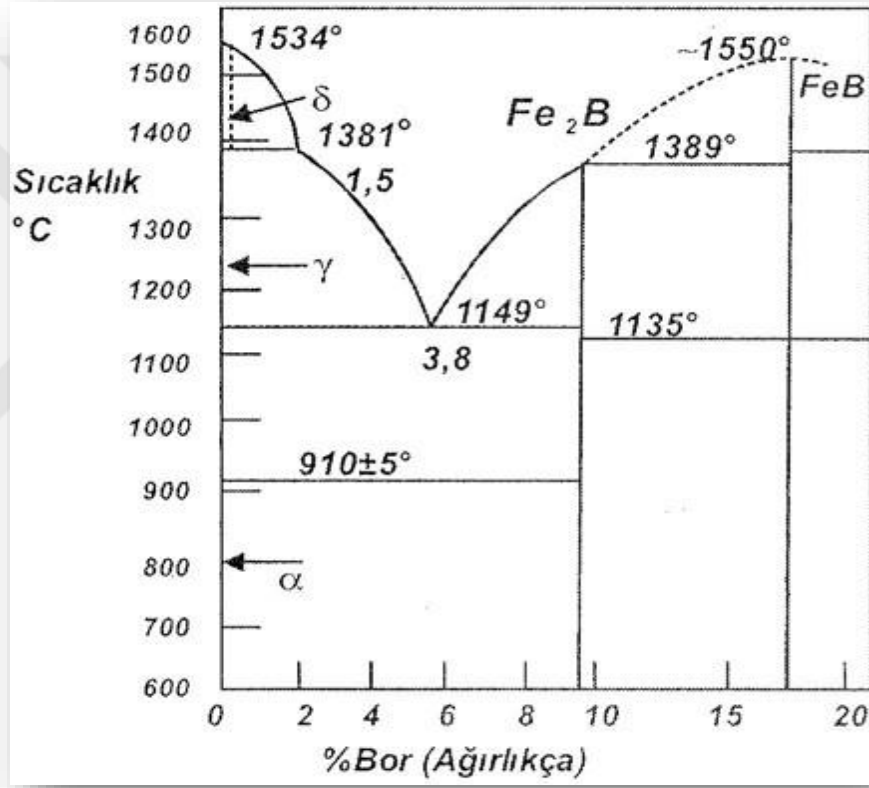
BÖLÜM 3

BOR İLAVESİ YAPILAN ÇELİKLER

3.1. Fe-B Bileşikleri

3.1.1. Fe-B denge diyagramı

Fe_2B -FeB, tetragonal ve ortorombik kristal yapılar, ferrobor olarak adlandırılıp, Demir-Bor denge diyagramlarında bulunmaktadır.



Şekil 3.1. Demir-bor denge diyagramı [20]

Şekil 3.1. de, Fe_2B 'lerin bileşim diyagramından da anlaşılacağı üzere, % 8.83 ve FeB'lerin bileşimlerin de ise % 16.2 bor bulunmaktadır. % 9-16 civarında bor içeren alaşımlardaki faz dağılımları Fe_2B ve FeB bileşiklerinden ya da kristallerinden ibarettir. % 16.2'den yüksek B içeren alaşımlar ise FeB ve B kristallerinden oluşur. Şekil 3.1. de ki diyagramda da görüldüğü gibi % 3.8 bor içerip, 1149 °C' de bir ötektik nokta oluşmaktadır [21, 22].

3.1.2. Ferrobor

1893 yıllarında Henri Moissan'ın ferrobor'u ilk olarak karbon astarlı ve tek fazlı bir elektrik ark fırınında keşif etti. Demir-asit borik ve kömür kullanarak fırınlara şarj yükleme işlerini halletmişlerdir [23].

1930 yılları civarında ferroborlar, C ve alaşım çeliklerinin sertliklerini yükseltmek amacı ile kullanımı yapılmıştır. % 0.003-0.004 oranlarında bor ilavesi yapılarak çeliklerin sertlikleri yükseltilebilir. Alaşımları Mn, Ni, Cr gibi elementler içeren malzemeler, bor ilavesi ile aynı sertlikte imalatı yapılmıştır. ABD'de ıslah çelik kullanımları pahalı olduklarından dolayı Ni-Mo yerine kullanımı tercih sebebi olmuştur. Elektrik alanında 1975 senesinde ferroborlar manyetik özelliklerinden dolayı tercih edilmiştir [24].

1982 yılında tanınmakta olan Fe-R-B esaslı mıknatıslar önemli bir bileşimdir. Bu şekilde ki mıknatısların imalatında ferroborlar genellikle tercih sebebi olmuştur. % 10-20 civarında bor eklenerek ferroborlar oluşmaktadır. Parlak gümüş rengine sahiptirler [25].

3.1.3. Ferroborların Çelik İmalatındaki Önemi

Çelik sektöründe en çok kullanılan malzeme türü ferroborlardır. Çelik içerisine eklenen düşük oranlarda ki borlar, hem sade C çelik, hem de alaşım içerikli çeliklerin sertleşebilirliklerini arttırmaktadır. Günümüzde ki bazı çalışmalarda, sertleşmeleri arttırmak amacı ile çeliklere 5-15 ppm oranlarında bor ilave edildiği görülmektedir. Çeliklerin içerisine çok düşük miktarda ilave edilmesi durumunda çeliğin sertliğini arttırması nedeniyle bor, çeliklerde kullanım maliyetinde tasarruf sağlar [25].

Yüzey kısımlarına serleştirme yapılmış olan malzemeler, sertleştirme ve temperleme işlemlerinden geçmişlerdir. Bor ilavesi yapılmış olan malzemeler Alüminyum ile beraber deokside edilmektedir. Bunun sonucu ile % 0.003 miktarında Al kalmaktadır [25, 26].

Bor ilavesi yapılmış olan çelikler aşağıdaki şekilde kullanılmaktadır.

a) Çoğul olarak tane sınırlarının çökelti oluşturulmasında serbest olarak kullanılır.

b) B_2O_3

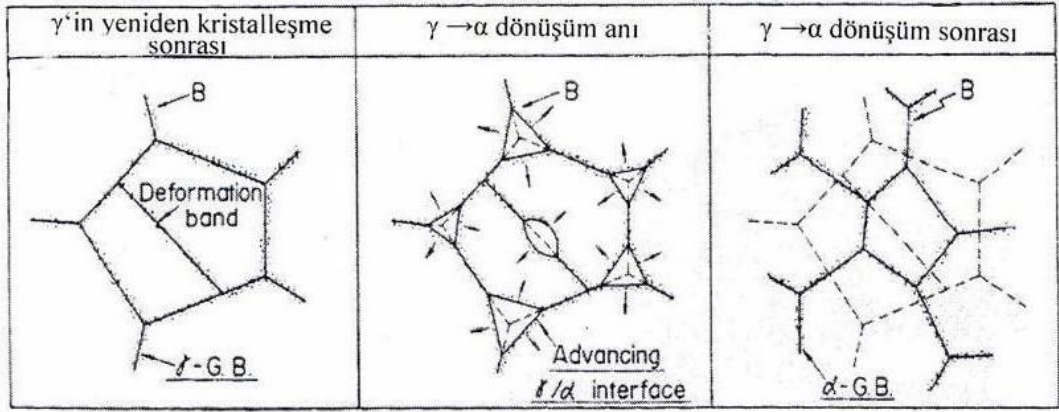
c) BN

d) $M_{23}(B,C)_6$

e) Fe_2B , FeB

3.1.4. Efektif Borlar

İlavesi bor olan malzemelerin mekanik özelliklerini geliştirmek için ilk yol, çözünmüş bor miktarlarıdır. Östenitleme işlemleri anında B_4C 'lerin kullanılması, ıslah anında tane sınır bölgelerinde çökerek malzemelerin sertleşebilirliklerini, çekme ve akma dirençlerini yükseltmektedir (Şekil 3.2). Tane sınır bölgesindeki çökelmiş B_4C 'ler, toplam bor miktarının ancak küçük kısımlarını oluşturmaktadır. Geriye kalmış serbest borlar ise "Efektif Bor" olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 3.2. Östenitten ferrite dönüşümü esnasında tanelerde meydana gelen değişiklik [27]

Alfa, östenit ve δ demirlerinde çok düşük miktarda bor çözünmektedir. Malzemelerdeki saflık ve tane boyutlarındaki değişiklikler çözünebilirliklerin genişliğini belli etmektedir. α - demirde $910^\circ C$ de maksimum çözünebilirlik $20 - 80$ ppm iken, buna karşılık γ - demirde $1150 - 1170^\circ C$ de $55 - 260$ ppm bor çözülür [4].

3.1.5. Bor oksit

Element halindeki borlar, oksitlendikleri zaman oldukça büyük bir enerjinin açığa çıkması söz konusudur. Enerjinin açığa çıkması ile birlikte B_2O_3 meydana gelmektedir. Bu sayede borlardan enerji üretilir ve element halinde olan borun fiziksel, kimyasal ve termodinamik bakımından bu gün enerji kaynakları olarak kullanılan çok farklı

maddelerden daha iyi bir özelliğe sahip olduğu anlaşılmaktadır.

3.1.6. Bor nitrür

BN' ler, sentetik bir malzemedir. Özellik bakımından oldukça zengin olan BN' ler de yüksek ısı şok direncine, ısı iletkenliklere, elektriksel yalıtkanlık, kimyasal kararlılığı ve yağlayıcı özelliğine sahiptir. Bunlardan dolayı metalürji sektöründe yüksek sıcaklık uygulamalarında, elektrik endüstrisinde, seramik ve kompozit üretimlerinde sıklıkça kullanılmaktadır [28]. BN' ün 3 değişik kristal durumu mevcuttur. Bunlar; h (hegzagonal formu), c (kübik formu) diğeri ise ticari BN tipi olan, Pirolitik BN' dir. Bu tipler değişik fiziksel özelliğine sahiptir. Çok farklı uygulama alanlarında tercih edilmektedir. BN' lerin ticari kalite sınıflandırılması Tablo 3.1' de bu durum daha net anlaşılmaktadır [29].

Tablo 3.1. Bor nitrür ticari kalite sınıflandırması [29]

Bileşenleri	Kompozisyon (%)		
	Refrakter	Seramik	Yüksek
Bor Nitrür	92-96	>98.5	>99.5
Bor Oksit	5-7	0.1	<0.003
O	5	0.5-1.5	0.3
C	0.1	0.1	0.1
Metal kalıntı	0.2	0.2	>0.01

3.1.7. B₄C (Bor Karbür)

Siyah parlak renge sahip olan B₄C'ler, sertliklerinden ötürü kara elmas olarak da adlandırılmaktadır. Ergime sıcaklıklarının yüksekliği 2450 °C ve yoğunluklarının düşük olmasından dolayı kullanım alanları oldukça fazladır. B₄C'lerin kullanım alanları olan, makine, kimya ve nükleer' de doğrudan olarak kullanılmıştır. Dökümlerin çeper alanlarından yüksek ergime sıcaklıklarına dirençli malzeme olarak bor karbürler kullanılmaktadır.

Nükleer teknolojileri alanlarında vazgeçilmez bir malzeme olarak kullanılmaya başlanılmıştır. Depo havuzlarında zırh malzemesi olarak ve nükleer atık taşıyıcı tanklarında kullanılmaktadır. Denetim halinde yanmaların sağlanması ve nükleer reaktörlerin önünde yeni özellikleri ortaya çıkarmaktadır. Atık nükleer yakıtların taşındığı kapların imallerinde kullanılan ve bor karbürün ihtivası yapılarak oluşturulan paslanmaz çeliklerde de borlar kullanılmıştır [30]. Hafif silahların imalatlarında da bor karbürler sıklıkça kullanılmıştır. Bu şekilde ki silahlar, personel silahı ve helikopterler de kullanılmış olan silahlardır. B₄C ve cam tarafından mamul zırh malzemeleri de imal edilmiştir. Ayrı olarak da AH-Cobra helikopterlerinde de kullanılmıştır. 6000-12000 km/saat gibi hızlara ulaşan uçakların imalatlarında askeri sivil araçlarında da kullanılmıştır [28, 31, 32].

3.1.7.1. B₄C Yapısı

1883 yılında B₄C bileşikler bulunmuştur. Bor bileşikler olarak refrakter grubunda yer alan B₄C'ler; Al₂O₃, SiC, BN ve elmas gibi bileşikler kapsanmış olan metal dışı sert bileşikler gruplarında ele alınmış olan bir seramiktir. Ticari bor karbürün bileşimi B:C=4:1 oranındadır. B₄C, c-BN'den sonra en yüksek sert malzemelerdir. 1300 °C üzerinde elmadan daha serttir. Düşük ısı iletkenlik özelliğine sahiptirler. Seramik çeşitli malzemelerde olduğu gibi sıcaklık ile azalmaktadır. Borların karbon oranlarına ve safsızlık oranlarına bağlı olarak elektrik-elektronik-ısı-elektronik özellikleri değişmektedir. Sıcaklığın yükselmesi ile termoelektrik güçleri de yükselmektedir [28, 31-33]. B ve C atomlarının birim hücrelerdeki dağılımları ve B atomları ile oluşturulan örgü yapıları tam net olarak bilinmemektedir. Her şeyden öte fiziksel durumları çok iyi bilinmektedir [34].

3.2. Borlu Çeliklerin Kullanım Alanları

B ve B alaşımlı malzemelerin endüstri alanlarında bir çok uygulama alanlarından biri de çelik endüstrisidir. 1940 yılından itibaren borların çelik üzerindeki sertleştirme özelliklerini bilinir olsa da günümüzde metalürji alanının gelişimi ile borlu çelik üretiminde ki sıkıntılar giderilmiş olup, bu şekilde çelikler de farklı alanlarda kullanılabilir hale gelmiştir. Alaşım elementi olarak bilinir olan B'lar, katılım sağladığı çelik türlerine yüksek derecede sertleşme özelliği sağlamasıyla bilinir [35].

Avrupalı otomobil imalatçıları tarafından bor ilaveli çeliklerin darbelere maruz

kalabilecek alanlarda şoför ve yolcu güvenliklerini yükseltmek amacı ile sık sık kullanıldığı bilinmektedir. Yaylarda, forklift kollarında, soğuk çekilmiş çubuklarında, inşaat alanlarında, vites dişlilerinde, kar küreme makinelerinin iş gören bölgelerde ve iş parçası olarak kullanılacak olan malzeme gruplarının imalatlarında gene bor ilavesi yapılmış çelik gruplarının kullanılmışlığı anlaşılmaktadır [35-37].

Borlu çelikler, sertlik ve aşınma dayanımları yüksektir. İşlenebilir ve ısıt işlemler sonrası mekanik özellikleri iyileştirmektedir. Benzerlik gösteren yüksek alaşımli çeliklerle karşılaştırılmasında ucuz olması dikkate alınır, günümüzde ekonomik zorlanma olduğundan dolayı iyi bir alternatif olduğu söylenebilmektedir.

3.3. Bor İlaveli Çeliklerin İşlenebilme ve Mekanik Özellikleri

Ağır malzeme üretimlerinde tercih edilen malzeme grupları çekme mukavemetlerini, akma sınırlarını, sertliklerini, darbe mukavemetlerinin yanında kaynaklı birliklerini ilave olarak da işlenebilirliğini de dikkat edilmek zorunluluğu vardır. Sonuç olarak malzemelerin mekanik özellikleri üzerinde durulduğu zaman işlenebilirlikleri de kolay olmalıdır. Isıt işlemler öncesinde bor ilaveli çelikler oldukça zayıf mekanik özelliklerine sahiptirler.

Yapı çeliği malzemesi olan çeliklerin şekillendirme anında kullanılan yöntemler, takımları ve işleme hızı aynı kalarak bu çeşit çeliklerde görülürler. Bor ilaveli çeliklerin kaynakları da basittir. Bunun sebebi ise, alaşım miktarları düşük olmasından dolayıdır. Direnç nokta kaynakları ve MIG kaynakları bor ilaveli çeliklerin kaynaklanmasında kullanılan kaynak yöntemleri arasındadır. Direnç nokta kaynakları, ısılardan etkilenmiş olsa bile daha küçük bölgelere sebep olduğundan dolayı tercih edilmektedir. Korozyon ve yorulma dayanımları da bor ilaveli çelikler de yüksek olduğu geçmişte yapılan çalışmalar sonucunda kesinleşmiştir. C oranı düşük olan beyitlik yapıdaki çeliklerin bakır-bor ilavesi yapılarak, gemi-köprü-petrol platformlarında kullanılması, korozyon dayanımlarının yüksek olduklarının göstergesi haline gelmiştir [36].

BÖLÜM 4

ISIL İŞLEM

4.1. Çeliklerin Isıl İşlemi

Metal ya da ilave edilen alaşımlara istenilen özellikleri kazandırabilmek amacı ile katı olarak uygulanan, kontrollü olarak ısıtma ve soğutma işlemlerine tabi tutulan olaylara ısıtma işlemi adı verilmektedir.

Gevreklikleri azaltabilmek, toklukları, aşınma dayanımını, sertlik, akma ve çekme dayanımlarını arttırmak, plastik şekil vermeleri kolaylaştırmak, tane yapılarını düzeltebilmek gibi amaçlardan dolayı yapılmaktadır. İşlemleri gerçekleştirebilmek için beyaz ve martenzitik yapı olması gereklidir.

Genel anlamda ısıtma işlemleri 4 ana gruba ayrılmaktadır. Bunlar:

4.1.1. Tavlama

Katılma sıcaklığının altındaki dereceye kadar ısıtılan çelikler, orada bekletilip soğutulma işlemidir. Malzeme genel olarak rijit durumdadır.

4.1.1.1. Normalizasyon

Ötektik üstü çeliklerin tane sınırları içerisinde bulunan karbür ağlarını dağıtmak, homojen yapıları sağlamak ve tane boyutlarını küçültmek için yapılan ısıtma işlemi çeşididir. Ayrı olarak mekanik özellikleri iyileştirmek için de tercih edilir. Ve ısıtma işlemi yapılmış malzemeler kazanabileceği özellikleri tekrardan dönmektedir.

4.1.1.2. Gerilme giderme

Kaynaklanma işlemi olmuş, soğuk çekilmiş, sıcak dövülmüş ve dökümü yapılmış olan malzeme çeşitlerine uygulanabilen ısıtma işlemi yöntemidir. Genel olarak üretim esnasında malzeme iç yapısının da oluşmuş olan iç gerilmeleri azaltmak amacı ile uygulanmaktadır. 550-650°C sıcaklık aralığında yavaşça ısıtılıp, yaklaşık 4 saat bekletilerek, fırından çıkarılıp yavaşça soğutulularak sağlanır.

4.1.1.3. Yumuşatma

Döküm ve dövme parçalarının iç gerilmeleri düşürebilmek, çeliklerin sertliklerini azaltabilmek ve talaş kaldırmaları iyileştirmek amacı ile uygulanmaktadır.

4.1.1.4. Kaba tane tavlama

Talaş kaldırma özelliklerini iyileştirmek amacı ile uygulanmaktadır. Genel olarak az C'lu çeliklere uygulanmaktadır. Çeliklerin 1-2 saat sürelerle A_{C3} sıcaklıklarında 150 °C sıcaklıklarına kadar tavlana bilme işlemlerini kapsamaktadır. Tavlama işlemlerinden sonra yavaş soğutulmaya bırakılmaktadır.

4.1.1.5. Difüzyon tavlama

Çözünebilen bileşen gruplarının içyapılarının düzenli olarak dağılabilmesi amacı ile yapılmaktadır. 1000-1300°C arasına kadar ısıtılır. Yalnızca malzeme içerisindeki C miktarlarına bağlı olarak değişmektedir. Önlemler alınmaz ise tane büyümeleri, dekarbürizasyon ve oksidasyonlar meydana gelebilmektedir.

4.1.1.6. Küreselleştirme

%0,5'ten fazla C içeren çelik parçalarına bükme, çekme, talaşlı üretim ve haddeleme gibi işlemlerin öncesinde sünek ve yumuşak malzeme hallerini kazandırabilmek en büyük amaçlarıdır.

4.1.2. Sertleştirme

Östenit derecelerine kadar ısıtılıp bir süre bekletilecek olan çeliklerin sertleştirme işlemleri, daha sonra ise seri olarak soğutulma işlemlerine bırakılmaktadır. 0,8'den daha az karbon içeriğinde olan çelikler, soğumaları sonucu oluşan faz değişimi, en yavaş hızlarda soğuma sonucunda oluşan dönüşümlerdir.

Bu işlem sıralaması üç sıralı sistemlerde yapılmaktadır. Bunlar:

- Isıtma,
- Bekletme
- Soğutma.

4.1.2.1. Isıtma

Bu aşamada malzemeler su verme sıcaklıklarına kadar ısıtma yapılmalıdır. C oranlarına göre sertleştirme sıcaklıklarına kadar ısıtma yapılmalıdır.

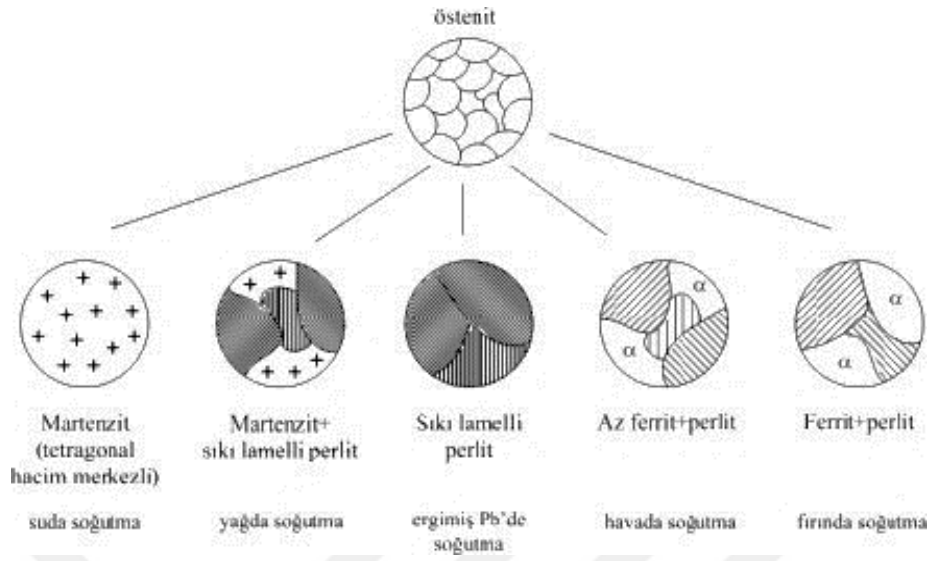
Otektoidaltı çeliklerde; $T = A_{C3} + (30^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C})$ Otektoidüstü çeliklerde; $T = A_{C1} + (30^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C})$

4.1.2.2. Bekletme

Tavlama işlemlerinin optimum olabilmesi için çelik çeşitlerinin östenit haline tamamen geçmesi gerekmektedir. Dönüşümler için belirli bir süre o sıcaklıkta tutulması gerekmektedir. İç bölgeler, malzemenin dış bölgelerine göre daha geç faz dönüşümlerine uğrarlar. Bundan dolayı çelik malzemeler tavlama sıcaklıklarından bir süre sonra beklemelidir. Bekleme süreçlerinden sonra çeliklerin iç kısım ile dış kısım aynı yapıya gelecektir. Ayrı olarak çelikler tamamen östenit faza dönüşmüş olacaktır.

4.1.2.3. Soğutma

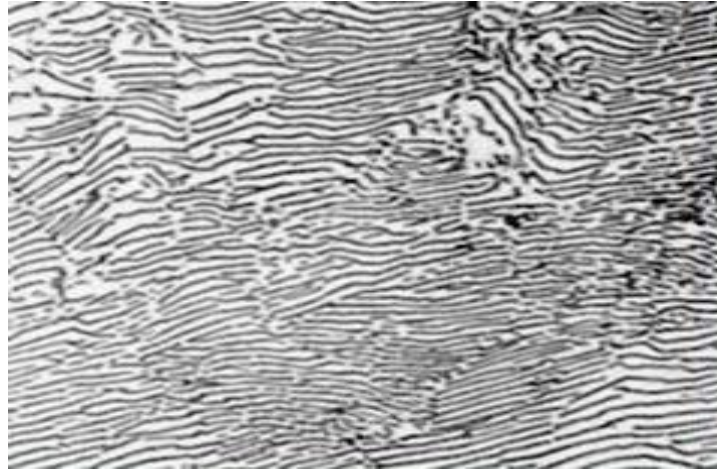
Çelik malzemelerinin sertleşebilmeleri için soğutma hızları, kritik soğutma hızının üstünde olması gerekmektedir. Östenit, çeliklerin bileşimlerine bağlı kalarak, en düşük hızın altına inilmeyecek olarak soğutulmaktadır. Bu sebepten dolayı yarı kararlı tetragonal hacim merkezli martenzit yapısı oluşur. Çelik malzemeleri fırının içerisinde soğutulmaya bırakıldıktan sonra ferrit ve perlit yapılar oluşur. Havada soğutmaya bırakılmış olan çelikler perlit ve az oranda ferrit bulunur. Oda sıcaklıklarında ise ince sıkı lamelli perlitik bir yapı haline dönüşür. Yağ içerisinde soğutulmuş olan çelikte perlit oluşumu engellenir. Suda soğutulan çeliğin yapısı ise tamamen martenzite dönüşmektedir [38].



Şekil 4.1. Östenitin soğuma hızına bağlı olarak yaptığı dönüşümler

4.1.2.3.1. Perlit kademesinde dönüşüm

Ferritik ve Fe_3C (Sementit) yapılarından oluşan içyapı oluşumları ile sonuçlanmaktadır. C ve diğer alaşım elementleri soğuma hızları arttıkça yayılım süreleri azalmaktadır. Fe_3C 'lerin genişlikleri azalarak, ince ya da çok ince lamelli perlit içyapı meydana gelmektedir.

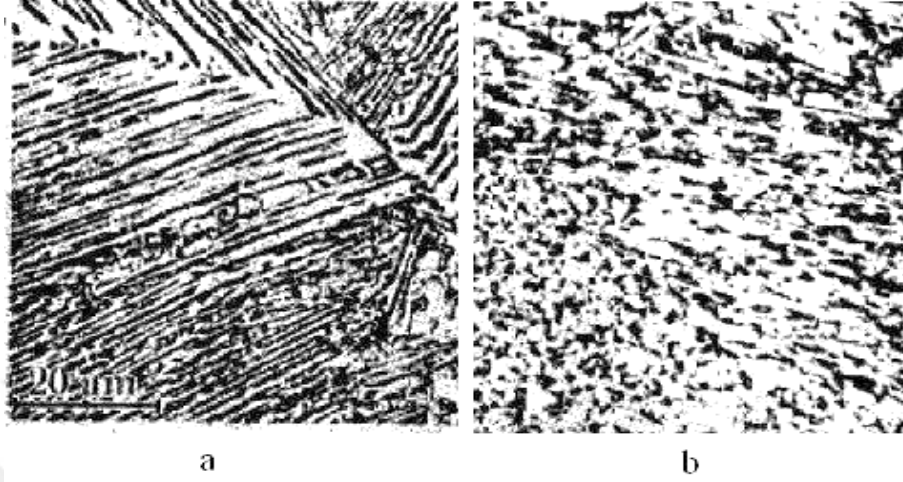


Şekil 4.2. Sertleştirme işlemi ile ortaya çıkan perlit yapı

4.1.2.3.2. Beynit kademesinde dönüşüm

Fe atomları yayılım durumları olmaz iken, C atomlarının yayılmaları ile güçlenmektedir. Beynit yapıları, elektron mikroskopunda iki şekilde görülebilir.

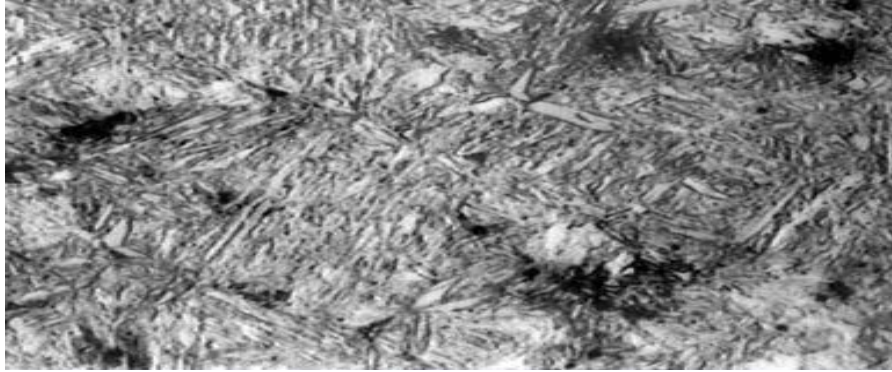
- İğneli beynit: Ferrit içerisine gömülmüş karbon parçacıkları olarak tanımlanır.
- Taneli beynit: Sürekli soğuma ile elde edilir.



Şekil 4.3. (a) İğneli ve (b) taneli beynit yapısı [39]

4.1.2.3.3. Martenzit kademesinde dönüşüm

HKMT (Martenzit, hacim merkezli tetragonal) yapılarına sahip olan yarı dengeli bir fazdır. Martenzit durumlarında çekirdeklenme ve büyümeleri söz konusudur. Martenzit yapıların büyümeleri oldukça kolaydır.



Şekil 4.4. Sertleştirme işlemi ile ortaya çıkan martenzit yapısı

4.1.3. Islah etme

İstenmiş olunan mekanik ve sertlik özelliklerinin elde edilmesinde yapılmış olan menevişleme ve su verme işlemleridir. Özel olarak parçaların tüm kesitinin sert olması istenilen durumlarda kullanılırlar.

4.1.3.1. Su verme

Malzemelerin sertleşebilme sıcaklıklarına kadar ısıtılıp, ani soğutulması ile sertleştirilmesi şeklinde tariflenmektedir. İşlemin yapılabilmesi için malzemelerin alaşım oranları ile alakalıdır.

4.1.3.1.1. Su ortamında sertleştirme

Su içerisinde sertleştirme işlemleri endüstri alanında kullanılan en yaygın ve etkin sistemdir. Genel anlamda su vererek sertleştirme başlangıcı sağlanır. Çeliklerin her yanında eşit miktarlarda su verme sıcaklıklarına kadar erişimi sağlanmaktadır. Bu durumdan sonra çelikler tamamen östenit bir yapı sağlanmış olur.

4.1.3.1.2. Yağ ortamında sertleştirme

Soğutma işlemlerinde sıvı olarak kullanılan soğutma sıvısıdır. Genel anlamda mineral yağlar kullanılmaktadır. Su içerisinde soğutmaktan daha yavaş şekilde soğurlar. Yağ içerisinde ki sertleştirmeler de daha az gerilmeler doğmaktadır. Buna bağlı olarak da çekme, çarpılma ve çatlama daha az olmaktadır.

4.1.3.1.3. Tuz banyosunda sertleştirme

Soğutmak amacı için en çok tercih edilen tuz banyoları, genel anlamda yarı yarıya NaNO_3 ve KNO_3 kullanılmaktadır. Bunlar 160-500 °C arasında kullanılırlar. 500-600 °C arasında kullanılan tuz banyoları da mevcuttur.

4.1.3.1.4. Havada sertleştirme

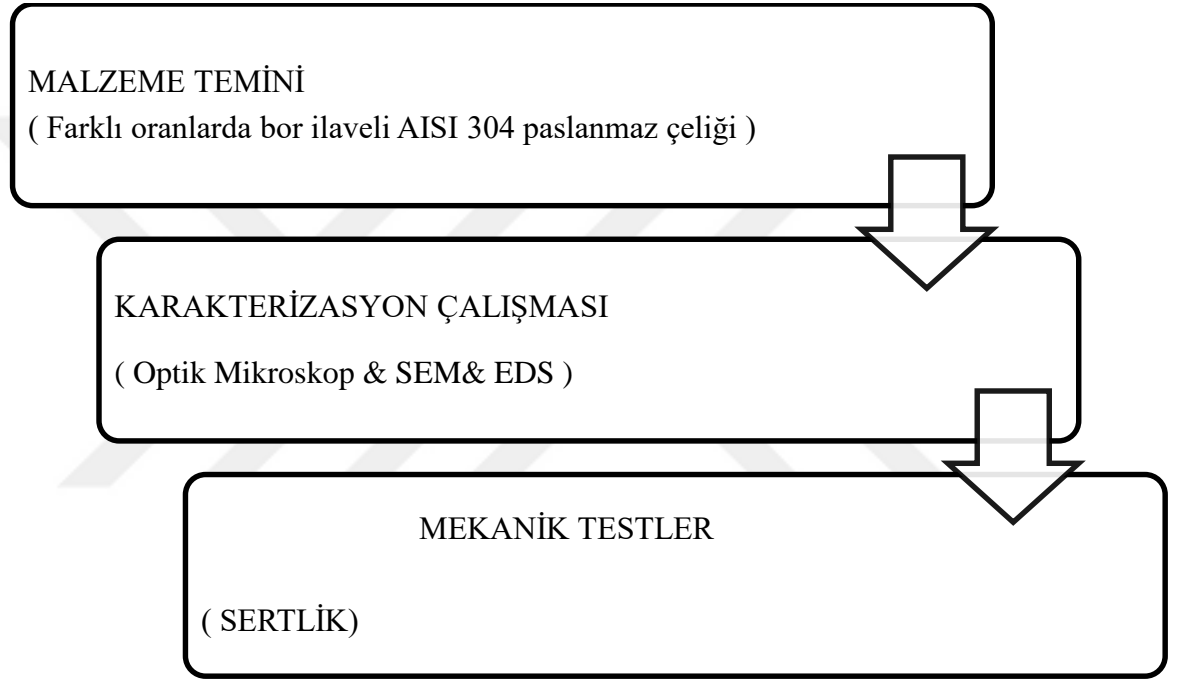
Genel olarak ince kenarlı az alaşımlı ve yüksek alaşım içeriğine sahip çelikler, basınçlı ya da durgun hava ile sertleştirilmektedir. Soğutma hızı, hava ile oldukça düşüktür. İç gerilmeden kaynaklanan çarpılmalar yok edilebilir seviyededir. Hava ile sertleştirme genel anlamda ani soğumalar istenmeyen mamulün, fırın çıkışında kullanılır.

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Çalışma sistemi

Çalışmamızın konusu olan, AISI 304 paslanmaz çeliklerine farklı oranlarda bor ilavesi yapılarak mekanik özellik değişimi incelenmiştir. Çalışmanın deneysel sürecinin şematik gösterimi Şekil 5.1. de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Numunelere uygulanacak deneysel işlem süreçleri

5.2. Malzeme Seçimi

Ülkemizde, dünya sanayi piyasasında sıklıkla kullanılmış olan AISI 304 çeliği seçilmiştir. AISI 304 çeliği, mutfak eşyaları, evyeller, ev aletleri, endüstriyel mutfaklar, kimya ve petro kimya sektörü, gıda sektörü, otomotiv sanayi, eşanjör ve boyler üretimi gibi çok sayıda alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Farklı miktarlarda bor ilaveli AISI 304 çeliğinin kimyasal analiz değerleri Tablo 5.1. de verilmiştir.

Tablo 5.1. Çalışmamızda kullanılan numunenin % ağırlık olarak kimyasal bileşimi

Malzeme	Kodu	C	Si	Mn	P ve S		Ti	Al	B	Cr	Ni
304	71	0.068	0.732	2.054	0.035	0.005	0.0193	0.0207	9	18.123	8.75
304	72	0.067	0.647	2.032	0.034	0.004	0.0175	0.0176	13	18.151	8.84
304	73	0.069	0.671	1.992	0.036	0.005	0.0144	0.0155	16	18.162	8.89
304	74	0.068	0.646	2.001	0.035	0.004	0.0126	0.0122	22	18.171	8.87
304	76	0.070	0.645	1.973	0.035	0.004	0.0095	0.0114	48	18.152	8.90
304	77	0.070	0.625	1.963	0.036	0.005	0.0067	0.0081	63	18.143	8.89

5.3. Metalografik İşlemler

5.3.1. Numunelerin kesilmesi

Çalışmış olduğumuz numunelerin, karakterizasyon incelemeleri ve mekanik testlerinde kolaylık sağlayabilmek amacı ile bakalite alabilme boyutlarında kesme işlemi yapılmıştır. Kesme işlemleri, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Metalografi Laboratuvarı'nda bulunan *Metkon Metacut 250* (Şekil 5.2.) modelinde ki kesme cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.2. Kesme makinesi

5.3.2. Bakalite alma

Numunelerimiz, hassas kesme cihazında işleminden geçtikte sonra numunelerin kodlarına ve bor miktarlarına göre, yapılacak olan işlemlerde kolaylık sağlamak amacı ile Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Metalografi Laboratuvarı'nda bulunan Şekil 5.3. de verilen *Metkon Ecopress 50* markalı otomatik kalıplama cihazında kalıba (bakalite) alma işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.3. Kalıba (bakalite) alma makinesi

5.3.3. Numunelerin zımparalanması ve parlatılması

Parlatma ve zımparalama işlemi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Metalografi Laboratuvarı'nda bulunan *Mikrotest Multipol Advanced* (Şekil 5.4.) tipi otomatik zımparalama-parlatma cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.4. Zımparalama-parlatma cihazı

Zımparalama işlemi 1.5 bar ve parlatma aşamasında 0.6 bar değerinde basınçlar tercih edilmiştir. Zımparalama işlemleri HV150' den daha sert bütün materyalleri hassas ve düz zımparalayan Şekil 5.5. de verilen *Aka- Piatto* adı verilen zımparalama diskleri ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.5. Otomatik zımpara cihazında kullanılan diskler

Numuneleri zımparalama aşamasında ısınmalarını önleyebilmek ve homojen yapabilmek için cihazın su modu açık olarak işlem gerçekleştirilmiştir. Görüntü alabilmede netlik sağlayabilmek için zımparalama işleminin iyi ve itinalı gerçekleşmesi gerekmektedir. Bundan ötürü zımparalama işleminden sonra numune yüzeylerinin düz ve çiziklerin

gerilmesi hususuna dikkat edilmiştir. Numuneleri parlatma aşamasında ise optimum parlatma kumaşları kullanış ve ilk olarak *Aka- Allegran* parlatma diskinde *DiaMaxx Mono 9 µm* elmas süspansiyon, ikinci kısımda ise *DiaDouble Mono 1 µm* süspansiyon ile 240 s. süre zarfında parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir.

5.3.4. Numunelerin dağlanması

Numunelerin yüzeyleri istenilen duruma getirildikten sonra mikroyapı incelemeleri için yüzeyde dağlama yapılması gerekmektedir. Bu işlemden sonra mikroyapı karakteristik özellikleri açığa çıkmaktadır. Bu çalışma da, metalografi de, elektrolitik ve kimyasal dağlama çeşitlerinden numunenin özelliğinden faydalanılarak elektrolitik dağlama işlemi uygulanmıştır. % 50 nitrik asit ve % 50 saf su ile dağlama çözeltisi hazırlanarak, işlem görmemiş numunelerimiz 25 saniye süre ile daldırma işlemi uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

5.4. Optik Mikroskop İşlemi

Dağlama yapmış olduğumuz numunelerden mikroyapı incelemeleri için Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Mikroskopi Laboratuvarı'nda farklı ölçülerde objektifi olan bilgisayar bağlantılı *Clemex* tipi dijital kamera monte edilmiş *Nikon Eclipse MA 100* tipi ışık mikroskobundan oluşan görüntü düzeneği ile gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı görüntüleri 20X yakınlaşma ile çekilmiştir. Görüntü düzeneğinin fotoğrafı Şekil 5.6.'da verilmektedir.



Şekil 5.6. Optik mikroskop ve görüntü sistemi

5.5. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu)

Bor ilaveli, işlemlerden geçmemiş çeliğimiz, metalografik işlemlerden geçirilmiş ve uygun metottaki dağlayıcı (% 3'lük nital çözeltisi) ile dağlanımı sağlanmıştır. Numunelerden elde ettiğimiz mikroyapılar, SEM ile çekilmiştir.

Numunelerin SEM görüntülerinin alınmasında Gebze TÜBİTAK Malzeme Enstitüsü laboratuvarlarında bulunan elektron mikroskobu kullanılmıştır. SEM görüntüsüne başlamadan önce, numuneler kaplama ünitelerine yerleştirilerek, vakum ortamına alınmıştır.



Şekil 5.7. Taramalı elektron mikroskobunun (SEM) fotoğrafı

5.6. Mikrosertlik testi

Ölçümler, mikroyapı görüntüleri alındıktan sonra başlanılmıştır. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Mikroskopi Laboratuvarı'nda bulunan, *Future Tech FM-700* model dijital sertlik ölçüm cihazı tercih edilmiştir. Vickers sertlik ölçümünde, yüzeyleri arasında 136° açı bulunan bir elmas piramit uç kullanılır. Uygulanan yük 10 gr ile 1000 gr arasında değişmektedir. Uç, numuneye belli bir kuvveti 5-30 saniye kadar uygulayarak, numune üzerinde kare şeklinde iz oluşturarak izin köşegen boyutları (d), cihaz mikroskobundan okunarak belirlenir.



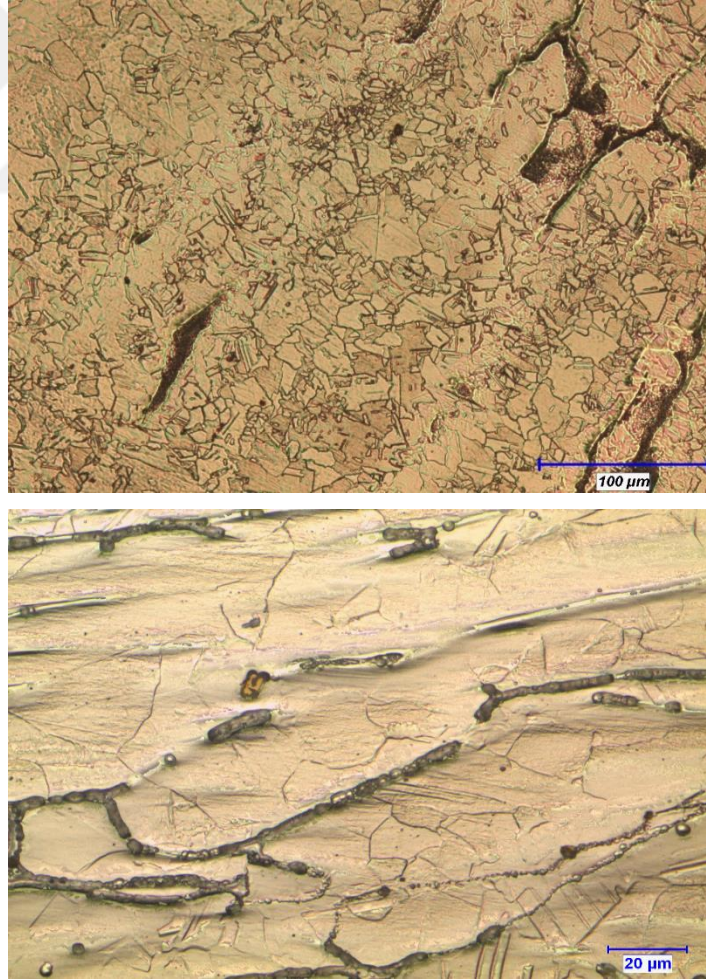
Şekil 5.8. Mikrosertlik ölçüm cihazı

BÖLÜM 6

DENEYSEL SONUÇLAR

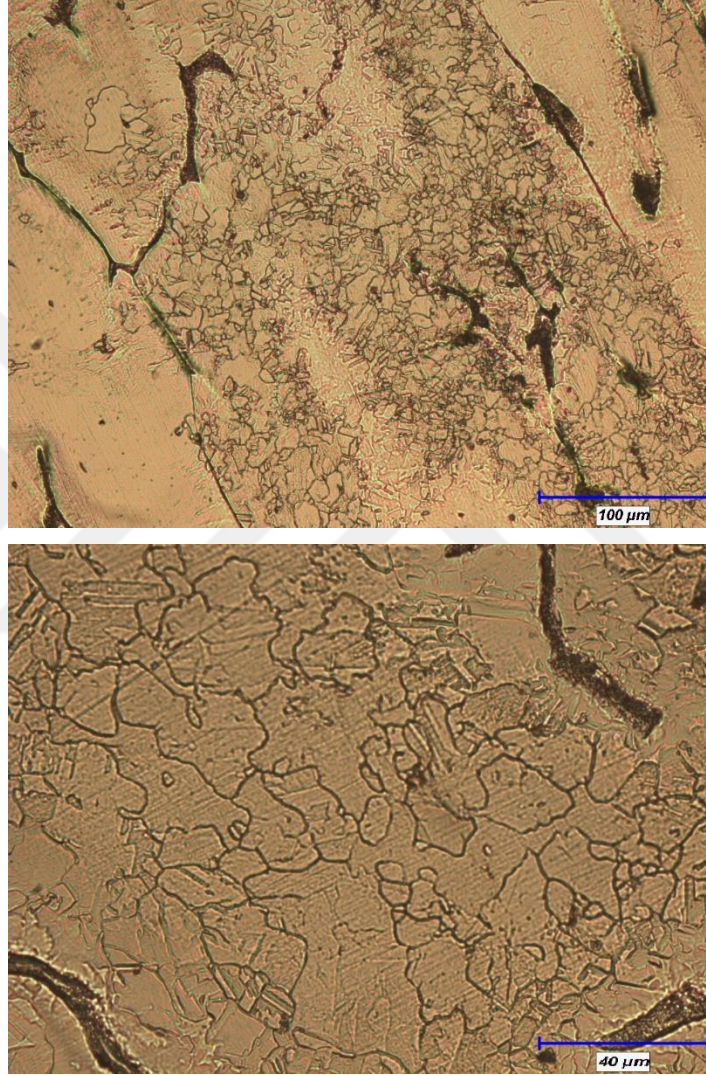
6.1. Optik Mikroyapı Analiz Sonuçları

Yapılan çalışmada, AISI 304 paslanmaz çelik indüksiyon ocağında ergitilerek içerisine 9 ppm, 13 ppm, 16 ppm, 22 ppm, 48 ppm ve 63 ppm oranlarında bor ilave edilmiştir. Mikroalaşım bor ilavesi yapılan numuneler seramik kalıplarda katılaştırma işlemi sonrasında 10 mm kalınlığında lama haline gelinceye kadar sıcak haddeleme işleminden geçirilmiştir. 9 - 63 ppm arasında mikroalaşım bor eklenen çeliklerden elde edilen numunelerin parlatma ve elektrolitik dağlama işlemleri sonrasında elde edilen optik mikroyapı fotoğrafları Şekil 6.1-6.6'da görülmektedir.



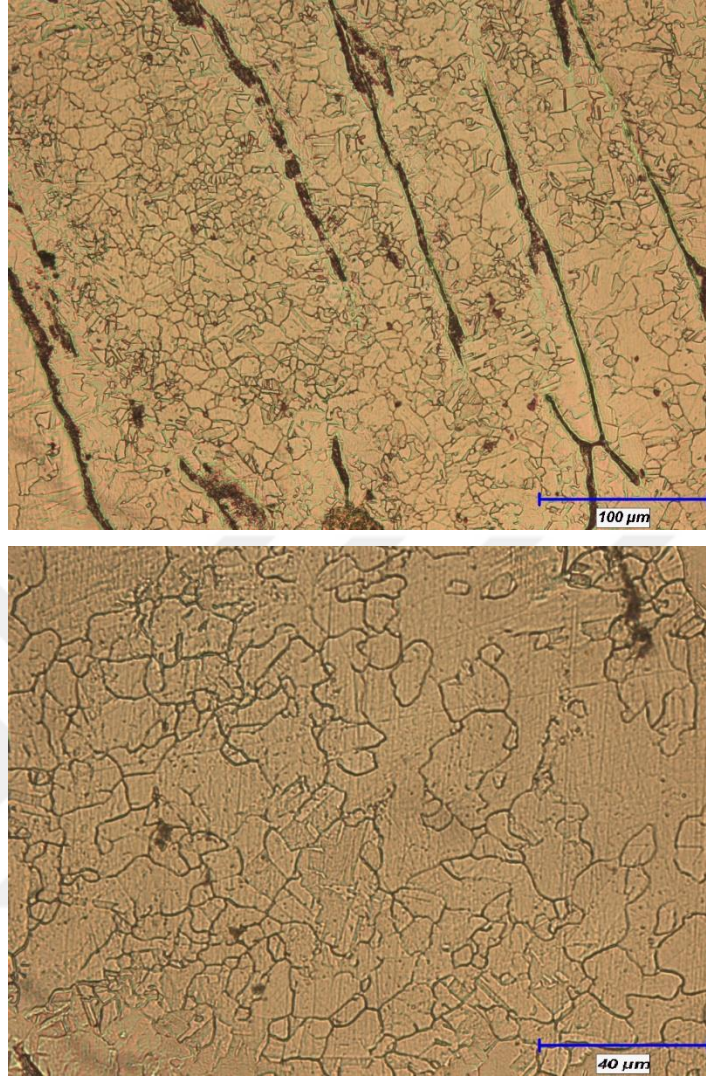
Şekil 6.1. 9 ppm Bor içeren AISI 304 çeliğinin optik mikroyapı fotoğrafı

9 ppm mikroalaşım bor içerikli 304 çeliğinin östenitik mikroyapısı Şekil 6.1'de görülmektedir. Döküm ve haddeleme işlemi sonrasında yaklaşık 10 μm 'lik tane boyutunda östenitik taneler görülmekle birlikte dağlayıcıdan aşırı etkilenmiş haddeleme sonrası yüksek dislokasyon yoğunluklu bölgeler de dikkati çekmektedir.



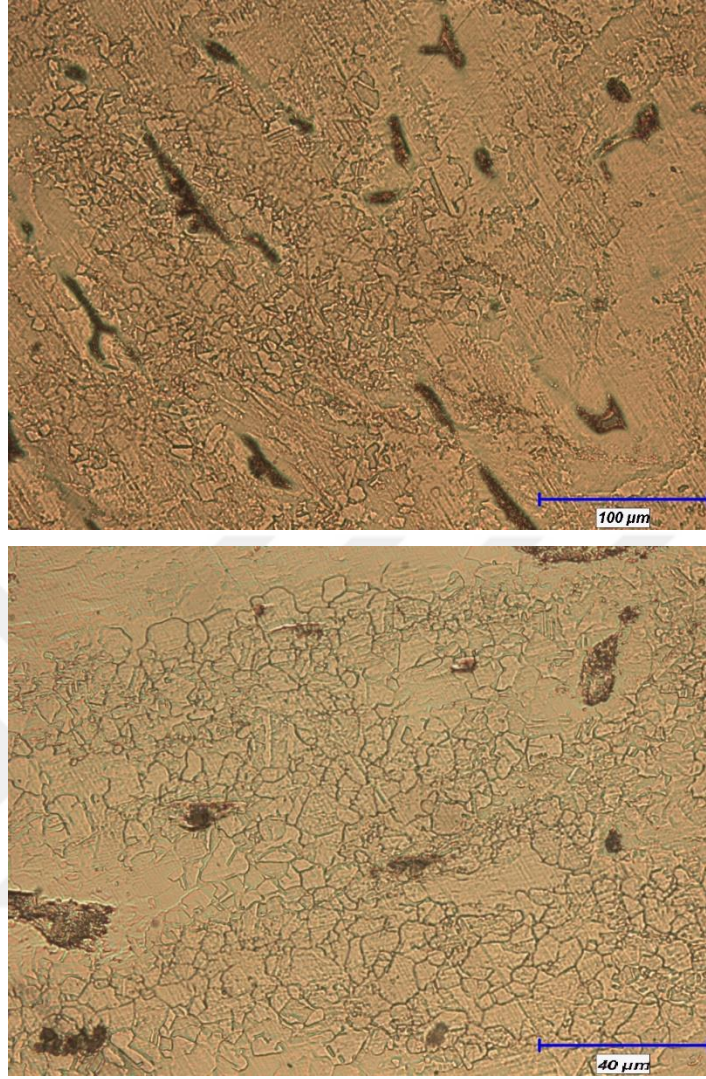
Şekil 6.2. 13 ppm Bor içeren AISI 304 çeliğinin optik mikroyapı fotoğrafı

13 ppm mikroalaşım bor içerikli 304 çeliğinin östenitik mikroyapısı Şekil 6.2'de görülmektedir. Döküm ve haddeleme işlemi sonrasında yaklaşık 10 μm ve altı tane boyutunda östenitik tanelerin meydana geldiği görülmektedir. Mikroyapı fotoğrafları 9 ppm ile kıyaslandığında mikroyapısal olarak çok önemli bir değişikliğin meydana gelmediği gözükmemektedir.



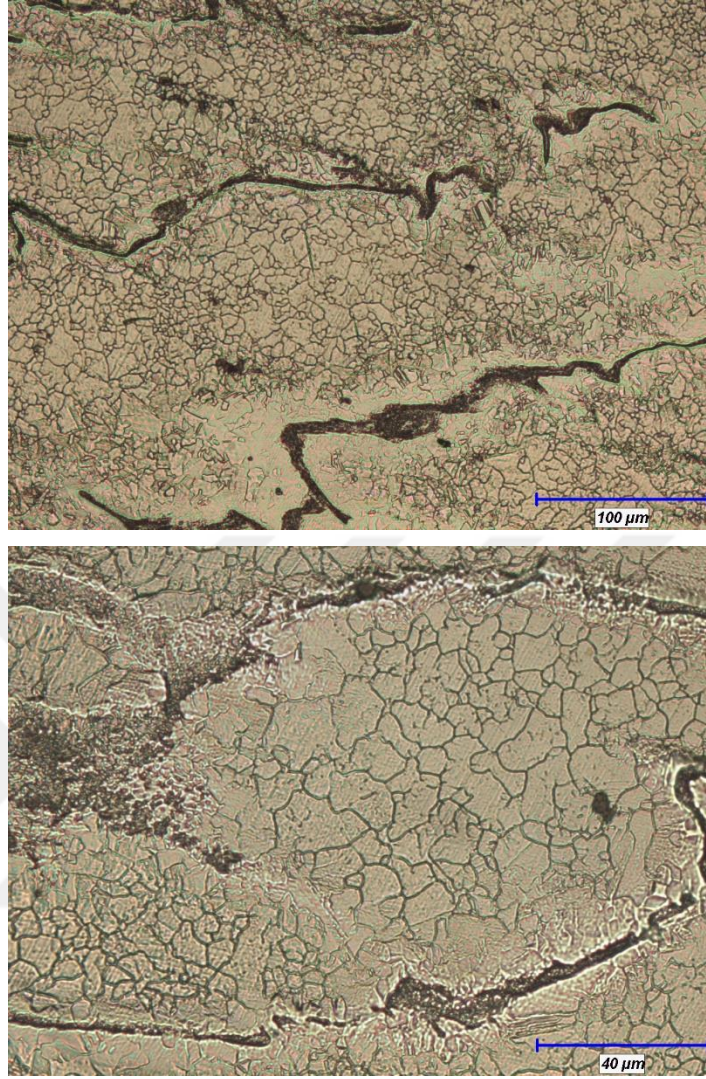
Şekil 6.3. 16 ppm Bor içeren AISI 304 çeliğinin optik mikroyapı fotoğrafı

16 ppm mikroalaşım bor içerikli 304 çeliğinin östenitik mikroyapısı Şekil 6.3'de görülmektedir. Döküm ve haddeleme işlemi sonrasında 13 ppm borlu 304 çeliğin mikroyapısına benzer şekilden yaklaşık 10 µm ve altı tane boyutunda östenitik tanelerin meydana geldiği görülmektedir. Mikroyapı fotoğrafları 9 ve 13 ppm ile kıyaslandığında mikroyapısal olarak çok önemli bir değişikliğin meydana gelmediği gözükmemektedir.



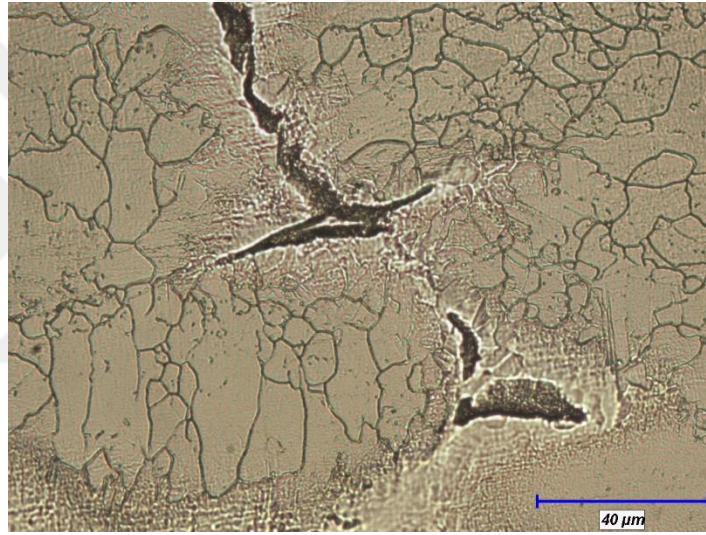
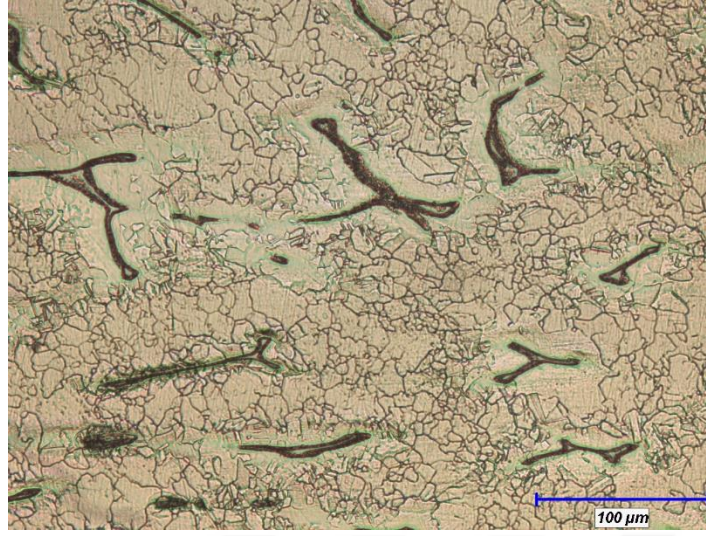
Şekil 6.4. 22 ppm Bor içeren AISI 304 çeliğinin optik mikroyapı fotoğrafı

22 ppm mikroalaşım bor içerikli 304 çeliğinin östenitik mikroyapısı Şekil 6.4'de görülmektedir. Döküm ve haddeleme işlemi sonrasında yaklaşık 5 µm'luk tane boyutunda östenitik tanelerin meydana geldiği görülmektedir. Mikroalaşım bor içeriği 22 ppm'e çıktığında tane morfolojisi çok değişmese bile tane boyutunda küçülme dikkati çekmektedir.



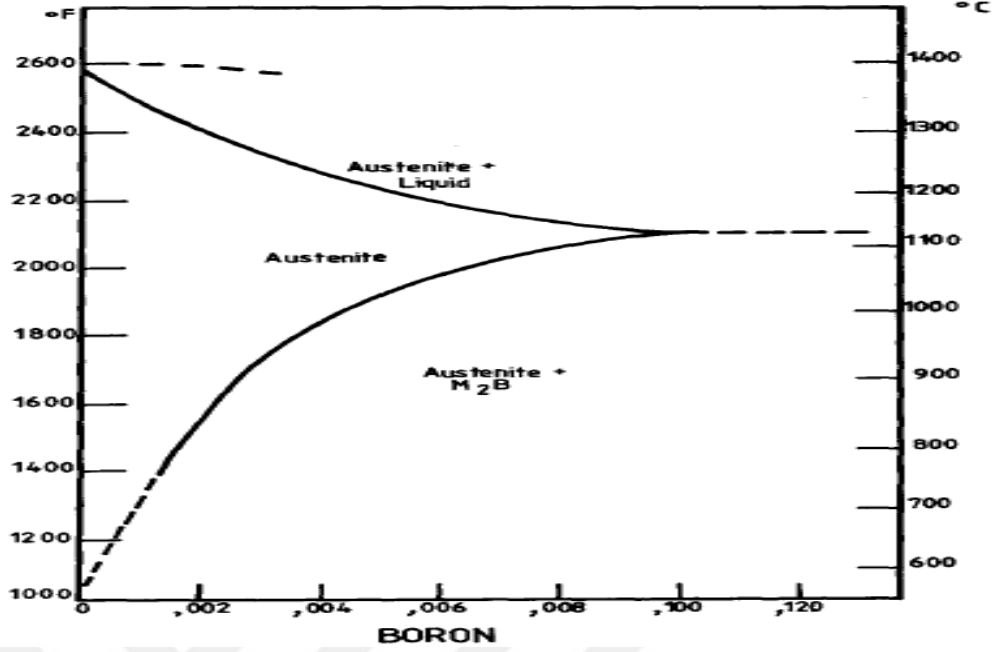
Şekil 6.5. 48 ppm Bor içeren AISI 304 çeliğinin optik mikroyapı fotoğrafı

48 ppm mikroalaşım bor içerikli 304 çeliğinin östenitik mikroyapısı Şekil 6.5'de görülmektedir. Döküm ve haddeleme işlemi sonrasında yaklaşık 5-10 µm aralığında östenitik tanelerin meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 6.6. 63 ppm Bor içeren AISI 304 çeliğinin optik mikroyapı fotoğrafı

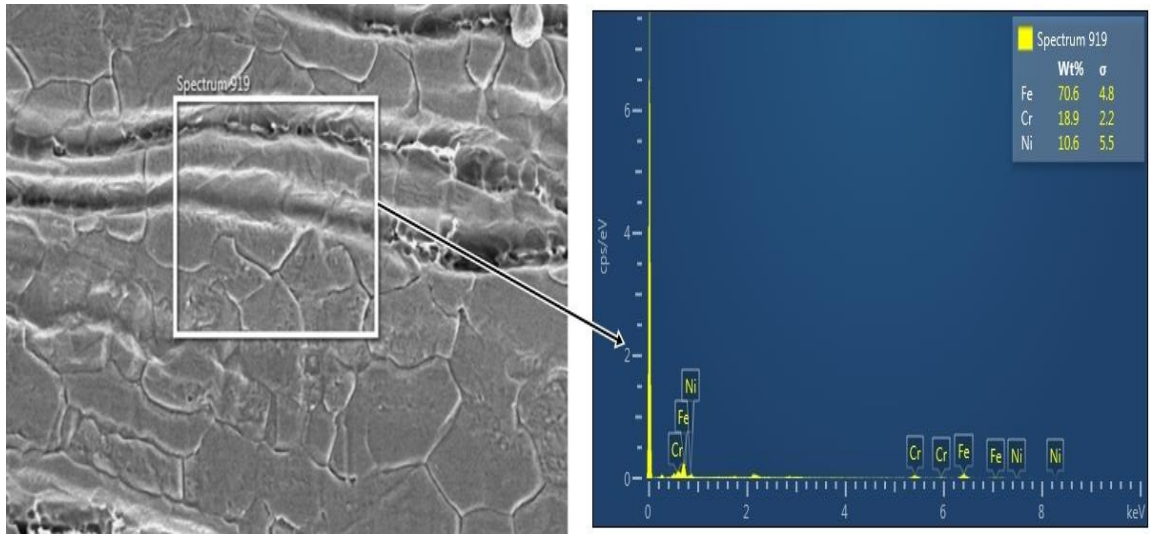
63 ppm mikroalaşım bor içerikli 304 çeliğinin östenitik mikroyapısı Şekil 6.6'da görülmektedir. Döküm ve haddeleme işlemi sonrasında yaklaşık 5-15 μm aralığında östenitik tanelerin meydana geldiği görülmektedir. Östenitik tanelerle birlikte özellikle tane sınırlarında meydana gelen optik fotoğraflarda ise beyaz görünümlü fazın M_2B fazı olduğu düşünülmektedir. Paslanmaz çeliklere bor katılarak yapılan ve sıcak şekillendirilebilirlik üzerine yapılan bir çalışmada artan mikroalaşım bor içeriği ile birlikte yapıda östenitik faz ile birlikte M_2B fazının da oluşacağı açıkça gösterilmiştir [Şekil 6.7]. Bu durum daha düşük bor içeriklerinde gözlemlenmiştir. Ancak artan mikroalaşım bor içeriği ile birlikte M_2B fazı olarak düşünülen fazın oranı da artmıştır.



Şekil 6.7. Ağırlıkça %18 Cr-15Ni içeren ostenitik tip paslanmaz çelikte bor elementinin çözünlülüğü [40]

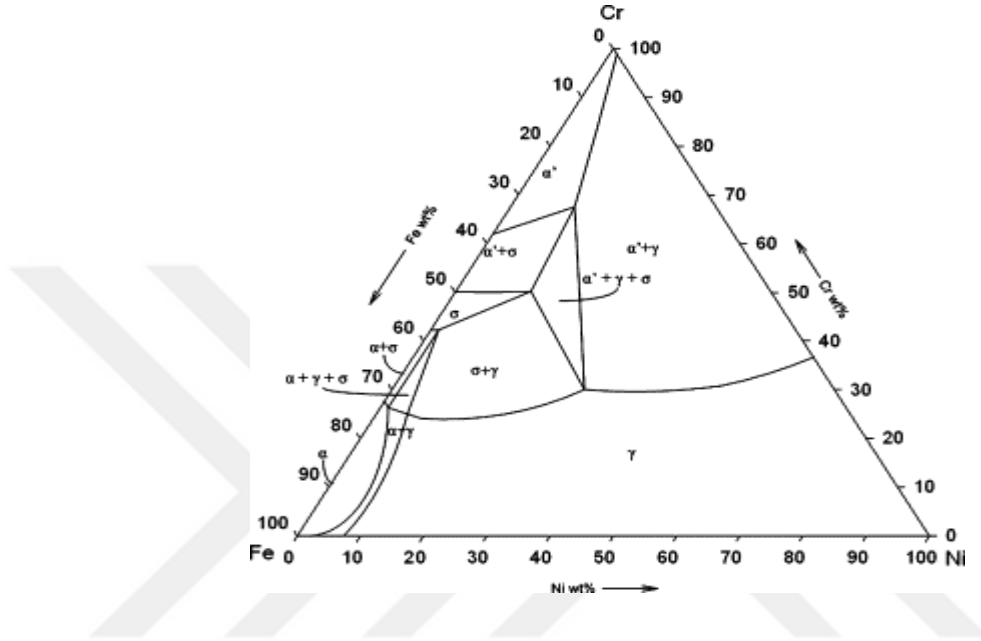
6.2.SEM-EDS sonuçları ve tartışma

AISI 304 paslanmaz çelik içerisine 9 ppm ve 48 ppm oranlarında mikroalaşım bor ilavesi yapılarak üretilen numunelerin SEM-EDS analizleri yapılmıştır. SEM ve EDS analizleri için optik mikroyapı için hazırlanan numuneler kullanılmıştır. Bu amaçla numuneler detaylı bir SEM analizinden geçirilmiş ve tespit edilen farklı bölgelerin EDS analizleri alınarak element içerikleri belirlenmiştir. Belirlenen element dağılımına göre de faz yapıları tespit edilmiştir.

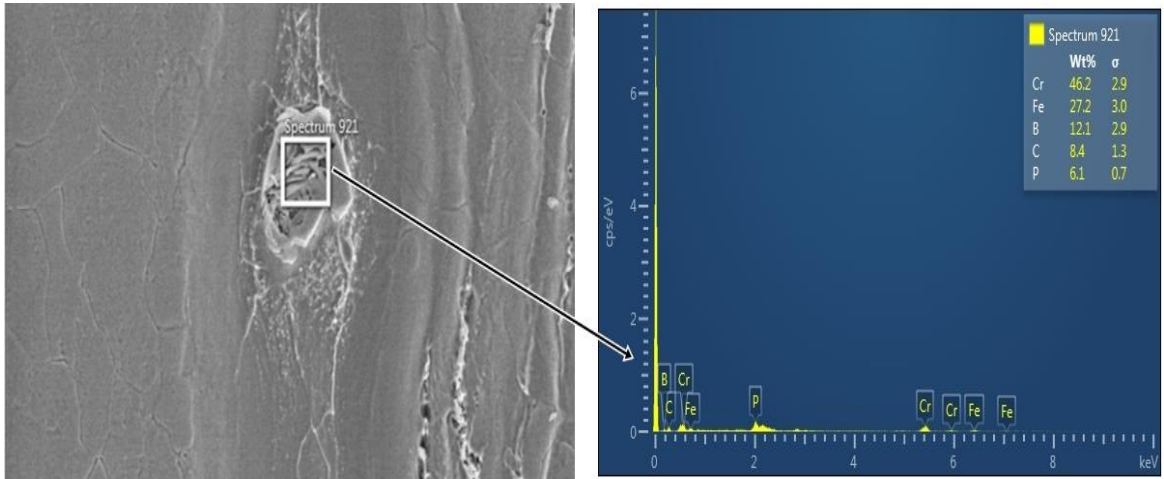


Şekil 6.8. 9 ppm bor içeren numunenin SEM görüntüsü ve noktasal analizleri

9 ppm bor içerkli AISI 304 paslanmaz çeliğın SEM mikroyapı fotoğrafında da görüldüğü üzere bölgesel EDS analizi alınmış olup % 70.6 Fe, %18.9 Cr ve % 10.6 Ni içeriğı elde edilmiştir. Elde edilen faz Fe-Cr-Ni üçlü denge diyagramı (Şekil 6.9) dikkate alındığında γ fazına işaret etmektedir.



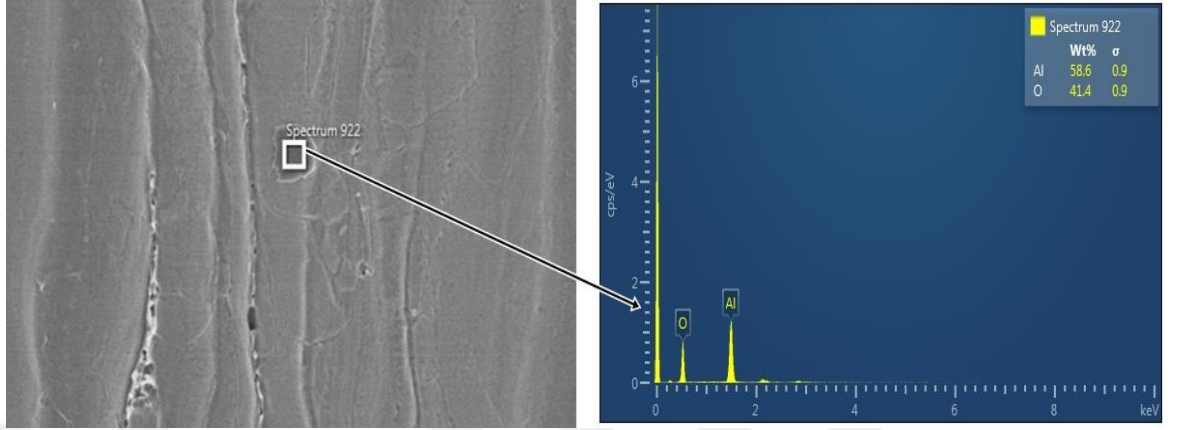
Şekil 6.9. İzotermal Fe-Cr-Ni üçlü denge diyagramı (750 °C) [40]



Şekil 6.10. 48 ppm bor içeren numunenin SEM görüntüsü ve noktasal analizleri

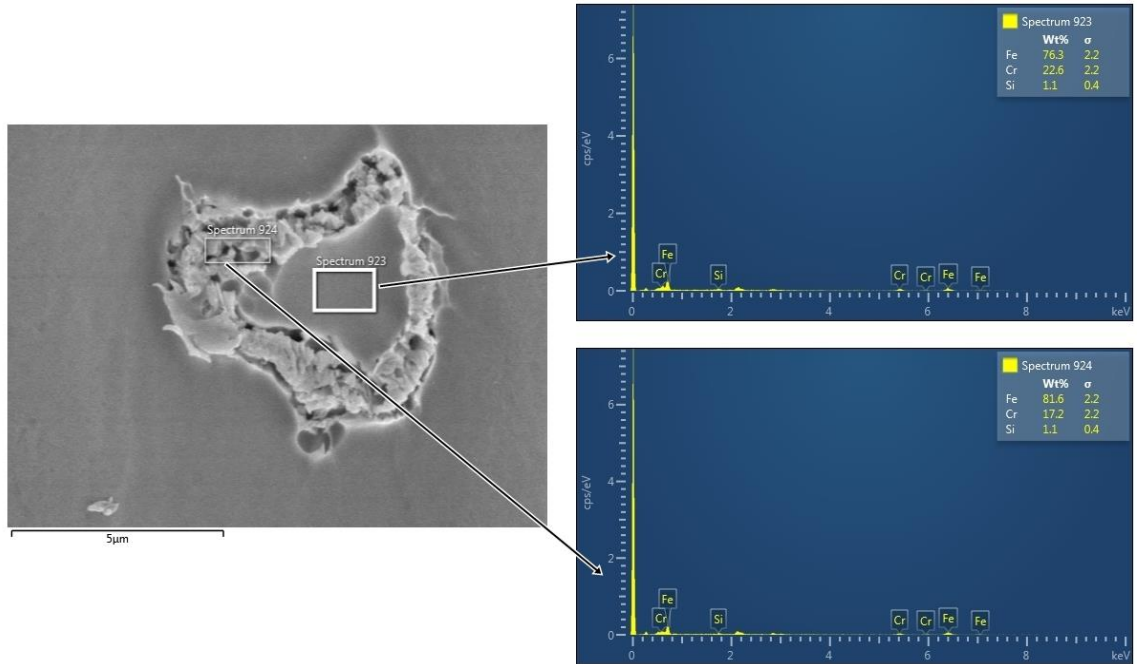
Şekil 6.10'da görüldüğü üzere genel matris içerisinde farklı bir bölgeden alınan EDS analizinde % 46.2 Cr, % 27.2 Fe, % 12.1 B ve % 8.4 C değerleri elde edilmiştir. Elde

edilen EDS sonucuna göre Fe-Cr-B-C bileşiği oluşmuştur.



Şekil 6.11. 48 ppm bor içeren numunenin SEM görüntüsü ve noktasal analizleri

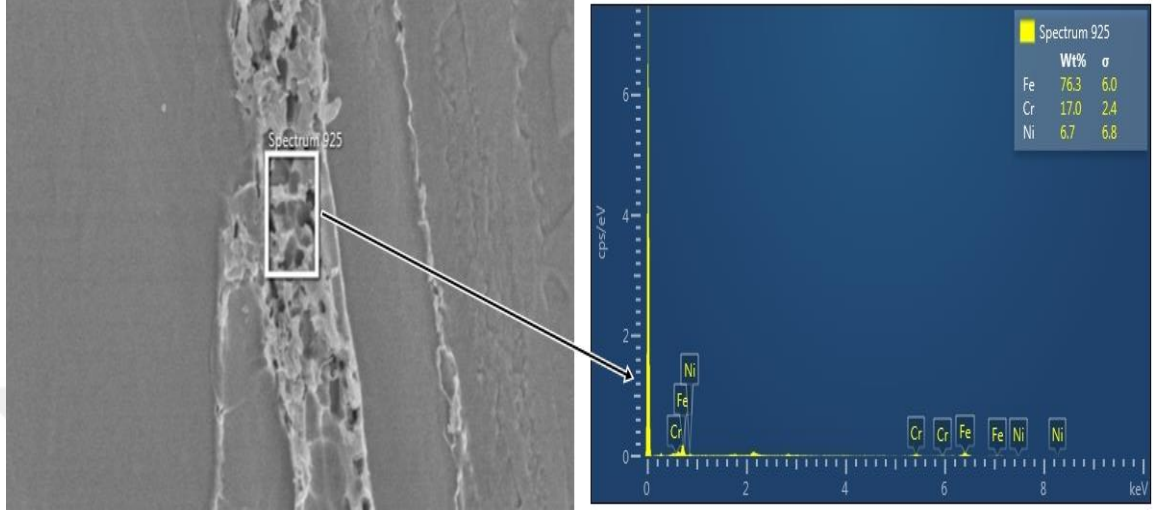
Şekil 6.11’de belirtilen noktadan alınan EDS analizinde Al ve O elde edilmiştir. Bu durum muhtemelen parlatma esnasında numune yüzeyinde kalan alüminadan kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 6.12. 48 ppm bor içeren numunenin SEM görüntüsü ve noktasal analizleri

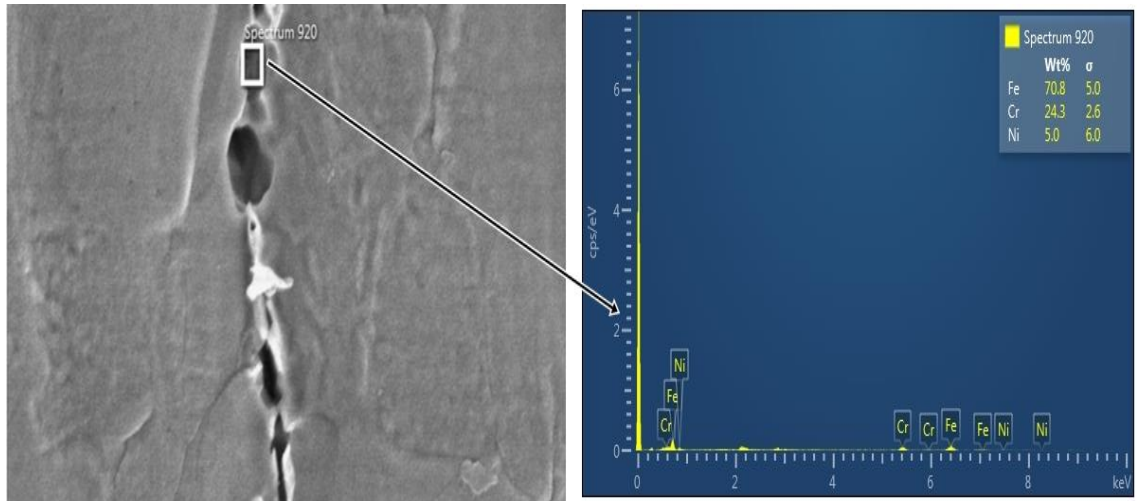
Şekil 6.12’de belirtilen noktadan alınan EDS analizinde Fe ve Cr elementleri elde

edilmiştir. Fe-Cr ikili denge diyagramı göz önünde tutulduğunda ostenitik matris içinde Cr elementi açısından zengin α -ferrit fazının meydana geldiği gözükmektedir.



Şekil 6.13. 48 ppm bor içeren numunenin SEM görüntüsü ve noktasal analizleri

Şekil 6.13’de belirtilen noktadan alınan EDS analizinde Fe, Cr ve Ni elementleri elde edilmiştir. Fe-Cr-Ni ikili denge diyagramı göz önünde tutulduğunda yapının matris yapısına benzer şekilde γ -östenit fazından oluştuğu sonucu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 6.14. 48 ppm bor içeren numunenin SEM görüntüsü ve noktasal analizleri

Şekil 6.14’de belirtilen noktadan alınan EDS analizinde yine Fe, Cr ve Ni elementleri elde edilmiştir. Matris fazdan farklı bir konsantrasyonda gözüken bu yapının matris yapıdan daha zengin Cr içeriğine sahip Fe-Cr-Ni üçlü denge diyagramından $\sigma+\gamma$

bölgesine çok yakın olması vesilesiyle σ fazı olduğu düşünülmektedir.

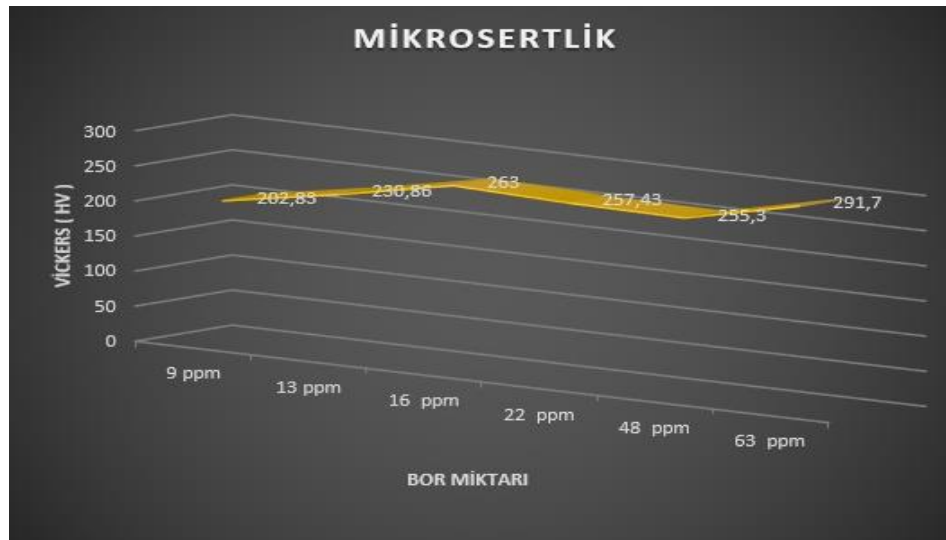
6.3. Mikrosertlik sonuçları

Bor ilavesi farklı oranlarda yapılmış olan AISI 304 çeliklerinin her bir numunesi için üç farklı noktadan alınan vickers mikrosertlik değerleri Tablo 6.1. de verilmiştir. Numunelere 100 g.'lık yük altında 10 s. süreyle, ölçüm yapılmıştır.

Tablo 6.3. AISI 304 çeliğinin mikrosertlik değerleri

Numune No	Bor Oranı ppm (%)	1.ölçüm	2. ölçüm	3.ölçüm	Ortalama
71	9	206.5	200	202	202.83
72	13	226	225,4	241,2	230.86
73	16	270	242	279	263
74	22	251,6	290,7	230	257.43
76	48	241,3	269,7	255	255.3
77	63	296,1	287	292	291,7

Farklı oranlarda bor içeren AISI 304 çeliğinin sertlik değerleri numune içerisindeki bor miktarına bağlı olarak değişmektedir. Genel anlamda bor miktarı arttıkça, sertlik değerlerinde de artış gözlenmiştir.



Şekil 6.15. Farklı oranlarda bor içeren AISI 304 çeliğinden elde edilen mikrosertlik çizgi grafiği

Grafikte de açıkça görüldüğü üzere artan mikroalaşım bor oranıyla birlikte mikrosertlik değerleri de artış göstermiştir. Mikrosertlik değerleri 16, 22 ve 48 ppm Bor oranlarında birbirlerine yakın çıksa da 63 ppm B oranında ortalama 291 HV sertik değeri elde edilmiştir.



BÖLÜM 7

SONUÇ-TARTIŞMA ve ÖNERİLER

Yapılan tez çalışmasında AISI 304 paslanmaz çelik indüksiyon ocağında ergitilerek içerisine 9 ppm, 13 ppm, 16 ppm, 22 ppm, 48 ppm ve 63 ppm oranlarında bor ilave edilmiştir. Böylece farklı oranlarda mikroalaşım bor içeriğine sahip numuneler optik, SEM, EDS ve mikrosertlik analizlerine tabi tutulmuş ve sonuçlar tartışılmıştır. Yapılan bir dizi deneysel çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir;

- Optik mikroyapı fotoğraflarından genel itibariyle mikroyapının heterojen bir görünüme sahip olduğu görülmüştür.
- Optik mikroyapı fotoğraflarından artan mikroalaşım bor içeriğinin tane boyutuna önemli bir etkisinin olmadığı, 63 ppm bor oranında tane boyutunun bir miktar artış gösterdiği görülmüştür.
- SEM ve EDS analizlerinden genel matrisin γ fazından oluştuğu fakat mikroyapı içerisinde Cr elementi açısından zengin α fazının da meydana geldiği tespit edilmiştir.
- Yine SEM ve EDS analizlerinden σ fazı oluşumu tespit edilmiştir.
- Mikrosertlik analizlerinden artan bor içeriği ile birlikte mikrosertlik değerlerinde artış görülmüştür.

Öneriler

- Mikroyapıda Bor elentinin net tespiti için EPMA ve WDS analizleri kullanılabilir.
- Mikroalaşım bor içeriğinin paslanmaz çeliğin korozyon davranışı üzerindeki etkisi araştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Paju, M., Hougardy, H. P., Grabke, H.J., “Effects of boron alloying on the properties of a low-carbon low-alloying steel”, *Scandinavian Journal of Metallurgy*, 18, s. 235-242, 1989.
2. Angın, M. H., “Ferrobör Fizibilite Raporu”, *Eti Holding* , s. 3-26, Ankara, 2003.
3. Çarboğa, C., “Düşük karbonlu çeliklere bor ilavesinin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine etkisi”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Doktora tezi*, Ankara, 2010.
4. Ölmez E., “Paslanmaz çelik üretiminde Al-Ti-B alaşımının mekanik özelliklere ve mikroyapıya etkisinin araştırılması”, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2014.
5. Rautaruukki Corporation, P.O. Box 138, FI-00811 Helsinki, Finland.
6. Frydman S., Konat Ł., Łętkowska B., Pękalski G., “Impact resistance and fractography of low-alloy martensitic steels”, *Arch. of Foundry Eng., spec. iss. 1*, vol. 8, s. 89-94, 2008.
7. Masakatsu, U., “Hardenability of Low-Carbon Steel And Boron”, *Research Review on Boron in Steels and Targets for Next Century*, s. 78-86, Tokyo, 1999.
8. Tomoya, F., “Hardenability improvement effect of the boron in TMCP, *Research Review on Boron in Steels and Targets for Next Century*”, s. 68–72, 1999.
9. Fountain, R. W., Chipman J., “Solubility and precipitation of boron nitride in iron-boron alloys”, *Transactions of the metallurgical society of AIME*, 224, s. 599–605, 1962.
10. “2008 Bor Raporu”, *Eti Maden İşl. Gen. Müd. Yayınları*, Ankara, 2008.
11. Taş, Z., “Relationship of microstructural–mechanical features in Nb-V alloyed boron steels”, *Erciyes University Journal of Science Institute*, 22, s. 52–160, 2006.
12. İnternet: Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü <http://www.boren.gov.tr>
13. İnternet: Eti Maden İşletmeleri <http://www.etimaden.gov.tr>
14. Granga, R. A. ve Mitchell, J. B., *Transactions ASM*, 53, s. 157-162, 1961.

15. "Bor Sektörü Raporu", *Eti Maden İşl. Gen. Müd. Yayınları*, Ankara, 2015. John, V. B., "Understanding Phase Diagrams", 2-3, *Macmillan Press*, London, 1974.
16. "Asil Çelik Teknik Yayınlar Serisi", Bölüm 5, s: 4-28 Bölüm 6, s: 4-8, Bölüm 7, s. 1-62, 1982.
17. Daldal, S., "Niobyum Karbür Kaplamaların Özellikleri", *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2002.
18. Ulutan M., "Ç-4140 Çeliğinin Yüzey Sertleştirme İşlemleri ve Kaplama Yöntemleri Sonrası Mekanik Davranışlarının Araştırılması", *Doktora Tezi*, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2007.
19. Atik, E., "Farklı bir yüzey sertleştirme yöntemi: borlama", *Makine & Metal Teknolojisi*, 117, s. 86-90, 2001.
20. Goeuriot, P.Y., Fillit, P., Thevenot, F., "The influence of alloying element additions on the boriding of steels", *Mat. Sci. and Eng.*, s. 9-19, 1982.
21. Özbek, İ., "Borlama yöntemiyle AISI M50, AISI M2 yüksek hız çeliklerinin ve AISI W1 çeliğinin performansının geliştirilmesi", *Doktora Tezi*, SAÜ Fen Bilimler Enstitüsü, s. 5-40, Sakarya, 2000.
22. Matuschka, A.G.V., "Boronizing", *Wien:Hanser*, s. 100-105, 1980.
23. Yücel, O., "Karbotermik ferrobör üretim parametrelerinin optimizasyonu", *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 16-55, İstanbul, 1992.
24. Özmen, L., Utkanlar, N. ve Özmel, B., "Borlu çelik", *Bildiriler Kitabı*, 3. *Uluslararası Bor Sempozyumu*, s. 49-55, Ankara, 2006.
25. Melloy, G.F., Slimmon, P.P., Podgursky, P.P., "Optimizing The Boron Effect", *Metallurgical Transactions*, 4, s. 2279-2289, 1973.
26. Kentaro, A. and Koji, S., "Behavior of boron in the phase transformation", *Research Review on Boron in Steels and Targets for Next Century*, s. 43-51, Tokyo, 1999.
27. T.C. Devlet Planlama Teşkilatı, "Kimyasal madde araştırması, bor bileşikleri", TÜMAŞ, T.C. Başbakanlık, Devlet Planlama Teşkilatı, Müsteşarlık Araştırma Grubu Başkanlığı, Ankara, 1990.
28. Roskill Information Service, "Roskill report: the economics of boron", *Roskill*

Information Service Ltd, s. 55-95, U.K., 1999.

29. İzmir, A.İ., “Kimyasal buhar çöktürme yöntemi ile bor karbür üretimi”, *Yüksek Lisans Tezi*, G.Ü. Fen Bilimleri Ens., s. 3-7, 2001.
30. Otto, K. and Schrey, A., “Hard and protective materials”, *Handbook of Thin Film Process Technology*, Z1, s. 1-12, 1995.
31. May, P. W., Rosser, K. N., Fox, N. A., Younes, C. M. and Beardmore, G., “Deposition of CVD diamond onto boron carbide substrates”, *Diamond and Related Materials*, s. 450-455, 1997.
32. Hai-ying, C., Jing, W., Hai, Y., Wen-Zhi, L. and Heng-De, L., “Synthesis of boron carbide films by on beam sputtering”, *Surface & Coating Tech.*, s. 128-129, 2000.
33. Kuhlman, U. and Weheit, E., “On the microstructure of boron carbide”, *Solid State Com.*, 83, s. 849-852, 1992.
34. Wang, X. M. and He, X. L., “Effect of boron addition on structure and properties of low carbon bainitic steels”, *ISIJ Int.*, 42, s. 621-633, 2002.
35. Armijo, J. S., Rosenbaum, H. S., “Boron Detection in Metals by Alpha-Particle Tracking”, *Journal of Applied Physics*, 38, s. 2064-2069, April 1967.
36. Er, Ü., Gaşan, H., “Bazı borlu çeliklerin toprak işleme aletlerinin uç demirlerinde kullanımının laboratuvar koşullarında incelenmesi”, *23. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon Kongresi Bildiriler Kitabı*, Çanakkale, s. 232-230, 2006.
37. Kesti E., “Ç - 4140 çeliğinin, mikro yapı ve mekanik özelliklerine su verme ortamının etkilerinin araştırılması”, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2009.
38. Güleç, Ş., Aran, A., “Malzeme Bilgisi”, Cilt 2, TÜBİTAK Yayını, MBEAE Matbaası, Gebze, 1987.
39. HOFFMAN, J.P., DE JESUS, A.S.M., The distribution of boron in stainless steels as revealed by a nuclear technique, *J. S. Afr. Inst. Min. Metal*, vol. 89, No. 3. pp. 81-87, 1989.
40. Yee-wenYenJian-weiSuDong-pingHuang, Phase equilibria of the Fe–Cr–Ni ternary systems and interfacial reactions in Fe–Cr alloys with Ni substrate Author links open

overlay panel, Journal of Alloys and Compounds Volume 457, Issues 1–2, 12 June 2008, Pages 270-278



ÖZGEÇMİŞ

Resul SOLAK 1971 yılında Osmaniye’de doğdu. İlköğreniminin Osmaniye’de, orta öğrenimini de Osmaniye’de tamamladı. 1994 yılında Trakya Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Kaynak Eğitimi Bölümünü başarı ile bitirmiştir. 1995 yılında kazandığı Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümünü 1999 yılında bitirmiştir. Aynı yıl içerisinde Suruç/Şanlıurfa’da Çaykara İlköğretim okulunda öğretmen olarak göreve başladı. 2014 yılında Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilim Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisansa başladı.

Hali hazırda, Şehit Ahmet Hilmi Yiğit Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde Metal öğretmenliğinin yanı sıra İdari görev olarak Müdür yardımcılığını tahsis etmektedir.

Adres: Davraz mahallesi. 3972 sokak. No:31. Emin Sitesi Kat:2 Daire:8
Merkez/ISPARTA

Telefon: 05316332496

E-posta: resulsolak@hotmail.com

