

**PASLANMAZ ÇELİK ÜRETİMİNDE Al-Ti-B
ALAŞIMININ MEKANİK ÖZELLİKLERE VE
MİKROYAPIYA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**2014
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

Ersin ÖLMEZ

**PASLANMAZ ÇELİK ÜRETİMİNDE Al-Ti-B ALAŞIMININ MEKANİK
ÖZELLİKLERE VE MİKROYAPIYA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Ersin ÖLMEZ

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2014**

Ersin ÖLMEZ tarafından hazırlanan “PASLANMAZ ÇELİK ÜRETİMİNDE Al-Ti-B ALAŞIMININ MEKANİK ÖZELLİKLERE VE MİKROYAPIYA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Melik ÇETİN

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metal Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 20/ 06/ 2014

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Ferhat GÜL (GÜ)

Üye : Prof. Dr. Mustafa BOZ (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Melik ÇETİN (KBÜ)



...../...../2014

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Mustafa BOZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Ersin ÖLMEZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PASLANMAZ ÇELİK ÜRETİMİNDE Al-Ti-B ALAŞIMININ MEKANİK ÖZELLİKLERE VE MİKROYAPIYA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Ersin ÖLMEZ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Melik ÇETİN

Haziran 2014, 91 sayfa

Bu çalışmada, döküm yöntemiyle üretilen AISI 304 paslanmaz çelik malzemeye Al-5Ti-1B master alaşımı ve ferrobör ilave edilerek mekanik özelliklerin, mikro yapının ve aşınma davranışının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bunun için AISI 304 paslanmaz çelik malzeme üretilmiş, üretim sırasında Al-5Ti-1B master alaşımından ve ferrobör malzemedan farklı oranlarda ilave edilmiş, 800 °C, 900 °C ve 1000 °C'de 1 saat homojenleştirme uygulanmıştır. Numunelerin mikroyapısı, aşınma yüzeyleri ve kırılma modları, optik mikroskop, SEM, X-ışını kırınım analizi ve mikroanalizler ise EDX'la yapılmıştır. Deneyler sonucunda, ilave edilen ferrobör içeriğine bağlı olarak mekanik özelliklerin ve abrasif aşınma kaybının iyileştiği tespit edilmiştir. SEM mikroyapılarından 1000 °C homojenlenen numunelerde sünek kırılma, döküm durumu numunelerde ise gevrek kırılma modu tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : 304 Paslanmaz çelik, Al-Ti-B, ferrobor, mikroyapı ve mekanik özellikler, abrasif aşınma.

Bilim Kodu : 916.1.094

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF Al-Ti-B ALLOYS EFFECT ON MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE OF THE STAINLESS STEEL PRODUCTION

Ersin ÖLMEZ

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Manufacturing Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Melik ÇETİN

June 2014, 91 pages

In this study, to be aimed that the performing of mechanical properties, microstructure and wear behavior by the addition of Al-5Ti-1B master alloy and ferrobor to AISI 304 stainless steel by the method of casting. For this reason, AISI 304 stainless steel material produced and during production period, Al-5Ti-1B master alloy and ferrobor the material were added in different ratios and it was applied to homogenisation at 800 °C, 900 °C and 1000 °C for 1 hour. The microstructures and wear scars of the specimens were examined by optical, scanning electron microscopy (SEM) and X-ray microanalyses by EDX. It was founded the improvement of mechanical properties and abrasion wear lose at the end of experiments. From SEM micrographs it can be observed that homogenisation at 1000 °C the mode of fracture is primarily ductile. In the as-cast specimens, the brittle fracture of cleavage type is observed.

Key Word : 304 stainless steel, Al-Ti-B, ferroboron, microstructure and mechanical properties, abrasive wear.

Science Code : 916.1.094

TEŞEKKÜR

Tez konumun seçiminde ve araştırmalarım süresince; hiçbir fedakârlıktan kaçınmayarak, yakın ilgi, teşvik ve yardımlarını her zaman yanımda hissettiğim, yapıcı tenkitleri ile çalışmalarımı yönlendiren saygıdeğer danışmanım Doç. Dr. Melik ÇETİN' e, laboratuvarlarının imkânlarını sunan hocalarım Prof. Dr. Ferhat GÜL ve Doç. Dr. Hayrettin AHLATÇI'ya, deneysel çalışmalarına katkılarından dolayı yanımda olan ve bana sürekli destek olan Ramazan OZMAN, Ali YILMAZ, Emrah KARACA ve emeği geçen tüm arkadaşlarıma tüm içtenliğimle teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatımın her safhasında benimle birlikte olan ve benden maddi, manevi desteklerini hiç esirgemeyen başta ağabeyim Adem ÖLMEZ'e ve değerli tüm aileme saygı, sevgi ve teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bu çalışma, Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) kapsamında desteklenmiştir. Destekleri nedeniyle Karabük Üniversitesi'ne teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
BOR VE MİNERALLERİ.....	4
2.1. BORUN TARİHÇESİ	4
2.2. BORUN KİMYASAL YAPISI VE ÖZELLİKLERİ.....	4
2.3. BORUN GENEL KULLANIM ALANLARI	7
BÖLÜM 3	10
ÇELİK VE ÇELİĞİN GENEL ÖZELLİKLERİ.....	10
3.1. Fe – C DENGİ DİYAGRAMI	10
3.2. YÜKSEK ALAŞIMLI ÇELİKLER	12
3.3. PASLANMAZ ÇELİKLER	12
3.3.1. Paslanmaz Çeliklerin Metalurjik Özellikleri	15
3.3.2. Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması.....	16
3.4. DEMİR - BOR DENGİ DİYAGRAMI.....	18
3.5. ALÜMİNYUM TİTANYUM BOR TANE İNCELTİCİLERİ.....	20

	<u>Sayfa</u>
3.6. FERROBOR.....	24
3.6.1. Çelik Üretiminde Ferrobor	24
3.6.2. Serbest Bor (Efektif Bor).....	26
3.6.3. Bor Oksit (B ₂ O ₃).....	27
3.6.4. Bor Nitür.....	28
3.6.4.1. Hegzagonal Bor Nitür.....	28
3.6.4.2. Kübik Bor Nitür.....	29
3.6.4.3. Pirolitik Bor Nitür	30
3.6.4.4. Bor Nitürün Üretim Metodları.....	30
3.6.4.5. Bor Nitürün Kullanım Alanı	31
3.7. BOR KARBÜR	33
3.7.1. Bor Karbürün Yapısı.....	34
3.8. FeB ve Fe ₂ B (BORLAMA İŞLEMİ).....	35
3.8.1. Borun Diğer Alaşım Elementleriyle Kıyaslanması	38
3.8.2. Bor Elementinin Sertleşebilirliğe Etkisi	38
BÖLÜM 4	42
BORLU ÇELİKLER.....	42
4.1. BORLU ÇELİKLERİN MEKANİK VE İŞLENEBİLME ÖZELLİKLERİ..	42
4.2. BORLU ÇELİKLERİN KULLANIM ALANLARI	43
4.3. TÜRKİYE’DE ÜRETİLEN BORLU ÇELİKLERİN KİMYASAL ANALİZLERİ VE MİKROYAPILARININ KARŞILAŞTIRILMASI.....	44
BÖLÜM 5	49
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	49
5.1. DENEY NUMUNESİ HAZIRLAMA VE DÖKÜM İŞLEMİ.....	49
5.2. MİKRO YAPI İNCELEMESİ.....	51
5.2.1. Optik Mikroskop İle İnceleme.....	51
5.3. MEKANİK TESTLER	52
5.3.1. Sertlik Deneyi	52

	<u>Sayfa</u>
5.3.2. Çekme Deneyi	52
5.3.3. Aşınma Deneyi	52
5.3.4. X-Işını Kırınım Analizi	53
BÖLÜM 6	54
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	54
6.1. OPTİK MİKROSKOP İNCELEMELERİ.....	54
6.2. SERTLİK DENEYİ SONUÇLARI.....	65
6.3. ÇEKME DENEYİ SONUÇLARI	67
6.4. ÇEKME DENEYİ NUMUNELERİNİN TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) İLE İNCELEMESİ	70
6.5. AŞINMA DENEYİ SONUÇLARI	76
6.6. AŞINMA YÜZEYLERİNİN TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) İLE İNCELEMESİ	77
6.7. X-IŞINI KIRINIM ANALİZİ SONUÇLARI.....	78
BÖLÜM 7	83
SONUÇLAR	83
KAYNAKLAR	85
ÖZGEÇMİŞ	91

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1	Bor tüketiminin nihai kullanım alanlarına göre dağılımı	8
Şekil 3.1.	Demir – Karbon denge diyagramı	11
Şekil 3.2.	Fe-Cr alaşımlarında Cr miktarının korozyon direncine etkisi.....	13
Şekil 3.3.	Demir - bor denge diyagramı	19
Şekil 3.4.	Tel ve tablet şeklinde tane incelticiler	21
Şekil 3.5.	Çeşitli Al-Si döküm alaşımlarında tane inceltilmesi.....	22
Şekil 3.6.	Ti-B bileşimine bağlı olarak tane boyutunun değişimi	23
Şekil 3.7.	Östenitten ferrite dönüşümü esnasında tanelerde meydana gelen değişiklik	27
Şekil 3.8.	Segregasyon ve çökelti eğrisi	38
Şekil 3.9.	3Mn5B çeliğinde borun dağılım modeli	39
Şekil 3.10.	Borun sertleşebilirliğe etkisi.....	40
Şekil 3.11.	Dönüşüm karakterleri üzerine borun etkisi	41
Şekil 3.12.	Bor-Karbon ilişkisi	41
Şekil 4.1.	20MnCrS5 malzemesinin mikroyapı fotoğrafı	45
Şekil 4.2.	20MnCrS5 + Bor malzemesinin mikroyapı fotoğrafı	45
Şekil 4.3.	20MnB4 malzemesinin mikroyapı fotoğrafı	47
Şekil 4.4.	20Mn4 malzemesinin mikroyapı fotoğrafı.....	47
Şekil 4.5.	SAE 15B41H malzemesinin mikroyapı fotoğrafı	48
Şekil 5.1.	Çekme ve diğer deney numunelerinin işlendiği Y-Blok kalıp modeli..	49
Şekil 5.2.	Çekme deneylerinde kullanılan çekme deney numunesi	52
Şekil 5.3.	Hazırlanan aşınma deneyi numunesi boyutu.....	53
Şekil 6.1.	Döküm durumu alaşımsız numune.....	54
Şekil 6.2.	Döküm durumu 10 ppm B alaşımlı numune	55
Şekil 6.3.	Döküm durumu 20 ppm B alaşımlı numune	55
Şekil 6.4.	Döküm durumu 30 ppm B alaşımlı numune	55
Şekil 6.5.	Döküm durumu 40 ppm B alaşımlı numune	56
Şekil 6.6.	Döküm durumu 50 ppm B alaşımlı numune	56

Şekil 6.7. Döküm durumu 60 ppm B alaşımlı numune	56
Şekil 6.8. 800 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş alaşımsız numune	57
Şekil 6.9. 800 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 10 ppm B alaşımlı numune	57
Şekil 6.10. 800 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 20 ppm B alaşımlı numune	58
Şekil 6.11. 800 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 30 ppm B alaşımlı numune	58
Şekil 6.12. 800 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 40 ppm B alaşımlı numune	58
Şekil 6.13. 800 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 50 ppm B alaşımlı numune	59
Şekil 6.14. 800 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 60 ppm B alaşımlı numune	59
Şekil 6.15. 900 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş alaşımsız numune	60
Şekil 6.16. 900 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 10 ppm B alaşımlı numune	60
Şekil 6.17. 900 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 20 ppm B alaşımlı numune	60
Şekil 6.18. 900 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 30 ppm B alaşımlı numune	61
Şekil 6.19. 900 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 40 ppm B alaşımlı numune	61
Şekil 6.20. 900 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 50 ppm B alaşımlı numune	61
Şekil 6.21. 900 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 60 ppm B alaşımlı numune	62
Şekil 6.22. 1000 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş alaşımsız numune	62
Şekil 6.23. 1000 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 10 ppm B alaşımlı numune	63
Şekil 6.24. 1000 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 20 ppm B alaşımlı numune	63
Şekil 6.25. 1000 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 30 ppm B alaşımlı numune	63
Şekil 6.26. 1000 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 40 ppm B alaşımlı numune	64
Şekil 6.27. 1000 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 50 ppm B alaşımlı numune	64
Şekil 6.28. 1000 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 60 ppm B alaşımlı numune	64
Şekil 6.29. 900 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 60 ppm bor içeren numuneye ait SEM ve EDX analizi	65
Şekil 6.30. Numunelerin bor içeriğine ve homojenleştirme sıcaklığına bağlı sertlik değişimi	66
Şekil 6.31. Döküm durumu numunelere ait çekme test grafiği	67
Şekil 6.32. 800 °C’de 1 saat homojenleştirilen numunelere ait çekme test grafiği ...	68
Şekil 6.33. 900 °C’de 1 saat homojenleştirilen numunelere ait çekme test grafiği ...	69
Şekil 6.34. 1000 °C’de 1 saat homojenleştirilen numunelere ait çekme test grafiği .	69
Şekil 6.35. Döküm durumu numunelere ait kırık yüzey görüntüleri.....	71
Şekil 6.36. 800 °C’de 1 saat homojenleştirilen numunelere ait kırık yüzey görüntüleri	73

Şekil 6.37. 900 °C’de 1 saat homojenleştirilen numunelere ait kırık yüzey görüntüleri	74
Şekil 6.38. 1000 °C’de 1 saat homojenleştirilen numunelere ait kırık yüzey görüntüleri	75
Şekil 6.39. 320 mesh Al ₂ O ₃ zımpara üzerinde yapılan numunelerin aşınma kaybı grafiği	76
Şekil 6.40. 600 mesh Al ₂ O ₃ zımpara üzerinde yapılan numunelerin aşınma kaybı grafiği	77
Şekil 6.41. 320 mesh Al ₂ O ₃ zımpara üzerinde yapılan 800 °C alaşımsız ve 1000 °C 50ppm Bor içeren numunelere ait SEM görüntüsü.....	78
Şekil 6.42. 600 mesh Al ₂ O ₃ zımpara üzerinde yapılan 800 °C alaşımsız ve 1000 °C 50ppm Bor içeren numunelere ait SEM görüntüsü.....	78
Şekil 6.43. Isıl İşlemsiz numunelere ait X-ışını kırınım analizi.....	80
Şekil 6.44. 800 °C’de 1 saat homojenleştirilen numunelere ait X-ışını kırınım analizi	81
Şekil 6.45. 900 °C’de 1 saat homojenleştirilen numunelere ait X-ışını kırınım analizi	81
Şekil 6.46. 1000 °C’de 1 saat homojenleştirilen numunelere ait X-ışını kırınım analizi	82

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Bor ve bazı bileşiklerinin sertlikleri.....	5
Çizelge 2.2. Borun kristal şekilleri ve parametreleri	5
Çizelge 2.3. Dünya bor tüketiminin sektörel dağılımı	8
Çizelge 2.4. Bazı özel bor kimyasalları için kullanım alanları	9
Çizelge 3.1. Endüstriyel uygulamalarda kullanılan tane incelticilerin kimyasal bileşimleri	21
Çizelge 3.2. Bor nitrür ticari kalite sınıflandırması	28
Çizelge 3.3. Bor nitrürün diğer yüksek sıcaklık malzemeleri ile kıyaslamalı olarak özellikleri	29
Çizelge 3.4. Borlanmış çeliklerin sertlik değerlerinin diğer işlemlerle ve sertmalzemelerle karşılaştırılması.....	36
Çizelge 4.1. 20MnCrS5 malzemesinin kimyasal analizi	44
Çizelge 4.2. 20MnCr5 + Bor malzemesinin kimyasal analiz	45
Çizelge 4.3. 20MnB4 malzemesinin kimyasal analizi.....	46
Çizelge 4.4. 20Mn4 malzemesinin kimyasal analizi.....	46
Çizelge 4.5. SAE 15B41H malzemesinin kimyasal analizi	48
Çizelge 5.1. AISI 304 malzemesinin kimyasal bileşimi, %.....	50

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- μ : sürtünme katsayısı
 γ : östenit
°C : santigrat derece
ppm : milyonda bir partikül
B : bor
BN : bor nitrür
Ti : titanyum
TiN : titanyum nitrür
Al : alüminyum
gr : gram
kg : kilogram
Å : angstrom (10^{-6} cm)

KISALTMALAR

- AISI : American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
DIN : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
Al-Ti-B : Alüminyum Titanyum Bor
HV : Hardness Vickers (Vickers Sertliği)
TSE : Türk Standartları Enstitüsü
SEM : Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

B doğada tüm canlıların yaşamlarını sürdürmesi için önemli elementlerden birisidir. B ve bileşikleri birçok endüstriyel alanda kullanıldığı gibi metalürji ve malzeme alanında kullanılması sonucu stratejik bir maden olmuştur. Teknolojide ileri ülkelerin, çoğunda bor cevherinin hiç bulunmamasına rağmen, bor minerallerinden çeşitli bor bileşikleri elde etmek, bunları çeşitli endüstri alanlarında eşdeğer kimyasallardan daha etkin ve yaygın bir şekilde kullanmak üzere, yoğun bir çalışma yapmaktadırlar.

B, oda sıcaklığında çeliklerde çok az çözünürlüğe sahip olup, sertleşebilirlik ve dönüşüm karakterleri üzerine önemli bir etkiye sahip olması nedeniyle çeliklerin özelliklerinin geliştirilmesinde çok büyük yarar sağlamaktadır. B ve bileşiklerinin çelik malzemelere sağladıkları yararlar; yüksek ısıya dayanım, yüksek mukavemet, yüksek elastiklik, yüksek yüzey koruma, yüksek aşınma ve korozyona dayanım, yüksek yapışma ve tutunma gibi özellikler kazandırmaktadır [1].

Bor ve ferrobör içerikli alaşım elementleri çelik endüstrisinde farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra B düşük karbonlu (% 0,25 C) ve orta karbonlu çeliklerde (% 0,4 C) çok daha fazla etkilidir. Düşük alaşımlı çeliklere düşük miktarlarda (10-30 ppm) bor ilavesi sertleşebilirliği mükemmel şekilde arttırmaktadır [2-5]. Bu faydalı etkinin bor'un tane sınırlarına segregare olmasına atfedilmekte, böylece tane sınırı enerjisini azaltarak östenitin ferrite dönüşümünü yavaşlatmaktadır. Borun oksijen ve azota karşı ilgisi yüksektir. Bu nedenle bor, çelik içinde çözülmüş olan oksijen ve azot tarafından bağlanır. Bunu önlemek için bor, bu iki elementten korunmalıdır. Boru oksijenden korumak için sıvı çelik; kalsiyum, alüminyum ve silisyumdan herhangi birini veya birkaçı kullanılarak ön deoksidasyona tabi tutulur. Titanyum (Ti) veya Zirkonyum (Zr) kullanmak suretiyle

de, sıvı çelik içindeki azotun bor yerine Ti veya Zr ile reaksiyona girmesi sağlanır [6]. Çelik içerisinde B'un maksimum etkili olabilmesi için (N, Ti ve Mo) gibi alaşım elementleriyle birlikte kullanılmalıdır. Bununla birlikte borlu çeliklerde kabul edilebilir sertlik için bor içeriğinin 5-15 ppm arasında olması gerektiği ifade edilmektedir [7]. Metal alaşımlarının günümüz teknolojisindeki uygulaması ve önemi giderek artmaktadır. Bu tür alaşımlardan olan paslanmaz çelik ve alaşımları kolay dökülebilmeleri, özgül ağırlık ısıl genleşmelerinin iletkenliklerinin yüksek olması ve uygun mekaniksel özellikler göstermeleri nedeni ile teknolojik bir öneme ve çekiciliğe sahiptirler. Paslanmaz çelik ve alaşımlarında tane boyutunun kontrolü mikro yapının katılaşma sırasında ve katılaşmadan sonra kontrol altında bulunması ve amaçlara göre yönlendirilmesi ile sağlanabilir. Mikro yapı ile paslanmaz çelik ve gereçlerin mekanik özellikleri arasındaki ilişki göz önünde bulundurularak kullanım amacına en uygun mikro yapının oluşumu sağlanmalıdır. Paslanmaz çelik dökümlerde tane inceltmenin verimliliği silisyumun morfolojisi, soğuma hızı ve döküm sıcaklığı gibi diğer üretim parametrelerinin çeşitliliği ile artırılabilir. Paslanmaz çelik ve alaşımlarında tane inceltme işlemi, kaliteli ve nitelikli dökümler için çok önemli ve gereklidir.

Paslanmaz çelik içerisine ilave edilen alüminyum, titanyum ve bor AISI 304 paslanmaz çelik malzemedeki; alüminyum oksit giderici olarak kullanılır, akma dayanımını ve darbe tokluğunu artırıcı etki gösterir ve titanyum ile birlikte tane küçültücü görevine de katkıda bulunduğu ifade edilmektedir. Titanyum paslanmaz çeliklerde krom karbürün olumsuz etkisini giderebilmek için karbür oluşturuç alaşım elementi olarak kullanılır [8,9]. Bor ise malzemelerin fiziksel, kimyasal, mekanik ve metalürjik özelliklerini olumlu yönde arttırdığı tespit edilmiş olup korozyon direncini iyileştirdiği ifade edilmektedir [7].

Östenitik paslanmaz çelikler korozyona dirençli malzeme olduğu için son yıllarda geniş bir yelpazede mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır [2,3]. AISI 304 paslanmaz çeliği genel olarak mutfak eşyaları, evyeler, ev aletleri, endüstriyel mutfaklar, kimya ve petro-kimya sektörü, gıda sektörü, otomotiv sanayi, eşanjör ve boyler üretimi gibi çok çeşitli yerlerde kullanılma yelpazesine sahip olmaktadır.

Bu çalışmada, ülkemizde en çok kullanılan paslanmaz elik türü olması nedeni ile AISI 304 eliği tercih edilmiştir ve AISI 304 malzemesine değişik oranlarda Al-Ti-B master alaşımı ve ferrobora ilave edilerek, ilave edilen B içeriğinin mikroyapı, mekanik özellikler ve aşınma davranışına etkisi incelenecektir.

BÖLÜM 2

BOR VE MİNERALLERİ

2.1. BORUN TARİHÇESİ

Bor mineralleri içerisinde eski devirlerde ticareti yapılan ilk madde boraktır. M.Ö. 2000 yıllarında Babilliler, altının işlenmesi için boraksı uzak doğudan ithal etmişlerdir ve yine boraks, eski Mısır ve Roma devrinde sert borosilikat camının hazırlanmasında kullanmışlardır. Boraks kaplamaları M.S. 300 yıllarında biliniyordu. Arap kimyacısı Jabin İbn Haiyan, kendi notlarında boraks için baurach kelimesini kullanmıştır. O zamanlarda bu madde Tibet'ten gelmiştir. Marco Polo 13. yüz yılda gerçek boraks örneklerini Moğolistan'dan Avrupa'ya getirmiş, bu maddeye Sanskrit (eski Hindu) dilinde, "tincans" denilmesi nedeniyle "tincal"(tinkal) denilmiştir. 1556 yılında G. Angricola, De re Metallica'yı yayınladığında, boraks Avrupa'da yaygın bir şekilde Flux (katkı) olarak kullanılıyordu.

1702 yılında tinkal için gerçek kimyasal araştırmalar başlamış, G. Hamberg boraksı demir sülfatla karıştırarak borik asidi elde etmiştir. 1935 yılı itibari ile bor çeliklerde kullanılmaya başlanmıştır. 1941 yılında Jominy Testinin bulunuş ile de borun çeliklerde kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır [10].

2.2. BORUN KİMYASAL YAPISI VE ÖZELLİKLERİ

Bor periyodik sırası 5, atom ağırlığı 10,81 olan metal, ametal karışımı bir elementtir. Ergime sıcaklığı 2090 ± 20 °C ve kaynama noktası 2550 °C ve yarı iletken bir elementtir. Doğada genelde beyaz ve beyaza yakın renkte bulunmaktadır. Bor bileşikleri insanlık tarihinin en eski teknolojilerinden günümüze kadar kullanılmıştır. Günümüzde kullanım alanları çok daha fazla gelişmektedir, özellikle 400'den fazla endüstriyel alanlarda uygulama alanı ve 230 çeşit bor minerali olduğu bilinmektedir. Bor, karbon ve silisyum elementlerine benzerliği en fazla olan elementtir [11]. 9,3

Mohs sertlik değeri ile elmastan sonra en sert elementtir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Bor ve bazı bileşiklerinin sertlikleri [12].

Malzeme	Mohs Sertliği
Bor	9,3
Bor Karbür	9,32
Bor Nitrür	9,34
Elmas (Standart)	10

Bor elementi doğada serbest olarak bulunmaz, yapay bor ise amorf ve kristal yapıda olmak üzere iki şekilde elde edilir. Amorf bor 2,34 gr/cm³ yoğunlukta siyah ya da kahverengi toz şeklinde, kristal bor ise 2,33 gr/cm³ yoğunlukta parlak siyah renkte, sert ve kırılğan yapıdadır. Kristal bor hekzagonal ve tetragonal kristal kafes yapısına sahiptir (Çizelge 2.2.). Su ile 100 °C üzerinde, oksijenle 700 °C de, hidrojenle 840 °C de reaksiyona girer [11].

Çizelge 2.2. Borun kristal şekilleri ve parametreleri [12].

Kristal Şekli	Kafes Parametresi (°A) a=b	Kafes Parametresi (°A) c
Tetragonal	8,13	8,57
Hegzgonal	9,54	11,98

Bor elementi % 19,57 oranında B₁₀ ve % 80,43 oranında B₁₁ izotoplarından meydana gelmektedir. Borun büyük bir nötron absorpsiyon kesiti vardır. Bu değer B₁₀ izotopu için 40.10 barn, B₁₁ izotopu için ise 0,75 barn'dır. B₁₀ izotopu nükleer reaktörlerin kontrolü ve nükleer radyasyondan korunma nedeni ile büyük önem taşımaktadır [8].

Borun elektrik iletkenliği oda sıcaklığında çok düşük olmasına rağmen ısıtıldıkça süratle artar. Bu metallere has bir özellik değildir. Borun metalik özelliklerinin de

çok az olmasından dolayı bir ametaldir. Ergimiş iken soğutulduğunda çok sert ve kırılğan bir madde durumunu alır. Alevde yeşil renkte yanar [11].

Bor çok sayıda minerale bileşik durumunda bulunur. Bor mineralleri genellikle bor oksitleri içerirler ancak ticari anlamda bunlardan en çok üç tanesi dünyada önemli sayılmaktadır. Bunlardan büyük miktarda “Na” içeren ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) Tinkal (Boraks) cevheri, büyük miktarda “Ca” içeren bileşiklerine ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) Kolemanit cevheri ve büyük miktarda “Na - Ca” içeriğinde olana ise ($\text{Na Ca B}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) Üleksit cevheridir [13].

Bor teknolojik ve endüstriyel uygulamalarda daima çeşitli bileşikler ve bor kimyasalları şeklinde olur. Bor alaşımları borun geçiş elementleri olan Demir, Nikel ve Kobalt ile yapmış olduğu alaşımlardır. Bor ve bor bileşikleri makine ve metalürji sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bor demir esaslı malzemelerde alaşım elemanı olarak kullanıldığında borun % 0,1’in altında olması gerekir. Çünkü bu oranın üzerinde bor miktarları çeliklerin yüksek sıcaklıkta kırılğanlıklara, dökme demirde ise zararlı çatlamalara neden olur. Bor çeliklerde % 0,007 oranına kadar sertleştirme derinliğini artırır, dökme demirlerde ise % 0,005’e kadar grafitin çekirdeklenmesine ve yapıyı üniform şekilde dağılmasına sebep olur [11].

Boratlar yüksek sıcaklıkta düzgün, yapışkan, koruyucu ve temiz, çapaksız bir sıvı oluşturma özelliği nedeniyle özellikle demir dışı metal sanayinde cüruf oluşturu ve ergitmeyi hızlandırıcı madde olarak kullanılır. Bor bileşikleri elektrolitik kaplama sanayinde banyo bileşimlerinde kullanılmaktadır. Borik asit nikel kaplamada, fluoboratlar ve fluoborik asitler ise kalay, kurşun, bakır, nikel gibi demir dışı metal banyo bileşimlerinde kullanılmaktadır. Metal oksitlerin yüksek sıcaklıklarda bor içinde kolaylıkla eriyebilmesi, çelik endüstrisinde fluorit yerine borun daha uygun olarak kullanılmasını sağlar. Yüksek fırınlarda boratlar, asitliğin azalmasına ve refrakterlerin daha uzun ömürlü olmasını sağlar.

Takım çeliklerine bor ilâvesi sertleşme kabiliyetini arttırmaktadır. Paslanmaz çeliğe ppm mertebesinde bor ilavesi, kaynak kabiliyetini, sürünme direncini, taneler arası korozyon direncini, nötron absorpsiyon kapasitesini arttırmakta, sıcak yırtılmaları

önlemektedir [8]. Bor elementi ayrıca çeliklerin yüzey kaplama yöntemi olan borlama işleminde de kullanılmaktadır. Alaşımli çeliklerdeki borlu tabaka, Fe atomunun yerini alan alaşım elementlerinin yerini de içermektedir. Bu tür çelikler FeB ve Fe₂B bileşiklerinin yanında, alaşım elementlerine bağlı olarak Cr₂B, CoB, CoB₂, TiB₂, NiB₂ kafes parametresi $10,62 \pm 0,02 \text{ \AA}$ olan kübik yapıli M₂₃(B,C)₆ (M=Metal) bileşiklerini de içerirler. Bor aynı zamanda çelik içerisinde bulunan V₄C₃, NbC gibi karbürlerle de eriyik halde bulunabilir. Ni ve Cr, Fe₂B'de Fe atomlarının yerini alarak erir.

Bazı süper alaşımlarda az oranda bor ilavesi (0 - 50 ppm) malzemenin yüksek sıcaklık davranışına olumlu yönde etkisi vardır. Yüksek hız çeliklerine, kullanımda sertleşebilen ve ısıl işlem görebilen çeliklere bor ilavesi özellikle sürünme mukavemetini arttırmaktadır. Krom, Krom-Nikel-Kobalt gibi yüksek sıcaklık çeliklerine az miktarda bor ilavesi bu malzemelerin ömrünü arttırmaktadır [14].

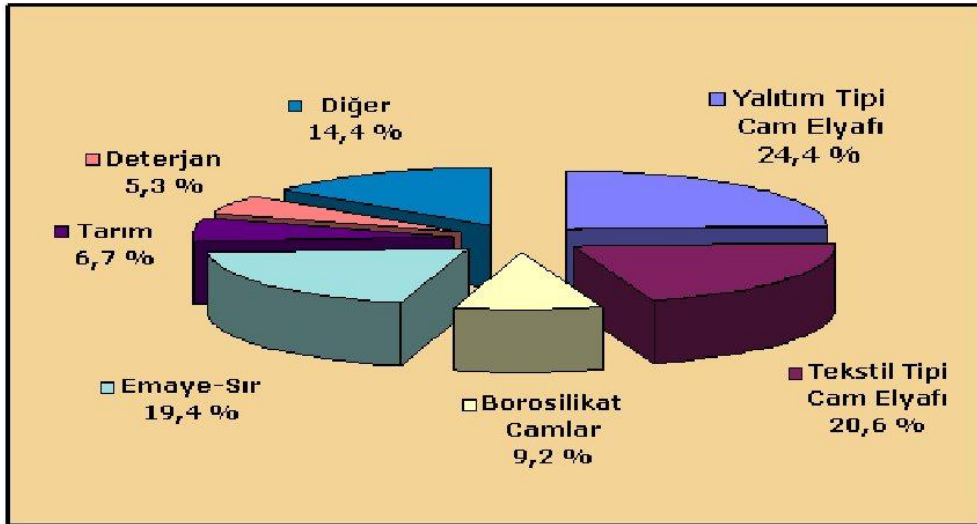
2.3. BORUN GENEL KULLANIM ALANLARI

Bor mineralleri kullanım alanı olan sektörlerde çoğunlukla bor kimyasalları şeklinde tüketildiği gibi konsantre bor olarak doğrudan da tüketilmektedir [15]. Bor ürünleri uzay ve hava araçları, nükleer uygulamalar, askeri araçlar, yakıtlar, elektronik ve iletişim sektörü, tarım, cam sanayi, kimya ve deterjan sektörü, seramik ve polimerik malzemeler, nanoteknolojiler, otomotiv ve enerji sektörü, metalürji ve inşaat gibi 500'e yakın alanda kullanılmaktadır [1]. Birçok alanda tüketilen bor ürünlerinin % 85'e yakını (Çizelge 2.3) cam (yalıtım tipi cam elyafı, tekstil tipi cam elyafı, borosilikat cam ve panel cam), seramik – frit, tarım ve deterjan sektörlerinde yoğunlaşmıştır.

Çizelge 2.3. Dünya bor tüketiminin sektörel dağılımı [15].

Kullanım Alanı	Dağılım	
	Miktar (Bin Ton B ₂ O ₃)	% Pay
Yalıtım Tipi Cam Elyafı	440	24,4
Tekstil Tipi Cam Elyafı	370	20,6
Borosilikat Camlar	165	9,2
Emaye-Sır	350	19,4
Tarım	120	6,7
Deterjan	95	5,3
Diğer Alanlar	260	14,4
Toplam	2.800	100

Borun genel kullanım alanlarının Şekil 2.1.'de % dağılım oranları görülmektedir.



Şekil 2.1. Bor tüketiminin nihai kullanım alanlarına göre dağılımı [15].

Genel kullanım alanları; Cam elyafı, Borosilikat camlarda, Seramik malzemelerde, Tarım alanında, Temizletme ve beyazlatma sanayinde, Nükleer uygulamalarda, Enerji üretimi ve ısı depolamada, Borlu katı yakıtlar/Yakıt hücreleri/(Fuel cells) de, Sağlıkta, Otomobil hava yastıklarında, İnşaat-Çimento sektöründe, Ahşap korumada,

Yanmayı önleyici (Geciktirici) maddelerde, Füze / Uçuş yakıtlarında, Atık temizlemede kullanılmaktadır.

Diğer kullanım alanları ise; Fiber Optik, Kozmetik, Kauçuk ve Plastik Sanayi, Fotoğrafçılık, Patlayıcı Maddeler (havai fişek vb.), Antifrizler, Hidrolik Yağlar, Petrol Boyaları, Yanmayan ve Erimeyen Boyalar, Tekstil Boyaları, Zımpara ve Aşındırıcılar, Kompozit Malzemeler, Manyetik Cihazlar, İleri Teknoloji Araştırmaları (moleküler biyoloji vb.), Mumyalama ve diğer birçok alanda kullanılmaktadır. Bazı özel bor kimyasalları için kullanım alanları ise Çizelge 2. 4. de verilmektedir.

Çizelge 2.4. Bazı özel bor kimyasalları için kullanım alanları.

Ürün	Kullanım Alanları
Amorf Bor	Askeri Piroteknik
Kristalin Bor	Nükleer Silahlar ve Nükleer Güç Reaktörlerinde Muhafaza
Bor Halidleri (Tuzları)	İlaç Sanayi, Katalistler, Elektronik Parçalar, Bor Flamentleri ve Fiber Optikler
Özel Sodyum Boratlar	Fotoğrafçılık Kimyasalları, Yapıştırıcılar, Tekstil "Son İşlem" Bileşikleri, Deterjan ve Temizlik Malzemeleri, Yangın Geciktiricileri, Gübreler ve Zırai Araçlar
Fluoborik Asit	Kaplama Solüsyonları, Fluoborat Tuzlar, Sodyum Bor Hidrürler
Trimetil Borat	Sodyum Bor Hidrürler
Sodyum Bor Hidrürler(Sodyum Borohidrat)	Özel Kimyasalları Saflaştırma, Kağıt Hamurunu Beyazlatma, Metal Yüzeylerinin Temizlenmesi
Bor Esterleri	Polimerizasyon Reaksiyonları İçin Katalist, Polimer Stabilizatörleri, Yangın Geciktiricileri

BÖLÜM 3

ÇELİK VE ÇELİĞİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Demir esaslı malzemelerin endüstride yaygınca kullanılmasının başlıca nedenleri, doğada diğer metallere çok bulunması, üretimde ise diğer malzeme üretimlerine göre daha az enerji gerektirmesi ve özelliklerin istekler doğrultusunda ve geniş sınırlar içerisinde iyileştirilebilmesidir. Özellikler; şekil verme, alaşımlama ve ısıl işlemlerle, diğer metal malzemelerde ulaşılamayacak ölçüde değiştirilebilir. Hemen hemen tüm tanınan teknolojik yöntemlerle şekillendirilmesi ve istenilen biçime getirilmesi mümkündür.

3.1. Fe – C DENGELİ DİYAGRAMI

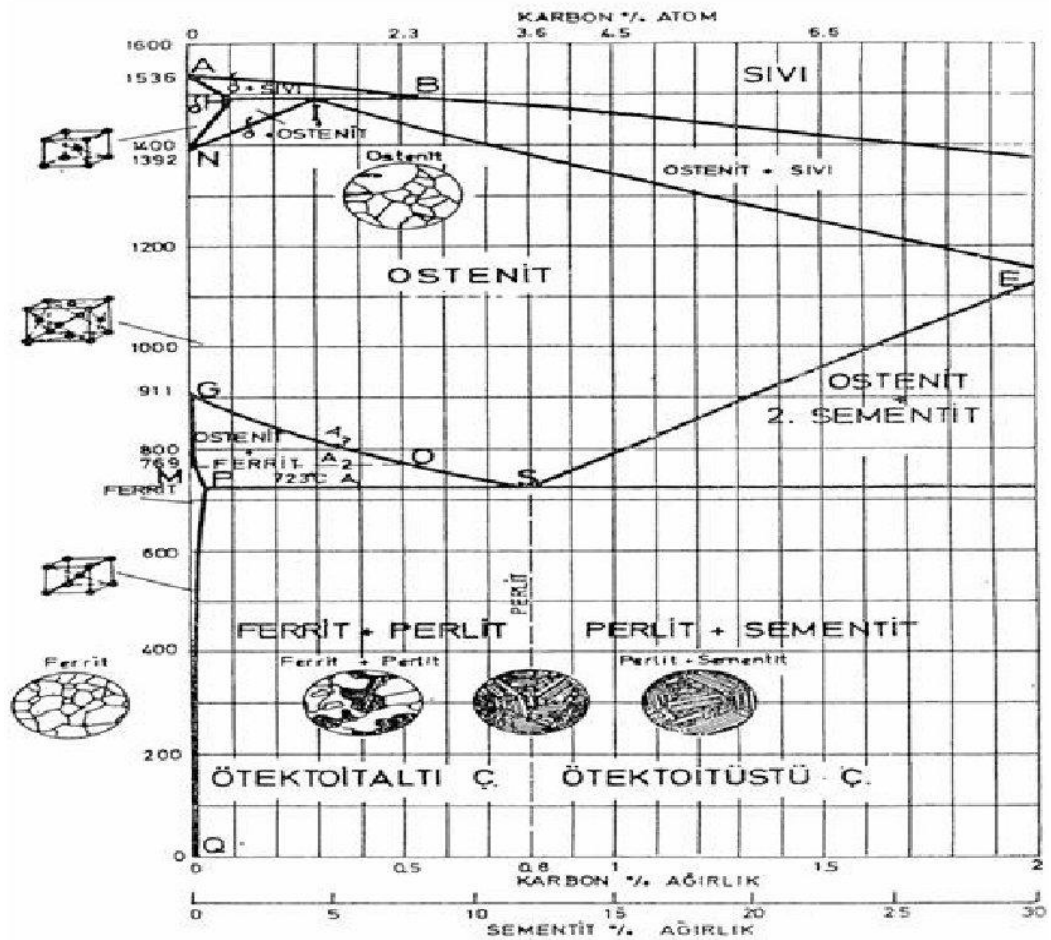
Demir esaslı malzemelerde önemli olan alaşım elementi karbondur. Genel olarak, teknikteki alışımlı soğuma koşullarında demir-karbon alaşımları Fe-Fe₃C sisteminde yarı kararlı olarak katılırlar. Fe-C kararlı sisteminde katılma, yalnızca çok yüksek karbon miktarlarında, silisyum gibi grafit teşvik edici alaşım elementlerinin etkisiyle ve çok yavaş soğumada meydana gelebilir. Şekil 3.1.'de görülen Demir-Karbon denge diyagramına göre, demir esaslı alaşımsız malzemeler şöyle gruplanabilir.

Dökümden sonra kararlı ya da yarı kararlı ötektiği içeren demir esaslı malzemeler, dökme demir olarak tanımlanabilir. Karbon miktarının alt sınırı yaklaşık olarak % 2'dir, ancak alaşım elamanlarının etkisiyle daha düşük değerlere kayabilir. Genel kullanımda, daha çok ötektik altı alaşımlar önem taşır.

Dökümden sonra ilave bir işlem yapılmaksızın dövülebilen demir esaslı malzemeler, çelik olarak tanımlanır. Alaşımsız olarak kullanılabilen çeliklerde karbon miktarının üst sınırı yaklaşık % 1,5 kadardır. Ancak, istisnai olarak ya da alaşımlı çeliklerde

sınırlı miktarda Fe-Fe₃C ötektiği (Ledeburit) de bulunabilir. Örnek olarak, ledeburitik kromlu çelik X 210 Cr 12 ya da yüksek alaşımlı hız çelikleri gösterebilir.

Karbon miktarının biraz değişmesiyle dökme demirde çeşit değişmesi pek söz konusu değil iken, çelik malzemelerde karbon miktarına bağlı olarak pek çok sayıda çelik türü elde edilir.



Şekil 3.1. Demir – Karbon denge diyagramı [16].

Ayrıca alaşım elementi içermeyen ve karbon miktarı yaklaşık olarak % 0,6 ila 1,2 arasında çelikler, alaşımsız takım çeliği olarak tanımlanır. % 0,6'dan az karbonlu çelikler yapı çelikleri ya da konstrüksiyon çelikleri olarak belirtilir. Genel yapı çelikleri, haddelenmiş hadde ya da yumuşak tavlanmış, normal tavlanmış veya benzeri ısıl işlem görmüş olarak alıcıya teslim edilebilir. Çeliği kullanan, gerekli şekillendirme işlemlerinden sonra, uygun olan diğer ısıl işlemleri uygulayabilir.

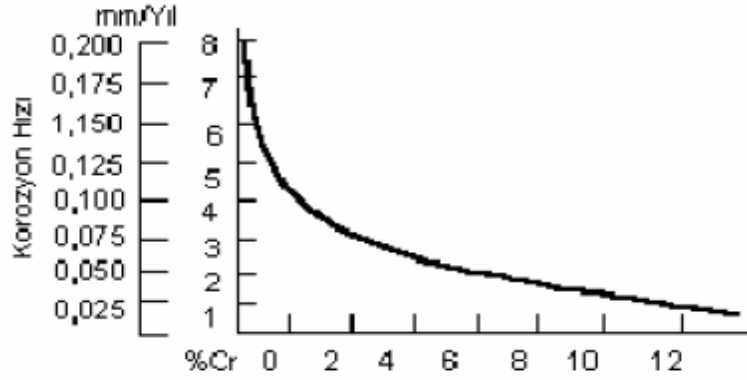
Malzeme seçiminde de, bu işlemlere uygun tercih öncelikle yapılır. Örneğin, sementasyon yapılacaksa karbon miktarı % 0,10 ila 0,22 arasında olan sementasyon çeliği ya da ıslah yapılacaksa karbon miktarı % 0,22 ila 0,60 arasında olan ıslah çeliği tercih edilir. Yapı çeliklerinde, % 0,04 ila 0,6 arasında değişen karbon miktarı ile özellikle yüksek dayanıklılık, yüksek süneklik ya da iyi şekillendirilebilme (özellikle kaynak kabiliyeti ve şekil değişebilirlik) istenir. Çok az karbon miktarlı çelikler, yumuşak demir olarak da adlandırılır. Bunlar makine imalatında konstrüksiyon malzemesi olarak pek az kullanılırlar, daha çok elektroteknikte, örneğin röle demiri olarak önemi vardır [16 - 18].

3.2. YÜKSEK ALAŞIMLI ÇELİKLER

Alaşım elementi ve/veya elementlerinin toplamı % 5'den yüksek olan çeliklerdir. "Paslanmaz Çelikler" ve "Takım Çelikleri" bu gruba giren en önemli çelik türlerine örnek olarak verilebilir.

3.3. PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz çelikler, özellikle mükemmel korozyon dirençlerinden dolayı tercih edilirler. Mükemmel korozyon dirençlerinin sebebi yüksek krom içermeleridir. Demire az miktarda örneğin yaklaşık % 5 Cr eklenmesi bir miktar korozyon direnci sağlar, ancak paslanmaz çelik elde etmek için demire en az % 12 Cr eklenmesi gereklidir. Cr metal alt katmanlarını korozyondan koruyan bir oksit filmi oluşturarak demir yüzeyini pasif hale getirir. Bu koruyucu filmi oluşturmak için paslanmaz çelik yüzeyin oksitleyici maddelerle temas etmesi gerekir. Şekil 3.2.'de krom miktarının korozyon direncine etkisi gösterilmektedir [19].



Şekil 3.2. Fe-Cr alaşımlarında Cr miktarının korozyon direncine etkisi [20].

Paslanmaz çelik, esas olarak paslanmayan çeliklerin genel adıdır. Özellikle nikel ve molibdenli çeliğin paslanmazlık özelliğini iyileştirmek için alaşım yapımında kullanılsa da paslanmazlığı sağlayan temel element kromdur. Dünyada üretilen çeliğin büyük bir kısmı karbon ve alaşımlı çeliktir. Karbon ve alaşımlı çeliğe göre paslanmaz çeliğin, daha az, ama cazip ve büyüyen bir pazarı vardır.

Doğada yalnızca altın ve platin gibi metaller saf halde bulunur, normal metallerse diğer elementlerle birleşmiştir. Paslanma, bu yüzden tabii bir olaydır. Doğada demir cevheri şeklinde bulunan demir, bu nedenle dengesizdir ve paslanma eğilimindedir. Paslanma saf demirin suyun varlığında oksijenle birleşmesidir. Herhangi bir koruyucu kaplamaya sahip olmayan karbon çeliği üzerinde bir pas tabakası oluşur ve çeliğin kalan bölümünü korur. Yüzeydeki pas tabakasının temizlenmesi durumunda yeni bir pas tabakası oluşur. Bu durum paslanma olarak isimlendirilir. Boyama, galvanizleme, epoksi reçinelerle yapılan değişik kaplamalar paslanma sürecini durdurur. Paslanmaz çelik farklı kullanım alanlarında koruyucu bir kaplamaya sahip karbon çelikleri, alüminyum, pirinç ve tunçla rekabet etmektedir. Paslanmaz çeliğin rekabet gücü, benzersiz ve karizmatik özelliğinden kaynaklanır. Çelikteki kromun korozyona karşı koruyucu yeteneği, krom ile oksijen arasındaki büyük kimyasal ilgiden ileri gelir. Malzeme içerisindeki krom miktarı yeterli olduğunda çeliğin dış yüzeyinde ince bir Cr_2O_3 tabakası oluşur. Oluşan bu oksit tabakası yüzeyi pasif bir hale getirmekte ve çevrenin olumsuz tesirinden korumaktadır. Korozyona karşı dayanımın sağlanabilmesi için malzeme yüzeyinin oksijenle temas etmesi şarttır. Çünkü malzeme yüzeyini korozyona karşı koruyan krom oksit film tabakasıdır [20].

Bu filmin kalınlığı 130 Angstrom' dır. Bu durum, büyük bir binayı, fotokopi kâğıdı kalınlığındaki çatı sacıyla yağmurdan korumaya benzer [21].

Krom oksit tabakası edilgin, kuvvetli ve kendi kendini yenileme özelliğine sahiptir. Edilgindir, çünkü malzemelerle tepkimeye girmez. Kuvvetli demek çelik yüzeyine iyi yapışmış, yerinden kolayca sökülemez anlamındadır. Yenilenebilir demek krom oksit katmanı aşınırsa veya zorla yüzeyden sökülecek olursa çeliğin içindeki krom havayla derhal yeni bir krom oksit tabakası meydana getirir demektir.

Paslanmaz çelikten yapılmış bir çakı, uzun süre kullanıldığında aşınır ve ağzı körelir, bileği taşında bilendiğinde krom oksit tabakası sökülür. Fakat kromun sağladığı bu yenilenme özelliği sayesinde paslanmazlığını korur. Paslanmaz çeliğin östenitik, martenzitik, ferritik, çökeltme sertleştirmeli ve östenitik-ferritik (Dubleks) paslanmaz çelikler adıyla beş temel grubu vardır.

Östenitik paslanmaz çelik krom, nikel ve manganez alaşımıdır. Bu grup paslanmaz çelikler 200 ve 300 no'lu serilerde yer alırlar. Bu gruptaki 304 paslanmaz çelik çok bilinir.

Ferritik paslanmaz çelik 400 seride bulunur. Bu gruptaki çeliklerde ana alaşım elementi kromdur. Bu grupta yer alan çeliklerin işleme yetenekleri, 200 ve 300 serideki çeliklere göre daha yüksektir.

Martenzitik paslanmaz çelikler de 400 seride yer alır. Fakat ferritik çeliklere göre daha az krom, daha çok karbon içerirler. Sertliklerini artırmak için ısıl işleme tabi tutmak gerekir.

Çökeltme sertleştirmeli paslanmaz çelikler paslanmaz çeliklerin küçük bir grubudur. Yüksek krom ve nikel içerirler. Yaşlanmayla birlikte sertleşirler. Özellikleri martenzitik paslanmaz çeliklere benzemektedir [21].

3.3.1. Paslanmaz Çeliklerin Metalurjik Özellikleri

Paslanmaz çeliklerin içerisinde, paslanmazlık özelliğini sağlayan elementlerin yanı sıra, diğer bazı ihtiyaçları karşılamak üzere isteyerek ilave edilen alaşım elementleri veya istenilmediği halde bulunan karbon ve katışıklar bulunmaktadır [8].

Alüminyum: Güçlü bir ferrit yapıcıdır. % 12 C içeren kaynak metaline eklenerek yapıyı ferritik, yani sertleşmez hale getirir. Yüksek sıcaklıklarda tufallaşma direncini artırır. Kuvvetli bir nitrür yapıcıdır. Titanyum ile birlikte yüksek dayanımlı alaşımlara eklenerek yaşlanma sertleşmesi tesirini azaltır [9].

Karbon: Kuvvetli östenit yapıcıdır. Yüksek mukavemetli alaşımlara sertleştirme ve dayanım artırıcı etki için katılır [8].

Niobyum: Güçlü bir karbür yapıcıdır. Östenitik paslanmaz çelikleri krom karbür çökmesine karşı dengelemede kullanılır. Orta düzeyde ferrit yapıcıdır. Yüksek dayanımlı bazı alaşımlara sertliği ve dayanımı artırmak için katılmaktadır. Bazı martenzitik paslanmaz çelik türlerine karbonu başlayarak çeliğin sertleşme eğilimini azaltmak amacı ile katılır [8].

Kobalt: Birçok paslanmaz alaşımın yüksek sıcaklıklardaki sürünme ve dayanım özelliklerini iyileştirmek amacı ile katılır [8].

Krom: Karbür ve ferrit yapıcıdır. Korozyon ve tufalleşme direncini sağlayan alaşım elementidir. Bu elementin paslanmaz çeliklerde yüksek sıcaklıkta dayanım ve sürünme dayanımına belirgin bir etkisi yoktur [8].

Mangan: Östenit yapıcıdır. Tam östenitik alaşımlarda kaynak metalinin çatlama direncini artırır. Oda sıcaklığında ve oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda östenitin kararlı olmasını sağlar. Ancak yüksek sıcaklıklarda ferrit ve manganer sülfat oluşturur [9].

Azot: Güçlü bir östenit yapıcıdır. Yüksek kromlu ve az karbonlu çeliklerde yüksek sıcaklıklardaki tane büyümesini engellemek için eklenir. Dayanımı artırır [8].

Nikel: Güçlü bir östenit yapıcı ve dengeleyicidir. Yüksek sıcaklıktaki direnci, korozyona karşı dayanımı ve sünekliği artırır. Kaynak metali tokluğunu artırıcı bir etkisi vardır. Paslanmaz çeliklerde mekanik özellikleri iyileştirir [9].

Silisyum: Ferrit yapıcıdır. Östenitik çeliklerde korozyon direncini arttırmak için katılır. Yüksek sıcaklıkta tufalleşme direncini artırır. Yüksek sıcaklıkta kullanılacak çeliklerin karbürizasyon direncini yükseltmek için kullanılır [8].

Titanyum: Kuvvetli bir karbür ve nitrür yapıcıdır. Östenitik paslanmaz çeliklerde krom karbür çökmesini engellemek için dengeleme elementi olarak kullanılır. Kuvvetli ferrit oluşturur. Bazı yüksek sıcaklığa dayanımlı alaşımlara sertlik dayanım artırıcı etkilerinden dolayı katılır, bazı yüksek dayanımlı ve ısıya dayanıklı alaşımlara yaşlanma sertleşmesini etkilemek için alüminyum ile birlikte eklenir [8].

Tungsten (Wolfram): Güçlü bir ferrit yapıcıdır. Bazı yüksek sıcaklık alaşımlarının dayanım ve sürünme direncini arttırmak için eklenir [9].

3.3.2. Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması

3.3.2.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Bu alaşımlarda normal olarak % 11-30 Cr vardır. Karbon içerikleri % 0,12'den azdır. Diğer alaşım elementleri, korozyon dirençlerini veya işlenebilirlik gibi özellikleri iyileştirmek için az miktarda ilave edilirler. Ferritik paslanmaz çelikler, düşük karbon içeriklerinden dolayı normal olarak östenitten ferrite dönüşüme uğramazlar ve bu sebeple ısı işlem uygulanmaz. Buna karşın pek çok ferritik paslanmaz çeliklerde, küçük karbon oranları olan çelikler yüksek sıcaklıklardan hızla soğutulursa biraz sertleşme oluşur. Bu alaşımlarda kaynaklanabilirlik, iyileştirilmiş süneklik ve iyi korozyon direnci için, karbon ve azot düzeylerinin çok az olması gerekir [19].

3.3.2.2. Martensitik Paslanmaz Çelikler

Genellikle krom miktarı % 17'den azdır. Aksi halde, östenit alanı çok küçülür. % 0,1'den % 1'e kadar değişen düşük krom içeriği, farklı sertlikteki martensitlerin ortaya çıkmasını sağlar. Kromun yüksek sertleşebilirlik özelliğinden dolayı, hava ve yağda soğutma ile martensit oluşturulabilir. Martensitik paslanmaz çeliklerin temperleme eğrileri, yüksek alaşımlı takım çeliklerinin temperleme eğrilerine benzer özelliktedir. Temperleme sıcaklığı 500 °C'ye ulaşıncaya kadar çok az yumuşama meydana gelir. Temperlenmiş martensitik paslanmaz çeliklerde, düşük krom içeriği diğer paslanmaz çeliklere göre daha az korozyon direncine sahip olmasına sebep olur [22].

3.3.2.3. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler, geniş bir sıcaklık aralığında (oda sıcaklığından ergime sıcaklığına kadar) tek fazlı yüzey merkezli kübik (YMK) bir kristal kafes yapısına sahiptir. Bu nedenle, yalnızca katı ergiyikli alaşımlama ve dövmeyle dayanımları yükseltilebilir. Östenitik paslanmaz çelikler, orta dereceli ve şiddetli korozif ortamlar için geliştirilmiştir. Aynı zamanda dondurucu (kriyojenik) sıcaklıklardan 600 °C'ye kadar yüksek tokluğa sahiptir. Bu çelikler, manyetik olmadıkları için manyetik malzemelerin kullanılmadığı uygulamalarda da tercih edilirler. Östenitik paslanmaz çelikler içerisinde kullanılan en çok tipler AISI 200 ve 300 seri alaşımlardır. Aynı zamanda, alaşım katkılarının ve özel alaşım bileşiminin, kaynak edilebilirlik ve kaynak bölgesinin mikroyapısı üzerinde büyük bir etkisi vardır. Bu alaşımlardan AISI 300 serisi, genellikle % 8-20 Ni ve % 16-25 Cr içerir. Düşük oranlardaki alaşım katkılarında % 1 Si deoksidasyon için, % 0.02-0.08 C östenitin kararlılığı için ve % 1.5 Mn ise hem östenitin kararlılığı hem de kükürt ve Si ile bileşik yapması bakımından ilave edilmektedir [23].

3.3.2.4. Çökelti Sertleştirilmiş Paslanmaz Çelikler

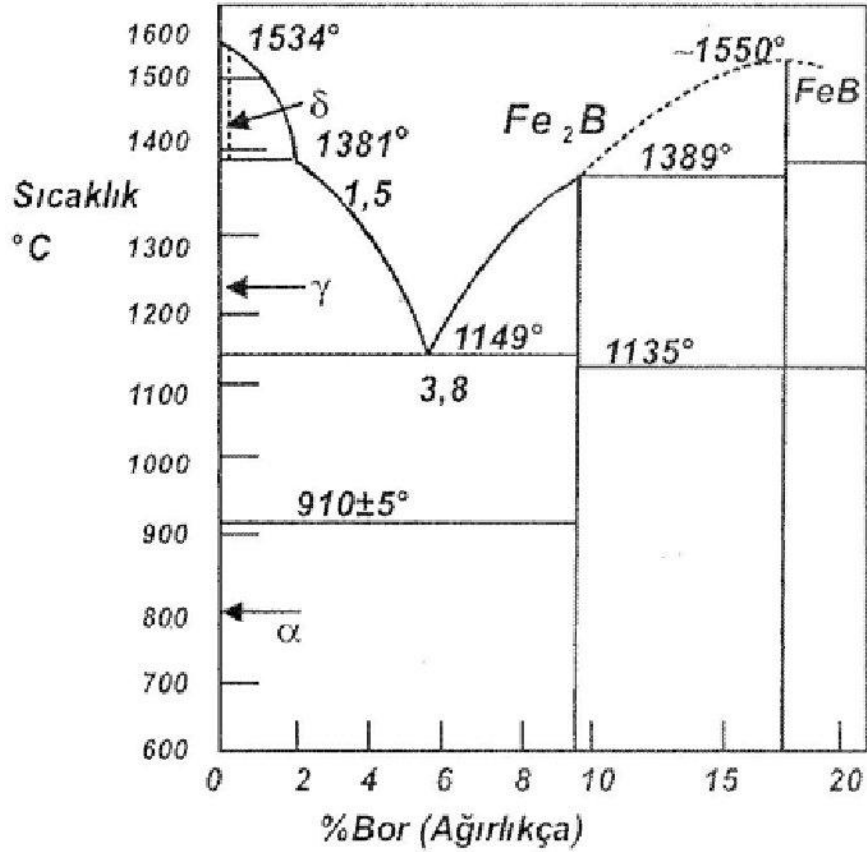
Bu alaşımlar, % 10-30 Cr içermekle birlikte, değişen miktarlarda nikel ve molibden de vardır. Çökelti sertleştirilmiş fazlar Cu, Al, Ti ve Nb katkılarıyla meydana gelir. Bu alaşımlar pek çok uygulamalar için korozyon dirençlerinde azalma olmaksızın yüksek mekanik dayanımlara sahiptirler. Bu alaşımların çoğu yüksek sıcaklıklarda dahi dayanım özelliklerini muhafaza ederler [19].

3.3.2.5. Östenitik-Ferritik (Dubleks) Paslanmaz Çelikler

Bu çelikler yüksek miktarda krom (% 18–28) ve orta derecede nikel (% 4,5–8) içerirler. Nikel miktarı en fazla % 8 olup, bütün içyapının östenitik olması için yeterli olmadığından, ferrit ve östenit fazlarından oluşan içyapıları nedeniyle bu çelikler, dubleks olarak isimlendirilirler. Dubleks paslanmaz çeliklerin çoğunluğu % 2,5 – 4 molibden içerir. Hem iyi dayanım hem de iyi süneklik özellikleri beraber sağlanır. Ayrıca korozif ortamlarda bile çok iyi yorulma dayanımı gösterirler [24].

3.4. DEMİR - BOR DENGELİ DİYAGRAMI

Şekil 3.3.'de verilen Fe-B ikili faz diyagramı incelendiğinde metaller arası iki bileşik görülmektedir. Bunlar; FeB ve Fe₂B bileşikleridir. Ferrobor alaşımları FeB ve Fe₂B gibi metaller arası bileşiklerden oluşmaktadır. 1538 °C'de eriyen demir ve 2092 °C'de eriyen borun oluşturduğu sistemde FeB ortorombik kristal yapıya sahip olduğu ve birim kafesin 4 Fe ve 4 B atomlarından meydana geldiği bilinmektedir [25]. Fe₂B ise, tetragonal kristal yapıya sahip olup, 12 atom noktası içerir [13].



Şekil 3.3. Demir - bor denge diyagramı [26].

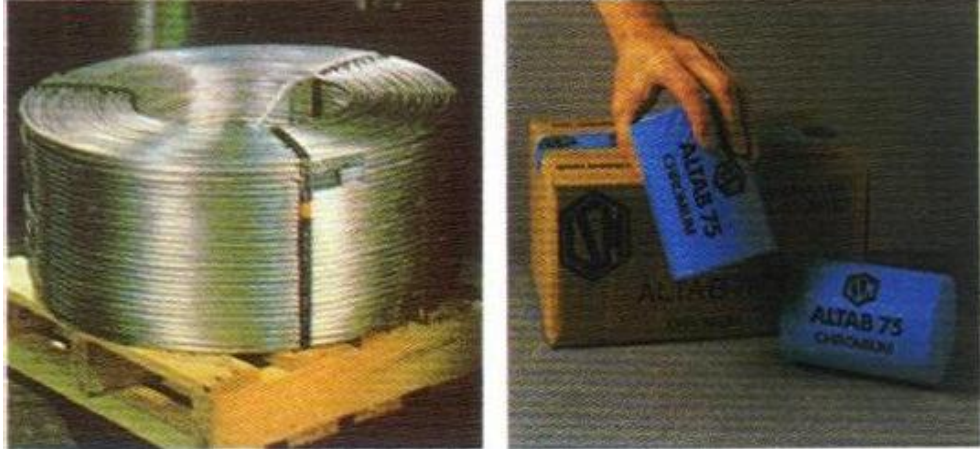
Şekil 3.3.'de görülen Fe - B ikili denge diyagramında Fe₂B'nin bileşiminde % 8,83, FeB'nin bileşiminde ise % 16,2 bor bulunmaktadır. İkili denge diyagramına göre % 9-16 arasında bor içeren alaşımda faz dağılımı Fe₂B ve FeB bileşiklerinden veya kristallerinden ibarettir. % 16,2'den fazla bor içeren alaşım ise FeB ve B kristallerinden oluşur. 1149 °C sıcaklık ve % 3,8 bor bileşiminde bir ötektik nokta oluşmaktadır [16,27]. Bor çeliklerde katı halde ppm mertebesinde çözülebilmektedir. Borun atom çapı demirin atom çapından % 25 daha küçük olduğundan bu element ile katı eriyik yapılabilir [28]. Demir alaşımlarında alaşım elementlerinin genellikle atom çaplarına bağlı olarak arayer elementi olarak çözünebileceği bilinmektedir. Bu gerçekten hareketle, bor α - Fe'de hem yeralan hem de arayer olarak bulunmaktadır. Düşük sıcaklıklarda demir içerisinde borun çözünlüğü karşılaştırıldığında 1/50 oranında arayer atomu olarak çözünmektedir. Difüzyon araştırmaları, α - Fe'de bor yayını için gerekli aktivasyon enerjisinin, yeralan katı eriyik için beklenen mertebede olduğunu göstermiştir. B - Fe ile yapılan difüzyon

çalışması verileri aktivasyon enerjisinin arayer çözünürlük için uygun olduğunu göstermiştir.

Bor, α , γ ve δ demirde çok az çözünebilmektedir. α - demirde 910 °C’de maksimum çözünebilirlik 20 - 80 ppm iken, buna karşılık γ -demirinde 1150 - 1170 °C’de 55 - 260 ppm bor çözülmektedir. Çözülebilirliğin genişliği, esas malzemenin saflığı ve tane boyutundaki değişiklikleri belirler. Fe ve B arasında Fe₂B (% 8,83 B), FeB (% 16,23 B) bileşikleri ve 1149 °C’de, % 3,8 B bileşiminde bir ötektik nokta oluşur. Dolayısıyla borlanmış yüzey 1149 °C’ye kadar ısıdan etkilenmez. Fe - B sisteminde alaşım elementleri, örneğin % 1 ötektik sıcaklığını 50 °C aşağıya düşürmektedir [26,29].

3.5. ALÜMİNYUM TİTANYUM BOR TANE İNCELTİCİLERİ

Al-Ti-B tane inceltici tel % 99,7 saflıkta birincil alüminyuma ve değişik bileşimlerdeki florür tuzlarından üretilmektedir. Önceleri yuvarlak takoz halinde döküldükten sonra ekstrüzyon ile elde edilen tel, bugünkü teknolojiye sürekli döküm ve haddeleme metodu ile imal edilmektedir. Sürekli döküm teknolojisi özellikle döküm kalitesinde önemli avantajlar sağlayarak incelticisinin temas süresini arttırmıştır. Temas süresi Al-Ti-B’un ergimiş alüminyuma ilavesini takiben sağladığı maksimum tane inceltme kabiliyetinin bir ölçüsüdür. Tane incelticiler sıvı alüminyuma katılmasından dolayı alaşımın bileşiminde önemli bir değişim söz konusu değildir. Bugün alüminyum sanayinin % 80’i tel şeklinde Al-Ti-B tane incelticisi kullanmaktadır. Şekil 3.4.’de tel ve tablet şeklinde tane incelticiler gösterilmiştir [30]. Sürekli döküm yönteminde Al-Ti-B ile tane inceltme tekniğinde yapılan en büyük geliştirme, tane incelticilerin ergitme ocaklarına küçük ingotlar şeklinde atılması yerine döküm oluşturma metale otomatik olarak tel şeklinde beslenmesidir. Döküm oluşturma tel ile yapılan bu tane inceltme işlemi ocakta yapılan işleme göre daha etkin ve hassastır. Sürekli tane inceltme uygulaması gerekli malzeme ilavesini % 50 oranında azaltmakta, ergitme fırını içerisinde oluşan titanyum borid miktarının artmasını önlemekte ve döküm prosesi boyunca sabit bir tane inceltmesi sağlamaktadır [31].



Şekil 3.4. Tel ve tablet şeklinde tane incelticiler [30].

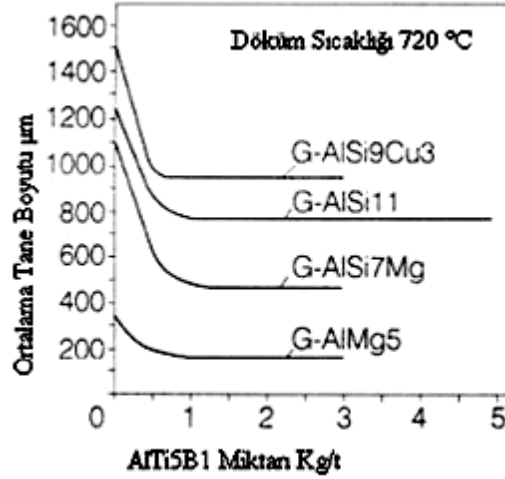
Al-Ti-B'un tane incelticisi olarak kullanılmaya başlamasından itibaren araştırmacılar çeşitli alüminyum alaşımlarına en etkin Ti/B oranı için büyük çaplı araştırmalar yapmışlardır. Bu çalışmalar neticesinde % 3–10 oranında Ti %0,1–1 oranında B ihtiva eden çeşitli ürünler geliştirmişlerdir, ancak standart en çok kullanılan master alaşım 5/1 Ti-B oranına sahiptir. Endüstriyel uygulamalarda kullanılan tane incelticiler Çizelge 3.1.'de gösterilmiştir [31].

Çizelge 3.1. Endüstriyel uygulamalarda kullanılan tane incelticilerin kimyasal bileşimleri [27].

Tane İncelticiler		
AlTiB 5/1	Al % 5 Titanyum	% 1 Bor
AlTiB 5/0,6	Al % 5 Titanyum	% 0,6 Bor
AlTiB 5/0,2	Al % 5 Titanyum	% 0,2 Bor
AlTiB 3/1	Al % 3 Titanyum	% 1 Bor
AlTiB 6	Al % 6 Titanyum	
AlTiB 10	Al % 10 Titanyum	

Dünya alüminyum sanayinin % 70'i bu bileşimdeki ürünü tane inceltici olarak işlemlerde kullanmaktadır. İnce levha ve folyo gibi bazı özel üretimlerde % 5 Ti ve % 0,2 B Ti/B gibi daha düşük bor ihtiva eden bileşimler tercih edilir. Bu gibi bileşimler daha az titanyum borid bileşikleri ihtiva eder. Titanyum miktarı % 0,25'i asmamalıdır. Bu noktadan sonra oluşan kaba Al-Ti primer kristallerinin teşekkülü

mukavemet özelliğini düşürür [27]. İkili Al-Ti tane inceltme alaşımları genellikle tercih edilmez, çünkü oluşan $TiAl_3$ çekirdekletiricileri $700\text{ }^\circ\text{C}$ 'de metal içerisinde kolayca erir, ayrıca bu tür alaşımlarla çalışıldığında alüminyum içerisinde büyük ve gevrek tanelerin olma eğilimini artırır. Şekil 3.5.'de çeşitli Al-Si döküm alaşımlarında tane inceltme performansları gösterilmiştir [32].

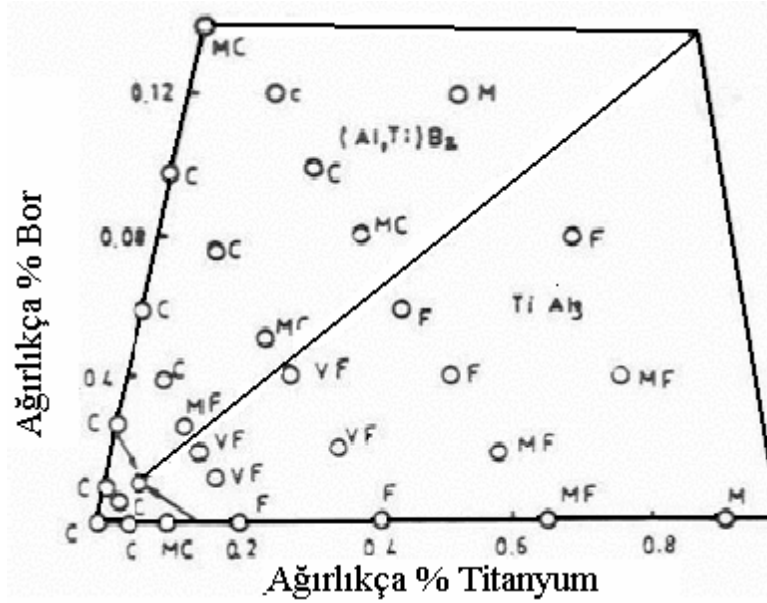


Şekil 3.5. Çeşitli Al-Si döküm alaşımlarında tane inceltmesi [32].

Al-Ti master alaşımlarına tane küçültme amacı ile bazı ilaveler yapılmış ve bor'un Al-Ti sisteminin tane etkisini arttırdığı gözlenmiştir. Üçlü Al-Ti-B master alaşımı kaba $TiAl_3$ ve çok ince TiB_2 kristallerini içerir. Master alaşımların metalografik incelenmesi TiB_2 'nin tane küçültücü rol oynamadığı ancak $TiAl_3$ 'ün etkisini artırdığını göstermiştir [33]. Alüminyumda çekirdek merkezi olarak TiB_2 'nin rol oynadığı iddia edilmektedir. $TiAl_3$ ve TiB_2 'nin birlikte bulunduğu zaman $TiAl_3$ 'ün daha etkili bir çekirdekletirici olduğu bütün araştırmacılar tarafından kabul edilmiştir. $TiAl_3$ partikülleri tane içerisinde bor içeren partiküller ise tane sınırlarında yer almaktadır [34].

Al-Ti-B tane inceltici tel kullanımının alüminyum alaşım üretiminin ayrılmaz bir parçası haline geldiği ve değişik alaşımların tane inceltme işlemine yatkınlıkları konusunda önemli bir bilgi birikimi sağlanmıştır. Genel bir kural olarak daha az alaşım elementleri içeren alüminyum alaşımlarının Al-Ti-B ile tane inceltmesi daha zordur. Özellikle demir, silisyum, mangan, titanyum ve bor gibi elementler ana inceltme işlemini olumlu şekilde etkiledikleri için bu elementleri içeren alüminyum

alaşımının tane inceltme işlemleri daha kolaydır. Buna karşılık krom ve zirkonyum gibi elementler tane inceltme işlemi olumsuz yönde etkiledikleri için bu elementleri içeren alaşımların tane inceltme işlemleri daha zor ve yüksek oranda ilaveler ile gerçekleştirilir. Şekil 3.6.'da Ti-B bileşimine bağlı olarak tane boyutunun değişimi gösterilmiştir [33].



C Kaba, M Orta, F ince, MC Orta Kaba, MF Orta ince, VF Çok ince

Şekil 3.6. Ti-B bileşimine bağlı olarak tane boyutunun değişimi [33].

Alüminyum alaşım bileşiminin yanı sıra döküm kesit kalınlığı ve döküm yöntemi tane inceltme işlemi etkileyen diğer faktörlerdir. Sıcak halde ingot dökümleri, kalın kesitler ve düşük katılma hızlarında gerçekleştirildiği için tane inceltme işlemi daha ince kesitlerde gerçekleştirilen ekstrüzyon takoz dökümüne göre daha zordur. Sürekli levha döküm işlemlerinde ise kesitin ince ve katılmanın hızlı olmasına karşın kenar çatlama problemi sebebi ile Al-Ti-B tel incelticinin yüksek oranlarda ilave edilmesi gereklidir [31].

3.6. FERROBOR

Ferrobör ilk olarak 1893 yılında Henri Moissan tarafından karbon astarlı ve tek fazlı bir elektrik ark fırınında elde edildi. Burada fırına yüklenen şarj; demir-asit borik ve kömürden ibarettir [13].

C ve alaşımlı çeliklerin sertliğini arttırmak amacıyla, ferrobör kullanımı 1930'lu yıllardan beri bilinmektedir. Çeliğe % 0,003 - 0,004 miktarlarında B ilavesi ile, tane boyutunda küçültmeye ihtiyaç duymaksızın sertliği arttırabilir. Bu az miktardaki bor ilavesi ile, yüksek oranda Mn, Ni, Cr gibi metalleri içeren alaşımlar ile aynı sertlikte malzeme üretilmiştir. Özellikle ABD'de ıslah çeliklerinde, pahalı ve az bulunan Ni ve Mo yerine büyük miktarlarda kullanılmaktadır. 1975 yılında ferrobör alaşımlarının üstün manyetik özelliklerinin belirlenmesi, bu alaşımların elektrik sektöründe büyük kullanım alanı bulmasına sebep olmuştur. Özellikle % 3 B, % 5 Si içeren demir esaslı alaşımların, amorf metal (metalik cam) olarak sac haline getirilerek trafolarında kullanılabilmesi, geleneksel tane yönlenmiş silisyumlu saclara göre 1/3 oranında çekirdek kayıplarını azaltmıştır [35]. Bor, 1982 yılından bu yana tanınmakta olan Fe-R-B (R=nadir toprak metal) esaslı sürekli miktatsızların önemli bir bileşimidir. Bu tip miktatsızların üretiminde ferrobör kullanılmaktadır. Ferrobör ağırlık bakımından % 10 - 20 arasında bor ihtiva eden bir demir bor alaşımıdır. Ferrobör parlak gümüş rengindedir. Ancak uzun süreli rutubetli havada kalırsa, parlak gümüş rengi kaybolur ve yüzeyin rengi kırmızı lekeler içeren mat griye dönüşür.

% 0,04 - 42 B içeren ferrobör alaşımları atmosferik şartlarda ve yüksek sıcaklıklarda (800 - 1000 °C) oksitlenmeye karşı dirençlidir. B konsantrasyonunun % 0,32'den fazla olan alaşımlarda koruyucu etkisi bulunan $Fe(BO_2)_2$ fazı oluşmaktadır [36].

3.6.1. Çelik Üretiminde Ferrobör

Ferrobörün en çok kullanıldığı alanlardan biri çelik sanayidir. Çeliğe ilave edilen çok düşük oranlardaki bor, hem sade karbon çelikleri ve hem de alaşımlı çeliklerin sertleşebilirliğini arttırmaktadır. Sertleştirmeyi arttırmak için çeliğin içine 5 - 15 ppm

(maksimum 30 ppm) bor ilave edildiği bu güne kadar ki çalışmalarda görülmektedir. B, çeliğe ilave edilen diğer sertleştirici elementlerin, örneğin C, Mn, Cr, Mo, v.b. sertleştirme derecesini de arttırdığı söylenmektedir. Çeliğin içine çok az miktarda ilave edilmesi durumunda çeliğin sertliğini artırması nedeniyle bor, çelikte kullanılan pahalı alaşım elementleri maliyetinde tasarruf sağlar. Alaşımli çeliklere % 0,0010 - 0,0030 arasında bor ilave edilmesi, bu çeliklerin yapısında gerek duyulan Ni, Cr ve Mo miktarlarını düşürür [36].

B'ninO ve N'a karşı ilgisi yüksektir. Bu nedenle bor, çelik içinde çözünmüş olan O ve N tarafından bağlanır. Bunu önlemek için bor, bu iki elementten korunmalıdır. Boru oksijenden korumak için sıvı çelik; Ca, Al ve Si'dan herhangi birini veya birkaçını kullanılarak ön deoksidasyona tabi tutulur. Titanyum (Ti) veya Zirkonyum (Zr) kullanmak suretiyle de, sıvı çelik içindeki azotun bor yerine Ti veya Zr ile reaksiyona girmesi sağlanır [13]. Bor, çeliğin sertliğini karbür oluşturmak suretiyle artırır. Diğer karbür yapan elementlerle karşılaştırıldığında, çeliğe aynı derecede sertlik kazandırmak için çok az bor ilâvesi gerekir.

Birkaç yüz çeşit borlu çelik mevcuttur ve bunlar ISO, AISI, AFNOR ve DIN tarafından standartlaştırılmıştır. Borlu çeliklerin çoğu Mn ve Cr (% 0,5'e kadar) ile alaşımlandırılmıştır. Bazı hallerde Ni ve Mo içerirler. C oranları, % 0,15 ile % 0,45 arasında değişir. Borlu çelikler başlıca sertleştirilmiş ve temperlenmiş, bazı hallerde ise yüzey sertleştirilmiş koşullarda kullanılırlar. Borlu çelikler başlıca Al ile deokside edilirler. Deoksidasyon sonucu yapıda % 0,003 oranında Al kalır. Borlu çeliklere, genellikle (% 0,03 Ti'lu), nitrürosyon işlemi de uygulanır [36,37].

Östenitik çeliklere % 0,0005 oranında ilave edilen bor, çeliğin yüksek sıcaklık mukavemeti ile sürünme mukavemetini iyileştirir. Yüksek hız çeliklerinin kesme performansını arttırmak için, bu çeliklere de bor ilave edilmektedir.

18 - 8 Cr-Ni'li östenitik paslanmaz çeliklere ilave edilen bor, çökeltme sertleşmesi yaparak çeliğin elastik limitini artırır, fakat oksitlenme direncini düşürür.

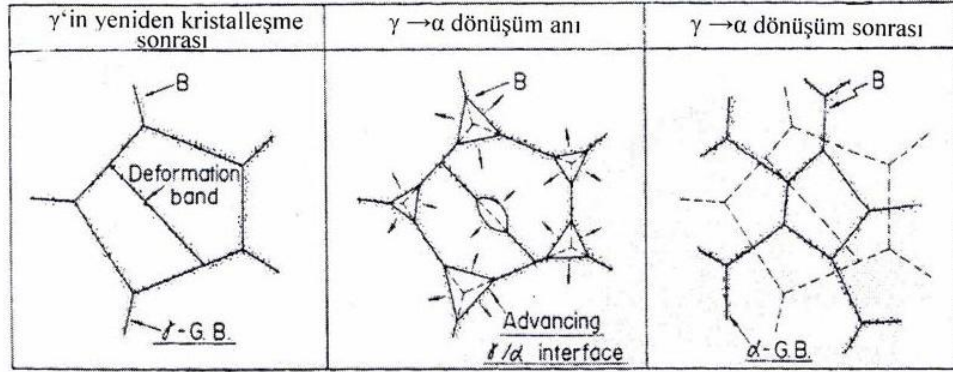
AISI 321 östenitik paslanmaz çeliğe % 0,01'e kadar bor ilavesi, bu çeliğin 650°C sıcaklıkta ve 157 N/mm²'lik gerilme altında, kullanım ömrünü 8000 saatten 18000 saate uzatır. Cr-Ni'li AISI 316 paslanmaz çeliklerinde % 0,004 - 0,009 oranlarında B, şekil verme aralığında (950 – 1250 °C) çeliğin şekil alma kabiliyetini önemli derecede arttırır. Östenitik ısıya dayanıklı paslanmaz çeliklerde ve ferritik çeliklerde çok düşük oranlarda (% 0,002 - 0,005) B; Ti, Mo ve Nb ile birlikte kullanıldığında çeliğin sürünme özelliklerini iyileştirir. Yapısında % 2,5'e kadar B bulunan çelikler, nükleer reaktörlerde kontrol çubuğu olarak kullanılır [36].

Bor, çelik içerisinde aşağıda belirtilen şekillerde oluşabilir,

- a) Çözünmüş bor "Serbest Bor" (çoğunlukla tane sınırlarında çökelti oluşturmuş şekilde),
- b) Oksitlenmiş Bor (B₂O₃)
- c) Bor Nitrür (BN)
- d) Bor Karbür (M₂₃(B,C)₆)
- e) Ferrobor (Fe₂B, FeB)

3.6.2. Serbest Bor (Efektif Bor)

Bor ilaveli olarak üretilecek çeliklerde, mekanik özelliklerin iyileştirmesinde ilk parametre "Çözünmüş Bor" miktarıdır. Çünkü östenitleme sırasında bor karbürlerin çözünmesi sonucu oluşan bor (serbest bor), ıslah sırasında ince bor karbür M₂₃(B,C)₆ bileşiği halinde tane sınırlarında çökerek malzemenin sertleşebilirliğini, akma ve çekme dayanımını arttırmaktadır (Şekil 3.7.). Tane sınırlarında çökelen bor karbürler toplam bor miktarının ancak küçük bir kısmını oluştururlar. Kalan serbest bor ise "Efektif Bor" olarak adlandırılır ve önemli olan efektif bor miktarının elde edilmesidir.



Şekil 3.7. Östenitten ferrite dönüşümü esnasında tanelerde meydana gelen değişiklik [38].

Çözünmüş bor “Serbest Bor” (çoğunlukla tane sınırlarında çökelti oluşturmuş şekilde) tane sınırlarında ve tane içerisinde arayer ya da yerelan katı eriyik çözeltisi şeklinde bulunmaktadır. Çelik içerisinde mekanik özellikleri iyileştirmesi açısından daha çok tercih edilmektedir. Fakat olması gereken optimum miktara elementel bor ve diğer demir içerisinde oluşumların hepsi hesaplanarak bor oranı belirtilir.

Bor, α , γ ve δ demirinde çok az çözünebilmektedir. α - demirde 910 °C’de maksimum çözünebilirlik 20 - 80 ppm iken, buna karşılık γ - demirinde 1150 – 1170 °C’de 55 - 260 ppm bor çözülmektedir. Çözülebilirliğin genişliği, esas malzemenin saflığı ve tane boyutundaki değişiklikleri belirlemektedir.

3.6.3. Bor Oksit (B_2O_3)

Elementel bor oksitlendiği zaman büyük bir enerji açığa çıkarır ve bor oksit (B_2O_3) oluşur. Bu şekilde bordan enerji üretilebilir ve elementel bor fiziksel, kimyasal ve termodinamik bakımdan bu gün enerji kaynağı olarak kullanılan birçok maddeden daha iyi özelliklere sahiptir. Diğer taraftan sodyum bor hidrür de katalitik olarak su ile reaksiyon verebilme ve yakıt pilinde kullanılabilme imkânları ile iyi bir hidrojen taşıyıcısıdır ve geleceğin enerji kaynağı olarak bakılmaktadır.

3.6.4. Bor Nitrür

Bor nitrür, taşıdığı yüksek ısıl şok direnci, ısıl iletkenlik, elektriksel yalıtkanlık, kimyasal kararlılık ve yağlayıcılık gibi üstün özelliklere sahip sentetik bir malzemedir. Bu özellikleri nedeniyle metalürjik yüksek sıcaklık uygulamalarında, elektrik-elektronik endüstrisinde, seramik kompozit malzemelerin yapımında ve kimya endüstrisinde toz, şekillendirilmiş kütleler, sprey ve macun biçimlerinde kullanılmaktadır ve yeni kullanım alanları bulmaya yönelik bir potansiyeli de sahip olduğu özelliklerde barındırmaktadır [39]. Bor nitrürün üç farklı kristal formu mevcuttur; hegzagonal formu (h) BN, kübik formu (c) Bor nitrür (BN), üçüncü ticari Bor Nitrür tipi ise kimyasal buhar indirgenmesi ile üretilen Piroliktik Bor Nitrür'dür. Bunlar çok farklı fiziksel özelliklere sahiptirler ve çok farklı uygulamalarda kullanılırlar. Hegzagonal bor nitrürün kalitesine göre ticari sınıflandırılması ve kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.2.'de görülmektedir [39].

Çizelge 3.2. Bor nitrür ticari kalite sınıflandırması [39].

Bileşenleri	Kompozisyon (%)		
	Refrakter Kalite	Seramik Kalite	Yüksek Kalite
BN	92-96	>98,5	>99,5
B ₂ O ₃	5-7	0,1	<0,003
Oksijen*	5	0,5-1,5	0,3
Karbon	0,1	0,1	0,1
Metal Kalıntıları	0,2	0,2	>0,01

3.6.4.1. Hegzagonal Bor Nitrür

Kristal yapısı, tabakalı olması ve kayganlık ve yumuşak özellikleri nedeniyle grafitle benzer. Beyaz grafit olarak ta adlandırılır. Bazı fiziksel, kimyasal ve elektriksel özellikleri, grafitle ve refrakter kullanımda rakip malzeme olan alümina ile kıyaslamalı olarak Çizelge 3.3.'de verilmiştir.

Hegzagonal bor nitrürün özellikleri

- a) Hegzagonal bor nitrür yapısal yönden grafitte, görünüm olarak alüminaya benzeyen, beyaz renkte, zehirsiz, geçirimsiz ve kaygan bir malzemedir.
- b) Seramik malzemeler içinde en düşük yoğunluklu olanıdır. ($2,27 \text{ g/cm}^3$) Çok yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır. (inert atmosferde $3000 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar, hava ortamında $1400 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar).
- c) Isıl şok direnci oldukça yüksektir. $0 - 2000 \text{ }^\circ\text{C}$ arasındaki ısı şoklarına karşı dayanıklıdır.
- d) Birçok ergimiş metal veya cürufar ve ergimiş camlar tarafından ısılatılma özelliği düşüktür.
- e) Mükemmel elektrik yalıtım özelliğine ve ısıl dirence sahiptir.

Çizelge 3.3. Bor nitrürün diğer yüksek sıcaklık malzemeleri ile kıyaslamalı olarak özellikleri [40].

Özellikler	BN	Alümina	Teknik Grafit
Yoğunluk	2,15-2,20	3,7-3,9	$1,66 \pm \%10$
Sertlik	Mohs 2	Mohs 9	-
Erime Noktası	$>3000 \text{ }^\circ\text{C}$ In N ₂ $2730 \text{ }^\circ\text{C}$	$2015 \text{ }^\circ\text{C}$	$3700 \pm 100 \text{ }^\circ\text{C}$
Elektrik Direnci Ohm-cm	$1,7 \cdot 10^{13}$ (at $25 \text{ }^\circ\text{C}$) $3,1 \cdot 10^4$ (at $1000 \text{ }^\circ\text{C}$)	$1 \cdot 10^{16}$ (at $14 \text{ }^\circ\text{C}$) $3 \cdot 10^{13}$ (at $300 \text{ }^\circ\text{C}$)	$109 \cdot 10^{-6}$ (at $25 \text{ }^\circ\text{C}$) $8-15 \cdot 10^4$ (at $1000 \text{ }^\circ\text{C}$)
Dielektrik Katsayısı	4,15	9,0-10,*	-
Termal Genleşme Katsayısı ($\text{cm/cm}^\circ\text{C} \cdot 10^{-6}$)	0,7(\perp) 7,5(//)	6-10	32(\perp) 46(//)
Çalışma Sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)			
Havada	1000	1600-1700	330
Azot Ortamında	3000	2000	1650
Klor Ortamında	700	-	-
Termal Elektrik (Watt/metre $^\circ\text{C}$)	36 (//) 34(\perp)	17-30	138 (//) 95(\perp)

3.6.4.2. Kübik Bor Nitrür

Kübik bor nitrür kristal yapısı ve diğer özellikleri yönünden elmasa benzer. Saf kübik bor nitrür renksiz, iyi bir elektrik yalıtkanıdır. Yüksek sıcaklık ($1500 \text{ }^\circ\text{C}$), yüksek

basınç (8 GPa) teknikleri ile hegzagonal kübik kafes dönüşümü ile elde edilen kübik bor nitür c (BN), elmastan sonra ikinci en yüksek sertlik değerine sahiptir [41-43].

Kübik bor nitür özellikleri

- a) Elmasın aksine yüksek ısı dirence sahip olup, çok yüksek sıcaklıklara (1370°C) dayanıklıdır.
- b) Elmas gibi çok yüksek ısı iletkenliğe sahiptir.
- c) Mekanik şoklara karşı dayanımı yüksektir.

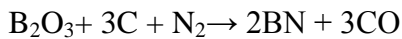
3.6.4.3. Pirolitik Bor Nitür

Pirolitik bor nitürün kullanma alanları kısmen sıcakta sıkıştırılmış bor nitürle çakışır. Bu yüzden potalarda ve fırın parçalarında kullanılabilir. Çeşitli tiplerdeki kalıp şekilleri ve kalıpların kaplanmasında ve sıcakta çalışan memelerin üretiminde kullanılmaya uygundur. Pirolitik bor nitürden ayrıca ısı kalkanı, elektrik kablolarının ısı izolasyonu, indüksiyon ısıtma bobinleri taşıyıcıları, elektrik dirençleri ve yüksek sıcaklık kondansatörleri, infrared cam ve plarizatörleri üretilebilir.

3.6.4.4. Bor nitürün üretim metodları

Bor nitür endüstriyel alanda aşağıda açıklanan dört yolla üretilmektedir. Bunlardan birinci metod; karbon, bor oksit ve azot gazının 1450 - 1650 °C arasında reaksiyona sokulmasıdır. Bu reaksiyon aşağıda görülmektedir. Literatürden edinilen bilgiye göre bu metod, dünyada bor nitür üretiminde en yaygın olan işlemidir.

a) Bor nitür üretiminde kullanılan B₂O₃ ve kömür tozları karıştırılıp bir paketleme diskinde paketlenmektedir. Bu paketler elektrik ısıtmalı bir fırına yüklendikten sonra azot gazı ortamında yaklaşık 2 saat süreyle 1450 – 1650 °C de ısıtılmaktadır. Böylece, aşağıda verilen reaksiyona göre bor oksit, karbon tarafından redüklenmekte ve açığa çıkan bor ise derhal azot ile reaksiyona girerek bor nitür oluşturmaktadır.

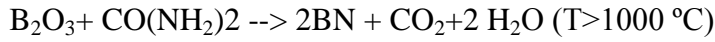


Üretilen bor nitür yaklaşık olarak % 92 BN içermektedir, içinde kirlilik olarak B₂O₃ ve kül vardır. Fırından alınan ürün, içindeki emrütelerin uzaklaştırılması için, 1/1 oranında karıştırılmış hidroklorik asit/su çözeltisinde liç edilmektedir. Liç çözeltisi disk filtreden geçirilmek suretiyle, bor nitür filtrede tutulmaktadır. Buradan elde edilen bor nitür refrakter ve seramik kalitelere olmaktadır.

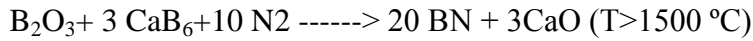
b) İkinci yöntem; bor oksitin amonyak gazı ile inert bir dolgu malzemesinin (genellikle trikalsiyum fosfat) varlığında 900°C 'de nitrülenmesi ve reaksiyon sonrası saflaştırma ve kristalizasyon amacıyla ısıtma işlem uygulanması



c) Üçüncü yöntem; bor oksit veya boraksın, üre ve melamin gibi azot içeren organik bileşikler ile 1000 °C'nin üzerinde nitrülenmesi



Sonuç olarak; Kalsiyum hekzaborür ve bor oksidin, azot gazı ile 1500 °C'nin üzerinde nitrülenmesi.



Yukarıdaki yollarla üretilen bor nitür grafit gibi tabakalı bir yapıda, beyaz renkte, pudra halindedir [44].

3.6.4.5. Bor Nitürün Kullanım Alanı

Sıcak ve ergimiş metallere temas eden yüzeylerde kaplama olarak kullanılır. Bor nitür kaplama, korozyonu ve kimyasal olarak malzemenin reaksiyona girmesini önler. Bu nedenle de, kalıpların yüzeyinin kaplanmasında kullanılır. Aynı amaçlarla cam ve plastik endüstrisinde de kullanılır. Kompozit üretiminde bor nitür kaplamalar kalıbın oksitlenmesini önler.

- a) Yüksek sıcaklıklarda yağlayıcı olarak kullanılır.
- b) Yüksek ısı şok direncinin ve yüksek tokluğun istendiği uygulamalarda kullanılır (potalar ve refrakter astar uygulamaları dahil).
- c) Yüksek dielektrik dayanımı, düşük dielektrik sabiti ve yüksek ısı iletkenliğine haiz olması sebebiyle, dielektrik malzeme olarak elektronik ve elektroteknik endüstrisinde kullanım alanına sahiptir.
- d) Bor nitrür, belli oranlarda silisyum nitrür ile karıştırılarak (60:40, 50:50 veya 40:60) nozül pota, termokupul kılıfı ve cam kalıplarla ilgili refrakter malzeme olarak kullanılır.
- e) Diğer seramik malzemelerle birlikte kompozit yapımında kullanılır (Örneğin; Al_2O_3/BN , AlN/BN , $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot xZrO_2/BN$).
- f) Kozmetik endüstrisinde kullanılır.
- g) Seramik ve cam endüstrisinde kullanılır (pota, destekleyici vb. malzeme olarak).
- h) c(BN) çok yüksek ısı iletkenliği sebebiyle kesme aletlerinde (cutting tools) kullanılır. Elmasın aksine yüksek ısı dirence sahip olup, çok yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır (1370 °C'ye kadar). Elmasla karşılaştırıldığında kübik bor nitrürün en önemli avantajı, demir veya diğer metaller ile temasında veya havada yüksek sıcaklıkta sahip olduğu çok yüksek kararlılığıdır. Çok kristalli kübik bor nitrür endüstriyel alanda son birkaç yıldır kullanım alanı bulmaktadır. Ferro malzemeler ile reaksiyon direnci ve mükemmel abrasif direnci ile kombine edilen c(BN) diğer takım malzemelerden daha yüksek sıcaklıklarda ve daha yüksek hızlarda sert malzemelerin işlenmesinde kullanılmaktadır. c(BN) sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesinde kullanılır. Bor nitrür kesici aletler, işleme esnasında sıvı kullanılmadan çok yüksek hızlı işleme için uygundur. c(BN) yüksek sıcaklıklarda kesici alet ve aşındırıcı olarak kullanılır. c(BN) mekanik şoklara karşı yüksek dayanımı sebebiyle dökümle ve dövmeyle üretilen parçaların işlenmesinde kullanılır. c(BN) aşındırıcı malzeme olarak kullanılır (küçük kristaller halinde aşındırıcı diskler içerisine ilave edilerek demirli metallerin aşındırılmasında kullanılır). Yüksek sertliği ve yüksek sıcaklıklara dayanımı sebebiyle kübik bor nitrürden üretilmiş parçalar yüksek dayanıma ve uzun ömre sahiptirler. Ayrıca, yüksek ısı

iletkenliğe sahip olması, aşındırıcı disk olarak kullanım esnasında oluşan ısının kolaylıkla uzaklaştırılabilmesinde bir avantajdır. c(BN) 50 HRC'den daha sert demir bazlı malzemelerin ve 35 HRC'den daha yüksek sertliğe sahip kobalt ve nikel bazlı malzemelerin taşlanması, işlenmesinde ve parlatılmasında kullanılır.

3.7. BOR KARBÜR

Bor karbür (B_4C) siyah parlak renkli bir malzeme olmasından ve sertliğinden dolayı (3000 Knoop) kara elmas olarak da adlandırılır. Yoğunluğunun düşük olması ($2,37 \text{ g/cm}^3$ ile $2,52 \text{ g/cm}^3$ arası) ve erime noktasının yüksekliği ($2450 \text{ }^\circ\text{C}$) bor karbürün kullanım alanlarını artırmaktadır. Yoğunluk değişimine, bor karbür bileşiğinin içindeki borun ve karbonun atomik kütlelerinin (bor için 0 - 11, karbon için 12 - 13) değişimi neden olmaktadır.

Bor karbürün doğrudan kullanım yerleri makine, kimya ve nükleer sanayilerdir. Bor karbür (B_4C) döküm çeperlerinde yüksek sıcaklığa dayanıklı malzeme olarak, yanma için püskürtme memelerinde de aşınmaya dayanıklı malzeme olarak kullanılan önemli bir bileşiktir.

Günümüzde hem savunma sanayi hem de enerji için kullanımı her geçen gün yaygınlaşan nükleer teknolojinin vazgeçilmez malzemeleri arasına girmiştir. Borun nötron tutucu özelliği nedeniyle bor karbür nötron kalkanı olarak nükleer atık nakliyesi tankları ve depolama havuzlarında zırhlama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca reaktör denetim, kolay taşınabilir kalkanlar gibi alanlarda kolaylıkla kullanılabilir. Nükleer yakıtların kaplanması sonucu verimli yanmanın yanında denetimli yanmanın da sağlanması, nükleer reaktörlerin önünde yeni ufuklar açmaktadır. Nükleer tepkime esnasında denetleme sağladığı gibi dimetil eter elementler borca zenginleştirilmiş borik asit veya ferrobora haline dönüştürüldüğünde nükleer reaktörün denetim çubuklarının yapımında da kullanılmaktadır. Bor, 304 adı verilen ve bor karbür ihtiva eden yeni bir paslanmaz çelik, atılmış nükleer yakıtın taşındığı kapların imalinde kullanılmaktadır [45]. Bor karbür düşük özgül ağırlığı ve yüksek esneklik modülü nedeniyle hafif silahlarda da

kullanılır. Bu tür silahlar personel silahları ve helikopterlerde kullanılan silahlardır. Bor karbür ve cam yönünden mamul zırh malzemeleri de imal edilmiştir. Bu zırh malzemesi, AH-Cobra helikopterlerinde kullanılmıştır. Gerek askeri gerekse sivil havacılıkta yüksek irtifa ve 6000 - 12000 km/saat gibi yüksek hızlara ulaşacak uçakların yapılması ve da bölgesinin 1800 °C sıcaklıklara kadar ulaşabileceği NASA tarafından saptanmıştır. Uzay mekiklerinin ana gövde kafes sisteminde, giriş ve iniş takım parçalarında çok sayıda tek yönlü bor elyaf alüminyum metal matrisli kompozit borular kullanılarak ekstürüze alüminyum sistemine oranla % 40'ın üzerinde bir ağırlık tasarrufu sağlamıştır. Uzay mekiklerinde kullanılan malzemelerin dayanıklılığı ile birlikte hafifliğinin de önemi büyüktür. Uzay mekiklerinin yakıt ağırlığının önemi de bilinmektedir. Bu nedenle kompozit maddenin ağırlık kazancının ne kadar önemli olduğu açıktır. Jet motorları, fan kanatları, uçak kanat yüzeyleri ve gövde destekleri, iniş takımları parçaları, bisiklet iskeleti ve hatta golf sopalarına kadar geniş bir kullanım alanı vardır. Bir diğer kullanım alanı ise grafitle birlikte 1750 °C'ye kadar sıcaklığı ölçebilen ısı-çift üretimidir. Otomobil teknolojisine sağladığı % 10'luk ağırlık tasarrufu ile % 5'lik yakıt tasarrufu, ayrıca içten yanmalı motorlarda ve diğer hareketli makine parçalarında aşınma direnci ve ısı şoklar önem taşımaktadır [46-48].

3.7.1. Bor Karbürün Yapısı

Bor karbür bileşiği ilk defa 1883 yılında keşfedilmiştir. Refrakter bor bileşiklerinden biri olan bor karbür; alümina, silisyum karbür, bor nitür ve elmas gibi maddeleri kapsayan metal dışı sert maddeler grubunda ele alınan bir seramiktir. Bor karbür bileşikleri B₄O₁₀-4'ye kadar geniş bir aralıkta son zamanlarda yapılmaktadır. Borun yüksek buhar basıncından dolayı, bor bileşiğindeki karbon bileşimi işlem sıcaklığı ile yükselir. Ticari bor karbürün bileşimi B:C=4:1 oranındadır. Bor karbür, elmas ve kübik bor nitürden (c-BN) sonra bilinen en sert malzemedir. 1300 °C üzerinde elmastan daha serttir. Bor karbür SiC ve grafitle hemen hemen aynı olan düşük ısı iletkenlik değerine sahiptir ve diğer seramik malzemelerde olduğu gibi sıcaklık ile azalır. Bor karbürün elektrik-ısı-elektronik özellikleri B:C oranı ve safsızlık miktarı ile değişir. Termoelektrik gücü oldukça yüksek olup sıcaklık ile artmaktadır [46-49].

Özellikle bor ve karbon atomlarının birim hücredeki dağılımı ve bor atomları ile oluşturduğu örgü yapısı tam olarak bilinmemektedir. Bunun yanında fiziksel özellikleri çok iyi bilinmektedir. Kaynak çalışmalarında pek çok B-C faz diyagramları tanımlanmakla birlikte bor-karbon sisteminde bileşim, erime noktası ve olası ikili faz diyagramlarının kararlılığı üzerinde kesin bir anlaşmaya varılmamıştır [50].

3.8. FeB ve Fe₂B (BORLAMA İŞLEMİ)

Bor ile yüzey sertleştirme işlemi, diğer bir ifadeyle borlama, termo-difüzyonel bir işlem olup esas olarak borun yüksek sıcaklıkta FeB ve Fe₂B oluşturarak çeliğe yayınıdır. Borlama, karbürizasyon ve nitrürasyona benzeyen bir difüzyon işlemi olup sadece metallere değil, sermet ve seramik malzemelere de uygulanabilmektedir. Borlamanın diğer yüzey sertleştirme işlemlerinden üstünlüğü; yüzey tabakasının çok sert olmasının yanında yüksek aşınma, korozyon ve yüksek sıcaklıkta oksidasyon direncine sahip olmasıdır [28,40].

Genellikle borlama işlemi, 700 - 1000 °C sıcaklık aralığında 1-10 saat sürelerde çeşitli borlama ortamlarında gerçekleştirilmektedir. Borlama ortamı katı, sıvı ve gaz olup bor kaynağı (B₄C, Na₂B₄O₂, H₂B₆), aktivatör (KBF₄), dolgu malzemesi ve deoksidasyonlardan meydana gelmektedir. Burada aktivatörler tabakanın düzenli büyümesini sağlarken, dolgu ve deoksidasyon malzemeler işlem sıcaklığında oksijeni tutarak redükleyici bir ortam oluşturmakta ve ayrıca ortamdaki malzemelerin ana malzemeye yapışmasını önlemektedir [29,35,40]. Çizelge 3.4.'den de görüldüğü gibi borlama işleminin en önemli karakteristik özelliği, elde edilen borür tabakasının çok yüksek sertlik (1450 - 5000 HV) ve ergime sıcaklığına sahip olmasıdır. Sade karbonlu çelikler üzerinde oluşturulan borür tabakalarının sertliği, diğer geleneksel sertleştirme yöntemleri olan sementasyon ve nitrürasyona göre çok daha yüksektir. Borür tabakasının yüksek sertlik değeri ve düşük sürtünme katsayısı değerlerine sahip olması, aşınma direncinin oldukça yüksek olmasını sağlamaktadır. Tungsten karbürün, elektrolitik sert krom kaplamaların ve sertleştirilmiş takım çeliklerinin sertlik değerlerine borlama işlemi ile ulaşmak mümkündür [26,36,37,40,51].

Çizelge 3.4. Borlanmış çeliklerin sertlik değerlerinin diğer işlemlerle ve sert malzemelerle karşılaştırılması [43].

Malzeme	Mikrosertlik,HV5
Borlanmış Yumuşak Çelik	1600
Borlanmış AISI H13 Kalıp Çeliği	1800
Borlanmış AISI A2 Kalıp Çeliği	1900
Su Verilmiş Çelik	900
Su Verilmiş ve Temperlemiş H13 Çeliği	540-600
Su Verilmiş ve Temperlemiş A2 Çeliği	630-700
Yüksek Hız Çeliği BM42	900-910
Nitrürlenmiş Çelik	650-1700
Sementasyonlu Düşük Alaşımli Çelik	650-950
Sert Krom Kaplama	1000-1200
Sementit Karbürler, WC+Co	1160-1820 (30 kg)
Al ₂ O ₃ +ZrO ₂ Seramikler	1483(30 kg)
Al ₂ O ₃ +TiC + ZrO ₂ Seramikler	1730(30 kg)
Sialon Seramikler	1768(30 kg)
TiN	2000
TiC	3500
SiC	4000
B ₄ C	5000
Elmas	~10000

Borür tabakasının bazı avantajlarını sıralamak gerekirse, bunlardan ilki, yüksek sıcaklıkta (550 °C - 600 °C) borür tabakasının sertliğinin muhafaza edilmesidir. Özellikle sertleşebilir birçok çelik grubuyla kıyaslanabilir yüzey özellikleri elde edilebilmektedir. Borlama işlemi, demir esaslı malzemelerin oksidan olmayan seyreltik asitlere karşı korozyon direncini ve bu malzemelerin erozyon dirençlerini artırmaktadır. Bu özellikleri sebebiyle endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır.

Borlama işlemi ile, düşük alaşımli çeliklerin, H₂SO₄, H₃PO₄ ve HCl gibi asitlere karşı direncini artırmak mümkündür. Borlanmış yüzeyler çok yüksek sıcaklıklarda (850 °C) orta özellikte oksidasyon direncine ve oldukça yüksek ergimiş metal korozyon direncine sahiptir. Borlanmış parça, oksidan ve korozif ortamlarda üstün bir yorulma ömrüne sahiptir. Ayrıca borlama işlemi, yağlayıcı kullanımını azaltmakta, soğuk birleşme eğilimini ve sürtünme katsayısını düşürmektedir [26,40].

Borlama işlemi, birçok avantajının yanında bazı sınırlamaları da beraberinde getirmektedir. Borlama tekniği esnek değildir ve gaz ortamında sementasyon ve plazma nitrürasyonu gibi diğer termokimyasal yüzey sertleştirme işlemlerine göre maliyeti daha yüksektir. Gaz karbürizasyonu ve plazma nitrürasyonu daha esnek tekniklerdir. Bu teknikler, daha az işçilik ve daha düşük maliyet gerektirir. Ayrıca bu işlemlerin kısa sürede ve daha kolay gerçekleşmesi borlamaya göre avantajlar sağlamaktadır. Bu sebeple, yüksek sertlik, dış ortamlara karşı yüksek aşınma direnci ve yüksek korozyon direncinin arzu edildiği durumlarda borlama işlemi tercih edilmektedir. Borlamaya tabi tutulan malzemelerde bor tabaka kalınlığının % 5 - 20'si oranında boyutsal olarak artış gözlenmektedir. Örneğin, 25 mm'lik bir tabaka kalınlığı, 1.25 - 6.25 mm'lik bir büyümeye neden olmaktadır. Bu kalınlık artışı borlanan malzemenin cinsine ve borlama şartlarına bağlıdır. Çok hassas toleranslarla çalışmak gerektiği zaman, elmas takımlarla kaplamanın işlenmesi mümkündür, zira yüzeyin geleneksel tekniklerle işlenmesi kaplama tabakasında kırılmalara neden olmaktadır. Bu da kaplama kalitesinde bozulmalara ve çatlamalara yol açmaktadır. Borlamanın bu özelliği sebebiyle, dişli üretiminde bir sınırlama söz konusudur. Takım çeliklerinde borür tabakasının özelliklerinin korunması için inert atmosfer veya vakum gerekmektedir [40]. Alüminyum, krom, silisyum, vanadyum ve titanyum gibi elementleri borür tabakasının bünyesinde bulunduran termo-kimyasal işlem, çok fazlı borlama olarak bilinmektedir. Çok fazlı borlama, iki kademeli bir işlem olup, 850 - 1050 °C sıcaklık aralığında gerçekleştirilmektedir. İlk aşamada borlama işlemi, geleneksel yöntemlerden biriyle yapılmaktadır ve daha çok kutu borlama tercih edilmektedir. FeB fazının oluşumu iyi sonuçlar vermekte ve 30 µm civarında kaplamalar yeterli olmaktadır. İkinci aşamada, elementin tabakaya difüzyonu gerçekleştirilmektedir.

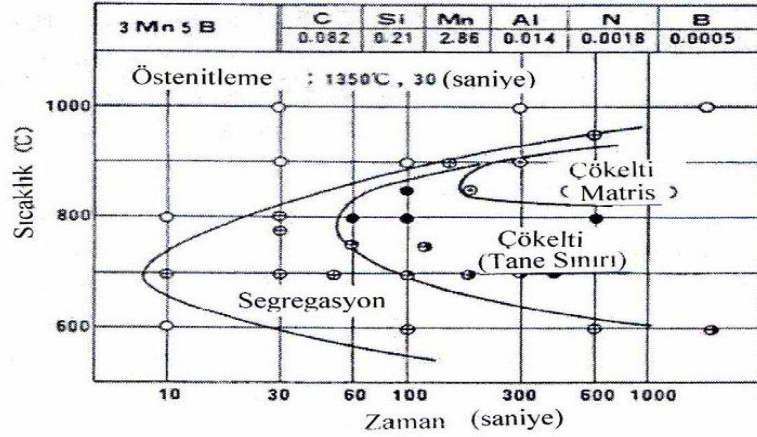
Kutu borlama sırasında oluşan sinterlemeyi önlemek için ortamdan Ar veya H₂ gazı geçirilmelidir. Çok bileşenli borlama altı gruba ayrılmaktadır [26,29,40,51]. Bunlar; Bor – alüminyumlama, Bor – silisyumlama, Bor – kromlama, Bor – krom – titanyumlama, Bor – krom – vanadyumlama ve Bor – vanadyumlama.

3.8.1. Borun Diğer Alaşım Elementleriyle Kıyaslanması

Alaşımli çeliklere % 0,001 – 0,003 arasında bor ilave edilmesi, bu çeliklerin yapısında gerek duyulan Ni, Cr ve Mo miktarlarını düşürür. 20 - 30 ppm civarında çelik içerisinde erimiş bor % 1 Ni, % 0,5 Mo, % 0,6 Mn ve % 0,7 Cr gibi sertleşebilirlik üzerine etkisi ile aynıdır. Geleneksel alaşım elementlerin her birinden (Mo, Ni, Mn, Cr, gibi) bor daha ucuzdur.

3.8.2. Bor Elementinin Sertleşebilirliğe Etkisi

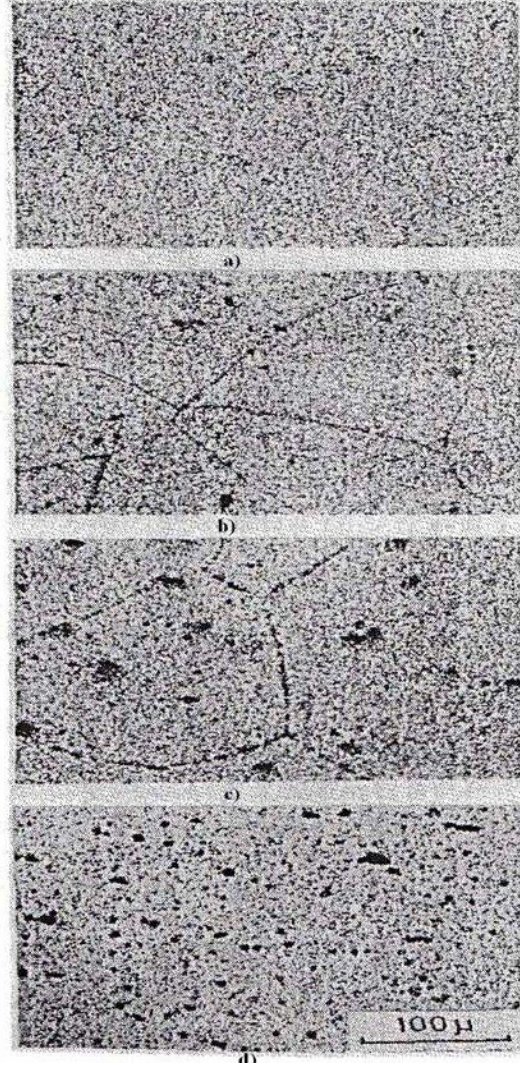
Bor, çeliğin sertliğini karbür oluşturmak suretiyle artırır. Diğer karbür yapan elementlerle kıyaslandığında, çeliğe aynı derecede sertlik kazandırmak için çok az bor ilâvesi gerekir. Bor matris ve tane sınırlarına dağılmaktadır. Tane sınırlarındaki borun segregasyonunu engellemek istenildiğinde, 1350 °C den hızla buzlu su içerisinde soğutulması gereklidir (Şekil 3.8.).



Şekil 3.8. Segregasyon ve çökelti eğrisi [52].

Bor, oluşumlarda östenit tane sınırlarındaki bor segregasyonları nedeniyle tane sınırlarında azalan arayüzey enerjisi ile çeliklerde sertleşebilirliği arttırdığı, ferrit ve perlitin çekirdeklenmesini geciktirdiği ve böylece hızlı soğuma esnasında martenzit yapı oluşmasına imkan sağladığı ifade edilmektedir [53-55]. Şekil 3.9'da 3Mn5B çeliğinin dört farklı sıcaklık ve zamanda borun dağılım modeli verilmektedir. 900

°C'den daha düşük sıcaklıklarda bekletildiği zaman, bor karbür ve bor nitrürler tane sınırlarında çökelme fırsatı bulmaktadır.

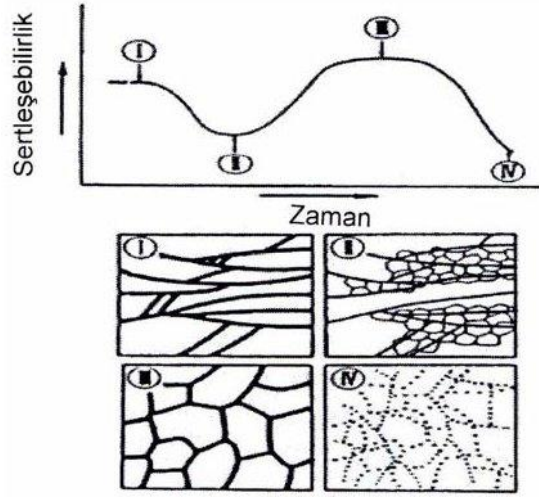


Şekil 3.9. 3Mn5B çeliğinde borun dağılım modeli [38].

a) Homojen dağılım (900 °C, 30 sn), b) Tane sınırı boyunca homojen segregasyon (750 °C, 30 sn), c) Tane sınırı boyunca büyük parçacık oluşumu (800 °C, 60 sn), d) Matris içerisinde büyük parçacık oluşumu (900 °C, 300 sn)

Bor hızlı soğutulduğunda (hızla su vererek) tane içinde çökelti olarak tutulduğu zaman sertleşebilirlik üzerine en büyük etkiyi sağlamış olur (Şekil 3.10.). Borun oranı 60 ppm geçtiği zaman sertlik oranı düşmektedir ve sıcak çalışma problemleri ortaya çıkmaktadır [56].

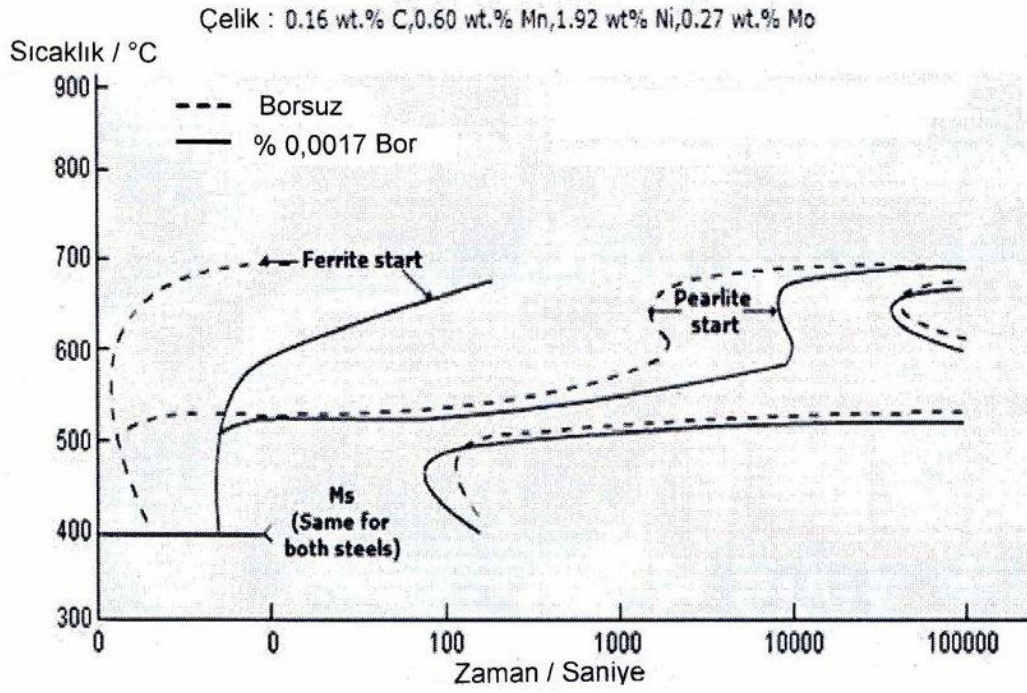
Bor, çelik içerisinde oldukça kolay oksitlenerek B_2O_3 bileşimini oluşturabilir. Ayrıca, N ile de kolaylıkla reaksiyona girebilen bir element olduğu için, yaklaşık $900\text{ }^\circ\text{C}$ 'de Bor Nitrür (BN) oluşumu başlayabilir. Borlu çelik üretiminde bor karbürler de $M_{23}(B,C)_6$ oluşmaktadır [57]. Bor karbür bileşikleri, ısıtma sırasında yaklaşık $930\text{ }^\circ\text{C}$ 'de çözülmeye başlar.



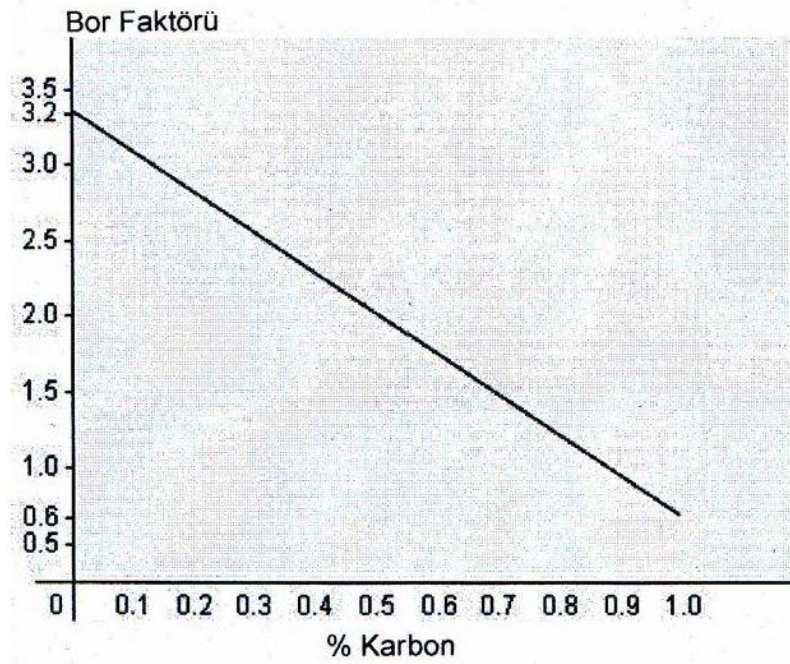
Şekil 3.10. Borun sertleşebilirliğe etkisi [58].

Dolayısıyla bu sıcaklık, aynı zamanda borlu çeliklerin ısıtma işlemi sırasında tavsiye edilen en düşük östenitleme sıcaklığıdır. 20-30 ppm ilavesi ile Östenit tane sınırlarında segregasyona neden olan çökeltiler, tane sınırının arayüzey enerjisini azaltarak ferrit ve perlitin oluşmasını geciktirmek suretiyle sertleşebilirliği artırır (Şekil 3.11). Bor östenitin ferrit ve perlite dönüşme hızını keser; fakat karbon miktarı arttıkça hız kesme etkisi de azalır. Böylece çeliğin sertlik alma kabiliyeti de düşer. Bu bakımdan çelikte bor elemanının ötektoid altı çeliklerde sertleştirme etkisi daha yüksektir.

Çelikte, bor elemanı östenit dönüşme hızını azaltmasına karşılık, ferrit ve ara kademe kristallerin (Beynit) büyüme hızına etkisi yoktur. Bor, düşük karbonlu çeliklerde (% 0,25 C civarı) ve aynı zamanda yaygın olarak kullanılan orta karbonlu çeliklerde (% 0,4 C civarı) çok daha fazla etkilidir. Bor ilavesi aynı zamanda düşük alaşımlı çeliklerde de etkili kullanılabilir [59]. Karbon içeriği arttıkça (% 0,85 sonra) borun sertleşebilirlik üzerine etkisi sıfırdır (Şekil 3.12).



Şekil 3.11. Dönüşüm karakterleri üzerine borun etkisi [59].



Şekil 3.12. Bor-Karbon ilişkisi [59].

BÖLÜM 4

BORLU ÇELİKLER

Yüzlerce farklı kullanım alanına sahip olan B ve B türevi ürünlerin endüstriyel anlamda yeni sayılabilecek uygulama alanlarından biri de çelik endüstrisidir. Her ne kadar borun çeliklerde sertleşme kabiliyeti üzerindeki olumlu etkisi 1940'lı yıllardan beri bilinse de ancak yakın zamanda metalurji sanayinin gelişimi ile borlu çelik üretimindeki sorunlar aşılabilmiş ve böylelikle bu tür çelikler farklı iş kollarınca kullanılabilir olmuşlardır. Çelik endüstrisinde bor, alaşım elementi olarak katıldığı çeliğe yüksek oranda sertleşme kabiliyeti kazandırması ile tanınır [60]. Yüzlerce çeşit borlu çelik mevcuttur. Borlu çeliklerin çoğu Mn ve Cr ile alaşımlandırılmıştır. Bazı durumlarda Ni ve Mo içerirler. Karbon oranları, % 0,15 ile % 0,45 arasında değişir. Borlu çelikler; sertleştirilmiş, temperlenmiş ve yüzeyi sertleştirilmiş şartlarda kullanılırlar. Toplam bor içeriği, çözülmeyen bor bileşikleri de dahil olmak üzere % 0,006 değerini geçmemelidir. Borlu çelikler başlıca Al ile deokside edilirler. Deoksidasyon sonucu yapıda % 0,03 oranında Al kalır. Borlu çeliklere, genellikle (% 0,03 Ti'lu), nitrürosyon işlemi de uygulanır [60,61].

4.1. BORLU ÇELİKLERİN MEKANİK VE İŞLENEBİLME ÖZELLİKLERİ

Makina imalat sanayide kullanılan malzemeler çekme mukavemeti, akma sınırı, yüzey sertliği, çentik darbe mukavemeti gibi mekanik özelliklerin yanı sıra kaynak edilebilme, sertleşme ve şekil değiştirme kabiliyetine ek olarak malzemenin işlenebilme özellikleri de dikkate alınmalıdır. Yani, bir malzemenin mekanik özellikleri kadar kolay işlenebilme özellikleri de önemlidir. Borlu çelikler, ısıtım işlem öncesi oldukça düşük mekanik özelliklere sahiptirler. Yani, sıcak hadde ürünü yassı levha halinde satın alınan B'lu çeliklerin mekanik özellikleri, benzer karbonlu yapı çeliklerinin mekanik özellikleriyle yaklaşık olarak aynıdır. Bunun anlamı, sıcak veya soğuk şekil vermenin veya derin çekmenin bu tip çeliklerde oldukça kolay olmasıdır.

Normal yapı çeliklerinin şekillendirilmesinde kullanılan yöntemler, aynı takımlarla ve aynı işleme hızlarıyla bu tip çeliklerde de kullanılabilir. Borlu çeliklerin kaynağı da zor değildir. Bunun nedeni, düşük alaşım içeriğine sahip olmalarıdır. MIG kaynağı veya direnç nokta kaynağı borlu çeliklerin kaynağında kullanılabilen kaynak yöntemleridir. Bunlardan direnç nokta kaynağı ısıdan etkilenmiş daha küçük bir bölgeye neden olduğundan genelde tercih edilir.

Borlu çeliklerin korozyon ve yorulma dirençlerinin de yüksek olduğu çeşitli araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur. Özellikle düşük karbonlu beyaz çeliklere yapılan bakır-bor katkısı ile üretilen çeliklerin gemi, köprü ve petrol platformlarının yapımında kullanılıyor olması korozyon direncinin yüksekliğinin bir göstergesidir [62].

4.2. BORLU ÇELİKLERİN KULLANIM ALANLARI

Borlu çelikler, ısı işlem sonrasında yüksek sertlikle birlikte çok iyisürtünme ve aşınma direnci gösterdikleri için genellikle; ağır servis şartlarına uygun olup toprak ve yol işleme aletleri ile ziraat aletleri yapımına ve otomobillerde pasif güvenlik gerektiren yerlere önerilmektedir. Borlu çelikler yüksek sertlik ve yüksek aşınma dayanımı sergileyen alaşımli çeliklerdir. Kolay işlenebilir olmaları ve uygulanan ısı işlemler sonrasında da çok iyi mekanik özellikler sergilemeleri bu tip çeliklerin en önemli özelliklerindedir. Benzer kabiliyetleri sunan yüksek alaşımli çeliklere göre ucuz olmaları da dikkate alınırsa, borlu çeliklerin gittikçe zorlaşan ekonomik koşullarda makina imalat sanayi kolları için iyi bir alternatif oluşturdukları söylenebilir [60-62].

Özellikle son yıllarda Avrupalı otomotiv üreticileri tarafından borlu çeliklerin darbelere maruz kalabilecek yerlerde sürücü ve yolcu güvenliğini arttırmak amacıyla sıklıkla kullanıldığı bilinmektedir. Forklift kollarında, yaylarda, soğuk çekilmiş çubuklarında, inşaatlarda, vites dişlilerinde, kar küreme makinalarının iş gören kısımlarında, tank paletlerinde, kepeçlerin tırnaklarında ve benzeri aşınma dayanımı gerektiren iş parçalarının yapımında yine borlu çeliklerin kullanıldığı görülmektedir [60-62]. Türkiye’de son zamanlarda vida yapımında da kullanılmaktadır.

4.3. TÜRKİYE'DE ÜRETİLEN BORLU ÇELİKLERİN KİMYASAL ANALİZLERİ VE MİKROYAPILARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Türkiye’de borlu çelik üretimi ASİL Çelik A.Ş. tarafından 2000 yıllarda tam olarak başlanmıştır. Üretilen borlu çelikler otomotiv sanayinde ve makine parçalarında kullanılmaktadır. Borun çeliğin sertleşebilme kabiliyetini geliştirmesinden yararlanılmaktadır.

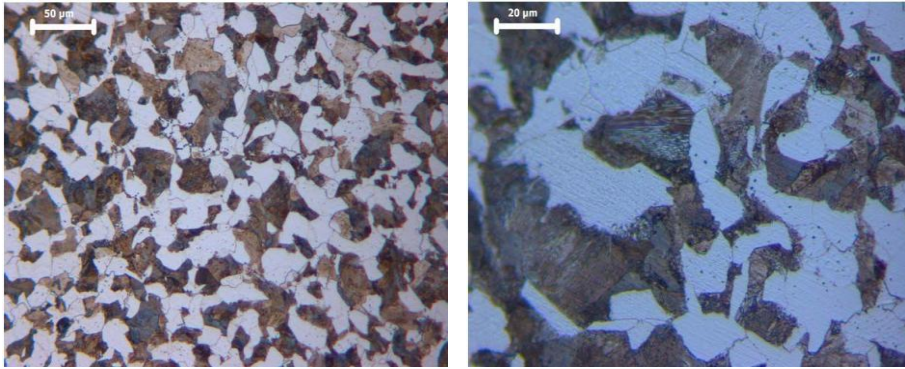
Şekil 4.1. ve 4.2.’de Bursa Asil Çelik A.Ş. firmasından temin edilen 20MnCrS5 ile 20MnCrB5 borlu çeliklerin değişik büyütmelede optik mikroskopla çekilmiş mikroyapı fotoğrafları ve Çizelge 4.1. ve Çizelge 4.2.’de 20MnCrS5 ile 20MnCrB5 borlu çeliklerin kimyasal analizleri verilmiştir. Asil Çelik A.Ş. tarafından üretilen ve Şekil4.2’de mikroyapı fotoğrafları verilen 20MnCrS5 + Bor malzemesi 1600 °C’nin üzerindeki sıcaklıklarda 75 tonluk vakumlu indüksiyon ocağında ergitildikten sonra 1200 °C sıcaklıkta borlu çeliğe haddeleme işlemi yapılmış ve havada soğutulmuştur. Şekil 4.1.’de 20MnCrS5 malzemesinin mikroyapı fotoğrafları verilmektedir. 20MnCrS5 malzemesine aynı işlem süreci uygulanmıştır. 20MnCrS5 + Bor malzemede tanelerde perlitin ferrite göre daha yoğun olduğu görülmektedir. Borlu ve borsuz numunelerin taneler arasında belirgin bir büyüklük farkı gözlenmemiştir.

Çizelge 4.1. 20MnCrS5 malzemesinin kimyasal analizi [63].

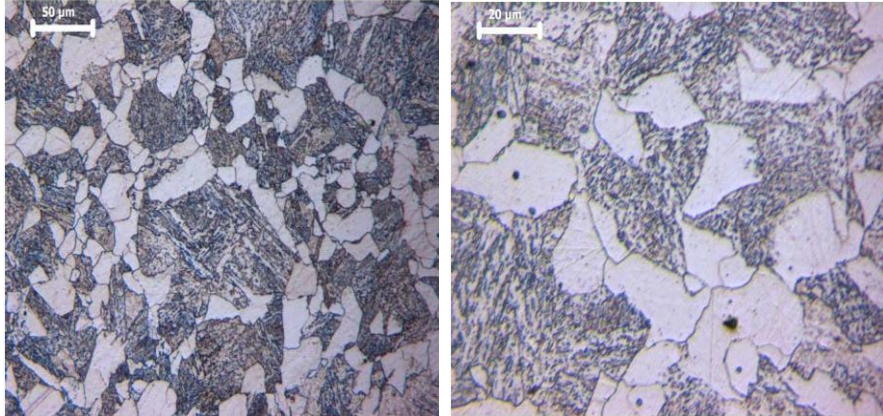
Numune	%C	%Mn	%P	%S	%Cr	%Cu	%Al	%Ti	%B
20MnCrS5	0,21	1,26	0,010	0,032	1,18	0,13	0,024	0,016	-

Çizelge 4.2. 20MnCr5 + Bor malzemesinin kimyasal analiz [63].

Numune	%C	%Mn	%P	%S	%Cr	%Cu	%Al	%Ti	%B
20MnCrS5	0,21	1,26	0,010	0,032	1,18	0,13	0,024	0,016	0,0019



Şekil 4.1. 20MnCrS5 malzemesinin mikroyapı fotoğrafı [63].



Şekil 4.2. 20MnCrS5 + Bor malzemesinin mikroyapı fotoğrafı [63].

İzmir Ege Çelik A.Ş. borlu çelik imalatına 2005 yılı itibari ile başlanmış ve üretilen borlu çeliklerin sertleşebilme özelliğinden yararlanmak suretiyle genelde cıvata sanayisinde kullanılmak için tel ve çubuk olarak üretimleri gerçekleştirilmektedir. Üretilen tel ve çubuk halinde borlu çelikler kangal halinde hazırlanarak özellikle cıvata yapımında kullanılmaktadır. Şekil 4.3. ve 4.4.'de İzmir Ege Çelik'ten alınan

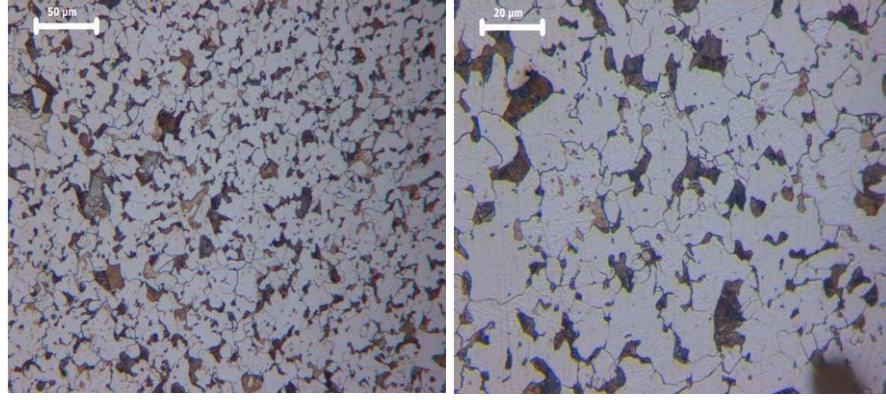
20MnB4 ile 20Mn4 malzemelerinin değişik büyütmeleerde optik mikroskopla çekilmiş mikroyapı fotoğrafları verilmektedir. Çizelge 4.3 ve 4.4.'de 20MnB4 ile 20Mn4 malzemelerin kimyasal analizleri verilmiştir. Şekil 4.3.'de mikroyapısı verilen 20MnB4 malzemesi, 1600°C sıcaklıkta eritildikten sonra 1100 – 1150 °C sıcaklıklarda haddeleme işlemi yapılmış ve 900 °C ye kadar su ile soğutulduktan sonra havada soğutulmuştur. Şekil 4.4.'de mikroyapı fotoğrafları verilen 20Mn4 malzemesi 900 - 1000 °C sıcaklıkta haddeleme işlemi yapılmış ve suda soğutulmuştur. 20Mn4 malzemesinin ferrit ve perlit oluşmuş bölgesinden alınmış mikroyapı fotoğraflarındaki tane boyutu, 20MnB4 malzemesinin tane yapısına göre küçük olduğu görülmüştür. Bunun nedeninin ise 600 °C kadar yapılan suda soğutma işlemidir.

Çizelge 4.3. 20MnB4 malzemesinin kimyasal analizi [63].

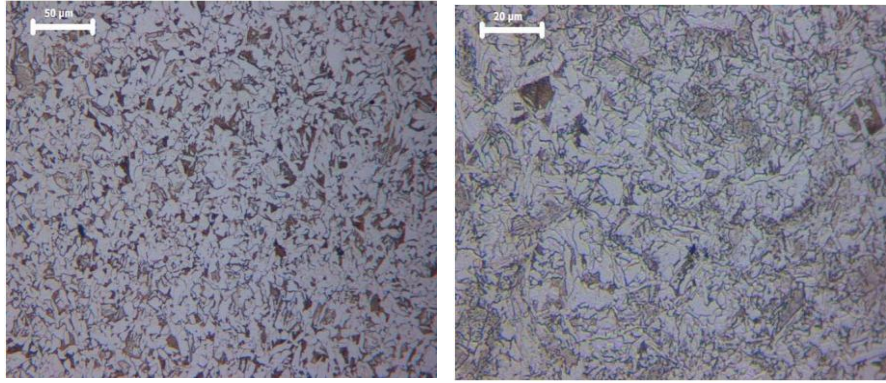
Numune	%C	%Mn	%P	%S	%Cr	%Cu	%Al	%Ti
20MnB4	0,21	0,94	0,006	0,004	0,06	0,028	0,045	40ppm

Çizelge 4.4. 20Mn4 malzemesinin kimyasal analizi [63].

Numune	%C	%Mn	%P	%S	%Cr	%Cu	%Al	%Ti
20Mn4	0,20	0,84	0,019	0,020	0,03	0,008	0,026	-



Şekil 4.3. 20MnB4 malzemesinin mikroyapı fotoğrafı [63].

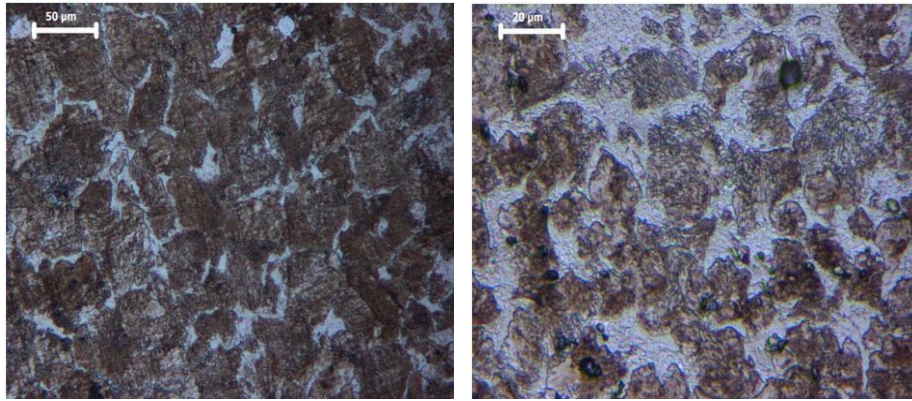


Şekil 4.4. 20Mn4 malzemesinin mikroyapı fotoğrafı [63].

Şekil 4.5.'de Bursa Çemtaş firmasından alınan SAE 15B41H malzemesinin değişik büyütmelerde optik mikroskopla çekilmiş mikroyapı fotoğrafları verilmektedir. Çizelge 4.5.'de ise SAE 15B41H malzemesinin kimyasal analizi görülmektedir. SAE 15B41H malzemesinin bor içermeyen SAE 1541H malzeme temin edilememiştir. Şekil 4.5.'de mikroyapısı verilen SAE 15B41H malzemesi, 25 tonluk vakumlu indüksiyon ocağında 1620 °C sıcaklıkta ergiterek bor ilave edilmiş ve 1150°C sıcaklıkta haddelenmiştir. Haddelenme sonrası SAE 15B41H malzemesinde benzer bileşimdeki diğer malzemelerde görülen yeniden kristalleşmiş taneler görülmektedir. Tane sınırlarında ferritin oluştuğu fakat sınırlarının belirginleşmediği görülmektedir. SAE 15B41H malzemesinde yapılan kimyasal analiz sonucu 13 ppm bor olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 4.5. SAE 15B41H malzemesinin kimyasal analizi [63].

Numune	%C	%Mn	%P	%S	%Cr
	0,41	1,40	0,010	0,015	0,68
20MnCrS5	%Ni	%Cu	% Al	%Ti	%B
	0,15	0,17	0,026	0,035	13ppm



Şekil 4.5. SAE 15B41H malzemesinin mikroyapı fotoğrafı [63].

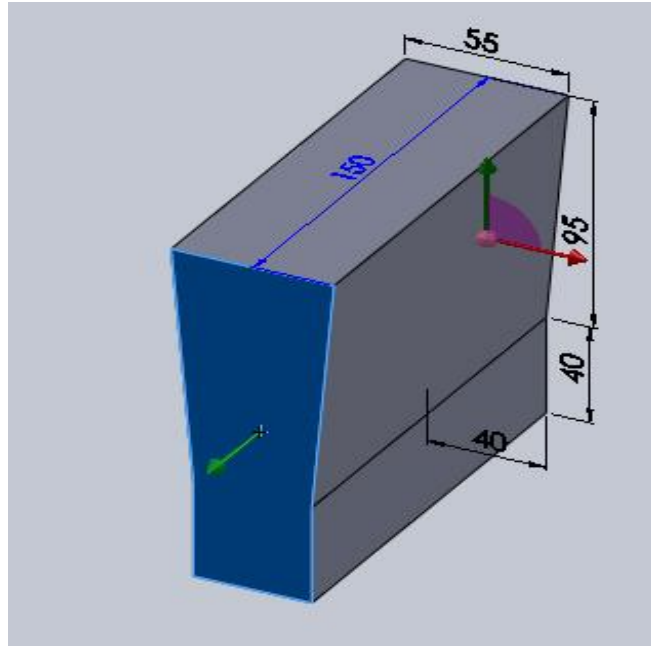
Llewellyn ve arkadaşları, SAE 8600 çeliğine vakumlu indüksiyon ocağında ilave ettikleri boru oksijenden korumak için 300 ppm alüminyum ve boru azottan korumak için ise 300 ppm titanyum ilave etmişlerdir [52]. Taylor ve arkadaşları ise, vakumlu indüksiyon ocağında boru oksijen ve azottan korumak için 340 ppm alüminyum ile 400 ppm titanyum ilave etmişlerdir [64]. Al ve Ti borsuz AISI 304 paslanmaz çeliğine de ilave edilerek optimum bor oranının belirlenmesini kolaylaştırır. Dökümü yapılacak borlu çelik içerisindeki boru korumak için ilave edilecek Al, malzeme içerisindeki oksijenden ve döküm işlemi sırasında havadan ergiyik içerisinde karışabilecek oksijenden korunması ve Ti ilave edilerek ise malzeme içerisindeki azottan ve döküm işlemi sırasında havadan ergiyik içerisinde karışacak azottan borun korunması için ağırlıkça % 0,600 ilave edilmelidir.

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. DENEY NUMUNESİ HAZIRLAMA VE DÖKÜM İŞLEMİ

Deneysel çalışmada kullanılacak numuneler TSE TS-526 standardına uygun olarak karbondioksitle sertleşen reçine Y-blok kalıplarda hazırlanmıştır. Numunelerin işleme payları göz önüne alınarak hazırlanan Y-blok kalıbı Şekil 5.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Çekme ve diğer deney numunelerinin işlendiği Y-Blok kalıp modeli.

Deneysel çalışmada kullanılan numuneler 500 kg kapasiteli Inductotherm marka induksiyon ocağında yapılmıştır. AISI 304 paslanmaz çelik hurdası yüklenmiş ve normal atmosferde ergitilmiş, malzeme sıvı hale geldikten sonra sıvı çelik üzerine perlit ilave edilmiş, sıcaklık 1635 °C çıktıktan sonra, bir süre aynı sıcaklıkta tavlama

yapılmıştır. İşlem potasına alınan sıvı paslanmaz çelik içerisine döküm işleminden önce Al, Al-Ti-B ve ferrobör ilavesi yapılmıştır [65-67]. Sıvı çelik içerisine ilave edilecek Al-5Ti-1B ve ferrobör ekipmana ve çalışanlara zarar vermemesi için nemli olmamalıdır ve her ihtimale karşı döküm zamanına kadar ısıtılarak nem giderilmiştir.

AISI 304 malzemesi 1635 °C’de ergime işlemi gerçekleştirildikten ve tavlama işleminden sonra 40 kg kapasiteli potaya yaklaşık 35 kg alınarak numune dökümleri gerçekleştirilmiştir.

Döküm işleminden önce sıvı AISI 304 paslanmaz çelik malzemeye farklı oranlarda Al-5Ti-1B master alaşımı ve % 10-20 oranlarda bor ihtiva eden ferrobör alaşımı ilave edilmiştir. Karbondioksitle sertleşen reçine kalıplara (Y-blok) sırasıyla 1570 °C, 1587 °C, 1607 °C, 1600 °C, 1591 °C, 1601 °C ve 1600 °C sıcaklığında numune dökümleri gerçekleştirilmiştir. Normal oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Dökülen deney numunelerinin spektro analizleri 2 farklı yerde yapılmış ve ortalama değerleri alınmıştır.

Deneysel çalışmalarda kullanılan AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin spektro analiz sonucu Çizelge 5.1’de verilmiştir. Çizelge 5.1’de görülen malzemeler saf, 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 olarak kodlanmıştır.

Çizelge 5.1. AISI 304 malzemesinin kimyasal bileşimi, %.

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	Ti	B
Saf	0.085	0.65	0.78	<0.001	<0.001	17.715	8.93	0.014	0.002	<0.001
1	0.090	0.79	0.81	<0.001	<0.001	18.443	8.69	0.073	0.024	0.001
2	0.089	1.29	0.98	0.011	<0.001	19.048	9.46	0.061	0.023	0.002
3	0.086	1.14	1.04	<0.001	<0.001	18.343	8.90	0.052	0.022	0.003
4	0.085	1.20	1.05	<0.001	<0.001	18.793	8.96	0.052	0.023	0.004
5	0.090	1.28	1.00	0.039	<0.001	19.040	9.05	0.064	0.024	0.005
6	0.088	1.27	0.94	<0.001	<0.001	18.621	9.11	0.038	0.023	0.006

AISI 304 malzemesinin Çizelge 5.1.'de belirtilen kimyasal analiz sonuçlarında saf malzemede % 0,014 alüminyum ve % 0,002 titanyum görülmektedir. AISI 304 malzemesine ilave edilecek Ti, Al ve B miktarları hesaplanırken, saf malzemede bulunan bu oranlar da dikkate alınmıştır.

Dökümü gerçekleştirilen numuneler, katılaşma sırasında tanelerin içerisinde oluşan kimyasal bileşim farklılıklarını difüzyon (yayınma) yoluyla gidermek için, 800 °C, 900 °C ve 1000 °C sıcaklıklarda 1 saat homojenleştirmeye tabi tutulmuş ve atmosferde soğutulmuş deneysel çalışmalarda kullanılmıştır.

5.2. MİKRO YAPI İNCELEMESİ

5.2.1. Optik Mikroskop İle İnceleme

Döküm hali için, alaşımsız ve alaşımlandırılmış Y-bloklardan numuneler alınmış, bu numunelere soğuk gömme işlemi uygulanmıştır. Daha sonra numuneler sırasıyla 180, 320, 600, 800, 1000, 1200 ve 2000 mesh'lik zımparalarla aşındırılmıştır. Numuneler 3 µm'luk Al₂O₃ ve elmas pasta ile parlatılmıştır. Alkol ile temizlenen numuneler 10 gr okzalik asit 100 ml saf su karışımı ile elektrolitik dağlayıcı ile dağlanmış ve tekrar alkol ile yıkanıp ılık hava akımıyla kurutulduktan sonra mikro yapı incelemelerine hazır hale getirilmiştir. Mikro yapı incelemelerinde bilgisayar donanımına bağlantılı Nikon marka optik mikroskopta Clemex Captiva programı kullanılmıştır.

5.2.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İle İnceleme

Aşınma ve çekme deneyi sonucu oluşan yapıyı daha ayrıntılı bir şekilde inceleyebilmek için taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. Aşınma ve çekme deneyi gerçekleştirilen numunelerin yüzeyleri hiçbir etkileşime girmeden ve optik mikroskopta inceleme için hazırlan numuneler gibi zımparalama veya dağlama işlemi yapılmadan görüntüler Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü SEM Laboratuvarları'nda CARL ZEISS marka ULTRA PLUS GEMINI FESEM model cihazda hazırlanmıştır.

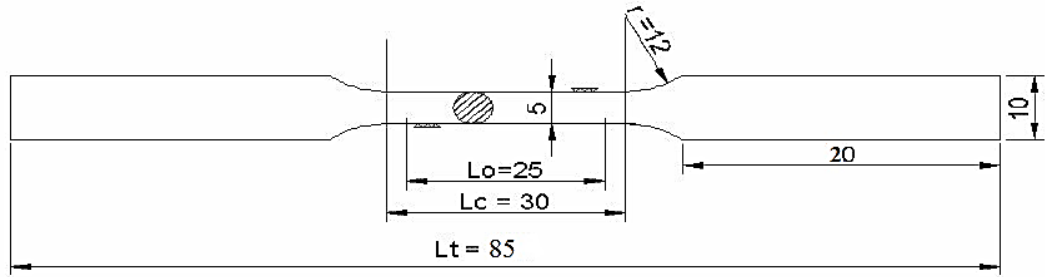
5.3. MEKANİK TESTLER

5.3.1. Sertlik Deneyi

Mikroyapı fotoğrafları çekilen numuneler üzerinde sertlik ölçümleri için SHIMADZU marka mikro sertlik cihazı kullanılmış ve 0,5 kg yük altında bu çalışmada kullanılan numunelerin düzlemsel yüzeyleri üzerinden HV cinsinden sertlik değerleri ölçülmüştür. 10 farklı bölgelerden sertlik ölçümleri yapılmış ve bunların ortalamaları sonuç olarak değerlendirilmiştir.

5.3.2. Çekme Deneyi

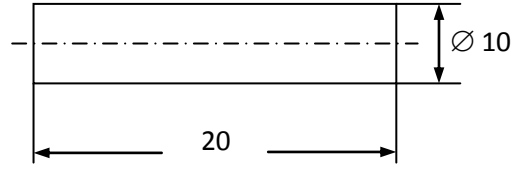
Numunelerin çekme testi için SHIMADZU Marka 50 KN kapasiteli çekme cihazı kullanılmıştır. Çekme deney numuneleri TSEN 6892-1:2010 B standardına göre (bu standard TS 138 EN 10002-1 (1996) standardının yerine geçmiştir) hazırlanmıştır (Şekil 5.2.). Karabük Üniversitesi'nde bulunan cihazda "Metalik Malzemeler-Çekme Deneyi-Bölüm 1: Ortam Sıcaklığında Deney Metodu" ile çekme deneyi yapılmıştır.



Şekil 5.2. Çekme deneylerinde kullanılan çekme deney numunesi.

5.3.3. Aşınma Deneyi

Aşınma deneyi için Y-bloklardan kesilen parçalar ASTM G 99 standartlarına uygun olarak işlenerek, 10 mm çapında ve 20 mm uzunluğundaki AISI 304 numuneler hazırlanmıştır (Şekil 5.3.).



Şekil 5.3. Hazırlanan aşınma deneyi numunesi boyutu.

5.3.4. X-Işını Kırınım Analizi

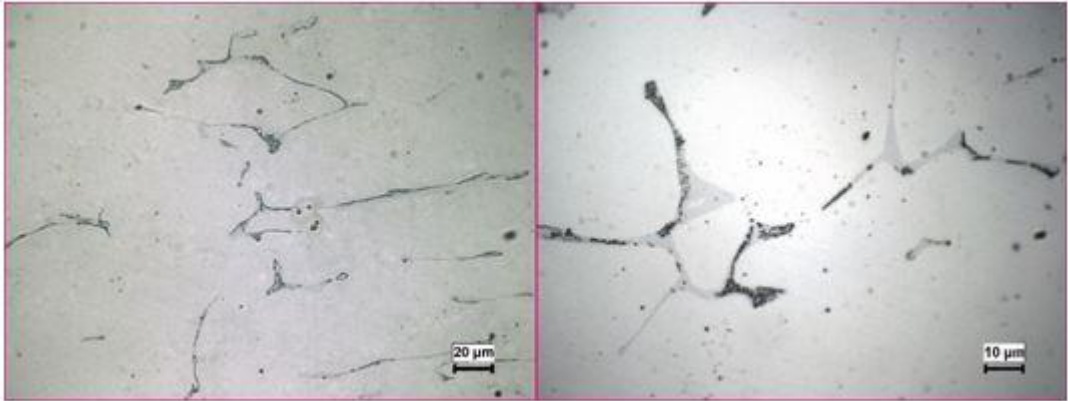
Numunelerin karakterizasyonu ODTÜ Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü X-ray laboratuvarında RIGAKU D/MAX2200/PC marka cihazla yapılmıştır. Analizler 1.54056 Å dalga boyuna sahip CuK α radyasyonu kullanılarak 2 θ açısı ile 20° ile 100° aralığında taranarak gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 6

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

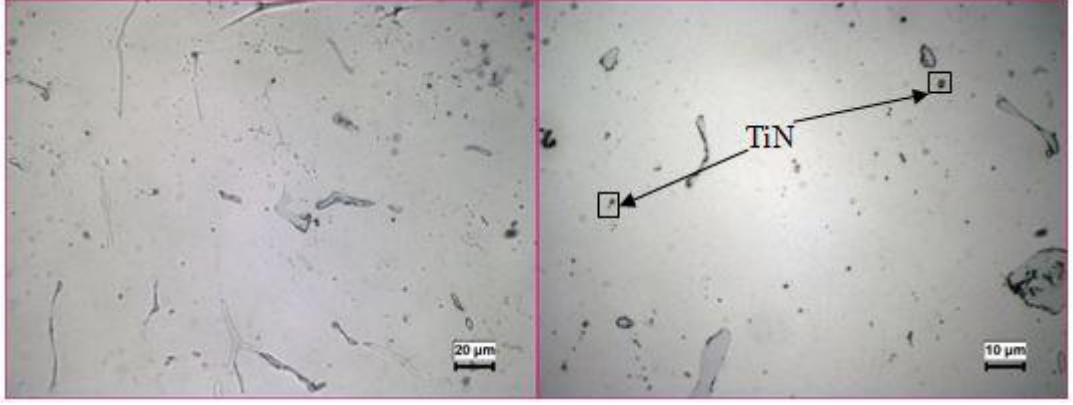
6.1. OPTİK MİKROSKOP İNCELEMELERİ

Döküm durumu ve alaşımsız AISI 304 paslanmaz çelik numunelere ait farklı büyütmelerdeki mikro yapılar Şekil 6.1.'de verilmiştir. Şekil 6.1.'den görüldüğü gibi döküm durumu AISI 304 paslanmaz çelik malzeme tamamen östenitten oluşmaktadır.

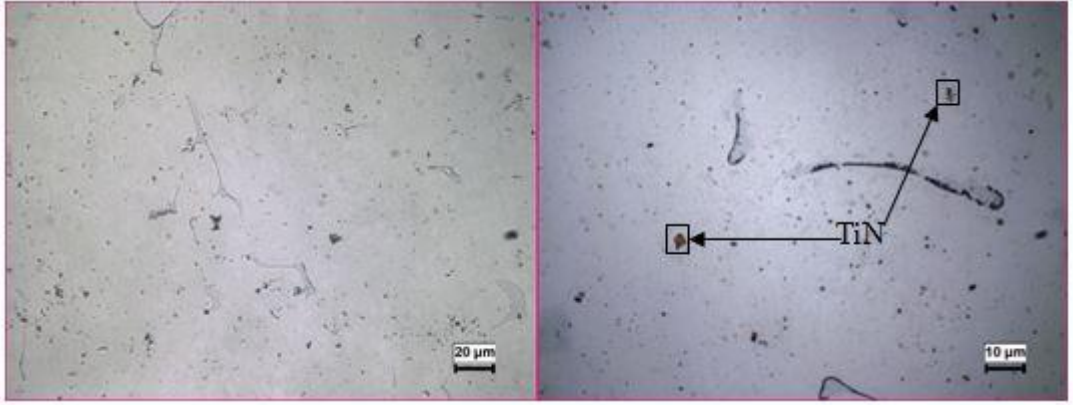


Şekil 6.1. Döküm durumu alaşımsız numune.

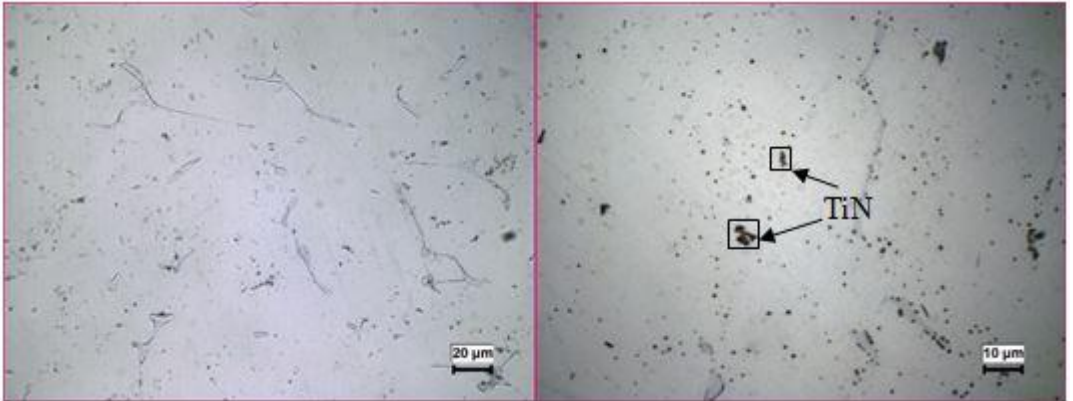
Bor içeren döküm durumu paslanmaz çelik malzemelerin mikro yapıları Şekil 6.2. - Şekil 6.7.'de verilmiştir. Mikro yapıların metalik matris ve ötektik yapıdan oluştuğu görülmektedir. Östenitik katılaşmış yapı Cr19Ni9 içeren paslanmaz çelik ile birlikte titanyum, bor ve bor içermeyen yapıdan oluşmaktadır [68,69]. Literatürde dört bileşenli Fe-25Cr-C-B alaşımın faz diyagramından bu durum belirtilmektedir [70].



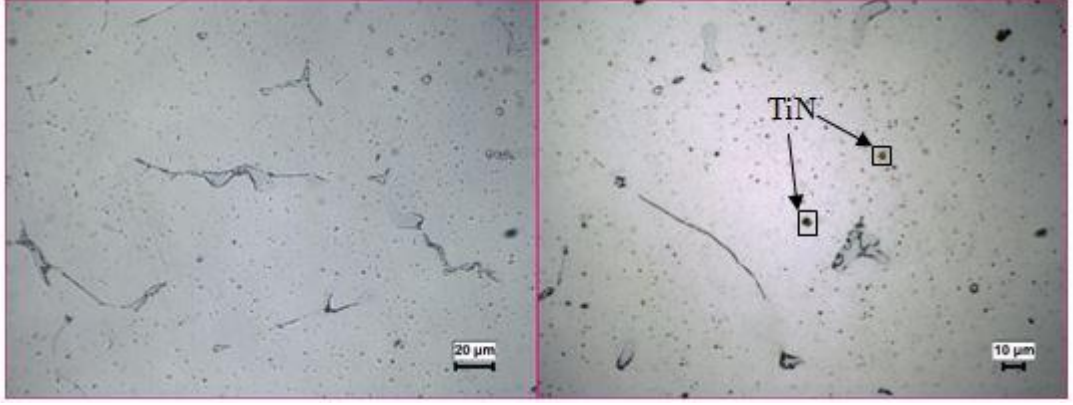
Şekil 6.2. Döküm durumu 10 ppm B alaşımlı numune.



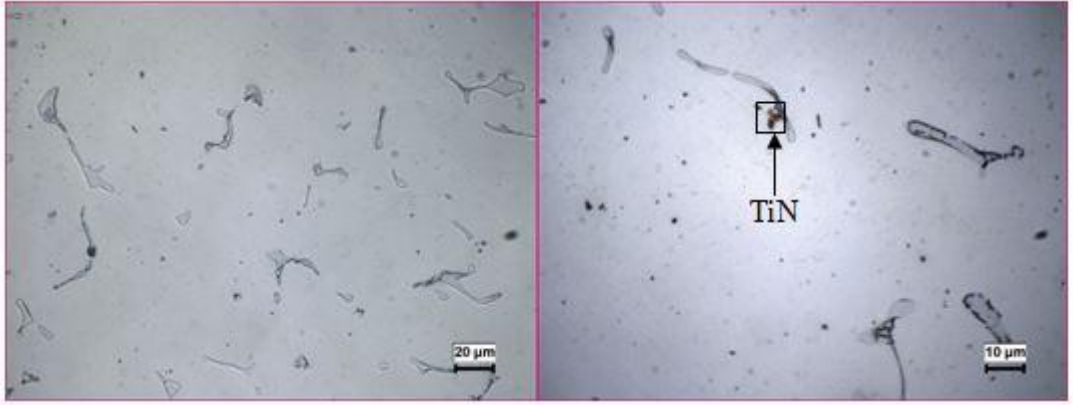
Şekil 6.3. Döküm durumu 20 ppm B alaşımlı numune.



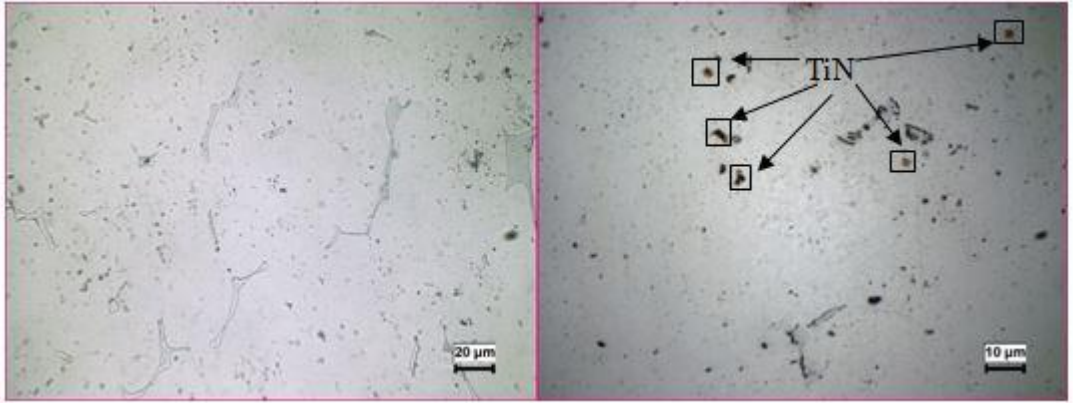
Şekil 6.4. Döküm durumu 30 ppm B alaşımlı numune.



Şekil 6.5. Döküm durumu 40 ppm B alaşımlı numune.



Şekil 6.6. Döküm durumu 50 ppm B alaşımlı numune.

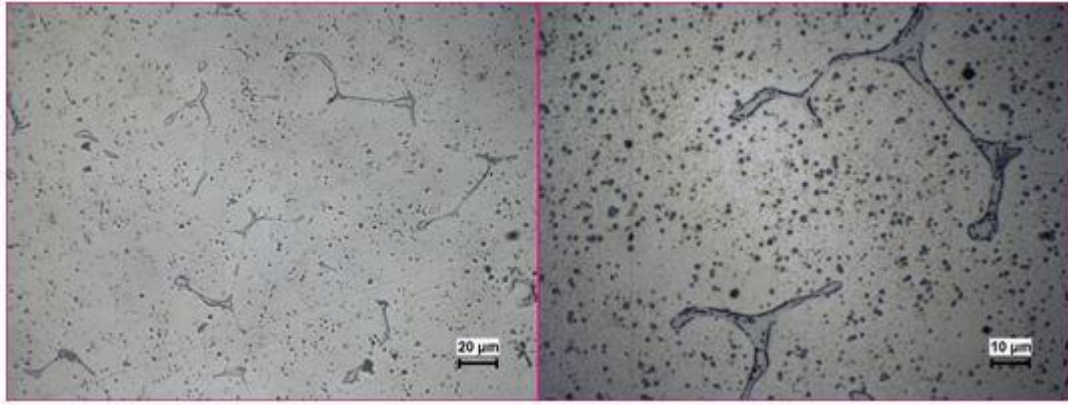


Şekil 6.7. Döküm durumu 60 ppm B alaşımlı numune.

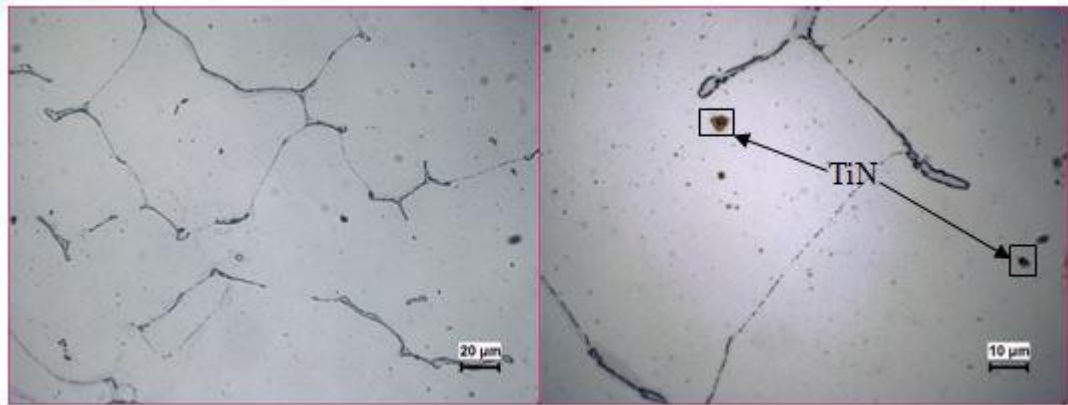
Bor içeren paslanmaz çeliklerin katılaşma aşaması geleneksel 1Cr18Ni9Ti içeren östenitik paslanmaz çeliklerden oldukça farklıdır. Yüksek bor konsantrasyonundan dolayı alaşımın ötektik noktası sol tarafa kayar ve belirli sayıda ötektik yapılar

oluşabilmektedir (Şekil 3.3.). Ayrıca tane içerisinde heterojen turuncu renkte köşegenli (genelde dikdörtgen) parçacıkların olduğu görülmektedir. Bu yapıların Şekil 6.29.'da SEM ve EDX analizi alınan numuneye göre TiN çökeltileri olduğu anlaşılmıştır. Bu yapılar mikroyapı resimleri üzerinde kutular içerisinde alınarak daha belirgin hale getirilmiştir.

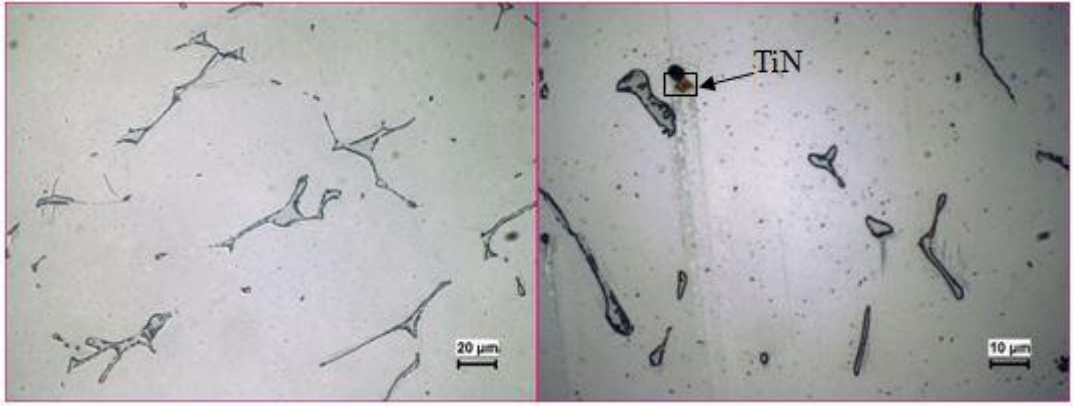
Şekil 6.8. - Şekil 6.14.'de, 800 °C'de 1 saat homojenleştirilmiş malzemelere ait mikroyapı görüntüleri bulunmaktadır. Tane boyutlarında büyüme olurken, turuncu renkli köşegenli parçacıkların (TiN) yapı içerisinde bulunduğu anlaşılmaktadır.



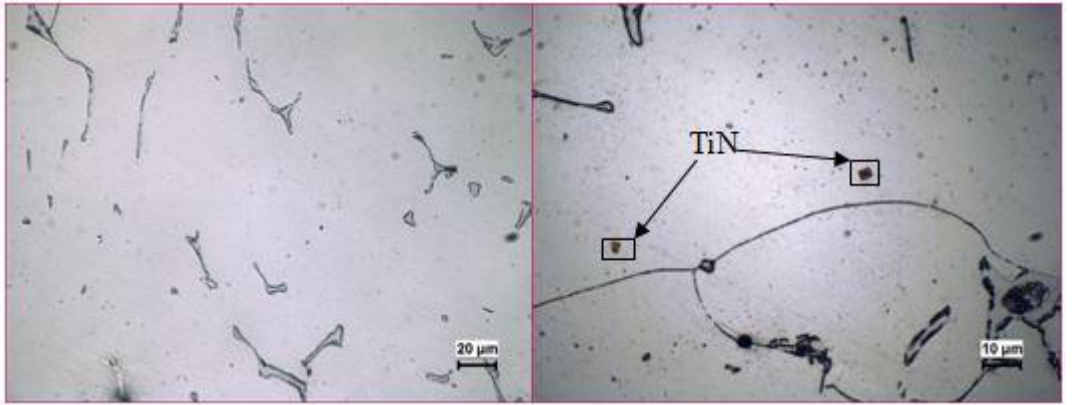
Şekil 6.8. 800 °C'de 1 saat homojenleştirilmiş alaşımsız numune.



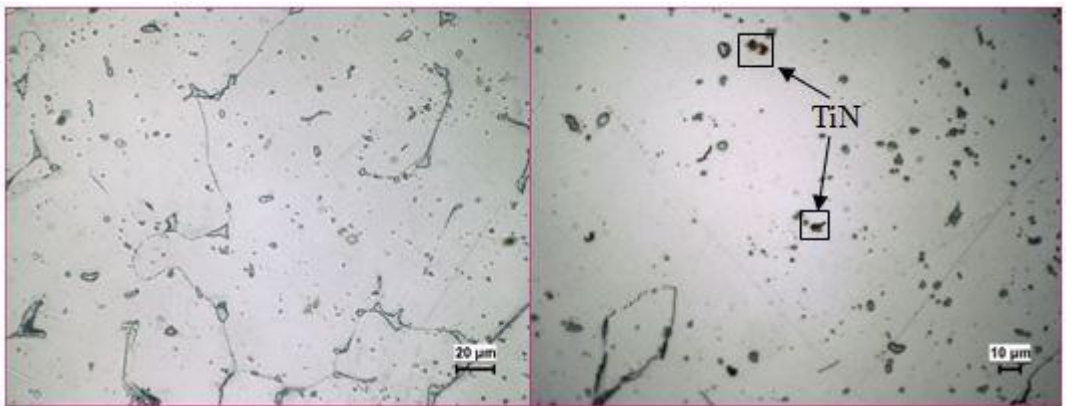
Şekil 6.9. 800 °C'de 1 saat homojenleştirilmiş 10 ppm B alaşımlı numune.



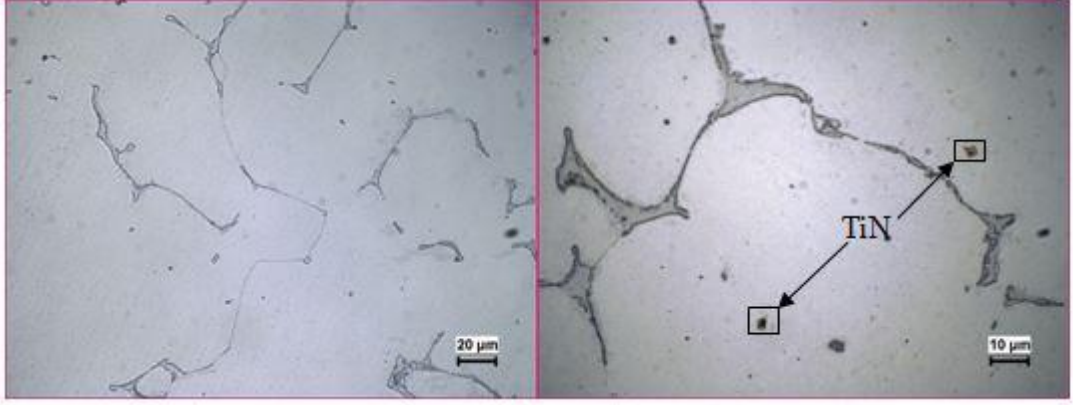
Şekil 6.10. 800 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 20 ppm B alaşımlı numune.



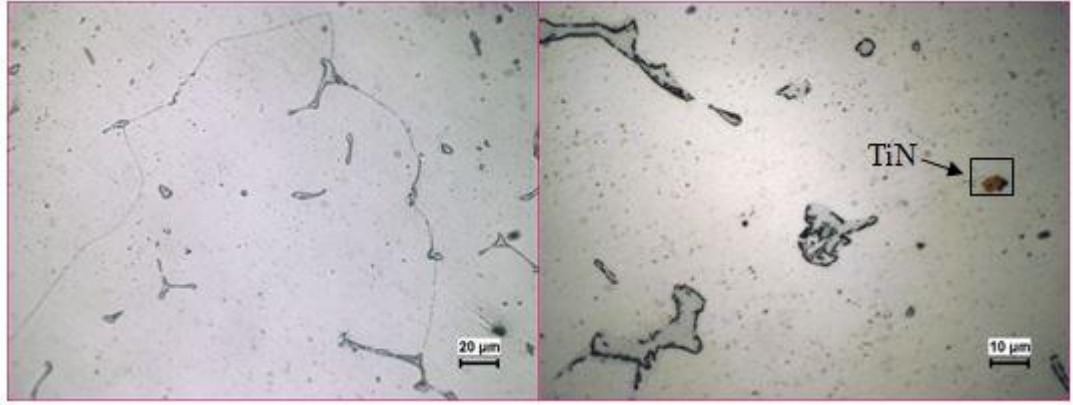
Şekil 6.11. 800 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 30 ppm B alaşımlı numune.



Şekil 6.12. 800 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 40 ppm B alaşımlı numune.

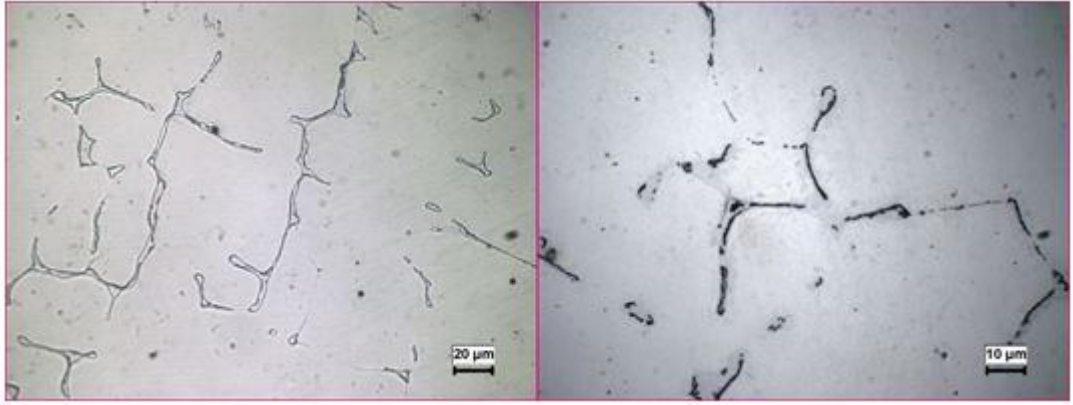


Şekil 6.13. 800 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 50 ppm B alaşımlı numune.

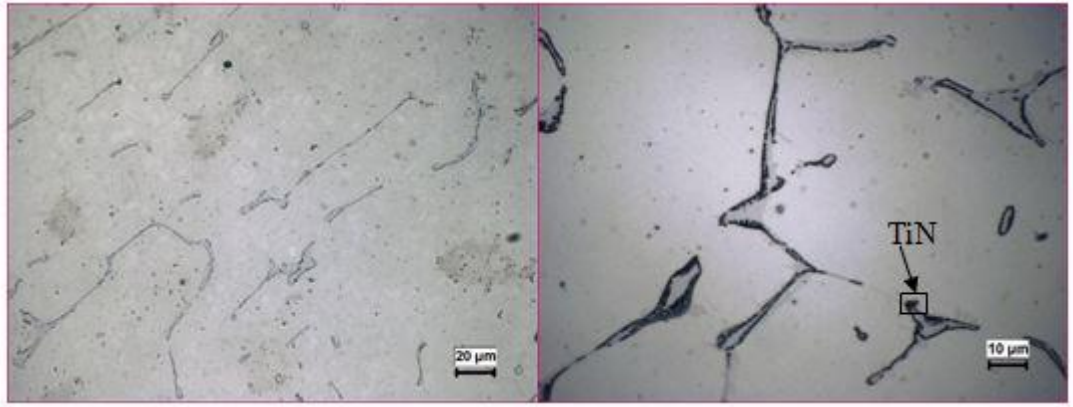


Şekil 6.14. 800 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 60 ppm B alaşımlı numune.

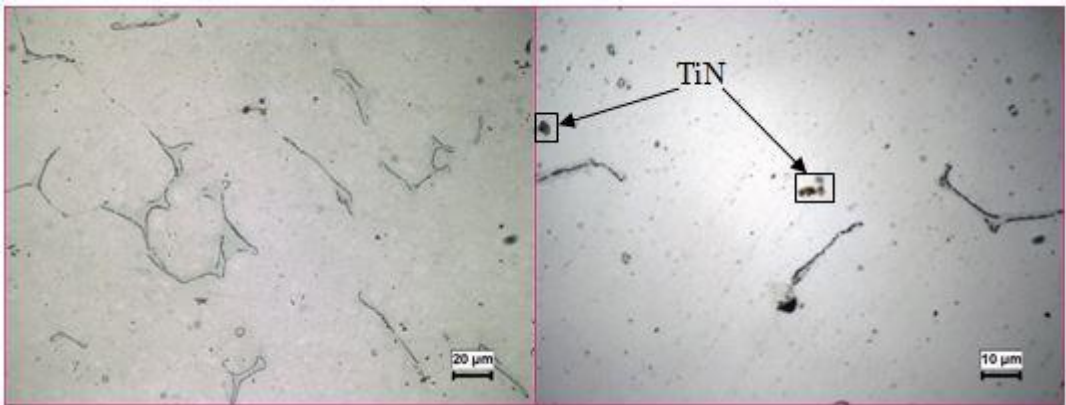
Şekil 6.15. – Şekil 6.21.’de 900 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş malzemelere ait mikroyapı görüntüleri bulunmaktadır. Tane boyutlarında küçülme olurken, 800 °C ‘deki homojenlenen numunelerde olduğu gibi benzer şekilde turuncu renkli köşegenli parçacıkların (TiN) yapı içerisinde bulunduğu görülmektedir.



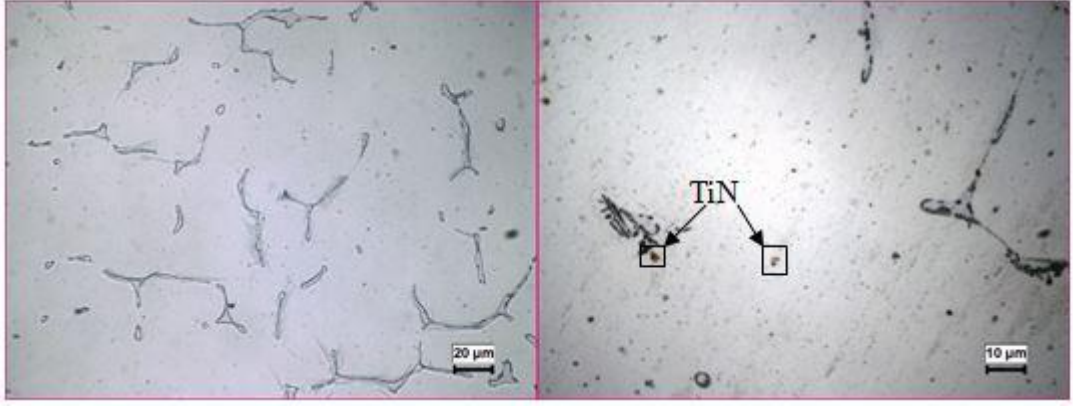
Şekil 6.15. 900 °C'de 1 saat homojenleştirilmiş alaşımsız numune.



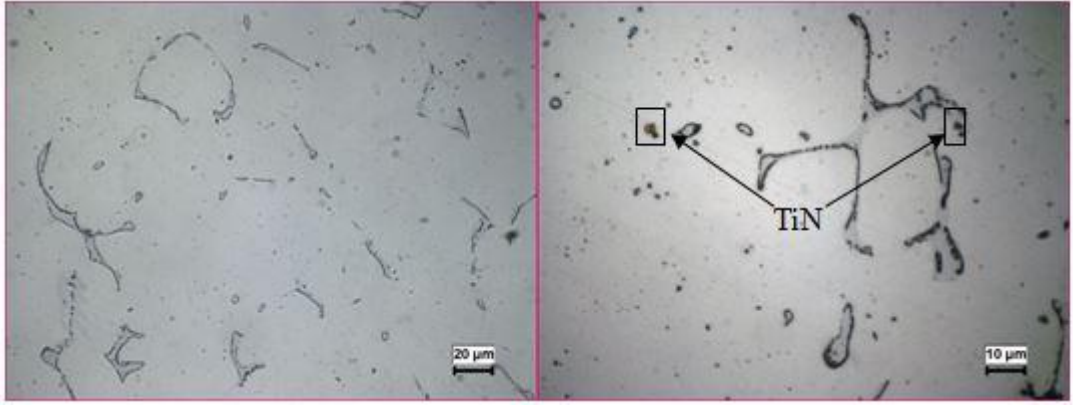
Şekil 6.16. 900 °C'de 1 saat homojenleştirilmiş 10 ppm B alaşımlı numune.



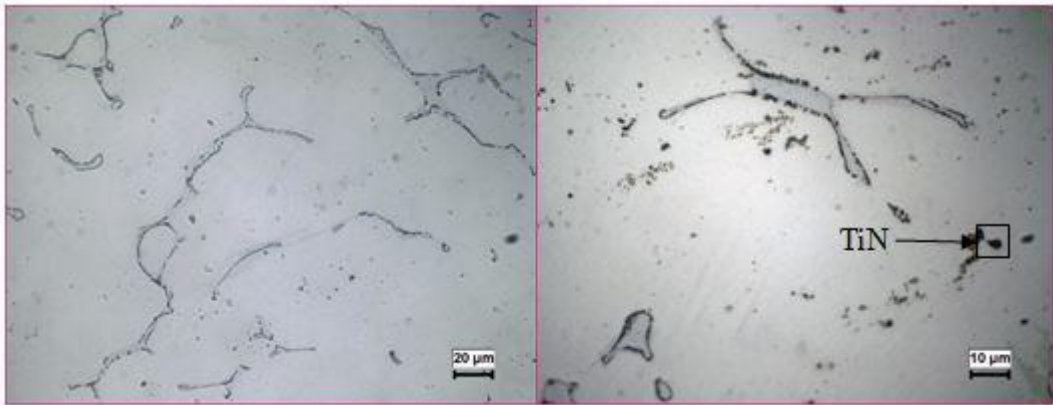
Şekil 6.17. 900 °C'de 1 saat homojenleştirilmiş 20 ppm B alaşımlı numune.



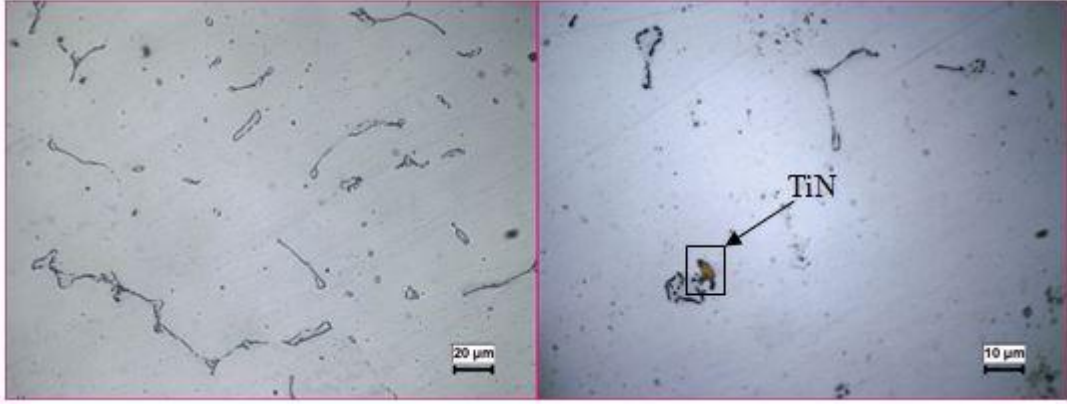
Şekil 6.18. 900 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 30 ppm B alaşımlı numune.



Şekil 6.19. 900 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 40 ppm B alaşımlı numune.

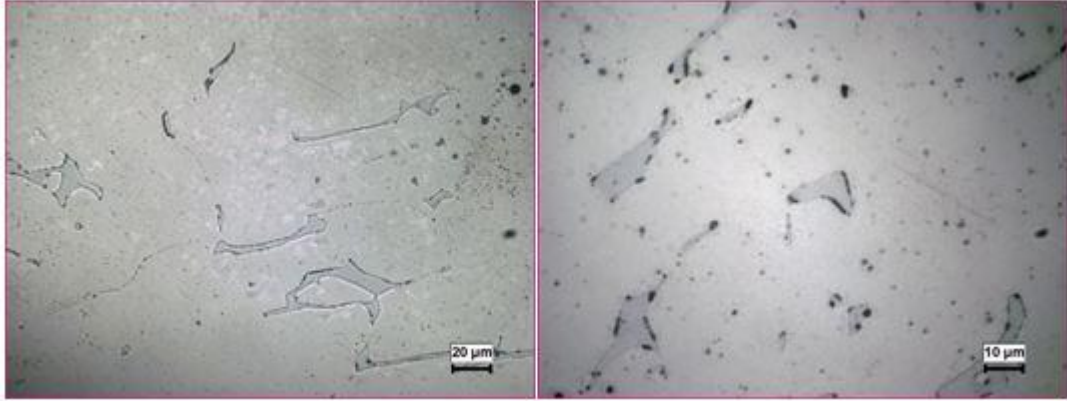


Şekil 6.20. 900 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 50 ppm B alaşımlı numune.

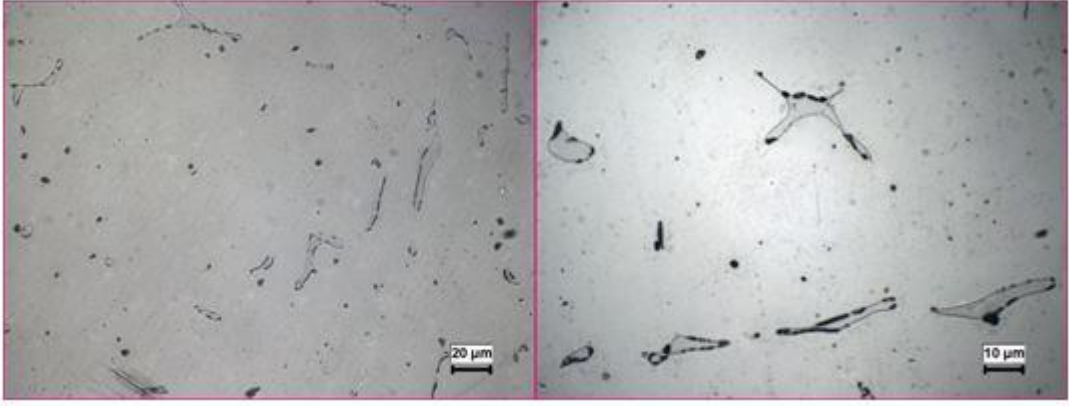


Şekil 6.21. 900 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 60 ppm B alaşımlı numune.

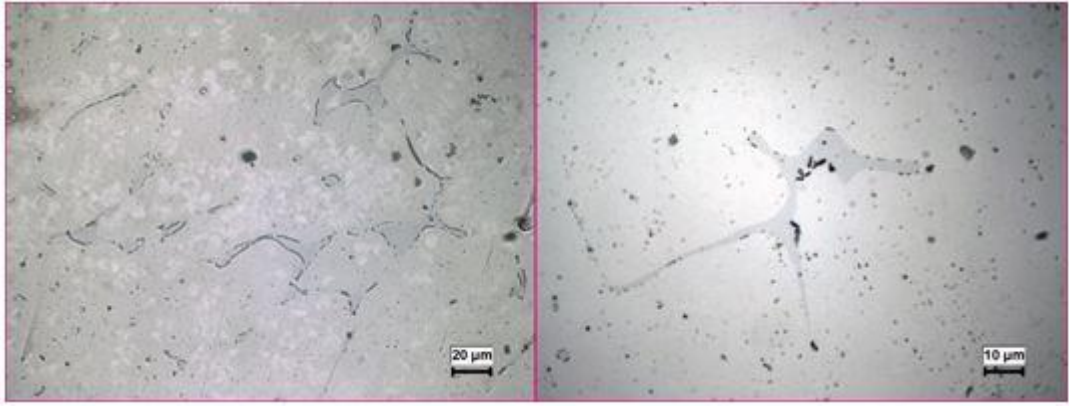
Şekil 6.22. - Şekil 6.28.’de 1000 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş malzemelere ait mikroyapı görüntüleri bulunmaktadır. Tane boyutlarında 900 °C’deki gibi küçülme olurken, turuncu renkli köşegenli parçacıkların (TiN) yapı içerisinde görülmediği anlaşılmaktadır. Literatürde uygulanan homojenleme ısıl işleme birlikte TiN çökeltilerinin çözüldüğü belirtilmekte, deney sonuçları literatürle uyumludur [71].



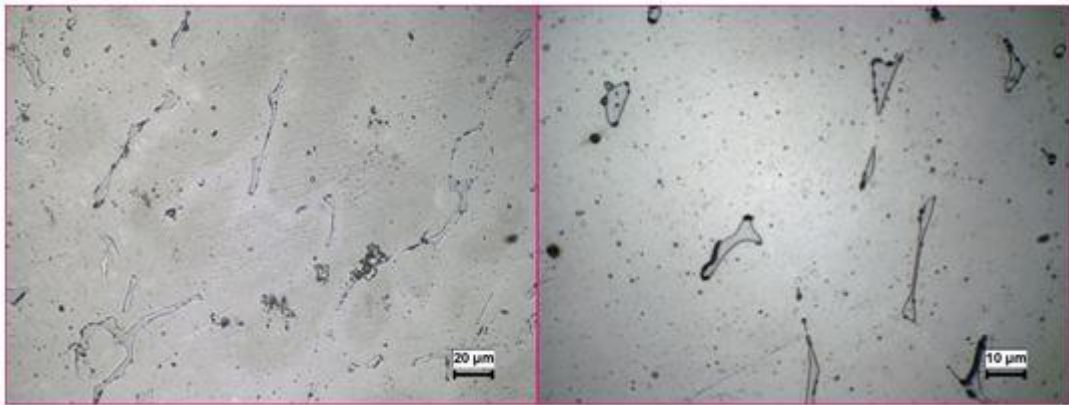
Şekil 6.22. 1000 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş alaşımsız numune.



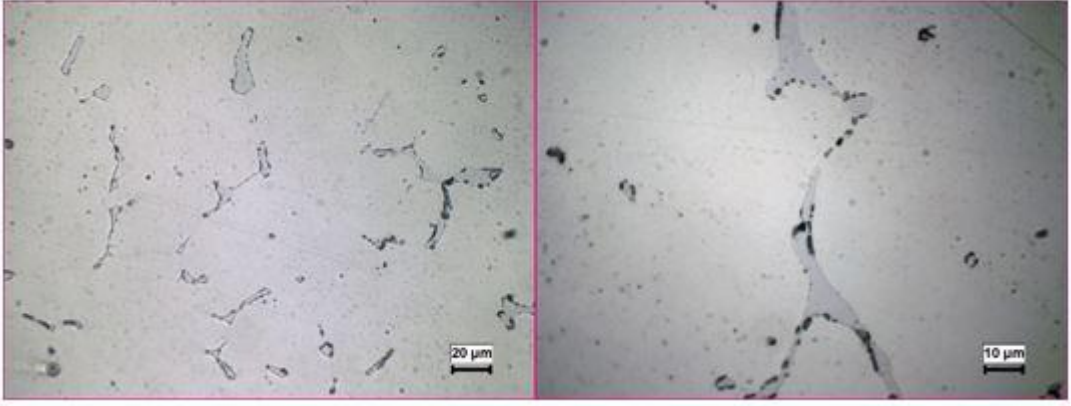
Şekil 6.23. 1000 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 10 ppm B alaşımlı numune.



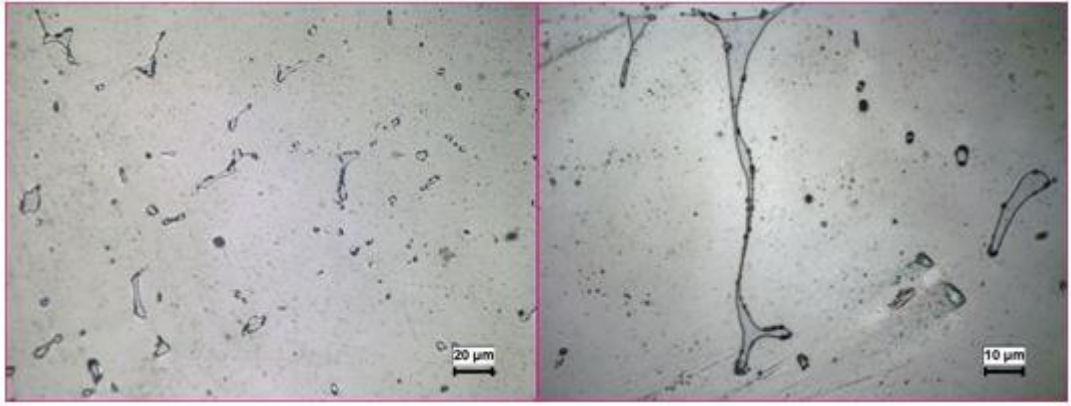
Şekil 6.24. 1000 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 20 ppm B alaşımlı numune.



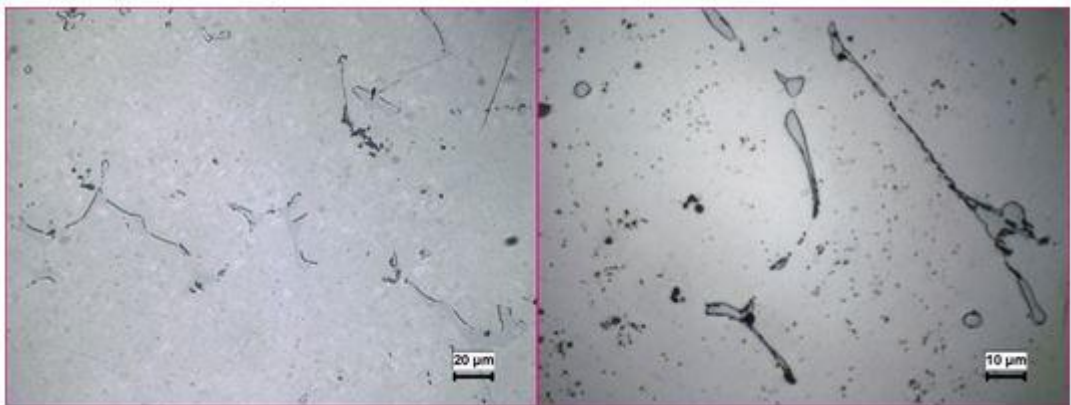
Şekil 6.25. 1000 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 30 ppm B alaşımlı numune.



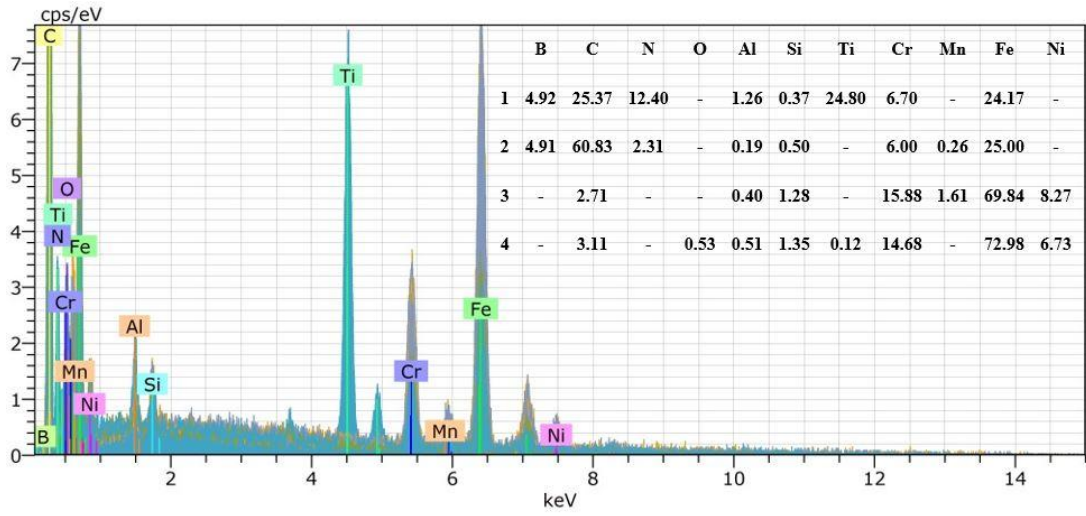
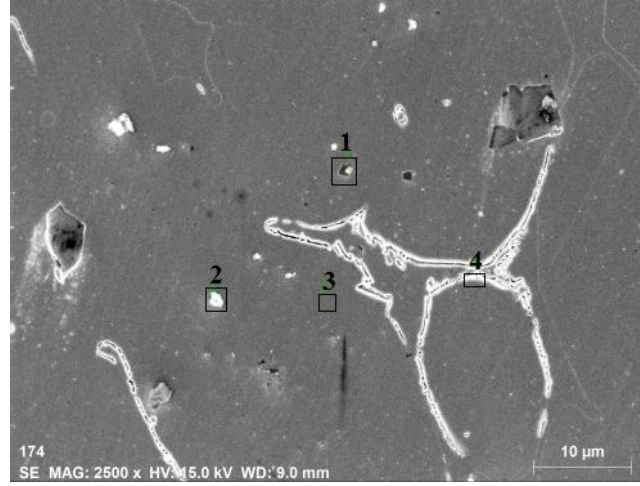
Şekil 6.26. 1000 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 40 ppm B alaşımlı numune.



Şekil 6.27. 1000 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 50 ppm B alaşımlı numune.



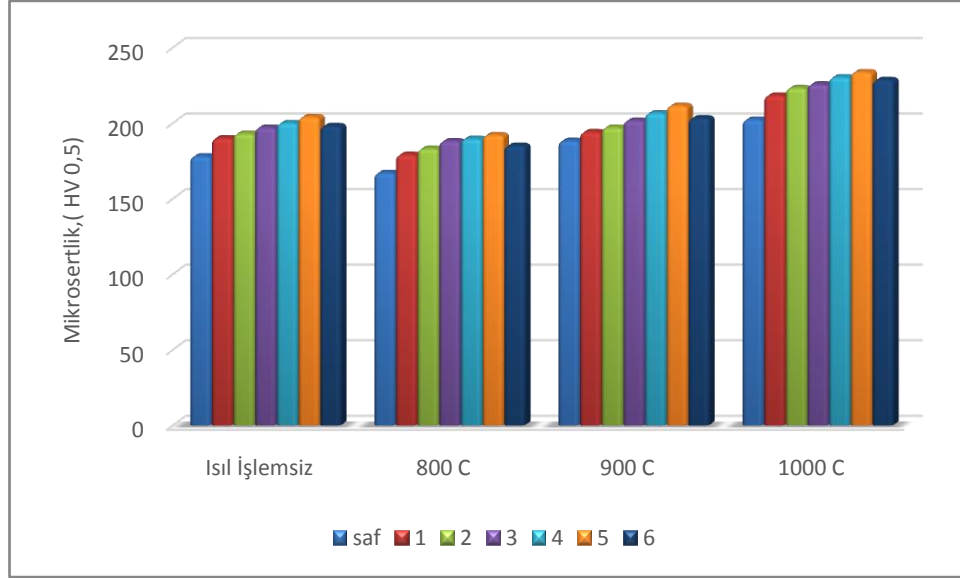
Şekil 6.28. 1000 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 60 ppm B alaşımlı numune.



Şekil 6.29. 900 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş 60 ppm bor içeren numuneye ait SEM ve EDX analizi.

6.2. SERTLİK DENEYİ SONUÇLARI

Sertlik değerleri, mikroyapı fotoğrafları çekilen numuneler üzerinden 10 farklı bölgeden olmak üzere Vickers sertlik değerleri alınmış ve ortalamaları sonuç olarak değerlendirilmiştir. Şekil 6.30.’da ortalama sertlik değerlerini gösteren grafik verilmiştir.



Şekil 6.30. Numunelerin bor içeriğine ve homojenleştirme sıcaklığına bağlı sertlik değişimi.

Bor elementi döküm ve soğuma sırasında östenit içerisine çözünmekte ve buna bağlı olarak östenitik matrisin sertliğini artırmaktadır [65-67]. Malzeme bileşiminde titanyum bulunması durumunda Ti'yum azotla reaksiyona girer ve TiN çökeltisi oluşturur, böylece malzeme bileşimde bulunan B yapısı içerisinde serbest kalır, bunun sonucu B tane sınırlarına segregare olur, malzemenin darbe tokluğunun azalmasına sebep olur [71]. Tane sınırlarına çökerek oluşan TiN, çözülerek uzaklaştırılırsa darbe özellikleri iyileşir. Literatürde [72,73], B'nin N'ile birleşmesi neticesinde sertliğin ve tokluğun iyileştiği belirtilmiştir.

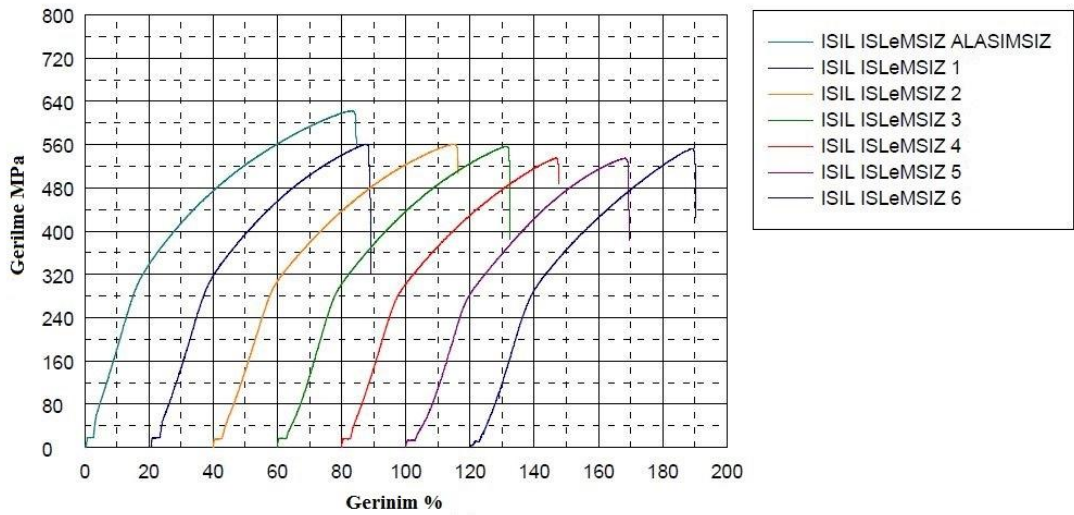
BN ve BC tane sınırlarında çökmesi sonucu çökelti sertleşmesi olur. 1000 °C'de homojenleştirilmiş B elementli malzemelerde bu durum görülmektedir. Bu çökelti dislokasyon hareketlerini engelleyici rol oynar. Bunun sonucunda yüksek dayanım elde edilir. Bununla birlikte TiN ve serbest B içermesi tane sınırlarında ferrit ve perlit oluşumunu engeller [74]. Bunun neticesinde 800 °C'de homojenleştirilmiş B elementli malzemelerde dayanımın düştüğü görülmektedir. Ferritin dayanımını Ni-Mo veya Ni-Cr-Mo artırır [75].

% 0,005 B içeren paslanmaz çeliğin sertliği, bor içermeyen östenitik paslanmaz çelikten ve % 0,006 B içeren paslanmaz çelikten daha yüksektir. Ayrıca

homojenleştirme sıcaklığının artmasıyla daha homojene yakın bir yapı oluştuğundan ve tane yapılarının incelmelerinden dolayı sertlik miktarı artmıştır. Elde edilen sonuçlar literatürle de uyumludur.

6.3. ÇEKME DENEYİ SONUÇLARI

AISI 304 paslanmaz çelik döküm durumu numunelerin çekme test sonuçları Şekil 6.31’de verilmiştir. Çekme test sonucuna bakıldığında akma dayanımının bor miktarı arttıkça azaldığı gözlenmiştir. Literatürde malzeme bileşiminde titanyum bulunması durumunda Ti’nin N’la reaksiyona girer ve TiN çökeltisi oluşturur, böylece malzeme bileşiminde bulunan B yapısı içerisinde serbest kalır, bunun sonucu B tane sınırlarına segregare olur ve mazlemenin çekme dayanımının ve darbe tokluğunun azalmasına sebep olur [71]. % uzamada ise dayanım artarken belirgin bir azalma olmuştur ve % 0,006 Biçeren malzemede tekrar yüzde uzama artış göstermiştir (Şekil 6.31.). Dayanım artarken sünekliğin azalması tokluğun azaldığını göstermektedir [65] (Şekil 6.31.).

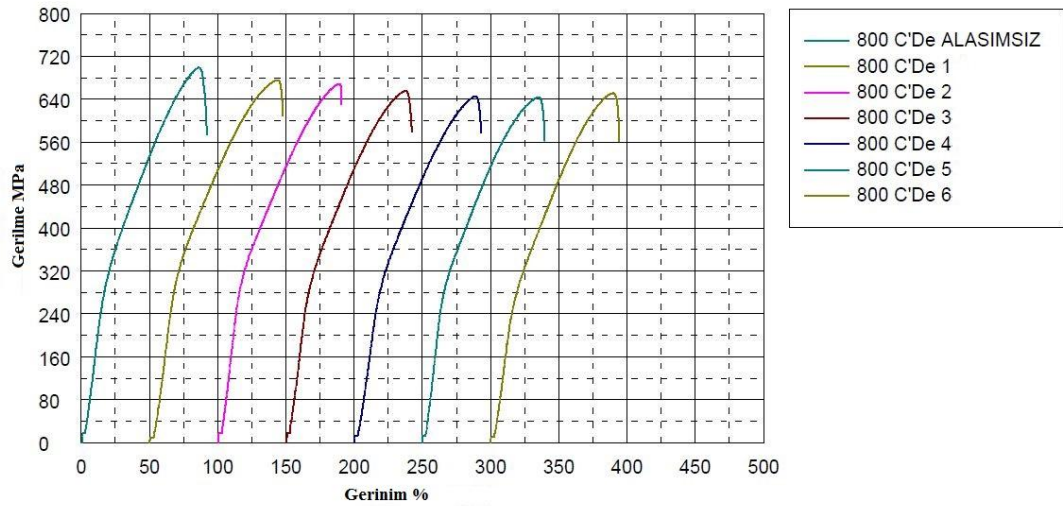


Şekil 6.31. Döküm durumu numunelere ait çekme test grafiği.

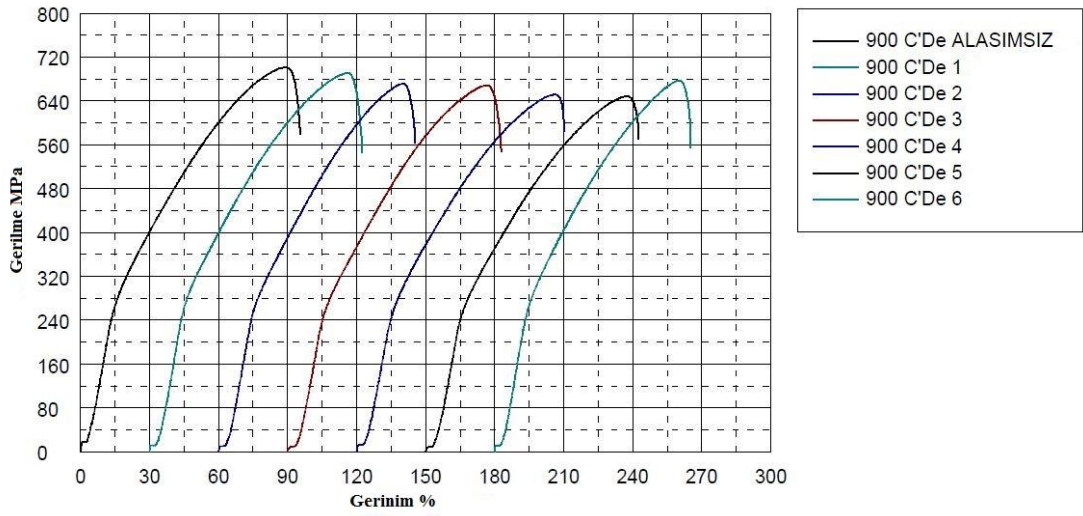
800 °C, 900 °C ve 1000 °C’de 1 saat homojenleştirilen AISI 304 paslanmaz çelik malzemelerin çekme test sonuçları Şekil 6.32. - Şekil 6.34.’de verilmiştir. Döküm durumu AISI 304 paslanmaz çelik malzemeye göre akma dayanımında azalmalar olmasına rağmen homojenleme uygulanmış numunelerin çekme dayanımlarında

önemli bir artış görülmüştür. Malzeme bileşiminde minimum miktarda Ti bulunması durumunda B'un N ve C'la reaksiyona girmesine neden olur ve bu durum mikroyapı içerisinde BN ve BC çökelekleri şeklinde çöker. Bu çökeltiler homojenleme ısı işlemi uygulandığında tane sınırlarında çözünür ve malzemenin çekme dayanımı ve darbe özellikleri iyileşir. Literatürde [71,76,77], bu durumu benzer şekilde açıklamışlardır.

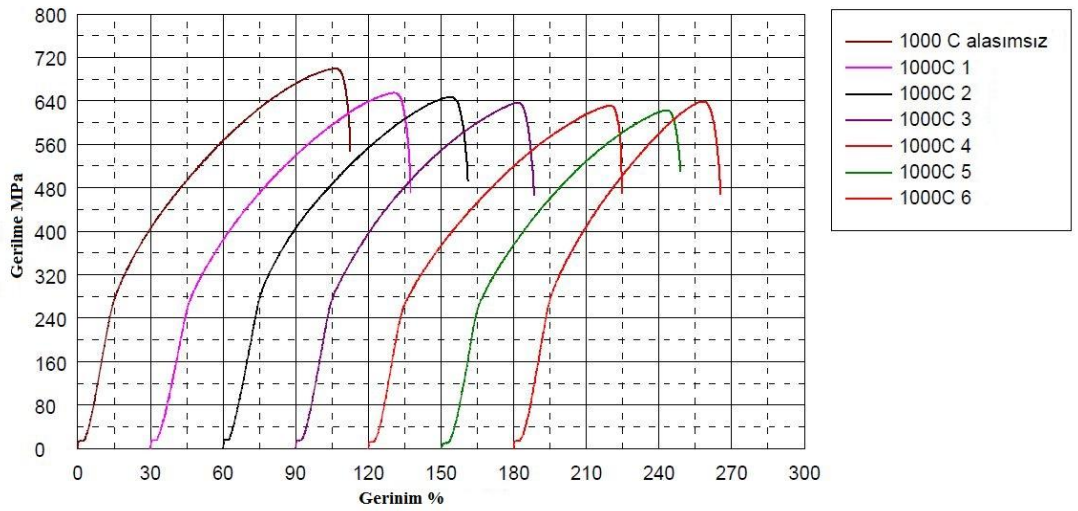
% uzama miktarlarının da artması malzemenin yapı içerisindeki elementlerin daha homojen dağılarak kararlı hale geldiğini ve bir miktar daha sünek malzeme olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.32. 800 °C'de 1 saat homojenleştirilen numunelere ait çekme test grafiği.



Şekil 6.33. 900 °C’de 1 saat homojenleştirilen numunelere ait çekme test grafiği.



Şekil 6.34. 1000 °C’de 1 saat homojenleştirilen numunelere ait çekme test grafiği.

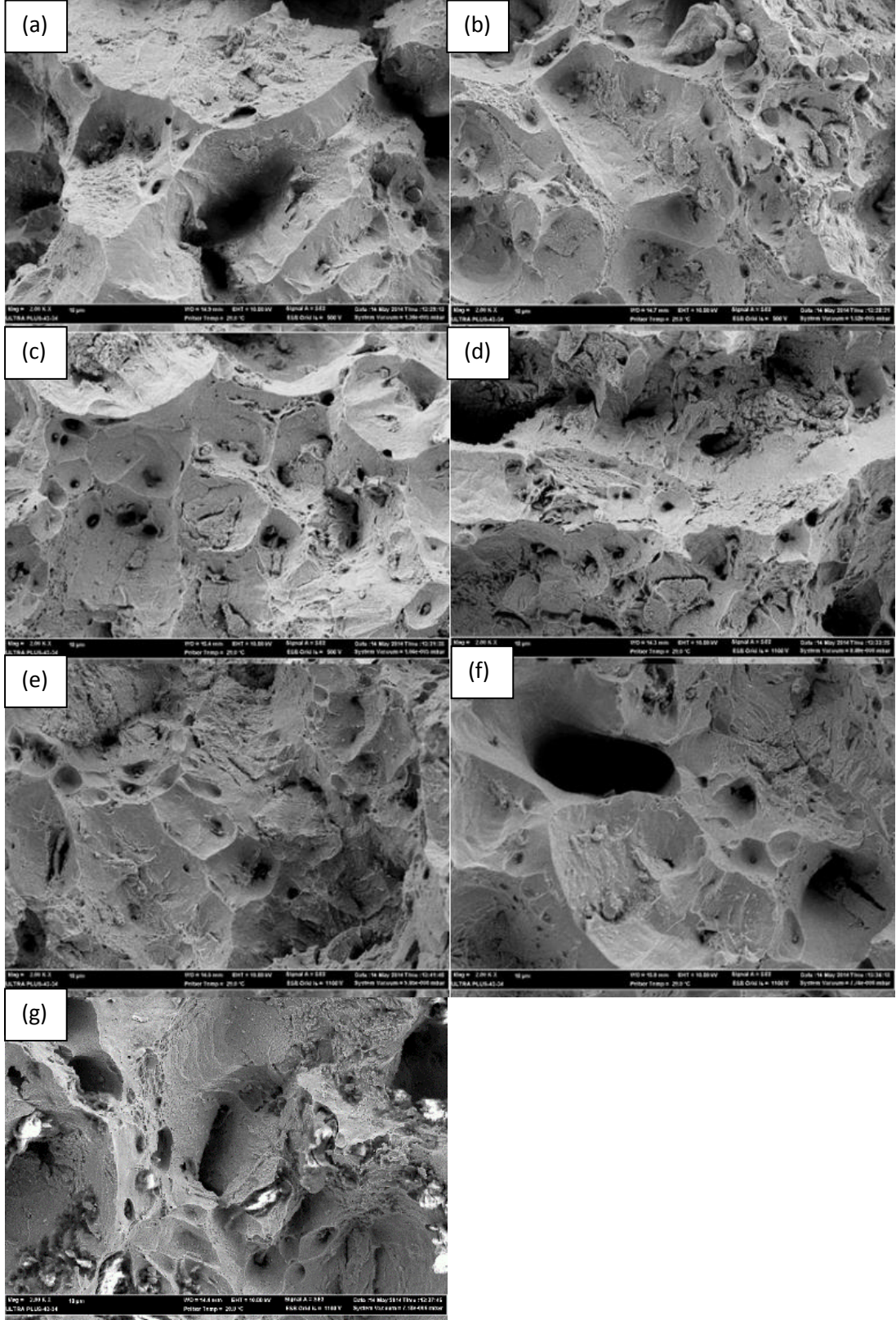
Sertlik ile çekme test sonuçları ve ilave edilen bor içerikleri birlikte irdelendiğinde en yüksek sertlik ve çekme dayanımının değerleri; ilave edilen bor içeriğinin optimumdeğerinin % 0,005 olduğunu göstermektedir. Genel olarak çekme testleri sonuçlarıyla da uyumlu olduğu görülmüştür. Literatürde [37], Ç1020 çeliğine değişik oranlarda bor ilave etmiş ve akma dayanımının 20 ppm bor oranında en yüksek değere ulaştığı belirtilmektedir. Diğer çalışmada ise, su verilmiş ve tavllanmış yüksek saflıktaki çeliklere değişik miktarda bor ilavesi yapılmış, çalışma sonucunda

sertleştirilmiş ve tavlanmış çeliklerin çekme dayanımına B'un etkisinin olmadığı sonucuna varmışlardır [78].

6.4. ÇEKME DENEYİ NUMUNELERİNİN TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) İLE İNCELEMESİ

Şekil 6.35.'de döküm durumu numunelere ait kırık yüzey görüntüleri verilmiştir. Kırılma yüzeylerine göre; genel olarak sünek (petekli yapı) kırılma morfolojisine sahip malzemeler artan bor miktarına göre kısmen gevrek (ayırılma düzlemleri) kırılmalara maruz kaldığı görülmektedir. Fakat gevrek kırılmanın bir göstergesi olan ayırılma düzlemleri homojenleştirilmemiş numunelerde en fazla, homojenleştirilmiş numunelerde ise en az olduğu tespit edilmiştir. Literatürde benzer sonuçları tespit edilmiştir [77].

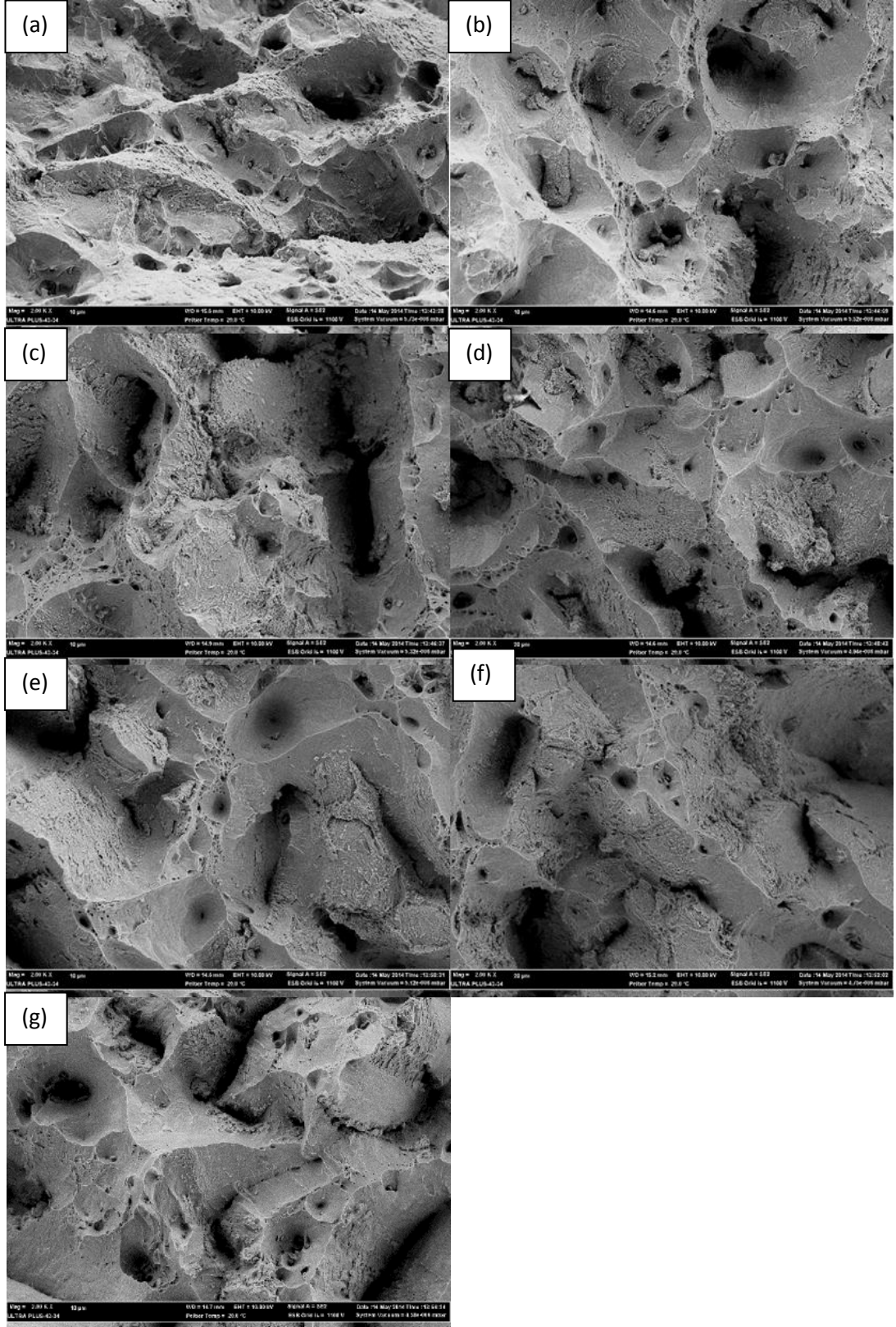
Sünek kırılmanın göstergesi olan petekli yapının oranı ise tam tersi olarak gerçekleşmektedir. Örneğin 1000 °C'de 1 saat homojenleştirilmiş, alaşımsız ve alaşımlı numunelerde yüksek oranda petekli yapıdan oluşan alanlar görülürken homojenleştirme işlemi uygulanmamış numunelerde daha düşük oranda görülmüştür [77]. Bu durum Şekil 6.31. – Şekil 6.34.'de verilen % uzama değerleriyle de uyum içerisindedir.



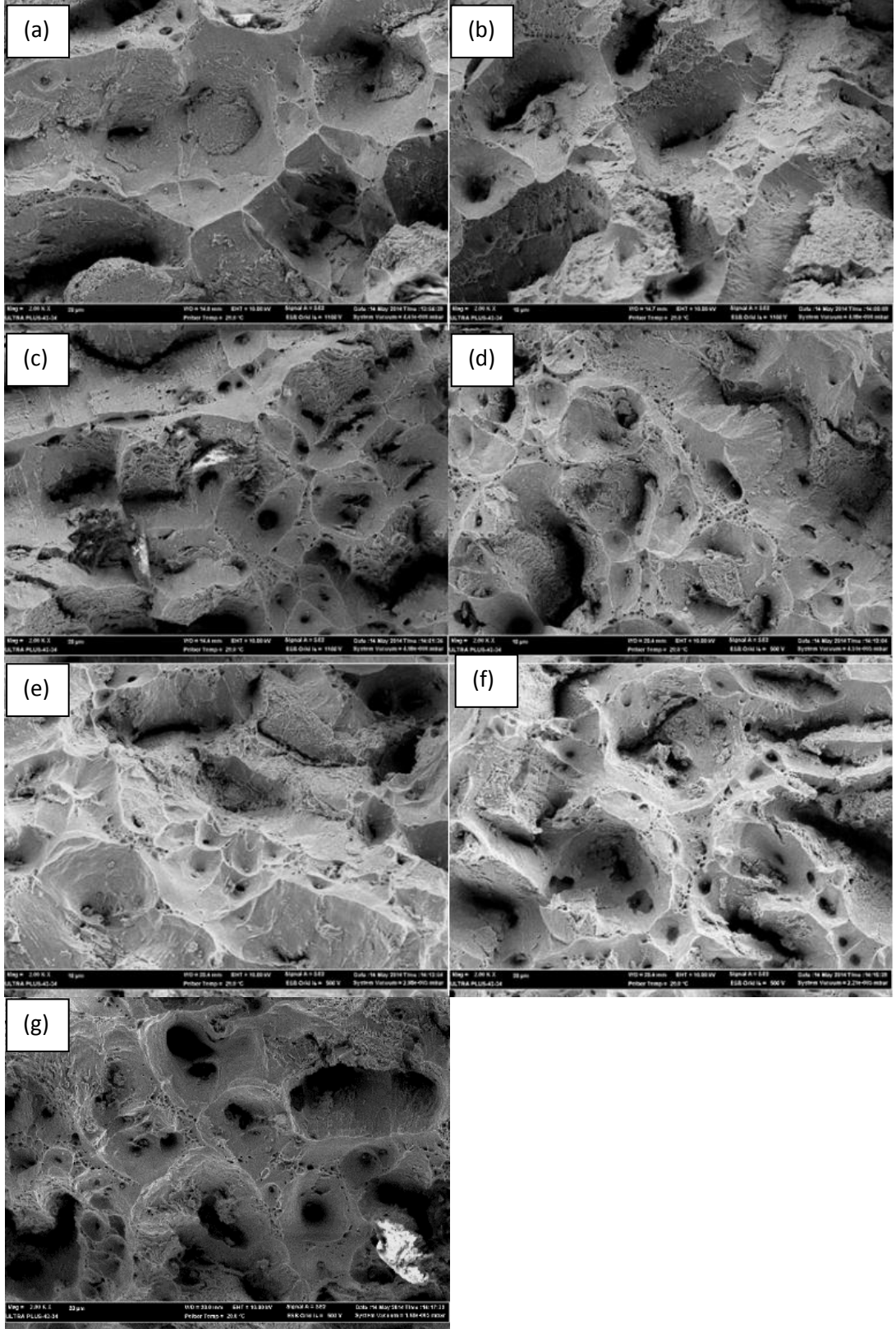
Şekil 6.35. Döküm durumu numunelere ait kırık yüzey görüntüleri, a) saf, b) 10ppm, c) 20ppm, d) 30ppm, e) 40ppm, f) 50ppm, g) 60ppm borlu numune.

Şekil 6.36. – Şekil 6.38.’de 800 °C, 900 °C ve 1000 °C’de 1 saat homojenleştirilmiş numunelere ait kırık yüzey görüntüleri verilmiştir. Genel olarak sünek kırılma morfolojisine sahip malzemeler burada da artan bor miktarına göre kısmen gevrek kırılmalara maruz kaldığı görülmektedir.

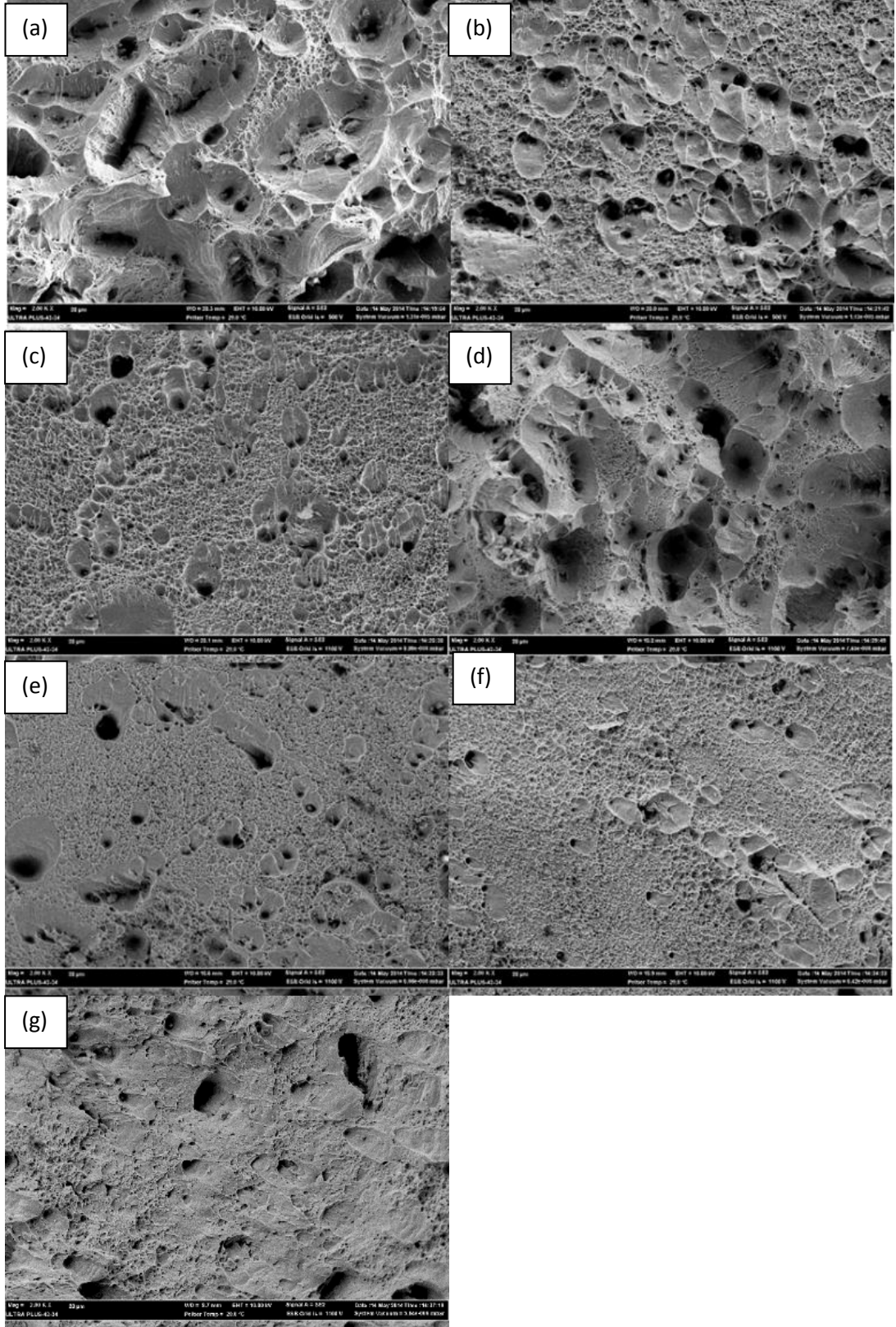
Homojenleştirme sıcaklığına bağlı olarak, en fazla kesit daralmasını sergileyen malzemeler, 1000 °C’de 1 saat homojenleştirilmeye tabi tutulan malzemeler olarak dikkat çekmektedir. Özellikle alaşımsız malzeme, kesit daralmasını maksimum seviyede sergileyerek sünek kırıldığı görülmektedir. Sünek kırılmaların göstergesi olan petekli yapıların 1000 °C’de daha yoğun olduğu Şekil 6.38.’de görülmektedir.



Şekil 6.36. 800 °C 1 saat homojenleştirilen numunelere ait kırık yüzey görüntüleri, a) saf, b) 10ppm, c) 20ppm, d) 30ppm, e) 40ppm, f) 50ppm, g) 60ppm borlu numune.



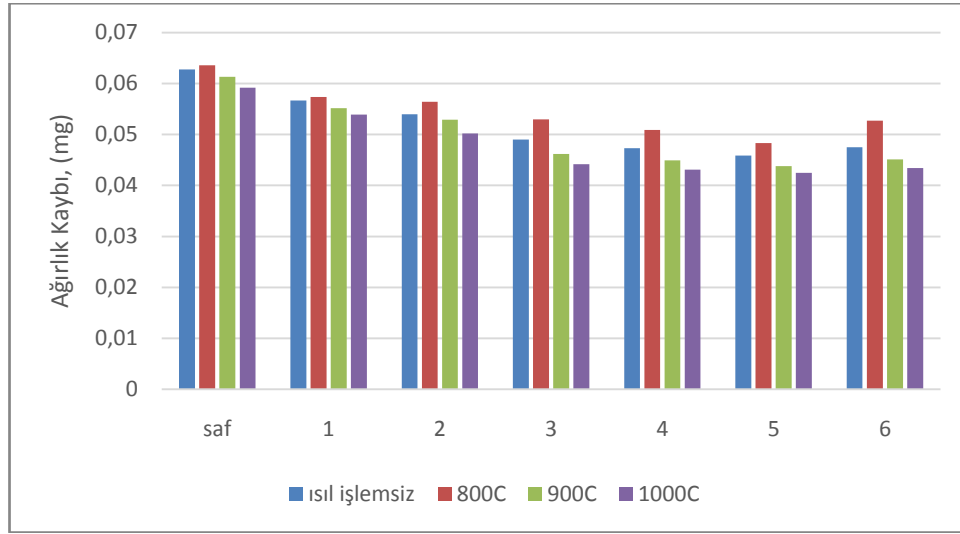
Şekil 6.37. 900 °C 1 saat homojenleştirilen numunelere ait kırık yüzey görüntüleri, a) saf, b) 10ppm, c) 20ppm, d) 30ppm, e) 40ppm, f) 50ppm, g) 60ppm borlu numune.



Şekil 6.38. 1000 °C 1 saat homojenleştirilen numunelere ait kırık yüzey görüntüleri, a) saf, b) 10ppm, c) 20ppm, d) 30ppm, e) 40ppm, f) 50ppm, g) 60ppm borlu numune.

6.5. AŞINMA DENEYİ SONUÇLARI

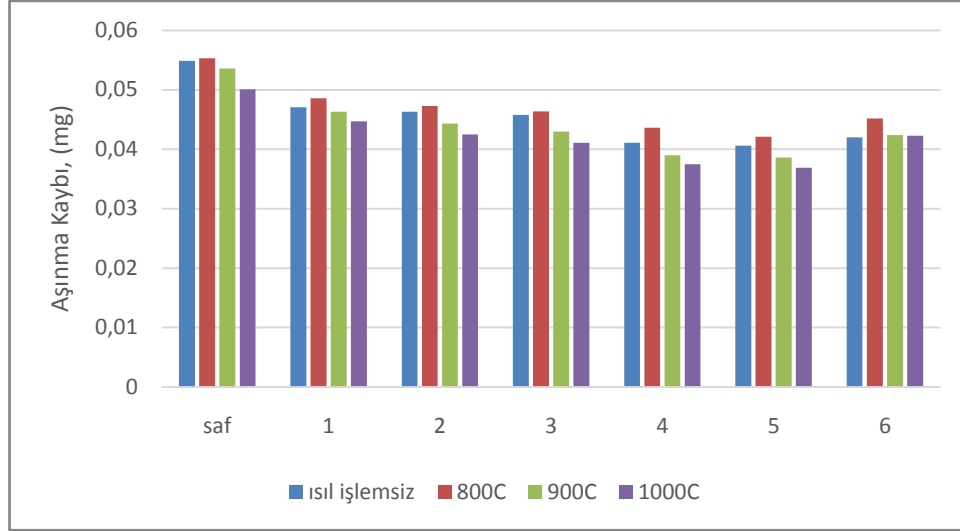
Şekil 6.39.'da 0,2 m/sn kayma hızında, disk üzerinde pim test cihazında, 20 N yükü, 320 mesh Al_2O_3 zımpara üzerinde, 25 m kayma mesafesinde yapılan aşınma deneyi grafiği verilmiştir. Şekil 6.39'da görüldüğü gibi, sertlik değerlerine de bağlı olarak, aşınma kayıpları en az 50 ppm bor içeren numuneye aittir. Zımpara tane boyutu küçüldükçe de aşınma kaybı azalmaktadır.



Şekil 6.39. 320 mesh Al_2O_3 zımpara üzerinde yapılan numunelerin ağırlık kaybı grafiği.

Saf (bor içermeyen) numuneler ile bor içeren ve homojenleme ısıl işlemi uygulanan numunelerin ağırlık kayıpları karşılaştırıldığında artan B içeriği ve artan homojenleme sıcaklığı ile birlikte numunelerin ağırlık kayıpları azalmıştır (Şekil 6.39). 800 °C'da homojenlenen numunede bu durum farklıdır ve ağırlık kaybı saf ve farklı oranlarda bor ilave edilen numunelere göre daha fazladır. Deneysel sonuçlardan 800 °C'da 1 saat homojenlemenin uygun olmadığı ve/veya yetersiz sonucuna varılmıştır.

Şekil 6.40.'da 600 mesh Al_2O_3 zımpara üzerinde yapılan deneyin grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde 320 mesh zımparaya oranla numuneler daha az aşınma kaybı sergilemiştir. Bunun en önemli etkeni, abrasif zımpara tane boyunun 320 mesh'lik zımparaya göre daha sık ve küçük partiküllere sahip olmasıdır.



Şekil 6.40. 600 mesh Al₂O₃ zımpara üzerinde yapılan numunelerin ağırlık kaybı grafiği.

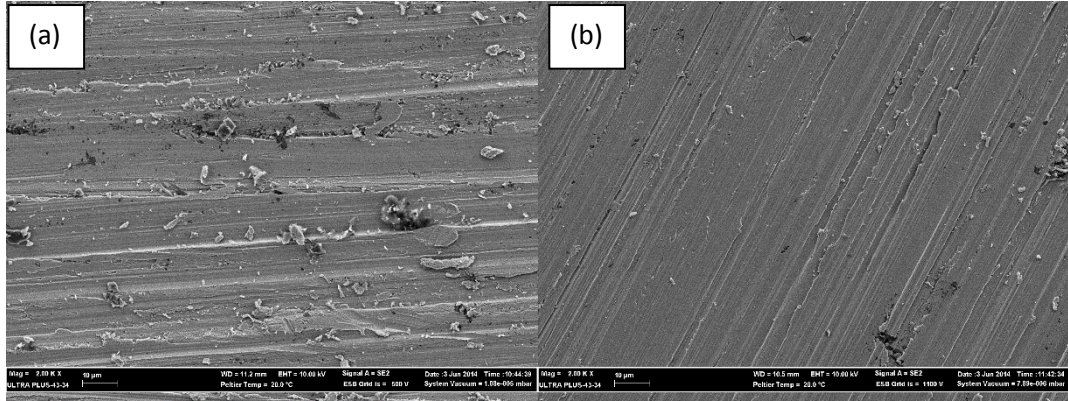
Tane sınırlarında çökelen BN ve BC nedeniyle çökelti sertleşmesi meydana gelmektedir. Bu çökeltiler dislokasyon hareketlerini engelleyici rol oynar. BN ve BC çökeltisinin atom çapı, matris malzemeden daha düşük olduğu için, kafes yapısı içerisinde arayer atomu olarak girerek ana matris kafes yapısını distorsiyona uğratmaktadır. Bunun sonucunda yüksek dayanım elde edilir. 1000 °C'de homojenleştirilmiş alaşımlı malzemelerde bu durum görülmektedir. Bu dayanım artışına bağlı olarak aşınma kaybı azalmıştır.

6.6. AŞINMA YÜZEYLERİNİN TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) İLE İNCELEMESİ

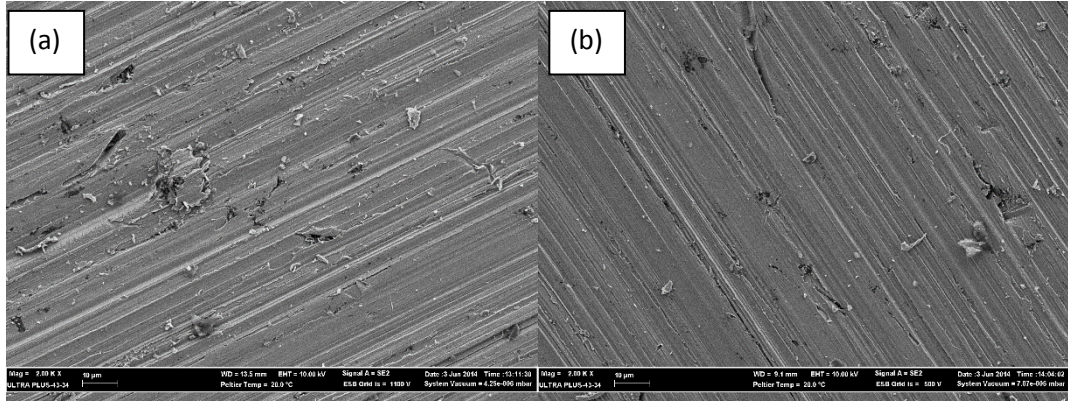
Şekil 6.41. ve Şekil 6.42.'de 800 °C alaşımsız ve 1000 °C 50 ppm Bor içeren malzemelere ait SEM görüntüleri verilmiştir. Numuneler incelendiğinde yüzeylerinde aşınma izleri görülmektedir ve yüzeyde oluşan izler 320 meshlik zımparada daha derin iken 600 meshlik zımparada daha az olduğu görülmektedir. Çetin ve Gül de [79,80] yaptıkları çalışmalarda Al₂O₃ abrasif aşındırıcı tane boyutunun artmasıyla ÖKGDD malzemenin aşınma kaybının arttığını belirtmişlerdir. Aşınma sırasında yükün sabit tutulması durumunda, abrasif aşındırıcı tane boyutunun artması, daha az taneden oluşan bölgede test yükünün artmasına neden olur, bunun sonucu her bir abrasif tanenin uç kısmında yüksek temas basıncı meydana gelir [81]. Bu sebeple aşındırıcı tane boyutunun artmasıyla temas gerilimi artmakta, dolayısıyla

fazla miktarda deformasyon olduğu için aşınma sırasında yüksek miktarda malzemenin koparak uzaklaşmasına neden olmakta ve numunelerin aşınma miktarını artmaktadır.

Ayrıca 800 °C homojenleme yapılan numunelerde zımparadan geldiğini düşündüğümüz abrasif parçacıkların numune yüzeyine yapışarak aşınma miktarını arttırdığı belirlenmiştir (Şekil 6.41. (a) ve Şekil 6.42. (a)).



Şekil 6.41. 320 mesh Al₂O₃ zımpara üzerinde yapılan a) 800 °C alaşımsız ve b) 1000 °C 50 ppm Bor içeren numunelere ait SEM görüntüsü.



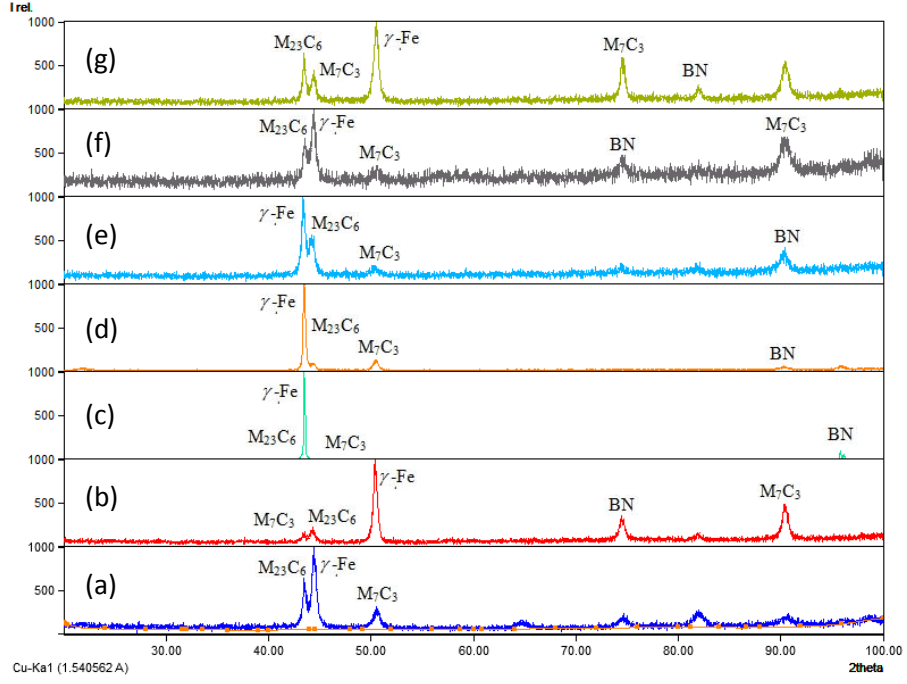
Şekil 6.42. 600 mesh Al₂O₃ zımpara üzerinde yapılan a) 800 °C alaşımsız ve b) 1000 °C 50 ppm Bor içeren numunelere ait SEM görüntüsü.

6.7. X-IŞINI KIRINIM ANALİZİ SONUÇLARI

Şekil 6.43.'de döküm durumu AISI 304 paslanmaz çelik malzemelere ait X-ışını kırınım görüntüleri görülmektedir. X-ışını kırınım analizleri incelendiğinde mikro yapının γ -Fe,

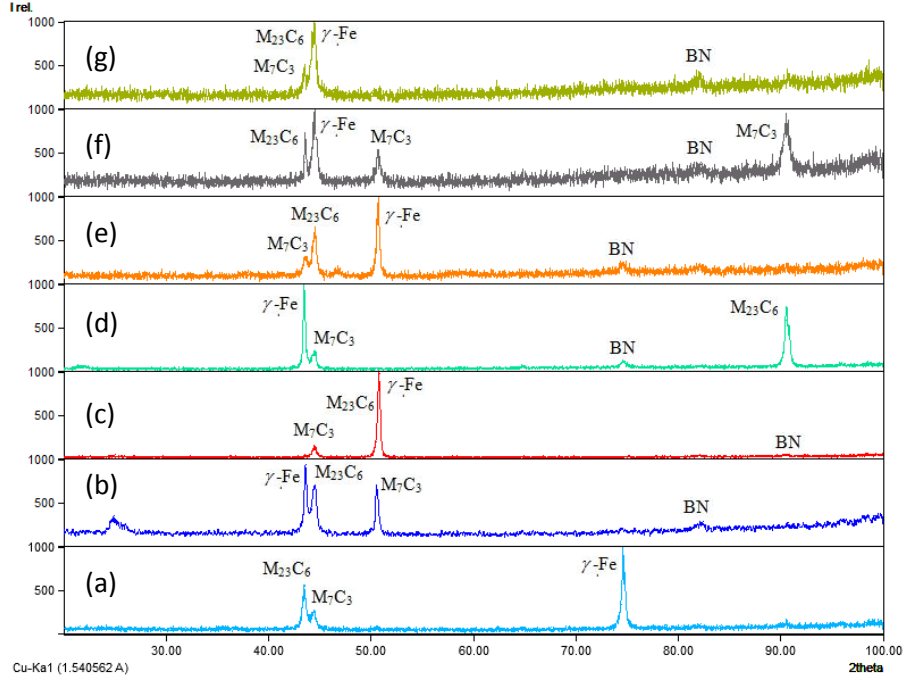
$M_{23}C_6$ ve M_7C_3 fazlarından oluştuğu tespit edilmiştir. Bilindiği gibi karbürler alaşım elementinin karbon elementi ile yaptığı sert ve mukavemetli kompleks yapılardır. Bu alaşım elementlerini Mn, Cr, Mo, W, Ta, V, Nb ve Ti oluşturmaktadır [82]. Ayrıca bir üst satırda verilen elementlerin karbona olan ilgileri de soldan sağa doğru artmaktadır. Bu fazlardan γ -Fe şekil üzerine de faz ismi ile belirtilmiştir. Mikro yapıda γ -Fe içerisinde meydana gelen M_7C_3 ise Cr_7C_3 şeklinde teşekkül etmiş yine şekil üzerinde M_7C_3 olarak faz ismi ile belirtilmiştir. Bazı literatürlerde M_7C_3 fazının 1000 °C 'de taneler şeklinde meydana geldiği belirtilmektedir [19]. Yine X-ışını kırınım analizinde $M_{23}C_6$ fazı şeklinde tespit edilen ve $(Cr, Fe)_{23}C_6$ şeklinde oluşmuş karbürler ise tane sınırlarında film şeklinde meydana gelmiştir ve bu karbürlerin şekil üzerinde faz isimleri belirtilmiştir. Kolay kolay çözülmeyen kompleks karbürler östenitik faz içerisinde, katı çözeltinin dışında bulunurlar ve tane büyümesini önlerler. $M_{23}C_6$ karbürleri kompleks kübik yapıya sahiptirler ve mikro yapıda tane sınırlarında film, yuvarlağımsı, plaka, yaprağımsı ve hücre şeklinde meydana gelirler.

Çelik içerisinde bulunan bütün karbürlerin, çeliğin oda sıcaklığındaki mukavemetine olan etkileri hemen hemen aynı olup, bu etkiler kimyasal bileşime bağlı değildir. Yani, karbürler kimyasal bileşime bağlı kalmadan çeliklerin oda sıcaklığındaki mukavemetini benzer şekilde etkiler [21].

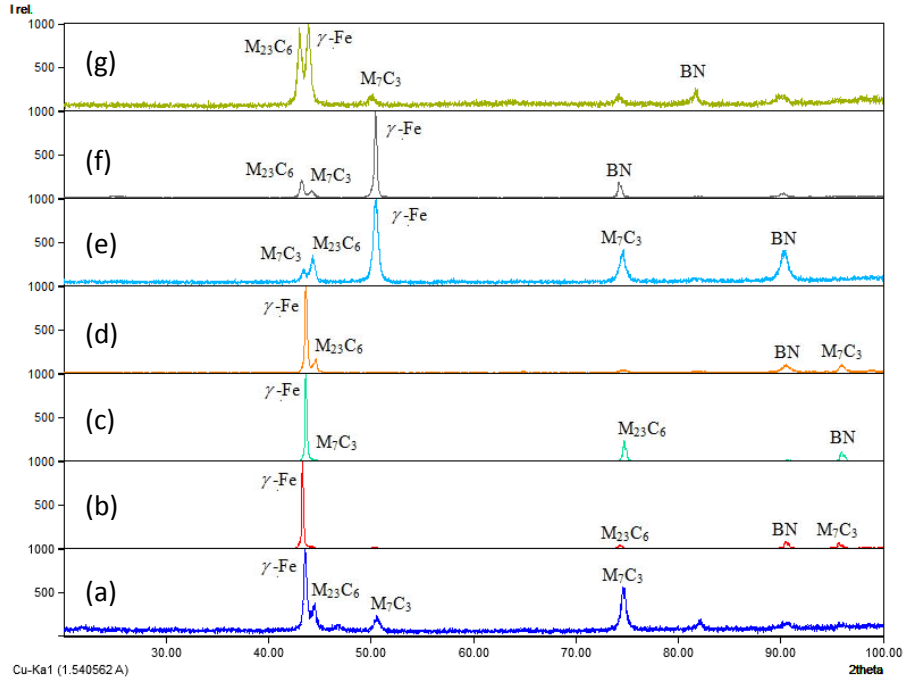


Şekil 6.43. Döküm durumu numunelere ait X-ışını kırınım analizi, a) saf, b) 10ppm, c) 20ppm, d) 30ppm, e) 40ppm, f) 50ppm, g) 60ppm borlu numune.

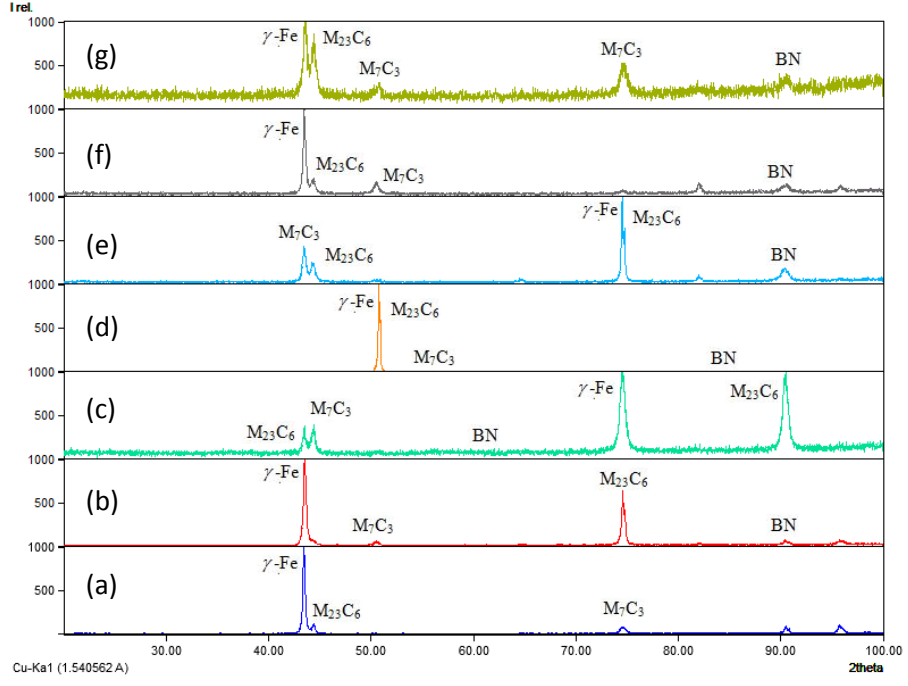
Şekil 6.44. – Şekil 6.46.’da 1 saat homojenleştirilen numunelerin X-ışını kırınım analizleri verilmiştir. Alaşım elementi ilaveli numunelerin içerisinde BN bileşiklerinin de olduğu görülmektedir. Bor nitrid, taşıdığı yüksek ısıl şok direnci, ısıl iletkenlik, elektriksel yalıtkanlık, kimyasal kararlılık ve yağlayıcılık gibi üstün özelliklere sahip sentetik bir malzemedir. Bu özellikleri nedeniyle metalürjik yüksek sıcaklık uygulamalarında, elektrik-elektronik endüstrisinde, seramik kompozit malzemelerin yapımında ve kimya endüstrisinde toz, şekillendirilmiş kütleler, sprey ve macun biçimlerinde kullanılmaktadır ve yeni kullanım alanları bulmaya yönelik bir potansiyele de sahip olduğu özelliklerinde barındırmaktadır [39].



Şekil 6.44. 800 °C’de 1 saat homojenleştirilen numunelere ait X-ışını kırınım analizi, a) saf, b) 10ppm, c) 20ppm, d) 30ppm, e) 40ppm, f) 50ppm, g) 60ppm borlu numune.



Şekil 6.45. 900 °C’de 1 saat homojenleştirilen numunelere ait X-ışını kırınım analizi, a) saf, b) 10ppm, c) 20ppm, d) 30ppm, e) 40ppm, f) 50ppm, g) 60ppm borlu numune.



Şekil 6.46. 1000 °C’de 1 saat homojenleştirilen numunelere ait X-ışını kırınım analizi, a) saf, b) 10ppm, c) 20ppm, d) 30ppm, e) 40ppm, f) 50ppm, g) 60ppm borlu numune.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR

Mevcut paslanmaz çelik üretim yöntemi içerisinde Al-Ti-B ve ferrobör ilavesi ile mikroyapı ve mekanik özelliklerini iyileştirmeye yönelik olan bu çalışmada, yüksek kaliteli, daha uzun kullanım sürelerine sahip, düşük maliyet ve yüksek performans özelliklerine göre üretilmiş bir yeni ürüne ulaşmak, sektöre kazandırılan yeniliklerin başında gelmiştir. Kimyasal kompozisyonun zenginleştirilmesi sonucunda ürün üretim sürecine kazandırılan katkı, şüphesiz ilgili pazar ve sektördeki konumumuzun daha da yukarı düzeylere çıkması hususunda bizlere yardımcı olacaktır. Mevcut üreticilere nazaran alaşımlı paslanmaz çelik malzeme, minimum seviyede maliyet artışı sayesinde ve üstün kullanım özellikleri nedeniyle hemen hemen tüm kullanıcıların ilgi odağı olacağı öngörülmektedir. Ülkemizde ve tüm dünyada sahip olduğu üstün özellikleri itibarıyla, oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmış olan Bor elementinin, faydalı kullanım alanlarına bir yenisini daha eklenmiş olması, tüm sektör için önemli bir kazanç sağlayacaktır. Ülkemizde paslanmaz çelik üretiminin çok az olmasından dolayı gerekli olan yüksek miktarlarda ki paslanmaz çelikler dış ülkelerden temin edilmektedir. Bu da ülke ekonomisine ek bir yük olmaktadır. Hem bu ulusal kazancın kendi ülkemiz ekonomisine fayda sağlaması ve bununla birlikte üretilen paslanmaz çelik sayesinde ülkemiz ulusal platformda diğer ülkelerle yarışacak seviyeye gelmesi açısından bu çalışmanın niteliği büyük ölçüde önem arz etmektedir.

Bu araştırmada elde edilen bulgulara dayanılarak ulaşılan sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- a) SEM ve EDX analizlerinde mikroyapıda görülen turuncu renkte köşeli parçacıkların titanyum nitrid (TiN) olduğu tespit edilmiştir.
- b) % 0,005 bor içeren ve 1000 °C homojenleme uygulanan numunenin en sert malzeme olduğu tespit edilmiştir.

- c) % 0,005 bor içeren ve 1000 °C homojenleme uygulanan numunenin; saf ve değişik oranlarda bor içeren numunelerle karşılaştırıldığında tüm deney şartlarında en az ağırlık kaybına sahiptir.
- d) 800 °C'de 1 saat homojenlenen, saf ve B içeren malzemelerin aşınma ağırlık kaybı en fazla olduğu tespit edilmiş ve bu homojenleme sıcaklığının uygun olmadığı ve/veya yetersiz olduğu sonucuna varılmıştır.
- e) X-ışını kırınım analizi sonucunda alaşımlı malzemelerde Bor Nitrür (BN) oluştuğu tespit edilmiştir.
- f) SEM mikroyapılarından 1000 °C homojenlenen numunelerde sünek kırılma, döküm durumu numunelerde ise gevrek kırılma modu tespit edilmiştir.
- g) Vakumsuz indüksiyon ocağında döküm işlemi, prosesin kontrolünü zorlaştırmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Angin, M. H., “Ferrobör fizibilite raporu”, *Eti Holding*, Ankara, 3-26 (2003).
2. Mun, D.J., Shin, E.U. and Koo, Y. M., “A study on the behavior of boron distribution in low carbon steel by particle tracking autoradiography”, *Nuclear Engineering and Technology*, 43(1): 1-6 (2011).
3. Tsuji, N., Matsubara, Y., Sakai, T. and Saito, Y., “Effect of boron addition on the microstructure of hot-deformed Ti-added interstitial free steel”, *ISIJ International*, 37 (8): 797–806 (1997).
4. Bai, D.Q., Yue, S., Jonas J.J. and Maccagno, T. M., “Transformation during the isothermal deformation of low-carbon Nb-B steels”, *Metallurgical and Material Transactions*, 29(A): 1383–1394 (1998).
5. Dong, J. X., Siciliano F., Jonas, J. J., Liu, W. J. and Essadiqi, E., “Effect of silicon on the kinetics of Nb(C,N) precipitation during the hot working of Nb-bearing steels”, *ISIJ International*, 40: 613–618 (2000).
6. Matuschka A.G.V.. “Boronizing”, *München*, Wie:Hansev, 1005 (1980).
7. A. Çahk., “Makine ve metalürji sanayinde bor kullanımı”, *II. Uluslararası Bor Sempozyumu*, Isparta, 249-257(2004).
8. Arkun, E., “Paslanmaz çelik saclarda şekillendirme karakteristikleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Y.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 155 (2006).
9. Yorulmazel, C. S., “Paslanmaz çelik konstrüksiyonlarda oluşan distorsyonların etüdü”, Yüksek Lisans Tezi, *Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 150 (2007).
10. Yılmaz, S. S., “Demir esaslı T/M parçaların yüzey sertleştirme işlemlerinin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi”, Doktora Tezi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-151 (2004).
11. Duman, İ., “Bör”, Bildiriler Kitabı, *I. Uluslararası Bor Sempozyumu*, Balıkesir, 145-155 (2002).
12. Özsoy, A., “Çeliğin borlanması borür tabakası, geçiş zonu ve ana matriksin özelliklerinin iyileştirilmesi”, Doktora Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 25-100 (1996).

13. Matuschka, A. G. V., "Boronozing", *Wien:Hanser*, 100-105 (1980).
14. Goeriot, P. Y., Fillit, P. and Thevenot, F., "The influence of alloying element additions on the boriding of steels", *Mat. Sci. and Eng.*, 9-19 (1982).
15. Eti Maden İşleri, "2008 Bor raporu", *Eti Maden İşl. Gen. Müd. Yayınları*, Ankara (2008).
16. Roy, E., "Cast iron technology", *Butterworth & Co. Ltd.*, London (1998).
17. Savaşkan, T., "Malzeme bilgisi ve muayenesi", *Derya Kitabevi*, Trabzon, 132-168 (1999).
18. Kazdal, Z. H., "Demir ve çelik malzemelerin mikroyapısı", *TÜBİTAK MAM Eğitim Notları*, Gebze, 88-118 (2007).
19. Erdoğan, M., "Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri", *Nobel Yayınları* No:1, 234 (2001).
20. Türkyılmazoğlu, A., "Dubleks, martenzitik ve ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağı", Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 138 (2006).
21. İnternet: Kayır, Z., Y., "Türkiye Paslanmaz Çelik Üretebilir mi?", http://www.metalurji.org.trdergidergi136d136_3038.pdf. (2006).
22. Gürkan, M., "Östenitik ve martensitik paslanmaz çeliklerin yüksek sıcaklık aşınma davranışları", Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon, 67 (2007).
23. Koç, V., "Toz metalurjisi tekniği ile üretilen bir paslanmaz çelikte katkı elemanlarının aşınma direncine etkileri", Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 134 (2006).
24. Ertek, C., "Plazma ortamında iyon aşınmış 304 ve 316L paslanmaz çeliklerin korozyon davranışlarının incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 93 (2006).
25. Grange, R. A. and Garvey, T. M., "The distribution of boron in austenite", *Transactions ASM*, 37: 136-140 (1946).
26. Atik, E., "Farklı bir yüzey sertleştirme yöntemi: Borlama", *Makine & Metal Teknolojisi*, 117: 86-90 (2001).
27. Serdaroğlu, R., "Alüminyum dökümlerde tane inceltme ve alaşımlandırma", *Alüminyum Dergisi*, 4: 35-38 (1990).
28. Mal, K. K. and Tarkan, S. E., "Diffused boron ups hardness wear resistance of metals", *Materials Engineering*, London, 77: 70-71 (1973).

29. Bozkurt, N., “Bor yayınımlı ve çeliklerde yüzey sertleştirme”, Doktora Tezi, **İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 15-65 (1984).
30. Bryant, M. and Pearson, J., “Tane inceltme ve alaşımlandırma”, **Alüminyum Dergisi**, 7: 15-18 (1990).
31. Akgündüz, B. ve Altıntaş, S., “Al-5Ti-1B Alaşımlarının alüminyum ingotlar üzerine tane inceltme etkileri”, **4. Ulusal Metalurji Kongre ve Sergisi**, Seydişehir, 1090-1108 (1986).
32. Lieserberg, O. and Drossel, G., “Casting”, Aluminium Hand Book 2, **Aluminium Verlag GMBH**, Düsseldorf, 386-388-406 (2001).
33. Uygun, G., Bozkurt, N. ve Geçkinli, E., “Alüminyum bor ile tane küçültme ve bor dağılımının otoradyografi ile tespiti”, **4. Ulusal Metalurji Kongre ve Sergisi**, Seydişehir, 753-765 (1986).
34. Young, G. D. K., Dunville, B. T., Setzer, W. C. and Koch, F. P., “A survey of grain refiners for hypoeutectic Al-Si alloys”, **Light Metals**, 72-84 (1991).
35. Yücel, O., “Karbotermik ferrobör üretim parametrelerinin optimizasyonu”, Doktora Tezi, **İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 16-55 (1992).
36. Özmen, L., Utkanlar, N. ve Özmel, B., “Borlu çelik”, Bildiriler Kitabı, **3. Uluslararası Bor Sempozyumu**, Ankara, 49-55 (2006).
37. Melloy, G. F., Slimmon, P. P. and Podgursky, P. P., “Optimizing the boron effect”, **Metallurgical Transactions**, 4: 2279-2289 (1973).
38. Kentaro, A. and Koji, S., “Behavior of boron in the phase transformation”, **Research Review on Boron in Steels and Targets for Next Century**, Tokyo, 43-51 (1999).
39. Roskill Information Service, “Roskill report: the economics of boron”, **Roskill Information Service Ltd**, U.K., 55-95 (1999).
40. Özbek, İ., “Borlama yöntemiyle AISI M50, AISI M2 yüksek hız çeliklerinin ve AISI W1 çeliğinin performansının geliştirilmesi”, Doktora Tezi, **SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, 5-40 (2000).
41. 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**, 128-129 (2000).
42. Kuhlman, U. and Weheit, E., “On the microstructure of boron carbide”, **Solid State Com.**, 83: 849-852 (1992).
43. Liao, P. K. and Spear, K. E., “B-Fe (Boron-Iron) binary diagrams of binary iron alloys”, **Journal of Phase Equilibria**, 41-47(1974).

44. Tübitak, “İnorganik bor bileşikleri kaynak araştırması-bor nitrür”, **TÜBİTAK MAM**, Kocaeli, 1-56 (2000).
45. İzmir, A.İ., “Kimyasal buhar çöktürme yöntemi ile bor karbür üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, **G.Ü. Fen Bilimleri Ens.**, 3-7 (2001).
46. T.C. Devlet Planlama Teşkilatı, “Kimyasal madde araştırması, bor bileşikleri”, **TÜMAS, T.C. Başbakanlık, Devlet Planlama Teşkilatı, Müsteşarlık Araştırma Grubu Başkanlığı**, Ankara (1990).
47. Otto, K. and Schrey, A., “Hard and protective materials”, **Handbook of Thin Film Process Technology**, Z1, 1-12 (1995).
48. 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**, 450-455 (1997).
49. 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**, 128-129 (2000).
50. Kuhlman, U. and Weheit, E., “On the microstructure of boron carbide”, **Solid State Com.**, 83: 849-852 (1992).
51. Liao, P. K. and Spear, K. E., “B-Fe (Boron-Iron) binary diagrams of binary iron alloys”, **Journal of Phase Equilibria**, 41-47 (1974).
52. Llewellyn, D. T. and Cook, W.T., “Metallurgy of boron-treated low-alloy steel”, **Metals Technology**, 517-529 (1974).
53. Tomoya, F., “Hardenability improvement effect of the boron in TMCP”, **Research Review on Boron in Steels and Targets for Next Century**, Tokyo, 78-86 (1999).
54. Nakasato, F. and Takahashi, M., “Effects of boron, titanium and nitrogen on the hardenability of boron-treated steels heavy machinery”, **Metals Technology**, 102-105 (1979).
55. Ertürkmen, M., “Borlu çelikler”, Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 15-42, (1987).
56. İnternet: Steel University, “Çeliğin sertleşebilirliğine borun etkisi”, <http://www.steeluniversity.org/content/html/eng/default.asp?catid=163&pageid=2081271726> (2008).
57. Korchynsky, M., “A new role for microalloyed steels-adding economic value”, **Consultant in Metallurgy**, Pittsburgh, 1-5 (1993).

58. Koltuk, F. ve Bakkaloğlu, A., “Yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çeliklerde mikroalaşım elementlerinin dönüşüm ve yapı üzerindeki etkisi”, *Metal Dünyası*, İstanbul, 59: 19-22 (1998).
59. Şen, Ş., “Termokimyasal borlama işlemiyle AISI 5140, AISI 4140 ve AISI 4340 çeliklerinin yüzey performanslarının geliştirilmesi”, Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Ens.*, 20-35 (1998).
60. Wang, X. M. and He, X. L., “Effect of boron addition on structure and properties of low carbon bainitic steels”, *ISIJ Int.*, 42: 621-633 (2002).
61. Er, Ü. Ve Gaşan, H., “Bazı borlu çeliklerin toprak işleme aletlerinin uç demirlerinde kullanımının laboratuvar koşullarında incelenmesi”, Bildiriler Kitabı, **23. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon Kongresi**, Çanakkale, 232-230 (2006).
62. Armijo, J. S. and Rosenbaum, H. S., “Boron detection in metals by alpha-particle tracking”, *Journal of Applied Physics*, 38: 2064-2069 (1967).
63. Çarboğa, C., “Düşük karbonlu çeliklere bor ilavesinin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine etkisi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2010).
64. Taylor, K. A. and Hansen, S. S., “The boron hardenability effect in thermomechanically processed, direct-quenched 0,2 Pct steels”, *Metallurgical Transactions*, Bethlehem, 21 (A): 1697-1708 (1990).
65. Ölmez, E. and Çetin, M., “A study the effect of boron addition on mechanical properties of 304 stainless steel material”, *IISS'12, International Iron & Steel Symposium*, Karabuk University on 2-4 April Karabuk-Turkey, 93-98 (2012).
66. Ölmez, E. and Çetin, M., “A study the effect of boron addition on wear resistance of 304 stainless steel material”, *IATS'13, 7th International Advanced Technologies Symposium*, Yıldız Teknik Üniversitesi, 30 October-1 November, Istanbul-Turkey, 207-210 (2013).
67. Ölmez, E. and Çetin, M., “Effects boron addition on mechanical and corrosion behaviours cast stainless steel”, *Materials Science and Engineering A*, 2014, (in reviewer).
68. Dergach, T. A. and Sukhomlin, G. D., “Effect of boron on the structure and intercrystalline-corrosion resistance of austenitic stainless steel”, *Protection of Metals*, 25(3): 390-394 (1990).
69. Allan G. K., “Solidification of austenitic stainless steels”, *Ironmaking and Steelmaking*, 22(6): 465-477 (1995).

70. Hartono, W., Goto, S., Aso, S. and Komatsu, Y., "Wear characteristics of Fe–25Cr–C–B eutectic cast alloys", *International Journal of Cast Metals Research*, 17(4): 206-212 (2004).
71. Verma, A., Gopinath, K. and Sarkar, S. B., "Boron steel: an alternative for costlier nickel and molybdenum alloyed steel for transmission gears", *The Journal of Engineering Research*, Vol. 8(1), 12-18 (2009).
72. Irvine, K. J., and Pickering, F. B., "The Impact Properties of Low Carbon Bainitic Steels", *J. of Iron and Steel Institute*, Vol. 201, 518-526 (1963).
73. Treppschuh, H., Randak, A., Domalski, H. H. and Kurzeja, J., "Influence of boron in the properties of structure steels and tool steel", *Steel and Iron*, Vol. 87, 1355-1366 (1967).
74. Brownrigg, A., "Boron in steel- a literature review 1956-1972", *J. of Australian Institute of Metals*, Vol. 18(3), 124-136 (1973).
75. Davis, J. R., "ASM specialty handbook: nickel, cobalt, and their alloys", *ASM International*, 62-67 (2000).
76. Fu, H., Li, Z., Jiang, Z. and Xing, J., "Solidification structure in a cast B-bearing Stainless steel", *Materials Letters*, 61: 4504-4507 (2007).
77. Hussaini, S. M., Singh, S. K. and Gupta, A. K., "Formability and fracture studies of austenitic stainless steel 316 at different temperatures", *Journal of King Saul University-Engineering Sciences*, 26: 184-190 (2014).
78. Paju, M., Hougardy, H. P. and Grabke, H. J., "Effects of boron alloying on the properties of a low-carbon low-alloying steel", *Scandinavian Journal of Metallurgy*, 18: 235-242 (1989).
79. Çetin, M., ve Gül, F., "Effect of abrasive particle size and austenizing time on the abrasive wear of unalloyed austempered ductile iron", *4th International Advanced Technologies Symposium*, 908-913 (2005).
80. Çetin, M., ve Gül, F., "Effect of austenising temperature and time of abrasive wear behavior unalloyed austempered ductile iron", *11th International Materials Symposium*, 68-92 (2006).
81. Candan, E., Ahlatcı, H. ve Çimenoglu, H., "Abrasive wear behaviour of Al–SiC composites produced by pressure infiltration technique", *Wear*, 247:133–138 (2001).
82. Yıldırım, M. M., "Malzeme Bilgisi (II)", *Firat Üniversitesi Basımevi*, Elazığ (1986).

ÖZGEÇMİŞ

Ersin ÖLMEZ 1990 yılında Ankara’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı; İncirli Endüstri Meslek Lisesi, Elektrik Bölümü’nden 2007 yılında mezun olduktan sonra 2008 yılında Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Döküm Öğretmenliği Programı’na yerleşti. Bu bölümü erken bitirerek Şubat 2012 de mezun oldu. Daha sonra 2012 yılında başladığı Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimine halen devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: 19 Mayıs Mahallesi Yunus Emre Caddesi
Ülkü Sokak 3/7 İncirli-Keçiören/ANKARA

Tel: 0 (535) 224 25 09

E-posta: ersinolmez06@hotmail.com

YAYINLAR

1. Güneş,E.,Demirel,Ç., Ölmez,E., Toprak,G., Çetin,M., “Bortemperlenmiş GGG 50 Malzemenin Aşınma Davranışının İncelenmesi”, V. Demir-Çelik Kongresi ve Sergisi, ss.: 91-96, Nisan (2011).
2. Ölmez, E., and Çetin, M., “A Study The Effect Of Boron Addition On Mechanical Properties Of 304 Stainless Steel Material,” IISS’12, International Iron & Steel Symposium, Karabuk University on 2-4 April Karabuk-Turkey, ss.:93-98, (2012).
3. Ölmez,E., and Çetin, M., “A Study The Effect Of Boron Addition On Wear Resistance Of 304 Stainless Steel Material,” IATS’13, 7th International Advanced Technologies Symposium, Yıldız Teknik Üniversitesi, 30 October-1 November,Istanbul-Turkey, ss.:207-210, (2013).

HOBİLER

Bilgisayar, Basketbol, Satranç