

**T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SAVUNMA SANAYİİNDE KULLANILABİLEN AISI 304L PASLANMAZ
ÇELİĞİNİN KATI BORLAMA İLE ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

Abdulkadir BİRDEN

EKİM 2018

Bilimleri Enstitüsü, Savunma Teknolojileri Anabilim Dalında Abdulkadir BİRDEN tarafından hazırlanan SAVUNMA SANAYİİNDE KULLANILABİLEN AISI 304L PASLANMAZ ÇELİĞİNİN KATI BORLAMA İLE ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa YİĞİTOĞLU
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Şule OCAK ARAZ
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Salih Uğur BAYÇA
Üye (Danışman) : Dr. Öğr. Üyesi Şule OCAK ARAZ
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Erol ALVER

05/10/2018

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

(Unvanı, Adı ve Soyadı, İmzası)

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

İTHAF

Rahmetli Sayın Abdülkadir Duru Bey' e,

Çok değerli büyüğüm Sayın Sadettin Erbaş' a

Rahmetli annem Lütfiye Birden' e ve

Rahmetli babam Yusuf Birden' e

Saygıyla...

ÖZET

SAVUNMA SANAYİİNDE KULLANILABİLEN AISI 304L PASLANMAZ ÇELİĞİNİN KATI BORLAMA İLE ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

Birden, Abdulkadir

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üy. Şule OCAK ARAZ

Ekim 2018, 93 sayfa

Borlanmış paslanmaz çelikler savunma sanayi, biyomedikal uygulamalar, nükleer enerji santralleri, gıda ve kimya endüstrisi olmak üzere çok geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. Aynı şekilde AISI 304L austenitik paslanmaz çeliğin de endüstride kullanım alanı oldukça fazladır. Maliyet açısından da uygun AISI 304L austenitik paslanmaz çeliğe 950 °C de 2, 4, 6 ve 8 saat katı borlama işlemi uygulanmıştır. Borlanmış çeliklerin yapısal özellikleri taramalı elektron mikroskop (SEM) ve X-ışınları difraktometresi ile mekanik özellikleri ise pin-on-disk aşınma testi, %10 H₂SO₄ asit çözeltisinde korozyon testi ve Vickers sertlik analizleri yapılarak incelenmiştir. Borlanan numunelerin borür tabakası, alaşım elementlerine bağlı olarak düz ve daha ince bir yapıda olduğu görülmüş ve difüzyon süresi arttıkça bor tabaka kalınlıklarının da arttığı gözlenmiştir. Borür tabaka kalınlığı 20µm-50,6µm ve porozite bant genişliği 13,6µm-24,4µm olarak bulunmuştur. Oluşan FeB, Fe₂B, CrB, MnB gibi inter-metalik fazlar XRD analizleri sonucunda belirlenmiştir. Mekanik olarak ise yük miktarı arttıkça aşınma miktarlarının da arttığı, borlama

işlemi ile yaklaşık 1,7-10 kat aralığında aşınma direnci sağlandığı ve yüzeyden merkeze doğru sertlik değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Vickers sertlik analizleri sonucunda 1515,1-382,3 HV_{0,1} sertlik değerleri elde edilmiştir. %10 H₂SO₄ asit çözeltisinde gerçekleştirilen korozyon testinde ise 3,5-16,9 kat korozyon direnç artışı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Katı Borlama, AISI 304L Çeliği, SEM, XRD, Aşınma, Korozyon



ABSTRACT

PRODUCTION AND CHARACTERISTICS OF AISI 304L STAINLESS STEEL USED IN DEFENSE INDUSTRY WITH SOLID BORING

Birden, Abdulkadir

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Defense Technologies, MSc. Thesis

Supervisor: Dr. Öğr. Üy. Şule OCAK ARAZ

October 2018, 93 pages

Borided stainless steel has a wide range of applications, such as defense industry, biomedical applications, nuclear energy plants, food industry and chemical industry. Similarly, AISI 304L austenitic stainless steel also has a wide range of applications. AISI 304L austenitic stainless steel, which is also convenient for cost, is borided at 950 °C for 2, 4, 6 and 8 hours. Structural properties of the borided stainless steel were investigated by using scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffractometer; mechanical properties were investigated by pin on disc wear test, corrosion test with 10% H₂SO₄ acid solution and Vickers hardness test. It was observed that boride layer of the samples is straight and thinner depending on the alloy elements and the boride layer is getting thicker with the diffusion time increase. Boride layer thickness was found as 20µm-50,6µm and porosity width was found as 13,6µm-24,4µm. Formed inter-metallic phases, such as FeB, Fe₂B, CrB, MnB were designated after XRD analysis. It was determined as mechanically that, wear is increased by increasing the load, boriding increase the wear resistance about 1,7-10 times and hardness is reduced from surface to center. As a result of Vickers hardness test 1515,1-382,3 HV_{0,1} hardness level was observed. Also, 3,5-16,9 times corrosion resistance increase was seen on %10 H₂SO₄ acid corrosion test.

KEY Words: Solid Boronizing, AISI 304 L Steel, SEM, XRD, Wearing, Corrosion



TEŞEKKÜR

Bu tezin yazılması sırasında ve hayatımın her alanında yanımda olan maddi manevi desteğini her şart ve koşulda benden esirgemeyen manevi babam Sadettin Erbaş'a, manevi abim Tuğsat Şahingöz'e ve diğer tüm kardeşlerime sonsuz teşekkür ederim. Her zaman yanımda olan ve desteğini esirgemeyen, her alanda bana yardım edip yol gösteren çok değerli danışmanım ve hocam Dr. Öğr. Üy. Şule Ocak Araz'a, çok değerli hocam ve bana farklı bakış açısı katan Doç. Dr. Salih Uğur Bayça'ya, çalışmalarımda bana yardımcı olan Ar. Gör. Sefa Kazanç'a, malzeme temininde bizlere destek olan Ömer Sayılğan'a tez süresince bana bilimsel katkı sağladıkları ve yanımda oldukları için çok teşekkür ediyorum. Bu süreçte bana desteğini esirgemeyen, hayatımın her alanında her daim beni destekleyen eşim Emel Yıldırım'a, çok değerli arkadaşım Volkan Pürçek'e, genç kardeşim Deniz Sayın'a, birçok konuda yanımda olup bana destek olan Burak Türkan ve Resul Erdaş'a ayrıca hep yanımda olan, olamasa da yanımda olduğunu hissettiren can arkadaşlarıma ve kardeşlerime sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1.GİRİŞ	1
1.1.Çelikler.....	5
1.1.1. Paslanmaz Çelikler.....	9
1.1.2. Paslanmaz Çelik Çeşitleri	10
1.1.3.Alaşım Elementlerinin Çelik Yapısına Etkisi	17
1.1.4. Uygulama Alanlarına Göre Çelikler	23
1.1.5. AISI 304L Paslanmaz Çelikleri	25
1.1.6. Çeliklere Uygulanan Isıl İşlemler:	25
1.1.7. AISI 304 ve 304L Paslanmaz Çeliğinin Savunma Sanayiinde Kullanımı	27
1.2. Borlama	29
1.2.1. Borlama Yöntemleri.....	30
1.2.1.1. Katı (Kutu/Paket) Ortamda Borlama	31
1.2.1.2. Sıvı Ortamda Borlama	34
1.2.1.3. Gaz Ortamda Borlama:	37
1.2.1.4. Plazma (İyon) Borlama:	40
1.4. Borlanmış Çeliğin Nükleer Sanayiinde Kullanımı	42
1.4.1. Atom Reaktörlerinde Kullanımı.....	42
1.4.2. Nötron Absorpsiyonunda Kullanımı	46
1.4.3. Nötron İzolatörü Olarak Kullanımı	47
1.5. Borlu Paslanmaz Çelikler.....	47
1.6. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Cihazlar Hakkında Genel Bilgiler	48
1.6.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Hakkında Genel Bilgi	48
1.6.2. XRD Toz Difraktometresi Hakkında Genel Bilgi.....	49

1.6.3. Aşınma Testi Hakkında Genel Bilgi	49
1.6.4. Korozyon Testi Hakkında Genel Bilgi.....	50
1.6.5. Vickers Mikro Sertlik Testi Hakkında Genel Bilgi.....	51
1.7. Literatür Özeti	59
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	62
2.1. Malzeme Seçimi.....	62
2.2. Yöntem.....	62
2.2.1. AISI 304L Çeliğine Katı Borlama İşlemi	62
2.2.2. Zımparalama-Parlatma	63
2.2.3. X-Işınları Difraktometresi (XRD-Toz) İçin Numune Hazırlanması.....	64
2.2.4. Aşınma Testi İçin Numune Hazırlanması	64
2.2.5. Korozyon Testi İçin Numune Hazırlanması	65
2.2.6. Mikro Sertlik İçin Numune Hazırlanması.....	65
3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	66
3.1. İncelenen Alaşımın Kimyasal ve Yapısal Özellikleri	66
3.2. Kristalografik Özellikler	72
3.3. Vickers Sertlik Analizi.....	76
3.4. Korozyon Testi Sonuçları	78
3.5. Aşınma Testi Sonuçları.....	79
4. SONUÇLAR	86
KAYNAKLAR	87

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

Sayfa

1.1. 1916'da Krupp Fabrikasının Arazisinde Bulunan Büyük Bir Bertha Obüsü.....	6
1.2. Batı Cephesinde Büyük Bertha Obüsü, 1914.	6
1.3. Alman Pz. IV (ön plan) ve Pz. III (arka plan) Tankları, 1942.	7
1.4. Somme'de, I. Dünya Savaşı'nda Bir Saint-Étienne Makineli Tüfek İşleten Fransız Askerleri.....	7
1.5. Bismarck Savaş Gemisi 1940'da İşletmeye Alındıktan Kısa Bir Süre Sonra Bismarck.	8
1.6. 6 Ağustos 1945'te Japonya'nın Hiroşima Şehrinin Üzerinde Yükselen Devasa Bir Mantar Bulutu	8
1.7. Schaeffer Diyagramı.....	9
1.8.Farklı Paslanmaz Çelik Türleri İçin Krom ve Nikel Miktarları (Ç.S: Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen alaşımlar)	10
1.9. Paslanmaz Çelik Türleri ve İç Yapıları.....	12
1.10. Demir-Karbon Denge Diyagramı.....	26
1.11. Sellafield Nükleer Atık Depolama Tesislerindeki Depolama Kapları.....	28
1.12. Olkiluoto 3, Finlandiya Nükleer Santral Akümülatör Tankı.....	28
1.13. Nükleer Santrallerdeki Havuz Gömlekleri.....	29
1.14. Katı (Paket) Borlama İşleminin Şematik Görünüşü.....	31
1.15. Gaz Ortamında Borlama Ünitesinin Şematik Görünümü.....	39
1.16. Borla Kaplanan 304L Çeliği.....	48
1.17. Prototip Pin-on Disk Test Makinesinin Şematik Diyagramı.....	50
1.18. Rockwell Sertlik Ölçme Cihazı.....	52
1.19. İz Çapının Şematik Olarak Gösterilmesi.....	52

1.20. Elmas Piramit Uç.....	54
1.21. Vickers İzi.....	54
1.22. Vickers Ölçüm Cihazı.....	53
1.23. Sertlik ve Parça Kalınlığına Bağlı Olarak Kullanılan Vickers Metotları	55
1.24. Knoop Sertlik Testi Elmas Uç Çeşitleri.....	56
1.25. Shore Deney Düzeneği.....	58
2.1. Protherm Furnaces Marka Fırın.....	63
2.2. Numunelerin Parlatılmasında Kullanılan Parlatma Cihazı.....	63
3.1. AISI 304L Austenitik Paslanmaz Çeliğinin SEM Görüntüleri.....	67
3.2. 950°C’de a) 2 b) 4 c) 6 ve d) 8 Saat Borlama Yapılan AISI 304L Çeliklerinin SEM Görüntüleri.....	69
3.3. AISI 304L Çeliğine 6 Saat Borlama Yapılan Numunenin Optik Mikroskop Görüntüsü (20x).....	71
3.4. Borlama Yapılmamış AISI 304L Paslanmaz Çeliğinin XRD Grafiği	73
3.5. 950°C’de Sırasıyla a) 2 b) 4 c) 6 ve d) 8 Saat Borlanmış AISI 304L Paslanmaz Çeliğinin XRD Grafikleri	75
3.6. 950 °C’de 2, 4, 6, 8 Saat Borlanmış AISI 304L Çeliğinin Farklı Mesafeler İçin Vickers Sertlik Değerleri.....	77
3.7. a) 304L Paslanmaz Çeliği b) 2 saat c) 4 saat d) 6 saat e) 8 Saat Borlanmış 304L Çeliği 220 Mesh İriliğinde Al₂O₃ Zımpara ile 20N Yük Altında Aşınma Testlerinin SEM Görüntüleri.....	82
3.8. Borlu 304L Çeliğine 80 Meshlik Zımpara ile Uygulanan Aşınma Testindeki Aşınma Miktarları (gr).....	83
3.9. Borlu 304L Çeliğine 220 Meshlik Zımpara ile Uygulanan Aşınma Testindeki Aşınma Miktarları (gr).....	84
3.10. Borlu 304L Çeliğine 400 Meshlik Zımpara ile Uygulanan Aşınma Testindeki Aşınma Miktarları (gr).....	84

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

Sayfa

1.1. Dünya Bor Rezervlerinin Dağılımı.....	2
1.2. Türkiye Bor Rezervlerinin Bölgesel Dağılımı	3
1.3. Ülkemizdeki Bor Kimyasalları Kurulu Kapasiteleri.....	4
1.4. Bazı Paslanmaz Çelik Kaliteleri ve Kimyasal Bileşenleri.....	16
1.5. Alaşım Elementlerinin Çelik Üzerine Etkileri.....	22
1.6. Uygulama Alanlarına Göre Çelik Türleri.....	24
1.7. Katı Ortam Borlamasında Kullanılan Bazı Maddelerin Özellikleri	32
1.8. Katı Borlama Malzemeleri ve Özellikleri.....	33
1.9. Sıvı Ortam Borlamasında Kullanılan Bor Kaynakları ve Özellikleri.....	34
1.10. Gaz Halindeki Borlayıcı Bileşikler ve Özellikleri.....	37
1.11. Bazı Çeliklerin Tipik Yüzey Sertlikleri	41
1.12. Bor Ürünlerinin Kullanım Alanları	43
1.13. Bor Kimyasal ve Alaşımlarının Kullanım Alanları	44
1.13. (devam) Bor Kimyasal ve Alaşımlarının Kullanım Alanları	45
1.14. Bor, Kadmiyum ve Cd-B'nin Kıyaslaması	46
1.15. Vickers Sertlik Ölçme Metotları	53
1.16. Makro Sertlik, Mikro Sertlik ve Düşük Yük Testlerinin Yük Kademeleri.....	53
1.17. Sertlik Deneylerinin Karşılaştırılması	57
3.1. AISI 304L Çeliğinin Deneysel Çalışma Sonucunda Elde Edilen Kimyasal Kompozisyonu (% ağırlıkça).....	66
3.2. Borlama Yapılmış Numunelerin Tabaka Kalınlıkları	72
3.3. %10 H ₂ SO ₄ Asit İçerisinde 56-57 °C'de 2 ve 5 Saat Tutulan 304L ve 2, 4, 6, 8 Saat Borlanmış AISI 304L Çeliği	78

3.4. 304L Borlu Çelik Malzemenin Abrasif Aşınma Miktarları (gr).....	80
---	-----------



SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
B	Bor
Al	Alüminyum
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
C	Karbon
Cr	Krom
Cu	Bakır
Ni	Nikel
Fe	Demir
FeB	Demir borür
MnB	Mangan borür
H ₂ SO ₄	Sülfürik asit
HCl	Hidro klorür
Fe ₂ B	Demir borür
CrB	Krom monoborür
B ₄ C	Bor karbür
NH ₄ CL	Amonyum klorür
HNO ₄	Nitrik asit
SiC	Silisyum karbür
Si	Silisyum
HV	Vickers Sertliği
Mohs	Mohs sertlik skalası

1.GİRİŞ

Küresel çapta uygulanan endüstri uygulamalarında kullanılan malzemelerin sürtünme, aşınma, korozyon, parça kopması gibi etkiler sonucunda azalan, kullanım ömürlerinin artırmak suretiyle başta maliyetlerini azaltmak ve iş güvenliğini sağlayarak ihtiyaç anında istenilen ya da beklenen sonuçları almak adına malzemelerin yüzey bölgesinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Dünya çapında aşınma ve korozyona bağlı malzeme kayıpları gün geçtikçe artmakta ve tahminlerin ötesinde ülke ekonomilerine zarar vermektedir. Küresel çapta korozyon maliyetinin 2,5 trilyon dolar olduğu ve bunun da dünya üzerindeki ülkelerin gayri safi milli hasıllarının %3,4 gibi yüksek bir oran olduğu tespit edilmiştir. Ülkemizde bu oranın yaklaşık olarak %3,5-%5 civarında olduğu belirtilmektedir (Bildik, 2014). Dünya bor rezerv dağılımı Çizelge 1.1’ de gösterilmiştir.

2017 Türkiye Cumhuriyeti gayri safi milli hasılasını TUİK verileri doğrultusunda hesaplandığında 827 milyar 230 milyon TL olan 2017 hasılasının 28.953.050.000 ila 41.361.500.000 TL arasında ülkemize bir maliyet oluşturduğu görülmektedir. Çeşitli endüstriler, aşınma yönetiminin eksikliğinin çok maliyetli olabileceğini ve uygun aşınma yönetimi sayesinde, bir varlığın ömrü boyunca önemli ölçüde maliyet tasarrufu sağlanabileceğini fark etmişlerdir. Bu endüstriler içerisinde savunma sanayilerinin korozyonla ilgili durumu ise diğer endüstrilerden biraz daha farklı olarak; kullanım koşulları ve şartları doğrultusunda yüksek seviyelerdedir. 2005-2010 yılları arasında Amerika Birleşik Devletleri’nin korozyon ve aşınma için Amerikan Savunma Bakanlığı verilerine bakıldığında savunma sanayi içerisinde 88 adet projeye 63 milyar dolar kaynak sağladığı görülmektedir. Amerika Birleşik Devletleri’nin bu kaynağı aktarmasının en büyük nedenlerinden birisinin 2002 yılında Amerikan Savunma Bakanlığının yaptırdığı araştırma sonucunda korozyonun Amerikan ordusuna maliyetinin 20 milyar dolar civarında olduğunun tespit edilmesidir (Jacobson, 2016).

Birçok farklı kullanım yerine sahip olan bor ve bor türevleri endüstriyel alanda yeni sayılabilecek bir kullanım sıklığına ulaşmaktadır. Bu alanlar içerisinde en dikkat çeken kısımlardan bir tanesi de yüzey sertleştirme yöntemi olarak özellikle çeliklerin borlama ile yüzeylerinin kaplanmasıdır. Bu yöntem her ne kadar ilk kez 1895 yılında Nobel ödüllü Fransız kimyager Henri Moissan tarafından yapılsa da esas etkileşimin teknolojinin gelişimi ile birlikte 1970'ler olduğu ve yüzey sertleştirmede kullanılan borlama işleminin sanayide daha aktif kullanımına başlanması söz konusudur (Hunger ve Trute, 1994).

Ülkemizde Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü'nün 2014 verilerine göre dünya üzerindeki toplam 1.310.300 bin tonluk bor (B_2O_3) rezervinin 953.300 bin tonu ile %72,8 lik oranıyla ülkemizin dünyada alternatifsiz olduğu görülmektedir. Ülkemizde mevcudiyeti bilinen bor maden yatakları; özellikle Kestelek/Bursa, Kırka/Eskişehir ve Bigadiç/Balıkesir'de bulunmaktadır. Türkiye'deki bor rezerv dağılımı Çizelge 1.2'de gösterilmiştir. Ülkemizde en fazla bulunmakta olan bor cevherleri kolemanit ($2CaO.3B_2O_3.5H_2O$) ve tinkal ($Na_2O.2B_2O_3.10H_2O$)'dir. (Eti Maden, 2014).

Çizelge 1.1. Dünya Bor Rezervlerinin Dağılımı (Eti Maden, 2014)

ÜLKE	TOPLAM REZERV (Ton B_2O_3)	TOPLAM REZERV (B_2O_3) Yüzdesi
Türkiye	953.300.000	%72,8
Rusya	100.000.000	%7,6
A.B.D.	80.000.000	%6,1
Çin	47.000.000	%3,6
Şili	41.000.000	%3,1
Sırbistan	24.000.000	%1,8
Peru	22.000.000	%1,7
Bolivya	19.000.000	%1,5
Kazakistan	15.000.000	%1,1
Arjantin	9.000.000	%0,7
TOPLAM	1.310.300.000	%100,0

Çizelge 1.2. Türkiye Bor Rezervlerinin Bölgesel Dağılımı (Mineral Bazında) (Eti Maden, 2015)

CEVHER CİNSİ	TOPLAM (BİN TON)
EMET (Kolemanit-Üleksit)	1.815.291
KIRKA (Tinkal)	832.676
BİGADIÇ (Kolemanit-Üleksit)	631.865
KESTELEK (Kolemanit)	5.555
TOPLAM	3.285.087

Nitrürasyon, karbürleme, karbon nitrürasyon, alevle yüzey sertleştirme, CVD yöntemi vb. konvansiyonel yüzey sertleştirme işlemlerinde AISI 304L paslanmaz çeliği için 392-1570 HV'lık sıcaklığa göre değişen bir yüzey sertliği elde edilirken, borlama ile yüzey sertleştirilmesi yapıldıktan sonra 1600-2400 HV'lık sertlik değeri yanında oldukça düşük sürtünme verileri elde edilmiştir (Yovanovich, 2006).

Borlama işlemi yüksek sıcaklıktaki düşük karbonlu çelik malzemelerin yüzeyinde bor difüzyonu ile Fe_2B ve/veya FeB gibi bileşiklerin oluşturulması işlemidir.

Endüstride, daha az gevrek olması yanında borlama sonrasında ısıtıl işlemlere izin vermesi açısından Fe_2B 'den oluşan tek fazlı borür tabakası tercih edilmektedir. Ülkemizde bor kimyasalları ve eşdeğeri ürün kurulu kapasiteleri Çizelge 1.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 1.3. Ülkemizdeki Bor Kimyasalları Kurulu Kapasiteleri (Eti Maden, 2014)

ÜRÜNLER	Kurulu Kapasite (Ton /Yıl)
Boraks Pentahidrat	840.000
Öğütülmüş Kolemanit	700.000
Borik Asit	290.000
Borik Asit	95.000
Boraks Dekahidrat	80.000
Sodyum Perborat	35.000
Boraks Dekahidrat	15.000
Zirai Bor	8.000
Camsı Bor Oksit	6.000
Kalsine Tintal	5.000
Susuz Boraks	5.000
Bor Asit	2.000
TOPLAM	2.181.000

Genellikle ileri teknoloji gerektiren uygulamalar ile dünyada ticari anlamda üretilen ve farklı kullanım alanları olan yaklaşık 250'nin üzerinde özel bor ile ilişkili ürün mevcuttur. En çok kullanım alanı olan ve özel bor ürünleri olarak bilinen elementler bor, susuz borik asit, ferrobora, çinko borat, bor nitrür, bor kabür olarak sayılabilir (Boren, 2015).

Dünya genelinde endüstrilere bakıldığında endüstriyel banyo bileşimlerinin patentlerle korunup gizlendiği, akademik çalışmalarda ise ülkemizde üretilmeyen veya üretilmeyen çok pahalı bileşimlerden oluştuğu görülmektedir.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, ülkemiz kaynaklarının en üst seviyede değerlendirilmesi amacıyla, savunma sanayi ve nükleer santrallerde çokça kullanılan AISI 304L austenitik paslanmaz çeliğine, dünyada en yüksek rezervine sahip olduğumuz bor elementi ile özel ve yerli borlama ajanı toz karışımı (Baybora-1) kullanarak katı borlama ısıtma işlemi uygulanmış ve elde edilen borlu malzemelerin yapısal ve mekanik özellikleri araştırılmıştır.

1.1.Çelikler

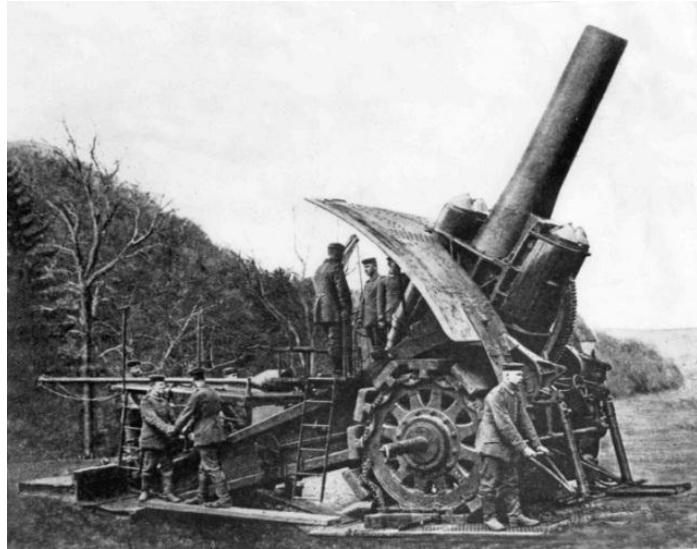
18. asırda İngiltere’de işlenmemiş demirin üretimi başlamasıyla beraber demir, farklı alanlarda da kullanılmaya başlandı. 1700’lü yıllara kadar demirin işlenmesi için fazlaca karbon elementi gereksinimi nedeniyle odun kömürü kullanılmaktaydı. Fakat Avrupa’da orman arazilerinin çok fazla azalmasıyla demirin işlenmesi zorlaşmıştır. O dönemde İngiltere’de aşırı miktarda taş kömürü mevcut olmasına rağmen yeterli miktarda karbon içermediği için taş kömürü kullanılmamaktaydı. Taş kömürü kullanmak suretiyle dünyada ilk defa kok kömürünü üretmeyi başaran kişi İngiliz Abraham Darby’dır. Ancak, bu demirin kalitesi istenilen düzeyde olmadığı için yine bir İngiliz vatandaşı olan Henry Cort 1784’de pudlalama (dökme demiri eritip oksit ortamda cürufundan ayırma) metodu ile kalitesi yüksek dövme çelik üretimini başarmıştır. Bu buluş elbette ki o zamana kadar dünyada demir işlemede tek el konumunda olan Rusya ve İsveç’in hegemonyasını kırmış bu tekeli kendi eline almıştır. Bu değişim, çeliğin tüm alanlarda hızla kullanılıp yayılmasını sağlamıştır. İngiliz mühendisler tüm dünya ülkelerinden davetler alıp bu gelişimi kendi ülkelerinde tatbik etmesini istemişlerdir. Örneğin Fransa ve Almanya gibi ülkelerin bu istekleri 1787’de kabul görüp ilk yüksek fırınlar İngilizler tarafından kurulmuşlardır (Tofur, 2017).

Yaklaşık bir asır sonra ise bu gelişimin devamı olarak Bessemer (1855 yılında), Siemens-Martin (1864 yılında), Thomas (1879 yılında) metotlarının bulunmalarıyla ham demir, sıvı durumdayken arıtılması sağlanarak dökme çelik üretimi ortaya çıkmıştır. Bu tekniklerle birlikte 18. yüzyılda dökme çelik en çok tercih edilen seçenek olmuştur. 20. yüzyılda ise elektrikle çalışan fırınların bulunmasıyla çelik üretimi pik yapmıştır. Bu pik elbette beraberinde yıkıcı bir etki de yaratmış olup 1. Dünya Savaşı’nda ve özellikle 2. Dünya Savaşı’nda insanoğlunun bu zamana kadarki en yıkıcı etkisini gözler önüne sermiştir. Bu çelik üretimiyle birlikte tanklardan (Şekil 1.3) toplara (Şekil 1.1 ve Şekil 1.2) tüfeklerden (Şekil 1.4) gemilere (Şekil 1.5) hatta nükleer bombalara (Şekil 1.6) kadar birçok savaş makinesi üretilerek yeryüzünde milyonlara sirayet edecek yıkıcı bir etki yaratmıştır. Bu gelişime ayak uyduramayan ülkeler maalesef bertaraf olurken bu gelişimin başındaki ülkeler dünya hegemonyasını sağlamıştır (Tofur, 2017).

Üretilen bu araçlardan bazıları: (Anonim, Technology of war in 1914 and Technology of war in 1914 vb., World War II, <https://www.britannica.com>) (Erişim tarihi: 27.06.2018)



Şekil 1.1. 1916'da Krupp Fabrikasının Arazisinde Bulunan Büyük Bir Bertha Obüsü.
Marc Romanych



Şekil 1.2. Batı Cephesinde Büyük Bertha Obüsü, 1914. Marc Romanych



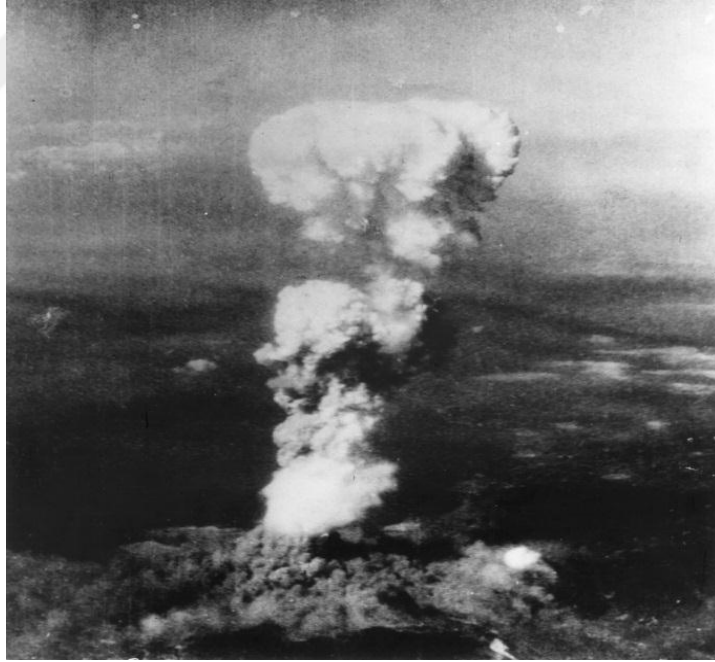
Şekil 1.3. Alman Pz. IV (ön plan) ve Pz. III (arka plan) Tankları, 1942. ABD Ordusu fotoğrafı



Şekil 1.4. Somme'de, I. Dünya Savaşı'nda Bir Saint-Étienne Makineli Tüfek İşleten Fransız Askerleri. Encyclopædia Britannica, Inc.



Şekil 1.5. Bismarck Savaş Gemisi 1940' Da İşletmeye Alındıktan Kısa Bir Süre Sonra Bismarck. Marineschule Murwik, Flensburg, Ger.

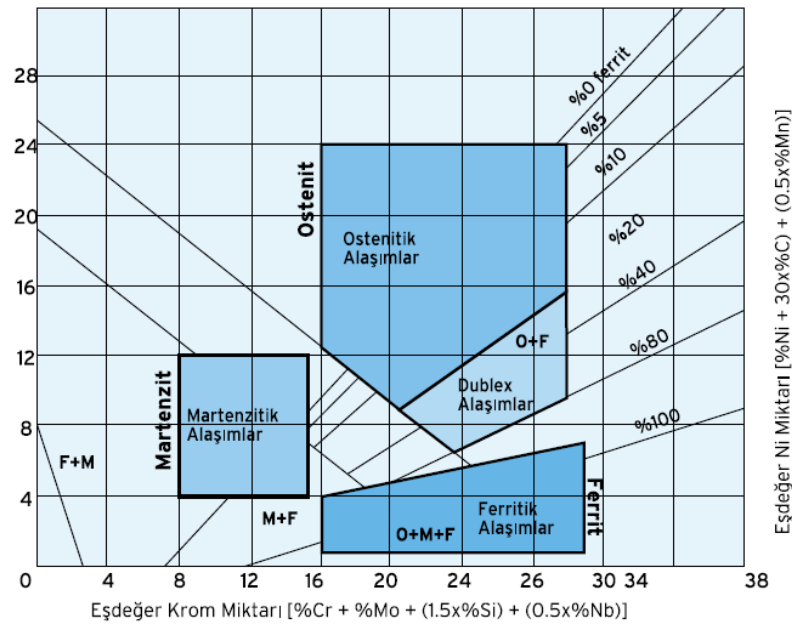


Şekil 1.6. 6 Ağustos 1945' te Japonya'nın Hiroşima Şehrinin Üzerinde Yükselen Devasa Bir Mantar Bulutu, Bir ABD Uçağının Şehre Bir Atom Bombası Atması Ve Hemen 70.000'den Fazla İnsanı Öldürmesinin Ardından Yükseldi. ABD Hava Kuvvetleri fotoğrafı

1.1.1. Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çelik, esas olarak korozyona karşı dirençlerinden dolayı kullanılan bir dizi farklı çelik için genel isimdir. Bu çeliklerin ortak paylaştıkları tek anahtar eleman, minimum %10,5 (kütle) kromdur. Korozyon direncini artırmak için diğer elementler, özellikle nikel ve molibden eklense de krom her zaman belirleyici faktördür (www.worldstainless.org, Erişim Tarihi: 25.05.2018).

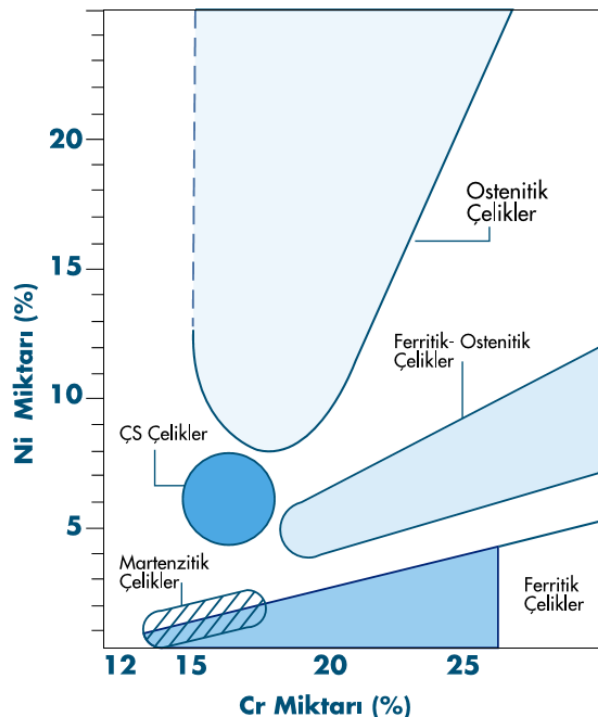
Paslanmaz çeliklerin içyapısını belirleyen en mühim alaşım elementleri önem sırası ile nikel, molibden ve mangandır. Bunlar içerisinde özellikle krom ve nikel iç yapının ferritik veya austenitik olmasını sağlar. Schaeffler diyagramı (Şekil 1.11) farklı paslanmaz çeliklerin bileşim açısından yerlerini göstermektedir. Ferrit stabilizatörleri; ferrit faz alanını genişleten krom, molibden, silikon, titanyum, vanadyum ve niyobyum gibi karbür oluşturan metallerdir. Austenite stabilizatörleri; austenite faz alanını genişleten nitrojen, mangan, nikel ve karbon gibi elementlerdir (Aran ve Temel, 2004).



Şekil 1.7. Schaeffer Diyagramı

1.1.2. Paslanmaz Çelik Çeşitleri

Paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri değiştirilerek çeşitli özelliklerde alaşımlar oluşturulabilir. Krom miktarı artırılarak ya da molibden ve nikel gibi elementler katılarak korozyon dayanımı yükseltilebilir. Bunların haricinde bakır, alüminyum, titanyum, kükürt, niyobyum, silisyum, selenyum ve azot gibi bazı elementler ile yapılan alaşımlar olumlu etkiler sağlar. (Aran ve Temel, 2004). Çeşitli çeliklerin yapıları Şekil 1.12' de gösterilmiştir.



Şekil 1.8. Farklı Paslanmaz Çelik Türleri İçin Krom ve Nikel Miktarları (Ç.S: Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen alaşımlar)

Paslanmaz elikler iç yapısına göre 5 ana grupta toplanır: ·

a- Ferritik

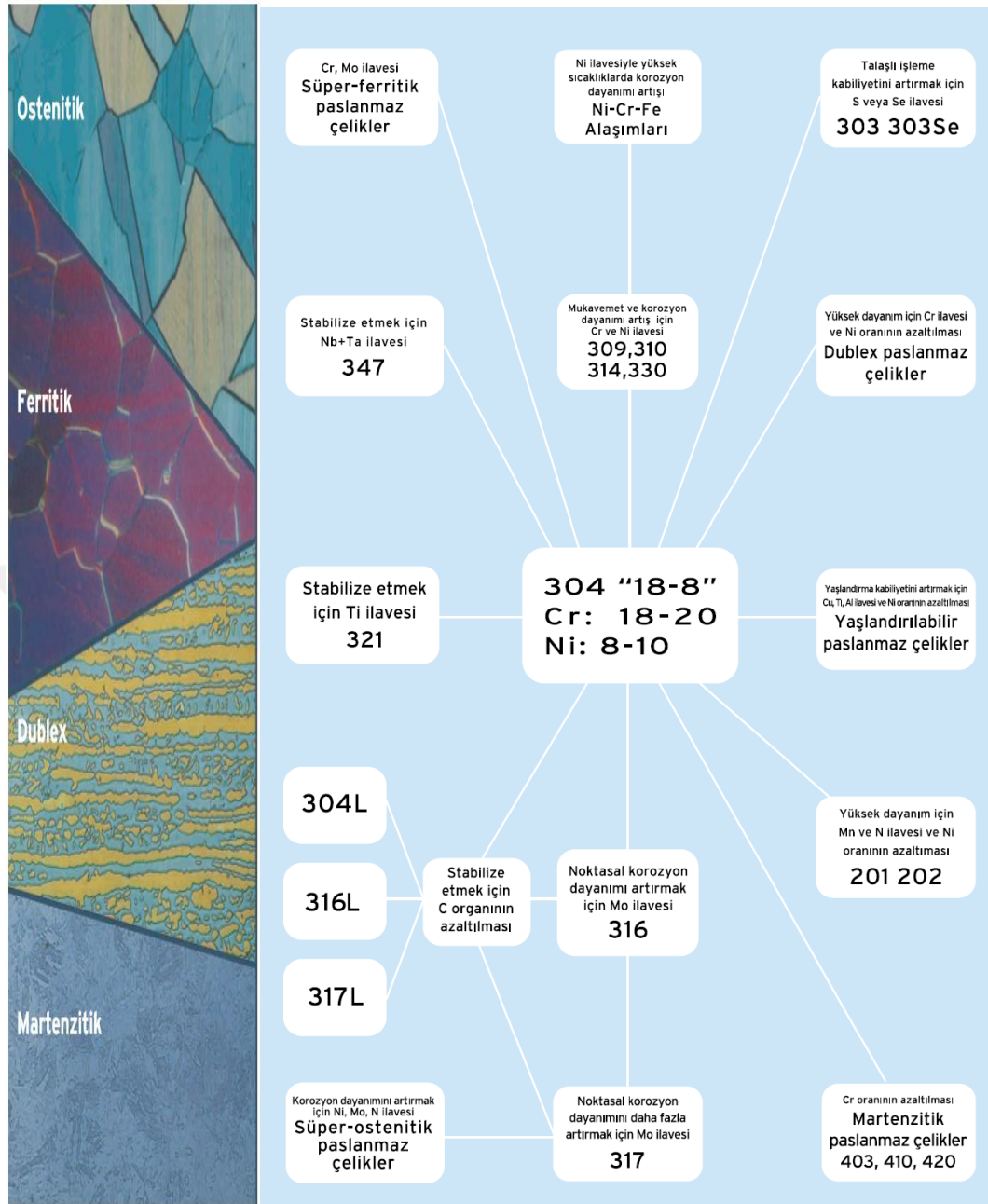
b- Martensitik

c- Austenitik

d- Ferritik-Austenitik (dubleks)

e- çökeltme sertleşmesi uygulanabilen alaşımlar.

Bu grupların içerisinde en yaygın olanları austenitik ve ferritik çelikler olup kullanım oranı tüm çeliklerin %95'ine denk gelmektedir. Şekil 1.13' de paslanmaz elik türleri ve iç yapıları gösterilmiştir.



Şekil 1.9. Paslanmaz Çelik Türleri ve İç Yapıları

a. Ferritik Paslanmaz Çelikler:

Ferritik paslanmaz çelikler, düşük karbonlu ve %12-18 krom içeren paslanmaz çeliklerdir.

Başlıca Özellikleri:

- Austenitik çelikler kadar kolay şekillendirilemezler.
- Orta ve üstü korozyon dayanımı, krom elementi miktarının artmasıyla artar.
- Manyetikler.
- Isıl işlemin, dayanıma etkisi olmaz.
- Kaynak yapılabilirlikleri düşüktür.

Bazı Kullanım Yerleri:

Sıcak su tankları, mutfak gereçleri, otomobil parçaları, dekoratif uygulamalar vs.

b. Martensitik Paslanmaz Çelikler:

Karbon miktarları % 0,1'in üzerinde olan çelikler yüksek sıcaklıklarda austenitik içyapıya sahip olurlar. Austenite sıcaklığı çeliklerin türlerine göre 950-1050°C arasında değişmektedir. Bu sıcaklıklarda tutulan çeliğe hızlı soğutma yapıldığında martensitik bir iç yapı meydana gelir. Böyle meydana getirilen bir çeliğin sertlik ve mekanik dayanımı, içerisindeki karbon yüzdesi ile orantılı artar. Ürün şekline bağlı olarak martensitik çelikler ıslah edilmiş veya tavllanmış şekilde olabilir. Tavllanmış olarak üretilen ürünler şekil verildikten sonra ıslaha (temperleme + su verme) tabi tutulur. Temperleme sıcaklığı ayarlanarak değişik özelliklerde kombinasyonlar oluşturulabilir (Aran ve Temel, 2004).

Başlıca Özellikleri:

- Manyetiklerdir.
- Orta derecede korozyon dayanımına sahiptirler.
- Kaynak işlemine uygunlukları düşüktür.
- Isıl işlem uygulandığında yüksek dayanım ve sertlikler elde edilebilir.

Bazı Kullanım Alanları:

Ameliyat aletleri, bıçaklar, pimler, miller vs.

c. Austenitik Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çeliklerin içerisinde yeterli miktarda nikel bulunursa, iç yapıları oda sıcaklığında dahi austenitik olur. Austenitik çeliklerin esas bileşimleri %8 nikel ve %18 kromdur. Bu tarz ürünler genellikle kolay şekillendirilebilmelerinin yanında, mekanik ve korozyon dayanımları bakımından oldukça iyi bir kombinasyon sunarlar. Süneklik, tokluk ve şekillendirilebilme yetenekleri düşük sıcaklıklarda dahi çok iyidir. Manyetik özellikleri olmayan bu çeliklere, austenitik iç yapıları değişim göstermediği için normalleştirme işlemleri veya sertleştirme işlemleri uygulanmaz. Mekanik dayanımları ise sadece soğuk şekillendirme yöntemi ile artırılabilir. Dünyadaki paslanmaz çelik üretimi içerisinde austenitik çeliklerin payı %70'tir. Bu %70'in içerisinde en çok kullanılan türleri ise 304 ve 304L çelikleridir (Aran ve Temel, 2004).

Başlıca Özellikleri:

- Korozyona karşı çok iyi bir dayanımına sahiptirler.
- Kaynak edilebilirlik kabiliyetleri çok iyidir.
- Sünek olmaları nedeniyle kolay şekillendirilebilirler.
- Bakımı ve temizliği kolay olması yanında hijyeniktirler.
- Yüksek sıcaklıklara tabi tutulsa dahi iyi mekanik özelliklere haizdir.
- Düşük sıcaklıklarda da mekanik özellikleri oldukça iyidir.
- Tavlanmış hâllerinde manyetik değildir.
- Dayanımları ise yalnızca pekleşme işlemi ile artırılabilir.

Bazı Kullanım Alanları:

İmalat ve Makina sanayiinde farklı uygulamalar, binalar, dış cephe kaplamaları ve asansörler, gıda işleme ekipmanları, mutfak gereçleri, mimari uygulamalar, bilgisayar klavye yayları, kimya tesisleri ve ekipmanları vs.

d. Austenitik-Ferritik (Dubleks) Paslanmaz Çelikler:

Austenitik-Ferritik (Dubleks) Paslanmaz Çelikler, (%18-28) krom ve (%4,5-8) nikel içeren çeliklerdir. Nikel miktarı en fazla %8 olup, bütün iç yapının austenitik olması için yeterli değildir. Austenit ve Ferrit fazlarından oluşan iç yapıları nedeniyle bu çelikler dubleks olarak isimlendirilir. Bu çeliklerin geneli %2,5-4 molibden elementi ihtiva eder. Bu hem iyi bir süneklik hem de iyi bir mukavemet sağlarlar. Ayrıca korozyonun fazla olduğu ortamlarda çok iyi bir yorulma dayanımına sahiptirler. Uygun şekilde yapıldığında kaynak uygulanabilirlikleri kolaydır. Genel anlamda kimyasal arıtma tesislerinde, deniz teknolojisinde veya aparat imalatında kullanılır (Aran ve Temel, 2004).

Başlıca özellikleri:

- Gerilmeli korozyonuna karşı oldukça yüksek bir dayanıma sahiptirler.
- Klor iyonlarının olmadığı ortamlarda oldukça yüksek koroziye dayanıma sahiptirler.
- Ferritik ve austenitik çeliklerden daha yüksek mekanik dayanıklılık sağlarlar.
- Oldukça iyi kaynak edilebilirler ve şekil alma kabiliyetleri yüksektir.

Bazı Kullanım Alanları:

Tuzlu su ve deniz ortamlarında, özellikle orta dereceli sıcaklıklarda, petrokimya tesislerinde ve ısı değiştiricilerinde vs.

e. Çökeltme ile Sertleşen Paslanmaz Çelikler:

Bu tarz çeliklerin kimyasal bileşimleri, bakır, tantalyum, niyobyum veya alüminyum içermeleri haricinde austenitik paslanmaz çelik türleriyle neredeyse aynıdır. Çökeltme sertleşmesinin uygulanabildiği paslanmaz çeliklerden düşük karbon içerikli olanlardan bile üstün mekanik özellikleri elde edilir.

Çökeltme ile sertleşen bu çeliklerde gerilme korozyon direnci yüksektir ve bu nedenle korozyon ve gerilmenin bir arada bulunduğu durumlarda kullanımı çok uygundur. En önemli kullanım alanları ise uzay endüstrisi ve uçaklardır.

Bazı paslanmaz çeliklerin kalite ve bileşimleri Çizelge 1.4' te verilmiştir.

Çizelge 1.4. Bazı Paslanmaz Çelik Kaliteleri ve Kimyasal Bileşenleri

BAZI PASLANMAZ ÇELİK KALİTELERİ VE KİMYASAL BİLEŞENLERİ											
ASTM	EN Malzeme No	Kimyasal Bileşim, ağı. % max.									
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Diğer
FERRİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER											
409	1.4512	0,08	1,0	1,00	0,045	0,03	10,5 - 11,75	-	-	-	(6xC)Ti
430	1.4016	0,12	1,0	1,00	0,04	0,03	16,0 - 18,0	-	-	-	-
430Ti	(1.450)	0,10	1,0	1,00	0,04	0,03	16,0 - 19,5	0,75	-	-	(5xC)Ti
439	1.4510	0,07	1,0	1,00	0,04	0,03	17,0 - 19,0	0,5			0,2+4(C+N)Ti
MARTENZİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER											
410	1.4006	0,15	1,0	1,00	0,04	0,03	11,5 - 13,0	-	-	-	-
420	1.4021	0,15 min	1,0	1,00	0,04	0,03	12,0 - 14,0	-	-	-	-
440A	-	0,6 - 0,75	1,0	1,00	0,04	0,03	16,0 - 19,5	-	0,75	-	-
440C	1.4125	0,95 - 1,2	1,0	1,00	0,04	0,03	16,0 - 18,0	-	0,75	-	-
DUBLEX PASLANMAZ ÇELİKLER											
2205*	1.4462	0,03	2,0	10,0	0,03	0,02	21,0 - 23,0	4,5 - 6,5	2,5 -3,5	0,08 - 0,2	-
329	1.4460	0,20	1,0	0,75	0,04	0,03	23,0 - 28,0	2,5 - 5,0	1,0 - 2,0	-	-
OSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER											
201	1.4372	0,15	5,5 - 7,5	1,00	0,06	0,03	16,0 - 18,0	3,5 - 5,5	-	0,25	-
301	1.4310	0,15	2,0	1,00	0,045	0,03	16,0 - 18,0	6,0 - 8,0	-	-	-
304	1.4301	0,08	2,0	1,00	0,045	0,03	18,0 - 20,0	8,0 -10,5	-	-	-
304L	1.4306	0,03	2,0	1,00	0,045	0,03	18,0 - 20,0	8,0 - 12,0	-	-	-
304LN	1.4311	0,03	2,0	1,00	0,045	0,03	18,0 - 20,0	8,0 - 12,0	-	0,1 - 0,16	
309	1.4828	0,20	2,00	1,00	0,045	0,03	22,0 - 24,0	12,0 - 15,0			
309S	1.4833	0,08	2,00	1,00	0,045	0,03	22,0 - 24,0	12,0 - 15,0			
310	1.4841	0,25	2,00	1,50	0,045	0,03	24,0 - 26,0	19,0 - 22,0			
310S	1.4845	0,08	2,00	1,50	0,045	0,03	24,0 - 26,0	19,0 - 22,0			
316	1.4401	0,08	2,00	1,00	0,045	0,03	16,0 - 18,0	10,0 - 14,0	2,0 - 3,0	-	-
316L	1.4404	0,03	2,00	1,00	0,045	0,03	16,0 - 18,0	10,0 - 14,0	2,0 - 3,0	-	-
316LN	1.4406	0,03	2,00	1,00	0,045	0,03	16,0 - 18,0	10,0 - 14,0	2,0 - 3,0	0,1 - 0,16	
316Ti	1.4571	0,08	2,00	1,00	0,045	0,03	16,0 - 18,0	10,0 - 14,0	2,0 - 3,0	-	5x(C+N)Ti
321	1.4541	0,08	2,00	1,00	0,045	0,03	17,0 - 19,0	9,0 - 12,0	-	-	(5xC)Ti
347	1.4550	0,08	2,00	1,00	0,045	0,03	17,0 - 19,0	9,0 - 13,0	-	-	(10xC)Nb
ÇÖKELME SERTLEŞME UYGULANABİLİR PASLANMAZ ÇELİKLER											
631	1.4568	0,09	1,0	1,0	0,04	0,04	16,0 - 18,0	6,5 - 7,5	-	-	0,75 - 1,5 Al
632	1.4532	0,09	1,0	1,0	0,04	0,03	14,0 - 16,0	6,5 - 7,5	2,0 - 3,0	-	0,75 - 1,5 Al

1.1.3.Alaşım Elementlerinin Çelik Yapısına Etkisi

Çelik, demir-karbon alaşımıdır. Alaşımlama işlemi, çeliğin kimyasal bileşimini değiştirmek ve karbon çeliği üzerindeki özelliklerini iyileştirmek veya belirli bir uygulamanın gereksinimlerini karşılamak için kullanılır. Farklı alaşım elementlerinin her birinin çeliğin özellikleri üzerinde kendi etkileri vardır. Alaşımlama yoluyla geliştirilebilecek özelliklerden bazıları şunlardır:

Kararlı Austenite Eldesi: Nikel, manganez, kobalt ve bakır gibi elementler, austenitin var olduğu sıcaklık aralığını artırır.

Kararlı Ferrit Eldesi: Krom, tungsten, molibden, vanadyum, alüminyum ve silikon, austenite içindeki karbonun çözünürlüğünü azaltma etkisine sahip olur. Bu, çeliğin içindeki karbür miktarında bir artışa neden olur ve austenitenin mevcut olduğu sıcaklık aralığını azaltır.

Karbür oluşturma: Krom, tungsten, molibden, titanyum, niyobyum, tantal ve zirkonyum gibi birçok küçük metal, çelikte sertliği ve mukavemeti arttıran güçlü karbürler oluşturur. Bu tür çelikler genellikle yüksek hız çeliği ve sıcak iş takım çeliği yapmak için kullanılır.

Grafitleme: Silikon, nikel, kobalt ve alüminyum, karbürlerin çeliğin kararlılığını azaltarak parçalanmalarını ve serbest grafit oluşumunu teşvik edebilir.

Ötektoid konsantrasyonunun azalması: Titanyum, molibden, tungsten, silikon, krom ve nikel, karbonun ötektik konsantrasyonunu düşürür.

Korozyon direncinin artırılması: Çelik yüzeyinde alüminyum, silikon ve krom form koruyucu oksit tabakaları vardır, böylece metal, bazı ortamlarda daha fazla bozulmalara karşı korunur. (Bell, 2014)

Karbon Çeliği: Alaşım oluşturan elementlerin bir ya da daha fazlasının çeliğin içerisindeki değerleri, minimum Mn için %1,65 ve Si için %0,60 geçmiyorsa ve

bileşiminde bir başka alaşım oluşturan elementin bulunması istenmiyorsa bu çeliklere karbon çeliği denir.

Alaşımlı Çelik: Karbon çeliklerinden sağlanamayan kendine münhasır özellikler için, bir veya birden fazla alaşım elementi ilave edilerek elde edilen çeliklere alaşımlı çelik denir. Bu çeliğin içinde %1,65'den fazla MN ve %0,60'dan fazla Si mevcuttur. Ayrıca Ni, Co, B, W, Ti, Mo, Cr, V, Al, Zr elementlerinden birini veya birkaçını içerirler.

Alaşım elementlerinin çeliğe kazandırdığı özellikler genel olarak şu şekilde sıralanabilir;

- Dayanım ve sertliği artırır,
- Sertleştirmeyi kolaylaştırır,
- Korozyona karşı dayanımı artırır,
- Manyetislanmayı artırır,
- Yüksek sıcaklığa karşı dayanımı artırır,
- Elektrik direncini değiştirir,
- Aşınma direncini artırır,
- Isı tesiri ile genleşmeyi değiştirir.

Bu özelliklerin değiştirilmesiyle beraber çeliklerin işlevleri değişir ve sınıflandırılmaya başlanır.

Aşağıda yaygın olarak kullanılan alaşım elementleri ve bunların çelik üzerindeki etkileri verilmiştir.

Karbon (C): Çeliğin ana elementidir. C miktarındaki artış, çelikte sıcak haddeleme ya da normalize edilmiş haldeki haliyle çekme ve sertlik dayanımlarını artırmaktadır. Ancak kaynak edilebilme, kesilme özelliğini, esnekliğini ve dövülmesini zayıflatır.

Mangan (Mn): Demir sülfürlerin oluşumunu ortadan kaldırarak yüksek sıcaklıklarda mukavemeti artırır. Manganez ayrıca sertleştirilebilirliği, sünekliği ve aşınma

direncini artırır. Nikel gibi, manganez de austenite yapı oluşturan elementlerdendir. AISI 200 serisi austenite paslanmaz çeliklerde nikel yerine kullanılabilir.

Silisyum (Si): Çeliklerde özgül ağırlığı artırır. Tüm çeliklerde bulunur. Çeliklerde silisyum esnekliği negatif yönde etkilese de beherin %1 artışı için çekme dayanımlarını 10 kg/mm², akma dayanımlarını yine aynı oranda 10 kg/mm² artırır. %14 silisyum olduğunda ise kimyasal tepkimelere çok dayanıklı olduğundan, bu çeliklere dövme işlemi uygulanamaz.

Fosfor (P): Fosfor; genelde zararlıdır, yüksek nitelikteki çelikte en fazla %0,030 ila %0,050 arasında tutulur.

Krom (Cr): Paslanmaz çeliklerin önemli bir bileşenidir. %12'den fazla krom içeren çeliklerde korozyon direncini önemli ölçüde artırır. Metalin ayrıca sertleştirilebilirliğine, mukavemetine, ısıl işlemine ve aşınma direncine verdiği cevabı artırır.

Nikel (Ni): Paslanmaz çelikler için kritik olan diğer bir alaşım elemanı olan nikel; dayanıklılığı, darbe mukavemetini ve tokluğu artırmasının yanında, oksidasyon ve korozyona karşı direnci de artırır. Ayrıca, küçük miktarlarda eklendiğinde düşük sıcaklıklarda tokluğu artırır.

Molibden (Mo): Paslanmaz çeliklerde az miktarda bulunan molibden, özellikle yüksek sıcaklıklarda sertleşebilirliği ve mukavemeti artırır. Genellikle krom-nikel austenitik çeliklerde kullanılan molibden, klorürlerin ve sülfür kimyasallarının neden olduğu çukur korozyona karşı koruma sağlar.

Vanadyum (V): Titanyum ve niyobyum gibi, vanadyum da yüksek sıcaklıklarda mukavemeti artıran kararlı karbürler üretebilir. İnce taneli yapıyı teşvik ederek süneklik korunabilir.

Niobyum (Nb): Sert karbürler oluşturarak karbonun kararlı olmasını sağlar ve bu nedenle yüksek sıcaklıkta çeliklerde bulunur. Küçük miktarlarda niyobyum, akma

dayanımını daha düşük bir dereceye kadar sağlar, çeliklerin gerilme mukavemetini önemli ölçüde artırır ve orta derecede çökelme kuvvetlendirici etkisine sahiptir.

Titanyum (Ti): Austenite tane boyutunu sınırlarken hem mukavemet hem de korozyon direncini artırır. %0.25-0.60 titanyum içeren alaşımlarda, karbon ile birleşerek kromun tane sınırlarında kalmasına ve oksitlenmeye karşı koyabilmesine olanak tanır. Ayrıca düşük karbonlu borlu çeliklerde bor ilavesi için kullanılır.

Kobalt (Co): Yüksek sıcaklıklarda ve manyetik geçirgenlikte mukavemeti artırır.

Alüminyum (Al): Bir oksijen giderici elementtir. Austenite tanelerinin büyümesini sınırlamak için kullanılır.

Bor (B): Deforme olabilirliği, işlenebilirliği ve sertleştirilebilirliği artıran bir elementtir. Borun çeliğe sertleşme etkisi vermesi için çok küçük miktarlarda eklenmesi gerekir. Bu küçük ekleme çelikleri oldukça fazla sertleştirir. Bor eklenmesi düşük karbonlu çeliklerde çok etkilidir.

Bakır (Cu): Genelde çeliklerde artık madde olarak bulunur. Ayrıca çökelti sertleştirme özelliklerini üretmek ve korozyon direncini artırmak için eklenir.

Azot (N): Nitrür oluşturarak sertliği artırır. Nitrürasyon sayesinde 1100 VSD'ye kadar sertlik elde edilir. Korozyona karşı dayanımı ve mekanik dayanıklılığı artırmasına karşılık yaşlanma meydana getirir. Paslanmaz çeliğin austenitik kararlılığını ve akma dayanımını artırır.

Kurşun (Pb): Sıvı veya katı çelikte neredeyse çözünmez olmasına rağmen, bazen işlenebilirliği geliştirmek için dökme sırasında mekanik dağıtma yoluyla karbon çeliklere eklenir.

Fosfor (P): Fosfor genellikle düşük alaşımlı çeliklerde işlenebilirliği geliştirmek için kükürt ile eklenir. Ayrıca mukavemet kazandırır ve korozyon direncini artırır.

Selenium (Se): Çeliğin işlenebilirliğini artırır.

Silikon (Si): Bu metaloit mukavemeti, elastikiyeti, asit direncini artırır ve daha büyük tanecik boyutlarıyla sonuçlanır. Böylece daha fazla manyetik geçirgenliğe sahip olur. Silikonun çelik üretiminde bir deoksidasyon maddesi içinde kullanılması nedeniyle, hemen hemen her çelik sınıfında bir miktar (%0,2 – 2,0) bulunur.

Sülfür (S): Yeterli miktarlarda eklendiğinde (%0,08-0,15), kükürt sıcak işlemede işlenebilirliği artırır. Manganez sülfürün, demir sülfitten daha yüksek bir erime noktasına sahip olmasından dolayı manganez sıcaklığının eklenmesiyle daha da azalır.

Tungsten (W): Kararlı karbürler üretir ve özellikle yüksek sıcaklıklarda sertliği artırmak için tane boyutunu hassaslaştırır. Yüksek sıcaklıklarda sertlik değerini kaybetmeyen matkap uçları veya kesiciler için yüksek hız takım çelikleri yapmak için kullanılır.

Zirkonyum (Zr): Mukavemeti artırır ve tane büyüklüğünü sınırlar. Mukavemet çok düşük sıcaklıklarda (özellikle donma noktasının altında) artırılabilir. Çelik, %0.1 kadar düşük zirkonyum içermesiyle daha küçük tanecik boyutlarına sahip olur ve kırılmaya karşı direnç gösterir (Bell, 2014).

Alaşımlar elementlerinin çelikler üzerindeki genel etkisi Çizelge 1.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 1.5. Alaşım Elementlerinin Çelik Üzerine Etkileri

ALAŞIM ELEMANLARININ ÇELİK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ									
ELEMENT VE SİMBOLÜ	KATI ÇÖZÜNÜRLÜK		FERRİT ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	OSTENİT ÜZERİNDEKİ ETKİSİ (Sertleşebilirlik)	KARBÜR YOLUYLA ETKİ		ELEMENTİN TEMEL İŞLEVİ		
	İÇERİSİNDEKİ GAMA Fe	İÇERİSİNDEKİ ALPHA Fe			KARBÜR OLUŞTURMA EĞİLİMİ	SICAKLIK SIRASINDA EYLEM			
Alüminyum (Al)	% 1,1 (karbon artışı)	% 36 ±	Katı çözelti ile önemli ölçüde sertleşir.	Östenit içinde çözülmüş ise sertleşebilirliği hafifçe artırır.	Gratiteştir.	—	a. Deoksizör olarak kullanılır. b. Tane büyümesini sınırlar. c. Nitrülenebilir çeliklerde alaşım elementi.	ELEMENİN TEMEL İŞLEVİ	
Krom (Cr)	% 12,8 (% 0,5-% 20 C çeligi)	Sınırsız	Hafifçe sertleşir, artan korozyon direnci.	Manganez benzeri sertleştirilebilirliği orta derecede artırır.	Mn' den daha büyük W.	Hafifçe yumuşar.	a. Korozyon ve oksidasyon direncini artırır. b. Sertleşebilirliği artırır. c. Yüksek sıcaklıkta mukavemeti artırır. d. Yüksek C ile aşınma ve aşınma direnci sağlar.		
Kobalt (Co)	Sınırsız	75%	Katı çözelti ile önemli ölçüde sertleşir.	Çözünülebilirliği çözülmüş olarak azalır.	Fe ile benzer.	Katı çözeltilerle sertliği korur.	a. Ferriti sertleştirerek katı sertliğe katkıda bulunur. b. Yüksek hızlı çeliklerde alaşım elementi.		
Manganez (Mn)	Sınırsız	3%	Sertleşir, süneklik biraz azalır.	Mn ile benzer.	Fe' den daha büyük, Cr' dan daha az.	Çok az etkilidir.	a. Kırılganlığın etkisini azaltır. b. Sertleştirilebilirliği ucuz bir şekilde artırır. c. Yüksek Mn, yüksek C ile aşınmaya ve aşınmaya dayandıkları çelikler üretir.		
Molibden (Mo)	% 3 (% 0,5 C çelik % 8 ile)	% 37,5 (azalmış sıcaklıkta daha az)	Yüksek Mo-Fe alaşımlarında yaşlandırma etkisi.	Sertleştirilebilirliği güçlü bir şekilde artırır.	Güçlü, Cr' dan daha büyük.	İkincil	a. Östenitin tane kalınlığını artırır. b. Sertleşme derinliğini artırır. c. Sıcaklığı artırır ve süne dayanımı kızıl sertliği artırır. d. Paslanmaz çeliklerde korozyon direncini artırır. e. Parçacıkları aşınma dayanımını geliştirir.	ELEMENİN TEMEL İŞLEVİ	
Nikel (Ni)	Sınırsız	C içeriginden % 10 bağımsız	Katı çözelti ile güçlendirir ve sertleşir.	Sertleştirilebilirliği biraz artırır, daha yüksek karbon ile östenit oluşumunu artırır.	Fe daha az gratiteştir.	Çok az etkilidir.	a. Söndürülmemiş veya tavllanmış çelikleri güçlendirir. b. Ferriti-ferritik çelikler (özellikle düşük sıcaklıklar) sertleştirir. c. Yüksek Cr / Fe alaşımları östenitik oluşturur.		
Fosfor (P)	% 0,5	C içeriginden % 2,8 bağımsız	Katı çözelti ile kuvvetlice sertleşir. Gevrekliği indükleyen sünekliği düşürür.	Mn' ye benzeri sertleşmeyi artırır.	Sıfır.	—	a. Düşük C çeliklerini güçlendirir. b. Atmosferik korozyona karşı direnci artırır. c. Serbest kesim çeliğinde işlenebilirliği artırır.		
Silikon (Si)	Yaklaşık % 2 (yaklaşık % 0,35-% 9 C ile)	% 18,5 (karbonun etkisi azdır)	Süneklik kaybı ile sertleşir.	Sertleştirilebilirliği Ni' den daha fazla artırır.	Negatif anlamda gratiteştir.	Katı çözeltiyle sertliği korur.	a. Deoksidan olarak kullanılır. b. Elektrik ve manyetik çelikler için alaşım. c. Oksidasyon direncini artırır. d. Düşük alaşımı çelikleri güçlendirir.		
Titanyum (Ti)	% 0,75 (yaklaşık % 0,2-% 1 C çeligi ile)	Yaklaşık % 0,6 (daha düşük sıcaklıklarda daha az)	Yüksek Fe-Ti alaşımında yaş sertleşir.	Muhtemelen sertleşebilirliği çok güçlü bir şekilde çözümler; Karbür etkileri sertleşebilirliği azaltır.	Büyük en güçlü (% 2 Ti, % 0,5 C sertleştirilebilir çelik)	Bazı ikincil sertleştirme.	a. İnert parçacıklarda karbon dengeliyici. b. Orta Cr çeliklerde martensitik sertliği ve sertliği azalır. c. Yüksek Cr çeliklerde östenit oluşumunu önler. d. Uzun istima dönemlerinde paslanmaz çeliklerde yerleşmiş Cr miktarının azalmasını önler.	ELEMENİN TEMEL İŞLEVİ	
Tungsten (W)	% 6 (% 0,25-% 11 C ile)	% 33 (daha düşük sıcaklıkta daha az)	W-Fe alaşımlarında yaş sertleştirme sistemi.	Küçük miktarlarda sertliği güçlü bir şekilde artırır.	Kuvvetli.	İkincil sertleştirme ile yumuşamaya	a. Takım çelikleri, yüksek hızlı çeliklerde sert, aşınmaya dayandıkları parçacıklar oluşturur. b. Kızıl sertliği ve sıcak mukavemetini destekler.		
Vanadyum (V)	Yaklaşık % 1 (% 0,2-% 4 C çelik ile)	Sınırsız	Katı çözeltilerle orta derecede sertleşir.	Çözünülebilirliği çok güçlü bir şekilde artırır.	Çok güçlü.	İkincil sertleştirme için maksimum seviyeye çıkar.	a. Östenitin kaba taneceklerinin kalınlığını sağlayan ince taneleri teşvik eder. b. Çözünürken sertleşebilirliği artırır. c. Temperlemeneye karşı direnç gösterir ve ikincil sertleşmeye neden olur.		

1.1.4. Uygulama Alanlarına Göre Çelikler

Çelikler, %0,02 ile %2 aralığında karbon elementi içerir. Genel anlamda çelikler içerdikleri karbon oranına göre üç ayrı kısma ayrılırlar. İçlerinde %0,25'e kadar karbon içerenler düşük karbonlu, %0,25 – 0,55 arasında orta karbonlu ve %0,55-2 arasında ise yüksek karbonlu çelikler olarak sınıflandırılırlar. Diğer yandan %0,8 karbon elementi içeren çelikler ötektoid çelik olarak isimlendirilir ve bu çelikler austenite sıcaklığından yavaşça ötektoid sıcaklığın altına soğutulması ile tamamı α -ferrit ve sementitten (Fe_3C) oluşan bir yapıdır. Çelik; %0,8'den az karbon elementi içermesi halinde ötektoid altı çelik, %0,8'den fazla ise ötektoid üstü çelik adını alır (Ekinici, 2011; Höke, 2014).

Endüstriyel alanda kullanılabilirliğini artırmak için çeliklerin çeşitli gruplar altında toplanmış olmaları, onların hangi alanda (Çizelge 1.6), ne için kullanılacağına seçimini kolaylaştırmaktadır (İpek, 1999).

Çelikler; üretim metotları ve kullanım alanlarına göre şu şekilde ayrılmışlardır.

- i. Takım çelikleri
- ii. Otomat çelikleri
- iii. Yay çelikleri
- iv. İmalat çelikleri
- v. Sementasyon çelikleri
- vi. Paslanmaz çelikler
- vii. Islah çelikleri

Çizelge 1.6. Uygulama Alanlarına Göre Çelik Türleri (Demirok, 2008)

	Malzeme Numarası	DIN	SAE AISI	Kullanıldığı Yerler	
İMALAT ÇELİKLERİ	1.0401	C 15	1010	Cıvata, somun, delme ve frezeleme aparatları gövde ve şablonları	
	1.0402	C 22	1020		
	1.0532	St 50-2	1030		
	1.0570	St 52-3	-	Dişli çarklar, kazmalar cer kancaları v.s.	
	0.0577	St 52			
	1.0501	C 35			1040
	1.0503	C 45			1045
	1.1191	Çk 45			1043
	1.1210	C 53	1050	Dişli çarklar, çok fazla gerilmeli torna parçaları yağda sertleşebilir. Oto dişlileri krank milleri v.s.	
	1.0601	C 60	1060		
	1.0603	C 67	1070		
	1.0605	C 75	1080		
İSLAH ÇELİKLERİ	1.7033	34 Cr 4	5130	Yüksek direnç gösteren makine parçaları, keskil, bıçaklar v.s.	
	1.7035	41 Cr 4	5140		
	1.7218	25 CrMo 4	4130		
	1.7225	42 CrMo 4	4140		
	1.7228	50 CrMo 4	4150		
	1.6546	40 NiCrMo 2	8640	Üst yüzey sertleşmesi gereken parçalar, akslar, giyotin bıçakları	
	1.6582	34 CrNiMo 6	4340		
	1.8159	50 CrV 4	6150		
SEMENTASYON ÇELİKLERİ	1.5755	31 NiCr 14	3330	Küçük boyutlu pinyon dişliler Büyük boyutlu pinyon dişliler	
	1.5752	14 NiCr 4	3315		
	1.5919	15 CrNi 6	3115		
	1.5920	18 CrNi 8	-		
	1.7131	16 MnCr 5	5115		
	1.7147	20 MnCr 5	5120		
	1.6523	21 NiCrMo 2	8620	Dişli çarklar, orta dayanımlı parçalar	
YAY ÇELİKLERİ	1.0904	55 Si 7	9255	Basma yayları, çekme yayları, yaylı rondelalar, çanak yaylar	
	1.0906	65 Si 7	-		
	1.0908	6 Si 7	9260		
	OTOMAT ÇELİKLERİ	1.0711	9 S 20	1117	Hızlı otomatlar, yumuşak çelik, dinlendirilmeden döküm ıslah çelikleri
1.0715		9 SMn 36	-		
1.0726		35 S 20	1137		
SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİKLERİ		1.2436	X 210 CrW 12	D6	Kesme takımları, talaşlı imalat takımları, makine bıçakları, ölçü aletleri, plastik işleme takımları, keskil, çapak alma takımları
	1.2601	X 165 CrMoV 12			
	1.2379	X 155 CrVMo 121	-		
	1.2210	115 CrV 3	D2		
	1.2510	100 MnCrW 4	L2		
	1.2842	90 MnCrV 8	D1		
	1.2542	45 WCrV 7	D2		
	1.2080	X 210 CrW 12	S1		
SICAK İŞ TAKIM ÇELİKLERİ	1.2343	X 38 CrMoV 51 X 40	H11	Sıcak kesme takımları, delici zimbalar, kalıplar, kalıp ve boru presleri, pres mandrenleri, pres takımları	
	1.2344	CrMoV 51 X 32	H13		
	1.2365	CrMoV 33 55	H10		
	1.2713	NiCrMoV 6 56	L6		
	1.2714	CrNiMo 7 X 30 WCrW 53			
	1.2567				
HAVA ÇELİKLERİ	1.3207	S 10-4-3-10	-	Helisel matkaplar, klavuzlar, raybalar, havşa matkapları, daire testere, freze bıçakları	
	1.3343	S 6 S 2	M2		
	1.3243	S 65-2-5	M41		
PASLANMAZ ÇELİKLER	1.4006	X 10 Cr 13	410	Yüksek mukavemet gereken yerler	
	1.4021	X 20 Cr 13	420		
	1.4301	X 5 CrNi 189	304	Su ve buhar etkilerine malzemelerin yapımında dayanıklı	
	1.4435	X 2 CrNiMo 1812	316 L		
	1.4841	X 15 CrNiSi 2520	310		

1.1.5. AISI 304L Paslanmaz Çelikleri

AISI 304L kalite paslanmaz çelik ile AISI 304 çeliği arasındaki fark, karbon element miktarının %0.03'ten az olmasıdır. AISI 304 ve 304L kalite paslanmaz malzemelerin birbirleri yerine kullanılması yaygın olsa da 304L paslanmaz çeliğin tercih edilmesi karbon karbürlenmesini ortadan kaldırmak açısından daha fazla tercih edilmektedir. Karbon oranının düşük olması, malzeme işlenişi sırasında meydana gelen aşırı sıcaklığın yarattığı olumsuz etkilerden en az şekilde etkilenip, karbürlenmesini en aza indirir. Özetle AISI 304L paslanmaz çeliğin düşük karbon içermesi, daha rahat kaynak uygulanabilmesi açısından da önem arz etmektedir. Paslanmaz 304L çeliği karbon karbürlenmesinin mekanik özellikleri kısa vadede etkilemez, ancak ısı nedeniyle korozyona karşı direnç kaybı oluşturur ve bunun sonucunda uzun vadede paslanma gözlenmeye başlar. Bu olayı engellemek için "low carbon" (düşük karbon) yani "L" ile gösterilen paslanmaz çelik kaliteleri tercih edilir. 304L kalite paslanmaz çeliğin krom karbür fazlarının mevcut olmayışı sebebiyle işlenebilirliği, 304'e göre biraz daha kolaydır (Anonim, 304L Paslanmaz Çelik, <https://bircelik.com/tr/kategori/304l-1-4307>, Erişim Tarihi: 25.06.2018).

1.1.6. Çeliklere Uygulanan Isıl İşlemler:

Isıl işlemlerin amacı; kontrollü bir tavlama ve soğutma işlemiyle çelikte, kullanım yerine en uygun bir mikroyapı meydana getirerek istenen fiziksel ve mekanik özelliklerin elde edilmesidir (MKE Yayınları, 1978).

Isıl işlem parametreleri (Anonim, 1990; Demirci, 2004).

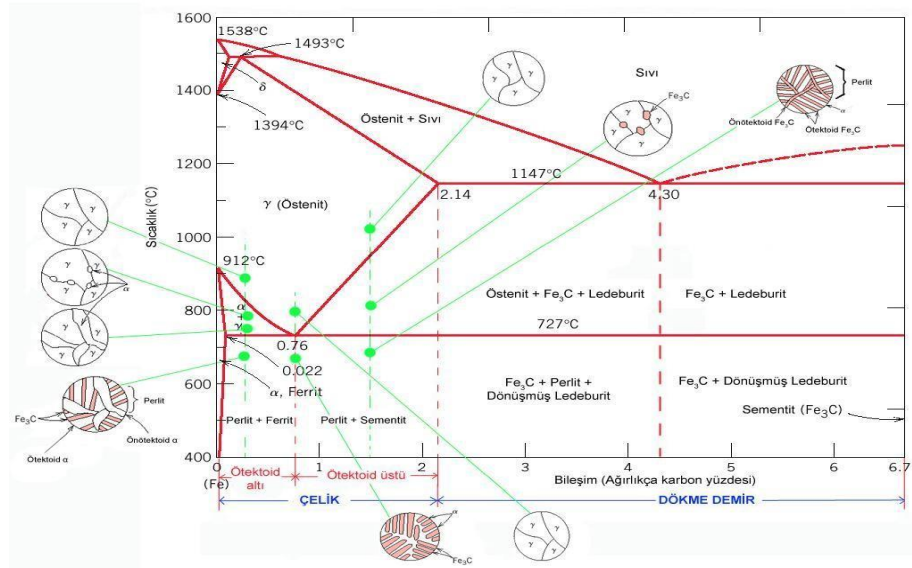
- a) Sıcaklıkta tutma süresi (t [h])
- b) Basınç (p [Pa])
- c) Sıcaklık (T [$^{\circ}\text{C}$])
- d) Soğutma hızı (V_s [$^{\circ}\text{C/s}$])

Çeliklerin ısıtılma özelliklerinin belirlenmesinde en önemli özellikleri aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

- a) Isıl işlem sonrası mekanik özellikler
- b) Çeliğin kullanıldığı yer
- c) Çelikteki C elementi oranı
- d) Diğer alaşım elementlerinin çelikteki yüzdesi
- e) Isıl işlem olmaksızın mekanik özellikler
- f) Kullanım alanında maruz kalınacak zorlamalar.

Isıl işlem kademelerinde önemli olan arzu edilen fiziksel veya mekanik özellikleri sağlamlasında, birinin meydana getirdiği fiziki özelliği bir diğerinin tamamen yok etmemesidir (İnem, 1998).

Malzemenin ihtiva ettiği karbon miktarı dönüşüm sıcaklıklarına bağlıdır. Ancak dönüşümler için sıcaklık değeri önceden belli değildir. Dönüşüm sıcaklıkları ancak demir-karbon denge diyagramındaki (Şekil 1.7) eğrilerle belirtilebilir (Weissbach, 2000).



Şekil 1.10. Demir-Karbon Denge Diyagramı (Ay ve Kapusuz, 2008)

Çelik parçalarına işlevsellik kazandırmak için yapılan ana ısıt işlemlerini şu şekilde sıralamak mümkündür (Çakır, 1982).

- Kabuk sertleştirme
- Tavlama
- Menevişleme
- Sertleştirme
- Yüzey sertleştirme

1.1.7. AISI 304 ve 304L Paslanmaz Çeliğinin Savunma Sanayiinde Kullanımı

Paslanmaz çelik üretimin önemli bir çoğunluğunu austenitik paslanmaz çelikler oluşturur. Bu çelikler, düşük sıcaklıklarda bile şekillendirilebilme, sertlik ve süneklik özelliklerinden dolayı hemen hemen her sektörde kullanılmaktadırlar. Savunma sanayiinde ise özellikle nükleer santraller olmak üzere birçok alanda uygulama alanı mevcuttur.

Nükleer atık tesislerinde ana bileşen yapı malzemesi, AISI 304 L SS - 304 L (N) austenitik paslanmaz çeliklerdir. Bunun yanında nötron kalkanı olarak kullanılan 304B4 SS (~%1 Boron) ve 304B7 SS (~%2 bor) alaşımları nötron ışımlarına karşı absorban olarak kullanılmaktadır (Rao, 2010).

Aşağıda AISI 304L austenitik paslanmaz çeliğinin kullanım alanlarına örnekler gösterilmiştir.

- Sellafield Nükleer Atık Depolama tesisleri (Şekil 1.8) gibi özellikle deniz kenarlarındaki tesislerde atık depolama kaplarında 304L austenitik paslanmaz çeliği kullanılmak suretiyle 50-150 yıl (bazen daha uzun) nükleer atık depolanmasında kullanılır.



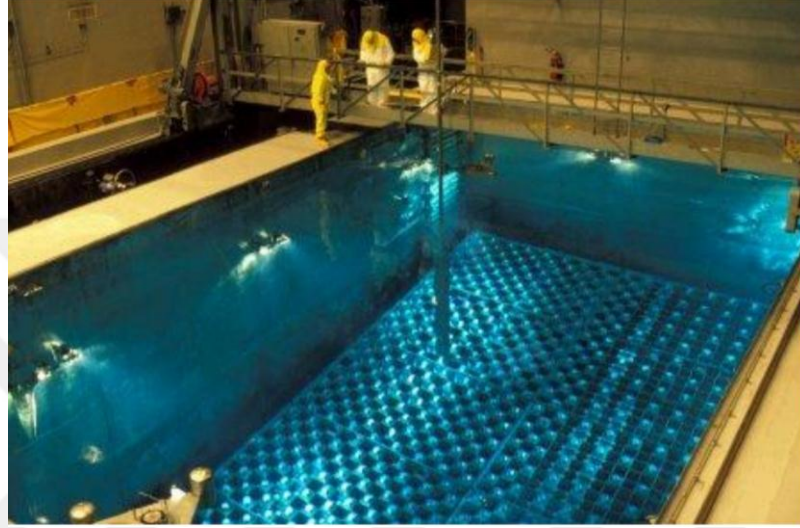
Şekil 1.11. Sellafield Nükleer Atık Depolama Tesislerindeki Depolama Kapları (Backhouse, 2015, www.twi-global.com/EasySiteWeb/GatewayLink.aspx?alId=3792807, Erişim tarihi: 17 Haziran 2018)

- QinShan Aşama II, Çin ve Olkiluoto 3, Finlandiya'daki gibi tesislerde Nükleer Santral Akümülatör Tankları Reaktör tipi PWR olanlarda 304L çeliği kullanılmaktadır (Z2 CN19-10 Az (QC2) ve Kobalt %0,06 ile birlikte). Bu akümülatör tankı Şekil 1.9'da gösterilmiştir.



Şekil 1.12. Olkiluoto 3, Finlandiya Nükleer Santral Akümülatör Tankı (Backhouse, 2015, www.twi-global.com/EasySiteWeb/GatewayLink.aspx?alId=3792807, Erişim tarihi: 17 Haziran 2018)

- Nükleer enerjide kullanılan yakıtın kullanımı sonrası ömrü tükenmiş yakıt deposu-havuz gömleklerinde (Şekil 1.10) 304L paslanmaz çelik malzeme kullanılır. Ayrıca yeniden işlemeyden önce (veya uzun süreli kuru depolamadan sonra) kullanılmış nükleer yakıtın depolanması için havuz gömleklerinde kullanılır.



Şekil 1.13. Nükleer Santrallerdeki Havuz Gömlekleri (Backhouse, 2015, www.twi-global.com/EasySiteWeb/GatewayLink.aspx?allId=3792807, Erişim tarihi: 17 Haziran 2018)

1.2. Borlama

Borlama, metale difüzyon ile oluşturulan yüzey sertleştirme işlemidir. Borla yüzey sertleştirmek, borun yüksek sıcaklıklarda çeliğe difüzyon durumudur. Demir ve demir-dışı birçok alaşımla sinter karbür ve seramik malzemeye uygulanabilir. Bor kaplanacak malzemeler, yapılarına göre 700 °C ile 1000 °C aralığındaki sıcaklıkta, yaklaşık olarak 1-12 saat arasında katı, gaz, macun (pasta) veya sıvı fazındaki bor verici ortamlarda bekletilerek uygulanan bir işlemdir (Çalık ve Özsoy, 2002).

Borlamanın en önemli özelliği yüzeylerde; yüksek sertlik, ideal oksidasyon direnci, yüksek korozyon direnci ve yüksek aşınma direnci göstermesidir. Makine sanayiinde korozyon ve aşınmadan kaynaklanan kayıplar hesaba katıldığında borlama işlemiyle yüzey dayanımı yüksek parçalar üretilerek, uzun ömürlü ve düşük maliyetli ürünler üretilir (Bindal ve Üçışık, 1999).

1.2.1. Borlama Yöntemleri

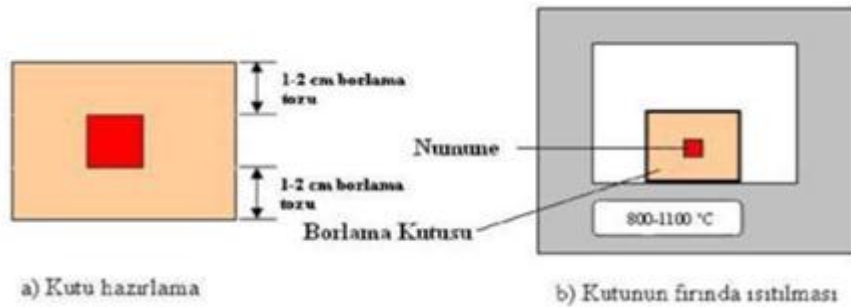
Borlama işlemi, yapısal çelikler, sementasyon çeliği, takım çeliği, ıslah çeliği, gri dökme demir, çelik döküm çeliklerine uygulanmaktadır. Demir esaslı metallerle başka elementleri ve bileşikleri de borla kaplamak mümkündür. Alaşım ihtiva eden çeliklerdeki borlu tabaka, kafesteki Fe atomunun yerini alan alaşım elementlerini de içerebilmektedir. Bu tarz çelikler Fe_2B ve FeB bileşiklerinin yanında, alaşım elementlerine bağlı olarak TiB_2 , NiB_2 , Cr_2B , CoB , CoB_2 ve kafes parametresi $10,6 \pm 20,02 \text{ Å}$ olan kübik yapı $M_{23}(B, C)_6$ (M =Metal) bileşiklerini de içerirler. Bor ayrıca çelik içerisinde bulunan V_4C_3 , NbC gibi karbürlerle de eriyik halde bulunabilir. Ni ve Cr, Fe_2B 'de Fe atomlarının yerini alarak erir (Baştürk ve Erten, 2006). Yüksek Cr ihtiva eden çeliklerde borlama ile koruyucu krom oksit tabakasının yerine daha düşük koruyucu olan krom borür tabakası meydana gelir. Bu bakımdan yüksek alaşımlı malzemelerin borlanmasıyla daha iyi korozyon özellikleri her daim elde edilemeyebilir (Bozkurt, 1984).

Dökme demir ve çelik alaşımlarının yanında, demir dışı metal ve alaşımlarına (Mo, Co, Ti, Ni) rahatça uygulanarak bor katmanları elde edilebilmektedir. Titanyum ve titanyum alaşımlarında borlama işleminde aşınmaya karşı oldukça dirençli TiB_2 katmanı meydana gelmektedir. Bu alaşımın borlama işleminde tercihen 1000 °C ile 1200 °C aralığındaki sıcaklıklarda yapılması uygundur. Titanyum ile refrakter malzemelerin üzerinde oluşan borür katmanlarının sertlik değeri Kobalt ve Nikel üzerinde oluşan katmanlara oranla çok daha yüksektir. Borlama işlemi bakır ve bakır alaşımlarında da uygulanabilmektedir, fakat alüminyum ve çinko gibi düşük ergime sıcaklıklarına sahip metallere uygulanması mümkün değildir. Borla kaplanabilen

malzemelerin ısıt işlemleri, demir esaslı ürünlere uygulanan borlama ısıt işlemleri ile benzerdir (Baştürk ve Erten, 2006).

1.2.1.1. Katı (Kutu/Paket) Ortamda Borlama

Katı ortamda borlama işlemi katı, kutu veya paket borlama olarak da adlandırılır. Bu işlemde, yüzeyi bor kaplanacak olan malzeme toz halindeki bor karışımında 800-1000 °C sıcaklık aralığında 2-10 saat bekletilir. Borlama tozu yüksek ısıya dayanıklı çelik, tercihen 304L çeliğinden imal edilen kutu içerisine yerleştirilir ve bor kaplanacak malzeme de kutuda bulunan tozun içerisine belirli aralıklara dikkat edilerek yerleştirilir. Bu toz karışımı, malzemenin bütün yüzeyleri en az 10 mm kalınlığındaki toz karışımı tabakasıyla kapatılmış olmalıdır. İşlem normal atmosfer de gerçekleştiriliyor ise kutu hava irtibatını kesebilecek bir kapak ile kapatılır ve uygun bir sıcaklığa kadar ısıtılmış fırına konulur. Bu yöntemden ayrı olarak, koruyucu gaz atmosferi içerisinde de yapılabilmektedir. Katı ortamda borlama yönteminin maliyeti diğer yöntemlere göre daha azdır ve özel bir tekniğe ihtiyaç yoktur. Bu yöntemin şematik olarak gösterimi Şekil 1.14 'te verilmiştir.



Şekil 1.14. Katı (Paket) Borlama İşleminin Şematik Görünüşü

Borlama ortamındaki esas bileşenler bor karbür, ferrobor ve amorf bordur. Bu bileşiklerin bazı özellikleri Çizelge 1.7'de verilmiştir. Bor karbür malzemesi

diğerlerine kıyasla en ucuzudur. Amorf borun saf hali çok yüksek maliyetlidir ve saf ferroborun elde edilmesi endüstriyel olarak aşırı zordur. Bu nedenlerden dolayı borlama işleminde bu metotların kullanımı azalmaktadır. Diğer borlayıcı olarak bor karbürün maliyeti amorf bor ve ferrobora göre çok daha ucuzdur ve bileşimi zamana göre daha kararlıdır. Bu uygulamada, istenilen tane boyutu ve etkin aktivatör seçimi ile başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Katı ortamda borlama işlemi amorf bor tuzu karışımına amonyum klorür aktivatörü eklenerek de yapılabilir. Ferrobor olan ortamında yapılan borlama neticesinde ortaya çıkan tabaka teknik açıdan kullanılamamaktadır. Ancak tabaka, aktivatör dolgu maddeleriyle kullanılabilir. Genellikle tercih edilen ithal borlama toz karışım malzemeleri ise Çizelge 1.8’de verilmiştir.

Çizelge 1.7. Katı Ortam Borlamasında Kullanılan Bazı Maddelerin Özellikleri (Bozkurt, 1984)

Malzeme	Molekül ağırlığı	Teorik Bor Miktarı (%)	Ergime Sıcaklığı (°C)
Amorf Bor	10.82	95 - 97	2050
Ferro-Bor	-	17 - 19	-
Bor karbür	55.29	77.28	2450

Katı ortam borlama uygulamasında kullanılan bor tozu karışımlarından bazılarının ağırlık yüzdeleri aşağıda verilmiştir (Uzun, 2002).

1. %60 B₄C + %5 B₂O₃ + %5 NaF + %30 Demir oksit
2. %50 Amorf bor + %1 NH₄F.HF + %49 Al₂O₃
3. %100 B₄C
4. % (7,5-40) B₄C + % (2,5-10) KBF₄ + % (50-90) SiC
5. %84 B₄C + %16 Na₂B₄O₇
6. %95 Amorf bor + %5 KBF₄

7. %20 B₄C + %5 KBF₄ + %75 Grafit

Çizelge 1.8. Katı Borlama Malzemeleri ve Özellikleri

Borlama Malzemesi	Tane Büyüklüğü	Açıklamalar
Ekabor®1	<150	En yüksek kalitede yüzey elde edilebilir.
Ekabor®2	<850	Çok iyi kalitede yüzey elde edilebilir, işlem sonrası parçalar kolay temizlenir.
Ekabor®3	<1400	Çok iyi kalitede yüzey elde edilebilir. Isıl işlem sonrası tozlar hala akışkandır (topaklanma olmaz).
Ekabor®HM	<150	Sert metaller, küçük delikli parçalarda ve kalın tabaka istenen durumlarda kullanılabilir.
Ekabor®-Paste		Üniversal olarak uygulanabilir. Daldırmayla, fırçayla veya püskürtmeyle uygulanabilir. İşlem için asal gaz atmosferi gereklidir.
Ekabor®WB	220-230	Oksijensiz gaz atmosferinde akışkan yatakta kullanılır.
Ekabor®Ni	<150	Nikel bazlı malzemeler için kullanılır.
Ekrit®	<420	Dolgu malzemesidir. Katı borlama maddesi ile borlama esnasında oksijen geçişini önler.

Katı borlama işleminin avantaj ve dezavantajları şöyle sıralanabilir:

Avantajları:

- Sistemi ucuzdur,
- Bor toz karışım oranları ve terkibi değiştirilebilir,
- Özel teknik gerektirmezler,
- Kolay elde edilebilirler,
- Minimum ekipman ve düşük maliyetlidirler.

Dezavantajları:

- Büyük boyutlu parçaların borlanması uygulama zorluğu mevcuttur (Baştürk ve Erten, 2006).

1.2.1.2. Sıvı Ortamda Borlama

Borlama işlemi sıvı ortamda gerçekleştirilir. Bor kaplanacak malzeme 800-1000°C sıcaklık aralığına sahip sıvı bor ortam içerisinde 2 - 6 saat bekletilmek suretiyle bor difüzyonu gerçekleştirilir. Sıvı ortam borlamasında kullanılan bor kaynakları ve özellikleri Çizelge 1.9'da verilmiştir.

Sıvı ortamdaki borlama işlemi; tuz eriğinde elektrolitsiz (daldırma) veya elektrolitli ortamda derişik çözelti içerisinde olacak şekilde yapılabilir (Baştürk ve Erten, 2006).

Çizelge 1.9. Sıvı Ortam Borlamasında Kullanılan Bor Kaynakları ve Özellikleri

Malzeme	Formül	Molekül Ağırlığı	Teorik Bor Miktarı (%)	Ergime sıcaklığı (°C)
Boraks	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	381.42	11.35	-
Susuz Boraks	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	201.26	21.50	741
Meta bor asidi	HBO_2	43.83	24.69	-
Sodyum bor florid	NaBF_4	109.81	9.85	-
Borik oksit	B_2O_3	69.64	31.07	450
Bor karbür	B_4C	55.29	78.28	2450

Sıvı ortamda borlama yöntemleri kendi aralarında ikiye ayrılır.

a. Daldırma Yöntemi

Bu yöntem, normal sıvı ortam borlaması veya elektrolizsiz ergitilmiş tuz eriyiğı olarak da adlandırılabilir. Genellikle B_4C 'nin sıvı sodyum klorit (NaCl) ile katı

fazından oluşur. Bu yöntem boraksın viskozitesini düşürme yöntemleri ile elektrolit olarak ergimesine dayanır.

Ortamın ana bileşemi boraktır, aktivatörü ise B_4C , SiC , Zr , B , vs. kullanılmaktadır. Klorür karışımı veya klorür ile florit karışımına bor karbür ilavesi yapılabileceği gibi ergimiş boraks banyolarına B_4C ilave edilerek de yapılabilir. Bu yöntem hem ucuz hem de çok fazla uzmanlık gerektirmez. Bu yöntemin avantaj ve dezavantajları ise;

Avantajları:

- İşlemleri ucuzdur (normal sıvı ortam),
- Fazla uzmanlık gerektirmez.

Dezavantajları:

- Yüksek viskoziteye sahip ergimiş boraks ile $850\text{ }^{\circ}C$ 'nin altında borlama yapmak mümkün değildir. $850\text{ }^{\circ}C$ 'ın üzerinde dahi bor banyosu içerisinde sıcaklığın homojen dağılımını sağlamak oldukça zordur.
- Komplike parçalarda farklı yoğunluktaki alanlara bor tabakasının farklı kalınlıklarda oluşmasına neden olmaktadır.
- Sıkı bir vaziyette yapışmış tuz tabakaları iş parçalarına yapıştığından, bunları malzemeden uzaklaştırmak maliyeti oldukça artırır.
- Büyük boyutlu ya da karmaşık parçalara uygulanması mümkün değildir.
- Kurulumu pahalıdır (elektroliz yönteminde) (Önen, 2012).

b. Elektroliz Yöntemi:

Elektroliz yöntemi, yüksek sıcaklıklarda tuz banyosu olarak elektrolit kullanılarak elektroliz uygulamasına benzerdir. Katot olarak iş parçası, anot olarak ise grafit tercih edilir. Akımın yoğunluğu genellikle $0.2-0.7\text{ A/cm}$, gerilim ise çoğunlukla $2-14$ Volt olarak uygulanmaktadır. İşlem $800 - 1000\text{ }^{\circ}C$ sıcaklık aralığında $30 - 60$ dak. süreyle uygulanır.

Uygulanan yöntemde iş parçası tuz tabakasıyla kaplandığı için bu tuz tabakasını temizlemek oldukça masraflı ve zordur. Elektrolizle yapılan borlama işleminde anodun bir bölgesinde ince bir borür tabakası oluşur. Bu tabaka gölge etkisi yaparak suretiyle düzensiz kalınlıklara neden olmaktadır. Borasit anhidritin karışımı ve sodyum klorür ile yapılan uygulama sonucunda banyodaki mevcut sıcaklık dağılımı eşittir ve parçalar daha kolay yıkanabilmektedir. Ayrıca viskozitenin azaldığı da görülmektedir. Bununla birlikte B₄C, NaBF ve NaCl bileşimlerinden oluşan tuz eriğinde başka problemler meydana gelmektedir. Bu yöntemde kurulum maliyeti fazladır. Karmaşık şekilli iş parçalarında homojen kalınlıkta tabaka oluşumu zordur.

Elektrolitin ana bileşenleri borik asit ve borakstır. Borik aside NaCl, NaF, B₂O₃, NaH⁺; B₂O₃⁺ Na₂CO₃; Na₂SO₄, Na₂PO₄, NaOH; NaCl⁺ B₄C⁺ B₄C; B₂O₃⁺ MF, B₂O₃⁺ MOH, B₂O₃⁺ M₂CO₃ (M=Li, Na, K) gibi aktivatörler ilave edilerek banyonun akışkanlığını arttırması beklenir. Bu yöntemin avantaj ve dezavantajları aşağıda sıralanmıştır.

Avantajları:

- Maliyeti ucuzdur.
- Ekstra bir uzmanlık istemez.

Dezavantajları:

- Yüksek viskoziteli ergimiş boraks ile 850 °C'nin altında borlama yapmak mümkün değildir. 850 °C'nin üzerinde bor banyosu içerisindeki sıcaklığın homojen dağılımda olması gerektiğinden bunu elde etmek de oldukça zordur.
- Özellikle karmaşık parçalarda farklı yoğunluklar bor tabakasının farklı kalınlıklarda oluşmasına neden olmakta ve bu istenmemektedir.
- İş parçaları üzerinde sıkı yapışmış tuz tabakasının temizlenmesinin maliyeti oldukça yüksektir.
- Büyük boyutlu parçalara ya da karmaşık şekilli parçalara uygulanması mümkün değildir.
- Kurulumu maliyetlidir (elektroliz) (Baştürk ve Erten, 2006).

1.2.1.3. Gaz Ortamda Borlama:

Gaz ortam borlama sisteminde borlamayı etkileyen parametreler ortamın basıncı, bileşimi ve gazın tanktan akış hızıdır. Bor verici olarak diboran B_2H_6 , organik bor bileşikleri ve bor halojenleri kullanılır. Bu bor vericilerden BBr_3 , BCl_3 , BF_3 , saf veya su ile B_2H_6 su ile veya $(CH_3)_3B/(C_2H_5)_3B$ olarak kullanılırlar. Bunlardan diboranla (B_2H_6) beraber bor halojenleri de kullanılırsa oldukça pozitif sonuçlar elde edilmektedir. (Çizelge 1.10) Ancak diboran patlayıcı ve zehirlidir. Bununla birlikte diboranın hidrojenle inceltilmesi oldukça pahalı olup yaklaşık $150^\circ C$ sıcaklıklarda ayrışmaktadır. Bu nedenle, bu sıcaklıktaki parça üzerinde uygulamak istendiğinde parçayı soğutmak gerekmektedir. Tüm bu yapılanlarda işlemi karmaşık bir hale getirmektedir.

Çizelge 1.10. Gaz Halindeki Borlayıcı Bileşikler ve Özellikleri

Malzeme	Formül	Molekül ağırlığı	Teorik Bor Miktarı	Donma Noktası ($^\circ C$)
Bor triflorid	BF_3	67.82	15.95	-128.8
Bor triklorid	BCl_3	117.9	9.23	-107.3
Bor tribromid	BBr_3	250.57	4.32	-46
Di - boron	B_2H_6	26.69	39.08	-165.5
Bor trimetil	$(CH_3)_3B$	55.92	19.35	-161.5
Bor trietil	$(C_2H_5)_3B$	98.01	11.04	-94

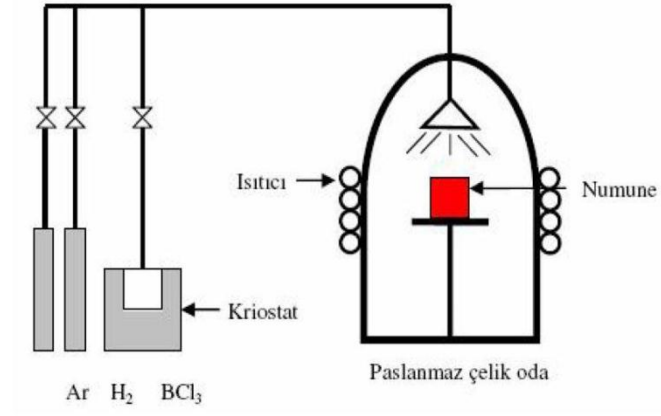
Amerika'da geliştirilen bir yöntemde ise bor karbür ve bordan ayrılan bir gaz fazıyla borlama yapılmıştır. Bu yöntemde, hidrojen ile bortriklorit karıştırılarak $1300 - 1500^\circ C$ 'de sıcak grafit çubuk üzerine gönderilerek bor karbür oluşumu elde edilmiştir. Bu yöntem öncelikle daha yüksek ergime sıcaklıklarına sahip malzemelere uygulanmış ve Fe bazlı malzemelerin yanı sıra mullite, silika, Ni, Ti, W ve Co başarıyla borlanmıştır (Önen, 2012).

Bor trikloritle yapılan borlama sırasında ayrılarak serbest kalan klor, ortamda mevcut olan hidrojen ile birleşerek HCl oluşturmaktadır. Oluşan Cl_2 ve HCl , atmosfer ve

sıcaklık farklılıklarının da etkisiyle borlanmış demir ile reaksiyona girmektedir. Bu durumda gaz ile yapılan borlama da büyük bir problem ortaya çıkarmaktadır. Borlama çelik üzerinde uygulandığında demir klorit oluşmakta ve bu nedenle demir borürün oluşmasını engelleyerek korozyona neden olmaktadır.

Ancak işlem gazı olarak %150 oranında azot ve geri kalanı da hidrojenden oluşursa düşük miktardaki bortriklorit aktif bor taşıyıcı olarak etkide bulunmaktadır. Bunun neticesinde borür tabakalarının yapısı atmosferde en az miktarda olan BCl_3 'ten dolayı BCl_3 'ün miktarından bağımsız olur. Bu işlemde sürenin kısa tutulması gerekmektedir. Gaz ortamında borlama sırasında bor verici olarak azot ve hidrojenden meydana gelen taşıyıcı gaz içerisinde bortriklorit olursa ve BCl_3 ile hidrojen oranları uygun ayarlandığı takdirde işlem hacmi olarak HCl ve H_2 'den oluşan gaz ile doldurulduğu zaman parça yüzeyinde korozyon meydana gelmez. Gaz ortamında borlama işlemi için kullanılan bazı gaz bileşenleri ve oranları aşağıda verilmiştir. Şekil 1.15'de gaz ortamında borlama ünitesi şematik olarak gösterilmiştir.

1. $BCl_3 / H_2 = 1/15$
2. B_2H_6
3. $B_2H_6 / H_2 = 1/50$
4. $BCl_3 + H_2$
5. $(C_2H_5)_3B$
6. $(CH_3)_3B$



Şekil 1.15. Gaz Ortamında Borlama Ünitesinin Şematik Görünümü

Gaz ortamda borlama; işleminin avantaj ve dezavantajları,

Avantajları:

- Gaz sirkülasyonu neticesinde borun daha çok yayına bilme imkânı vardır,
- Katı borlamaya oranla daha iyi sıcaklık kararlılığı ile daha kolay elde edilebilme imkânı.

Dezavantajları:

- Trimetil bor, borlama işlemi ile birlikte karbon yayınımına neden olduğundan tabaka kalitesini bozmaktadır,
- Tesisatı maliyetlidir,
- Uygulama yapılan ortam oldukça zehirlidir,
- Patlama riski ve tehlikesi yüksektir (Baştürk ve Erten, 2006).

1.2.1.4. Plazma (İyon) Borlama:

Plazma yöntemi 300-700 Pa basınç altında gaz ortamında yapılmaktadır. İşlem sıcaklığı diğer borlama yöntemlerine oranla daha düşük gerçekleştirilmekte ve borlama süresi de kısalmaktadır. Reaktif gazın uygun kullanımı ile BCl_3 buharının miktarı azaltılmaktadır. İşlenen parça yüzeyinin aktiflenmesi katodik püskürtmeden dolayı (ilk ısınma sırasında) akkor ışık ile yapılmaktadır.

Kimyasal emilme veya yüzey difüzyonu gibi yüzey işlemleri yükseltilmiş yüzey enerjileri nedeniyle yüzeylerindeki kimyasal reaksiyonlar katalitik etki sayesinde hızlanırlar. Bu nedenle meydana gelen elektron ve iyonlar elektrik alanına etki ederler. Sistemi besleyen enerji, bu elektron ve iyonlar tarafından iletilirler. Elektriksel alanın etkisi ile elektron ve iyonlar gaz moleküllerinin mevcut sıcaklığa sahip ortalama enerjisinden daha yüksek bir enerji kazanırlar. Elektronların ve moleküllerin çarpışması nedeniyle moleküllerin sahip olduğu bir kısım enerjisi yüzeye aktarılır.

Gaz ortamda termik aktiflenme nedeniyle oluşan kimyasal reaksiyonlar malzemelerin yüzeylerinin katalitik etkisi nedeniyle hızlanırlar. Bu genellikle BCl_3 gaz karışımında yapılmaktadır. Bu ortamda BCl_3 plazma (iyon) borlama sırasında kloritin hidrojen sayesinde indirgenmesi, borür tabakasının oluşmasında rol oynar. Bu reaksiyon, indirgenme reaksiyonunun tahrik edildiği katodik bölgenin içerisindeki atomik hidrojenin varlığı nedeniyle akkor ışık saçılımıyla meydana gelir. Sonuç olarak ortaya çıkan bor, katodik püskürtme sayesinde aktiflenen malzeme yüzeyine emdirilmek suretiyle işlem tamamlanır. Reaksiyon oluşumunun hızı, gaz karışımı içerisindeki fazla hidrojene bağlıdır.

Plazma (İyon) borlama işleminin avantaj ve dezavantajları;

Avantajları:

- Borür tabakanın bileşim ve derinlik kontrolünün yapılabilmesi,

- Borlama potansiyelinin fazla olması,
- İnce bor tabakalarının elde edilebilmesi,
- Kullanılan sıcaklık miktarının ve yapılan işlem zamanının kısa olması,
- Yüksek sıcaklık fırınları ile bunlara bağlı aksesuarlara ihtiyaç duyulmaması.

Dezavantajları:

- Ortamın çok fazla zehirli olmasıdır (Önen, 2012).

Borlanmış çeliklerle diğer çeliklerin sertlik farklılıklarını gösteren yüzey sertlik değerleri Çizelge 1.11.'de verilmiştir.

Çizelge 1.11. Bazı Çeliklerin Tipik Yüzey Sertlikleri

Malzeme	Mikrosertlik, HV
Borlu yumuşak çelik	1600
Borlanmış AISI H13 takım çeliği	1800
Borlanmış X100CrMoV51 (AISI A2) çeliği	1900
Sertleştirilmiş ve temperlenmiş X100CrMoV51 (AISI A2) takım çeliği	630-700
Yüksek hız çeliği	900-910
Nitrürasyon çelikleri	650-1700
Karbürlenmiş düşük alaşımlı çelikler	650-950
Sert krom kaplama	1000-1200
B ₄ C	5000
SiC	4000
TiC	3500
Elmas	> 10000

1.4. Borlanmış Çeliğin Nükleer Sanayiinde Kullanımı

1.4.1. Atom Reaktörlerinde Kullanımı

Borlu çelikler, bor karbürler, boral veya titan-bor alaşımları, reaktörlerde nötron akımı işleminde kullanılır. Borlu paslanmaz çelikler (%5 B), nötronların soğurulması işleminde kullanılırlar. Her bor atomu neredeyse bir nötron soğurur. Borlu çubuklar daha hızlı ve düzenli yanarlar. Element olarak bor genellikle seyyar olarak kullanılan reaktörlerde, esasen nötronların soğurulmasının mühim olduğu kullanım alanlarında kullanılırlar. Yüksek kapasiteye sahip bir koruyucudur (Çeçen, 1968). Borun kullanım alanları Çizelge 1.12 ve Çizelge 1.13’de daha ayrıntılı olarak verilmiştir.

Nükleer reaktörlerin kontrol sistemlerinde kullanıldığı gibi soğutma işleminde kullanılan havuzlarda, reaktörlerin alarm verilerek kapatılmasında ve nükleer atıkların depolanmasında kullanılmaktadır (Anonim, 2001).

Çizelge 1.12. Bor Ürünlerinin Kullanım Alanları (Anonim, 2003)

KULLANIM ALANI	KULLANIM YERLERİ
Savunma Sanayi	Zırh Plakalar, Seramik Plakalar, Ateşli Silah Namluları, Fişek vb
Cam Sanayi	Borosilikat Camlar, Laboratuar Camları, Uçak Camları, Borcam, Pyrex, İzole Cam Elyafı, Tekstil Cam Elyafı, Optik Lifler, Cam Seramikleri, Şişe, diğer Düz Camlar, Otomotiv Camları vb.
Elektronik ve Bilgisayar Sanayi	Mikrodalga tüpleri, Sensörler, Süper iletkenler, Yarı iletkenler, Magnetler, Elektron emitterleri, Mikro Chipler, LCD Ekranları, CD-Sürücüler, Akım Levhaları, Bilgisayar Ağlarında; Isıya-Aşınmaya Dayanıklı Fiber Optik Kablolar, Vakum Tüpler, Dielektrik Malzemeler, Elektrik Kondansatörleri, Kapasitörler, Gecikmeli Sigortalar, Bataryalar, Piller, Laser Printer tonerleri
Enerji Sektörü	Gaz türbinleri, Yüksek ısı transistörleri, Bor hidrür yakıtları(boranlar), Isı enerjisi depolayıcılar, Piller, Hidrojen depolayıcılar, Güneş Enerjisinin Depolanması, Güneş Pillerinde Koruyucu olarak, Hücre Yakıtları vb
Görüş Sistemleri	Kamera ve Mercek Camları, Fotoğraf Makinaları, Dürbünler, Banyo ve Film İmalatları
İlaç ve Kozmetik Sanayi	Dezenfekte Ediciler, Antiseptikler, Diş Macunları, Lens Solüsyonları, Kolonya, Parfüm, Şampuan vb
İletişim Araçları	Cep Telefonları, Modemler, Televizyonlar vb.
İnşaat Sektöründe	Çimentoya Mukavemet Artırıcı ve İzolasyon Amaçlı olarak
Kağıt Sanayi	geri kazanılan kağıtların mürekkeplerinden arındırılması,Yüksek kaliteli kağıtların parlaklaştırılması, kağıt hamurunu beyazlatılması,
Kimya Sanayi	Bazı Kimyasalların İndirgenmesi, Elektrolitik İşlemler, Flotasyon İlaçları, Banyo Çözeltileri, Katalistler, Atık Temizleme Amaçlı olarak, Petrol Boyaları, Yanmayan ve Erimeyen Boyalar, Tekstil Boyaları, Yapıştırıcılar, Soğutucu Kimyasallar, Korozyon Önleyiciler, Mürekkep, Pasta ve Cilalar, Kibrit, Kireçlenme Önleyicileri, Dezenfektan kimyasallar, Kozmetikler, yumuşatıcılar, Sabun, Toz Deterjanlar, Toz Beyazlatıcılar, Ağartıcılar, Parlatıcılar, Ahşap emprenye çözeltileri, Mumyalama vb
Koruyucu	Ahşap Malzemeler ve Ağaçlarda Koruyucu olarak, Boya ve vernik Kurutucularında, Küf ve mantar önleyiciler, vb.
Makine Sanayii	Manyetik Cihazlar, Zımpara ve Aşındırıcılar Kompozit Malzemeler, Titreşim söndürücü malzemeler, Sert malzemeler, Motorlar, Katı yağlayıcılar, Yüksek sıcaklık sızdırmazlık contaları, Yüksek performanslı motor yağları, vb.
Metalürji	Paslanmaz ve Alaşımli Çelik, Sürtünmeye-Aşınmaya Karşı Dayanıklı Malzemeler, Kaynak Elektrotları, Metalurjik Flaks, Briket Malzemeleri, Lehimleme, Döküm Malzemelerinde Katkı Maddesi olarak, Kesiciler, Kompozit Malzemeler, Zımpara ve Aşındırıcılar vb.
Nükleer Sanayi	Nükleer atık depolama (kolemanit cam bloklar), Reaktör Aksamları, Nötron Emiciler, Reaktör Kontrol Çubukları, Nükleer Kazalarda Güvenlik Amaçlı ve Nükleer Atık Depolayıcı olarak, Nükleer teknolojide emniyet malzemeleri,vb
Otomobil Sanayi	Titreşim söndürücü malzemeler, Hava yastığı şişirme mekanizmaları, Bor hidrür yakıtları (boranlar), Isı enerjisi depolayıcılar, Hidrojen depolayıcılar, Hava Yastıklarında, Hidroliklerde, Plastik Aksamda, Yağlarda ve Metal Aksamalarda, Isı ve Ses Yalıtımı Sağlamak Amacıyla, Antifrizler, vb
Seramik Sanayi	Emaye, Fayans, Porselen Boyaları, sırlar, vb
Spor Malzemeleri	Kayak Aksamları, Tenis Raketleri, Ok-yay, Balık Oltaları, Golf Sopaları, Darbe söndürücüler, vb.
Tarım Sektörü	Sentetik gübreler, Biyolojik Gelişim ve Kontrol Kimyasalları, Küf ve mantar önleyiciler, Böcek-Bitki Öldürücüler, Yabani Otlar, vb
Tekstil Sektörü	Isıya Dayanıklı Kumaşlar, Yanmayı Geciktirici ve Önleyici Selülozik Malzemeler, İzolasyon Malzemeleri, Tekstil Boyaları Deri Renklendiricileri, Dericilikte kireç çöktürücü, Suni İpek Parlatma Malzemeleri, vb.
Tıp	Yapay organlar, Antibiyotikler(boromicyn), Osteopoz Tedavilerinde, Alerjik Hastalıklarda, Psikiyatride, Kemik Gelişiminde ve Artiritte, Menopoz Tedavisinde, BNTC Terapi Yöntemiyle Beyin Kanserlerinin Tedavisinde tümör öldürücüler, Manyetik Rezonans Görüntüleme Cihazlarında, vb
Uzay ve Havacılık Sanayi	Sürtünmeye-Aşınmaya ve Isıya Dayanıklı Malzemeler, Roket Yakıtı, Uydular, Uçaklar, Helikopterler, Zeplinler, Balonlar, Radar dalgası soğurucular, vb

Çizelge 1.13. Bor Kimyasal ve Alaşımlarının Kullanım Alanları (Anonim, 2003)

ÜRÜN	KULLANIM ALANLARI
Amorf ve Kristal Bor	Askeri Piroteknik, Nükleer Silahlar ve Nükleer Güç Reaktörlerinde, Metallerde Alaşım Elemanı ve Deoksidan, Bakır ve Alaşımlarında Gaz Giderici, Alüminyum Dökümünde Tane Rafinasyonu, Yarı İletkenlerde,
Boranlar	Roketlerde ve Atmosfer Üstü Uçaklarda Yakıt
Bor Fiberleri (Cam Elyaf)	Tekstil Tipi Cam Elyaf: Dokuma, Kompozit Oluşturma, Otomobillerin Dış ve Aksamlarında, Motor ve Hava Giriş Manifoltlarında, Elektronik Baskı Devrelerinde, Elektrik Yalıtım Uygulamalarında, İnşaat Duvarlarında, Mahfaza Panellerinde, Sıhhi Tesisatlarda, Banyo Malzemelerinde, Duvar Kaplamalarında, Alev Geciktirici Örtülerde, Yüzme Havuzlarında, Yaya Köprülerinde, Kapı İmalinde, Boru Yapımında, Yakıt Tanklarında, Kimyasal Depolarda, Tarımsal Aletlerde, Endüstriyel Makinalarda, Korumacı Kasklarda, Deniz Ulaşım Araçlarında, Polyester Üretiminde, İzolasyon Tipi Cam Elyaf: Isı Yalıtıcı Olarak Binalarda, Akustik İzolasyon amacıyla, Boru, Kazan ve Tank Kaplamalarında, Otomobillerin İzolasyon Panellerinde, Optik Tipi Cam Elyaf: Telekomünikasyon Alanında
Disodyum Oktaborat Tetrahidrat	Borlu Gübre Olarak, Toprakta Bor Eksikliğini Gidermede, Kumlu veya Gevşek Yapılı Toprakta verimi Arttırmada, Yabani Otların Kontrol Altında Tutulmasında, Kereste Korunmasında Böcek ve Mantar Öldürtücü Olarak, Alev Önleyici,
Bor Flamentleri	Havacılık ve Spor Malzemeleri İçin Kompozitler
Bor Karbür	Askeri Araçlarda Zırh Plakaları, Uzay Mekiklerinde Kimyasal Korozif Ortamlarda Dış Yüzey Korumacı, Regülasyon, Kontrol ve Zırhlama Amacıyla Nükleer Reaktörlerde, Nükleer Sanayinde Nötron Absorblayıcı, Serbest Partiküllü Aşındırıcılar, Kumlama Nozulları, Tel Hadde Lokmaları, Ekstrüder Memeleri, Otomatik Havanlar, Tekstilde İplik Yönlendiriciler, Filtreler, Bujiler), Tesviye Aksamları, Yüzey Polisaj Pastaları, Transformatörlerde Silisli Saç Yerine, Kesme Ekipman Bileycileri, Endüstriyel Yataklar, Çok Yüksek Sıcaklıklarda Korozyon ve Oksitlenme Direnci Gerektiren Ekipmanlar, Refrakter Malzeme Olarak,
Bor Nitrür	Sıcak ve Ergimiş Metallerle Temas Eden Yüzeylerin Kaplamalarında, Aşınmaya Maruz ve Kimyasal Korozyona Karşı Yüzeylerde, Özel Abrasivler, Seramik Silikon Yarı İletken Wafer'larında Bor Dop Malzemesi, Nükleer Uygulamalarda Nötron Yakalamada, Vakum Ergitme Potaları, CVD Potaları, Mikrodevre Paketleme, Yüksek Hassasiyet Contaları, Mikrodalga Tüpleri, Dökümde Stoper Halkaları, Plazma Ark Yalıtkanları, metalurjik fırınlarda Destekleyici İskeletler, Yüksek Sıcaklıklarda Yağlayıcı Olarak, Yüksek Isıl Şok Direncinin ve Yüksek Tokluğun İstendiği Uygulamalarda, Dielektrik Malzeme Olarak, Nozul Pota, Termokupul Kılıfı ve Cam Kalıplarla İlgili Refrakter Malzeme Olarak, Pota ve Refrakterde Astar Uygulamaları, Diğer Seramik Malzemelerle Birlikte Kompozit Yapımında, Kozmetik Endüstrisinde, Seramik ve Cam Endüstrisinde, Yüksek Sıcaklıklarda Kesme Aletlerinde, Aşındırıcı Olarak, Dökümle ve Dövmeyle Üretilen Parçaların İşlenmesinde,
Metal Borürler	Sıvı Metaller ve Metal Buharlarına Karşı, Yüksek Emisyon Gerektiren Elektriksel Uygulamalar, Alüminyum Ergitilmiş Tuz Elektrolizinde İnert Elektrotu Olarak(Tib2), Termoelement Kılıflar(Zrb2), Alüminyum ve Alaşımlarında Nükleant Olarak(Tib), Refrakter Metaller Katıldıklarında Tane İnceltici, Magneto-Hidrodinamik Jeneratörlerin Elektrot Malzemesi, Borlu Çeliklerin Üretiminde, Helikopterler İçin Hafif Zırh Malzemesi, Yüksek Sıcaklığa ve Kimyasal Atağa Maruz Kalan Kısımlarda Kaplama veya Parça Olarak, Silisyum Karbür(Sic) Kompozitlerinin Mukavemetlerini Arttırmak İçin(Tib2), Yüksek Sıcaklık Elektrik Kontak Malzemesi Olarak,
Ferrobor	Çeliklerde Tane İnceltici ve Su Alma Kapiliyetini Arttırıcı, Yüksek Oranda Mn, Ni, Cr ve Mo'in Sağlayabileceği Sertleşebilirlik Özelliğini Sağlamada, Paslanmaz Çeliklerde Kaynak Kapiliyetini Yükseltmede, Nükleer Reaktörlerde Regülatör Çubuğu, Hadde Merdaneleri Üretiminde, Çeliklerde Yüzey Sertleştirmede, Nötron Absorbsiyonunu Arttırıcı Olarak, Yassı ve Derin Çekme İşlemine Tabi Tutulacak Çeliklerde, Otomobillerin Silecek ve Marş Motorlarında, Manyetik Ayırırda, Cep Telefonlarında, Sensörlerde, Neodyum-Demir-Bor(Nd-Fe-B) Mıknatıslarında, Metalik Cam Üretiminde,
Borazon	Yüksek Hızlı Kesiciler
Susuz Borik Asit (Bor Oksit)	Özel Bor Kimyasallarının ve Organik Bor Bileşiğinin Üretiminde, Organik Sentezde Katalizör veya Katalizör Taşıyıcısı Olarak, Metalurji Sanayinde Flaks, Metallerin Bortürlendirilmesinde ve Boronizasyonunda, Borlu Alaşımlarının Hazırlanmasında, Cam ve Seramik Sanayinde, Elektrik-Elektronik Sanayinde,
Borik Asit	Antiseptikler, Göz Damlaları, Bor Alaşımları, Nükleer, Yangın Geciktirici, Naylon, Fotoğrafçılık, Tekstil, Dericilik, Gübre, Nikel Kaplama, Kimyasal Katalist, Cam, Cam Elyafi, Emaye, Sır, Vb.
Çinko Borat	PVC, Halojenli Polyester ve Naylonlarda Alev Geciktirici, Duman Bastırıcı ve Korozyon

Çizelge 1.13. (devam) Bor Kimyasal ve Alaşımlarının Kullanım Alanları (Anonim, 2003)

	Geciktirici Olarak, Yüksek Sıcaklıklara Dayanıklı Plastik Malzemelerin İmalatında, Elektrik/Elektrotronik Parçalarda, Kabloalarda, Yanmaya Dayanıklı Boyalarda, Kumaşlarda, Yanmaya Dayanıklı Halı Kaplamalarda, Otomobil/Uçak İç Aksamalarında, Tekstil ve Kağıt Endüstrisinde, Mantar ve Böcek Öldürtücü Olarak Ahşap Aksamaların Korunmasında, Bor Silikat Cam Hammaddesi ve Seramik Sanayiinde Ergime Noktasını Düşürücü(Flux) Olarak,
Kolemanit	Tekstil Kalite Cam Elyafı, Bor Alaşımları, Cüruf Yapıcı, Nükleer Atık Muhafazası
Özel Sodyum Boratlar	Fotoğrafçılık Kimyasalları, Yapıştırıcılar, Tekstil, "Finishing" Bileşikleri, Deterjan ve Temizlik Malzemeleri, Yangın Geciktiricileri, Gübreler ve Zirai Araçlar
Sod. Bor Cevheri	Yalıtım Cam Elyafı, Borosilikat Cam
Sodyum Bor Hidrürler	Özel Bor Kimyasallarının Saflaştırılması, Kağıt Hamurunu Beyazlaştırması, Geri Kazanılan Kağıtların Parlaklığını Arttırılması, Metal Yüzeylerin Temizlenmesinde, İlaç Sanayiinde İndirgeme Kimyasalı Olarak, Endüstri Atık Sularından Çözülmeyen Ağır Metallerin ve Organik Kimyasallardan Metal İyonlarının, Karbonil ve Peroksit Empürütelerinin Arındırılması, Pamuğun ve Pamuk-Polyester Karışımlarının Sürekli Boyanma İşlemlerinde verimliliğin ve Performansın Arttırılması, Keton ve Yüksek Alkollerden Koku ve Renk Gidermede, Olefinlerin Stabilizasyonunda, İlaç Hammaddesi, Vitamin ve Kozmetiklerin Üretiminde, Trialkil Boran, Diboran Alkil Türevleri ve Diğer Bor Bileşiklerinin Üretiminde Hammadde Olarak, Leşiklerdeki OH-Gruplarının Korunmasında, Alkoller, Fenoller, Dioller, Şekerler ve Diğer Bileşiklerdeki OH-Gruplarının Hızlı Gazometrik Tayininde, İnorganik, Kompleks ve Organik Tuzların Kristalin Hidratlarındaki Su İçeriğinin Tayininde, Tuz ve Şeker Hidratlarının Dehidrasyonunda, Füze Katı Yakıtlarında, Yüksek Enerjili Jet Motorlarda ve Roketlerde Saf Hidrojen Kaynağı Olarak,
Sodyum Metaborat	Yapıştırıcı, Deterjan, Zirai İlaçlama, Fotoğrafçılık, Tekstil
Sod. Pentaborat	Yangın Geciktirici, Gübre
Sodyum Perborat	Deterjan ve Beyazlatıcı, Tekstil
Potasyum Bor Hidrür	Tekstil Boyalarının, Antibiyotiklerin, Steroid Preparatlarının, Vitaminlerin ve Diğer Kimyasalların ve Farmasötiklerin Üretiminde İndirgeyici Olarak, Trialkil Boran, Diboran Alkil Türevleri ve Diğer Bor Bileşiklerinin Üretiminde Hammadde Olarak, Organik Bileşiklerdeki OH-Gruplarının Korunmasında, Alkoller, Fenoller, Dioller, Şekerler ve Diğer Bileşiklerdeki OH-Gruplarının Hızlı Gazometrik Tayininde, İnorganik, Kompleks ve Organik Tuzların Kristalin Hidratlarındaki Su İçeriğinin Tespit Edilmesinde, Tuz ve Şeker Hidratlarının Dehidrasyonunda,
Sod. Tetraborat	Lehim ve Kaynak İşlemlerinde, Metal Yüzeylerinin Temizlenmesi, Seramikler, Sırlama, Yüksek Mukavemetli Camlar Vb.
Bor Triklörür	Bor Hidrürlerin Sentezinde, Bor Nitrit ve Diğer Bor Bileşiklerinin Üretiminde, Ekstra-Saf Elemental Borun Üretiminde, Bor Fiberlerinin Üretiminde, Katyon Polimerizasyonunda Katalizör Olarak, Alüminyum, Magnezyum, Çinko ve Bakır Ergitilmesi Esnasında İstenmeyen Nitrit, Karbit ve Oksitlerin Uzaklaştırılmasında, Daha Düşük Bor İçeriğine Sahip Bor Klorürlerin Üretilmesinde, Elektronik ve Mikroelektronik Endüstrisinde Hammadde Olarak
Susuz Boraks	Gübre, Cam, Cam Elyafı, Metalurjik Cüruf Yapıcı, Emaye, Sır, Yangın Geciktirici
Trimetil Borat	Kaplama Soltüsyonları, Fluoborat Tuzlar, Sodyum Bor Hidrürler

1.4.2. Nötron Absorpsiyonunda Kullanımı

Nükleer reaktörlerde kontrol işlemlerinde kullanılmak üzere üretilen çubuklar, yüksek bir dayanıma sahip çelik veya alaşımdan üretilmektedir. Tercih edilen malzemeler, kadmiyum, hafniyum ve bordur. Borun tercih edilme nedeni, atom ağırlığının ve yoğunluğunun düşük olmasıdır. Ağırlıkça bakıldığında kadmiyuma oranla üç kat daha avantajlıdır (Çizelge 1.14).

Çizelge 1.14. Bor, Kadmiyum ve Cd-B'nin Kıyaslaması

	Nötron Absorpsiyon Kesiti	Ağırlığı	Yoğunluğu
BOR	750	10,820	2,330
KADMİYUM	2400	112,410	8,640
Cd:B	3,20	10,40	3,70

Aynı zamanda, borun 2300 °C'lik yüksek ergime sıcaklığı (kadmiyum için 321 °C) ve kimyasal olarak dayanıklılığı reaktörlere uygulanmasında avantaj sağlamaktadır. Nötron bombardımanı sonucunda istenmeyen radyoaktif bileşimlerin oluşmasını önler. Bor'un gama radyasyonu çok zayıftır. Kadmiyumda ise nötron bombardımanı sonrası 6 MeV değerinde gama ışınları ortaya çıkar ve dayanıksız 4 izotop meydana gelir. 100.000 kW'lık reaktörlerde kontrol işlemi için 50 kg bor kullanımı yeterli olmaktadır. Norveç'te kurulu olan Boiling Water reaktöründe bir deneme yapıldığı sırada reaktör bor asidi ile boğularak tüm faaliyeti ani bir şekilde ve tamamen durdurulabilmiştir (Çeçen, 1968).

Borun atom çekirdeği, nötrona karşı aşırı duyarlı olduğundan, nükleer santrallerde kontrol malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bunun nedeni ise atom çekirdeğinin nötronları aşırı miktarda soğurma kabiliyetine sahip olmasıdır (Erdoğan, 2005).

Bor karbür; Nükleer reaktörlerde yapılan borularda emniyet çubuğu olarak kullanılır. Enerjinin ayarlanmasında kullanılan bor karbür çubukları, suyla soğutma işleminde kullanılır (Çeçen, 1968).

1.4.3. Nötron İzolatörü Olarak Kullanımı

Boral; %35 bor karbür ve % 65 Al'den meydana gelen büyük bir nötron kesitine sahip olan malzemeye denir. Bundan imal edilen 6,4 mm kalınlığındaki levhalar ve 640 mm kalınlığındaki beton plâklar izolâsyon sağlama gücüne sahiptir. Boralın mekanik özelliklerine baktığımızda bu malzeme kolay delinmekte, vida açılmakta ve kesilmektedir fakat kaynak işlemi oldukça zor yapılmaktadır. Boral genel olarak araştırma reaktörlerinde kullanılmaktadır. Bunun nedeni yüksek güç kapasitesine sahip sanayi reaktörlerinde meydana gelen sıcaklık aşırı fazla olduğundan, boraks ile kullanılan alüminyumun amaca uygun cevap verememesidir. Alüminyum ve boroksitten üretilen “Boroksal”, boral ile aynı özellikleri taşır ve aynı zamanda onun yerine de kullanılır. Boraldan daha az bor atomu içermekte fakat daha ucuzdur (Çeçen, 1968).

1.5. Borlu Paslanmaz Çelikler

İzolasyon amacıyla kullanılan %1 bor ihtiva eden çelik, diğer paslanmaz çeliklere oranla 15 kat fazla nötron absorpsiyon kesitine sahiptir. Suyun 300 °C sıcaklıktaki haline dahi dayanıklıdır (Cr-Ni çelikleri). Bu çeliğin kullanılması reaktör inşaatlarında maliyetleri yüksek oranda azaltır. Normal çelikler, ferrobor ile birlikte indüksiyon fırınlarında ergitilerek bor alaşımlı çelikler üretilir. Haddelemeye ve dövmeğe uygundurlar. Kaynağa ise uygun değildir. Bu sebeple genellikle perçin yapımında kullanılırlar (Çeçen, 1968). Ürettiğimiz borlanmış 304L çeliği Şekil 1.6'da gösterilmiştir.



Şekil 1.16. Borla Kaplanan 304L Çeliği

1.6. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Cihazlar Hakkında Genel Bilgiler

1.6.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Hakkında Genel Bilgi

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), mikro yapıların kimyasal bileşim ve morfolojik karakterizasyonlarının analizi ve incelenmesi için kullanılan çok yönlü araçlardan bir tanesidir. Temelde Taramalı elektron mikroskobu, Lantan hekza borit katottan, Tungstenden veya alan emisyonlu (FEG) tabancadan ortaya çıkan elektronların kullanımı incelenecek numunenin yüzeyine gönderilmesi sonucunda oluşan etkileşmelerden yararlanılması esasına dayanır. SEM’lerde genelde bu elektron enerjisi 200-300 keV’den 100 keV’a kadar değişebilir. Bu amaçla, yoğunlaştırıcı elektromanyetik mercek (condenser lense) toplanan, objektif mercek ile odaklanan elektron demeti, yine elektromanyetik saptırıcı bobinlerle örnek numunenin yüzeyinde tarama işlemini (scanning) gerçekleştirir. Bir taramalı elektron mikroskobunda görüntü oluşumu temel olarak; elektron demetinin incelenen örneğin yüzeyi ile yaptığı fiziksel etkileşmelerin (elastik, elastik olmayan çarpışmalar ve diğerleri) sonucunda ortaya çıkan sinyallerin toplanması ve incelenmesi prensibine dayanır. Elektron mikroskobunun temellerini anlamak için ışık optiğinin temel

prensiplerini bilmek gerekir. Yardımsız göz, yaklaşık 0,1 mm'lik bir çözünürlüğe yanıt veren yaklaşık $1/60^\circ$ görsel açıya sahip nesneleri veya malzemeleri ayırt edebilmektedir (25 cm optimum görüş mesafesinde). Optik mikroskopi ise optik açı sayesinde görsel açıyı genişleterek ~2,000 Angström çözünürlük sınırına sahiptir. Işık mikroskobu bilimsel araştırmalara büyük önem taşımaktadır. Elektronların 1890'lardan bu yana sayısız deneyler sonucunda manyetik alanlar tarafından saptırılabilmesinin keşfinden bu yana, ışık kaynağı yüksek enerjili elektron ışını değiştirilerek elektron mikroskobu geliştirilmiştir (Zhou ve Wang, 2006).

1.6.2. XRD Toz Difraktometresi Hakkında Genel Bilgi

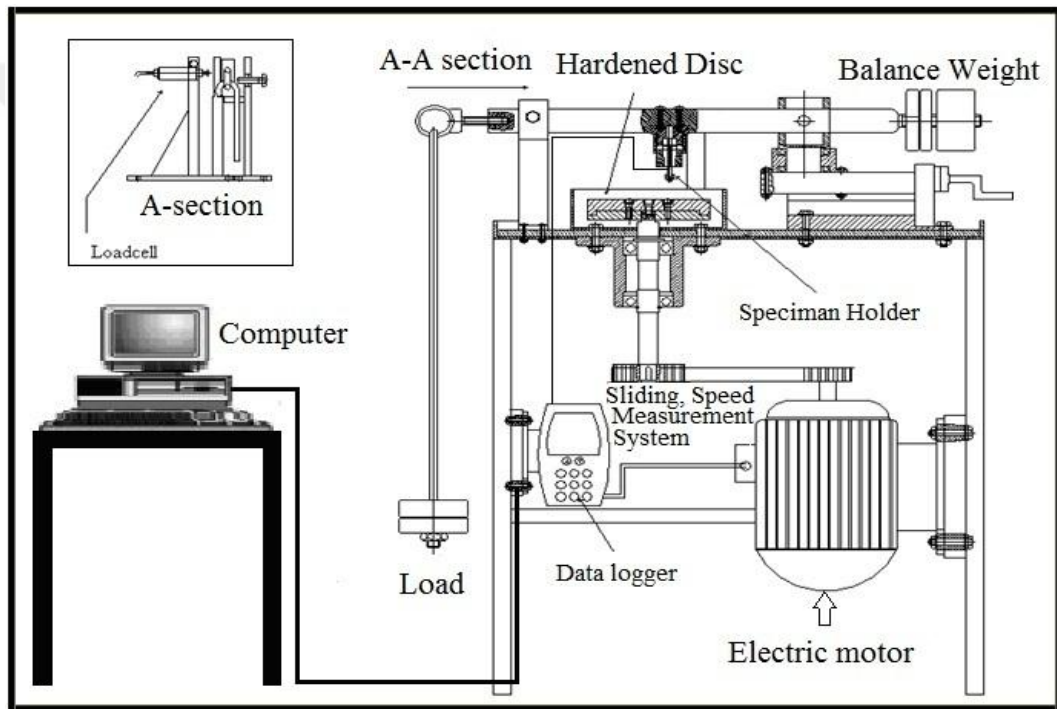
X-ışını kırınımı (XRD) faz bileşimi, yapı, doku ve daha birçok toz örneği, katı numune ve hatta sıvı numuneler gibi malzeme özelliklerini analiz etmek için çok yönlü, tahribatsız analitik bir yöntemdir. Fazların tanımlanması, bilinmeyen bir örnekten elde edilen X-ışını kırınım modelinin bir referans veri tabanının kalıpları ile karşılaştırılmasıyla elde edilir. Bu süreç, olay yeri incelemelerinde parmak izlerinin tanımlanmasına çok benzerdir. En kapsamlı veritabanı ICDD (Uluslararası Kırınım (difraksiyon) Veri Merkezi) tarafından korunmaktadır. Alternatif olarak, bilimsel literatürde yayınlanan veya kendi ölçümlerinden türetilen saf fazların ve/veya modellerin deneysel difraksiyon modellerinden bir referans veri tabanının oluşturulması da mümkündür (Ermrich ve Oppen, 2011).

1.6.3. Aşınma Testi Hakkında Genel Bilgi

Metallerin içlerinin tok olması istenirken, yüzeylerinin belirli miktarda sertleştirilmesi istenmektedir. Böylece metal malzemelerin yüzeylerinin aşınma direnci, sertlik değeri, korozyona karşı direnci ve yorulma ömürleri artırılır. Yüzey sertleştirme işlemlerinden olan borlama işlemi termokimyasal bir yöntemdir ve demir esaslı metallerin yüksek aşınma ve yüksek sertlik dayanımı elde edilmesi amacıyla uygulanmaktadır. Borlama işlemi ile malzeme yüzey sertliği yükseltilirken, bu yükselmeye bağlı olarak malzemenin aşınma direncide karbürleme ve nitrürlemeye

göre daha fazla olur. Çelik ve dökme demir malzemenin yüksek yüzey sertliği, mükemmel aşınma ve korozyon direnci borlama ile sağlanır. Literatürde; çelik malzemenin borlanmasıyla ilgili yapılan çalışmalar yoğun olarak abrasif aşınma davranışı ile ilgilidir (Demirel ve Çetin, 2011).

Aşınma deneylerinde kullanılan prototip pin-on-disk aşınma test makinesinin Şekil 1.17’de şematik diyagramı gösterilmiştir. Makine, bir disk, bir pim (numune) ve montaj sistemi ve bir yükleme sisteminden oluşmaktadır.



Şekil 1.17. Prototip Pin-on Disk Test Makinesinin Şematik Diyagramı

1.6.4. Korozyon Testi Hakkında Genel Bilgi

Genel anlamda maddenin, özel olarak da metal ve metal alaşımlarının çevresel etkilerle elektrokimyasal ve kimyasal değişime ya da fiziksel olarak çözünme sonucu aşınımına korozyon denilmektedir. Korozyon esasen, metal bazlı malzemelerin

içerisinde bulunduğu ortamla tepkimeye girmeleri ile dışarıdan enerji vermeye gerek olmaksızın doğal olarak meydana gelen bir olaydır. Kimyasal korozyon deyimi ise metal ve alaşımların gaz ortamlar içindeki oksitlenmesini ifade eder, buna “kuru korozyon” da denilmektedir. Metal ve alaşımların sulu ortamlardaki korozyonu ise “elektrokimyasal korozyon” diye adlandırılır. Buna “ıslak korozyon” da denilebilir. Gerçekte ise her iki korozyon da temelde aynı ve elektrokimyasal esastır (Derin, 2016).

1.6.5. Vickers Mikro Sertlik Testi Hakkında Genel Bilgi

Sertlik ölçümü farklı yöntemler uygulanarak tespit edilmektedir.

a- Statik Ağırlık Uygulayarak Yapılan Sertlik Deneyleri

- *- Rockwell
- *- Brinell
- *- Vickers
- *- Knoop

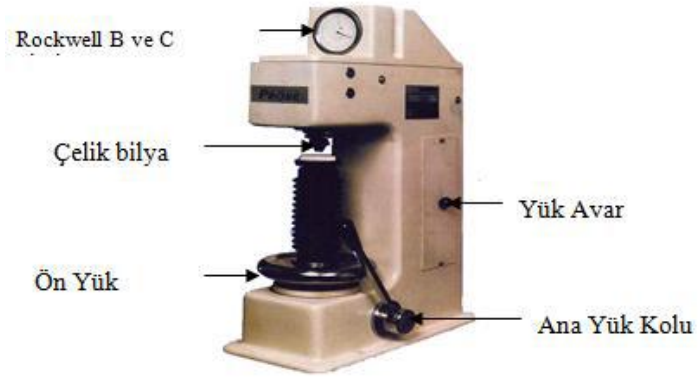
b- Dinamik Ağırlık Uygulayarak Yapılan Sertlik Deneyleri

- *- Shore Sclereskobu Yöntemi ile Sertlik Ölçmek
- *- Poldi Çekici

Statik sertlik ölçüm yöntemlerinden olan;

. *Rockwell

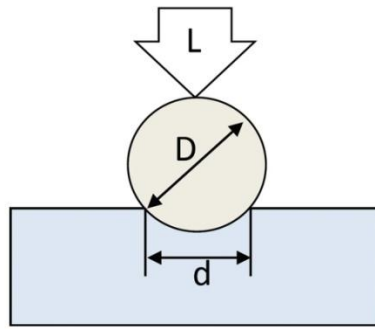
Rockwell sertlik uygulaması (Şekil 1.18), küre ya da koni biçimine sahip ucun belirlenmiş bir yük altında malzemenin üzerinde oluşturduğu izin derinliğinden yararlanmak suretiyle ölçülen bir sertlik değeridir.



Şekil 1.18. Rockwell Sertlik Ölçme Cihazı

***. Brinell**

Bu yöntemde, malzemenin yüzeyine önceden belirlenmiş bir ağırlığın, belirli çaplardaki oldukça sert malzeme ya da malzemelerden imal edilmiş bir bilye yardımıyla belirli bir süre uygulanması sonucunda oluşan iz çapının ölçülmesi ile sertliği hesaplanır. (Şekil 1.19). Ancak teknolojinin gelişmesiyle günümüzde bu hesaplama işlemlerine gerek kalmamıştır. İstenilen sertlik değerleri makinenin üzerindeki göstergelerden (skala) okunabilmektedir.



Şekil 1.19. İz Çapının Şematik Olarak Gösterilmesi

***. Vickers**

Vickers sistemi, 1360 elmas piramit ucun, malzemenin kalınlığı ve cinsine bağılı olarak tercih edilen belirli yükler sayesinde, malzemenin üzerinde yaptığı izin optik olarak ölçülmesi ile malzemenin sertliğinin ölçülmesi sistemine dayanır.

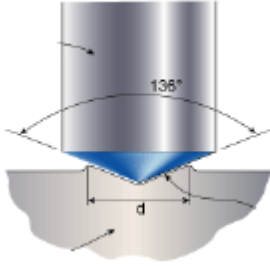
Genel anlamda Vickers sertlik ölçme metodu Çizelge 1.15.'de gösterildiğı gibi 3 bölümde incelenir. Makro sertlik, düşük yük ve mikro sertlik testlerinin yük kademeleri Çizelge 1.16'da verilmiştir (Bulut, 2012). Vickers'ın elmas piramit ucu Şekil 1.20'de, Vickers izi ise Şekil 1.21'de gösterilmiş; Vickers ölçüm cihazı ise Şekil 1.22'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.15. Vickers Sertlik Ölçme Metotları

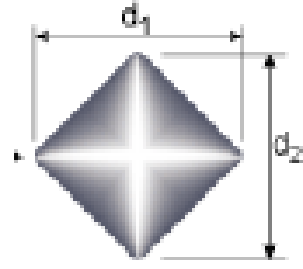
Vickers Sertlik Metodu	Test Durumu	Uygulanan Yükler Kgf (N)
Makro Vickers sertlik testi	$\geq HV 5$	$F \geq 49,03$
Düşük yüklü Vickers sertlik testi	$HV 0,2 - < HV 5$	$1,961 \leq F < 49,03$
Mikro Vickers sertlik testi	$HV 0,01 - < HV 0,2$	$0,09807 \leq F 1,961$

Çizelge 1.16. Makro Sertlik, Mikro Sertlik ve Düşük Yük Testlerinin Yük Kademeleri

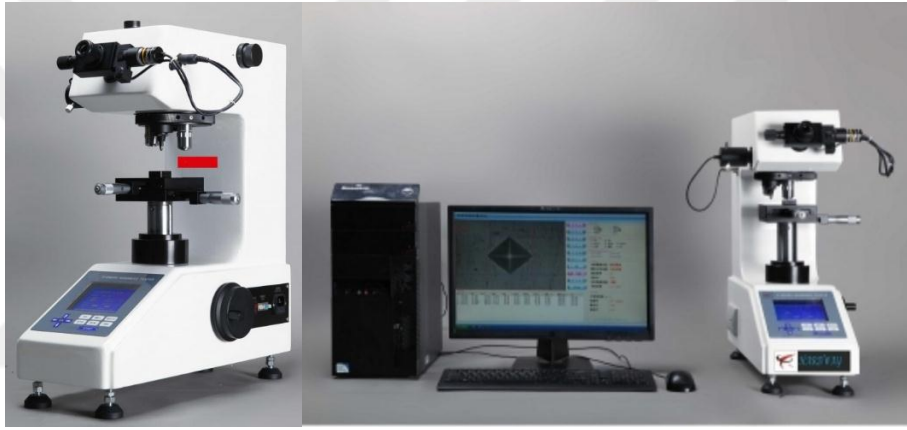
Sertlik Deneyi ¹⁾		Düşük- kuvvet sertlik deneyi		Micro Vickers Sertlik Deneyi ²⁾	
Sertlik Sembolü	F Deney kuvveti anma değeri N	Sertlik sembolü	F Deney kuvveti anma değeri N	Sertlik Sembolü	F Deney kuvveti anma değeri N
HV 5	49,03	HV 0,2	1,961	HV 0,01	0,09807
HV 10	98,07	HV 0,3	2,942	HV 0,015	0,1471
HV 20	196,1	HV 0,5	4,903	HV 0,02	0,1961
HV 30	294,2	HV 1	9,807	HV 0,025	0,2452
HV 50	490,3	HV 2	19,61	HV 0,05	0,4903
HV 100	980,7	HV 3	29,42	HV 0,1	0,9807
1) 980,7'N dan büyük kuvvetleri uygulanabilir.					
2) Mikrosertlik deney kuvvetlerinin kullanılması tavsiye edilir.					



Şekil 1.20. Elmas Piramit Uç



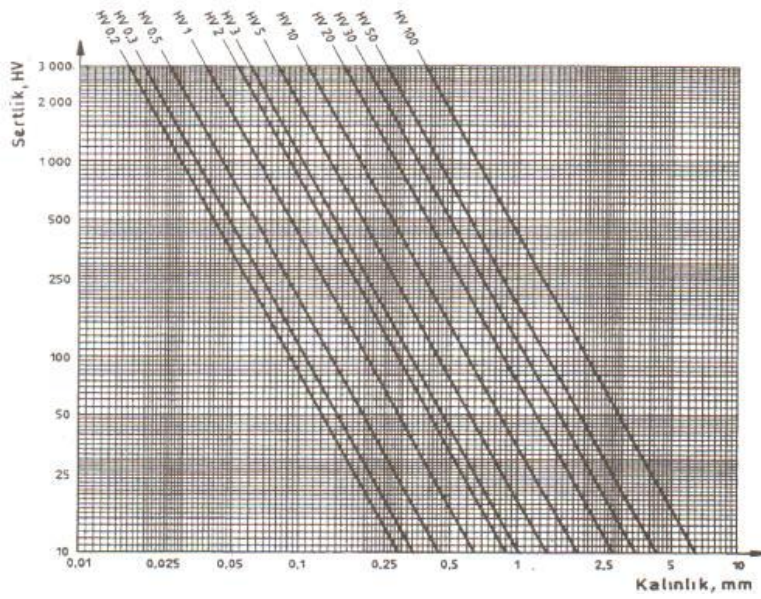
Şekil 1.21. Vickers İzi



Şekil 1.22. Vickers Ölçüm Cihazı

Vickers yöntemi, optik sertlik ölçme yöntemi olmasından dolayı Brinell yöntemine benzerdir. Kullanılan uçlar, uygulanan yükler ve uygulama yerleri farklılık gösterir. Çeşitli farklılıklar doğrultusunda 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 62.5 ve 125 kg yükleme kuvvetlerinden biri ile kullanılır. Genelde 10-30 ve 50 kg yükleme kuvvetleri uygulanmaktadır (MEB, 2011). Uygulamaya başlandığından, deneyde kullanılan kuvvetin tamamının uygulandığı ana kadar geçen zaman 2-8 sn arasında olmalıdır. Mikro sertlik veya düşük yüklü kuvvet deneylerinde ise bu zaman 10 saniyeyi geçmemelidir. Bu deneylerde, baskıyı yapan ucun, numuneye yaklaşma hızı, 0,2 mm/sn'yi geçmemelidir. Uygulanan kuvvetin stabil olmasından sonra, 10-15 sn beklenmesi gerekmektedir. 440 HV 30 gösterimi, 30 kgf (yaklaşık 294,2 N)

yükün 10-15 sn içerisinde uygulanması sonucunda bulunan değerin 440 HV olduğunu göstermektedir. Sertlik ve parça kalınlığına bağlı olarak kullanılan Vickers metotları Şekil 1.23’de gösterilmiştir. Vickers metodunda kullanılan düşük yükler sayesinde Rockwell ve Brinell metotlarından istenilen sonuç alınamaması; ince ve sert tabakalı sertleştirilmiş parçalarda (sementasyon, nitrasyon, borlama) ve ince sac malzemelerin sertliklerinin bulunmasında oldukça fazla kullanılır.



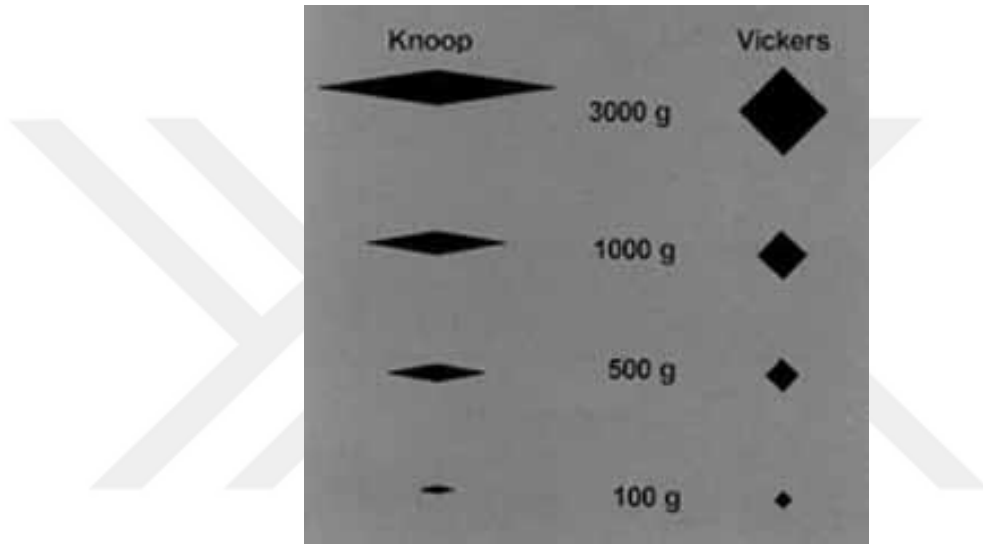
Şekil 1.23. Sertlik ve Parça Kalınlığına Bağlı Olarak Kullanılan Vickers Metotları (Bulut, 2012)

Vickers metodunda dikkat edilmesi gereken hususlar sertliği ölçülen malzemenin kenarları ile piramit iz merkezi arası, bakır, çelik ve bakır alaşımlarında izin köşegen ortalamasının en az 2,5 katı; kalay, hafif metaller, kurşun ve bunların alaşımlarında ise en az 3 katı olmasıdır.

Bakır, çelik ve bakır alaşımlarında, komşu olan iki izin merkezleri arasındaki mesafe, izlerin köşegen ortalamasının en az 3 katı; kalay, hafif metaller, kurşun ve bunların alaşımlarında ise en az 6 katı olması gerekmektedir. Bu sayede istenilen değerler düzgün bir şekilde bulunabilir (Bulut, 2012).

***. Knoop**

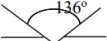
Bu metot, Vickers'a alternatif olarak, özellikle çok ince kaplamaların, seramik gibi sert ve kırılgan malzemelerin sertliklerinin tespitinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Bu yöntemde sertlik testi bir mikro sertlik testi olarak özellikle küçük izlerin (Şekil 1.24) olduğu aşırı kırılgan malzemelerin ya da ince kesitlerin mekanik sertliğinin tespitinde kullanılır.



Şekil 1.24. Knoop Sertlik Testi Elmas Uç Çeşitleri

Genel olarak Brinell, Rockwell ve Vickers sertlik ölçüm testleri arasındaki farklar Çizelge 1.17'de verilmiştir.

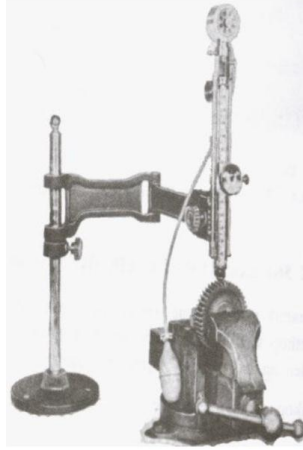
Çizelge 1.17. Sertlik Deneylerinin Karşılaştırılması

Sertlik		Simge	Batıcı Uç	İz Şekli		Yük	Sertlik Değeri Formulu	Prensip	Uygulama
Brinell		H _B	10 mm çapında çelik veya tungsten karbür bilya	Ön Görünüş	Üst Görünüş	500- 3000 kg	$BHN = \frac{2F}{\pi \cdot D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$	Uygulanan yükün, malzeme yüzeyinde oluşan izin yüzey alanına oranı, birimi genellikle kg/mm ²	Dökme demir, çelikler ve demir dışı alaşımlar
Rockwell	A	R _A	Elmas koni			60 kg	100-500 t	Batıcı ucun malzemeye batma derinliği	Çok sert malzemeler
	C	R _C				150 kg			Yüksek mukavemetli çelikler
	D	R _D				100 kg			Yüksek mukavemetli çelikler
	B	R _B	1/16 inç. Çapında çelik bilya			100 kg	130-500 t		Pirinç ve düşük mukavemetli çelikler
	F	R _F				60 kg			Çok yumuşak malzemeler
	G	R _G				150 kg			Yumuşak malzemeler ve alüminyum
	E	R _E				100 kg			Yumuşak malzemeler ve alüminyum
Vickers	HV, DPH	Elmas pramit			10-30kg	$VHN = 1,8544 \cdot \frac{F}{d^2}$	Uygulanan yükün, malzeme yüzeyinde oluşan izin yüzey	Sert malzemeler	

Dinamik sertlik ölçme yöntemleri ise kısaca;

***. Shore Sclereskobu Yöntemi ile Sertlik Ölçümü**

Bu uygulamada sertlik ölçümü için elmas uçlu bir çekiç cam borunun içerisinden parça üzerine bırakılır ve çekicinin cama vurmasından sonra oluşan zıplama boyuna göre hesaplanır. (Şekil 1.25) Bu uygulamanın maliyeti düşüktür, uygulamak kolaydır ve sonuçlarının karşılaştırılması en basit olan sertlik ölçme yöntemidir.



Şekil 1.25. Shore Deney Düzenegi

***. Poldi Çekici**

Üretici tarafından tayin edilen çekiç, yük ya da yay baskısı yardımıyla parça üzerine vurulmak suretiyle uygulanır. Meydana gelen iz, portatif bir mikroskop yardımıyla ölçülerek değerleri tablodan bulunur. Bu tarz cihazlar norm dışı çalışılmaktadırlar. Ölçüm süresinin uzunluğu yanında bulunan değerlerin doğruluğunun pek güvenilir olmaması nedeniyle, tavsiye edilmezler.

1.7. Literatür Özeti

Meriç ve arkadaşları (2000) AISI 1030, AISI 1020, AISI 1050 ve AISI 1040 çeliğini, 900 °C sıcaklıklarda 2, 3, 4 ve 5 saat Ekabor-HM tozu ortamında katı borlama yöntemi ile borlama yapmışlardır. AISI 1030, AISI 1020, AISI 1050 ve AISI 1040 çeliğinin 900 °C ve 5 saat borlanmış kesit yüzeyinin sertliği sırasıyla 1960 HV, 2180 HV, 2261 HV ve 2261 HV ölçmüşlerdir. AISI 1020 çeliğinin borür tabaka kalınlığı 124 um ve AISI 1050 çelik 96 um olarak ölçülmüştür. Çeliğin karbon oranının artması ile borür tabaka kalınlığı azalmıştır. Çeliğin karbon oranının artması ile borür tabaka sertliği artmıştır (Meriç ve Ark., 2000).

Sen ve Sen (2005) AISI 5140, AISI 4340 ve AISI D2 çeliklerini, 800, 850, 900, 950 ve 1000 °C sıcaklıklarda 2, 4, 6 ve 8 saat borik asit, boraks ve ferro silikon içeren tuz banyosu içerisinde sıvı borlama yöntemi ile borlama yapmışlardır. Borlanmamış AISI 5140 çeliğinin sertliğini 253 HV ve AISI 5140 çeliğinin borlanmış kesit yüzeyinin sertliği 1198 – 1739 HV ölçmüşlerdir. Borlanmamış AISI 4340 çeliğinin sertliğini 300 HV ve AISI 4340 çeliğinin borlanmış kesit yüzeyinin sertliği 1077 – 1632 HV ölçmüşlerdir. Borlanmamış AISI D2 çeliğinin sertliğini 660 HV ve AISI D2 çeliğinin borlanmış kesit yüzeyinin sertliği 1500 – 2140 HV ölçmüşlerdir (Sen ve Sen, 2005).

Uslu ve arkadaşları (2007) AISI 1040 ve AISI P20 çeliklerini, 800, 875, 950 °C sıcaklıklarda 2, 4, 6 ve 8 saat Ekabor-2 tozu ile borlama yapmışlardır. Borlanmış AISI 1040 çeliği kesit yüzeyinde, borür tabakası, geçiş bölgesi ile matris oluştuğunu belirtmişlerdir. XRD analizine göre, alaşım elementleri içermeyen AISI 1040 çeliğinin borlanmış kesit yüzeyi borür tabakasında FeB ve Fe₂B fazları gözlemlenmiştir. Ayrıca, alaşım elementleri içeren AISI P20 çeliğinin borlanmış kesit yüzeyi borür tabakasında FeB ve Fe₂B fazlarına ek olarak MnB, CrB fazları da gözlemlenmiştir. Borlanmamış AISI 1040 çeliğinin sertliğini 300 HV ve AISI 1040 çeliğinin borlanmış kesit yüzeyinin sertliği 1200 – 1500 HV arasında ölçmüşlerdir (Uslu ve Ark., 2007).

Tabur ve arkadaşları (2009) AISI 8620 çeliğini, 850, 900, 950 °C sıcaklıklarda 2, 4 ve 6 saat Ekabor-2 tozu ile borlama yapmışlardır. Borlanmamış AISI 8620 çeliğinin sertliğini 220 HV ve AISI 8620 çeliğinin borlanmış kesit yüzeyinin sertliği 1850 HV arasında ölçmüşlerdir. Borlama sıcaklığının ve süresinin artması ile borür tabaka kalınlığı artmıştır (Tabur ve Ark., 2009).

Özdemir ve arkadaşları (2009) AISI 316 çeliklerini, 800, 875 ve 950 °C sıcaklıklarda 2, 4 ve 8 saat Ekabor tozu ortamında katı borlama yöntemi ile borlama yapmışlardır. Borlanmamış AISI 316 çeliğinin sertliğini 180 HV ve AISI 316 çeliğinin borlanmış kesit yüzeyinin sertliği 1700 HV ölçmüşlerdir (Özdemir ve Ark., 2009).

Ulutun ve arkadaşları (2010) AISI 4140 çeliklerini, 900, 950 ve 1000 °C sıcaklıklarda 2, 4 ve 6 saat Ekabor-2 tozu ortamında katı borlama yöntemi ile borlama yapmışlardır. Borlanmamış AISI 4140 çeliğinin sertliğini 180 HV ve AISI 4140 çeliğinin 900 °C ve 6 saat borlanmış kesit yüzeyinin sertliği 1612 HV ölçmüşlerdir. AISI 4140 çeliğinin 950 °C ve 6 saat borlanmış kesit yüzeyinin sertliği 1698 HV ölçmüşlerdir. AISI 4140 çeliğinin 1000 °C ve 6 saat borlanmış kesit yüzeyinin sertliği 1655 HV ölçmüşlerdir. AISI 4140 çeliğinin 1050 °C ve 6 saat borlanmış kesit yüzeyinin sertliği 1646 HV ölçmüşlerdir (Ulutun ve Ark., 2010).

Ozbek ve arkadaşları (2011) AISI M2 çeliğini, 850, 900 ve 950 °C sıcaklıklarda 2, 4, 6 ve 8 saat Ekabor-1 tozu ortamında katı borlama yöntemi ile borlama yapmışlardır. Borlanmamış AISI M2 çeliğinin sertliğini 237 HV ve AISI M2 çeliğinin 950 °C ve 8 saat borlanmış kesit yüzeyinin sertliği 1600 – 1900 HV ölçmüşlerdir (Ozbek ve Ark., 2011).

İpek ve arkadaşları (2012) AISI 51100 çeliğini, 850, 900 ve 950 °C sıcaklıklarda 2, 4, 6 ve 8 saat Ekabor-2 tozu ortamında katı borlama yöntemi ile borlama yapmışlardır. Borlanmamış AISI 51100 çeliğinin sertliğini 380 HV ve AISI 512100 çeliğinin 950 °C ve 8 saat borlanmış kesit yüzeyinin sertliği 1800 HV ölçmüşlerdir (İpek ve Ark., 2012).

Kayali ve arkadaşları (2012) AISI 52100 ve AISI 440C çeliklerini, 850, 900 ve 950 °C sıcaklıklarda 2, 4 ve 8 saat Ekabor-2 tozu ortamında katı borlama yöntemi ile borlama yapmışlardır. Borlanmamış AISI 52100 çeliğinin sertliğini 848 HV ve AISI 52100 çeliğinin 900°C ve 4 saat borlanmış kesit yüzeyinin sertliği 2000 HV ölçmüşlerdir. AISI 52100 çeliğinin 950 °C ve 4 saat borlanmış kesit yüzeyinin sertliği 2000 HV ölçmüşlerdir. Borlanmamış AISI 440C çeliğinin sertliğini HV ve AISI 440C çeliğinin 900 °C ve 4 saat borlanmış kesit yüzeyinin sertliği 1900 HV ölçmüşlerdir. AISI 440C çeliğinin 950 °C ve 4 saat borlanmış kesit yüzeyinin sertliği 2100 HV ölçmüşlerdir (Kayalı ve Ark., 2012).

Habibolahzadeh ve Haftlang (2017) AISI 1045 çeliğini, 850 °C sıcaklıklarda 5 saat %15 B₄C, %75 Al₂O₃ ve %10 NH₄Cl tozu ortamında katı borlama yöntemi ile borlama yapmışlardır. Borlanmamış AISI 1045 çeliğinin sertliğini 270 HV ve AISI 1045 çeliğinin 900 °C ve 4 saat borlanmış kesit yüzeyinin sertliği 1131 HV ölçmüşlerdir (Habibolahzadeh ve Haftlang, 2017).

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Malzeme Seçimi

AISI 304 L çeliğinden 15 mm çap ve 30 mm uzunluğundaki silindirik 60 adet numune, Ostim Organize Sanayi Ankara Alüminyum firmasından temin edilmiştir.

Katı borlama işleminde Baybora-1 marka (Bayça, 2018) katı borlama ajanı kullanılmıştır.

Protherm marka (PLF 120 model) kamara fırında borlama işlemi gerçekleştirilmiştir.

2.2. Yöntem

2.2.1. AISI 304L Çeliğine Katı Borlama İşlemi

Borlama ısıtma işlemi, katı borlama metodu kullanılarak Kırıkkale Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği (Hidrotermal nanopartikül sentez laboratuvarı) Laboratuvarında yapılmıştır. AISI 304 çeliğinden üretilmiş 150 mm yüksekliğe ve 70 mm genişliğe sahip, kapaklı pota kullanılmıştır. Potaya Baybora-1 borlama ajanı ve borlama ajanı içerisine de bor difüzyonu gerçekleştirilecek çelik silindirik numuneler yerleştirilmiştir. En son olarak, kapak seviyesine kadar deoksidan yerleştirilerek kapak kapatılmıştır. Protherm Furnaces marka fırın (Şekil 2.1) içerisinde 950 °C’de sırasıyla 2, 4, 6 ve 8 saat borlama ısıtma işlemleri yapılmış ve bu süreler sonunda numuneler pota ile birlikte fırın içerisinde soğumaya bırakılmıştır.



Şekil 2.1. Protherm Furnaces Marka Fırın

2.2.2. Zımparalama-Parlatma

Dairesel kesite sahip olan yüzey kısımları Şekil 2.2’de görülen “Mikrolost” marka parlatma cihazında 300 dev/dk hızda zımparalama işlemleri sırasıyla 240-400-600-800-1200 μ m’lik mesh kalınlıklı eksantrik su geçirmez silikon karpit zımpara kâğıtları ile numune yüzeylerindeki pürüzlülük kaldırılmıştır. Daha sonra, hassas keçeler ile 150 dev/dk dönüş hızında diamond suspension mono kristalin markalı 6, 3 ve 1 μ m’lik solüsyonlar kullanılarak parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.2. Numunelerin Parlatılmasında Kullanılan Parlatma Cihazı

Parlatılan numuneler %15 HNO₃, %15 saf su, %10 H₂O₂, %15 HCl, %45 Etanol çözeltisiyle 30 sn süreyle dağlanmıştır. Daha sonra numuneler alkol ve su ile yıkanıp asit ve kalıntılardan temizlenerek hassas bir şekilde kurutulmuştur.

Parlatılıp dağlanmış numunelerin mikro yapı görüntü analizleri, Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Nikon Eclipse MA100 marka optik mikroskop ve ODTÜ Merkezi Araştırma Laboratuvarı QUANTA 400F Field Emission SEM cihazı ile incelenmiştir.

2.2.3. X-Işınları Difraktometresi (XRD-Toz) İçin Numune Hazırlanması

Farklı difüzyon sürelerinde borlanmış ve borlanmamış AISI 304L numunelerinden 10mm yükseklikte 15mm çaplı katı örnekler hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler, ODTÜ Merkez Araştırma Laboratuvarında Rigaku Ultima-IV X-Işını Kırınım Cihazı ile CuK α hedef kullanılarak ($\lambda_{Cu}=0.1540$ nm) $20^{\circ}\leq 2\Theta\leq 90^{\circ}$ tarama aralığında, 1 derece/dak. tarama hızında, şiddet- 2Θ kırınım açısı eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen veriler ASTM standartlarına göre yorumlanmıştır.

2.2.4. Aşınma Testi İçin Numune Hazırlanması

Aşınma deneyleri, Kırıkkale Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Döküm Laboratuvarın'da bulunan prototip pin-on disk test cihazında gerçekleştirilmiştir. 150 mm yarı çapında ve 300 mm uzunluktaki numuneler 80, 220 ve 400 mesh'lik Al₂O₃ aşındırıcı kâğıtlarına farklı yükler (10, 20, 30 N) uygulayarak 40 m'lik bir kayma mesafesi için 0,5 m/s kayma hızı ile gerçekleştirilmiştir. Her bir örnek ultrasonik olarak temizlenmiştir. Aşınma testinden sonra da numuneler, çözücüler ile temizlenerek (kalıntıları yok etmek için) kütle kaybı belirlenmiştir. Numuneler, aşınma testlerinden önce ve sonra 0,0001 mg hassasiyetli Sartorius marka hassas terazi kullanarak tartılmıştır. Aşınma yüzey incelemelerinde ise Kırıkkale Üniversitesi, Elektron Mikroskop Laboratuvarı JEOL JSM 5600 SEM cihazı kullanılmıştır.

2.2.5. Korozyon Testi İçin Numune Hazırlanması

Borlanmış ve borlanmamış numuneler hassas terazi ile ilk ağırlığı ölçüldükten sonra, 10 ml sülfürik asit (H_2SO_4) ile 90 ml saf su iyice karıştırılıp daha önceden 56-57 °C'de ısıtılmış ve sabit sıcaklıkta tutulan karışımın içerisinde ayrı ayrı 2 ve 5 saat bekletilmişlerdir. Bu süreler sonunda numuneler saf su ve alkol ile yıkanıp kurutulmuştur. Borlu numunelerin üzerine yapışan borlama ajan tozunu uzaklaştırmak için 2 gün aseton içerisinde bekletilip daha sonra ultrasonik yöntem ile 8 saat aseton içinde temizlenmiştir. Ayrıca, 1200 mesh SiC zımpara ile çok az miktarda kalan borlama ajan tozları da zımparalanarak uzaklaştırılmıştır. En son tekrar 0,0001 gr hassasiyetli Sartorius marka hassas terazi kullanarak ağırlıkları ölçülmüştür.

2.2.6. Mikro Sertlik İçin Numune Hazırlanması

Parlatılıp dağlanmış numuneler, Kırıkkale Üniversitesi, Metalürji ve Malzeme Müh. Metalografi Lab.'da bulunan Galileo Durometria markalı Vickers sertlik cihazı ile 100 gr yük altında 12 s bekleme süresi ile yüzeyden merkeze doğru yaklaşık 10 µm aralıklarla, 3'er kez tekrarlanarak mikro sertlik değerleri elde edilmiştir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

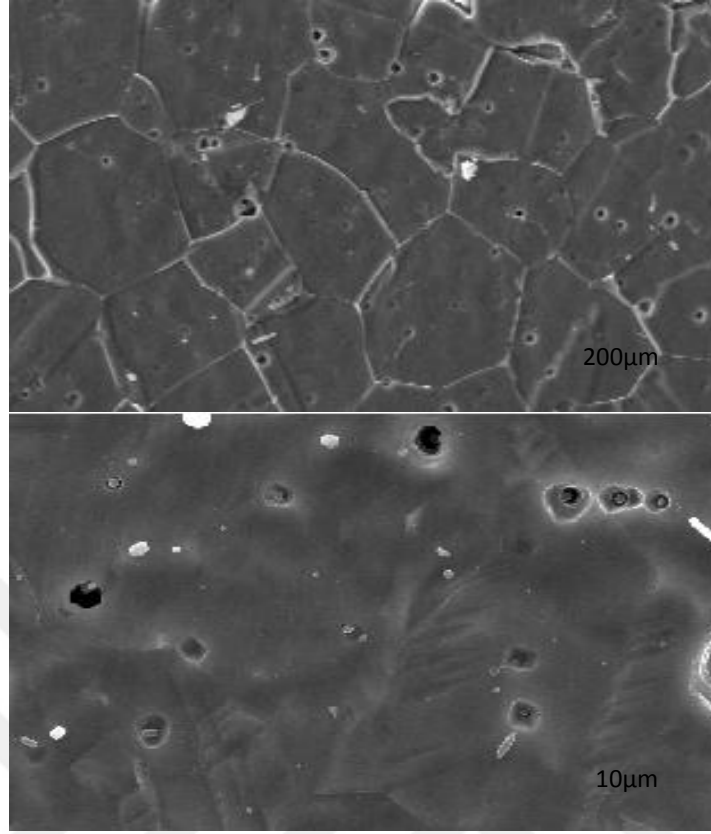
3.1. İncelenen Alaşımın Kimyasal ve Yapısal Özellikleri

AISI 304L paslanmaz çeliğinin kimyasal bileşimi (% ağırlıkça) Hitit Üniversitesi Bilimsel Teknik Uygulama ve Araştırma Merkezinde Optik Emisyon Metal Analiz Spektrometresi cihazı ile incelenmiş ve Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. AISI 304L Çeliğinin Deneysel Çalışma Sonucunda Elde Edilen Kimyasal Kompozisyonu (% ağırlıkça)

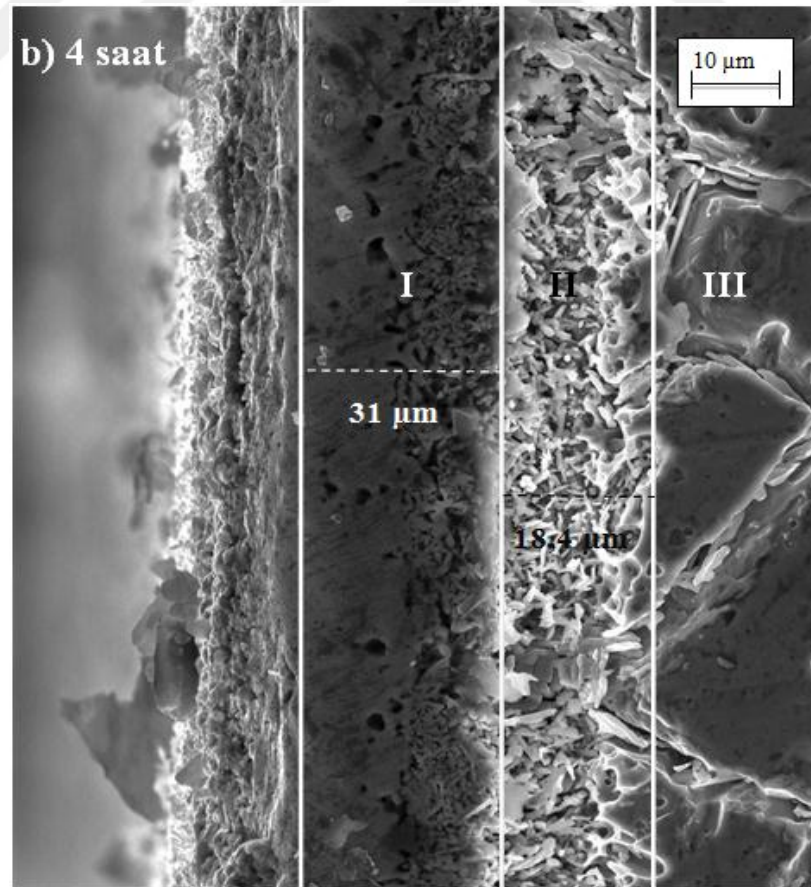
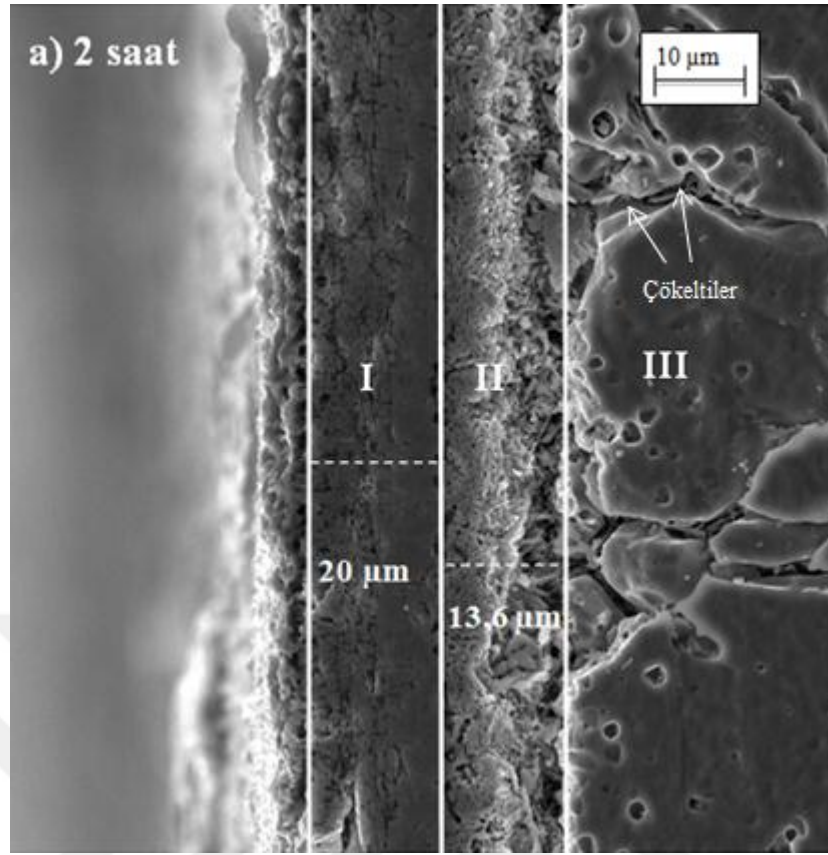
C	Ni	Cr	Mn	P	S	Si	Cu	Mo	N	Fe
0,020	7,745	18,532	1,274	0,022	0,070	0,366	0,528	0,552	0,030	70,067

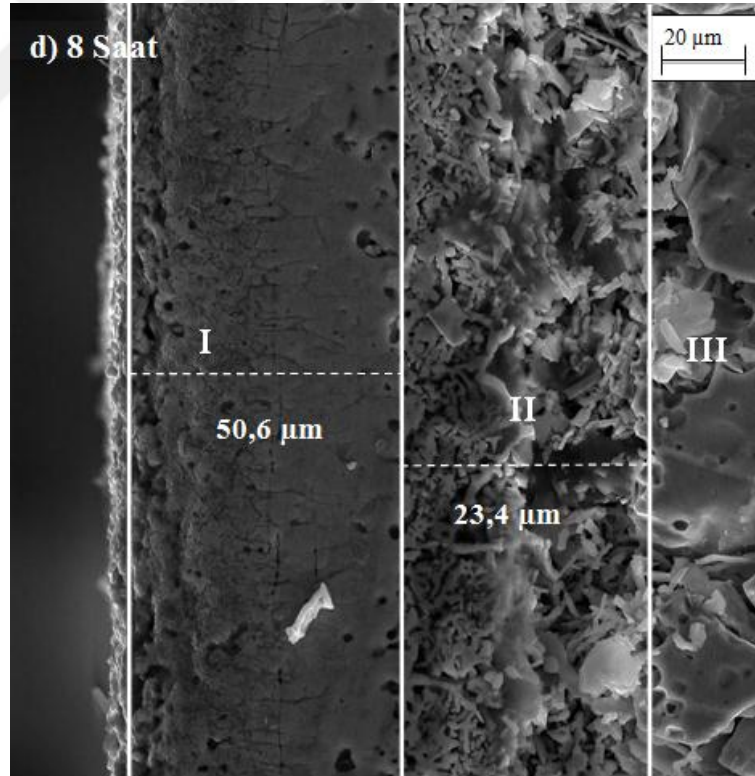
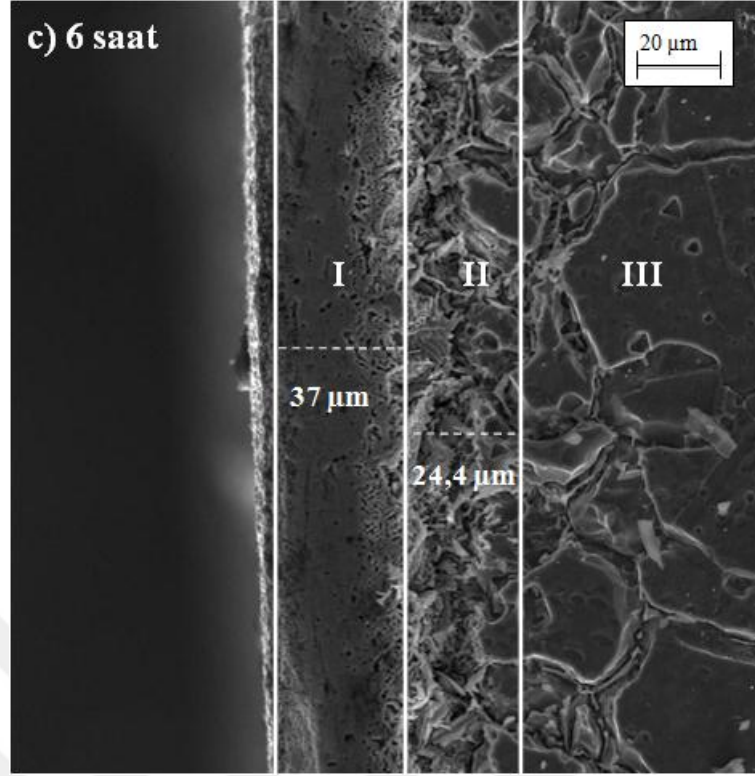
Borlama yapılmamış AISI 304L çeliğinin SEM analiz görüntülerinde Şekil 3.1’de görüldüğü gibi (fcc) austenite yapı (γ) ile birlikte (bcc) martensite (α) gözlenmiştir.



Şekil 3.1. AISI 304L Austenitik Paslanmaz Çeliğinin SEM Görüntüleri

950 °C’de 2, 4, 6 ve 8 saat katı borlama yapılan alaşımın SEM incelemeleri neticesinde, kaplama-matris ara yüzey morfolojisinin düz ve pürüzsüz bir yapı sergilediği Şekil 3.2’de görülmektedir. Genellikle, karbonlu çeliklerde bor tabakası testere dişli bir görünüm verirken AISI 304 ve 304L çeliklerinde oluşan borür tabakası daha ince bir yapıda ve düzdür. Borlama aşamasında, matris malzemenin austenite tane sınırlarında alaşım element konsantrasyonlarının (yüksek miktarda Cr) bor difüzyonunu zorlaştırması ile düz bir bor tabakası oluşturmaya sebep olmaktadır. Böylece borür tabakasının düz veya testere dişi görünümlü olması, matris malzemedeki alaşım elementlerinden ve konsantrasyonlarından kaynaklı olduğu belirtilmiştir (Güven ve ark, 2015; Kayalı, 2012; Güven, 2014; Balusamy, 2013).





Şekil 3.2. 950°C'de a) 2 b) 4 c) 6 ve d) 8 Saat Borlama Yapılan AISI 304L Çeliklerinin SEM Görüntüleri

İncelenen borlu alaşımların SEM görüntülerine göre 3 farklı bölge oluşmuştur. Bu bölgeler;

- i) Borür Tabakası
- ii) Porozite Bandı
- iii) Matris Bölge

i) Borür Tabakası

Bor atomları, Fe ara yerlerinde çözünemediğinde, reaksiyona girerek FeB ve Fe₂B formunda inter-metalik bileşikler oluştururlar. Bu da yine, matris malzemenin kimyasal bileşime ve ortalama potansiyeline bağlı olarak tek ve çiftli borür tabakası oluşturmasını sağlar (Taktak, 2007). Austenitik paslanmaz çeliklerde bor tabaka kalınlığı, diğer karbon çeliklerine göre austenite yapıda karbon difüzyonunun düşük olmasından dolayı daha incedir. Çözünebilir karbon ihmal edilebilecek kadar düşük olduğunda işlem süresince karbon, alt katmanlara itelenir. Bor tabakasının hemen altında yüksek C içeren kısmın büyümesi yavaşlar ve bor tabakası inceler. Borlama sıcaklığı 950-1000 °C’de austenite yapı içerisinde C difüzyonu ferrit yapıdan 250-300 kez daha yavaştır (Günen, 2014).

Alaşım elementlerinin borür tabakası içerisinde demir atomlarının yerlerini alması sebebiyle, katı borlama işlem süresi arttıkça borür ve porozite bant kalınlığı da artar. Cr elementi tercihli olarak demir-borüre girip borlama esnasında yüzeye doğru yayılırken, aksine Ni elementi tabaka altında konsantre olur ve düşük nikel borürlerin oluşmasına sebebiyet verir. Böylece borlama yapılan alaşımın mikroyapı özellikleri; borlama sıcaklığına, borlama süresine ve kimyasal bileşime bağlıdır (Günen, 2015; Balusamy,2013; Günen ve ark,2003).

ii) Porozite bandı

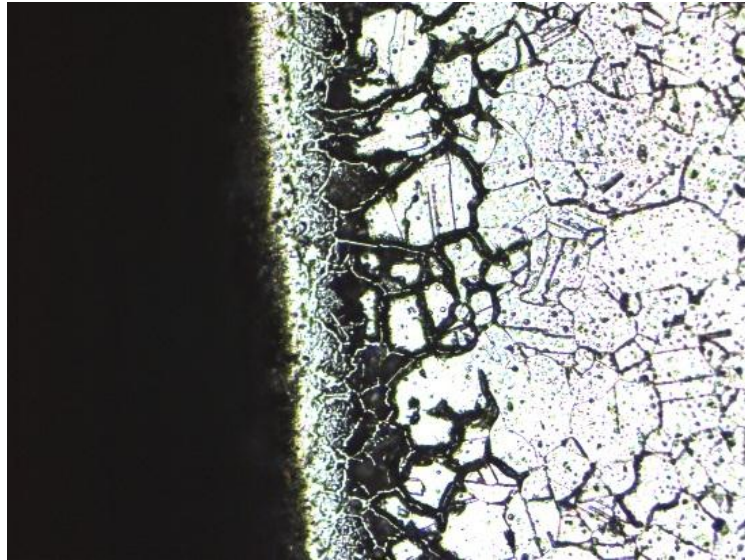
Porozite bandı, borlama süresince borlanmış tabaka altında karbonun hızlı difüzyonu sebebiyle oluşan bir bölgedir. Porozite bandın hemen altında geçiş bölgesinde tane

sınırı çökeltileri gözlenmektedir. Tane sınırlarındaki karbür çökeltileri genel olarak paslanmaz çeliklerde yüksek sıcaklığa bağlı olarak sıkça görülen bir olaydır (tane sınırı segregasyonu) (Günen, 2014).

iii) Matris Bölge

Borlama ısıl işleminden etkilenmemiş bölgedir.

950 °C’de 2, 4, 6 ve 8 saatlik katı borlama yapılan alaşımın SEM incelemelerine göre ısıl işlem süresi arttıkça bor tabaka kalınlıkları 20µm-50,6µm, porozite bant kalınlığı ise 13,6µm-23,4µm arasında değişmiştir. Bu değişim Çizelge 3.2’de gösterilmiştir. Borlama süresi arttıkça, borür tabaka kalınlığının ve porozite bant genişliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca borlanan numunelerin genel bir yüzey incelemesi için Şekil 3.3’te 6 saatlik borlama işlemi yapılan AISI 304L çeliğinin optik mikroskop görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.3. AISI 304L Çeliğine 6 Saat Borlama Yapılan Numunenin Optik Mikroskop Görüntüsü (20x)

Borlanan numunelerin ısıtıl işlem süreleri ile oluşan borür ve porozite tabaka kalınlıkları Çizelge 3.2’de verilmiştir.

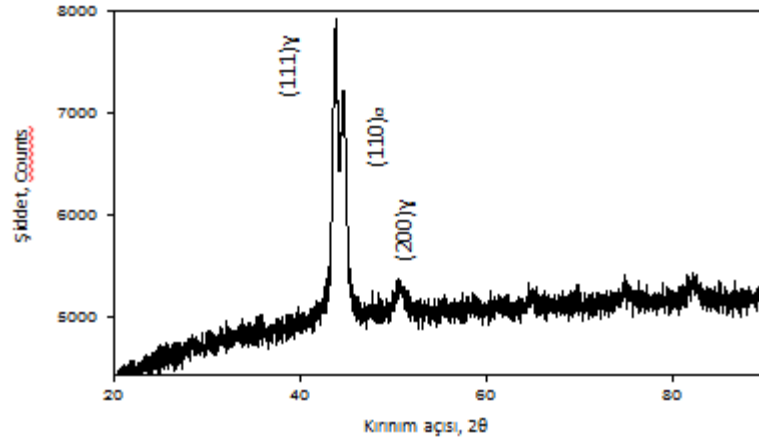
Çizelge 3.2. Borlama Yapılmış Numunelerin Tabaka Kalınlıkları

Borlama süresi	Borür Tabaka Kalınlığı (μm)	Porozite Bant Genişliği (μm)
2 saat	20	13,6
4 saat	31	18,4
6 saat	37	24,4
8 saat	50,6	23,4

İncelenen AISI 304L çeliğinde oluşan borür tabaka kalınlığı, hemen hemen aynı koşullar altında yapılan 304 çelikleri üzerine yapılan çalışmalar ile kıyaslandığında; Balusamy ve ark. (2013), 304 paslanmaz çeliğini 950 °C’de 1, 3 ve 5 saat %5 B₄C, %5KBF₄ ve %90 SiC borlama tozu ile 10-31 μm aralığında, Güneş ve Taktak (2012) 21NiCrMo₂ çeliğini Ekabor II tozu sıcaklık 750 ve 800 °C sıcaklıklarda 5 saatlik kutu borlama ile 6,7 - 24,4 μm, Taktak (2007), 950 °C’de 304 çeliğini 3, 5 ve 7 saat Ekabor-III tozu ile borlama yaparak 28-42 μm, Turhan (2008), 304 çeliğine 1200 °C’de 3 saat Ekabor-III tozu ile borlama yaparak yaklaşık 10-15 μm borür tabaka kalınlığı elde etmişlerdir. Borür tabaka kalınlıklarındaki farklılıklar, karbon oranının azalmasıyla tabaka kalınlığının artacağını ve kullanılan özel ve yerli bir üretim olan (Baybora-1) borlama tozunun etkisi olduğunu söyleyebiliriz.

3.2. Kristalografik Özellikler

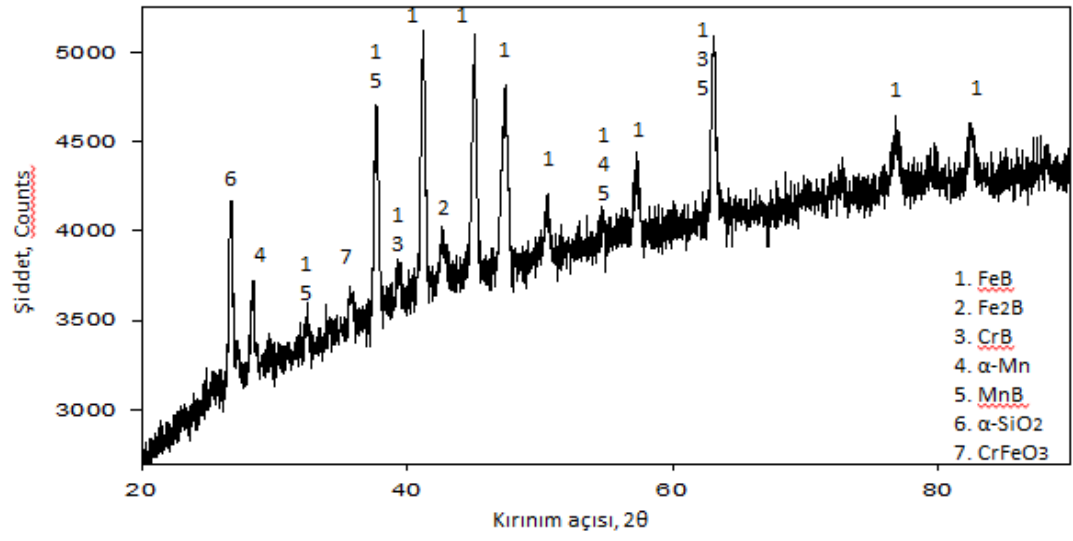
Borlama işlemi yapılmamış AISI 304L paslanmaz çeliğinin XRD grafiği Şekil 3.4. verilmiştir.



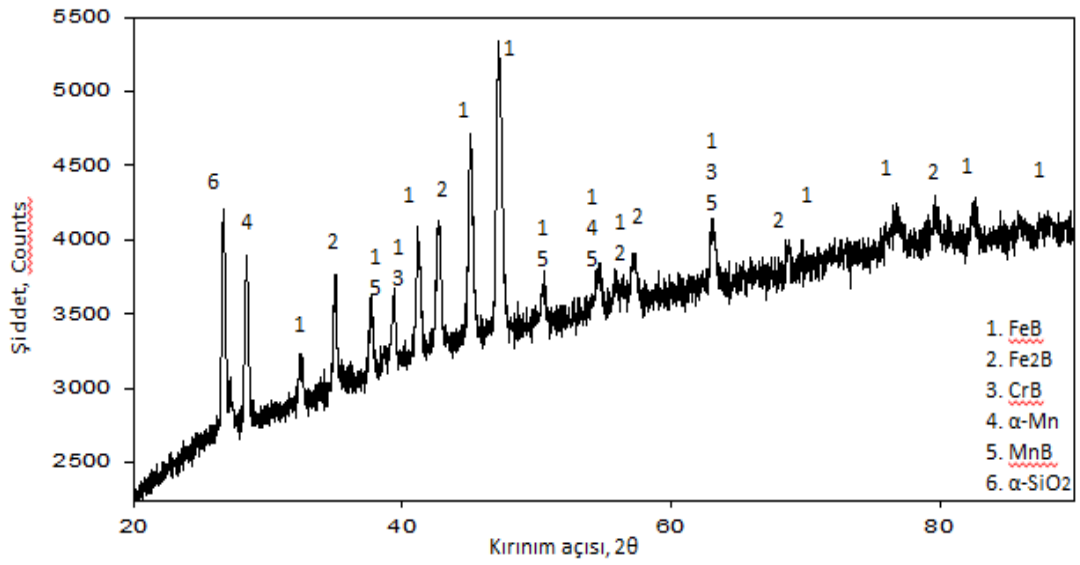
Şekil 3.4. Borlama Yapılmamış AISI 304L Paslanmaz Çeliğinin XRD Grafiği

AISI 304L çeliğinde (111) γ ve (200) γ austenite (fcc) pikleri ile (110) α martensite (bcc) fazları belirlenmiştir. Bu sonuç hem SEM analiz görüntüleri hem de literatür ile uyum içerisindedir (Balusamy, 2013).

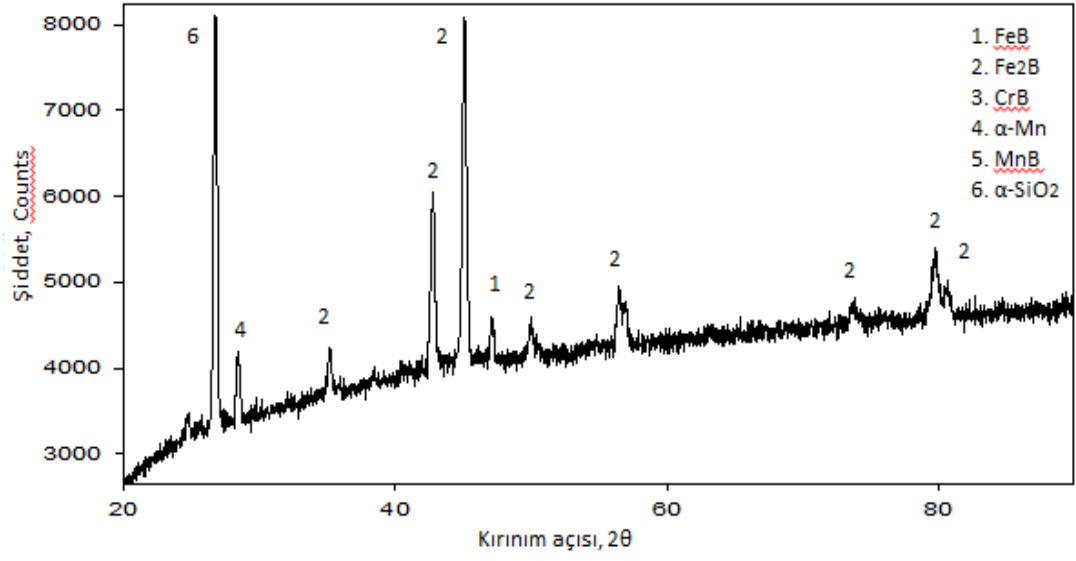
950 °C sıcaklıkta 2, 4, 6 ve 8 saatlik borlama işlemine tabii tutulan AISI 304L paslanmaz çelik numuneler X-ışını kırınım desenleri ise Şekil 3.5 (a, b, c ve d)'de görülmektedir.



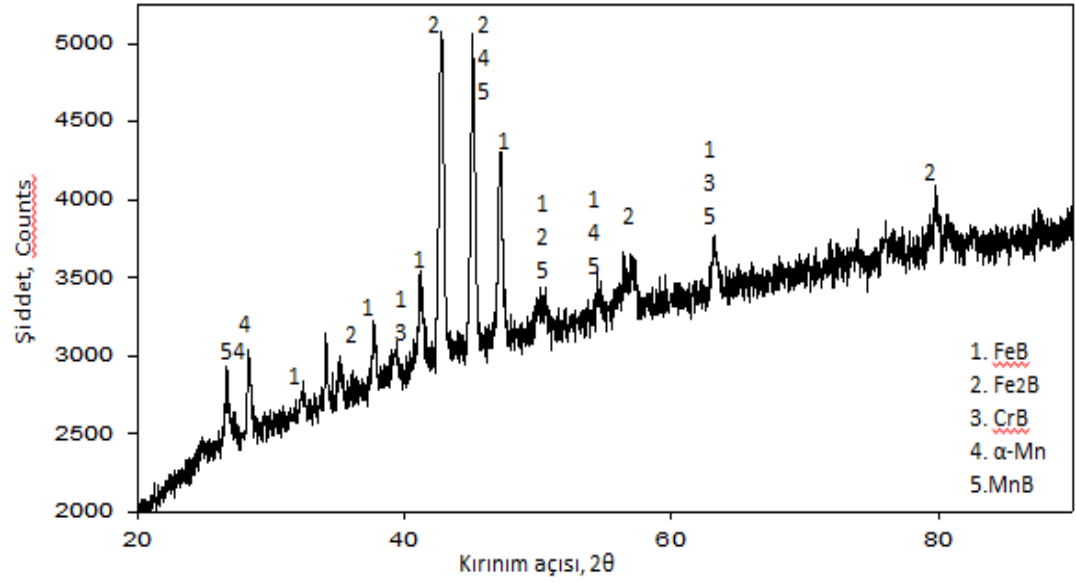
a) 2 saat borlama yapılan numune



b) 4 saat borlama yapılan numune



c) 6 saat borlama yapılan numune



d) 8 saat borlama yapılan numune

Şekil 3.5. 950°C’de Sırasıyla **a)** 2 **b)** 4 **c)** 6 ve **d)** 8 Saat Borlanmış AISI 304L Paslanmaz Çeliğinin XRD Grafikleri

Borür tabakasında oluşması beklenen FeB ve Fe₂B fazlarının dışında Cr, Ni, Mn alaşım elementleri de bor ile inter-metalik bileşikler oluştururlar. Borlama süresince Cr atomları matris alaşımdan kolayca difüze olabilir ve aktif bor atomları ile reaksiyona girerek CrB ve Cr₂B formunda oluşur. Fakat FeB ve CrB faz kristal yapıları birbirine çok benzediklerinden dolayı da bu fazların ayırt edilmesi oldukça güçtür (Balusamy, 2013). Ayrıca, borür tabakasında, çözünürlüğü en az olan Cr element miktarı Fe 'den daha az gözlenir (Kayalı, 2012).

950 °C'de 2, 4, 6 ve 8 saatlik katı borlama işlemi yapılan AISI 304L paslanmaz çeliğinin XRD analizine göre, FeB ve Fe₂B fazları baskın olarak bulunurken çok az miktarlarda CrB, α -Mn, MnB, α -SiO₂ ve Cr_{1,3}Fe_{0,7}O₃ fazları oluşmuştur. Bor difüzyon süresi arttıkça MnB ile Fe₂B faz miktarları artmış, FeB faz miktarı azalmıştır.

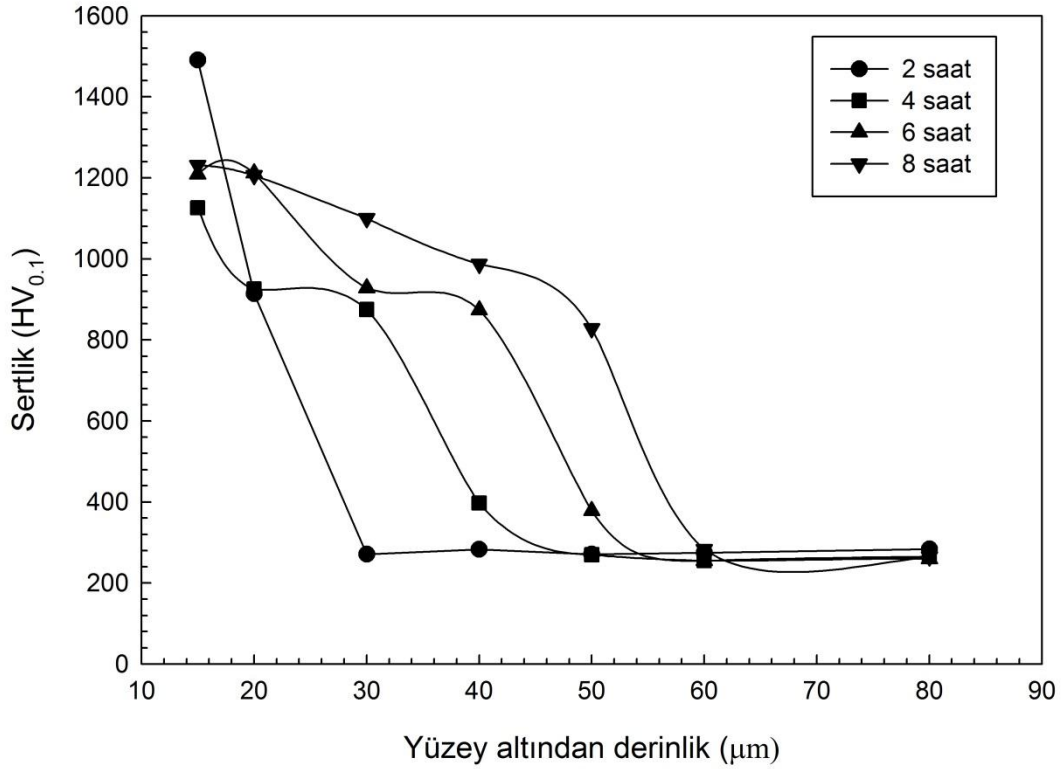
Endüstriyel uygulamalarda, borür tabakasında Fe₂B faz oluşumu FeB fazından daha çok tercih edilmektedir. FeB fazı Fe₂B'e göre çok daha parlak ve yüksek sertliğe sahip olmasından dolayı darbe ve yorulma koşullarında kullanım alanlarını kısıtlamaktadır (Günen, 2015). Kulka ve arkadaşları (2013), Armco-Fe alaşımına gaz ortamda borlama işlemini uygulayarak, bor difüzyon süresini artırarak FeB faz oluşumunu engelleyip Fe₂B faz miktarını artırmışlardır.

3.3. Vickers Sertlik Analizi

Çeliklerdeki bor tabaka sertliklerindeki farklılıklar matris malzemedeki alaşım element miktarlarına bağlıdır. Bor tabaka sertliği, matris malzemedeki Cr miktarı arttıkça artar (Badini, 1987). Günen ve ark., (2014), 304 paslanmaz çeliğe 950 °C'de 2 ve 4 saatlik borlama işlemi yaparak mikro sertlik değerlerini kıyaslamışlardır. Elde ettikleri sonuçlar sırasıyla 1020-1100 HV'lik sertlik değerleri ile yaptığımız çalışmada elde ettiğimiz mikro sertlik değerleri desteklenmektedir.

AISI 304L paslanmaz çeliğinin sertlik değeri yaklaşık olarak 268,3 HV olarak ölçülmüştür. Borlama yapılan malzemelerin ise, yüzeyden merkeze doğru sırasıyla

borür tabaka, porozite bandı ve matris bölgelerinde farklı mesafelerdeki Vickers sertlik değerleri ölçülmüş ve elde edilen sertlik değerlerinin eğrileri Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. 950 °C’de 2, 4, 6, 8 Saat Borlanmış AISI 304L Çeliğinin Farklı Mesafeler İçin Vickers Sertlik Değerleri

Borür tabaka sertliği 1515,1 ile 382,3 HV_{0.1} arasında değişmiştir. Borür tabaka ile matris bölgenin mikro sertlik değerleri kıyaslandığında, borür tabakanın matristen yaklaşık 5,6 kat fazla olduğu belirlenmiştir. Bor difüzyon süresi arttıkça borür tabaka sertlik değerleri azalmıştır. Bu sonuç, XRD analizlerinde gözlenen borlama süresi arttıkça Fe₂B faz miktarının artması ile uyumludur.

3.4. Korozyon Testi Sonuçları

%10 H₂SO₄ asit içerisinde 56-57 °C’de 2 ve 5 saat tutulan borlu ve borlanmamış numunelerin verileri Çizelge 3.3’te verilmiştir. Buna göre numunelerin ağırlık kayıpları hesaplanarak borlama işleminin korozyona direnç etkisi ortaya konulmuştur.

Çizelge 3.3. %10 H₂SO₄ Asit İçerisinde 56-57 °C’de 2 ve 5 Saat Tutulan 304L ve 2, 4, 6, 8 Saat Borlanmış AISI 304L Çeliği

Numune	İlk Ağırlık	Son Ağırlık (2 saat bekletme)	Son-İlk Ağırlık	Korozyona dayanım oranı (kat)
304L borlanmamış numune	35,2202	35,0691	0,1511	1
2 saat borlanmış numune	35,2488	35,2061	0,0427	3,53
4 saat borlanmış numune	36,772	36,7483	0,0237	6,37
6 saat borlanmış numune	35,3004	35,2779	0,0225	6,71
8 saat borlanmış numune	35,2815	35,267	0,0145	10,42

Numune	İlk Ağırlık	Son Ağırlık (5 saat bekletme)	Son-İlk Ağırlık	Korozyona dayanım oranı (kat)
304L borlanmamış numune	35,1881	34,5545	0,6336	1
2 saat borlanmış numune	35,2654	35,0971	0,1683	3,76
4 saat borlanmış numune	36,6764	36,5528	0,1236	5,12
6 saat borlanmış numune	35,3074	35,2532	0,0542	11,69
8 saat borlanmış numune	35,2398	35,2025	0,0373	16,98

Korozyon testi verilerine göre, 304L çeliğine uygulanan katı borlama işlemi ile bor difüzyon süresine bağlı olarak borür tabaka kalınlıkları arttıkça 2 saat %10 H₂SO₄ asit içerisinde bekletilmesiyle yaklaşık 3,5-10,4 kat, 5 saat asit içerisinde bekletilmesi ile 3,76-16,98 kat korozyon direnç artışı sağlandığı tespit edilmiştir. En iyi korozyon direnci 5 saat asit çözeltisinde bekletilen 8 saatlik borlanmış 304L çeliğidir. Bu test sonuçları ile asidik ortama karşı korozyon performansını iyileştirmek için borlama işlem parametrelerinin süre ve borlama ajan tozu etkisi açığa çıkarılmıştır.

3.5. Aşınma Testi Sonuçları

Borlama, termo-kimyasal yüzey ısıtım işlem yöntemidir. Bu yöntemde bor atomlarının boyutlarının ve mobilitesinin çok küçük olmasından dolayı matris malzemede difüzyonla ara yer boşluklarına yerleşerek yüzeyde sert bir tabaka oluşturur. Böylece endüstride kullanılan paslanmaz üretiminin önemli bir çoğunluğunu oluşturan bu çeliklere şekillendirilebilme, süneklik ve sertlik gibi mekanik özelliklerine etki ederek kullanım alanlarını da genişletmektedir (Günen, 2015).

Aşınma testi ile bir malzemedeki aşınma miktarı, artan yük ve zımpara tane boyutu ile artar. Benzer mekanik özellikleri, daha az maliyet ve miktarlarda alaşım elementi kullanılmak suretiyle bor ve borlu çeliklerin sağlaması sayesinde hem maliyet hem de kolay uygulanabilirliği açısından avantajlı hale getirir. Borlu 33MnCrB5 çeliğinde borlama süresi arttıkça aşınma miktarlarında bariz bir azalma, mukavemet değerlerinde ise artış tespit edilmiştir. 10 ila 30 N yük altında ve 60 ila 400 mesh zımpara aralığında yük ve aşındırıcı boyutlarına bağlı olarak aşınma miktarının yaklaşık olarak 27 kat değişmiştir. 10, 20, 30 N kuvvetler altında 60, 100, 220, 400 Meshlik zımparalar ile 10 N için sırasıyla 12,8-10,8-6,2-2, 20 N için sırasıyla 34,55-22,85-14-4,25, 30 N için sırasıyla 53,55-31-21,55-7,15 kütle kayıpları tespit etmişlerdir. (İlgöz ve Ark., 2009) Özellikle ıslah çeliklerine bor ilavesi, çeliklerin mekanik özelliklerinde hiçbir olumsuz etki oluşturmada, diğer değerli alaşım elementleri eklenmesinden daha çok tasarruf edilebilmektedir (Klueh, 2002).

Levy (1995), yaptığı çalışmalarda elde ettiği bulgular doğrultusunda borlu 304 paslanmaz çeliğinin sıcaklık ve süreye bağlı olarak aşınma miktarının arttığını tespit etmiştir.

Normal paslanmaz çeliklere bor ilâvesiyle çok daha yüksek bir mukavemet ve sertlik elde edilir. Malzeme içerisine çok az miktarda bor (%0.0002 B) ilavesi bile bu artışı sağlar (Kim ve Ark, 2004). Böylece, borlanmış numunelerin borlanmamış numunelere oranla aşınma dirençleri arasında belirgin farklar bulunmaktadır (Özmen ve Çetincan, 1992, Uzun, 2002).

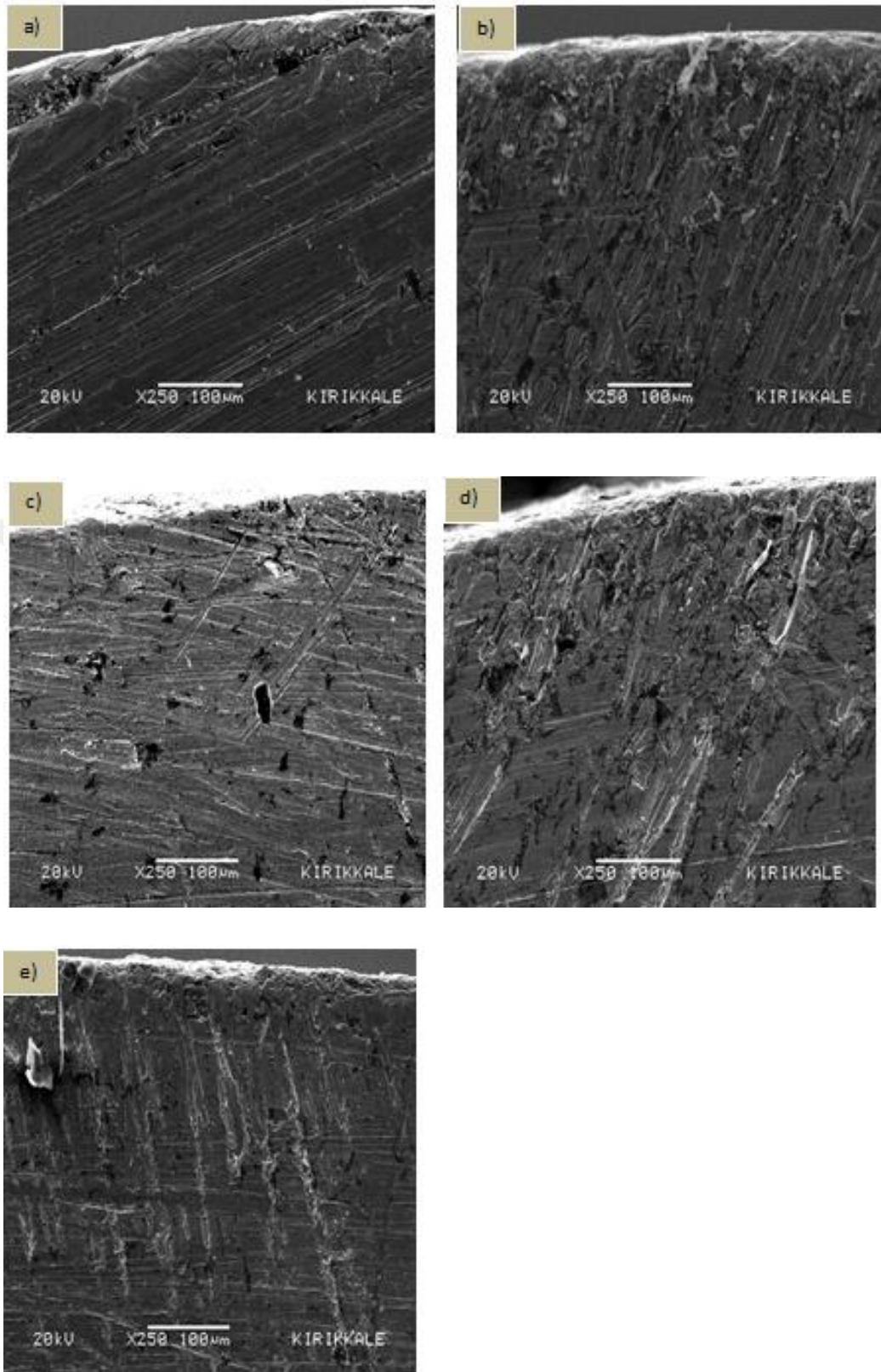
Aşınma testi yapılan ve farklı ısıl işlem süreleri uygulanan borlu 304L paslanmaz çeliğinde kullanılan Al_2O_3 zımpara boyutu, uygulanan yük ve aşınma miktarları Çizelge 3.4’te verilmiştir.

Çizelge 3.4. 304L Borlu Çelik Malzemenin Abrasif Aşınma Miktarları (gr)

Zımpara Mesh İriliği		80			220			400		
Uygulanan Yük (N)		10	20	30	10	20	30	10	20	30
Aşınma Miktarı (gr)	304L (borlanmamış)	0,126	0,134	0,17	0,102	0,124	0,163	0,054	0,059	0,08
	2 saatlik borlu çelik	0,027	0,046	0,054	0,012	0,015	0,022	0,006	0,007	0,008
	4 saatlik borlu çelik	0,029	0,079	0,098	0,015	0,022	0,026	0,011	0,013	0,017
	6 saatlik borlu çelik	0,034	0,049	0,088	0,014	0,017	0,027	0,009	0,012	0,018
	8 saatlik borlu çelik	0,044	0,051	0,062	0,013	0,019	0,024	0,008	0,011	0,02

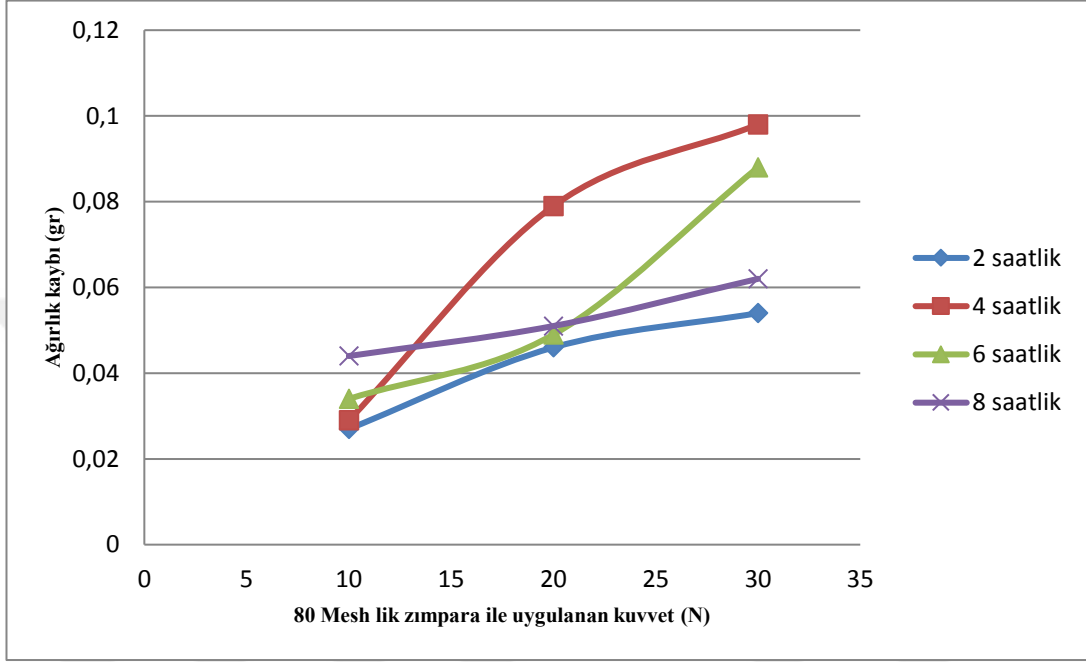
AISI 304L austenitik çeliğinde ve 2, 4, 6 ve 8 saatlik borlu çeliklerin 220 mesh iriliğinde Al₂O₃ zımpara ile 20N yük altında yapılan numunelerin SEM ile aşınma yüzey incelemeleri yapılmıştır (şekil 3.7). Buna göre, incelenen numunelerin aşınma izleri ince ve iz kenarlarında parçacık kopma boşlukları oluştuğu görülmektedir. 2 saatlik borlanmış çelikte ise aşınma test etkisinin en az olduğu görülmektedir. Borlu 304L eliklerine 80-220-400 Meshlik zımparalar ile uygulanan aşınma testindeki aşınma miktarları (gr) şekil 3.8, şekil 3.9 ve şekil 3.10’da ayrı ayrı gösterilmiştir.



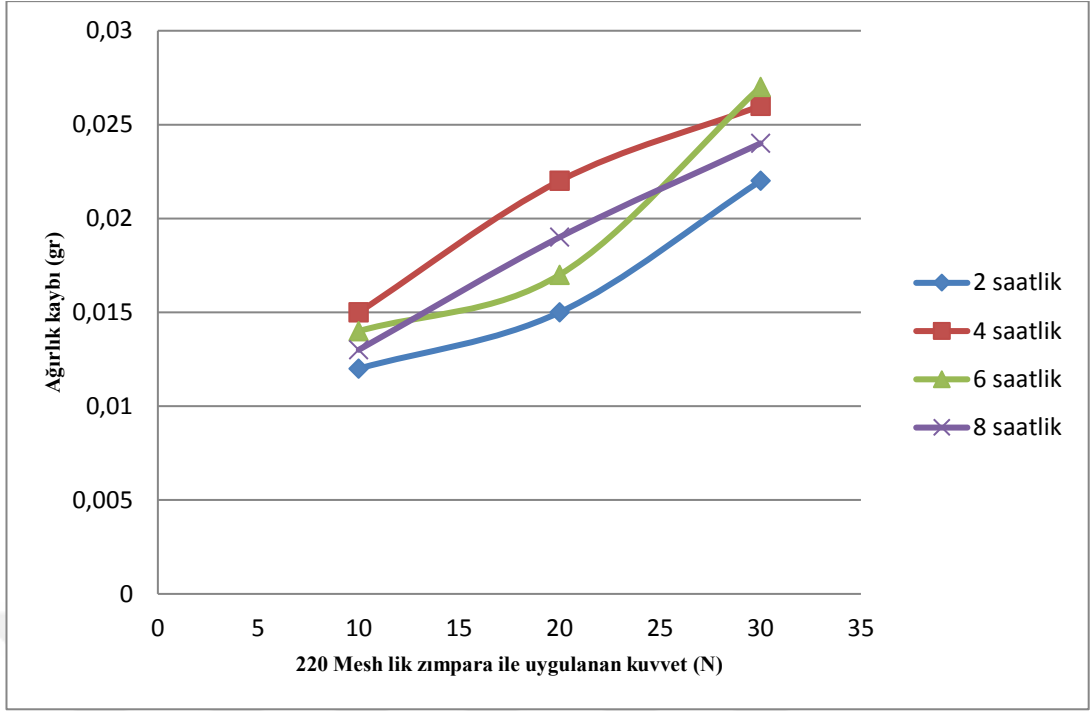


Şekil 3.7. a) 304L Paslanmaz Çeliği b) 2 saat c) 4 saat d) 6 saat e) 8 Saat Borlanmış 304L Çeliği 220 Mesh İriliğinde Al_2O_3 Zımpara ile 20N Yük Altında Aşınma Testlerinin SEM Görüntüleri

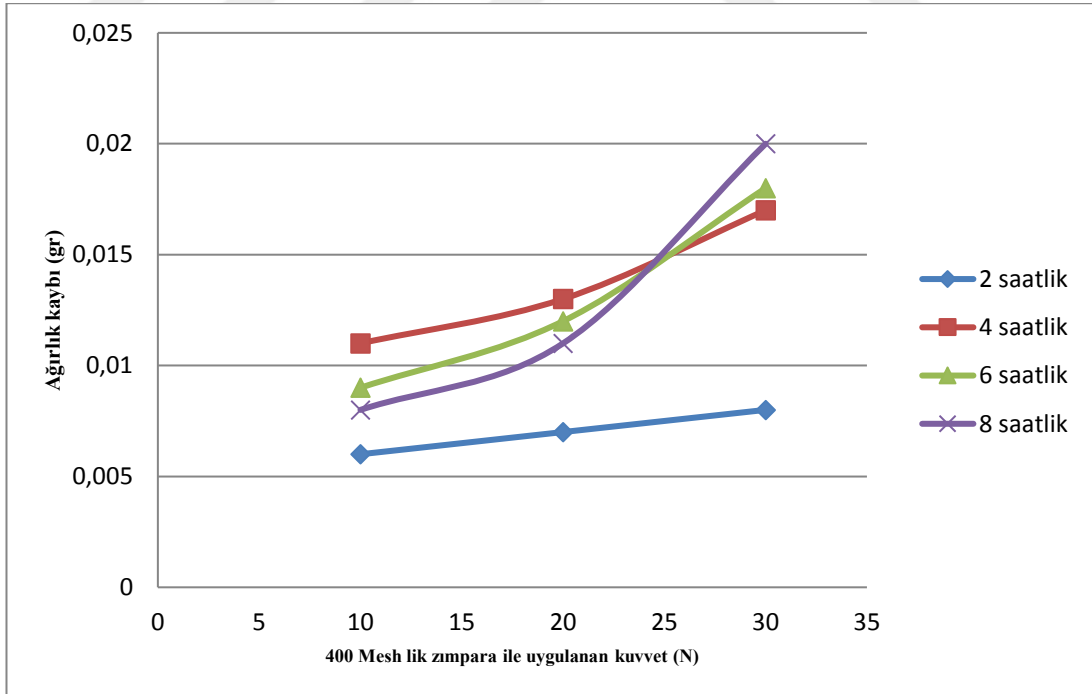
Elde edilen verilere göre, uygulanan yük miktarı arttıkça aşınma miktarları artmış, Mesh numarası arttıkça azaldığı belirlenmiştir. En yüksek aşınma miktarı 80 Meshlik zımparalarda meydana gelmiştir.



Şekil 3.8. Borlu 304L Çeliğine 80 Meshlik Zımpara ile Uygulanan Aşınma Testindeki Aşınma Miktarları (gr)



Şekil 3.9. Borlu 304L Çeliğine 220 Meshlik Zımpara ile Uygulanan Aşınma Testindeki Aşınma Miktarları (gr)



Şekil 3.10. Borlu 304L Çeliğine 400 Meshlik Zımpara ile Uygulanan Aşınma Testindeki Aşınma Miktarları (gr)

Aşınma dirençleri 2 saat borlanan numunede 2,9-10 kat, 4 saat borlanan numunede 1,7-6,8 kat, 6 saat borlanan numunede 1,9-7,3 kat ve 8 saat borlanan numunede 2,6-7,8 kat artmıştır. Sonuç olarak, 2 saat borlanan numunenin en fazla aşınma direncine sahip olduğu belirlenmiştir. Bor difüzyon süresi arttıkça FeB faz miktarının azalması aşınma direncini de azaltmıştır. Elde edilen aşınma direnç sonuçları, XRD analizi ve Vickers sertlik testleri ile uyum içerisindedir.



4. SONUÇLAR

AISI 304L çeliğine 950 °C’de 2, 4, 6 ve 8 saat katı borlama işlemi sonucunda elde edilen sonuçlar;

- a. SEM incelemelerine göre ısıtıl işlem süresi arttıkça bor tabaka kalınlıkları 20µm-50,6µm, porozite bant kalınlığı ise 13,6µm-23,4µm arasında değişmiştir. Dolayısı ile bor difüzyon süresi arttıkça borür tabaka kalınlığı artmıştır.
- b. Vickers sertlik analizine göre, borür tabaka sertliği 1515,1 ile 382,3 HV_{0,1} arasında değişmiştir. Bu da borlama ile AISI 304L paslanmaz çeliğin de 5,6 kat sertlik artışı olduğu tespit edilmiştir.
- c. %10 H₂SO₄ asit içerisinde 56-57 °C’de 2 ve 5 saat tutulan borlanmış AISI 304L paslanmaz çeliğinin korozyon dayanımları 2, 4, 6, 8 saatlik borlama yapılmış numunelerde; 2 saat %10 H₂SO₄ asit içerisinde bekletilmesi sonucunda sırasıyla 3,5-6,3-6,7-10 kat artışın olduğu, 5 saatlik %10 H₂SO₄ asit içerisinde bekletilmesi sonucunda ise sırasıyla 3,7-5,1-11-16,9 kat artışın olduğu tespit edilmiştir.
- d. Yapılan çalışmada 10-30 N yük ve 80-400 mesh aralığında Al₂O₃ zımpara ile yük ve aşındırıcı boyutuna bağlı olarak aşınma miktarı ölçülmüştür. Aşınma dirençleri 2 saat borlanan numunede 2,9-10 kat, 4 saat borlanan numunede 1,7-6,8 kat, 6 saat borlanan numunede 1,9-7,3 kat ve 8 saat borlanan numunede 2,6-7,8 kat artmıştır. Sonuç olarak, 2 saat borlanan numune en fazla aşınma direncine sahip olduğu belirlenmiştir.
- e. Katı borlama işleminde kullanılan yerli ve milli olan Baybora-1 borlama ajanı AISI 304L çeliğinde borür tabaka kalınlığını ve endüstride tercih edilen Fe₂B faz miktarını artırmıştır. Bununla birlikte, Baybora-1 borlama toz karışımının maliyetinin ithal eşdeğerlerine göre daha düşük olması ülke ekonomimize büyük katkı sağlaması en önemli sonuçlarımızdandır.

KAYNAKLAR

Anonim, 1990, Asil Çelik A.Ş. Otomat Çelikleri (5. Baskı). Bursa. Asil Çelik Teknik Yayınları, s. 5-6.

Anonim, 2001, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik ÖİK Raporu Cilt II, Ankara, <http://www3.kalkinma.gov.tr/DocObjects/View/769/destek02.pdf> (Erişim Tarihi: 17.08.2018).

Anonim, 2003, Bor Raporu. TMMOB Metalürji Mühendisleri Odası, Ankara, https://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi134/d134_1158.pdf (Erişim Tarihi: 10.07.2018)

Anonim, 2015, Eti Maden Bor Sektörü Raporu 2014, <http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSekt%C3%B6r%20Raporu%2F2014%20YILI%20BOR%20SEKT%C3%96R%20RAPORU.pdf> (Erişim Tarihi: 20.03.2018).

Anonim, 304L (1.4307) Paslanmaz 304L Çeliği Kataloğu. Birçelik Paslanmaz Çelik A.Ş. <https://bircelik.com/tr/kategori/304l-1-4307-> (Erişim tarihi: 25.06.2018).

Anonim, Technology of War in 1914 and Technology of War in 1914 vb., World War II. <https://www.britannica.com> (Erişim tarihi: 27.06.2018).

Aran, A. ve Temel M.A. Paslanmaz Çelik Yassı Mamuller, Acar Matbaacılık, İstanbul, s. 10-29, 2004.

Ay, İ., Kapusuz, F., Malzeme Teknolojisi Ders Notları, <w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/mt1/mt5.pdf> (Erişim tarihi: 12.05.2018).

Badini C., Gianoglio C., Paradelli G., The Effect of Carbon, Chromium and Nickel on The Hardness of Borided Layers. Surface and Coatings Tech., 30 (2), pp. 157-170, 1987.

Backhouse. www.twi-global.com/EasySiteWeb/GatewayLink.aspx?alId=3792807 (Erişim tarihi: 17.06.2018).

Balusamy T., Narayanan T.S.N.S, Ravichandran K., Park II., Lee M.H., “Effect of surface mechanical attrition treatment (SMAT) on Pack Boronizing of AISI 304 Stainless Steel”, University of Madras, İndia, 74, pp. 60-67 and pp. 332-344, 2013.

Baştürk, S. ve Erten, M., Borlama ile Yüzey Sertleştirme Çalışmaları, Mühendis ve Makina Dergisi, 47 (563), s. 57-74, 2006.

Bayca S.U., Powder Boronizing Agent for Solid Boriding Method (Patent pending), 2018.

Bell T., Substances&Technology. Effect of Alloying Elements on Steel Properties. <http://www.akronsteeltreating.com/docs/default-source/default-document-library/alloying-elements-in-steel-by-t-bell.pdf?sfvrsn=0> (Erişim Tarihi: 05.08.2018).

Bildik N., Korozyon Hasarının İş Güvenliği ve İş Sağlığı Açısından Değerlendirilmesi, Uluslararası Korozyon Sempozyumu, Fırat Üniversitesi, Elâzığ, 2014.

Boren, 2015, Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü. <http://www.boren.gov.tr/tr/bor/bor-rezervleri> (Erişim Tarihi: 20.09.2017).

Bozkurt, N., Bor Yayınımıyla Çeliklerde Yüzey Sertleştirme, Doktora Tezi, İ.T.Ü, İstanbul, 1984.

Buyukyıldız M., Kurudirek M., Ekici M., İçelli O., Karabul Y., Determination of Radiation Shielding Parameters of 304L Stainless Steel Specimens from Welding Area for Photons of Various Gamma Ray Sources, Progress in Nuclear Energy, 100, pp. 245-254, 2017.

Çakır, M. C., Modern Talaşlı İmal Atın Esasları (2. Baskı), Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, s. 239-242, 1982.

Çeçen, D., Bor Cevherleri ve Bor' un Çağımız ve Gelecekteki Önemi. Madencilik Dergisi, 8 (1), s. 10-18, 1968.

Demirci, H., A. Mühendislik Malzemeleri, Aktüel Yayınevi, İstanbul, s. 25-26, 2004.

Demirel Ç., Çetin M., Borlanmış AISI 8640 Çeliğinin Abrasif Aşınma Davranışı, 6. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük Üniversitesi, Elâzığ, 2011.

Demirok S., Çeliklerin Farklı Sertlik Oranlarında İşlenebilirliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Üniversitesi, Gebze, 2008.

Derin E., Orta Öğretim Kimya Ve Fizik Öğretmenlerinin Korozyon Hakkındaki Bilgi Düzeylerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tez Önerisi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2016.

Düzgüneş, O., İstatistik Prensipleri ve Metotları, Ege Üniversitesi Matbaası, İzmir, s. 364, 1963.

Ekinci, C., Düşük Karbonlu Mikro Alaşımlı Çeliklerin Sertlik Ve Mikro Yapıları Üzerine Soğuma Hızının Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2011.

Erdoğmuş, E., Çimentoya Bor Katkısı, Uçucu Kül, Yüksek Fırın Cürufu İlavesiyle Özelliklerinin İncelenmesi, Yeditepe Üniversitesi, Doktora Tezi, İstanbul, 2005.

Ermrich. M., Oppen. D., XRD Fort He Analyst. PANalytical GmbH, Nürnberger, Netherlands, pp. 3-90, 2011.

Günen A., Karakaş M. S., Kurt B., Çalık A., Anti-Corrosion Methods and Materials, 61(2), pp.112-118, 2014.

Günen A., Kurt B., Atik E., Investigation of Microabrasion Wear Behavior of Boronized Stainless Steel With Nanoboron Powders, Tribology Transactions, 56 (3), pp 400-409, 2013.

Günen A., Kurt B., Somunkıran İ., Kanca E., Orhan N., The Physics of Metals and Metallography, 116 (9), pp. 896-907, 2015.

Günen A., Karakaş M. S., Kurt B., Çalık A., Corrosion Behavior of Borided AISI 304 Austenitic Stainless Steel, Anti-Corrosion Methods And Materials, 61 (2), pp.112-119, 2014.

Habibolahzadeh, A., Haftlang F., Duplex Surface Treatment of AISI 1045 Steel Via Pack Boriding and Plasma Nitriding: Characterization and Tribological Studies, Journal of Tribology, 140 (2), pp. 17-22, 2017.

Höke, G., Sıvı Azotta Bekletme ve Geleneksel Kriyojenik İşlemlerin SAE 4140 Çeliğin Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerine Etkilerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, 2014.

Hunger H.J., and Trute G., Boronizing to Produce Wear-Resistant Surface Layers, Heat Treatment of Metals, 21 (2), pp. 31-39, 1994.

- İlgöz, T., Özmen, L., Gül, F., Borlu Çeliklerin Abrasive Aşınma Direncinin Araştırılması, ODTÜ Bor Araştırma Enstitüsü, Ankara, 2009.
- İnem, B., Çeliklerin Isıl İşlemleri ve Çelik Türleri ile İlgili Bilgisayar Programı Yazılımı, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 1988.
- İpek, M., Celebi Efe, G., Ozbek, I., Zeytin, S., and Bindal, C., Investigation of Boronizing Kinetics of AISI 51100 Steel, Journal of Materials Engineering and Performance, 21(5), pp. 733-738, 2012.
- İpek, R., Pratik Malzeme Bilgisi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları, 1, 1999.
- Jacobson G., Nace International, International Measures of Prevention Application And Economics of Corrosion Technology Study, USA, 2016.
- Kayali, Y., Günes I., Ulu S., Diffusion Kinetics of Borided AISI 52100 and AISI 440C Steels, 86 (10), pp. 1428 – 1434, 2012.
- Kim, K.N., Pan, L.M., Lin, J.P., Wang, Y.L., Lin, Z., Chen, G.L., The Effect of Boron Content on the Processing for Fe–6.5wt% Si Electrical Steel Sheets, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 277 (3), pp. 331-336, 2004.
- Klueh R.L. et al. Effect of Chromium, Tungsten, Tantalum, and Boron on Mechanical Properties of 5-9Cr-WVTab Steels, Journal of Nuclear Materials 304 (2-3), pp. 139–152, 2002.
- Kulka, M., Makuch, N., Pertek, A., L. Simulation of the Growth Kinetics of Boride Layers Formed on Fe During Gas Boriding in H₂–BCl₃ Atmosphere, J. Solid State Chem., 199, pp. 196-203, 2013.
- Levy A.V., Solid Particle Erosionand Erosion-corrosion of Materials, ASM International, Materials Park, Ohio, 1995.

Meriç C., Sahin S., Yılmaz SS, Investigation of the Effect on Boride Layer of Powder Particle Size Used in Boronizing with Solid Boron-Yielding Substances, Materials Research Bulletin 35, pp. 2165–2172, 2000.

MKE Normu Özel Nitelikte Çelik Türleri Kataloğu, MKE Yayınları, 1978.

ÖNEN, F., Bor Çelikleri. <https://ferdionen.files.wordpress.com/2012/12/bor-c3a7elikleri.pdf> (Erişim Tarihi: 15.08.2018).

Özbek I., Bindal C., Kinetics of Borided AISI M2 High Speed Steel, 86 (4), pp. 391-397, 2011.

Özdemir O., Omar M.A., Usta M., Zeytin S., Bindal C., Ucisik A.H., An Investigation On Boriding Kinetics Of AISI 316 Stainless Steel, 83 (1), pp. 175–179, 2009.

Özmen Y., Çetincan A., Borlamanın Çeliklerde Aşınma Dayanımına Etkisi. 5.Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, Ankara, s. 583-591, 1992.

Rao, M.N., Materials Development for Indian Nuclear Power Programme: an Industry Perspective, Mishra Dhatu Nigam Limited, India, pp. 201-203, 2010.

Sen S., Sen U., BindalC., An Approach To Kinetic Study of Borided Steels, Surface & Coatings Technology, 191, pp. 274– 285, 2005.

Taktak S., Some Mechanical Properties of Borided AISI H13 and 304 Steels, Materials and Design, 28 (6), pp. 1836-1843, 2007.

Tabur M., Izciler M., Gul F., Karacan I., Abrasive Wear Behavior of Boronized AISI 8620 Steel, 266 (11-12), pp. 1106–1112, 2009.

Tofur M., 2017, Çelik Yapıların Tarihçesi, <https://www.muhendisakademisi.com/celik-yapilarin-tarihcesi/> (Erişim tarihi: 27.06.2018)

Turhan A. Borlamanın Paslanmaz Çeliğin Radyasyon Zırhlama Özelliğine Etkisinin Araştırılması Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2008.

Ulutun M., Yıldırım M.M., Celik O.N., Buytoz S., Tribological Properties of Borided AISI 4140 Steel with the Powder Pack-Boriding Method, 38 (3), pp. 231–239, 2010.

Uslu I., Comert H., Ipek M., Celebi FG., Ozdemir O., Bindal C., A Comparison of Borides Formed on AISI 1040 and AISI P20 Steels, Materials and Design 28 (6), pp. 1819–1826, 2007.

Uzun H.A., Borlama ile Yüzeyleri Sertleştirilen Çeliklerin Aşınma ve Korozyona Karşı Dayanımları Yüksek Lisans Tezi, Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Isparta, 2002.

Weissbach, W., Malzeme Bilgisi ve Muayenesi. (Çev. S. Anık, E. S. Anık, M. Vural). İstanbul, Birsen Yayınevi. 103, s. 230-244, 2000.

Yovanovich, M., Micro and Macro Hardness Measurements, Correlations, and Contact Models, Department of Mechanical Engineering, University of Waterloo, Canada, pp. 18-28, 2006.

Zhou, W., Wang, Z.L., Scanning Microscopy for Nanotechnology. 1-2, Springer Science+Business Media, USA, 2006.