

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**KIRMA VE ÖĞÜTME SİSTEMLERİNDE HARDOX 450 VE
20MnCr5 ÇELİKLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
GELİŞTİRİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İsmail Efe EMRE

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa AKÇİL

Ağustos 2019

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

KIRMA VE ÖĞÜTME SİSTEMLERİNDE HARDOX 450 VE
20MnCr5 ÇELİKLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
GELİŞTİRİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU

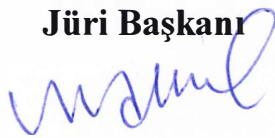
YÜKSEK LİSANS TEZİ

İsmail Efe EMRE

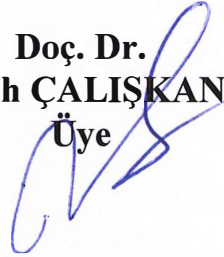
Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 24/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

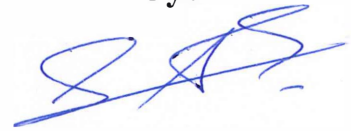
Dr. Öğr. Üyesi
Mustafa AKÇİL
Jüri Başkanı



Doç. Dr.
Fatih ÇALIŞKAN
Üye



Dr. Öğr. Üyesi
Serdar ASLAN
Üye



BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

İsmail Efe EMRE

..../..../2019

ÖNSÖZ

Bu tezin yazılması aşamasında, çalışmamı sahiplenerek titizlikle takip eden danışmanım Dr.Öğr Üyesi Mustafa AKÇİL'e değerli katkı ve emekleri için içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Arş Gör. Mahmud Tokur, Şeyma ÜRDEM ve Ebru YILMAZ bütün süreç boyunca her anlamda yanımda olmuş, desteğini ve katkılarını esirgememiştir. Savunma sınavı sırasında jüri üyeleri Doç. Dr.Fatih ÇALIŞKAN ve Dr.Öğr. Üyesi Serdar ASLAN'da çalışmamın son haline gelmesine değerli katkılar yapmışlardır. Son olarak bu günlere ulaşmamda emeklerini hiçbir zaman ödeyemeyeceğim anneme ve aileme şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI	2
2.1. Karbon çelikleri (Alaşım-sız çelikler)	2
2.1.1. Düşük karbonlu çelikler	3
2.1.2. Orta karbonlu çelikler.....	3
2.1.3. Yüksek karbonlu çelikler	3
2.1.4. Çok yüksek karbonlu çelikler.....	3
2.2. Karbon miktarının çelik özelliklerin etkileri	3
2.3. Alaşım-lı çelikler:	4
2.3.1. Düşük alaşım-lı çelikler.....	4
2.3.2. Yüksek alaşım-lı çelikler	5
2.4. Alaşım-lı Çelik Atama Sistemi	5
2.5. Paslanmaz Çelikler	6
2.6. Takım ve kalıp çelikleri.....	7
2.7. Manganlı Çelikler.....	7
BÖLÜM 3.	
AŞINMAYA DAYANIKLI ÇELİKLER (HARDOX GRUBU ÇELİKLER)	8
3.1. Hardox 400	9
3.2. Hardox 450	10
3.3. Hardox 500	11
3.4. Hardox 550	12
3.5. Hardox 600	13

BÖLÜM 4.

AŞINMAYA DAYANIKLI ÇELİKLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ.....	15
4.1. Yük ve Servis Ömrü	15
4.2. Mukavemet, Sertlik ve Tokluk	17
4.2.1. Aşınma ve ağırlıkla mücadele	17
4.3. Bazı Hardox Sınıflarının Sertlik Karşılaştırması	18
4.4. Şantiyede hardox	20
4.4.1. Taş ocağı ve açık maden ocakları	20
4.4.1.1. Taş ocakları ve madencilikte kullanım avantajları.....	20
4.5. Çimento Fabrikalarında Hardox	21
4.6. Yeraltı Madeninde Hardox	22
4.6.1. Hardox'un madencilikteki avantajları	23
4.7. Teknik Bilgiler	24

BÖLÜM 5.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	25
5.1. Numune Hazırlama	26
5.1.1. Lazer kesim işlemi	26
5.1.2. Isıl işlem uygulaması.....	27
5.1.3. Taşlama işlemi.....	28
5.1.4. Zımpara ve parlatma işlemi.....	28
5.2. Karakterizasyon	29
5.2.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışınları spektroskopisi (EDS).....	29
5.2.2. Optik mikroskop.....	30
5.2.3. X Işınlari Kırınım Analizi	31
5.2.4. Sertlik deneyi.....	32
5.2.5. Aşınma Testi (Ball on Disk).....	33

BÖLÜM 6.

DENEYSEL SONUÇLAR.....	34
6.1. Optik mikroskop ve SEM incelemeleri	34
6.1.1. XRD ve EDS ANALİZİ	49
6.2. Sertlik testi sonuçları	61
6.3. Aşınma testi sonuçları	73
6.3.1. Temperleme yapılmış ve yapılmamış hardox 450 çelikleri	73
6.3.2. Sementasyon Yapılmamış20MnCr5 -Sementasyon Yapılmış 20MnCr5 çeliği	74

BÖLÜM 7.

GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	77
7.1. Genel Sonuçlar	77
7.2. Öneriler.....	78

KAYNAKLAR	79
ÖZGEÇMİŞ.....	83

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1: Metal ve Alaşımlarının sınıflandırılması	2
Şekil 3.1. Hardox 400 ün kullanıldığı alanlar	9
Şekil 3.2. Hardox 500'ün kesilmesi	11
Şekil 4.1. Hardox malzemelerinin kullandığı yerler.	16
Şekil 4.2. Hardox un esnekliğine ait görsel	16
Şekil 4.3. Hardox çeşitlerinin sertlik akma dayanımı.	17
Şekil 4.4. Hardox çeşitlerinde ağırlık ve kalınlığı ile ilişkisi.	18
Şekil 4.5. Hardox çeliğinin kesiti.	19
Şekil 4.6. Taş ocakları ve madencilikte hardox kullanımının şablon olarak gösterimi.	21
Şekil 4.7. Çimento Fabrikalarında hardox kullanımının şablon olarak gösterimi.	22
Şekil 4.8. Madencilikte hardox kullanımının şablon olarak gösterimi	23
Şekil 5.1. Hardox 450 plakası.	25
Şekil 5.2. Truelaser3030 Lazer kesim Makinası.	27
Şekil 5.3. Taşlama tezgahı St Supertec'in görüntüsü.	28
Şekil 5.4. Metaserv2000 grinder/polisher marka zımpara ve parlatma cihazı	29
Şekil 5.5: JEOL JSM 6060LV SEM ve IXRF Systems Inc.500 Digital Processing markalı EDS cihazı.	30
Şekil 5.6: NIKON ECLIPSE L150 cihazı.	31
Şekil 5.7: Rigaku marka XRD cihazı	32
Şekil 5.8: LEİCA VHMT MOT cihazı.	33
Şekil 5.9: Tribometre-Aşınma Cihazı CSM instruments TRIBOMETER	33
Şekil 6.1: 100x büyütmede hardox450 orjinal numunesinin mikroyapı görüntüsü.	34
Şekil 6.2: 200x büyütmede hardox450 orjinal numunesinin mikroyapı görüntüsü.	35
Şekil 6.3: 500x büyütmede hardox450 orjinal numunesinin mikroyapı görüntüsü.	35
Şekil 6.4: 1000x büyütmede hardox450 orjinal numunesinin SEM görüntüsü	36
Şekil 6.5: 50x büyütmede 300°C'de 1 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan mikroyapı görüntüsü.	37
Şekil 6.6: 200x büyütmede 300°C'de 1 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan mikroyapı görüntüsü	37
Şekil 6.7: 500x büyütmede 300°C'de 1 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan mikroyapı görüntüsü	38
Şekil 6.8: 1000x büyütmede 300°C'de 1 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan SEM görüntüsü	39
Şekil 6.9: 50x büyütmede 450°C'de 1 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan mikroyapı görüntüsü.	40
Şekil 6.10: 200x büyütmede 450°C'de 1 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan mikroyapı görüntüsü	40
Şekil 6.11: 500x büyütmede 450°C'de 1 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan mikroyapı görüntüsü	41

Şekil 6.12: 10000x büyütmede 450°C’de 1 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan SEM görüntüsü	41
Şekil 6.13: 100x büyütmede 600°C’de 2 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan mikroyapı görüntüsü	42
Şekil 6.14: 200x (a) ve 500x (b) büyütmelerinde 600°C’de 2 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan mikroyapı görüntüleri	43
Şekil 6.15: 1000x büyütmede 600°C’de 2 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan SEM görüntüsü	43
Şekil 6.16: 100x büyütmede sementasyon yapılmamış 20MnCr5 çeliğinin mikroyapı görüntüsü.....	44
Şekil 6.17: 200x büyütmede sementasyon yapılmamış 20MnCr5 çeliğinin mikroyapı görüntüsü.....	44
Şekil 6.18: 500x büyütmede sementasyon yapılmamış 20MnCr5 çeliğinin mikroyapı görüntüsü.....	45
Şekil 6.19: 1000x büyütmede sementasyon yapılmamış 20MnCr5 çeliğinin SEM görüntüsü.....	45
Şekil 6.20: 50x büyütmede sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliğinin kesitinden alınan mikroyapı görüntüsü	46
Şekil 6.21: 200x büyütmede sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliğinin kesitinden alınan mikroyapı görüntüsü.	47
Şekil 6.22: 200x büyütmede sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliğinin kesitinden alınan mikroyapı görüntüsü	47
Şekil 6.23: 3000x büyütmede sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliğinin kesitinden alınan SEM görüntüsü.....	48
Şekil 6.24: Hardox 450 çeliği orjinal numunesinin XRD grafiği.	49
Şekil 6.25: Hardox 450 çeliği orjinal numunesinin EDS analizi(keV).....	50
Şekil 6.26: 300°C’de 1 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin XRD grafiği	51
Şekil 6.27: 300°C’de 1 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin EDS analizi(keV).....	52
Şekil 6.28: 450°C’de 1 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin XRD grafiği	53
Şekil 6.29: 450°C’de 1 saat temperlenen hardox 450’nin EDS analizi(keV)	54
Şekil 6.30: 600°C’de 2 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin XRD grafiği	55
Şekil 6.31: 600°C’de 2 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin EDS analizi(keV).....	56
Şekil 6.32: Sementasyon yapılmamış 20MnCr5 çeliğininXRD grafiği.....	57
Şekil 6.33: Sementasyon yapılmamış 20MnCr5 çeliğinin EDS analizi(keV)	58
Şekil 6.34: Sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliğinin XRD grafiği.....	59
Şekil 6.35: Sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliğinin EDS analizi(keV)	60
Şekil 6.36: Hardox450 ve 20MnCr5 çeliklerinin kesit ve yüzey görüntüsü.....	61
Şekil 6.37: Sementasyon yapılmamış 20MnCr5 çeliğinin yüzeyinden alınan vickers sertlik sonuçları.	62
Şekil 6.38: Sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliğinin kesit görüntüsü. (5*15mm)	63
Şekil 6.39: Sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliğinin kesitinden alınan vickers sertlik değerleri sonuçları.	64
Şekil 6.40: 300°C’de 1 saat Temperlenen Hardox 450 çeliğinin kesit görüntüsü. (5*15mm).....	64
Şekil 6.41: 300°C’de 1 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin kesitinden alınan vickers sertlik sonuçları.	65
Şekil 6.42: 300°’de 1 saat Temperlenen hardox450 çeliğinin yüzeyinden alınan vickers sertlik sonuçları.	66

Şekil 6.43: 450°C’de 1 saat temperlenen hardox 450 çeliği. (5*15mm).....	67
Şekil 6.44: 450°C’de 1 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin kesit alınan vickers sertlik sonuçları.	68
Şekil 6.45: 450°C’de 1 saat temperlenen hardox450 çeliğinin yüzeyinden alınan vickers sertlik sonuçları.	69
Şekil 6.46: 600°C’de 2 saat temperlenen hardox 450 çeliği. (5*15mm).....	69
Şekil 6.47: 600°C’de 2 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin kesitinden alınan vickers sertlik sonuçları.	70
Şekil 6.48: 600°C’de 2 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin yüzeyinden alınan vickers sertlik sonuçları.	71
Şekil 6.49: Hardox450 orijinal çeliği(15*25mm)	72
Şekil 6.50: Orijinal hardox450 çeliğinin yüzeyinden alınan vickers sertlik sonuçları.....	73
Şekil 6.51: 300°C’de temperlenen hardox450 çeliği (a) , 450°C’de temperlenen hardox450 çeliği(b)	73
Şekil 6.52: Aşınma testi sonucunda orjinal hardox450 çeliği (a) ve 600°C’de temperlenmiş hardox 450 çeliği (b)	74
Şekil 6.53: Sementasyon yapılmamış 20MnCr5 çeliği (a), Sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliği (b).....	74
Şekil 6.54: Semantasyon yapılmamış 20MnCr5 ve sementasyon yapılmış 20MnCr5’in aşınma katsayıları	75
Şekil 6.55: Hardox450 orjinal numunesi ve 300,450°C’de 1 saat,600°C’de2 saat temperlenmiş hardox’un aşınma katsayıları.....	76

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Hardox 400 nin Kimyasal kompozisyonu	10
Tablo 3.2. Hardox 450'nin kimyasal kompozisyonu	11
Tablo 3.3. Hardox 500'ün kimyasal kompozisyonu.	12
Tablo 3.4. Hardox 550'nin kimyasal Kompozisyonu	13
Tablo 3.5. Hardox 600'ün kimyasal Kompozisyonu	14
Tablo 4.1. Hardox çeşitlerinin sertliğinin brinell haricinde rockwell ve vickers olarak gösterimi ve çekme dayanımı	18
Tablo 4.2. Hardox aşınma plakalarının sertlikleri kullanıma uygun kalınlıkları ve darbe toklukları 0.7mm Denila 160mm'ye kadar Hardox	19
Tablo 5.1. Hardox 450 alaşımının kimyasal bileşimi	26
Tablo 5.2. 20MnCr5'in kimyasal kompozisyonu	26
Tablo 6.1: Hardox 450 orjinal numunesinde bulunan elementlerin ağırlıkça yüzdeleri .50	
Tablo 6.2: 300°C'de 1 saat temperlenen hardox 450 çeliğinde bulunan elementlerin ağırlıkça yüzdesi.	52
Tablo 6.3: 450C'de 1 saat temperlenen hardox 450 çeliğinde bulunan elementlerin ağırlıkça yüzdeleri	54
Tablo 6.4: 600C'de 2 saat temperlenen hardox 450 çeliğinde bulunan elementlerin ağırlıkça yüzdeleri	56
Tablo 6.5: Sementasyon yapılmamış 20MnCr5 çeliğinde bulunan elementlerin ağırlıkça yüzdeleri	58
Tablo 6.6: Sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliğinde bulunan elementlerin ağırlıkça yüzdeleri	60
Tablo 6.7: Sementasyon yapılmamış 20MnCr5 çeliğinin yüzeyinden vickers sertlik değerlerinin sonuçları.	62
Tablo 6.8: Sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliğinin kesitinden alınan vickers sertlik değerleri sonuçları.	63
Tablo 6.9: 300°C'de 1 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin kesitinden alınan vickers sertlik sonuçları.	65
Tablo 6.10: 300°C'de 1 saat Temperlenen hardox450 çeliğinin yüzeyinden alınan vickers sertlik sonuçları.	66
Tablo 6.11: 450°C'de 1 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin kesitinden alınan vickers sertlik sonuçları.	67
Tablo 6.12: 450°C'de 1 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin yüzeyinde alınan vickers sertlik sonuçları.	68
Tablo 6.13: 600°C'de 2 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin kesitinden alınan vickers sertlik sonuçları.	70
Tablo 6.14: 600°C'de 2 saat temperlenen Hardox 450'nin yüzeyinden alınan sertlik sonuçları.	71
Tablo 6.15: Hardox 450 orjinal çeliğinin yüzeyinden alınan vickers sertlik sonuçları. .72	

Tablo 6.16: 6 farklı numunenin aşınma katsayısı sabitleri 76



KIRMA VE ÖĞÜTME SİSTEMLERİNDE HARDOX 450 VE 20MnCr5 ÇELİKLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU

ÖZET

Genel olarak malzemelerin sertliği kullanım alanının aşınmaya karşı direnç isteyen yerlerde uygulanabilirliğini gösteren bir özelliktir. Bir malzemenin sertliğinin bilinmesi ile diğer birçok özelliği açığa çıkmasını sağlar. Sertlik; malzemenin işlenebilme, kaynak yapılabilirlik, şekillendirilebilirlik, aşınmaya karşı direncini belirleyen mekanik özelliklerin başında gelir.

Hardox grubu çelikler; yüksek tokluk yanında yüksek sertlik ve aşınmaya dayanıklı malzemelerdir. Bu çeliklerin en önemli özellikleri tokluklarının yüksek olmasıdır. Tokluk malzemenin kırılana kadarki absorbe ettiği enerji miktarıdır.

Hardox grubu çelikler sıradan bir aşınmaya dirençli levha şekilli malzemeler değildir. Tokluğu, düşük sıcaklıklardaki aşırı zorlanmalar gibi güç şartlar altında bile oldukça yüksektir. Bu özelliği ise Hardox grubu çelikleri darbelere karşı güçlü kılmaktadır.

Bu çalışmada hardox grubu çeliklerde sertliğin yanı sıra, aşınma direnci, mikroyapı incelemesi yapılarak 20MnCr5 çeliği ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca XRD, SEM ve EDS paterni analizleri yapılarak çeliklerin yapısındaki değişimler incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Hardox, Aşınmaya Dayanıklı Çelik, Temperleme, Tokluk, Sertlik

MECHANICAL PROPERTIES AND CHARACTERIZATION OF HARDOX 450 AND 20MnCr5 STEELS IN CRUSHING AND GRINDING SYSTEMS

SUMMARY

In general, the hardness of a materials is a feature that demonstrates its usability where wear resistance is desired. Hardness is one of the most important mechanical properties that determine the workability, weldability, formability and abrasion resistance of the material.

Hardox group steels are materials with high hardness and abrasion resistance as well as relatively high toughness. The most important properties of these steels is that their toughness is high. Toughness is the amount of energy that the material absorbs till it breaks.

Hardox group steels are not ordinary abrasion resistant sheet-shaped materials. Its toughness is quite high even under difficult situations such as extreme strain at low temperatures. This feature makes Hardox group Steels strong against impacts.

In this study, the hardness of Hardox group Steels as well as wear resistance, microstructure were examined and compared with 20MnCr5 steel. In addition, Xrd, SEM and EDS pattern analyses were performed and changes in the structure of steels were examined.

Keywords: Hardox, Wear Resistant Steel, Tempering, Toughness, Hardness

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Çelik; sert, güçlü, mavimsi gri metal alaşımıdır ve dünyada en yaygın kullanılan malzeme gruplarından biridir. Çelik en önemli mühendislik ve inşaat malzemesi olup diğer malzeme gruplarına göre geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu malzemeler, bileşimine, fiziksel özelliklerine, kullanım yerlerine, ısıl işlem durumuna ve üretim teknolojilerine göre sınıflandırılabilir. İçeriğinde ağırlıkça %0,2- 2.1 karbon içerirken cinsine göre Cr, Ni, Mb, Ti; W, Si, Mn gibi alaşım elementlerine sahiptir.

Çelik, çoğunlukla yapı ve imalat malzemesi olarak kullanılır. Çelik üretimi entegre ve entegre olmayan tesislerde BOF ya da AOF teknolojileri ile yapılmaktadır. Bu alaşımlar ısıl işlem ile birçok özelliği değiştirebilen malzemelerdir. Çeliğin sünekliği, sertliği, çekme dayanımı, elastik modülü, tokluğu alaşım elementlerinin miktarına; bunların demir içerisinde bulunma şekillerine bağlıdır. Çeliğin sertleşmesi ve sünekliği, demirde mevcut karbon içeriğine bağlıdır. Artan karbon içeriği, çeliği sert ve dayanımının artmasına yol açar.

Çelik tüketimi ekonomik gelişmenin bir ölçüsü olup, kişi başına tüketilen çelik miktarı o ülkenin refah seviyesini belirler.

Aşınma; metal parçaları için karşılaşılan en önem sorunlardan biridir. Aşınma; malzemenin diğer malzemeye temas eden yüzeyinde yaşanan kayıptır. Hardox aşınmaya dayanıklı çelikler yüksek sertliğinin yanında yüksek aşınma dayanımına da sahiptir. Literatürde Sertlik aşınma direncine etkisi olan ana özelliktir. Fakat aşınma direnci çeliğin mikroyapısına ve bileşimine de bağlıdır. [1-3]

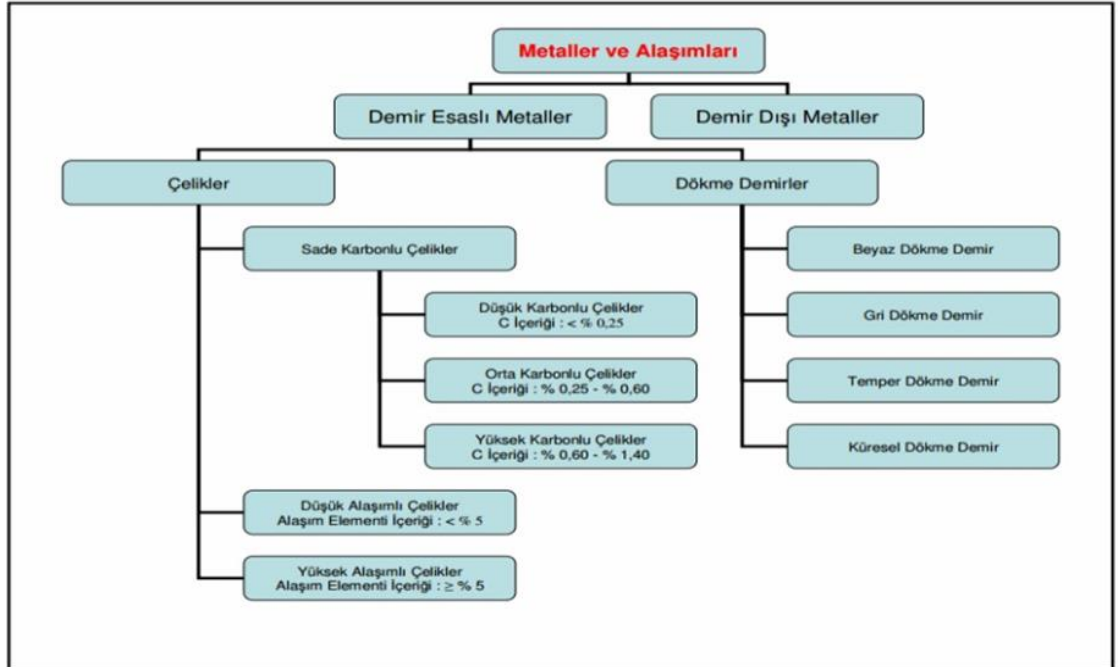
BÖLÜM 2. ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI

Çelik, bileşime göre sınıflandırılabilir. En ticari çelik iki gruba ayrılabilir

1. Karbon çeliği
2. Alaşımli çelik

2.1. Karbon çelikleri (Alaşımli çelikler)

Bu çelik türü yüzde 1'den az karbona, manganez, kükürt, silikon ve fosfor izlerine sahiptir. Bu tür çeliğin özellikleri içinde bulunan karbon içeriğine göredir değişmektedir.[4]



Şekil 2.1: Metal ve Alaşımlilarının sınıflandırılması [5].

Karbon miktarına göre çelikler 4 grupta sınıflandırılır.

1. Düşük karbonlu çelik
2. Orta karbonlu çelik
3. Yüksek karbonlu çelik
4. Çok yüksek karbonlu çelik

2.1.1. Düşük karbonlu çelikler

Düşük karbonlu çelikte karbon içeriği %0,30'dan azdır. Bu çeliklerin işlenip kaynaklanabilmesi yüksek karbonlu çeliklere göre daha fazladır.

2.1.2. Orta karbonlu çelikler

Orta karbonlu çelikte karbon içeriği %0,30'dan %0,45'e kadardır. Karbon içeriği arttıkça sertlik, gerilme mukavemeti ve sünekliklerde azalma görülür. İşlenebilmesi ve kaynaklanabilmesi düşük karbonlu çeliklerden daha zordur.

2.1.3. Yüksek karbonlu çelikler

Yüksek karbonlu çelikler, karbon içeriği yüzde 0,45 ile 0,75 arasındadır. Bu çeliklerin kaynaklanabilmesi ve işlenebilmesi diğer çelik türlerine göre daha zordur. Yüksek sıcaklıkta kaynaklama yapılabilmesi ve kaynak sonrası çeliğin mekanik özelliklerini kontrol etmek amacıyla da kullanılır.

2.1.4. Çok yüksek karbonlu çelikler

Çok yüksek karbonlu çelikte karbon içeriği yüzde 1,50'a kadar çıkmaktadır. Bu tip çelikler, mekanik özelliklerini kontrol etmek için kaynaklamadan önce, sırasında ve sonrasında ısı gerektirir. Bu tip çelikler, metal kesme aletleri ve kamyon yayları gibi kullanım alanları mevcuttur. [5]

2.2. Karbon miktarının çelik özelliklerin etkileri

Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (AISI) ile birlikte Otomotiv Mühendisleri Derneği (SAE) ile birlikte dört basamaklı bir atama sistemi oluşturuldu.

SAE 1XXX

İlk hane:

İlk hane ya karbon çeliği ya da alaşımlı çelik olduğunu gösterir

İkinci hane:

İkinci rakam çeliğin değişimini gösterir: 0- Düz karbon, değiştirilmemiş

1. Yeniden sülfürlenmiş
2. Tekrar sülfürlenmiş ve fosforlanmış

5. Elde edilemez, Mn%1,0'dan fazla

Son iki hane:

Son iki hane %0,01 karbon konsantrasyonunu gösterir.

Örnek: SAE 1045:

İçindeki 1 sayısı, düz karbon (modifiye edilmemiş) çeliğini ve %0.45 karbon içeriği olduğunu gösterir.

2.3. Alaşımlı çelikler

Alaşımlı çelik, istenen bir fiziksel özelliği ya da onu üretmek için bilerek karbon dışında bir ya da daha fazla elemanın kasıtlı olarak ilave edildiği bir çelik türüdür. Alaşımlı çelik yapmak için eklenen ortak elementler molibden, manganez, nikel, silikon, bor, krom ve vanadyumdur.[5]

İki tip alaşımlı çelik vardır

1. Düşük alaşımlı çelik
2. Yüksek alaşımlı çelik

2.3.1. Düşük alaşımlı çelikler

Düşük alaşımlı çeliklerde karbon içeriği özel kaynak uygulamaları için yüzde 0.25'in altında ve genellikle yüzde 0.15'in altındadır ve ortak alaşım malzemeleri manganez, nikel, krom, molibden, silikon, vanadyum, bor ve daha az yaygın alaşım elementleri alüminyum, kobalt, bakır, titanyum, tungsten, kalay ve zirkonyumdur. Neredeyse düşük

alaşımli çelik daha iyi sertleşme elde etmek için kullanılır ve bazı ortamlarda da korozyon direncini artırmaktadır. [5]

2.3.2. Yüksek alaşımli çelikler

Karbon ve demir dışındaki toplam ağırlıkça %8'den fazla alaşım elementi bulunan yüksek alaşımli çelik olarak sınıflandırılır.

Yüksek alaşımli çelik, en az iki kimyasal elementten oluşur ve bu tip bir çeliğin özellikleri, içinde mevcut olan kimyasal elementin yüzdesine bağlıdır. Eğer yüzde oranı yüksekse, özellikleri kimyasal alaşımli çelik elementine bağlıdır. Yüksek güvenilirlikle birlikte korozyona karşı oldukça dayanıklıdır. Bu sebepten, petrokimya, ilaç ve nükleer enerji santrallerinde, ısı eşanjörlerinde, santrifüjlü ayırıcılar, kurutucular, boru hatları, kaplinler, vanalar, cıvatalar, tuz üretimi, egzoz gazı kükürt gidericileri ve yarı iletken temizleme ekipmanlarında yaygın olarak kullanılır [5]

2.4. Alaşımli Çelik Atama Sistemi

Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (AISI) ile birlikte Otomotiv Mühendisleri Derneği (SAE) ile birlikte dört basamaklı bir atama sistemi oluşturulmuştur.

Dört basamaklı sınıflandırma SAE-AISI sistemine göre:

İlk hane:

İlk hane alaşımli çeliğin sınıfını gösterir:

2. Nikel çelikleri
3. Nikel-krom çelikleri
4. Molibden çelikleri
5. Kromlu çelikler
6. Krom-vanadyum çelikleri
7. Tungsten-krom çelikleri
9. Silisyum-manganlı çelikler

İkinci hane:

İkinci rakam, 2'inci elementi 1 veya 2 ise, ana elementin konsantrasyonunu %1 ve %2 oranında içeriği olduğu anlamına gelir.

Son iki hane:

Son iki hane %0,01 karbon konsantrasyonunu gösterir.

Örnek: SAE 6230

Bu %2 krom ve %0,30 karbon içeren alaşımlı Krom-vanadyum çeliğidir.

Uygulamaya göre:

Uygulama çeliğine göre iki tipte sınıflandırılabilir:

1. Paslanmaz çelik
2. Takım çelikleri

2.5. Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çelikler, minimum %10 krom içeriğine sahip bir çelik alaşımıdır. Paslanmaz çelik; normal çelikten lekeler, korozyona ve paslanmaya karşı daha dirençlidir. 1913 yılında İngiltere'nin Sheffield kentinden Harry Brearley tarafından keşfedilmiştir, ancak keşif 1915'e kadar dünyaya duyurulmamıştır. Ayrıca, alaşım tipi ve kalitesi açısından korozyon dirençli çelik olarak da bilinir.

Paslanmaz çelik genellikle sofrta takımlarında, mücevherlerde, saat ve tabanca üretiminde, depolama tanklarında, tankerlerde, gıda işleme tesislerinde, cerrahi aletlerde ve havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. [5]

Alaşımlı çelik atama sistemi:

AISI, paslanmaz çelikler için üç basamaklı bir sistem kurulmuştur.

- 2XX serisi - krom-nikel-manganez östenitik paslanmaz çelikler
- 3XX serisi - krom-nikel östenitik paslanmaz çelikler
- 4XX serisi - krom martensitik paslanmaz çelikler veya ferritik paslanmaz çelikler
- 5XX serisi - düşük kromlu martensitik paslanmaz çelikler

2.6. Takım ve kalıp çelikleri

Takım ve kalıp çelikleri yüksek sertliğe, kuvvete ve aşınma direncine sahip çeliklerdir. %0,7 -%1,5 arasında karbon içeriğiyle, optimum kaliteyi elde etmek için dikkatlice kontrol edilen koşullar altında üretilir. Takım çelikleri ısıtma işlemine uygundur. Takım çeliklerinin sertliğini ve aşınma direncini arttırmak için bileşime sert ve kararlı karbürler (krom, tungsten, vanadyum, manganez, molibden) oluşturan alaşım elementleri eklenir. Takım ve kalıp çelikleri, diğer metallerin kesilmesi, biçimlendirilmesi, işlenmesi ve döküm yoluyla şekillendirilmesinde kullanılır. Takım ve kalıp çeliği, keski, dövme kalıpları, kırıcı, matkap, kesici, kesme bıçağı, matkap, tıraş bıçağı yapımında kullanılır. [5]

2.7. Manganlı Çelikler

Manganlı Çelikler; Sir Robert Hadfield tarafından ilk patenti alınan ve “hadfield çelikleri” olarak da bilinen, yüksek mukavemetli çeliklerdir. Yapılan işlemlere göre; akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve uzama oranında iyileşme meydana gelmektedir. Bu çeliklerin en önemli özelliği yüksek aşınma direnci ve tokluğu bir arada bulundurmalarıdır. Bu özellikleri sayesinde aşınmaya ve darbelere karşı çok daha dayanıklıdırlar. Hadfield çelikleri; demir-çelik üretimi, madencilik, cevher hazırlama, petrol kuyuları ve tank paletleri gibi alanlarda güvenle kullanılmaktadır. Demiryollarında ise özellikle aşınma ve yorulmaya karşı mukavemeti sayesinde makas göbekleri, kruvazmanlar ve değiştirilebilir makas dillerinde kullanılmaktadırlar. Demiryollarında kullanılan makaslar normal raylardan daha fazla yüke maruz kalmakta ve daha fazla aşınmaktadırlar. Makaslardaki aşınma miktarı trenin düzgün manevra yapabilmesi için oldukça öneme sahiptir [6].

BÖLÜM 3. AŞINMAYA DAYANIKLI ÇELİKLER (HARDOX GRUBU ÇELİKLER)

Hardox çelikleri yüksek tokluk, aşınmaya karşı yüksek direnç, işlenebilme kabiliyeti ve yüksek sertliğe sahip olmasıyla endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. [7]

Çeşitli uygulamalardaki bazı makine parçalarının kullanım süresi boyunca parçaların birbiri ile teması ve ya zorlu çalışma ortamlarında aşınarak malzemede kayıplar meydana gelmektedir. Böylece hem makinanın verimi düşecek hem de kaliteli bir ürün ortaya çıkmamış olacaktır. [8,9]

Aşınmaya dayanıklı hardox çelikleri, demir cevherinden üretilmektedir. Bu ham maddenin saf olarak kullanılmasından dolayı, çok iyi süneklik ve kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Hardox'un yüksek sertliği, imalat esnasındaki su verme hattında yüksek oranda su püskürtülüp hızlı soğuması sağlanarak elde edilir. Bu etkin proses sayesinde alaşım elementleri asgari düzeyde tutulabilir; bu ise, hem ürün hemde çevre açısından büyük avantajlar sağlamaktadır. Bugüne kadar yapılan iyileştirmelerle değişik ihtiyaçları karşılayacak şekilde sürekli olarak geliştirilmiştir.

Yüksek aşınma direncine mağruz bırakılan yerlerde (damper kasaları, ekskavatör kepçeleri, kırıcılar ve benzeri ekipmanlarda) parçaların çalışma ömürlerinde artış sağlanmaktadır [10-13].

Aşınma dayanımının yüksek olmasıyla bu çelik türü diğer yüksek dayanımlı çeliklere göre daha uzun ömürlü olmakta ve dolayısı ile yaygın olarak kullanılmaktadır [14-15].

Aşınmada olduğu gibi, korozyon, darbe, iç gerilmeler ve yorulma nedeniyle hasar meydana gelen çalışma elemanları, sistemin yavaşlamasına ve hatta durmasına neden olmaktadır. Bu sebeple, özellikle, taş ve maden sanayisinde taşıma gibi ağır işler yapan kamyonların dorseleri, kırıcı-delici-yükleyici gibi iş makinaları parçaları ve benzeri ekipmanlarda çalışma ömürlerinde artış sağlayarak darbe, iç gerilme, yorulma, sürtünme ve korozyonla oluşan malzeme kayıplarını da minimum seviyeye indirmektedir. [16-20]

Hardox çeliğinin alaşımı diğer alaşımlandırılmış çeliklere göre az olması ile birlikte çatlama eğilimi de en az indirilmiştir. Alaşımlanmadan su verilerek yüksek sertliğe ulaşması onu diğer çeliklerden ayırdığını göstermektedir.

Hardox darbelere dayanmak için üretilmiştir. Kum, kaya, kömür, hurda metal ve diğer aşındırıcı metallere hardox plakalar üzerinde kalıcı bir etki bırakması ve yüksek dayanımlı çeliklere göre en az 5 kat daha fazladır. Hardox 400,400 brinell sertlik ile en az sert olanıdır.

Hardox aşınmaya dayanıklı çelik levhalar birçok zorlu ortamlarda dayanımı olacak şekilde geliştirilmiştir. Bu çeliklerde çoğu zaman darbeden ve yuvarlanmadan meydana gelen yüksek deformasyon görülmektedir. [21]

Hardox çelikleri; Hardox 400, Hardox 450, Hardox 500, Hardox 550 ve 600 olmak üzere 5 farklı çeşittir.

3.1. Hardox 400

Hardox 400'ün kullanıldığı alanlar Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Hardox 400 ün kullanıldığı alanlar [22].

Hardox 400; çeliğin sertleşme halini, yoğunlaştırıldığı düzeyi ve kazandığı tokluk özelliğini gösterir. Hardox'un arkasındaki rakam onun brinell olarak sertliğini gösterir.

Hardox 400; Yüksek düzeydeki tokluğu, iyi bükülebilirliği ve kaynaklanabilirliği sayesinde, bu aşınmaya dayanıklı çelik grubu orta düzeyde aşınan yapılarda kullanılabilir.

Kimyasal Kompozisyonu

Hardox 450'nin Kimyasal Kompozisyonu Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Hardox 400 nin Kimyasal kompozisyonu [23].

C(%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	B (%)
0.15	0.70	1.60	0.025	0.010	0,5	0.25	0.25	0.004

Hardox 400 için verilebilecek en iyi örneklerden biri, çöp kamyonun astarlanmış kısmıdır. Bilindiği üzere çöp kamyonlarının kasası sürekli olarak deformasyona maruz kalmaktadır. Bu sebeple Hardox malzemesini kullanarak çöp arabasının hafif olması ve daha az mazot yakması sağlanmaktadır.

Bir diğer örnekte ise; taşıyıcı konteynirlerin alt ve yan yüzeylerinde kullanılır. Bu malzemelerin gemilere yüklenişi ve konteynir içine malzeme yüklenirken sürekli olarak aşınmaya maruz kalır. Dolayısıyla; nakliye işlerinde kullanılan aşınmaya dayanıklı hardox çeliklerinin hafif oluşu ve aşınmaya dayanımı önemli bir avantaj sağlar.[23]

3.2. Hardox 450

Hardox 450, yaklaşık 450 brinell sertliğe sahip bir hardox çeliğidir. Hardox 450 diğer hardox çeliklerinden farklı olarak yüksek sıcaklığa maruz kalan yerlerde kullanılması tercih edilmez.

Hardox 450 aşınmaya dayanıklı çeliklerde, soğuk bükülme ve kaynaklanabilirliğin kolay yapılması ve aşınma direncinin üstün özellikleri ile birlikte kullanılmak üzere tasarlanmıştır. [24]

Hardox 400 ve 450'nin sertliklerinin birbirine yakın olmasından dolayı kullanım alanları benzerdir. Hardox 400 ve 450 makine parçaları üretiminde ve maden sektöründe aşınmaya karşı yaygın olarak kullanılmaktadır. Çöp kamyonu kasası, konteynir tabanı ve yan yüzeylerinde kullanılabilir. Buna ek olarak denizlerde ve okyanuslardaki petrol platformlarında kullanılırlar. Hem yüksek ısıya maruz kalmaz hemde korozyona direnç

oluşturur. Kullanım alanlarından bir diğeri ise; maden araştırma ve çıkarmada kullanılır. Madenin çıkarılması için tünel açacak araçların kırıcı uçlarına giydirilen hardox 450 sayesinde tüneller açılmaktadır. Çıkan madenler yine hardox 450 giydirilen araçların dayanıklılığı sayesinde taşınmaktadır [25]

Kimyasal kompozisyon

Hardox 450'nin Kimyasal Kompozisyonu Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Hardox 450'nin kimyasal kompozisyonu [25].

C(max) (%)	Si(max) (%)	Mn(max) (%)	P(max) (%)	S(max) (%)	Cr(max) (%)	Ni(max) (%)	Mo(max) (%)	B(max) (%)
0.19-26	0.70	1.60	0.025	0.010	0,25-1.20	0.25	0.25	0.005

3.3. Hardox 500

Kesme işleminde Hardox 500 Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Hardox 500'ün kesilmesi [26].

Hardox 500 serinin 3. Sert elemanıdır ve yaklaşık olarak 500 brinell sertliğe sahiptir. Hardox 450 den farklı olarak kullanım alanları yakındır öyleki inşaat ve madencilik sektöründe kullanımı da yaygındır, fakat daha sert daha kritik noktalarda kullanılmaktadır. Örnek olarak kepçenin ağız kısmı sert kayalarda çalışacaksa malzemenin tokluğundan kayıp vermeden daha sert olan hardox500 serisi kullanılması tercih edilmelidir.

Hardox500'ün darbelere dayanımının fazla olması, deformasyon ve çatlak oluşmaması gibi faydaları sayabiliriz. SSAB firmasının bir ürünü olan Hardox 500, 900-920°C'den 50 °C'ye soğutulması ile elde edilir. Abrazif aşınma için artan talepler doğrultusunda Hardox 450'den gelişmiş olarak üretilmiştir.

Kesme, şekillendirme, kaynaklama yöntemi ile ürün yelpazesi genişletilmektedir. Hardox 500 çeliği kullanım alanında yükleyiciler, ekskavatörler, taş kırıcıların parçaları, konveyörler, dişliler ve kamyon damperlerinin gövdelerinde kullanılmaktadır.[26]

– Kimyasal Kompozisyon

Hardox 500'nin Kimyasal Kompozisyonu Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3. Hardox 500'ün kimyasal kompozisyonu [26].

C(max) (%)	Si(max) (%)	Mn(max) (%)	P(max) (%)	S(max) (%)	Cr(max) (%)	Ni(max) (%)	Mo(max) (%)	B(max) (%)
0.29	0.70	1.60	0.025	0.010	1.0	0.5	0.3	0.04

3.4. Hardox 550

Çeliğin tarihte kullanılmaya başlandığından itibaren hep daha sert ve tok nasıl olacağı araştırılmıştır. Hardox 550 ise bu araştırmaya verilecek en iyi örneklerden biridir.

Hardox550 önceden de bahsedildiği gibi brinell sertlik değerine göre ifade edilir yani 550 HBW sertliğe sahiptir. Kullanım aralığı 10 ile 50 mm arasındadır.

Rulman aletleri gibi bağlantı noktalarında ve cıvatalarda Hardox 550 kullanılabilir. Bilindiği üzere cıvata, pul, somun gibi bağlantı elemanları tekrarlı olarak bir yüke maruz kalmakta ve aşınmaya uğramaktadır. Bakım işlemlerinin sürekli olması yerine doğru malzemeyi bir kere kullanmak büyük bir iş yükünden kurtarmaktadır.

Madencilik ve inşaat sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kesiciler, öğütücüler, doğrayıcılar, yıkım araçları, elekler ve hafriyat araçlarında bu malzemeler gerektiğinde kaplama olarak ve ya direkt malzeme olarak kullanılarak ömürleri yaklaşık yüzde atmış daha artmıştır.

Sahip olduğu tokluğu ile Hardox550 aşınma ömrünü ve çatlak oluşum riskini yükseltmeden, arttırmak için tasarlanmıştır. [27]

– Kimyasal Kompozisyon

Hardox 550'nin Kimyasal Kompozisyonu Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4. Hardox 550'nin kimyasal Kompozisyonu [27].

C(max) (%)	Si(max) (%)	Mn(max) (%)	P(max) (%)	S(max) (%)	Cr(max) (%)	Ni(max) (%)	Mo(max) (%)	B(max) (%)
0.37	0.50	1.30	0.020	0.010	1.40	1.40	0.60	0.004

3.5. Hardox 600

Hardox çeşitlerinin içinde en sert olanı Hardox 600'dür. Bu çeliği üretirken birinci kalitede çelik alaşımına, hiçbir yerde kullanılmayan ısıl işlem süreci ve çok iyi ayarlanmış bileşimi ile ortaya çıkar. Bu özelliklerinden dolayı kullanılacağı yerlerde aşınma ve çatlama karşı en iyi direnci sağlamaktadır.

Hardox 600 inşaatlarda bulunan çeşitli makinelerde, maden taşıma araçları, damperli hafriyat araçları, doğrayıcılar, elekler ve daha birçok yıkım ve hafriyat araçlarının kullanım sürelerini ve performanslarını artırmaktadır.

Bu aşınmaya dayanıklı çelik ile gelişmiş atölye şartlarında kesme işlemine dikkat edilmelidir. Ayrıca kaynaklama ve bükme işlemleri de dikkatli yapılmalıdır. Hardox 600 özel ve sert bir malzemedir. Tokluğu ve sertliği diğer Hardox çeliklerine benzemez.

Hardox 600 şimdiye kadar ki en sert aşınmaya dayanıklı çelik levhasıdır. Kullanılan bu çelikle malzeme deformasyona uzun süre maruz kalsa dahi dayanıklılığı sayesinde işletme giderlerini minimuma indirdiğinden kazanılan zaman açısından çok önemlidir. Hardox 600'de tamir ve bakım için zaman kaybı yaşanmaz. Üretimi zor olduğu için bu çeliğin fiyatı yüksektir. Bu yüzden kullanılacak hardox iyi araştırılmalı gerek olmadığı miktarda diğer hardox çeşitleri de kullanılabilir.[28]

– Kimyasal Kompozisyon

Hardox 600'ün Kimyasal Kompozisyonu Tablo 3.5'de verilmiştir.

Tablo 3.5. Hardox 600'ün kimyasal Kompozisyonu [28].

C(max) (%)	Si(max) (%)	Mn(max) (%)	P(max) (%)	S(max) (%)	Cr(max) (%)	Ni(max) (%)	Mo(max) (%)	B(max) (%)
0.47	0.70	1.40	0.015	0.010	1.20	2.50	0.70	0.005



BÖLÜM 4. AŞINMAYA DAYANIKLI ÇELİKLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

4.1. Yük ve Servis Ömrü

Hardox aşınmaya dayanıklı çeliğinin ağırlığı normal bir çeliğe göre daha azdır. Bu sebeple hardox alaşımı yapıların servis ömrünü artırır. Aşınmaya dayanıklı ve tok malzeme olarak bilinmektedir. Hardox çeliğinden yapılmış bir kamyon konteyneri %10-20 ve hatta daha fazla yük kapasitesi taşıması anlamına gelir. Uygulamaların bazılarında yollarımızdaki kamyon sayısını azaltmakla kalmaz yakıt tasarrufu ve CO₂ emisyonunu da azaltmış olur. Uygulama ne olursa olsun Hardox daha güçlü, daha hafif ve daha uzun süre kullanım alanlı çelikleri hayatımıza kazandırır. Mükemmel aşınma direnci, her zaman Hardox'un başarısı için önemli olmuştur. Bugün, her zamankinden daha sert ve daha tok ve kalıcı deformasyon veya çatlama olmaksızın ağır darbeye dayanabilmektedir.

Bugün, hardox uzun yıllar öncesinden itibaren başarılı olarak kullanılmakta ve buna ek olarak şekillendirilebilmesi ile birlikte hardox aşınma plakası ve aşınmaya dayanıklı borular olarak da mevcut bulunmaktadır. İlk kullanıma başlandığında sadece aşınma plakası olarak kullanılan hardox malzemeler bunun yanında yüksek sertlik ve tokluğu ile taşıma parçalarında da yaygın bir alanda kullanılmaya başlanmıştır.

Mekanik aşınma; makine parçalarının limitli ömürlerinde ana faktörlerden biridir. Makina parçalarında meydana gelen hatalar, aşınan parçaların yüzeye yoğun etkileşim noktalarında ve çevresinde meydana gelmektedir.[29,30]

Şekil 4.1'de Hardox malzemelerinin kullandığı yerler gösterilmiştir.

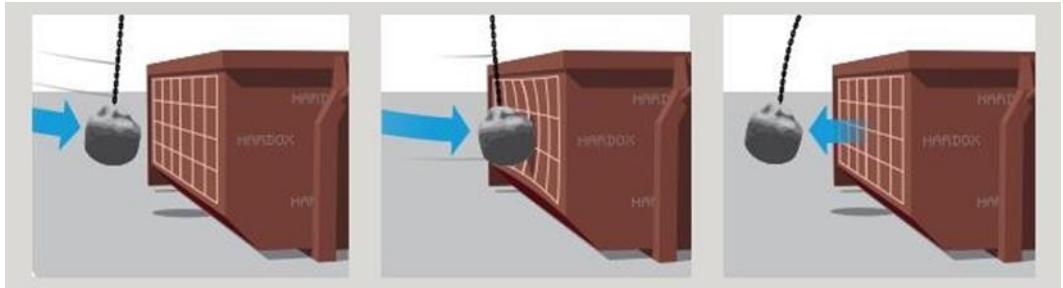


Şekil 4.1. Hardox malzemelerinin kullandığı yerler. [31]

Sertlik hardoxa benzersiz bir aşınma direnci ve tokluk sağlamaktadır. Hardoxun sertliği kullanım ömrünün sonuna kadar aynı kalmasından dolayı aşınma direncini kullanım ömrü malzeme tükenene kadar devam eder. Sertlik; aynı zamanda deforme olmaksızın yapının şeklinin aynı kalmasını sağlayan mükemmel akma ve çekme dayanımına sahip olması anlamına gelir.

Sertlik dışında malzemeye sağladığı tokluk ile çatlama olmaksızın bükülmesini, kaynaklanmasını ve biçimlendirilmesini mümkün kılar. Karşılaştığı zor koşullar altında akma dayanımı üstüne çıktığında plastik bir deformasyona uğrarsa çatlamaya dayanacak ve çatlağın ilerlemesine karşı koyacaktır.

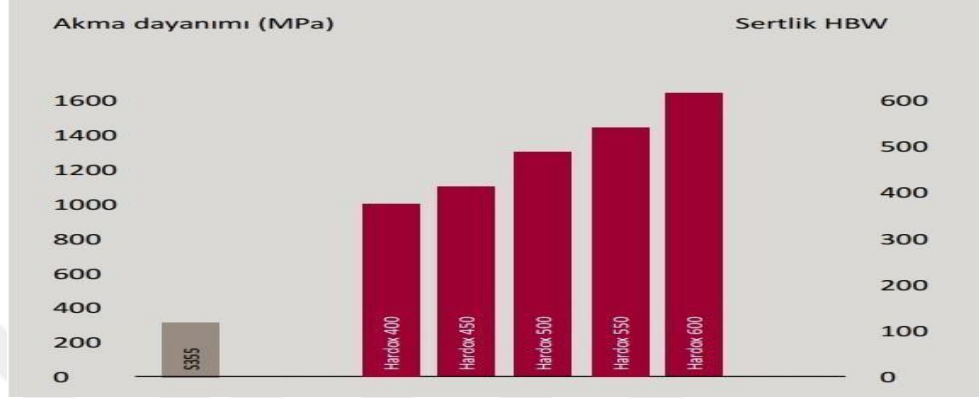
Hardox'un esnekliğine ait görsel Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Hardox un esnekliğine ait görsel [32].

4.2. Mukavemet, Sertlik ve Tokluk

Hardox çeşitlerinin sertlik ve akma dayanımı Şekil 4.3’de gösterilmiştir.

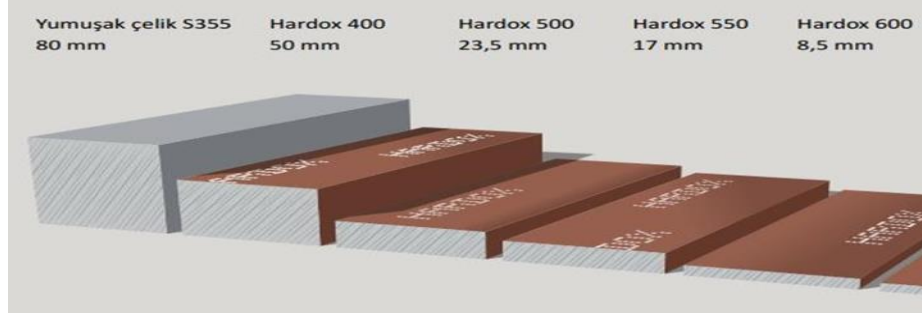


Şekil 4.3. Hardox çeşitlerinin sertlik akma dayanımı [33].

4.2.1. Aşınma ve ağırlıkla mücadele

Birçok durumda makine ve mekanizma parçaları aşınma, kavitasyon, tekrarlanan yükler altında korozyon ortamında ve ya yüksek sıcaklığa maruz kaldığı durumlarda maksimum gerilimin olduğu yüzey tabakasında malzemeye dair kayıplar ve meydana gelen deformasyon görülmektedir. Hardox’un kullanım alanları ve kullanılacağı yerde bile daha hafif Hardox çeşitleri kullanılabilir. Örneğin bir kamyonun damper kasasında tabanına farklı bir ürün kullanılırken yanlarına aşınmaya daha az maruz kalan bir hardox kullanılabilir. Buna karşılık diğer aşınmaya dayanıklı olmayan çeliklerle karşılaştığında hardox grubunun kalınlığı ve buna bağlı olarak aşınması da değişmektedir.[34]

Hardox un çeşitlerinde ağırlık ve kalınlığı ile ilişkisi Şekil 4.4.’de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Hardox çeşitlerinde ağırlık ve kalınlığı ile ilişkisi [35].

4.3. Bazı Hardox Sınıflarının Sertlik Karşılaştırması

Hardox çeşitlerinin sertliğinin brinell haricinde rockwell ve vickers olarak gösterimi ve çekme dayanımı Tablo 4.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Hardox çeşitlerinin sertliğinin brinell haricinde rockwell ve vickers olarak gösterimi ve çekme dayanımı [35].

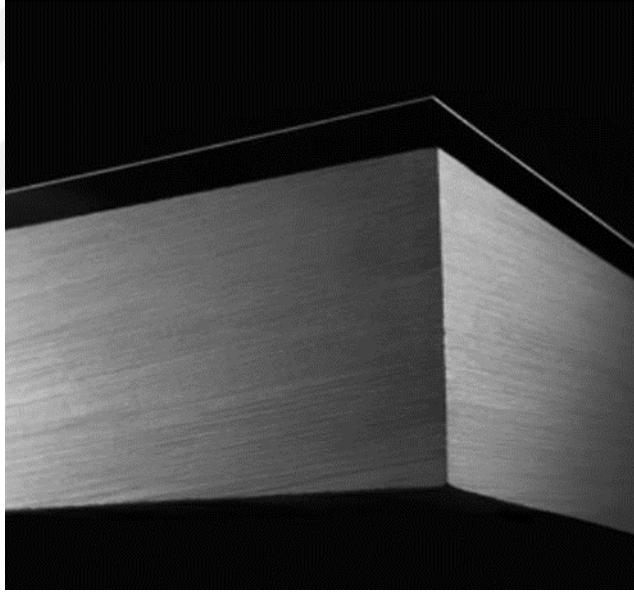
Brinell HWB	Rockwell HRC	Vickers (98N)	Yaklaşık çekme dayanımı(MPA)	Karşılık gelen kalite
400	40	401	1245	Hardox400
450	44.5	458	1412	Hardox450
500	49	514	1580	Hardox500
600	55	627	1940	Hardox600

Hardox aşınma plakalarının sertlikleri kullanıma uygun kalınlıkları ve darbe toklukları 0.7mm Denila 160mm'ye kadar olan Hardox çeşitleri Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Hardox aşınma plakalarının sertlikleri kullanıma uygun kalınlıkları ve darbe toklukları 0.7mm Denila 160mm'ye kadar Hardox [34].

Ürün Özellikleri	Ürün adı	Sertlik Nominal (HBW)	Darbe tokluğu	Kalınlık(m m)
Yüksek tokluk ve yapısal özellikleri gerektiren uygulamalar için kalın aşınma plakası	Hardox 400	350	85-50	40-160
Yüksek tokluğa iyi bükülebilirliğe ve mükemmel kaynaklanabilme özelliğine sahip çok yönlü aşınma plakaları	Hardox 400 ve Hardox450	400-450	45-50	4-160
Yüksek aşınma direnci gerektiren uygulamalarda kullanılabilen sert ve bükülüp kaynaklanabilen plakalar	HArdox500ve hardox550	500-550	37-30	4-80 10-50
Sertlik ve aşınma direnci en üst düzeyde olduğunda	HArdox 600	600-700	20-15	8-50

Hardox çeliğinin kesiti Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Hardox çeliğinin kesiti [35].

Ebatlarının çeşitliliği hardoxu çok geniş bir tasarım ve ürün aralığı için uygun kılmaktadır. Hardox aşınma plakasının mükemmel kaliteleri de Hardox Tube 500 biçiminde de mevcuttur. Bu, yaş beton, toprak, çakıl veya cevher çamuru gibi aşındırıcı malzemeler pompalandığında genişletilmiş uzun hizmet ömrünü sağlar.

Tüm Hardox malzemelerinde her plakaya özel bir tanımlama numarası, izlenebilirlik için plakalar üzerine damgalanmıştır.

Plaka ebatları, plaka seri numarası ve ısı döküm numarası gibi diğer veriler, teslimatan önce her bir plakaya basılır.

Ürününüzün benzersiz bir kimlik numarasına sahip olduğunu bilmek atölyede işleme ve kalite kontrolünün çok daha kolay gerçekleşmesini sağlar. Tanımlayıcı işaretler de Hardox'un daha küçük parçaları sonraki kullanım için saklandığında kullanışlı olabilir.[35]

4.4. Şantiyede Hardox

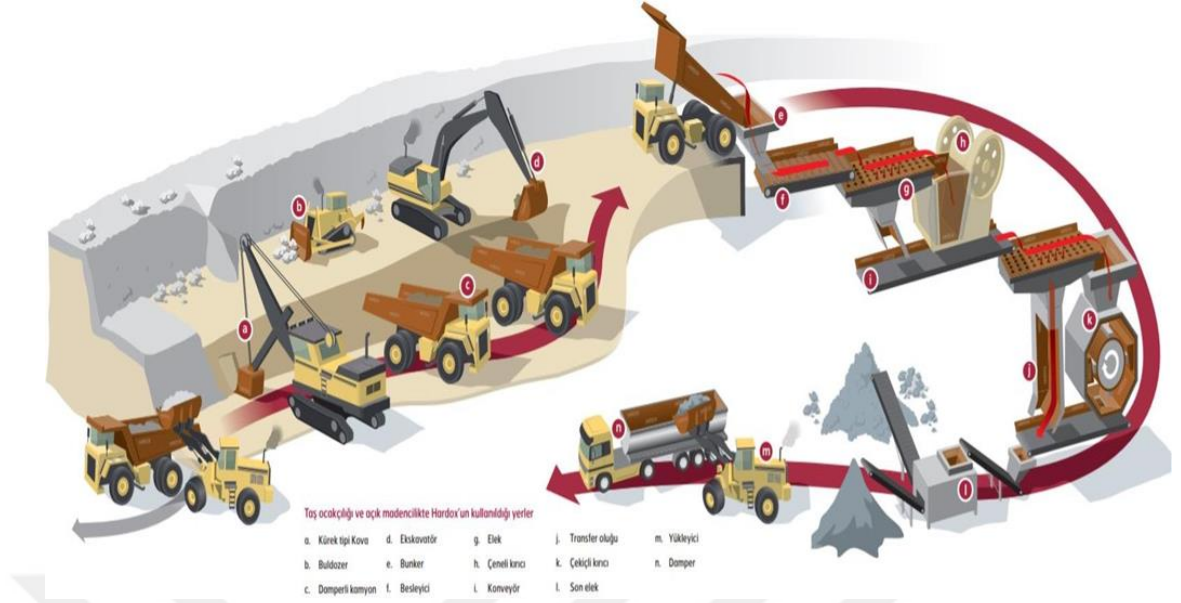
4.4.1. Taş ocağı ve açık maden ocakları

4.4.1.1. Taş ocakları ve madencilikte kullanım avantajları

Taş ocağı ve açık maden işleri ekipman kapasitelerini zorlamaktadır. Aşınmaya dayanım söz konusu olduğunda, yüksek maliyetler söz konusu olabilir. Hardox aşınma levhası, taş ocakçılığı ve madencilik sektörünün tüm üretim aşamalarında eşsiz avantajlar sunmaktadır. Bu avantajlara madencilik işlerinde fark yaratan kalem olan ekonomik faydalar da dâhildir. Bu faydalar, üstün aşınma dayanımı sayesinde iki tamirat arasında geçen sürenin önemli ölçüde artması ile başlamaktadır.

Hardox aşınma levhası hızlı ve esnek şantiye çözümdür. İyi kaynak edilebilme ve atölye dostu olma özellikleri sayesinde hardox, onarım yöntemlerinize kolayca entegre edilerek, üretimin duruş olmadan devam etmesini sağlar. Ayrıca, büyük miktarlarda yedek parça stoklama zorunluluğunu ortadan kaldırır. Tasarım konusunda ise, hardox aşınma levhasının mükemmel özellikleri sayesinde klasik düşünce kalıplarının dışına çıkarak maliyetten tasarruf edebilir ve farklı performans seviyelerinde tasarımlar yapabilirsiniz. Örneğin, Hardox'un üstün dayanımı sayesinde, daha ince levhalar kullanarak toplam ağırlık azaltılır, taşıma yükü artırılır ve böylece verimlilikte de artış sağlanır.[36]

Taş ocakları ve madencilikte hardox kullanımının şablon olarak gösterimi Şekil 4.6'da yapılmıştır.



Şekil 4.6. Taş ocakları ve madencilikte hardox kullanımının şablon olarak gösterimi. [36]

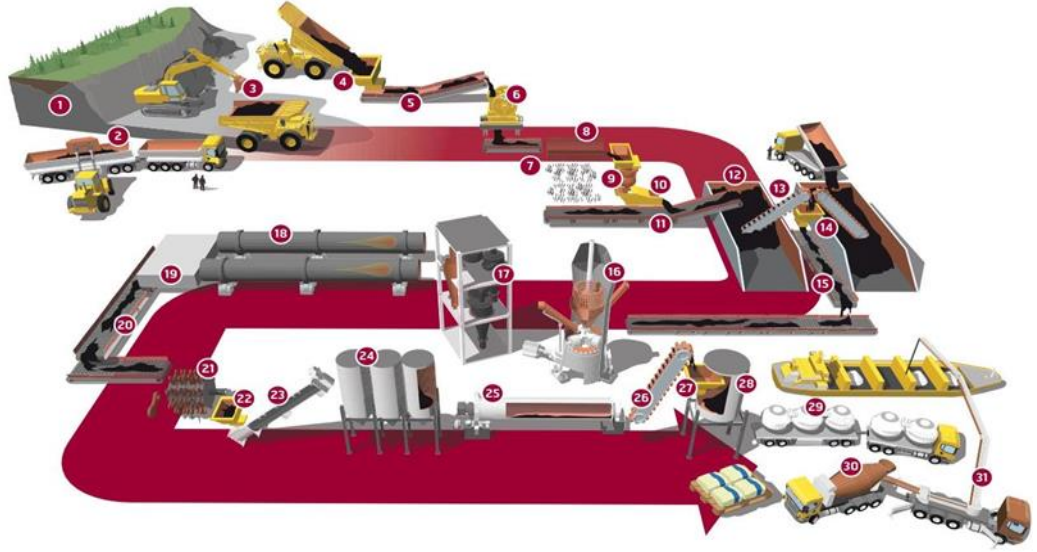
4.5. Çimento Fabrikalarında Hardox

Hardox aşınma plakası, tüm üretim akışı boyunca büyük avantajlar sağlar. Üstün aşınma direnci, daha fazla çalışma süresi, daha yüksek verimlilik, daha uzun servis ömrü ve daha az bakım gibi alt hat avantajlarına dönüşür. Hardox ağırlığını azaltır ve düzenli çelik ile karşılaştırıldığında çelik yapıların ömrünü uzatır. [36]

Standart S235 çeliğine göre, hardox 500 kullanım ömrü açısından 3-4 kat daha fazladır. 25 mm'lik bir s235 plakası, 8 mm hardox 500'e eşdeğerdir ve ağırlığı önemli ölçüde azaltır. Hardox tüm kullanım ömrü boyunca eşit derecede sertlik sunar. Sertlik hardoxa direnç ve güç sağlarken tokluk ise hardoxun bükülmesi, çatlamadan kaynaklanabilmesi ve şekillendirilmesine olanak sağlar.

Hardox ile çimento endüstrisi için çelik yapılar aynı anda aşınmaya dayanıklı, güçlü ve hafif olabilir [36].

Çimento Fabrikalarında hardox kullanımının şablon olarak gösterimi Şekil 4.7'de yapılmıştır.



1. Açık ocak	13. Depolama kutuları	21. Çekiçli kırıcı
2. Yükleyici ve damper	14. kovaları	22. Besleme hunisi
3. Ekskavatör	15. Hazne	23. Vidalı konveyör
4. Hazne	16. Lastik konveyör bandı	24. Silo
5. Konveyör bant	17. Değirmen	25. Değirmen
6. Çeneli kırıcı	18. Siklonda ön ısıtma	26. Elevatör kovası
7. konveyör bant kauçuk	19. Döner fırın	27. Hazne
8. Kırıcı ekran	20. Curuf soğutucu	28. Silo
9. konik kırıcı	21. kauçuk konveyör bant	29. Bitmiş ürün transferi
10. oluk	22. Depolama kutuları	30. Beton transit taşıyıcısı
	23. Vidalı konveyör	31. Beton pompası taşıyıcısı
	24. Silo	
	25. Değirmen	
	26. Elevatör kovası	
	27. Hazne	
	28. Silo	
	29. Bitmiş ürün transferi	
	30. Beton transit taşıyıcısı	
	31. Beton pompası taşıyıcısı	

Şekil 4.7. Çimento Fabrikalarında hardox kullanımının şablon olarak gösterimi [36].

4.6. Yeraltı Madeninde Hardox

Yeraltı madenleri dünyanın kendi zenginliğini oluşturmaktadır. Bu alanda madeni kırmak ve parçalamak için bazı malzemelere ihtiyaç bulunmaktadır. Hardox çelikleri düşük maliyetleri ile madencilikte kullanımı olasıdır. Hardox ekipmanlarınızın ve makinelerinizin aşınma performansını en üst düzeye çıkarır ve genel üretkenliğinizi arttırır.

Tutarlı özellikleri sayesinde hardoxun performansı yüksektir ve kullanım ömrü değişmez. Bu, aynı zamanda servis ömrünü çok öngörülebilir hale getirir ve onarım programınızı rasyonelize etmenize izin verir.

Yüksek sertlik, yüksek mukavemet ve iyi tokluk kombinasyonu ile hardox; madencilikte yükleme, taşıma ve ezme dâhil olmak üzere çeşitli uygulamalarda kullanılabilir.[36]

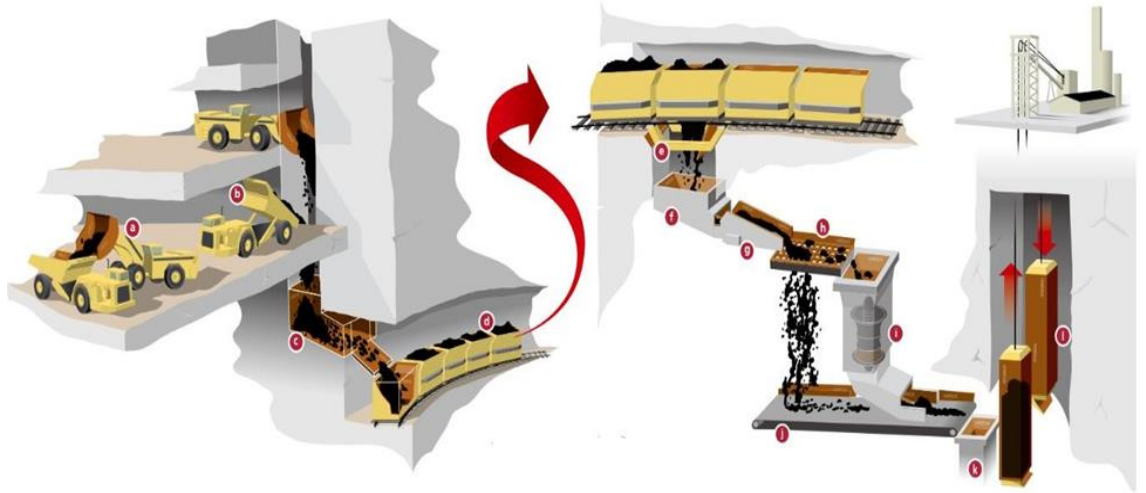
4.6.1. Hardox'un madencilikteki avantajları

Madencilik sektöründe ekipman maliyetleri oldukça yüksektir. Aşınma direnci söz konusu olduğunda, kullanılan malzemeye göre maliyeti yüksek olmaktadır. Hardox aşınma plakası, tüm üretim akışı boyunca madencilik sektörüne birçok avantajlar sunar.

Hardox aşınma plakası, yerinde hızlı ve esnek bir çözümdür. Üstün kaynaklanabilirlik ve atölye dostu özellikleri, onarım rejimlerine kolayca entegre edilmesini, üretimi sürdürmesini ve sürekliliği sağlar. [36].

Tasarım konusunda hardox çelikleri üstün özellikleri ve maliyet tasarrufu ile diğer çelik gruplarından ayrılır. Örneğin, üstün gücü, daha ince bir plakanın kullanılmasına, genel ağırlığın düşürülmesine ve artan yüklerin ve dolayısıyla üretkenliğin sağlanmasına izin verir.

Şekil 4.8'de Madencilikte hardox kullanımının şablon olarak gösterimi verilmiştir.



- | | | |
|----------------------|-------------------|-----------------|
| a. Ön yükleyici | e. deşarj ünitesi | i. öğütücü |
| b. Damperli kamyon | f. transfer oluğu | j. konveyör |
| c. Tampon kutusu | g. besleyici | k. ölçüm kutusu |
| d. Demiryolu arabası | h. elekler | l. kova |

Şekil 4.8. Madencilikte hardox kullanımının şablon olarak gösterimi [36].

4.7. Teknik Bilgiler

Hardox eliklerin göze çarpan özellikleri kolay işlenebilir, şekillendirilebilir ve kaynak edilebilir olmasıdır. Bu nedenden dolayı farklı sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Hardox aşınmaya dayanıklı çeliklerinin en önemli özelliği sahip olduğu yüksek sertliğidir. [37]

Sertlik Hardox'a benzersiz bir aşınma direnci ve tokluk sağlamaktadır. Hardoxun sertliği kullanım ömrünün sonuna kadar aynı kalmasından dolayı aşınma direncini kullanım ömrü malzeme tükenene kadar devam eder. Sertlik; aynı zamanda deforme olmaksızın yapının şeklinin aynı kalmasını sağlayan mükemmel akma ve çekme dayanımına sahip olması anlamına gelir. Ayrıca; hardox grubu çeliklerine; temperleme ısı işlemi uygulanırsa, temperleme sıcaklığının artmasıyla malzemenin sertliğinde düşüş meydana gelecektir.[38]

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

20MnCr5 ve Hardox450 çelikleri seçilerek sertlik, aşınma, optik, elektron mikroskopi incelemesi, EDS, XRD incelemelerine tabi tutulmuştur. Bu malzemelerin Aşınma direnci ve öğütücü olarak tercih edilmesindeki faktörler araştırılmıştır. Özellikle öğütücü ve aşınmaya dayanıklı çelik olarak literatüre geçen Hardox grubu(450) çeliklerinin kullanılabilme olanakları değerlendirilmiştir.1970'lerden beri SSAB firması tarafından üretilmekte olan Hardox çelikleriyle 20MnCr5 çeliklerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Hardox piyasadan tabaka şeklinde alınmıştır ve sonrasında uygun numune boyutlarına getirmek için kesim işlemi yapılmıştır. Bu noktada tercih edilen kesim türü hata oranı ve kesim toleranslarının düşük olması sebebiyle lazer kesim tercih edilmiştir. Yapılan SEM, XRD ve EDS analizlerinde verilen sonuçlar ile literatürdeki sonuçlar karşılaştırılmaktadır. Hardox 450 plakası Şekil 5.1'de görülmektedir.



Şekil 5.1. Hardox 450 plakası. [25]

Hardox 450 alaşımının kimyasal bileşimi Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1. Hardox 450 alaşımının kimyasal bileşimi [25]

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	B (%)
0.32	0.70	1.60	0.025	0.010	1.40	1.50	0.60	0.004

20MnCr5’in kimyasal kompozisyonu Tablo 5.2’de gösterilmiştir.

Tablo 5.2. 20MnCr5’in kimyasal kompozisyonu [39].

Kimyasal Kompozisyon								
%	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo
20MnCr5	0,218	1,14	0,013	0,02	0,27	1,09	-	0,016

5.1. Numune Hazırlama

5.1.1. Lazer kesim işlemi

Bu alışmadaki Hardox 450 ve 20MnCr5 eliği plaka halinde temin edilmiştir. Lazerle kesilerek numuneler alınmıştır. Hazırlanan numune 5mm kalınlığında, 15mm genişliğinde ve 50mm uzunluğunda olacak şekilde kesilmiştir. EDS spektrum analizi için numune boyutu uzun olduğundan ortadan ikiye şerit testere ile kesilmiştir. Böylece numune uzunluğu 50mm’de 25mm’e düşmüştür. Truelaser3030 Lazer kesim Makinası şekil 5.2’de gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Truelaser3030 Lazer kesim Makinası.

5.1.2. Isıl işlem uygulaması

Lazer kesim işleminden sonra Hardox 450 ve 20MnCr5 çeliklerine ısıl işlem yapılmıştır.

- Hardox 450'nin Temperlenmesi

Kesme işleminden sonra hardox 450 çeliğine temperleme uygulanmıştır. Üretici Firma tarafından su verilmiş halde piyasaya sunulan Hardox450 çeliğinden alınan numuneler sırasıyla 300°C ve 450°C'de 1 saat boyunca fırında bırakılarak temperlenmiştir. Çökelti partiküllerinin rahat görülebilmesi için 2 saat boyunca temperleme fırınında 600°C sıcaklığa çıkılmıştır. Fırından çıkarılan numuneler havada soğutularak temperleme işlemi tamamlanmıştır.

- 20MnCr5'in sementasyonu

20MnCr5'e 920°C- 930°C sıcaklığında 7 saat boyunca karbon emdirme işlemi yapılmıştır. Süre sonunda tuz banyosunda, ısıl işlem sertleşme yağında 20 dk buhar fazını atana kadar soğutma yapılmıştır. Son aşamada 200 °C'de 2 saat boyunca temperleme'den sonra normal hava şartlarında soğumaya bırakılmıştır.

5.1.3. Taşlama işlemi

Belirli sıcaklık ve sürede ısıl işlem görmüş ve görmemiş Hardox450 ve 20MnCr5 numunelerinin yüzeyindeki kaba pürüzler taşlama işlemi ile giderilmiştir. Taşlama tezgâhı St Supertec'in görüntüsü Şekil 5.3'de verilmiştir.



Şekil 5.3. Taşlama tezgahı St Supertec'in görüntüsü.

5.1.4. Zımpara ve parlatma işlemi

Isıl işlem görmüş ve görmemiş Hardox 450 ve 20MnCr5 çeliklerini optik mikroskopta incelemek için önce metalografik numune hazırlama yapılmıştır. Numunelerde sertlik incelemesi yapılırken 400,600 ve 800'lük zımpara kullanılmıştır. Fakat optik mikroskopta görüntü alabilmek için daha yüksek zımpara kâğıtları kullanılması gerekmektedir. Bu sebeple 800'lük zımpara kâğıdından sonra 1000'lik zımpara kâğıdı kullanılmış ve daha sonrasında malzemenin aşınmaya dayanıklı olmasından dolayı 4000'lik özel zımpara kâğıdı kullanılmıştır.800 ve 1000lik zımpara kâğıdında yaklaşık 10 ile 15 dakika arasında beklenmiştir.Metaserv2000 grinder/polisher marka zımparalama ve parlatma cihazı Şekil 5.4'de gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Metaserv2000 grinder/polisher marka zımpara ve parlatma cihazı.

Zımpara işleminden sonra parlatma işlemine geçilmiştir. Parlatma işleminde solüsyon ve sıvı sabun kullanılarak her bir numune için 3 tekrar ile her bir numune için 15 dakika boyunca yapılmıştır. Kullanılan hardox ve 20MnCr5 malzemelerine parlatma yapıp kurutulduktan sonra dağlanmıştır. Dağlamada %2 oranında nital çözeltisinde 5 sn bekletilerek 3 tekrar halinde yapılmış ve kurutulmuştur.

5.2. Karakterizasyon

Hardox 450 ve 20MnCr5 çelikleri çeşitli yöntemlerle karakterize edilmiştir. Karakterizasyon için taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışınları spektroskopisi (EDS), X-ışını difraksiyonu ve optik mikroskop kullanılmıştır.

5.2.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışınları spektroskopisi (EDS)

Isıl işlem yapılmış ve yapılmamış Hardox 450 ve 20MnCr5 çeliklerine farklı sıcaklıklarda (SEM) ile mikroyapıda görülen çökeltileri ve EDS patterni ile numunede bulunan elementel analizi ve elementlerin kütlece yüzde ağırlıkları belirlenmiştir. Şekil 5.5'de JEOL JSM 6060LV SEM ve IXRF Systems Inc. 500 Digital Processing markalı EDS cihazı Şekil 5.5'de görülmektedir.



Şekil 5.5: JEOL JSM 6060LV SEM ve IXRF Systems Inc.500 Digital Processing markalı EDS cihazı

5.2.2. Optik mikroskop

20MnCr5 ve Hardox 450 çeliklerine farklı sıcaklık ve sürelerde ısıl işlem uygulaması yapılmıştır. Numunelerin belirli büyütme oranlarında mikroyapılarındaki değişimler şekil 5.6'daki NİKON ECLİPSE L150 cihazı ile görülmüştür.



Şekil 5.6: NİKON ECLİPSE L150 cihazı

5.2.3. X Işınları Kırınım Analizi

20MnCr5, sementasyon yapılmış 20MnCr5'i ve Hardox 450çeliğinin numuneleri farklı sıcaklıklarda temperleme işlemine tabi tutularak x ışını paterni ile Şekil 5.7'de gösterilen Rigaku X-RAY DİFFRACTOMETER cihazında mikroyapıda gözlenen çökelti elementlerini ve intermetalik bileşenleri saptanmıştır.



Şekil 5.7: Rigaku marka XRD cihazı

5.2.4. Sertlik deneyi

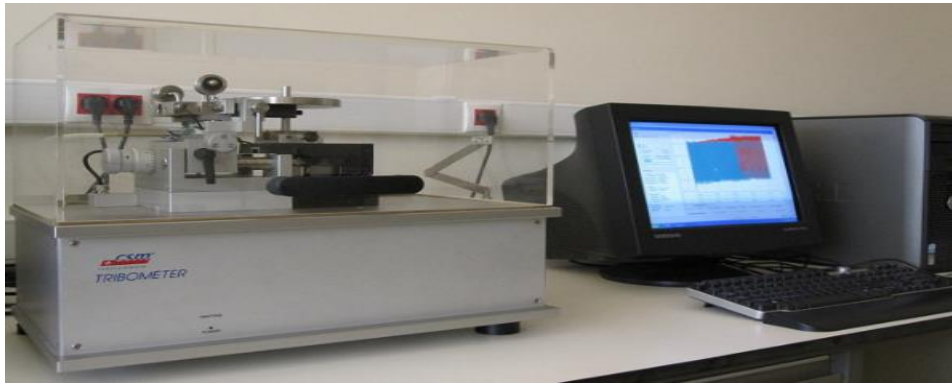
Metalografik işlemlere tabi tutulan numunelere sertlik deneyi uygulanmıştır. Sertlik işleminde 200g yük, 136° olan elmas kare piramit uç kullanılarak Vickers sertliği ölçümü yapılmıştır. Numune üzerine meydana gelen kare şekilli izin köşegen uzunlukları ölçülerek ilgili formül yardımıyla Vickers sertlik değerleri hesaplanmıştır. Deneyde kullanılan cihaz Leica VMHT MOT marka olup sertlik ölçme cihazı Şekil 5.8’de gösterilmiştir.



Şekil 5.8: LEİCA VHMT MOT cihazı.

5.2.5. Aşınma Testi (Ball on Disk)

Aşınma bir yüzeyin başka bir yüzeye referans bir malzeme ile (Al_2O_3) lineer olarak sürtünme ile ölçülen sürekli hasardır. Yapılan çalışmada ısıtılmış ve görmemiş Hardox 450 ve 20MnCr5 çelikleri aynı şartlarda alümina bilye kullanarak tribometre cihazında lineer ball on uygulaması yapılmıştır. Bu deneyde 2N yük ve 10cm/sn hız ile 200m yol gidilerek deney gerçekleştirilmiştir, ortalama 50 ile 55 dakika aralığında aşınma deneyi tamamlanmıştır. Tribometre-Aşınma cihazı CSM instruments TRİBOMETER Şekil 5.9’da gösterilmiştir.

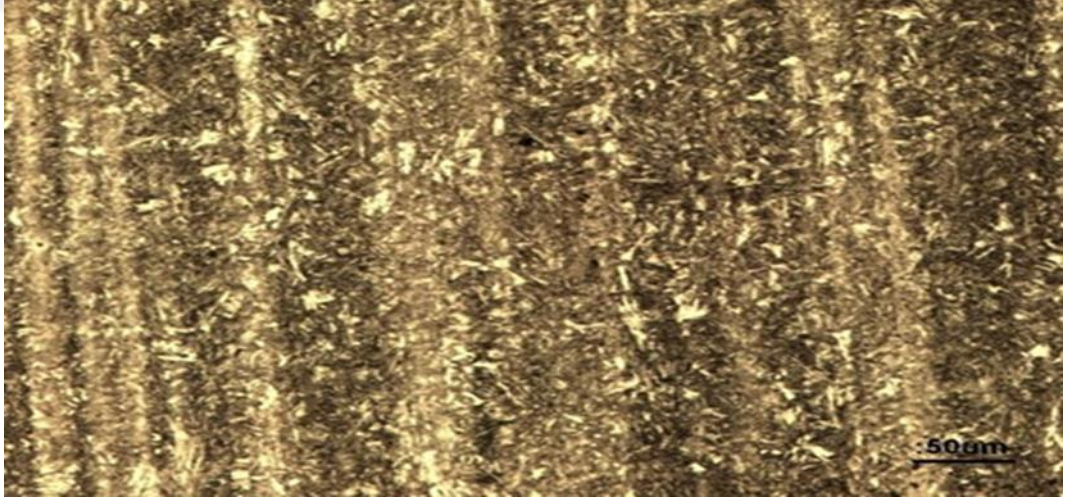


Şekil 5.9: Tribometre-Aşınma Cihazı CSM instruments TRİBOMETER

BÖLÜM 6. DENEYSEL SONUÇLAR

6.1. Optik mikroskop ve SEM incelemeleri

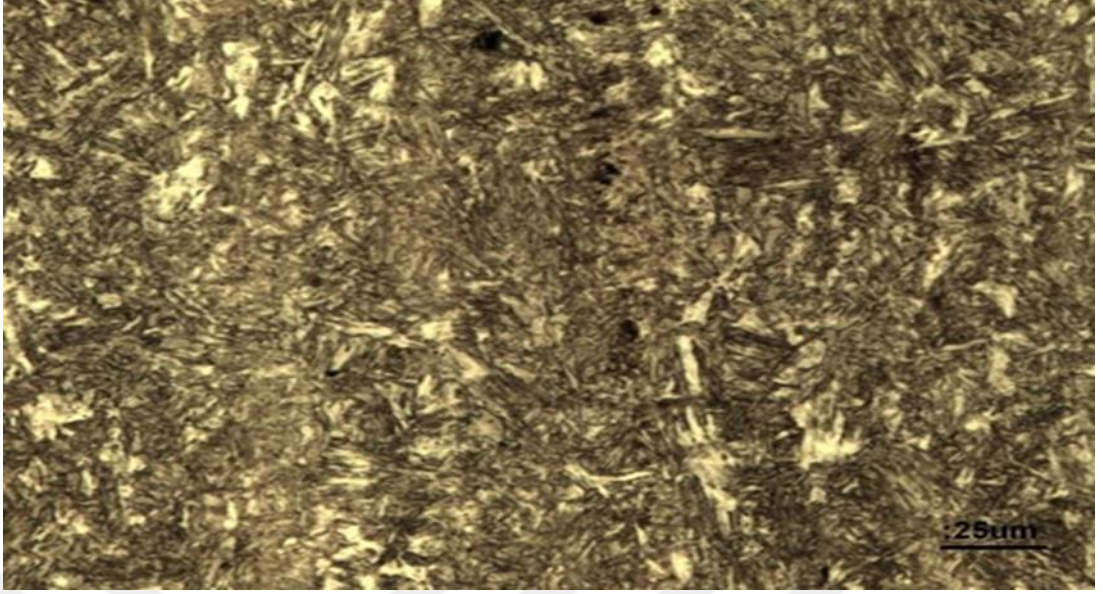
Hardox450 orijinal çeliğinin mikroyapısı 100x büyütmede incelenerek Şekil 6.1'de görülmektedir.



Şekil 6.1: 100x büyütmede hardox450 orijinal numunesinin mikroyapı görüntüsü.

100x büyütmede hardox 450 orijinal numunesinin farklı bölgelerinden alınan görüntülerde haddeleme çizgileri görülmektedir, büyütmenin artmasıyla haddeleme çizgileri genişlediği gözlenmektedir.

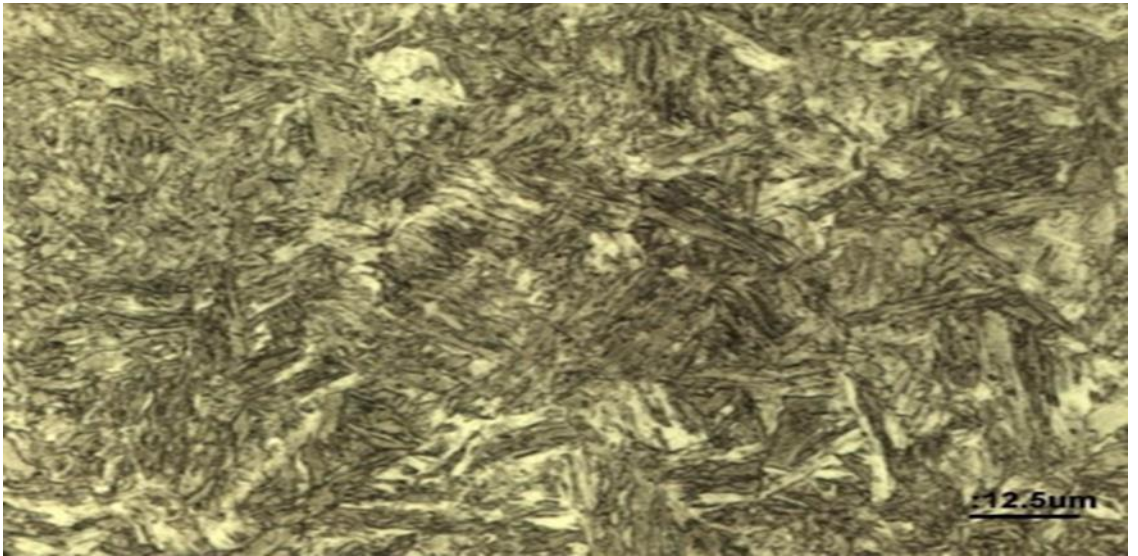
Hardox 450 orijinal çeliğin mikroyapısı 200x büyütmede incelenerek Şekil 6.2'de görülmektedir.



Şekil 6.2: 200x büyütmede hardox450 orjinal numunesinin mikroyapı görüntüsü.

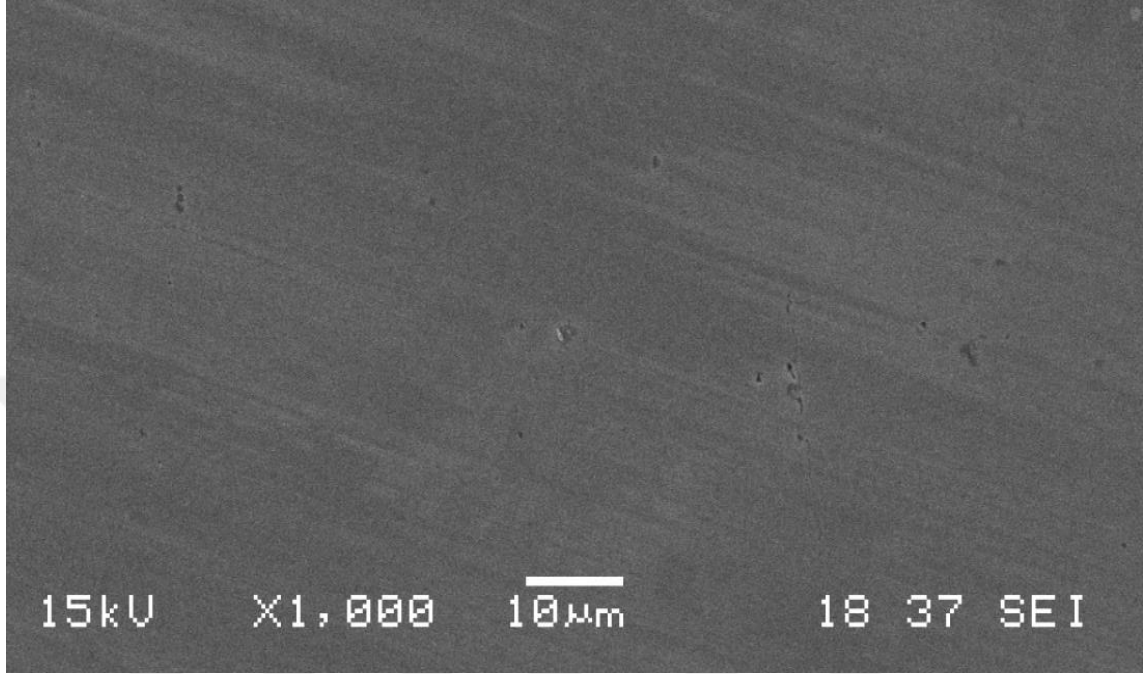
200x büyütmede optik mikroskopta farklı noktalardan alınan görüntülerde, malzeme yüzeyine yaklaştıkça haddeleme çizgilerinin kaybolmaya başladığı ve martenzitik yapılar daha net olarak görülmüştür.

Hardox 450 orjinal çeliğinin mikroyapısı 500x büyütmede incelenerek Şekil 6.3'de görülmektedir.



Şekil 6.3: 500x büyütmede hardox450 orjinal numunesinin mikroyapı görüntüsü.

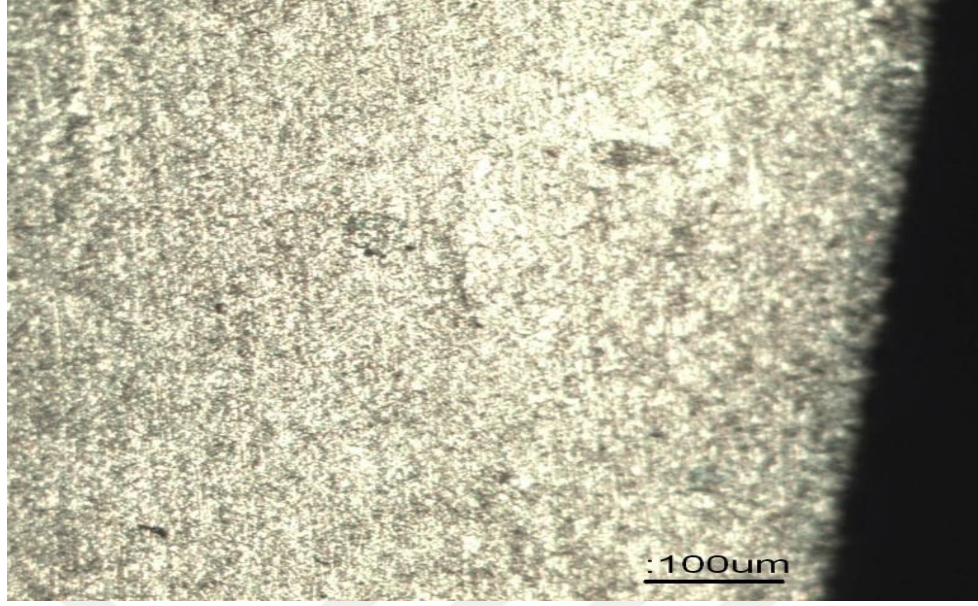
Hardox 450 orijinal çeliğin SEM görüntüsü 1000x büyütmede incelenerek Şekil 6.4’de görülmektedir.



Şekil 6.4: 1000x büyütmede hardox450 orijinal numunesinin SEM görüntüsü

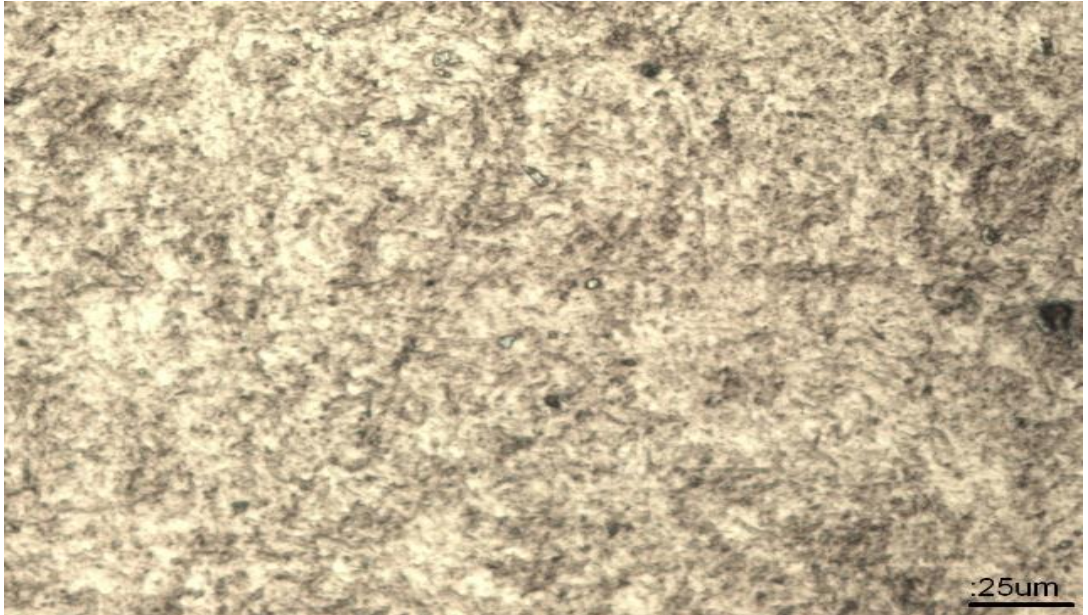
Yukarıdaki Şekil6.3’de 500x büyütmede martenzitik yapılar daha geniş görülmektedir. Hardox 450 orijinal numunesinin mikroyapısında iğnemi martenzitik yapılara rastlanmıştır. 1000X yakınlaşma ile SEM’de de, optik mikroskopta olduğu gibi yönlenmeler olduğu görülmüştür.

50x büyütmede 300°C’de 1 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan mikroyapı Şekil 6.5’de görülmektedir.



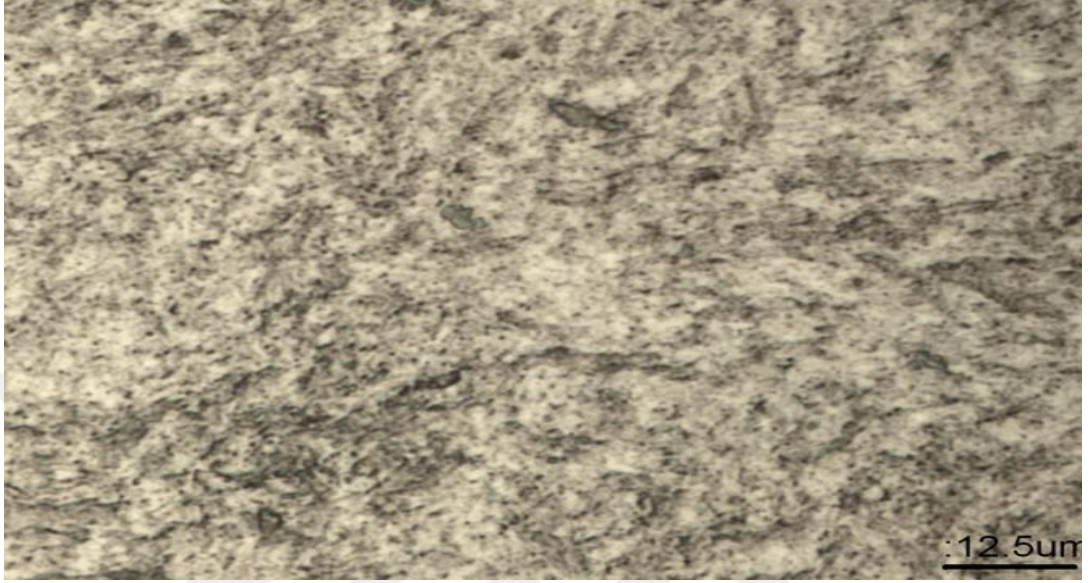
Şekil 6.5: 50x büyütmede 300°C'de 1 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan mikroyapı görüntüsü

200x büyütmede 300°C'de 1 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan mikroyapı görüntüsü Şekil 6.6'da görülmektedir.



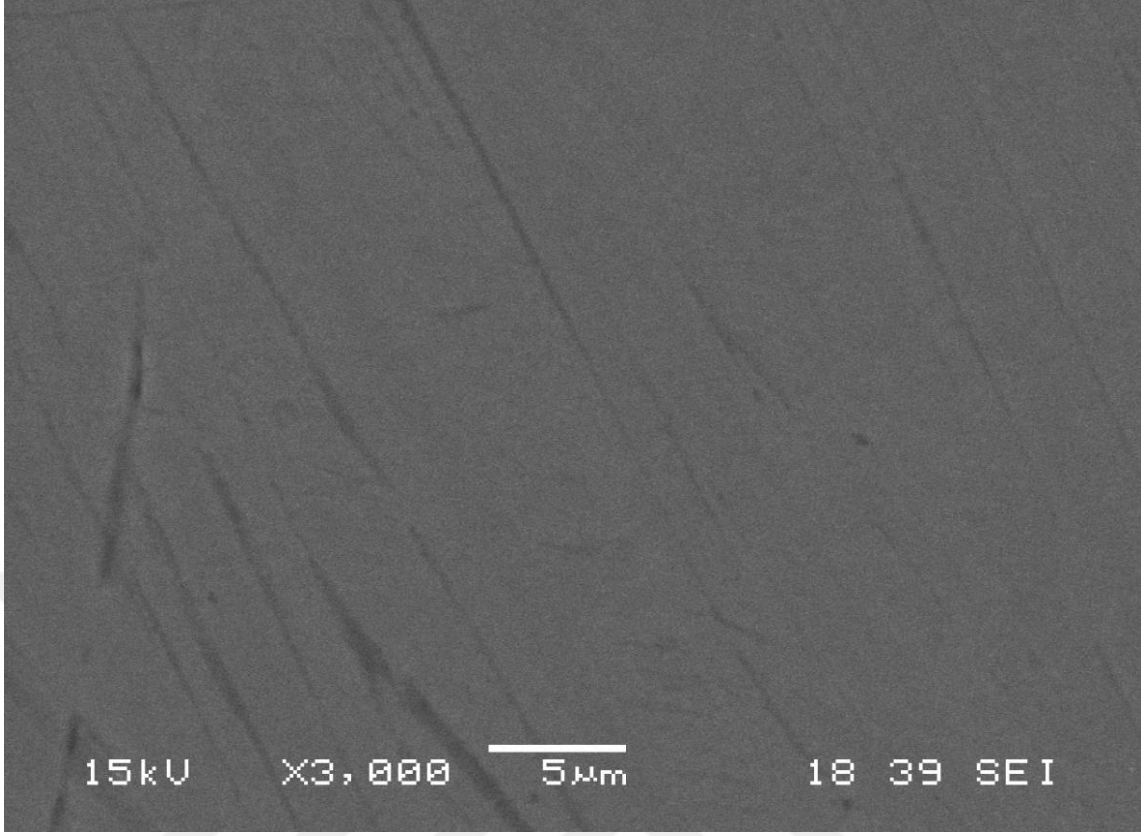
Şekil 6.6: 200x büyütmede 300°C'de 1 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan mikroyapı görüntüsü

500x büyütmede 300°C’de 1 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan mikroyapı görüntüsü Şekil 6.7’de görülmektedir.



Şekil 6.7: 500x büyütmede 300°C’de 1 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan mikroyapı görüntüsü

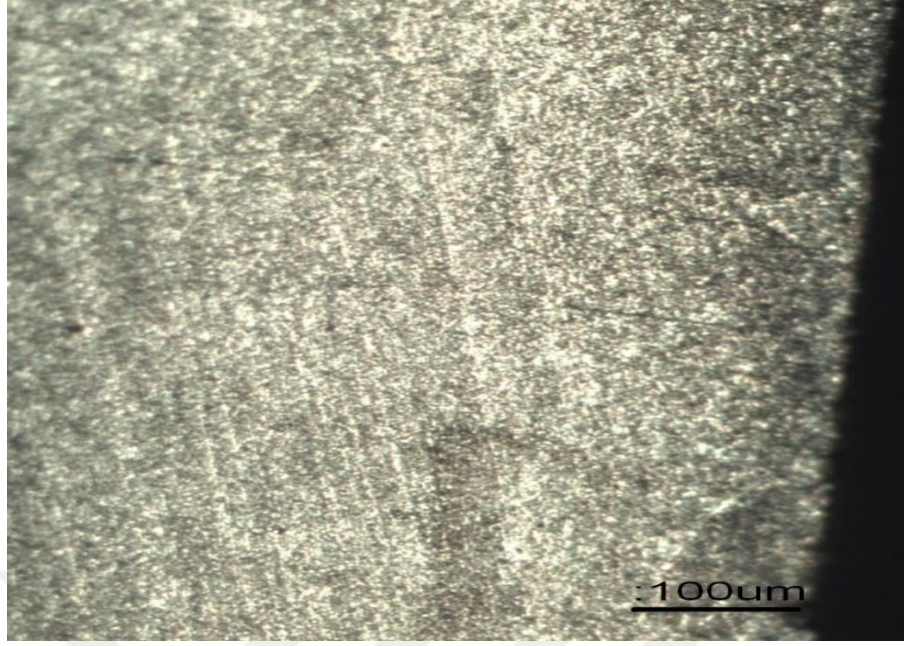
1000x büyütmede 300°C’de 1 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan SEM görüntüsü Şekil 6.8’de görülmektedir.



Şekil 6.8: 1000x büyütmede 300°C’de 1 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan SEM görüntüsü

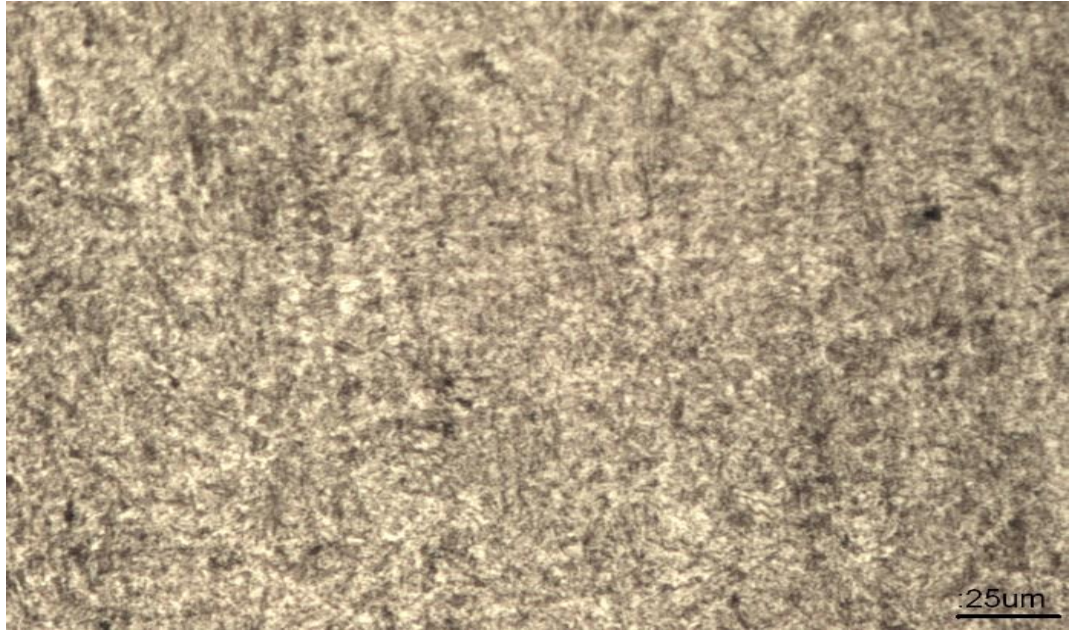
300°C’de 1 saat temperlenmiş Hardox 450 numunesinde optik mikroskop ve SEM’de çekilen görüntülerde büyütme arttıkça yapısal homojenleşmenin de belirginleştiği görülmektedir.

50x büyütmede 450°C’de 1 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan mikroyapı görüntüsü Şekil 6.9’da görülmektedir.



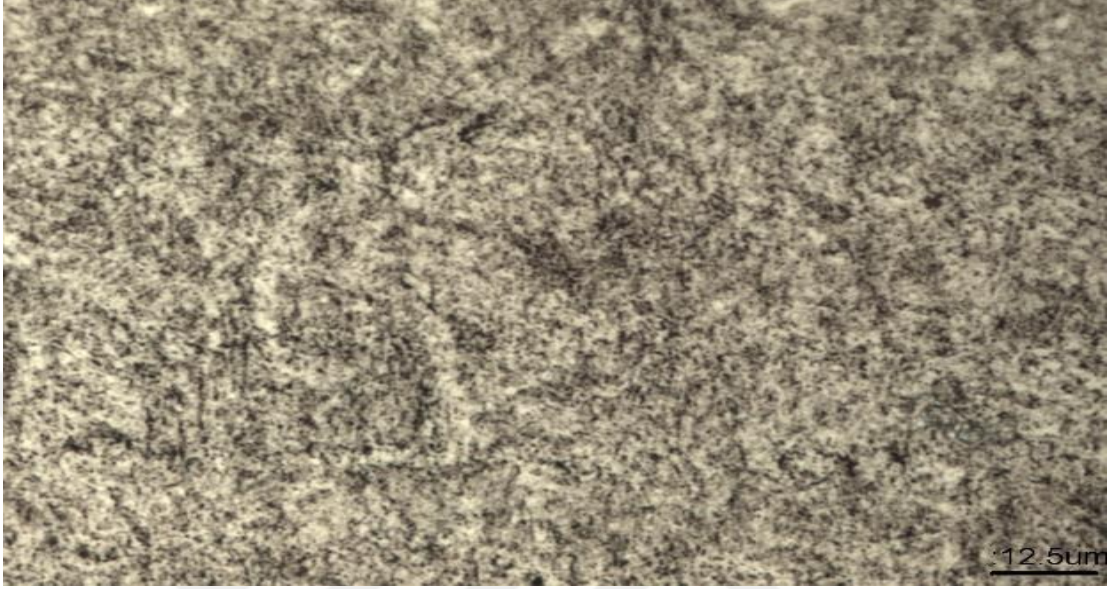
Şekil 6.9: 50x büyütmede 450°C’de 1 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan mikroyapı görüntüsü

200x büyütmede 450°C’de 1 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan mikroyapı görüntüsü Şekil 6.10’da görülmektedir.



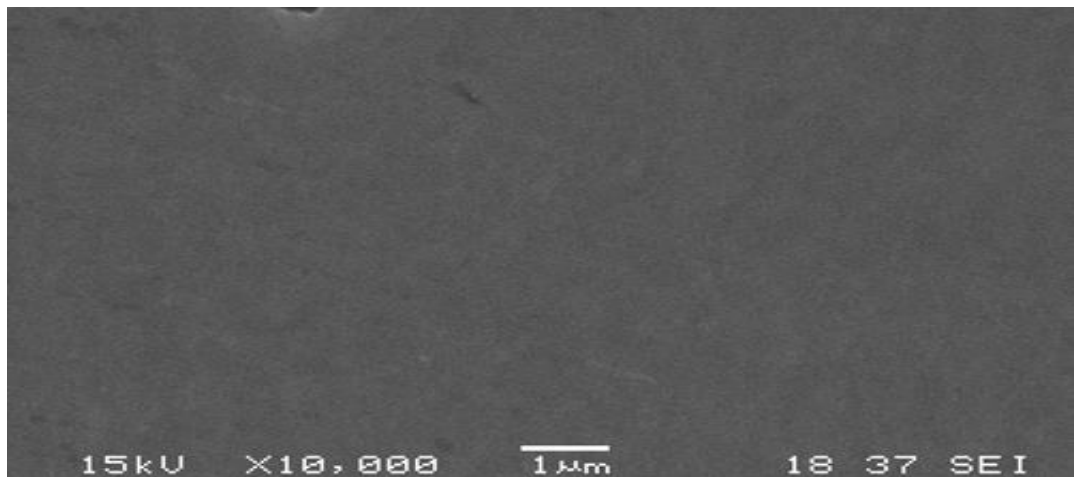
Şekil 6.10: 200x büyütmede 450°C’de 1 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan mikroyapı görüntüsü

500x büyütmede 450°C’de 1 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan mikroyapı görüntüsü Şekil 6.11’de görülmektedir.



Şekil 6.11: 500x büyütmede 450°C’de 1 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan mikroyapı görüntüsü

10000x büyütmede 450°C’de 1 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan SEM görüntüsü Şekil 6.12’de görülmektedir.



Şekil 6.12: 10000x büyütmede 450°C’de 1 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan SEM görüntüsü

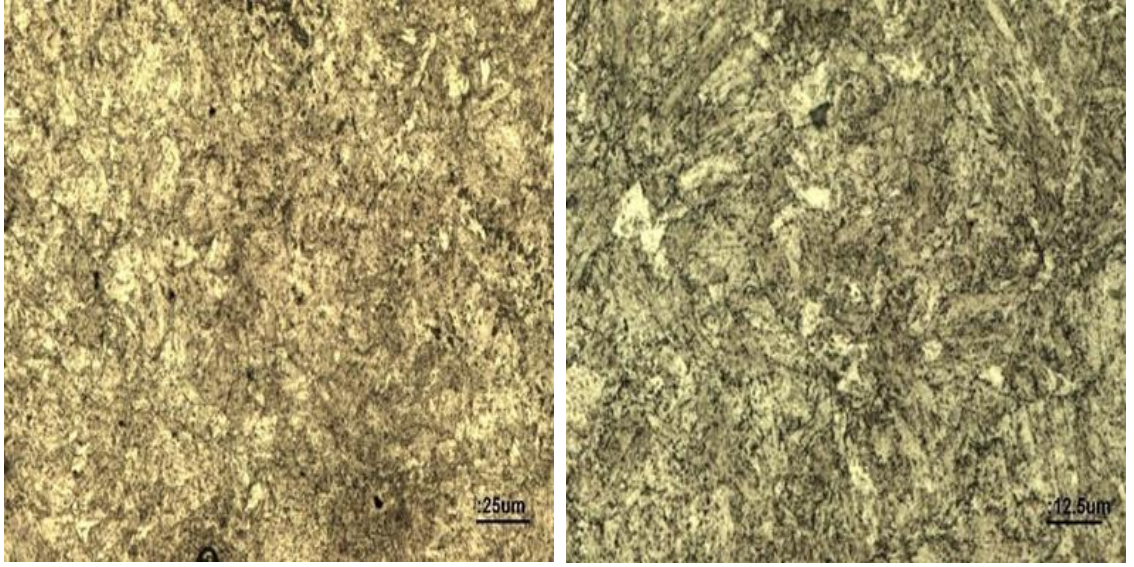
Optik mikroskop ve SEM ile çekilen görüntülerde büyütme oranı arttıkça çökelen partiküller daha belirgin gözlenmektedir. 50x büyütmede tane sınırında temperlenmiş malzeme görülmektedir ve 200x büyütmede anizotropik yönlenmeler gözlenmektedir fakat 500x'de yönlenmeler ve iğnemsiz martenzitik yapı kaybolmuştur.

100x büyütmede 600°C'de 2 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan mikroyapı görüntüsü Şekil 6.13'de görülmektedir.



Şekil 6.13: 100x büyütmede 600°C'de 2 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan mikroyapı görüntüsü

200x (a) ve 500x (b) büyütmelerinde 600°C'de 2 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan mikroyapı görüntüleri Şekil 6.14'de görülmektedir.

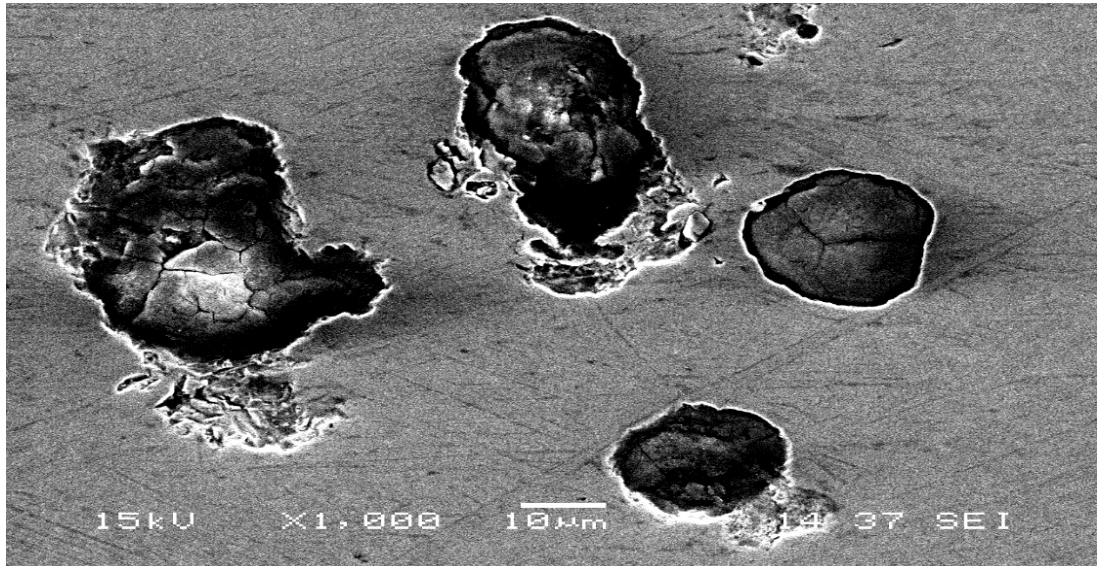


(a)

(b)

Şekil 6.14: 200x (a) ve 500x (b) büyütmelerinde 600°C’de 2 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan mikroyapı görüntüleri

1000x büyütmede 600°C’de 2 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan SEM görüntüleri Şekil 6.15’de görülmektedir.

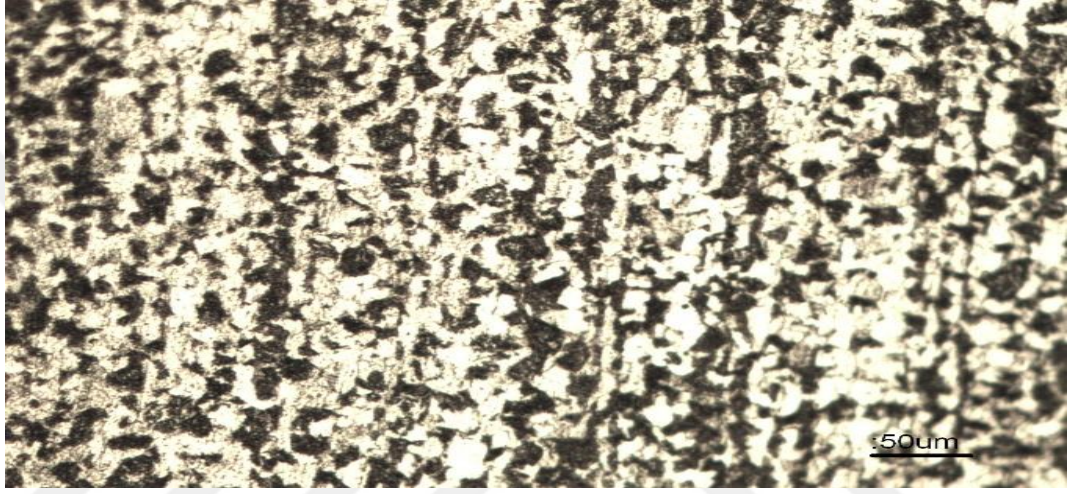


Şekil 6.15: 1000x büyütmede 600°C’de 2 saat temperlenmiş hardox450 çeliğinin kesitinden alınan SEM görüntüsü

Yukarıdaki şekil 6.13’de görülen 100x büyütmede tane sınırında meydana gelen temperlemenin mikroyapı görüntüsü verilmiştir. 200x ve 500x büyütmede tavlama

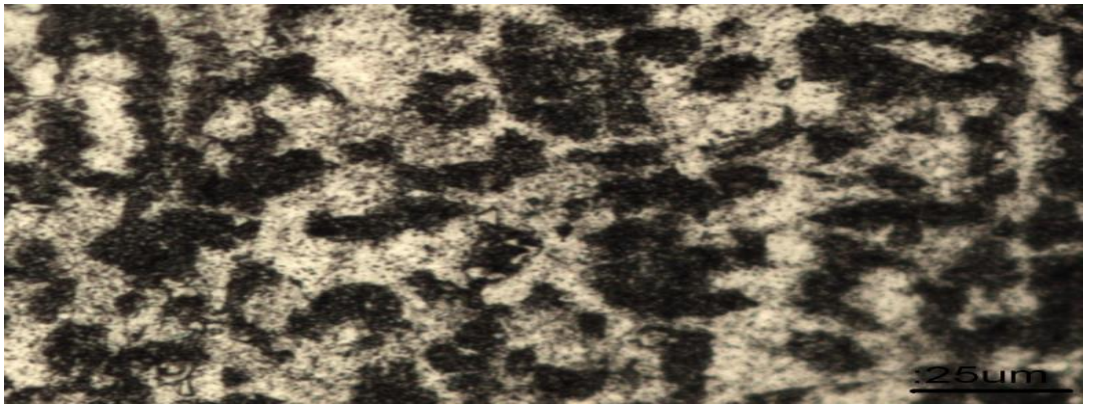
sıcaklığının yüksekliğine bağı olarak martenzitik yapıda değişme görölmektedir. İğneli yapılar kaybolmuş ve yerine çökelti partiküllerinde boyut artışı gözlenmiştir. Şekil 6.15’de 1000x büyütme ile yapılan SEM görüntüsünde ise; çökelen partiküller daha net görölmüştür.

100x büyütmede sementasyon yapılmamış 20MnCr5 çeliğinin mikroyapı görüntüsü Şekil 6.16’da görölmektedir.



Şekil 6.16: 100x büyütmede sementasyon yapılmamış 20MnCr5 çeliğinin mikroyapı görüntüsü.

200x büyütmede sementasyon yapılmamış 20MnCr5 çeliğinin mikroyapı görüntüsü Şekil 6.17’de verilmiştir.



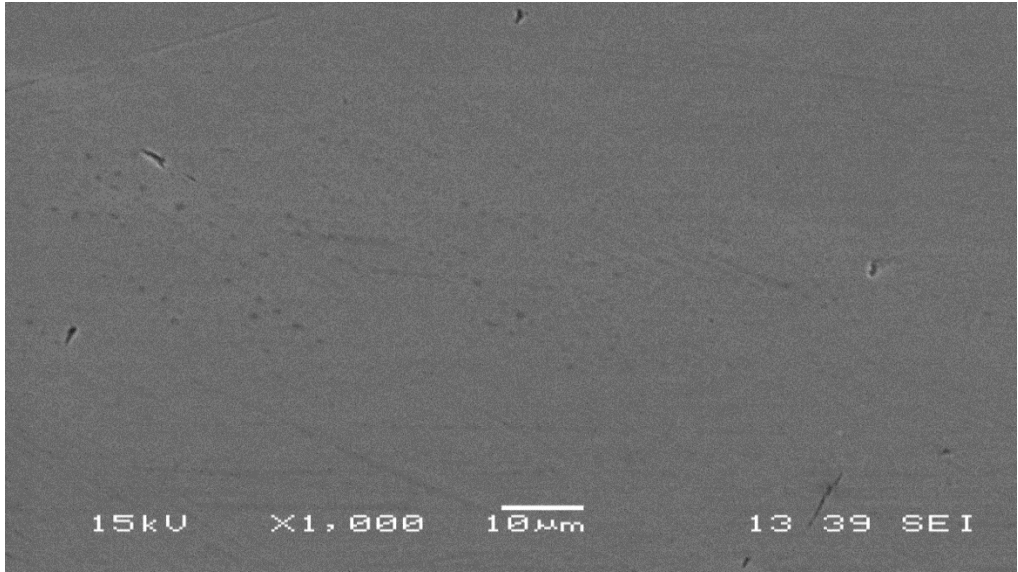
Şekil 6.17: 200x büyütmede sementasyon yapılmamış 20MnCr5 çeliğinin mikroyapı görüntüsü

500x büyütmede sementasyon yapılmamış 20MnCr5 çeliğinin mikroyapı görüntüsü Şekil 6.18'de verilmiştir.



Şekil 6.18: 500x büyütmede sementasyon yapılmamış 20MnCr5 çeliğinin mikroyapı görüntüsü

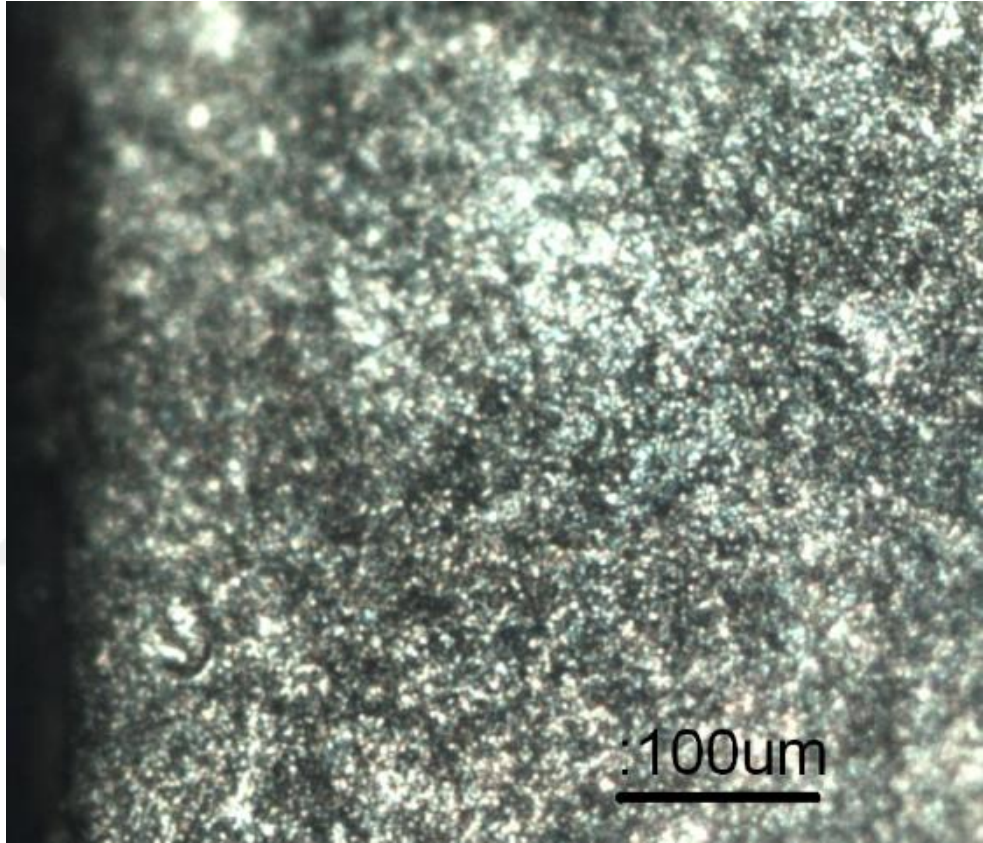
1000x büyütmede sementasyon yapılmamış 20MnCr5 çeliğinin SEM görüntüsü Şekil 6.19'da verilmiştir.



Şekil 6.19: 1000x büyütmede sementasyon yapılmamış 20MnCr5 çeliğinin SEM görüntüsü

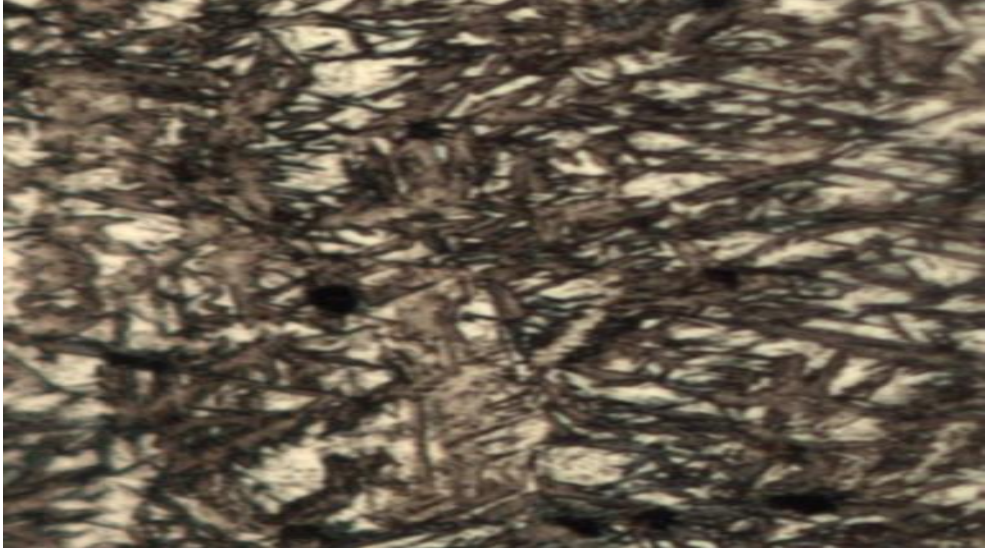
Optik Mikroskopda sementasyon yapılmamış 20MnCr5 ferrit+perlit yapısına rastlanmaktadır. SEM görüntüsünde ferrit +perlit yapısı homojen bir görüntü oluşturmaktadır.

50x büyütmede sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliğinin mikroyapısının kesit görüntüsü Şekil 6.20'de verilmiştir.



Şekil 6.20: 50x büyütmede sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliğinin kesitinden alınan mikroyapı görüntüsü

200x büyütmede sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliğinin mikroyapısının kesit görüntüsü Şekil 6.21'de verilmiştir.



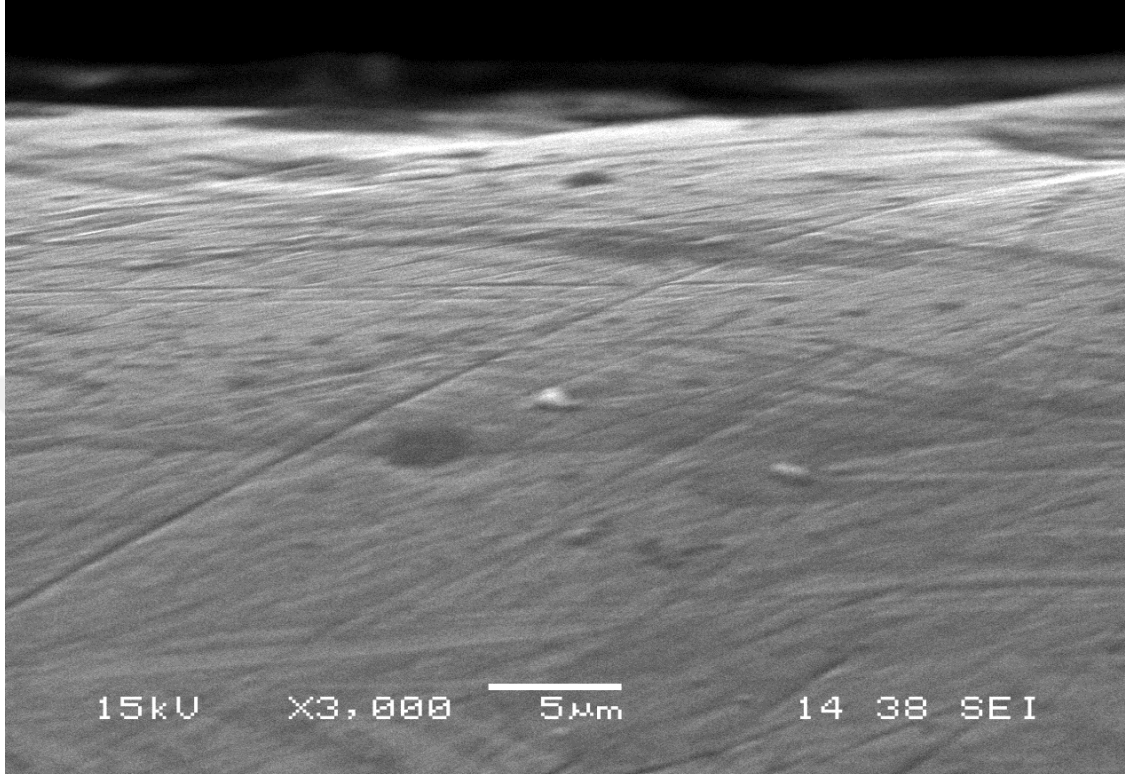
Şekil 6.21: 200x büyütmede sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliğinin kesitinden alınan mikroyapı görüntüsü.

200x büyütmede sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliğinin kesit görüntüsü Şekil 6.22’de verilmiştir.



Şekil 6.22: 200x büyütmede sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliğinin kesitinden alınan mikroyapı görüntüsü

3000x büyütmede sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliğinin kesitinden alınan SEM görüntüsü Şekil 6.23’de verilmiştir.



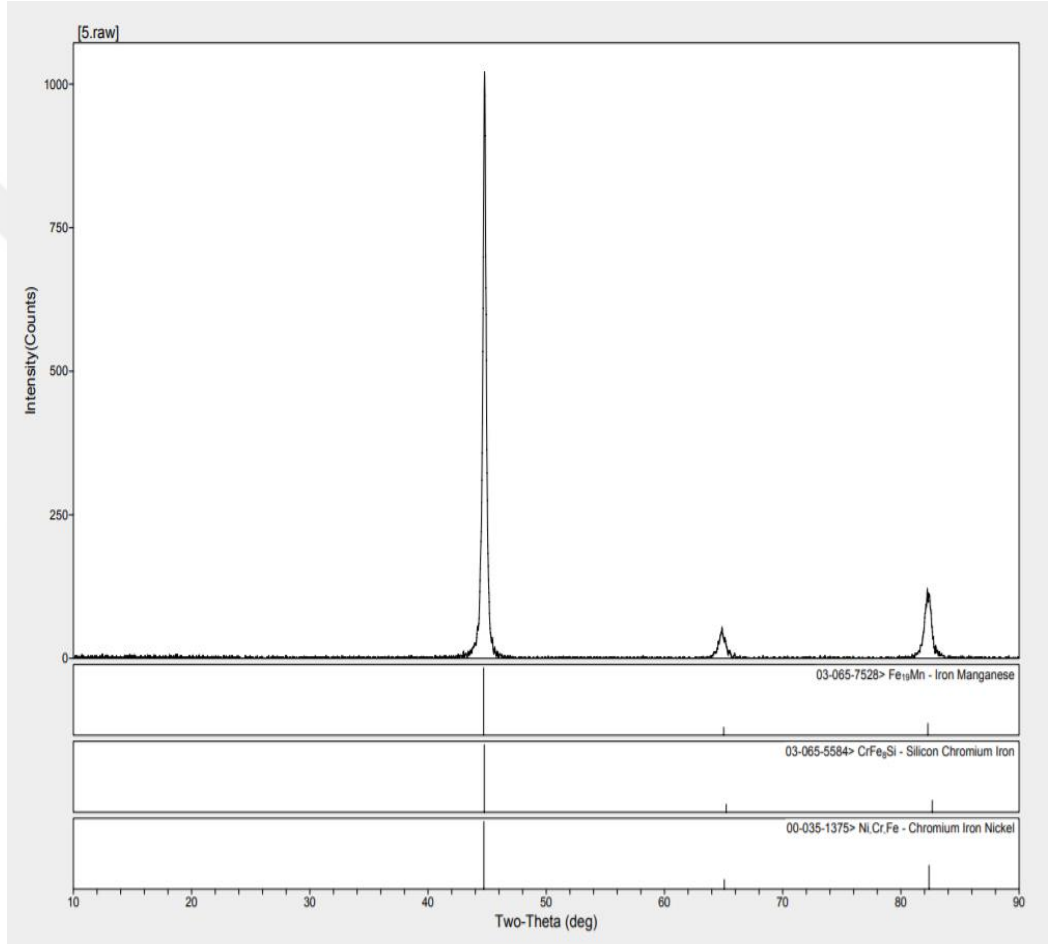
Şekil 6.23: 3000x büyütmede sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliğinin kesitinden alınan SEM görüntüsü

Sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliğinde yoğunluklu olarak iğnemsiz martenzitik yapı bulundurmaktadır. 50x büyütmede tane sınırlarında sementasyon işlemi yapılmış mikroyapı görüntüsü görülmektedir. 200 ve 500x büyütmede çökelen partiküller daha net görülmektedir. SEM görüntülerinde 3000x yakınlamada sementasyon yoğunluğuna bağlı olarak martenzitik yapılar malzeme yüzeyinde görülmüştür. Yapılan sementasyon işlemi ile sertlik artarken C atomları da yapıda bulunan elementlerle karbür yapısı çökelti oluşturmuştur.

6.1.1. XRD ve EDS ANALİZİ

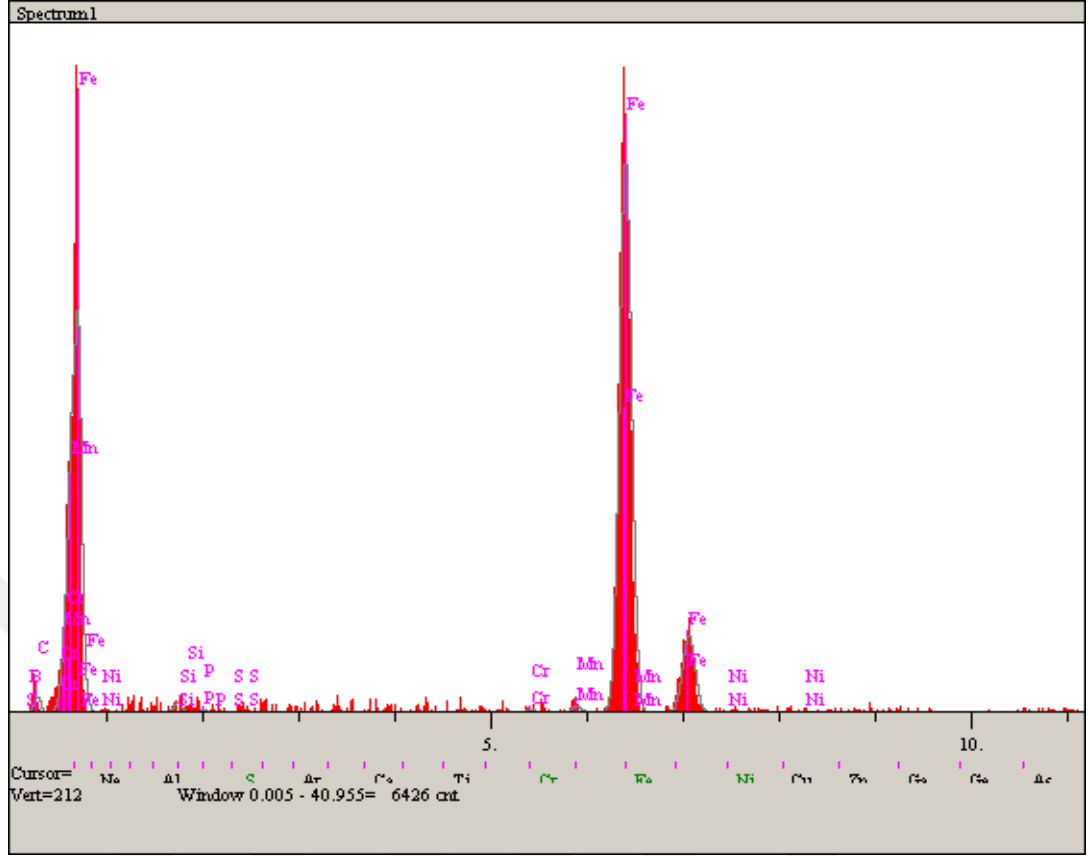
20MnCr5 ve Hardox 450 çeliklerine ısıl işlem uygulamasından sonra XRD ve EDS analizleri yapılmıştır. Bu analizler ile yapıda bulunan intermetalik bileşikler ve malzeme içindeki elementler ile yüzde ağırlıkları bulunmuştur.

Hardox 450 çeliği orjinal numunesinin XRD grafiği Şekil 6.24’da verilmiştir.



Şekil 6.24: Hardox 450 çeliği orjinal numunesinin XRD grafiği.

Hardox 450 çeliği orjinal numunesinin EDS analizi Şekil 6.25’de verilmiştir



Şekil 6.25: Hardox 450 çeliği orjinal numunesinin EDS analizi (keV)

Hardox 450 orjinal numunesinde bulunan elementlerin ağırlıkça yüzdesi Tablo 6.1’de görülmektedir.

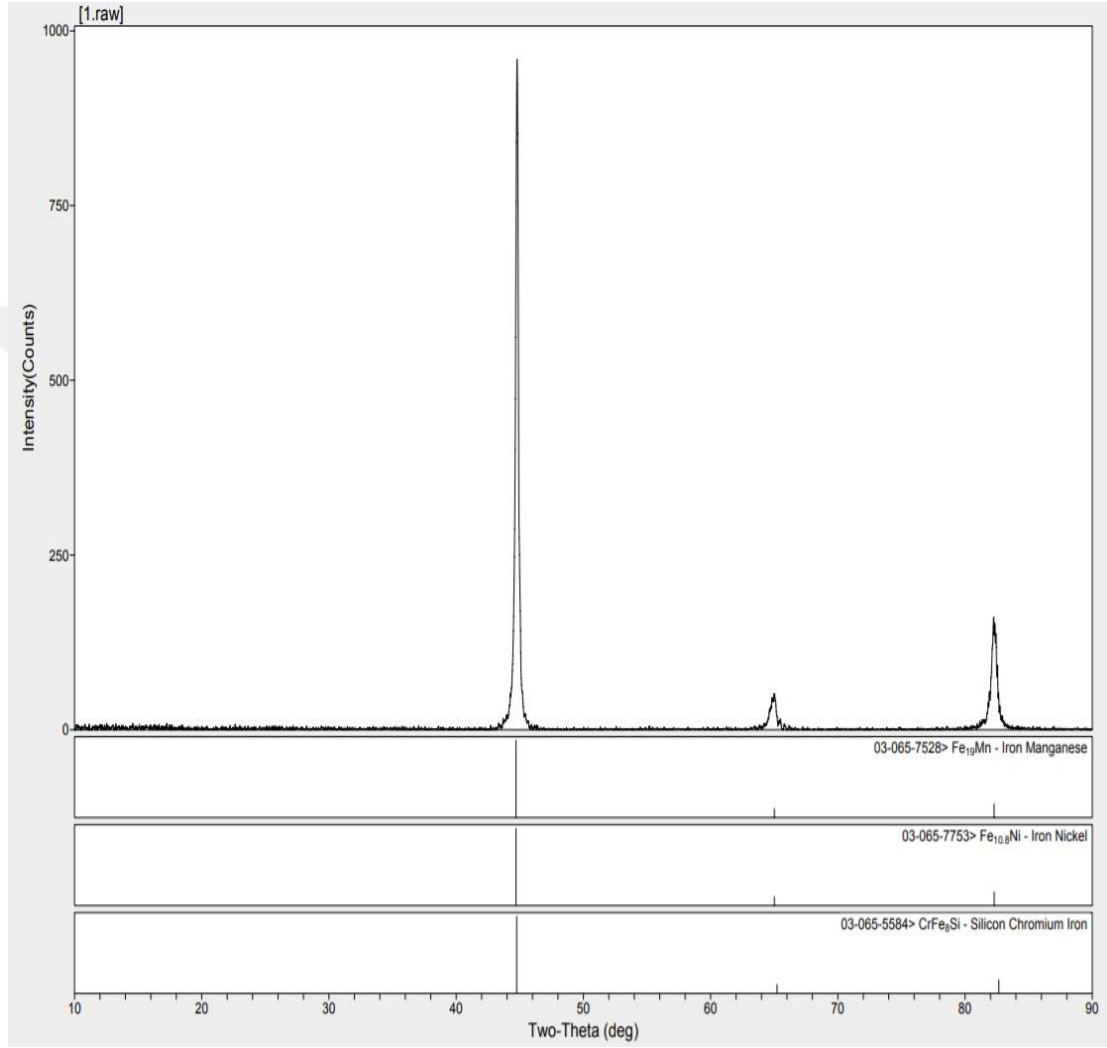
Tablo 6.1: Hardox 450 orjinal numunesinde bulunan elementlerin ağırlıkça yüzdeleri

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	4.29	1.310	2.054	wt. %
Si	Ka	3.22	1.135	0.446	wt. %
P	Ka	0.70	0.527	0.093	wt. %
S	Ka	0.37	0.384	0.045	wt. %
Cr	Ka	1.66	0.815	0.224	wt. %
Mn	Ka	2.78	1.054	0.733	wt. %
Fe	Ka	267.96	10.351	95.818	wt. %
Ni	Ka	0.99	0.630	0.587	wt. %
				100.000	wt. % Total

Hardox 450 orjinal numunesinde EDS analizi ile malzemede mangan, krom, silisyum ve nikel pikleri gözlenmiştir. XRD patterni incelemesinde $Fe_{19}Mn$ (iron-manganese),

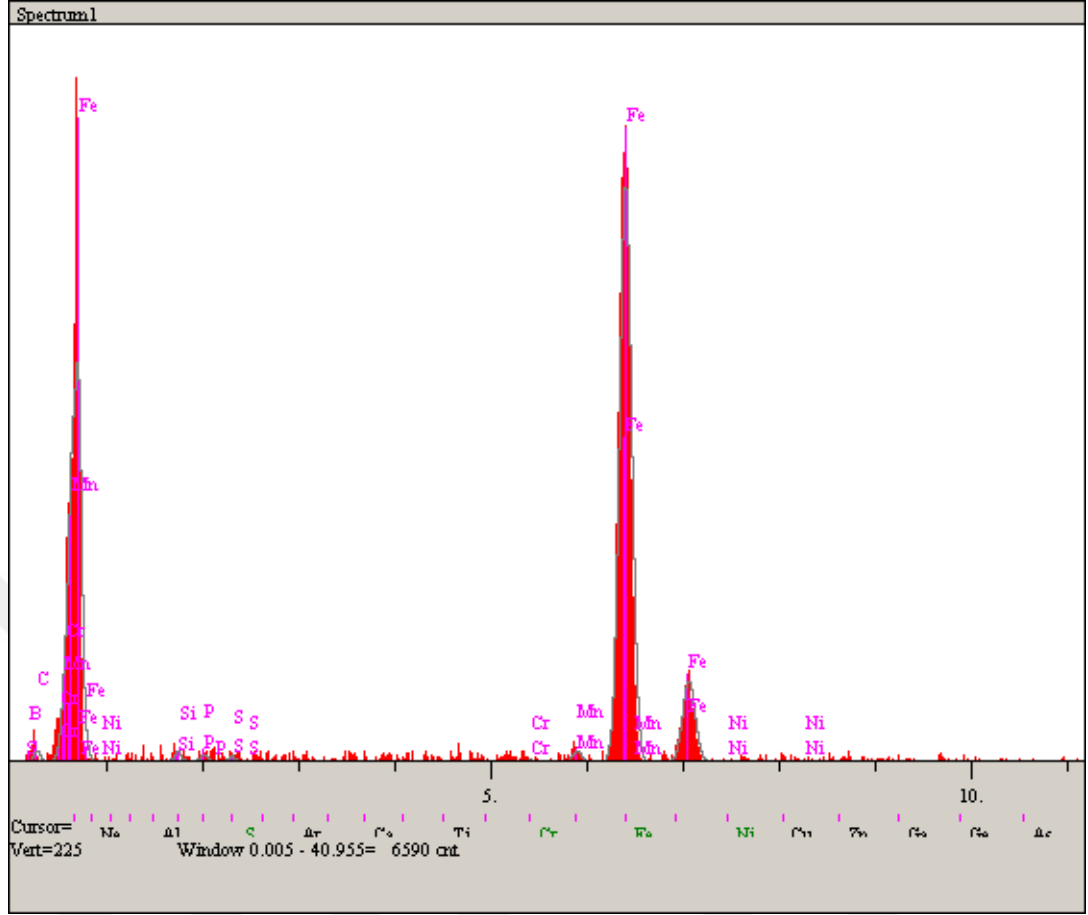
CrFe₈Si (silicon-chromium-iron), Ni.Cr.Fe (chromium-iron-nickel) intermetalikleri görülmüştür.

300°C'de 1 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin XRD grafiği Şekil 6.26'da verilmiştir.



Şekil 6.26: 300°C'de 1 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin XRD grafiği

300°C'de 1 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin EDS analizi Şekil 6.27'de verilmiştir.



Şekil 6.27: 300°C'de 1 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin EDS analizi (keV)

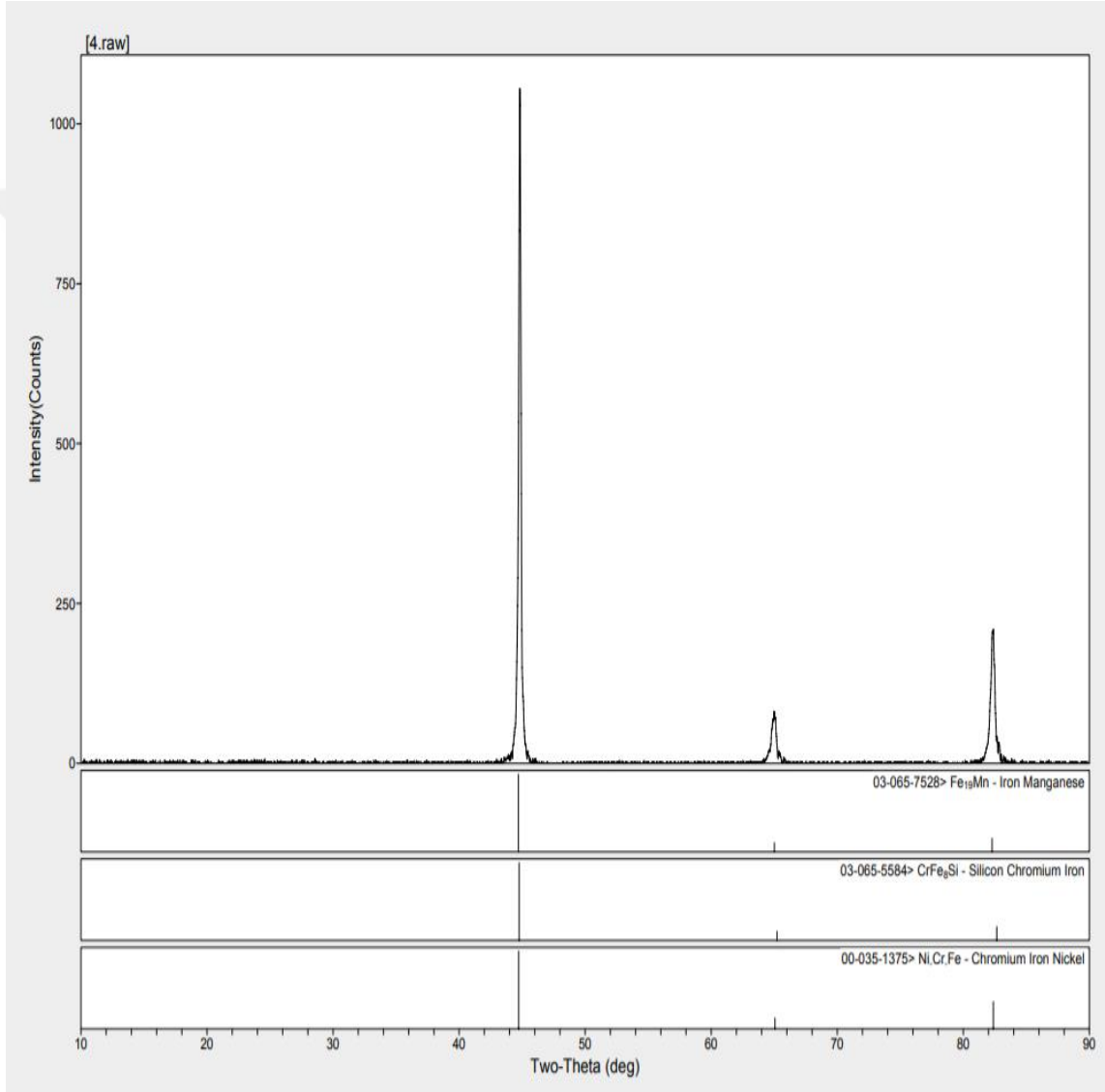
300°C'de 1 saat temperlenen hardox 450 çeliğinde bulunan elementlerin ağırlıkça yüzdesini Tablo 6.2'de göstermektedir.

Tablo 6.2: 300°C'de 1 saat temperlenen hardox 450 çeliğinde bulunan elementlerin ağırlıkça yüzdesi

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	2.74	1.047	1.288	wt.%
Si	Ka	2.80	1.057	0.375	wt.%
P	Ka	2.36	0.971	0.305	wt.%
S	Ka	1.75	0.837	0.208	wt.%
Cr	Ka	1.12	0.670	0.150	wt.%
Mn	Ka	3.78	1.229	0.973	wt.%
Fe	Ka	277.98	10.542	96.206	wt.%
Ni	Ka	0.87	0.588	0.496	wt.%
				100.000	wt.%
					Total

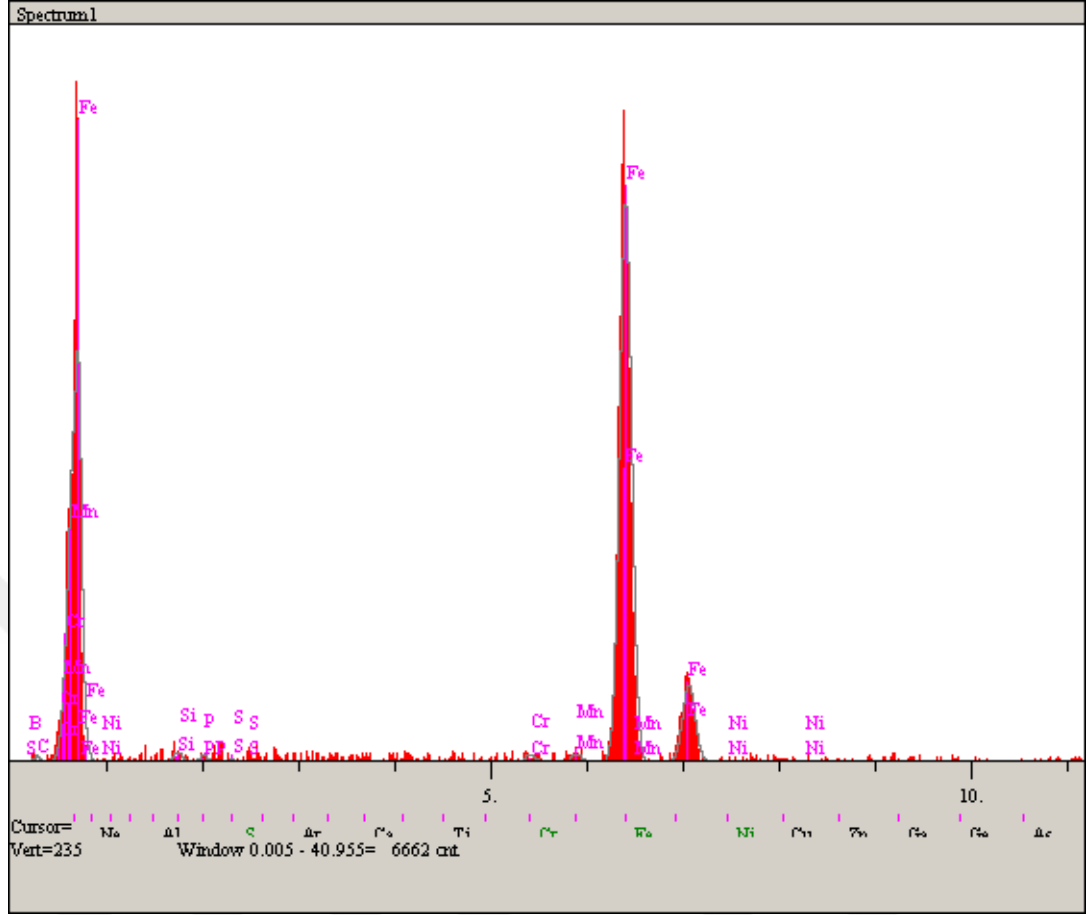
300°C’de 1 saat temperlenen hardox 450 numunesinde EDS analizi ile mangan, krom, silisyum ve nikel pikleri görülmektedir.XRD patterni incelemesinde $Fe_{19}Mn$ (iron-manganese), $Fe_{10.8}Ni$ (iron-nickel), $CrFe_8Si$ (silicon-chromium-iron) intermetalikleri gözlenmiştir.

450°C’de 1 saat temperlenen hardox 450’nin XRD grafiği Şekil 6.28’de verilmiştir.



Şekil 6.28: 450°C’de 1 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin XRD grafiği

450°C’de 1 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin EDS analizi Şekil 6.29’da verilmiştir.



Şekil 6.29: 450°C’de 1 saat temperlenen hardox 450’nin EDS analizi (keV)

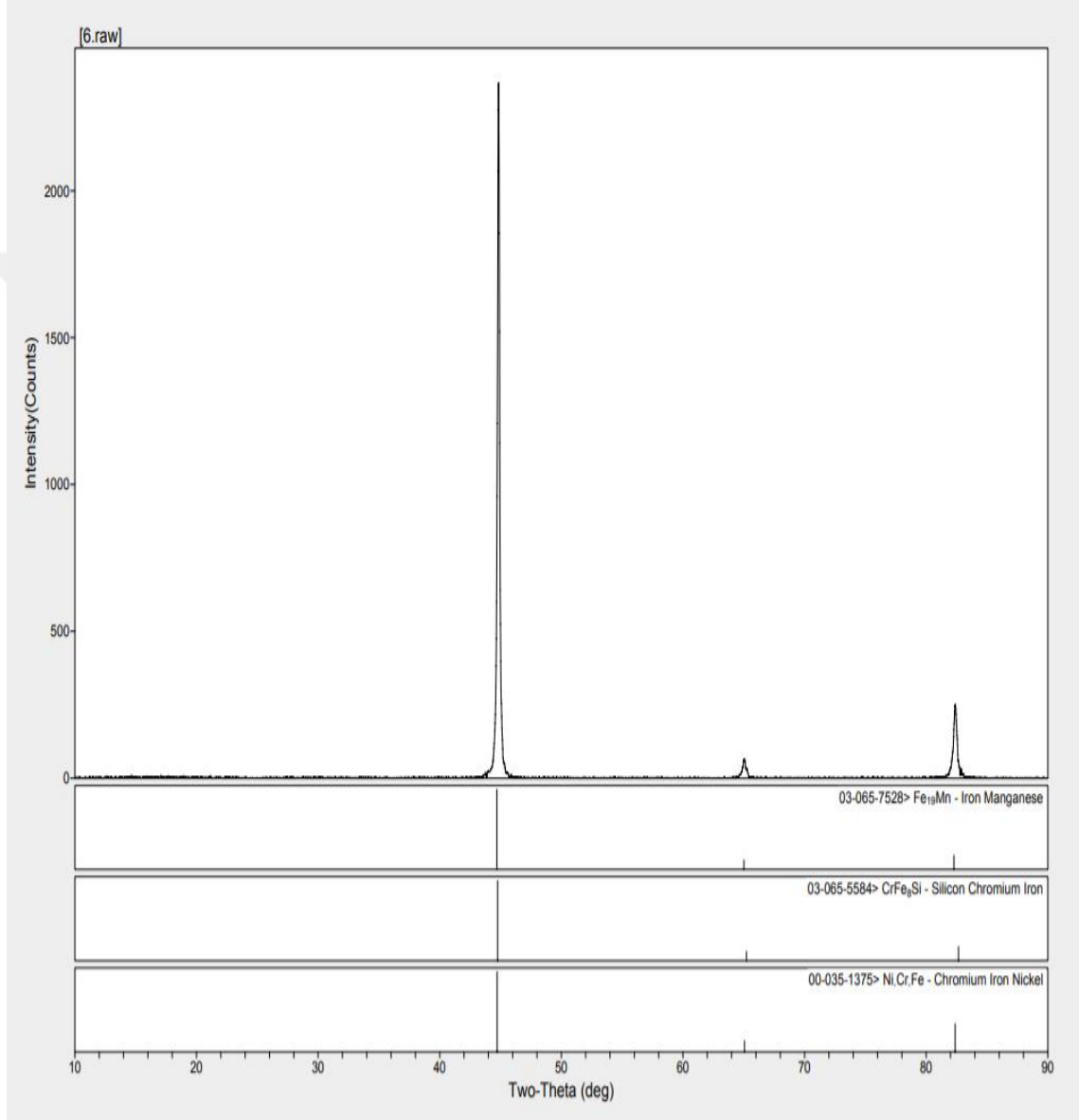
450°C’de 1 saat temperlenen hardox 450’nin içinde bulunan elementlerin ağırlıkça yüzdesini Tablo 6.3’de göstermektedir.

Tablo 6.3: 450C’de 1 saat temperlenen hardox 450 çeliğinde bulunan elementlerin ağırlıkça yüzdeleri

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	1.50	0.774	0.699	wt.%
Si	Ka	3.23	1.137	0.432	wt.%
P	Ka	2.06	0.907	0.265	wt.%
S	Ka	0.66	0.513	0.078	wt.%
Cr	Ka	3.02	1.099	0.406	wt.%
Mn	Ka	3.39	1.164	0.870	wt.%
Fe	Ka	281.27	10.606	96.852	wt.%
Ni	Ka	0.70	0.529	0.399	wt.%
				100.000	wt.%
					Total

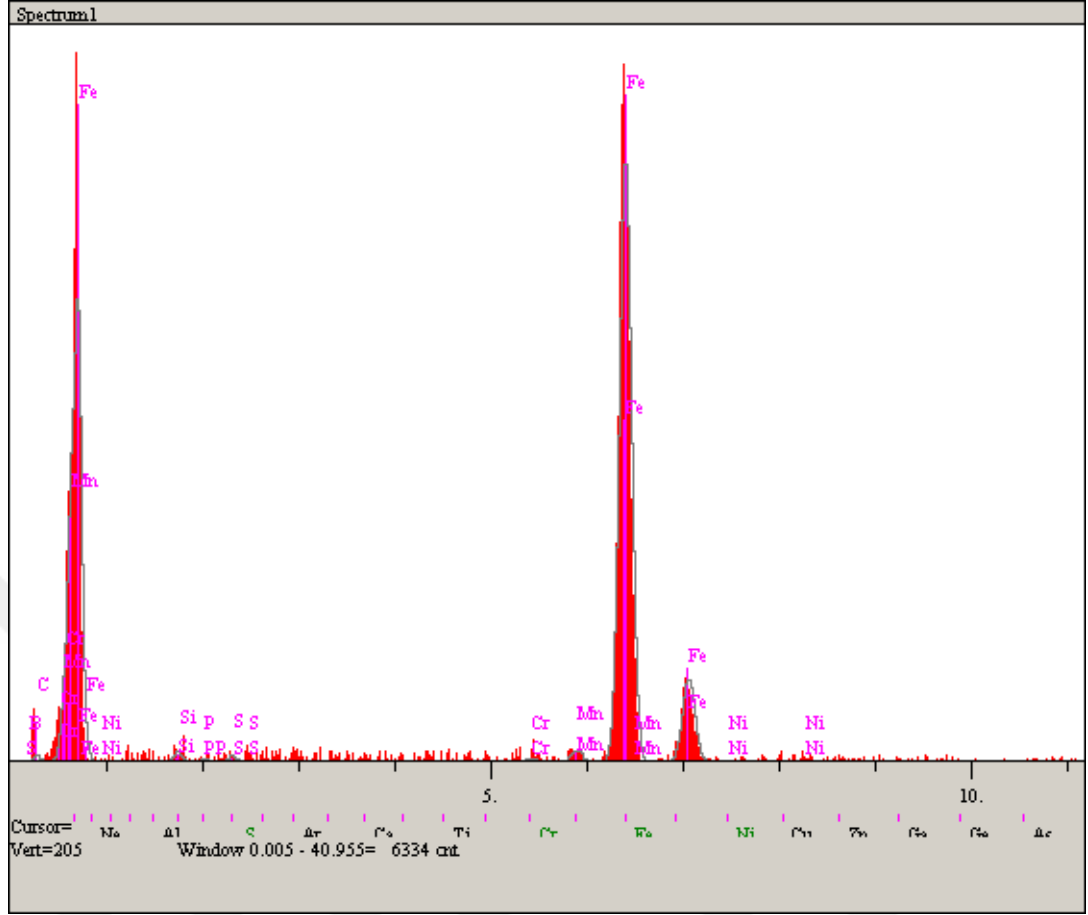
450°C’de 1 saat temperlenen hardox 450 numunesinde EDS analizi ile mangan, krom, silisyum ve nikel elementleri görülmektedir. XRD patterni incelemesinde $Fe_{19}Mn$ (iron-manganese), $CrFe_8Si$ (silicon-chromium-iron), $Ni.Cr.Fe$ (chromium-iron-nickel) intermetalikleri gözlenmiştir.

600°C’de 2 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin XRD grafiği Şekil 6.30’da verilmiştir.



Şekil 6.30: 600°C’de 2 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin XRD grafiği

600°C’de 2 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin EDS analizi Şekil 6.31’de verilmiştir.



Şekil 6.31: 600°C'de 2 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin EDS analizi (keV)

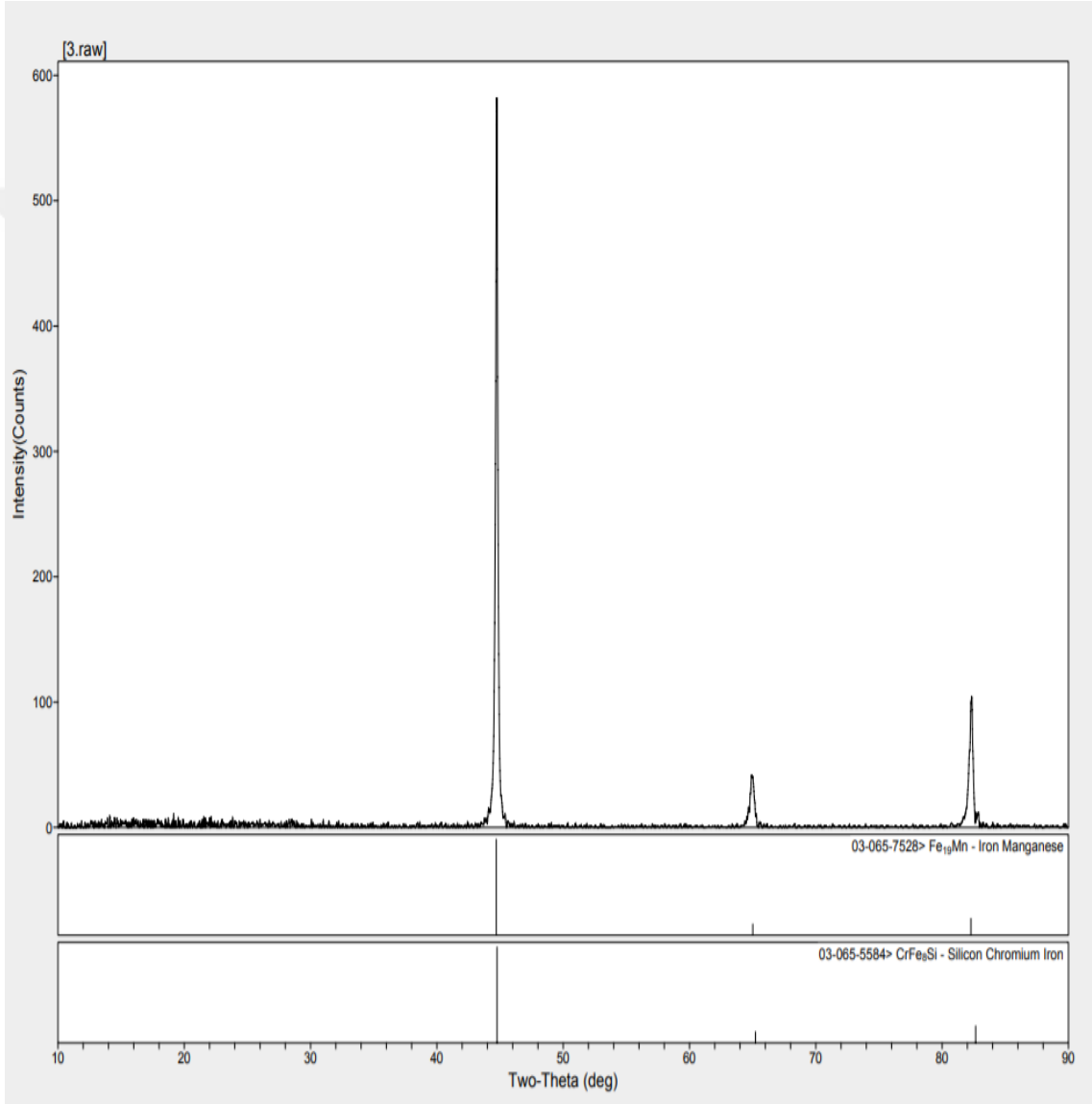
600C'de 2 saat temperlenen hardox 450'nin içinde bulunan elementlerin ağırlıkça yüzdeleri Tablo 6.4'de verilmiştir.

Tablo 6.4: 600C'de 2 saat temperlenen hardox 450 çeliğinde bulunan elementlerin ağırlıkça yüzdeleri

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	1.76	0.838	0.872	wt.%
Si	Ka	3.07	1.108	0.436	wt.%
P	Ka	1.03	0.641	0.141	wt.%
S	Ka	1.89	0.870	0.238	wt.%
Cr	Ka	1.96	0.885	0.286	wt.%
Mn	Ka	4.68	1.369	1.287	wt.%
Fe	Ka	263.52	10.265	96.561	wt.%
Ni	Ka	0.29	0.342	0.178	wt.%
				100.000	wt.%
					Total

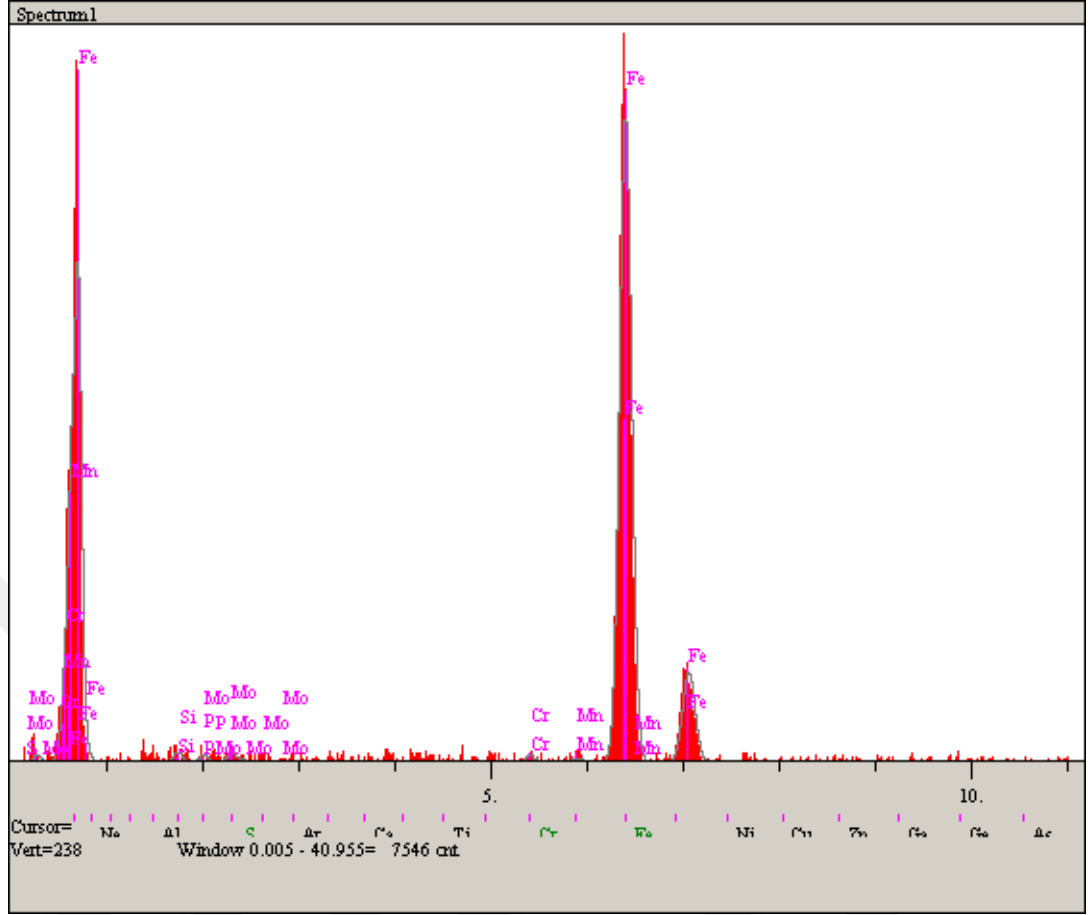
600°C’de 2 saat temperlenen hardox 450 numunesinde EDS analizi ile mangan, krom, silisyum ve nikel pikleri görülmektedir. XRD patterni incelemesinde Fe₁₉Mn (iron-manganese), CrFe₈Si (silicon-chromium-iron), Ni.Cr.Fe (chromium-iron-nickel) intermetalikleri gözlenmiştir.

Sementasyon yapılmamış 20MnCr5 çeliğinin XRD grafiği Şekil 6.32’de verilmiştir.



Şekil 6.32: Sementasyon yapılmamış 20MnCr5 çeliğinin XRD grafiği

Sementasyon yapılmamış 20MnCr5 çeliğinin EDS analizi Şekil 6.33’de verilmiştir.



Şekil 6.33: Sementasyon yapılmamış 20MnCr5 çeliğinin EDS analizi (keV)

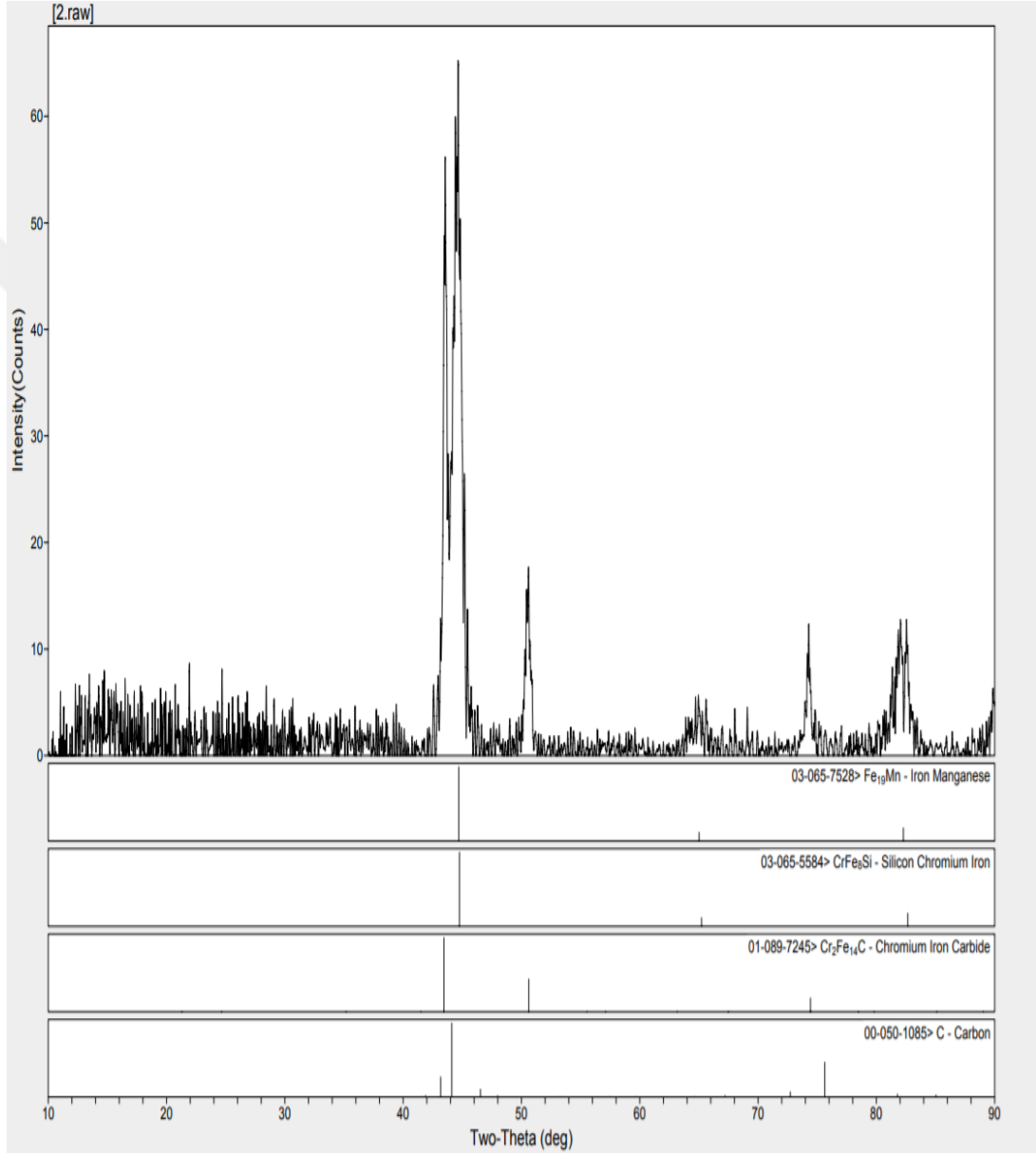
Tablo 6.5’de Sementasyon yapılmamış 20MnCr5 çeliğininde bulunan elementlerin ağırlıkça yüzdeleri verilmiştir.

Tablo 6.5: Sementasyon yapılmamış 20MnCr5 çeliğininde bulunan elementlerin ağırlıkça yüzdeleri

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	2.19	0.935	0.882	wt. %
Si	Ka	3.42	1.170	0.392	wt. %
P	Ka	2.30	0.960	0.255	wt. %
S	Ka	0.74	0.545	0.075	wt. %
Cr	Ka	2.63	1.026	0.302	wt. %
Mn	Ka	2.21	0.939	0.486	wt. %
Fe	Ka	328.13	11.456	97.031	wt. %
Mo	La	2.78	1.054	0.578	wt. %
				100.000	wt. % Total

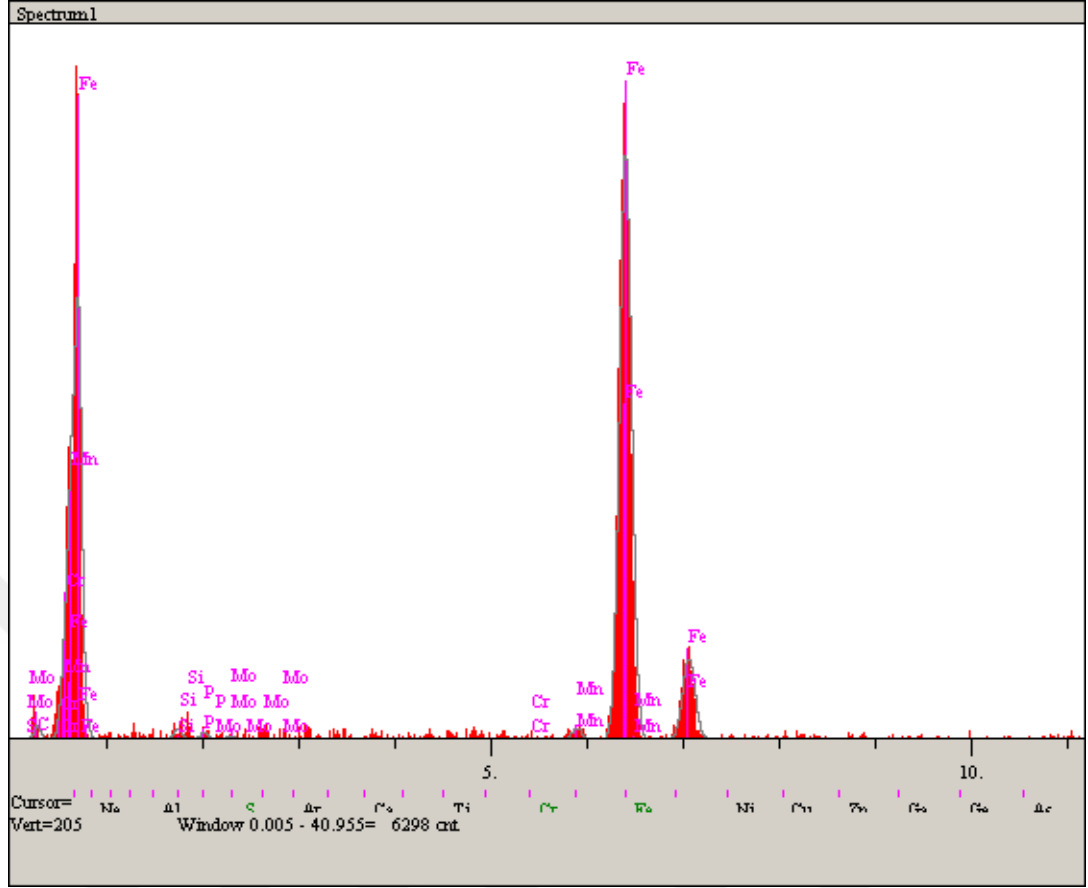
Sementasyon yapılmamış 20MnCr5 numunesinde EDS analizi ile mangan, silisyum ve krom pikleri görülmektedir. XRD patterni incelemesinde $Fe_{19}Mn$ (iron-manganese), $CrFe_8Si$ (silicon-chromium-iron) intermetalikleri gözlenmiştir.

Sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliğinin XRD grafiği Şekil 6.34’de verilmiştir.



Şekil 6.34: Sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliğinin XRD grafiği.

Sementasyon yapılmış 20MnCr5 ‘in EDS analizi Şekil 6.35’de verilmiştir.



Şekil 6.35: Sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliğinin EDS analizi (keV)

Sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliğinde bulunan elementlerin ağırlıkça yüzdeleri Tablo 6.6’da verilmiştir.

Tablo 6.6: Sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliğinde bulunan elementlerin ağırlıkça yüzdeleri

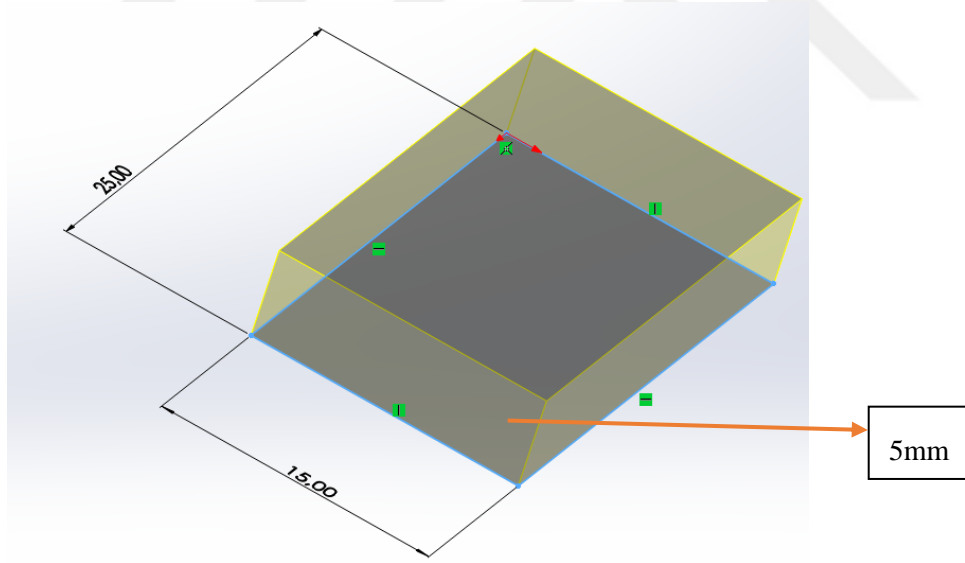
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	3.45	1.174	1.692	wt. %
Si	Ka	3.41	1.167	0.478	wt. %
P	Ka	2.34	0.968	0.317	wt. %
S	Ka	0.11	0.207	0.013	wt. %
Cr	Ka	0.85	0.582	0.122	wt. %
Mn	Ka	4.11	1.283	1.120	wt. %
Fe	Ka	264.09	10.276	95.916	wt. %
Mo	La	1.33	0.730	0.341	wt. %
				100.000	wt. % Total

Sementasyon yapılmış 20MnCr5 numunesinde EDS analizi ile mangan, silisyum, krom ile karbon pikleri görülmektedir. XRD patterni incelemesinde $Fe_{19}Mn$ (iron-manganese), $CrFe_8Si$ (silicon-chromium-iron), $Cr_2Fe_{14}C$ (chromium-iron-carbide) intermetalikleri ve C elementi gözlenmiştir.

6.2. Sertlik testi sonuçları

20MnCr5 ve hardox 450 çelikleri farklı sıcaklıklarda ısıl işlem uygulaması yapılmıştır..Herbir numunenin ayrı ayrı sıra sertlik değerleri alınmıştır. Sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliğinin ve Temperlenmiş hardox 450 çeliklerinin ısıl işlem derinliği ve sertlik değişiminin görülebilmesi için numune kesitinin (15x5 mm) yüzey alanından 5mm, yüzeysel sertlik değerlerinde ise numunenin üst yüzeyinden (25x15mm) 15mm içinde sıra sertlikler alınmıştır.

20MnCr5 ve Hardox450 çeliklerinin kesit ve yüzey görüntüsü Şekil 6.36'da verilmiştir.



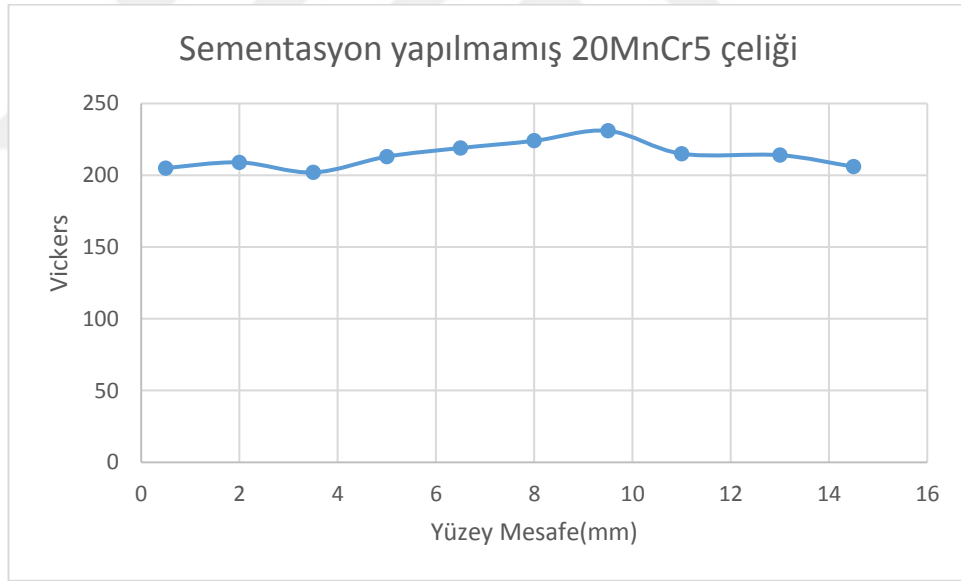
Şekil 6.36: Hardox450 ve 20MnCr5 çeliklerinin kesit ve yüzey görüntüsü

Sementasyon yapılmamış 20MnCr5 çeliğinin yüzeyinden alınan vickers sıra sertlik değerleri Tablo 6.7'de verilmiştir. Ortalama Sertlik değeri 214Hv'dir.

Tablo 6.7: Sementasyon yapılmamış 20MnCr5 çeliğinin yüzeyinden vickers sertlik değerlerinin sonuçları.

mesafe(mm)	Vickers(hv)0,2kgF
0	0
0,5	205
2	209
3,5	202
5	213
6,5	219
8	224
9,5	231
11	215
13	214
14,5	206

Sementasyon yapılmamış 20MnCr5'in çeliğinin yüzeyinden alınan vickers sertlik değerlerinin sonuçları Şekil 6.37'de verilmiştir.



Şekil 6.37: Sementasyon yapılmamış 20MnCr5 çeliğinin yüzeyinden alınan vickers sertlik sonuçları.

Sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliğinin kesit görüntüsü Şekil 6.38'de verilmiştir.



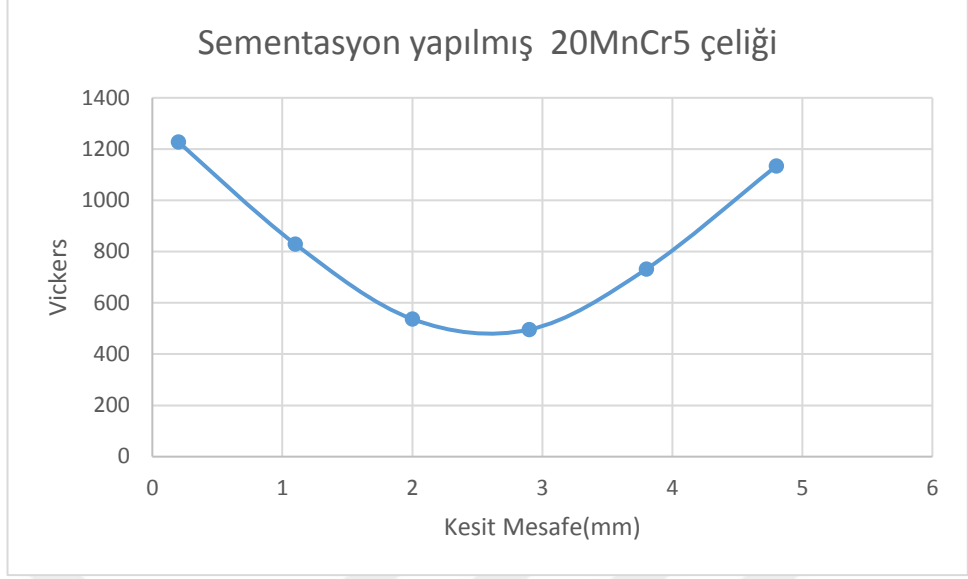
Şekil 6.38: Sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliğinin kesit görüntüsü. (5*15mm)

Sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliğinin kesitinde yapılan vickers sıra sertlik değerleri Tablo 6.8’de verilmiştir. Ortalama Sertlik değeri 808Hv’dır.

Tablo 6.8: Sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliğinin kesitinden alınan vickers sertlik değerleri sonuçları.

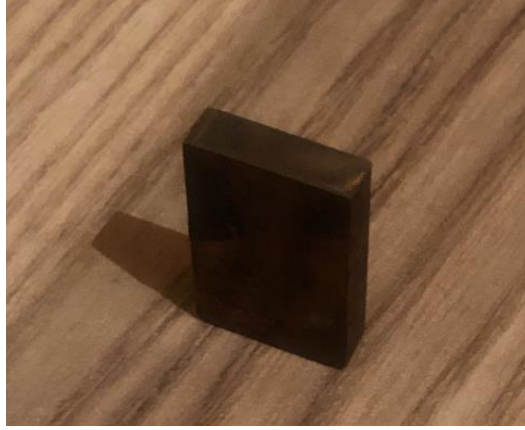
Mesafe(mm)	Vickers(Hv) 0,2kgF
0	0
0,2	1228
1,1	829
2	537
2,9	496
3,8	732
4,8	1134

Sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliğinin kesitinden alınan vickers sertlik değerleri sonuçları Şekil 6.39’da gösterilmiştir.



Şekil 6.39: Sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliğinin kesitinden alınan vickers sertlik değerleri sonuçları.

300°C’de 1 saat Temperlenmiş Hardox 450 çeliğinin kesit görüntüsü Şekil 6.40’da gösterilmiştir.



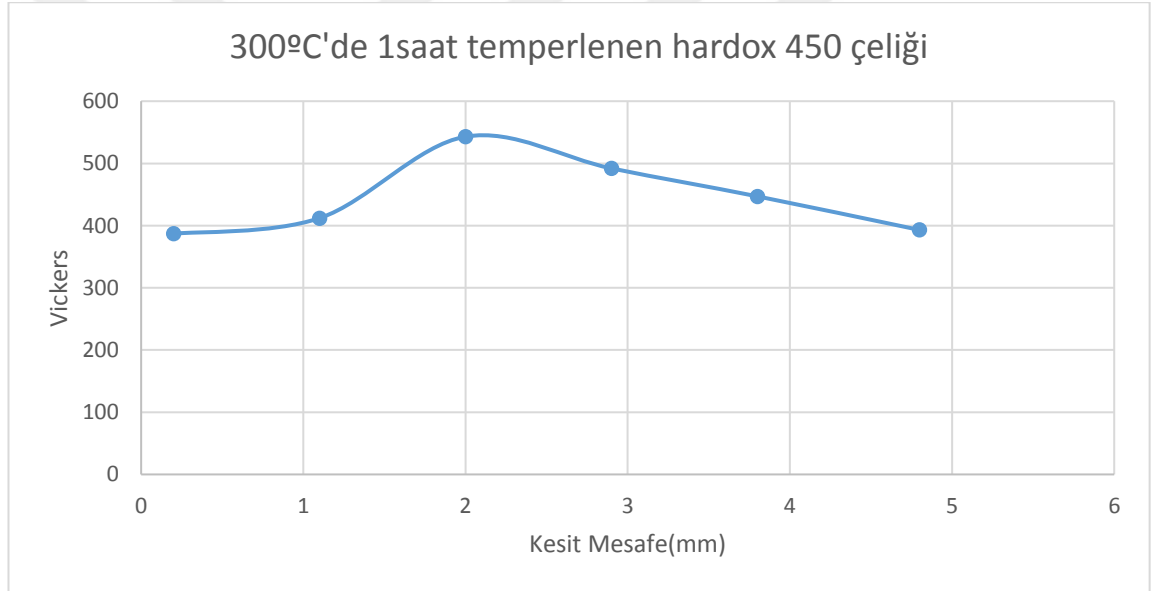
Şekil 6.40: 300°C’de 1 saat Temperlenen Hardox 450 çeliğinin kesit görüntüsü. (5*15mm)

300°C’de 1 saat Temperlenen Hardox 450 çeliğinde yapılan vickers sıra sertlik değerleri Tablo 6.9’da verilmiştir. Ortalama Sertlik değeri 467Hv’dir.

Tablo 6.9: 300°C’de 1 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin kesitinden alınan vickers sertlik sonuçları.

Mesafe(mm)	Vickers(Hv) 0,2kgF
0	0
0,2	387
1,1	412
2	543
2,9	492
3,8	447
4,8	393

300°C’de 1 saat temperlenen hardox450 çeliğinin kesitinden alınan vickers sertlik sonuçları Şekil 6.41’de verilmiştir.



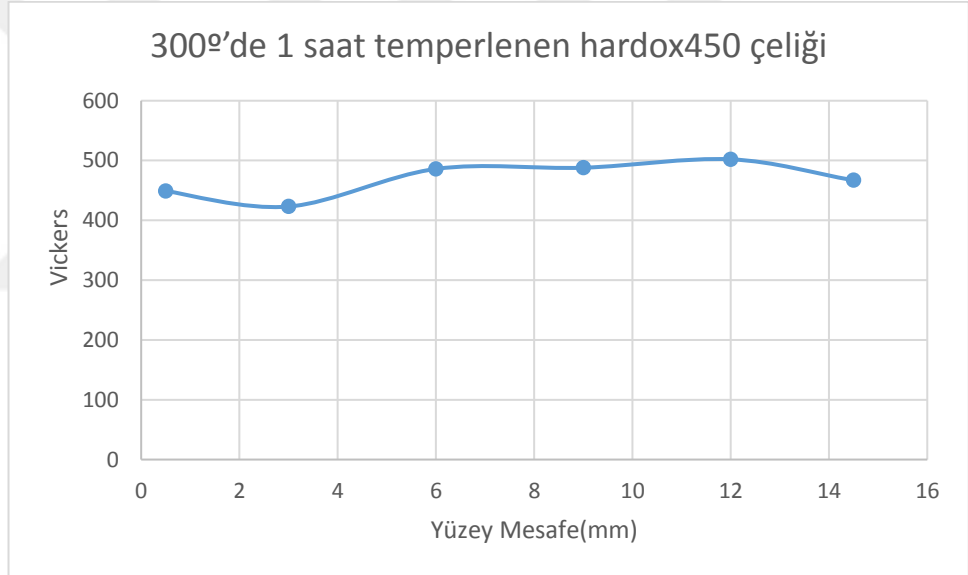
Şekil 6.41: 300°C’de 1 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin kesitinden alınan vickers sertlik sonuçları.

300°C’de 1 saat Temperlenen hardox450’nin yüzeyinden alınan sertlik sonuçları Tablo 6.10’da verilmiştir.

Tablo 6.10: 300°C’de 1 saat Temperlenen hardox450 çeliğinin yüzeyinden alınan vickers sertlik sonuçları.

Mesafe(mm)	Vickers(Hv) 0,2kgF
0	0
0,5	449
3	423
6	486
9	488
12	502
14,5	467

300°’de 1 saat temperlenen hardox450 çeliğinin yüzeyinden alınan vickers sertlik sonuçları Şekil 6.42’de verilmiştir.



Şekil 6.42: 300°’de 1 saat Temperlenen hardox450 çeliğinin yüzeyinden alınan vickers sertlik sonuçları.

450°C’de 1 saat temperlenen hardox 450 çeliği Şekil 6.43’de görülmektedir.



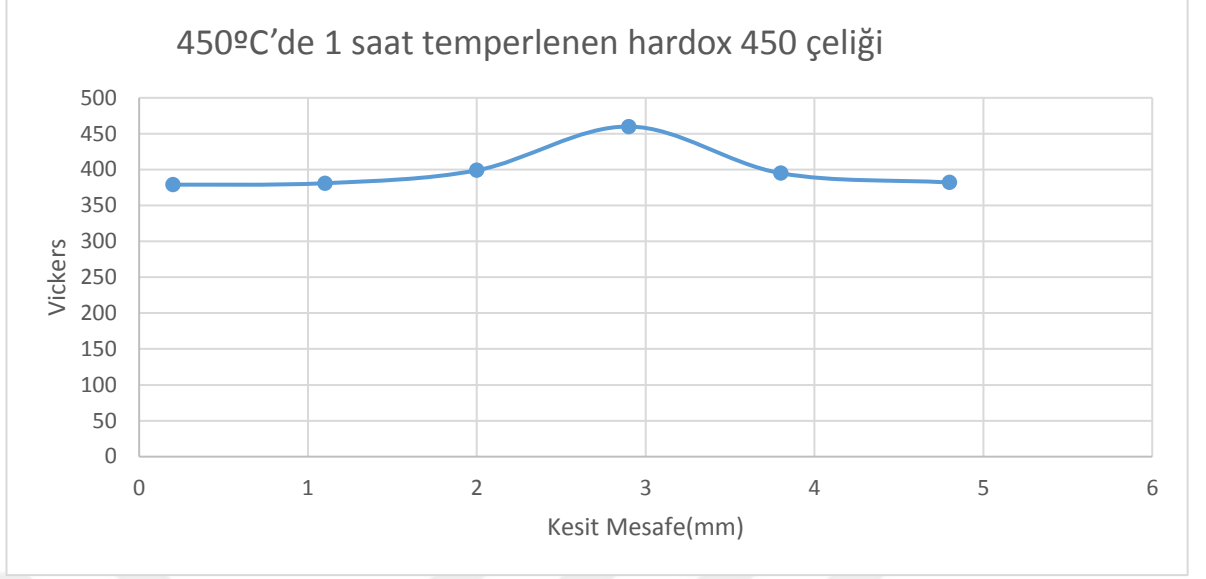
Şekil 6.43: 450°C’de 1 saat temperlenen hardox 450 çeliği. (5*15mm)

450°C’de 1 saat Temperlenen Hardox 450 çeliğinin kesitinden alınan vickers sıra sertlik sonuçları aşağıdaki Tablo 6.11’de verilmiştir. Ortalama Sertlik değeri 410Hv’dir.

Tablo 6.11: 450°C’de 1 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin kesitinden alınan vickers sertlik sonuçları.

Mesafe(mm)	Vickers(Hv) 0,2kgF
0	0
0,2	379
1,1	381
2	399
2,9	460
3,8	395
4,8	382

450°C’de 1 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin kesitinden alınan vickers sertlik sonuçları Şekil 6.44’de görülmektedir.



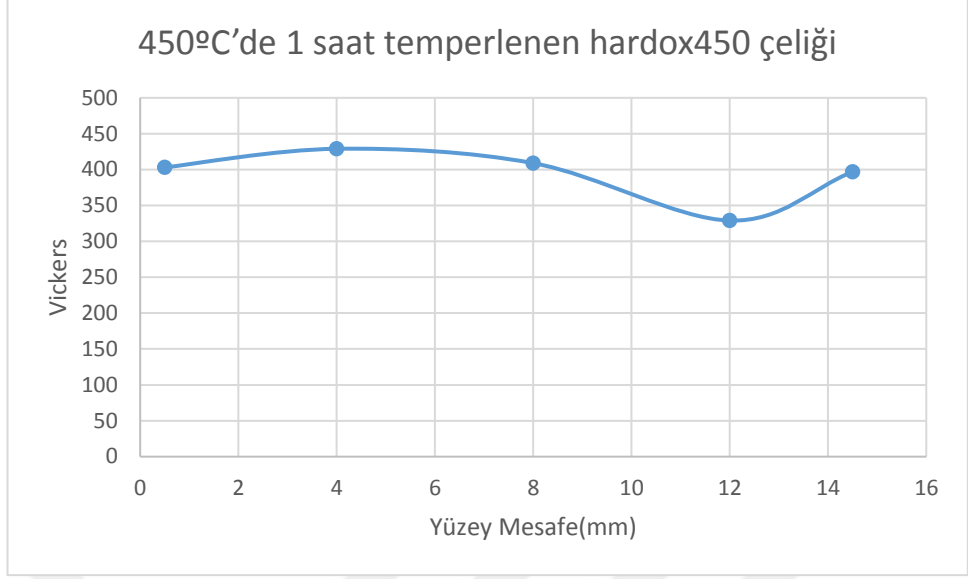
Şekil 6.44: 450°C'de 1 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin kesit alınan vickers sertlik sonuçları.

450°C'de 1 saat temperlenen hardox 450'nin yüzeyinde alınan vickers sertlik sonuçları Tablo 6.12'de verilmiştir.

Tablo 6.12: 450°C'de 1 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin yüzeyinde alınan vickers sertlik sonuçları.

Mesafe(mm)	Vickers(Hv) 0,2kgF
0	0
0,5	403
4	429
8	409
12	329
14,5	397

450°C'de 1 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin yüzeyinde alınan vickers sertlik sonuçları Şekil 6.45'de verilmiştir.



Şekil 6.45: 450°C'de 1 saat temperlenen hardox450 çeliğinin yüzeyinden alınan vickers sertlik sonuçları.

600°C'de 2 saat Temperlenen Hardox 450 'de yapılan vickers sıra sertlik değerleri yüzey ve kesit alanından alınmıştır. Ortalama Sertlik değeri 301 Hv'dir.

600°C'de 2 saat temperlenen hardox 450 çeliği Şekil 6.46'de gösterilmiştir.



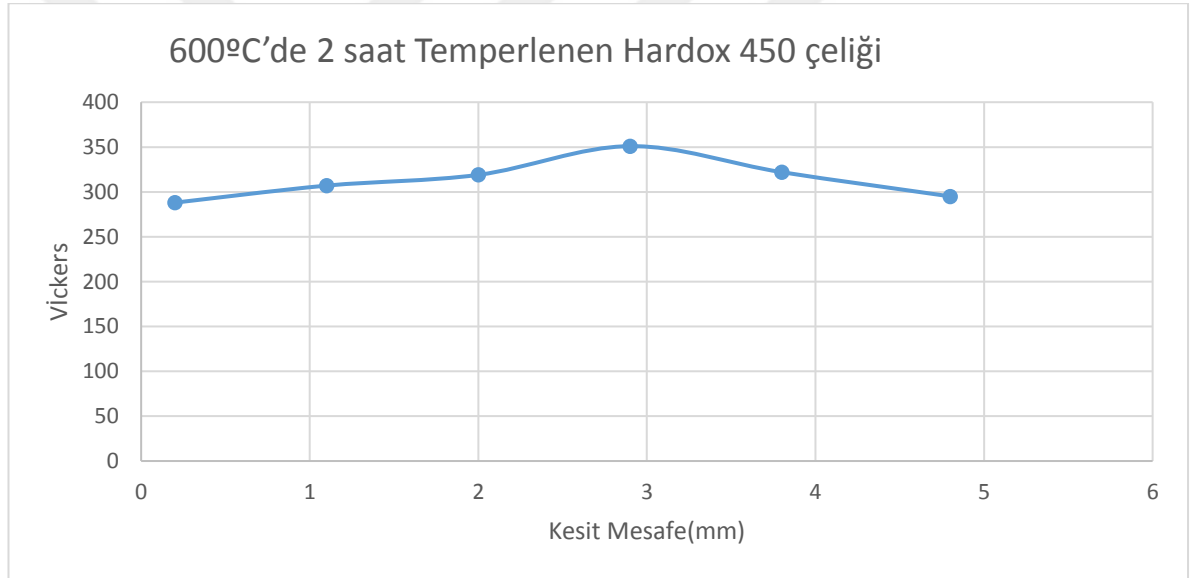
Şekil 6.46: 600°C'de 2 saat temperlenen hardox 450 çeliği. (5*15mm)

600°C'de 2 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin kesitinden alınan vickers sertlik sonuçları Tablo 6.13'de verilmiştir.

Tablo 6.13: 600°C’de 2 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin kesitinden alınan vickers sertlik sonuçları.

Mesafe(mm)	Vickers(Hv) 0,2kgF
0	0
0,2	288
1,1	307
2	319
2,9	351
3,8	322
4,8	295

Şekil 6.47’de 600°C’de 2 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin kesitinden alınan vickers sertlik sonuçları gösterilmiştir.



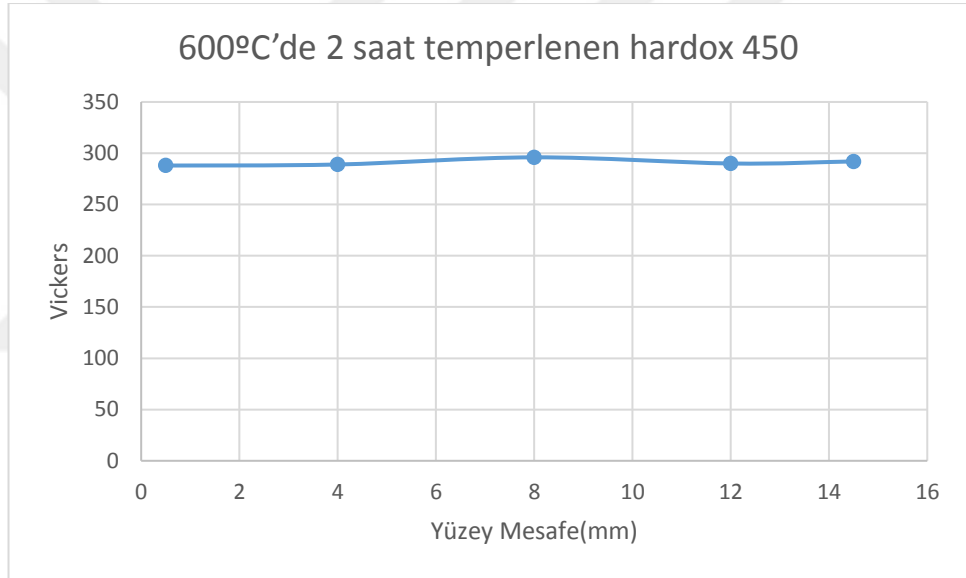
Şekil 6.47: 600°C’de 2 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin kesitinden alınan vickers sertlik sonuçları.

600°C’de 2 saat temperlenen hardox 450’nin yüzeyinden alınan sertlik sonuçları Tablo 6.14’de gösterilmiştir.

Tablo 6.14: 600°C'de 2 saat temperlenen Hardox 450'nin yüzeyinden alınan sertlik sonuçları.

Mesafe(mm)	Vickers(Hv) 0,2kgF
0	0
0,5	288
4	289
8	296
12	290
14,5	292

600°C'de 2 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin yüzeyinden alınan vickers sertlik sonuçları Şekil 6.48'de gösterilmiştir.



Şekil 6.48: 600°C'de 2 saat temperlenen hardox 450 çeliğinin yüzeyinden alınan vickers sertlik sonuçları.

Hardox 450 orjinal çeliği Şekil 6.49'da gösterilmiştir.



Şekil 6.49: Hardox450 orijinal çeliği(15*25mm)

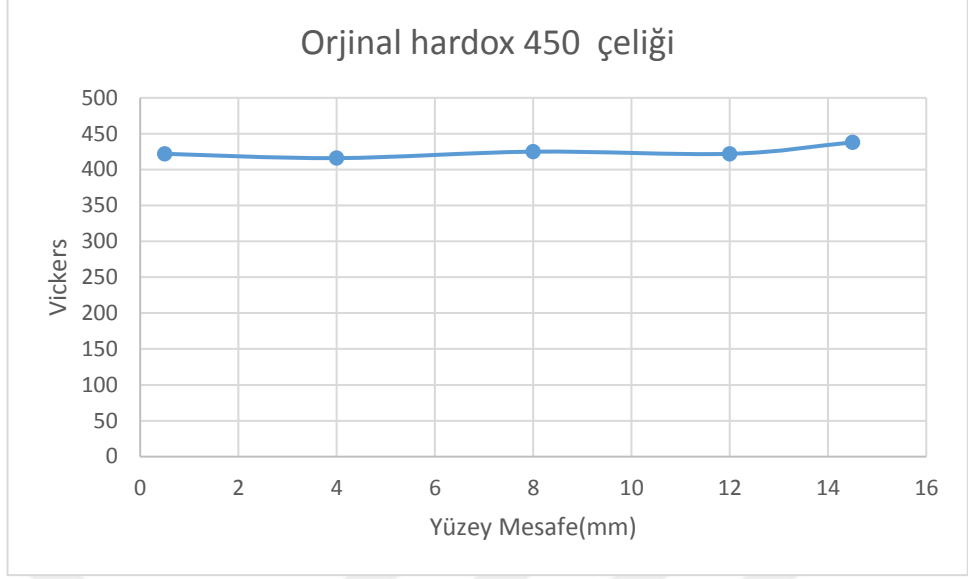
Hardox 450 orijinal çeliğinde yapılan vickers sıra sertlik değerleri belirlenmiştir. Ortalama Sertlik değeri 425Hv'dir.

Tablo 6.9'da Hardox450 orijinal numunesinin yüzeyinden alınan vickers sertlik değerleri gösterilmiştir.

Tablo 6.15: Hardox 450 orijinal çeliğinin yüzeyinden alınan vickers sertlik sonuçları.

Mesafe(mm)	Vickers(Hv) 0,2kgF
0	0
0,5	422
4	416
8	425
12	422
14,5	438

Orjinal Hardox 450 çeliğinin yüzeyinden alınan vickers sertlik değerleri Şekil 6.50'de verilmiştir.

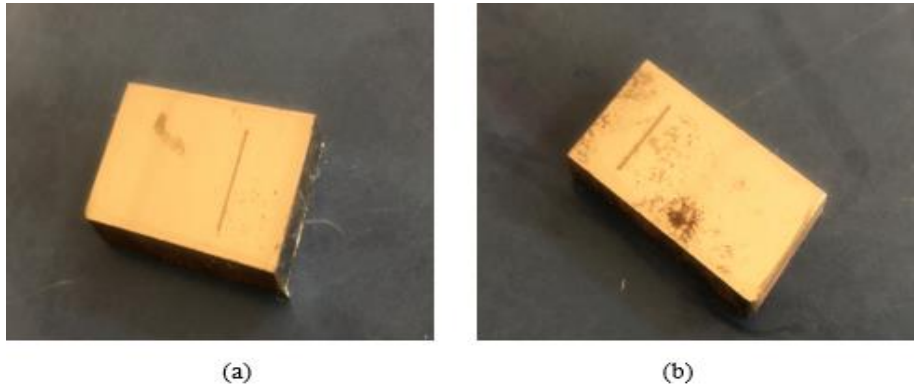


Şekil 6.50: Orjinal hardox450 çeliğinin yüzeyinden alınan vickers sertlik sonuçları.

6.3. Aşınma testi sonuçları

6.3.1. Temperleme yapılmış ve yapılmamış hardox 450 çelikleri

300°C’de temperlenen hardox450 çeliği (a) , 450°C’de temperlenen hardox450 çeliği Şekil6.51’de gösterilmiştir.



Şekil 6.51: 300°C’de temperlenen hardox450 çeliği (a) , 450°C’de temperlenen hardox450 çeliği(b)

Aşınma testi sonucuna göre; temperleme sıcaklığının 300'den 450 °C'ye çıkmasıyla, aşınma katsayısı sabiti 0,365'den 0,414'e yükselmiştir.

Aşınma testi sonrasında elde edilen numunelerin; orjinal hardox 450 çeliği (a) ve 600°C'de temperlenmiş hardox450 çeliği (b) Şekil 6.52'de gösterilmiştir.

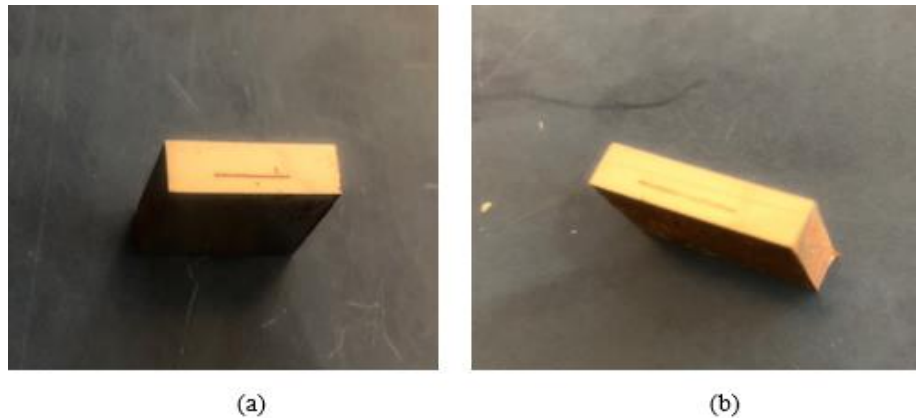


Şekil 6.52: Aşınma testi sonucunda orjinal hardox450 çeliği (a) ve 600°C'de temperlenmiş hardox 450 çeliği (b)

Aşınma testi sonucuna göre aşınma katsayısı sabiti; temperleme sıcaklığı ve süresine bağlı olarak sıcaklığın 600 °C'ye ve sürenin 2 saat olmasıyla 0,344'den 0,57'ye çıkmıştır. Yani; temperleme işleminden sonra aşınma katsayısında artış görülmüştür.

6.3.2. Sementasyon yapılmamış 20MnCr5 -Sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliği

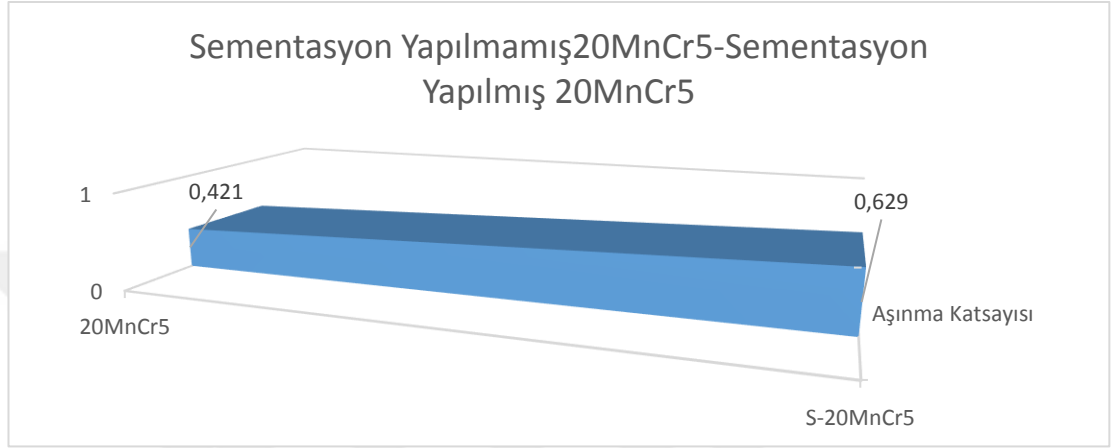
Sementasyon yapılmamış 20MnCr5 çeliği (a), sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliği (b) Şekil 6.53'de gösterilmiştir.



Şekil 6.53: Sementasyon yapılmamış 20MnCr5 çeliği (a), Sementasyon yapılmış 20MnCr5 çeliği (b)

20MnCr5 çeliği aşınma deneyi sonucunda sementasyon işlemine tabi tutulduktan sonra aşınma katsayısı 0,421'den 0,629'a çıkmıştır.

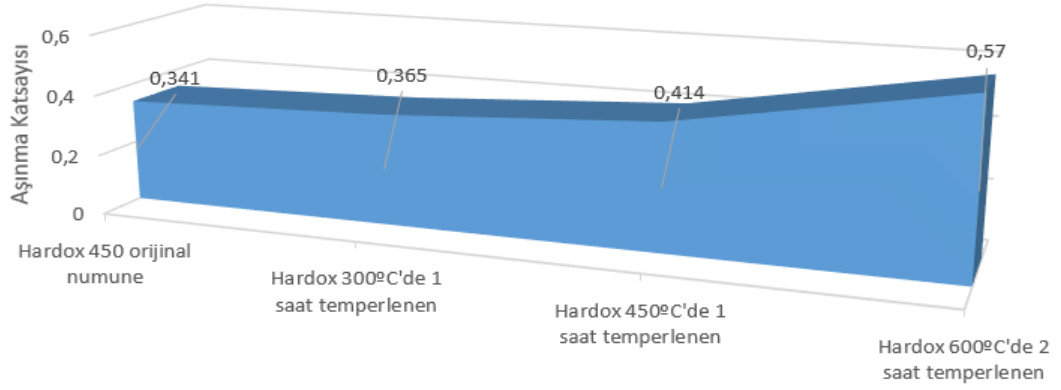
Sementasyon yapılmamış 20MnCr5 ve sementasyon yapılmış 20MnCr5'in aşınma katsayıları Şekil 6.54'de verilmiştir.



Şekil 6.54: Sementasyon yapılmamış 20MnCr5 ve sementasyon yapılmış 20MnCr5'in aşınma katsayıları

Hardox450 orjinal numunesi ve 300,450°C'de 1 saat,600°C'de2 saat temperlenmiş hardox'un aşınma katsayıları Şekil 6.55'de verilmiştir.

Hardox450 orjinal Numunesi ve 300,450°'de 1 saat,600°C'de2 saat Temperlenmiş Hardox 450



Şekil 6.55: Hardox450 orjinal numunesi ve 300,450°C'de 1 saat,600°C'de2 saat temperlenmiş hardox'un aşınma katsayıları

Tablo 6.16'da 6 farklı numunenin aşınma katsayısının gösterilmektedir.

Tablo 6.16: 6 farklı numunenin aşınma katsayısı sabitleri

Aşınma Sürtünme Katsayısı(k)					
20MnCr5		Temperleme sıcaklığına göre hardox450			Hardox450
20MnCr5	Sementeli 20MnCr5	300°C'de 1 saat	450°C'de 1 saat	600°C'de2 saat	
0,421	0,629	0,365	0,414	0,57	0,341

BÖLÜM 7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Genel Sonuçlar

Hardox 450 orijinal numunesinde yapılan vickers sertlik ölçümünde 425Hv olarak bulunmuştur. Aşınma deneyi sonuçlarında Hardox 450 orijinal numunesinin aşınma sabiti $k=0,341$ ölçülmüştür. SEM ve Optik mikroskop incelemesinde anizotropik yönlenmeler ile martenzitik yapılar görülmüştür. Herhangi bir partikül çökmesi gözlenmemiştir.

300°C'de 1 saat Temperlenmiş Hardox 450 numunesi ortalama 467Hv sertliğe sahiptir. Aşınma deneyinde bulunan k sabiti 0,365 bulunmuştur. Optik mikroskop ve SEM'de büyütme oranının artmasıyla yapıda homojenleşmenin belirginleştiği ve az da olsa inter metalik çökelti partikülleri gözlenmiştir.

450°C'de 1 saat Temperlenmiş Hardox 450 numunesi sertlik değeri ortalama 414Hv'dir. Aşınma sabiti $k=0,414$ bulunmuştur. Optik mikroskop ve SEM incelemelerinde iğnemi martenzitik yapı kaybolmuş ve anizotropik yönlenmeler görülmektedir. Büyütmenin artmasıyla çökelti partiküllerin yoğunluğunun arttığı da gözlenmiştir.

600°C'de 2 saat Temperlenmiş Hardox 450 numunesinin ortalama sertlik değeri 301 Hv olarak bulunmuştur. Yapılan aşınma testinde k sabiti 0,57'dir. Optik mikroskop ve SEM incelemelerinde temperleme sıcaklığının yüksek olmasıyla yapıdaki iğnesel martenzit tamamen kaybolmuş ve çökelti partiküllerinin yoğunluğu diğer numunelere göre daha fazla görülmüştür.

XRD ve EDS analizlerinde yapıda ihtiva eden çökelti partikülleri, elementler ve intermetalik bileşikler görülmektedir. Bu intermetalikler, Fe, Cr, Mn, C, Si içermektedir.

Sementasyon yapılmamış 20MnCr5'in ortalama sertliği 214Hv bulunmuştur. Aşınma testinde k sabiti 0,421 olarak ölçülmüştür. Optik mikroskop ve SEM'de homojen bir yapı

da ferlit+perlit görülmüştür. Hardox 450 çeliği 425 Hv sertliğe sahipken, 20MnCr5 çeliği daha düşük sertlik değerine sahiptir.

Sementasyon yapılmış 20MnCr5 numunesi yapılan Vickers ölçümünde en yüksek değeri olarak ortalama 808Hv bulunmuştur. Aşınma sabiti $k=0,629$ olarak ölçülmüştür. Optik mikroskop ve SEM’de iğnemsiz martenzitik yapılar yoğun olarak görülmektedir. XRD ve EDS incelemelerinde sementasyon işlemi yapıldığı için karbon oranının sementasyon yapılmamış 20MnCr5’den yüksek olduğu ve bazı karbür çökeltileri gözlenmiştir.

Hardox 450 ve 20MnCr5’ e yapılan sertlik, aşınma deneyi, optik mikroskop, SEM, XRD ve EDS incelemelerinde en uygun malzeme 450°C’de 1 saat Temperlenmiş Hardox 450 numunesi seçilmiştir. Sertlik için 414Hv yeterlidir aşınmaya dayanımı Hardox 450 nin yüksek tokluğunun verdiği avantaj ile daha uzun sürede kırılacağı yapılan testlerde anlaşılmıştır. Sementasyon yapılmış 20MnCr5 hem yüksek sertlik ve aşınma dayanımına sahiptir ancak geri dönüşümden temin edilen Hardox 450’den 6 kat daha pahalıdır. Hardox 450 çeliğinin kullanım ömrü aşınma dayanımına bağlı olarak sementasyon yapılmış 20MnCr5’e çok yakındır. Bu sonuçlar altında 450°C’de 1 saat Temperlenmiş Hardox 450 numunesini kullanmak uygun bulunmuştur.

7.2. Öneriler

Darbe çentik deneyi yapılması ve kullanım ömrünün bulunması gerekmektedir. Çalışma ortamında asitli bir ortama maruz kaldığı durumlarda korozyon testlerinin yapılması uygun görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Agarwal, A. and Dahotre, N.B., Wear, 2000, vol. 240, nos. 1–2, p. 144
- [2] Blau, P. 2010, ASM Handbook, Vol. 18. Friction, Lubrication, and Wear Technology. ASM International, 1879p
- [3] Garkunov, D.N. 2001. Triboengineering: Wear and No - Wear, Moscow: MCXA, 616p. (in Russian)
- [4] M.S. Permana and R. Suratman, Mechanical Engineering, April,26,2009.
- [5] Url-1 > <http://simgeirizalp.cbu.edu.tr/muhmlzB/bolum5.pdf>, erişim tarihi 12.03.2019.
- [6] İrem Kocabekir, Nihan Tunca, Onur Özer, Caner Tümer, Cemal B. Eker, Sait Özçelik, Harun Çuğ, Hayrettin Ahlatcı, 2013).
- [7] Yılmaz R., Türkmen M., Fıçıcı F., ‘‘Hardox 500 Çeliğinin Abrasif Aşınma Davranışının İncelenmesi’’, International Iron & Steel Symposium, Karabük, Türkiye, pp. 522-530.
- [8] Tülbentçi K. Kaluç E. ‘‘Kazı Makinelerinde Aşınan Parçaların Kaynakla Tamirinin Teknolojik ve Ekonomik Önemi’’, Kaynak Dünyası, 91, 2, 3- 6, 1991.
- [9] Tylack J.H. ‘‘Abrasive wear’’, ASM Handbook, Vol. 18: Friction, Lubrication and Wear Technology, ASM International, 1992
- [10] Brooks, J. A, Lippold, J. C, 1993, ‘‘Selection of Wrought Austenitic Stainless Steel’’, ASM Metal Handbook, V.6, 456-469.
- [11] Noble, D. N., 1993, ‘‘Selection of Wrought Duplex Stainless Steel’’, ASM Metal Handbook, V.6, 471-479.
- [12] Yılmaz, R., Gedikli, M. ve Barlas, Z., (2005) ‘‘Hardox 400 çeliğinin sert dolgu kaynağındapaso sayısının sertliğe, aşınmaya ve mikroyapıya etkisi’’, Teknoloji, 8 (1) 56-64.
- [13] HARDOX Çok Amaçlı Aşınma Levhası El Kitabı, İstanbul, (2007)

- [14] Uluocak, M. E., (2008) “Hardox 450 çeliklerinin Mag kaynak bölgesi mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-2.
- [15] Metlioğlu, M. R., Uzun M., Gökkaya H. ve Boca G. D., (2012) “The effect of achining parameters on surface roughness in the drilling of Hardox 400”, XXVI. MicroCAD International Scientific Conference, Hungary, K (10): 29,30.
- [16] Milos S., Stanislav F., “Experimental research and analysis of selected technological parameters on the roughness of steel area surface hardox 500 withthickness 40 mm cut by awj technology, Applied Mechanics and Materials, Vol: 308, 13-17, 2013.
- [17] Frydman S., Konat L., Pekalski G., “Structure andhardness changes in welded joints of Hardox steels”, Archives of Civil and MechanicalEngineering, 3:4, 15-27, 2008.
- [18] Pletz M., Davesa W., Yaob W., Ossberger H.,“Rolling contact fatigue of three crossing nose materials multiscale FE approach”, Wear, 314, 69–77, 2014.
- [19] Bicejova L., “Abrasive kind and granularitychanges affects to water jet technology head vibration during cutting hardox material thickness alternation process”, Applied Mechanics and Materials, Vol: 308, 75-79, 2013
- [20] Balos S., Sidjanin L., “Metallographic study of non-homogenous armour impacted by armourpiercing incendiary ammunition”, Materials and Design, 32: 4022–4029, 2011. 20-18
- [21] HARDOX Çok Amaçlı Aşınma Levhası El Kitabçığı, İstanbul, (2007)
- [22] Metal-oks Ürün Katoloğu, İstanbul, 2001
- [23] D.K Naik and K.P. Naity, “An optimization and experimental analysis of plasma arc cutting of Hardox-400 using Taguchi based desirability analysis” / Materials Today: Proceedings 5 (2018) 13157–13165
- [24] Grnezh, B. Use of Hardox steel in the mining industry, Gorn. Prom., 2008, no. 3 (79), pp. 34–38.
- [25] M. Mazur, P. Szataniak, F. Novy, R. Ulewicz, in: TRANSCOM 2013. 10th European Conference of Young Researchers and Scientists. Section 5. Material Engineering. Mechanical Engineering Technologies, Zilina, 2013, pp. 119-122

- [26] Majerik J. and Danisova N., “EXPERIMENTAL DRILLING TESTS OF ABRASION RESISTANT HARDOX 500 T=f (vc) AT CONSTANT FEED” ANNALS OF FACULTY ENGINEERING HUNEDOARA – International Journal Of Engineering, Tome IX (2011), Fascicule 3. (ISSN1584-2673)
- [27] Url-2 <<https://www.ssab.com.tr/products/brands/hardox/products/hardox-550>> erişim tarihi 07.04.2019.
- [28] Url-3 <<https://www.ssab.com.tr/products/brands/hardox/products/hardox>> erişim tarihi 15.03.2019.
- [29] Vopneruk, A.A., Valiev, R.M., Vedishchev, Yu.G., Shak, A.V., Kuptsov, S.G., Fominykh, M.V., Mukhinov, D.V., and Ivanov, A.V., Abrasive wear resistance of coatings applied by the method of high-speed flame spraying, *Izv. Samar. Nauch. Tsentra, Ross. Akad. Nauk*, 2010, vol. 12, no. 1
- [30] pp. 317–320. 2. Ibragimov, A.R., Ilinkova, T.A., Shafigullin, L.N., and Saifutdinov, A.I., Investigation of mechanical properties of thermal coatings obtained during plasma spraying of powder zirconium dioxide, *J. Phys.: Conf. Ser.*, 2017, vol. 789, p. 012022
- [31] Carter R.A, “Winning the war against wear.” *E&MJ*, pp.64-68 (2017)
- [32] Url-4 <<https://www.ssab.com.tr/download-center?dcFilter=hardox&dcSearch>> erişim tarihi 12.03.2019.
- [33] Url-5 <<https://www.ssab.com.tr/download-center?dcFilter=hardox&dcSearch=hardoxonsite-cement>> erişim tarihi 12.03.2019.
- [34] E. V. Kapralov, E. A. Budovskikh, V. E. Gromov, et al., *Structure and Properties of Composite Wear-Resistance Facings on Steel* (Siberian State Industrial Univ., Novokuznetsk, 2014) [in Russian].
- [35] Url-6 ><https://www.ssab.com.tr/download-center?dcFilter=hardox&dcSearch>> erişim tarihi 12.03.2019
- [36] Url-7 <<https://www.ssab.com.tr/download-center?dcFilter=hardox&dcSearch=hardoxonsiteundergroundmine>> erişim tarihi 03.04.2019.
- [37] Metlioğlu M.R., Ermurat M., Yüksek aşınma direncine sahip malzemelerin plazma arkı yöntemi ile kesilmesinde kesme yüksekliği ve ilerleme hızı faktörlerinin kesmeye etkisinin araştırılması, *Uluslararası Demir Çelik Sempozyumu, Karabük*, 2, 756-761, 2012

- [38] Altuğ M.“ Investigation of Hardox 400 Steel exposed to heat treatment processes in WEDM”, Politeknik Dergisi(2018)
- [39] Coşar D.(2014)” 8622RH ve 20MnCr5 eliklerinin Aşınma ve Mekanik zelliklerine Gaz Karbürleme İşleminin Etkisinin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi,Eskişehir Osmangazi Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir ,32



ÖZGEÇMİŞ

İsmail Efe Emre 24.10.1989'da Sakarya'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı.2008 yılında Şehit Üsteğmen Selçuk Esedoğlu Lisesi (Y.D.A)'den mezun oldu.2010 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünü 2014 yılında bitirdi. 2014 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitime devam etmektedir.