

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KIRICI VE ÖĞÜTÜCÜLERDE KULLANILAN DEMİR ESASLI
MALZEMELERİN YAPI, MEKANİK ÖZELLİKLER VE AŞINMA
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ecem ÇIKIT

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Mühendisliği Programı

MAYIS 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KIRICI VE ÖĞÜTÜCÜLERDE KULLANILAN DEMİR ESASLI
MALZEMELERİN YAPI, MEKANİK ÖZELLİKLER VE AŞINMA
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ecem ÇIKIT
(506121429)**

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI

MAYIS 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506121429 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Ecem ÇIKIT**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**KIRICI VE ÖĞÜTÜCÜLERDE KULLANILAN DEMİR ESASLI MALZEMELERİN YAPI, MEKANİK ÖZELLİKLER VE AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. E. Sabri KAYALI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Erdem ATAR
Gebze Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **4 Mayıs 2015**
Savunma Tarihi : **21 Mayıs 2015**

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca tez yönetimimi üstlenen ve benden hiçbir yardımı esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI' ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez numunelerimi temin ettiğim Ser Döküm' e, çalışmalarım süresince deneysel çalışmalarımındaki yardımları için Araş. Gör. Onur TAZEGÜL' e ve Araş. Gör. Faiz MUHAFFEL' e, numunelerin hazırlanmasında ve incelenmesinde yardımcı olan teknisyen Mızrap CANIBEYAZ'a çok teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarım sırasında bana her konuda yardımcı olan arkadaşlarım Özlem ÇETİN' e ve Zafer ÇETİN' e teşekkür ederim.

Son olarak tüm tez dönemi boyunca sabırla yanımda olan ve beni hep destekleyen aileme çok teşekkür ederim.

Mayıs 2015

Ecem Çıkıt
Metalurji ve Malzeme Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1 Dökme Demirler.....	3
2.2 Dökme Demirlerin Sınıflandırılması.....	3
2.2.1 Gri dökme demir	3
2.2.2 Küresel grafitli dökme demir	4
2.2.3 Beyaz dökme demir	4
2.2.4 Temper dökme demir	4
2.3 Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirler	7
2.3.1 Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde mikroyapı	7
2.3.1.1 Karbürler	7
2.3.1.2 Matris	10
2.3.2 Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde ısıtıl işlem.....	12
2.3.3 Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin uygulama alanları	13
2.4 Yüksek Kromlu Çelikler	14
2.4.1 Yüksek kromlu çeliklerde mikroyapı.....	14
2.4.2 Yüksek kromlu çeliklerde ısıtıl işlem.....	15
2.4.3 Yüksek kromlu çeliklerin uygulama alanları	17
2.5 Yüksek Manganlı Çelikler	17
2.5.1 Yüksek manganlı çeliklerde mikroyapı	17
2.5.2 Yüksek manganlı çeliklerde ısıtıl işlem	19
2.5.3 Yüksek manganlı çeliklerin uygulama alanları.....	21
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	23
3.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler	23
3.2 Mikroyapı İncelemeleri	24
3.3 X-Işınları Difraksiyon (XRD) Analizleri	25
3.4 Sertlik Ölçümleri	25
3.5 Aşınma Deneyleri.....	25
3.6 Çekme Deneyleri.....	26
3.7 Darbe Deneyleri	26
3.8 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri.....	26
4. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI VE İRDELENMESİ	27
4.1 Mikroyapı İncelemeleri	27
4.2 XRD Analizi Sonuçları	30

4.3 Sertlik Deneyi Sonuçları.....	31
4.4 Aşınma Deneyi Sonuçları.....	32
4.5 Çekme Deneyi Sonuçları.....	35
4.6 Darbe Deneyi Sonuçları	35
4.7 Kırık Yüzeylerin Makro ve SEM Görüntüleri.....	36
4.8 Soğutma Şeklinin Sertlik, Aşınma ve Dayanıma Etkisi	41
5. GENEL SONUÇLAR	43
KAYNAKLAR.....	47
EKLER.....	49
ÖZGEÇMİŞ	71

KISALTMALAR

HB	: Hardness of Brinell
HMK	: Hacim Merkezli Kübik
HRC	: Hardness of Rockwell C
HV	: Hardness of Vickers
SEM	: Scanning Electron Microscope
XRD	: X-Ray Diffraction
YMK	: Yüzey Merkezli Kübik

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin mikroyapısında bulunan karbürlerin sertlikleri.....	8
Çizelge 2.2 : Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde bulunan fazlar ve kafes parametreleri.....	8
Çizelge 2.3 : Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde matris yapısının aşınma kaybına etkisi	10
Çizelge 3.1 : Deneylerde kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri	23
Çizelge 3.2 : Numunelerin ısıtılma işlem sonrası soğutma tipleri.....	24
Çizelge 3.3 : Numunelerin Cr/C oranı.....	24
Çizelge 4.1 : Numunelerin sertlik değerleri (HRC).....	32
Çizelge 4.2 : Numunelerin aşınma miktarları (μm^2 , mm^2).....	33
Çizelge 4.3 : Numunelerin akma ve çekme dayanımı değerleri (MPa).....	35
Çizelge 4.4 : Numunelerin darbe dayanımı değerleri (J).....	36
Çizelge 4.5 : Aynı kimyasal bileşimde, soğutma tipinin mekanik özelliklere olan etkisi	41
Çizelge B.1 : Numune 1' in aşınma izi ölçüleri (μm)	58
Çizelge B.2 : Numune 2' nin aşınma izi ölçüleri (μm)	59
Çizelge B.3 : Numune 3' ün aşınma izi ölçüleri (μm).....	59
Çizelge B.4 : Numune 4' ün aşınma izi ölçüleri (μm).....	60
Çizelge B.5 : Numune 5' in aşınma izi ölçüleri (μm)	60
Çizelge B.6 : Numune 6' nın aşınma izi ölçüleri (μm)	61
Çizelge B.7 : Numune 8' in aşınma izi ölçüleri (μm)	61
Çizelge B.8 : Numune 9' un aşınma izi ölçüleri (μm).....	62

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Çeşitli dökme demirlerin mikroyapıları.	5
Şekil 2.2 : Dökme demirlerin sınıflandırılması ve mikroyapıları.	6
Şekil 2.3 : Krom/Karbon oranı arasındaki ilişki.	9
Şekil 2.4 : C- Fe- Cr denge diyagramı.	9
Şekil 2.5 : Molibdenin beyaz dökme demirin çekme dayanımına etkisi.	11
Şekil 2.6 : 1050 °C’ de 1 saat östenitleme işleminden sonra yüksek kromlu çeliğin mikroyapısı (500X).	14
Şekil 2.7 : 1100 °C’ de 1 saat su verme işleminden sonra yüksek kromlu çeliğin mikroyapısı (500X).	15
Şekil 2.8 : 1000 °C’ de 12 saat su verme işleminden sonra yüksek kromlu çeliğin mikroyapısı (500X).	15
Şekil 2.9 : Fe - Cr ikili diyagramı.	16
Şekil 2.10 : Bileşimindeki C ve Mn yüzdelere göre elde edilen çelik cinsleri.	17
Şekil 2.11 : Farklı malzemelerin tokluk ve aşınma dirençlerinin karşılaştırılması.	18
Şekil 2.12 : Demir – mangan faz diyagramı.	20
Şekil 3.1 : Tribo Tester aşınma deneyi cihazı.	25
Şekil 3.2 : Profilometre cihazı.	25
Şekil 3.3 : Darbe deneyi şematik gösterimi.	26
Şekil 4.1 : Numune 1’ in mikroyapı görüntüsü (100X).	27
Şekil 4.2 : Numune 2’ nin mikroyapı görüntüsü (100X).	27
Şekil 4.3 : Numune 3’ ün mikroyapı görüntüsü (100X).	28
Şekil 4.4 : Numune 4’ ün mikroyapı görüntüsü (100X).	28
Şekil 4.5 : Numune 5’ in mikroyapı görüntüsü (100X).	29
Şekil 4.6 : Numune 6’ nın mikroyapı görüntüsü (100X).	29
Şekil 4.7 : Numune 7’ nin mikroyapı görüntüsü (100X).	29
Şekil 4.8 : Numune 8’ in mikroyapı görüntüsü (100X).	30
Şekil 4.9 : Numune 9’ un mikroyapı görüntüsü (100X).	30
Şekil 4.10 : Numune 3’ e ait XRD grafiği.	31
Şekil 4.11 : Numune 5’ e ait XRD grafiği.	31
Şekil 4.12 : Alaşımdaki Cr miktarının sertliğe olan etkisi.	32
Şekil 4.13 : Alaşımdaki Cr miktarının aşınma alanına olan etkisi.	33
Şekil 4.14 : Alaşımdaki Cr miktarının rölatif aşınma oranına olan etkisi.	33
Şekil 4.15 : Numune 1’ e ait aşınma topu izi (100X).	34
Şekil 4.16 : Numune 2’ ye ait aşınma topu izi (100X).	34
Şekil 4.17 : Numune 3’ e ait aşınma topu izi (100X).	34
Şekil 4.18 : Numune 4’ e ait aşınma topu izi (100X).	34
Şekil 4.19 : Numune 5’ e ait aşınma topu izi (100X).	34
Şekil 4.20 : Numune 6’ ya ait aşınma topu izi (100X).	34
Şekil 4.21 : Numune 8’ e ait aşınma topu izi (100X).	35
Şekil 4.22 : Numune 9’ a ait aşınma topu izi (100X).	35
Şekil 4.23 : Numune 1’ in kırık yüzey makro görünümü.	36

Şekil 4.24 : Numune 2' nin kırık yüzey makro görünümü.....	36
Şekil 4.25 : Numune 3' ün kırık yüzey makro görünümü.....	37
Şekil 4.26 : Numune 4' ün kırık yüzey makro görünümü.....	37
Şekil 4.27 : Numune 6' nın kırık yüzey makro görünümü.....	37
Şekil 4.28 : Numune 7' nin kırık yüzey makro görünümü.....	37
Şekil 4.29 : Numune 8' in kırık yüzey makro görünümü.....	37
Şekil 4.30 : Numune 1' in kırık yüzey SEM görüntüsü (1000X)	38
Şekil 4.31 : Numune 2' nin kırık yüzey SEM görüntüsü (1000X)	39
Şekil 4.32 : Numune 3' ün kırık yüzey SEM görüntüsü (1000X)	39
Şekil 4.33 : Numune 4' ün kırık yüzey SEM görüntüsü (1000X)	39
Şekil 4.34 : Numune 6' nın kırık yüzey SEM görüntüsü (1000X)	40
Şekil 4.35 : Numune 7' nin kırık yüzey SEM görüntüsü (1000X)	40
Şekil 4.36 : Numune 9' un kırık yüzey SEM görüntüsü (1000X)	41
Şekil A.1 : Numune 1' in mikroyapı görüntüsü (50X)	49
Şekil A.2 : Numune 1' in mikroyapı görüntüsü (200X).....	49
Şekil A.3 : Numune 1' in mikroyapı görüntüsü (500X).....	50
Şekil A.4 : Numune 2' nin mikroyapı görüntüsü (50X).....	50
Şekil A.5 : Numune 2' nin mikroyapı görüntüsü (200X).....	50
Şekil A.6 : Numune 2' nin mikroyapı görüntüsü (500X).....	51
Şekil A.7 : Numune 3' ün mikroyapı görüntüsü (50X).....	51
Şekil A.8 : Numune 3' ün mikroyapı görüntüsü (200X).....	51
Şekil A.9 : Numune 3' ün mikroyapı görüntüsü (500X).....	52
Şekil A.10 : Numune 4' ün mikroyapı görüntüsü (50X).....	52
Şekil A.11 : Numune 4' ün mikroyapı görüntüsü (200X).....	52
Şekil A.12 : Numune 4' ün mikroyapı görüntüsü (500X).....	53
Şekil A.13 : Numune 5' in mikroyapı görüntüsü (50X).....	53
Şekil A.14 : Numune 5' in mikroyapı görüntüsü (200X).....	53
Şekil A.15 : Numune 5' in mikroyapı görüntüsü (500X).....	54
Şekil A.16 : Numune 6' nın mikroyapı görüntüsü (50X).....	54
Şekil A.17 : Numune 6' nın mikroyapı görüntüsü (200X).....	54
Şekil A.18 : Numune 6' nın mikroyapı görüntüsü (500X).....	55
Şekil A.19 : Numune 7' nin mikroyapı görüntüsü (50X).....	55
Şekil A.20 : Numune 7' nin mikroyapı görüntüsü (200X).....	55
Şekil A.21 : Numune 7' nin mikroyapı görüntüsü (500X).....	56
Şekil A.22 : Numune 8' in mikroyapı görüntüsü (50X).....	56
Şekil A.23 : Numune 8' in mikroyapı görüntüsü (200X).....	56
Şekil A.24 : Numune 8' in mikroyapı görüntüsü (500X).....	57
Şekil A.25 : Numune 9' un mikroyapı görüntüsü (50X).....	57
Şekil A.26 : Numune 9' un mikroyapı görüntüsü (200X).....	57
Şekil A.27 : Numune 9' un mikroyapı görüntüsü (500X).....	58
Şekil B.1 : Numune 1' in profilometre grafiği.....	58
Şekil B.2 : Numune 2' nin profilometre grafiği.....	59
Şekil B.3 : Numune 3' ün profilometre grafiği.....	59
Şekil B.4 : Numune 4' ün profilometre grafiği.....	60
Şekil B.5 : Numune 5' in profilometre grafiği.....	60
Şekil B.6 : Numune 6' nın profilometre grafiği.....	61
Şekil B.7 : Numune 8' in profilometre grafiği.....	61
Şekil B.8 : Numune 9' un profilometre grafiği.....	62
Şekil C.1 : Numune 1' in kırık yüzey SEM görüntüsü (200X).....	62
Şekil C.2 : Numune 1' in kırık yüzey SEM görüntüsü (1000X).....	63

Şekil C.3 : Numune 1' in kırık yüzey SEM görüntüsü (2000X).....	63
Şekil C.4 : Numune 2' nin kırık yüzey SEM görüntüsü (200X).....	63
Şekil C.5 : Numune 2' nin kırık yüzey SEM görüntüsü (1000X).....	64
Şekil C.6 : Numune 2' nin kırık yüzey SEM görüntüsü (2000X).....	64
Şekil C.7 : Numune 3' ün kırık yüzey SEM görüntüsü (200X).....	64
Şekil C.8 : Numune 3' ün kırık yüzey SEM görüntüsü (1000X).....	65
Şekil C.9 : Numune 3' ün kırık yüzey SEM görüntüsü (2000X).....	65
Şekil C.10 : Numune 4' ün kırık yüzey SEM görüntüsü (200X).....	65
Şekil C.11 : Numune 4' ün kırık yüzey SEM görüntüsü (1000X).....	66
Şekil C.12 : Numune 4' ün kırık yüzey SEM görüntüsü (2000X).....	66
Şekil C.13 : Numune 6' nın kırık yüzey SEM görüntüsü (200X).....	66
Şekil C.14 : Numune 6' nın kırık yüzey SEM görüntüsü (1000X).....	67
Şekil C.15 : Numune 6' nın kırık yüzey SEM görüntüsü (2000X).....	67
Şekil C.16 : Numune 7' nin kırık yüzey SEM görüntüsü (200X).....	67
Şekil C.17 : Numune 7' nin kırık yüzey SEM görüntüsü (1000X).....	68
Şekil C.18 : Numune 7' nin kırık yüzey SEM görüntüsü (2000X).....	68
Şekil C.19 : Numune 8' in kırık yüzey SEM görüntüsü (200X).....	68
Şekil C.20 : Numune 8' in kırık yüzey SEM görüntüsü (1000X).....	69
Şekil C.21 : Numune 8' in kırık yüzey SEM görüntüsü (2000X).....	69

KIRICI VE ÖĞÜTÜCÜLERDE KULLANILAN DEMİR ESASLI MALZEMELERİN YAPI, MEKANİK ÖZELLİKLER VE AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada cevher kırıcıları, öğütücü değirmen bilyeleri, çeşitli astarlar, tarım alet ve makinaları, pistonlar ve dişlileri, çeşitli konveyörler, greyder bıçakları, pompalar, diskler, tuğla kalıpları, segmanlar ve çubuklar, madencilik ve mineral sanayi gibi yüksek aşınma direnci gerektiren yerlerde kullanılan malzemeler incelenmiştir.

Yukarıda bahsedilen uygulamalarda kullanılan malzemelerin aşınması maddi zararlara ve iş kayıplarına sebep olmaktadır. Bundan dolayı daha sert ve aşınmaya dayanıklı malzemelerin kullanılması gerekmektedir. Yüksek kromlu beyaz dökme demirler, yüksek kromlu çelikler ve yüksek manganlı çelikler bu amaca uygun malzeme gruplarındandır.

Bu tez çalışmasında, yüksek kromlu beyaz dökme demir, yüksek kromlu çelik ve yüksek manganlı çelik malzeme gruplarına ait ve üç farklı yöntemle soğutma işlemine tabii tutulmuş numuneler kullanılmıştır. Yüksek kromlu beyaz dökme demirler grubunda dört adet numune mevcut olup, C miktarları %2.84 ve %3.16 iken Cr miktarları sırasıyla %25.8 ve %20.2' dir. Isıl işlem sonrası soğutma şekilleri ise havada, yağda ve fan ile olmak üzere farklılık göstermektedir. Yüksek kromlu çelikler grubunda üç adet numune mevcut olup, C miktarları %0.4 ve %1.53 iken Cr miktarları sırasıyla %7.38 ve %13.4' tür. Isıl işlem sonrası soğutma şekilleri ise yağda ve fan ile olmak üzere farklılık göstermektedir. Son olarak, manganlı çelikler grubunda ise iki adet numune mevcut olup, C miktarları %1.16 ve %1.34 iken Cr miktarları sırasıyla %0.37 ve %1.8, Mn miktarları ise yine sırasıyla %11.6 ve %17' dir. Isıl işlem sonrası soğutma şekilleri ikisinde de aynı olup, suda soğutmadır. Bu çalışmanın amacı, kırıcı ve öğütücülerde uygulama alanı bulan bu malzemelerin, yapı, mekanik özellikler ve aşınma davranışlarının bir bütün olarak incelenmesidir.

Yapılan deneysel çalışmalarda, mikroyapısal karakterizasyon için, her bir malzemenin metalografi numuneleri hazırlanmış ve bu numuneler üzerinde optik mikroskop kullanılarak mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Numuneler üzerinde ayrıca XRD analizi gerçekleştirilmiştir. Numunelere aynı zamanda sertlik, aşınma, çekme, çentik darbe gibi mekanik testler uygulanmıştır. Darbe deneyi uygulanan numunelerin kırık yüzeyleri ise kırılma karakteristiğini belirlemek amacıyla SEM ile incelenmiştir.

Yüksek Cr' lu çelik, yüksek Cr'lu beyaz dökme demir ve yüksek Mn' lı çelik numuneler arasında en yüksek sertlik ve en iyi aşınma direnci, yüksek Cr'lu beyaz dökme demir numunelerde görülmüştür. Bu sonuçta, yapıdaki sürekli krom karbür ağ yapısının etkili olduğu düşünülmektedir.

Sadece yüksek Mn'lı çelik numunelerde sünek kırılma gerçekleşmiştir. Yüksek Cr' lu çelik ve yüksek Cr'lu beyaz dökme demir numunelerin darbe dirençleri aynı mertebede iken, yüksek Mn'lı çelik numunelerin darbe direnci oldukça yüksek değerlerde görülmüştür. Bu malzemelerin tokluğunun daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Yüksek Mn'lı çeliklerde ayrıca, basınç ve darbe etkisiyle soğuk şekil değiştirme sertleşmesi (dönüşüm sertleşmesi) sonucu, yüzeylerinde sert ve aşınmaya dirençli bir tabaka oluşur. Bu özellikleri sayesinde yüksek Mn' lı çelik numunelerde, aşınma davranışlarında iyileşme görülür. Diğer yandan, yüksek Mn'lı çelik numunelerde Cr ve Mn miktarının artmasıyla, dayanımın ve aşınma direncinin arttığı gözlenmiştir.

En yüksek çekme dayanımına, en yüksek Cr/C oranına sahip olan yüksek Cr'lu çelik numunede ulaşılmıştır.

Aynı kimyasal bileşime sahip numunelerde, daha iyi sertlik-aşınma direnci-darbe dayanımı değerleri, ısıtıl işlem sonrası yağda soğutulan numunelerde elde edilmiştir.

Yapılan tüm deneysel çalışmalar sonucunda, yüksek aşınma direnci istenen yerlerde yüksek Cr'lu beyaz dökme demir malzemelerin kullanılması önerilirken; darbeli aşınma durumlarında ise yüksek Mn' lı çelik malzemelerin tercih edilmesi uygun görülmüştür.

EXAMINATION OF STRUCTURE, MECHANICAL PROPERTIES AND WEAR BEHAVIORS OF IRON BASED MATERIALS USED IN CRUSHERS AND GRINDERS

SUMMARY

In this study, the materials which are primarily used for abrasion resistant applications such as slurry pumps, ore classifiers, brick molds, impeller blades and liners for shot blasting equipment, refine disks in pulp refiners, impact hammers, roller segment and ring segment in coal grinding mills, feed and lifter bars and mill liners in ball mills for hard-rock mining, tillage tools, bucket teeth, scraper blades, screw conveyors and grain handling equipment, are investigated.

In these applications, wear of materials causes economical waste and production losses. For this reason, the materials which are much harder and have good wear resistant must be used. High chromium white cast irons, high chromium steels and high manganese steels are suitable materials groups for this aim.

High chromium steels and white cast irons are highly demanded products in mining, mineral processing, metallurgical and cement industries on account of their high hardness and abrasion resistance, obtained from a microstructure characterized by a high content in eutectic carbides with a tempered martensite/bainite dispersed phase. One of these applications is the manufacture of rolling rolls used for the shaping of very different metallic products, where good mechanical behaviour, hardness, wear resistance and toughness at high temperatures (200-500°C) are the main properties required.

High chromium white cast irons have generally good wear resistance. Due to their high wear resistance, high chromium white cast irons have wide application areas. These types of cast irons generally used in slurry pumps, brick dies, several mine drilling equipments, discs, pistons and gears.

The typical microstructure of high-chromium white cast irons consist of chromium carbides of high hardness dispersed in a matrix which still contains a sufficient concentration of carbon to allow hardening as a result of transformation of austenite to martensite. This occurs after a quenching treatment. These materials, after tempering, are used in ambient temperature services and also at moderate temperatures (below 500 °C).

The shaping of all these products is carried out by means of casting techniques, applied from the liquid state. These hypoeutectic cast irons start their solidification with the nucleation of austenite dendrites and then continue with the formation of the eutectic constituent $\gamma + M_7C_3$. During cooling, significant quantities of the same carbides precipitate as a result of reduction in carbon solubility.

Chromium carbide presence in the structure of high chromium white cast iron is known to improve this material's mechanical strength and wear resistance. According to the characteristics of high chromium white cast iron, if its chemical composition can be controlled and proper heat treatment be adopted, it has perfect abrasion resistance and hardness. The previous researches have recognized that the abrasion resistance of these alloys is primarily determined by the features of the hard alloy carbides that form, such as the carbide volume fraction, primary carbide structure and the eutectic carbide orientation. The structure of the matrix that supports the carbides may be varied extensively by alloy selection.

High-carbon white cast iron, with a higher volume fraction of chromium carbides has a higher strength and a lower ductility and is also more wear-resistant than low-carbon white cast iron.

High manganese steel is a new development for austenitic steel, and it suitable for use in stronger impact working conditions. As a high manganese steel grade it offers excellent work hardening properties. High manganese steel plate becomes increasingly hard when the surfaces of components are subject to repeated impact or abrasion. Its toughness, derived from high tensile strength and ductility, enables shock loads to be absorbed safely. Lack of lubrication or the intrusion of grit or sand particles does not seriously impair the wearing surfaces of components in contact. These characteristics combine to make high manganese steel plate an ideal steel for use as wearing plates in those situations where abrasion, impact, or lubrication difficulties are encountered. The steel has the unique property in service of rapidly developing a work hardened surface whilst retaining its tough interior.

The work hardening property of high manganese steels make this steel grade suitable for applications where the components must resist wear under conditions of sliding contact, often coupled with heavy pressure and repeated impact.

Typical applications of high manganese steels, quarries and constructions: earth moving crusher jaw, grizzly, screen, stone chutes, chain guide and shredder plates, shovel buckets; mines: bucket blade of loader, chain conveyor parts, sprocket wheel, various armouring elements; iron industry; foundry: guiding and shifting plates, scraps container, liner of shot blasting unit, pedestal liner, flanged bolster cup, wear liner; concrete and brickworks: core and dividing wall of parpen mould, grinding mill scraper, mixer paddle; craps – recoveries: wheel disk, striker and hammer mill; automotive industries: shot blasting equipment. It is also used for its low coefficient of friction in metal-to-metal applications, its non-magnetic properties in electrical transformer assemblies and for industrial lifting magnets.

High manganese steel has more capacity than high chromium white cast iron. In addition, high manganese steel has higher toughness than the high chromium white cast iron. When the surface of Mn-steel is under heavy impact or a compressive load, it hardens from the surface while the base material remains tough. The depth and hardness of work hardened surface vary depending on application and Mn-steel grade.

The work hardened layer can be between 10 and 15 mm deep and hardness can be up to 600 HV in primary applications. In fine crushing applications the work hardened layer is thinner and hardness is usually around 350-500 HV.

In this project work, high chromium white cast iron, high chromium steel and high manganese steel materials which have three different cooling type after heat treatment were used. In the high-chromium white cast iron group, the four samples are available,

which consist 2.84% and 3.16% C, respectively, while 25.8% Cr and 20.2% Cr. The cooling type after heat treatment varies, as in the air, in the oil and with fans. In the high chromium steels group, three samples are available, which consist 0.4% C and 1.53% C, respectively, while 7.38% Cr and 13.4% Cr. The cooling type after heat treatment varies, as in the oil and with fans. Finally, in manganese steels group, two samples are available, which consist 1.16% C and 1.34% C, respectively, while 0.37% Cr and 1.8% Cr and respectively again, 11.6% Mn and 17% Mn. The cooling type is the same for both two specimens, as water-cooling. The aim of this study is that to investigate structure, mechanical properties and wear behaviors of these materials which are used in crushers and grinders.

In the experimental studies, for microstructural characterization, metallographic samples of each material were prepared and microscopic examinations with optical microscope have been performed on these samples. Additionally, XRD analysis was performed on the samples. Also various mechanical tests have been performed on these samples, such as hardness, abrasion, tensile and impact test. To determine the characteristic of fracture and mechanism, fracture surfaces of the impact test samples were examined by using SEM.

As a result of experimental studies, between high chromium steels, high chromium white cast irons and high manganese steels, it was seen that high chromium white cast irons have maximum hardness and the highest wear resistance. With this result, continuous chromium carbide network in the structure is thought to be effective.

Only in high-Mn steel samples, ductile fracture has occurred. While the impact resistances of high chromium white cast irons and high chromium steels are in the same order, the impact resistance of high manganese steel sample is very high. The toughness of this material is better than the other materials. In addition, if the content of chromium and content of manganese in the high manganese steels increases, the strength and wear resistance increase and it provides better performance in applications.

The highest tensile strength has been observed on the high chromium steel sample which has the highest Cr / C ratio.

The samples which have the same chemical compositions, if cooling type is in the oil cooling, these samples have high wear-resistance, high hardness and high impact resistance values compared to the samples which are cooled on the air.

As a general conclusion, it can be stated that where high wear resistance is desired in the applications, the use of high chromium white cast irons is recommended; in case of both wear resistance and impact resistance are desired in the applications, the use of high manganese steels is recommended as the best choice.

1. GİRİŞ

Sanayide çimento, cam, toprak, tuğla, kiremit vb. işletmelerde bilhassa kırma, öğütme ve karıştırma işlemlerinde kullanılan makinaların bu işleri yapan parçaları çok çabuk aşınmaktadır. Dolayısıyla üretim maliyetleri yükselmektedir. Bu nedenle sanayide, aşınmaya dayanıklı çeşitli malzemelerin kullanılması tercih edilir.

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin aşınma direnci ve tokluk özellikleri iyidir. Genellikle bu grup dökme demirler çamur pompalarında, tuğla kalıplarında, çeşitli mineral delme, sert kayaları işleme ekipmanlarında ve benzeri alanlarda kullanılmaktadır.

Yüksek kromlu dökme demir alaşımların tokluğu, düşük kromlu alaşımlılardan daha yüksektir. Tokluk, özellikle kırma ve öğütme işlemlerinde kazaları önleyici bir faktör olarak değerlendirildiğinden önemi büyüktür.

Yüksek kromlu beyaz dökme demirler, yüksek aşınma dayanımlarından dolayı geniş kullanım alanına sahiptirler. Beyaz dökme demirlerin aşınmaya dayanıklı ticari malzemeler olarak ilk kullanımları, yüz yıllık bir geçmişe sahip olup, dövülebilir döküm malzemelerin üretiminin geliştirilmesi ve alaşımlandırma parametrelerinin zenginleşmesi ile daha da yaygınlaşmıştır. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlere mekanik dayanım ve aşınma direnci sağlayan en önemli faktör, yapıda bulunan krom karbürlerdir [1].

Krom, alaşım elementi olarak çeliklere en fazla katılan elementtir. Kuvvetli karbür teşkil eder. Çelikteki karbonla birleşerek çok sert olan krom karbür meydana getirir.

Krom çeliklerin akma direncini, dayanımını ve sertliğini önemli derecede yükseltir. Yüksek aşınma mukavemeti verir ve kesme özelliğini artırır. Yüksek kromlu çelikler, paslanmaya ve korozyona ve krom karbür oluşumu dolayısıyla, aşınmaya dayanıklıdır.

Yüksek kromlu çelikler yüksek sertlik ve iyi aşınma direnci özellikleriyle metalürji, madencilik, maden işleme, çimento sektörlerinde ilgi görmektedir. İçerdikleri yüksek miktardaki ötektik karbürler, bu mekanik özelliklerin sağlanmasında etkili olmaktadır.

Temel bileşimi genellikle %11-14 Mn ve %1.1-1.4 C olan yüksek manganlı çelikler, yüksek mukavemet ve süneklik özellikleri ve yüksek aşınma ve darbe direncine sahip olmaları sayesinde birçok sanayi alanında kullanılmaktadır.

Östenitik iç yapılarının yanısıra basınç ve darbe etkisiyle soğuk şekil değiştirme sertleşmesi (work hardening) sonucu yüzeylerinde sert ve aşınmaya dirençli bir tabaka oluşur. Bu üstünlüklerinden ötürü, özellikle madencilik ve toprak işleme makinalarının parçalarında kullanılırlar. Manganezin çeliklerin mukavemetini arttıran bir element olduğu bilinmektedir [2].

Manganlı çelikler, darbeli ve sürtünmeli çalışmalarda aşınmaya çok mukavim buna ek olarak kırılabilirliğe de dayanıklı yerlerde örneğin; kırma, ezme makinalarında, değirmenlerin darbeye ve sürtünmeye maruz parçaların imalinde, iş makinalarının kepçe tırnaklı kazma aksamında, taş ocaklarında, çimento değirmenlerinde, yüksek fırın ve diğer tesislerin zırhlarında, demiryolu makası ve ek yerlerinin imalinde de kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında; demir çelik, çimento ve toprak, taş kırma, eleme ve öğütme alanlarında faaliyet gösteren Ser Döküm firmasından temin edilen birbirinden farklı numuneler mevcuttur.

Numuneler cevher hazırlama (zenginleştirme), kırma ve öğütme makinelerinde kullanılmaktadır. Bu uygulamalarda kullanılan malzemelerin sert ve aşınmaya dayanıklı malzemeler olması gerekir.

Yüksek kromlu beyaz dökme demirler, yüksek kromlu çelikler ve yüksek manganlı çelikler bu amaca uygun malzeme gruplarındandır. Bu tez çalışmasında bu malzeme gruplarına ait dokuz adet numune ile çalışılmıştır.

Her bileşim için metalografi numuneleri hazırlanmış ve bu numuneler üzerinde mikroyapı incelemeleri yapılmıştır.

Numunelere ayrıca çeşitli mekanik testler uygulanmıştır (sertlik testi, aşınma testi, çekme testi, darbe testi). Yapılan tüm incelemeler sonucunda farklı malzeme grupları ile birlikte numuneler, kendi içlerinde karşılaştırılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Dökme Demirler

Döküm endüstrisinin en yüksek üretim miktarına sahip ürünü dökme demirlerdir. Demir alaşımları dökümcülüğü birçok avantajı beraberinde getirmektedir. Bunların en önemlileri, alaşımı meydana getiren hammaddeler ucuzdur ve bulunması kolaydır, üretilen ürünler yüksek sertliğe sahip, yüksek aşınma direnci gösterirler, korozyona dayanıklıdır ve geniş bir aralıkta çok çeşitli ve farklı özelliklere sahip dökme demirler üretilmektedir [3].

Dökme demir, bir demir-karbon- silisyum alaşımıdır. Bileşimindeki karbon % 4'e ve silisyum % 3.5'e kadar bulunabilir [3]. Dökme demirin elde edilmesinde başlangıç malzemesi olarak genellikle yüksek fırın piki ve çelik hurdası kullanılır [4]. Dökme demir içinde karbon ve silisyumdan başka manganez, fosfor ve kükürt de bulunur. Özel hallerde nikel, krom, molibden, titanyum, alüminyum, bakır vb. elementlerden biri veya birkaçı da bulunabilir [3].

2.2 Dökme Demirlerin Sınıflandırılması

Demir alaşımları, dökme demirler ve çelik dökümler olmak üzere iki ana bölüme ayrılırlar. Bileşiminde % 2' ye kadar karbon bulunan demir alaşımları çelik, % 2'den çok karbon bulunan demir alaşımları dökme demir sınıfına girmektedir [3]. Şekil 2.2'de dökme demirlerin sınıflandırılması ve temel mikroyapıları görülmektedir. Dökme demirlerin grafit ve mikroyapılarına göre beyaz dökme demir, gri dökme demir, küresel grafitli dökme demir ve temper dökme demir olarak sınıflandırılırlar.

2.2.1 Gri dökme demir

Grafitli dökme demir, alaşım katılaştığında bileşimindeki karbon, kısmen veya tamamen grafit halinde olan dökme demirdir. Kırılmış yüzeyi her zaman gri renktedir. Şekil 2.1 a'da dökme demirin mikroyapısı görülmektedir. Grafitli dökme demir, bileşimindeki karbonun şekline göre aşağıdaki kısımlara ayrılır:

1. Lamel grafitli dökme demir : Lamel grafitli dökme demir, bileşimindeki grafit yaprağımsı lameller (tabaka-pul) şeklinde olan dökme demirlerdir.
2. Östenitik dökme demir : Östenitik dökme demir, uygun ve yüksek miktarda alaşım elementlerinden dolayı ana dokusu östenit olan ve içinde genellikle lamel veya küresel grafit bulunan dökme demirdir [3].

2.2.2 Küresel grafitli dökme demir

Küresel grafitli dökme demir, bileşimindeki grafit küresel şekilde olan dökme demirdir. Bu dökme demire, nodular veya sfero döküm de denir. Özel olarak elde edilen bu dökme demir, grafit yapısından dolayı bu ismi almıştır. Karbonun yaprağımsı lamelden, küre şekline dönüşmesini sağlamak amacıyla, ergimiş dökme demire az miktarda magnezyum veya seryum katılır. Küresel şekilli grafitler, dökme demire yumuşaklık kazandırır. Kırılmış yüzeyi parlak görünüşlüdür. Şekil 2.1 b’de küresel grafitli dökme demirin mikroyapısı görülmektedir.

2.2.3 Beyaz dökme demir

Beyaz dökme demir, alaşım katılaştığında, bileşimindeki karbon, sementit (Fe_3C) halinde olan dökme demirdir. Kırılmış yüzeyi beyaz kristal görünüşlüdür ve çok serttir [3]. Şekil 2.1 c’ de beyaz dökme demirin mikroyapısı görülmektedir.

Beyaz dökme demirler yüksek aşınma direnci ve sertliğe sahiptirler. Bu özellikleriyle cevher kırıcıları, öğütücü değirmen bilyeleri, çeşitli astarlar, tarım alet ve makinaları, pistonlar ve dişlileri, çeşitli konveyörler, greyder bıçakları, pompalar, diskler, tuğla kalıpları, segmanlar ve çubuklar, madencilik ve mineral sanayi gibi yüksek abrasif aşınma direnci gerektiren yerlerde kullanılırlar [5].

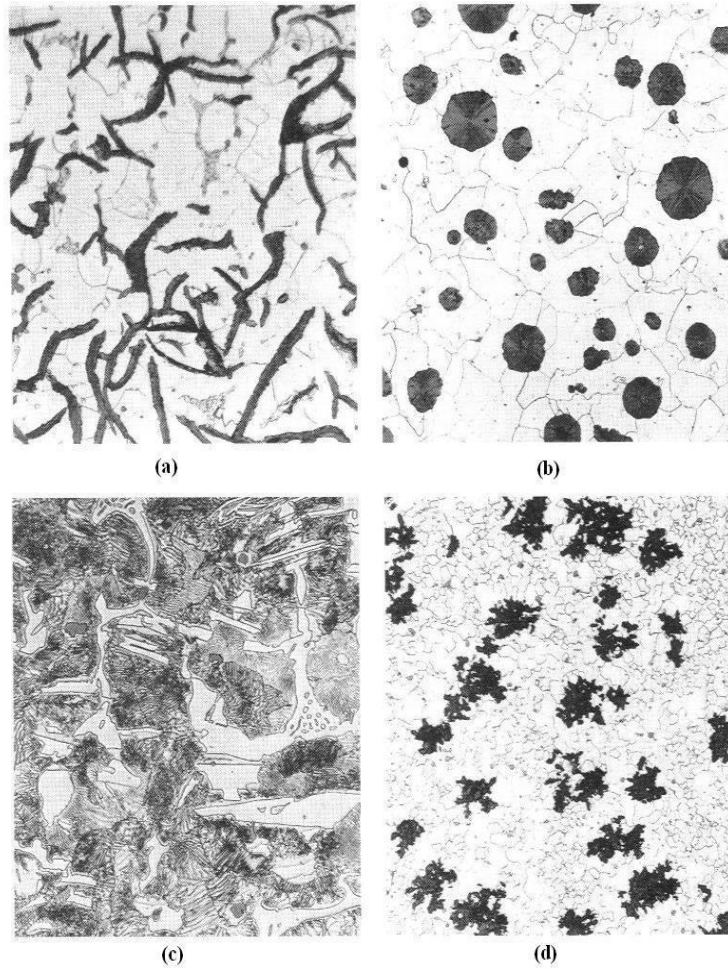
2.2.4 Temper dökme demir

Temper dökme demir, uygun kimyasal bileşimdeki sementit dokulu beyaz dökme demirin temperlemeye elverişli boyut ve biçimde dökülmüş ve sonradan ısıtıl işlem (tavlama - temperleme) yapılarak bileşimindeki karbonu, rozet şekilli grafit kümeleri şekline getirilmiş bir dökme demirdir [3]. Şekil 2.1 d’de temper dökme demirin mikroyapısı görülmektedir.

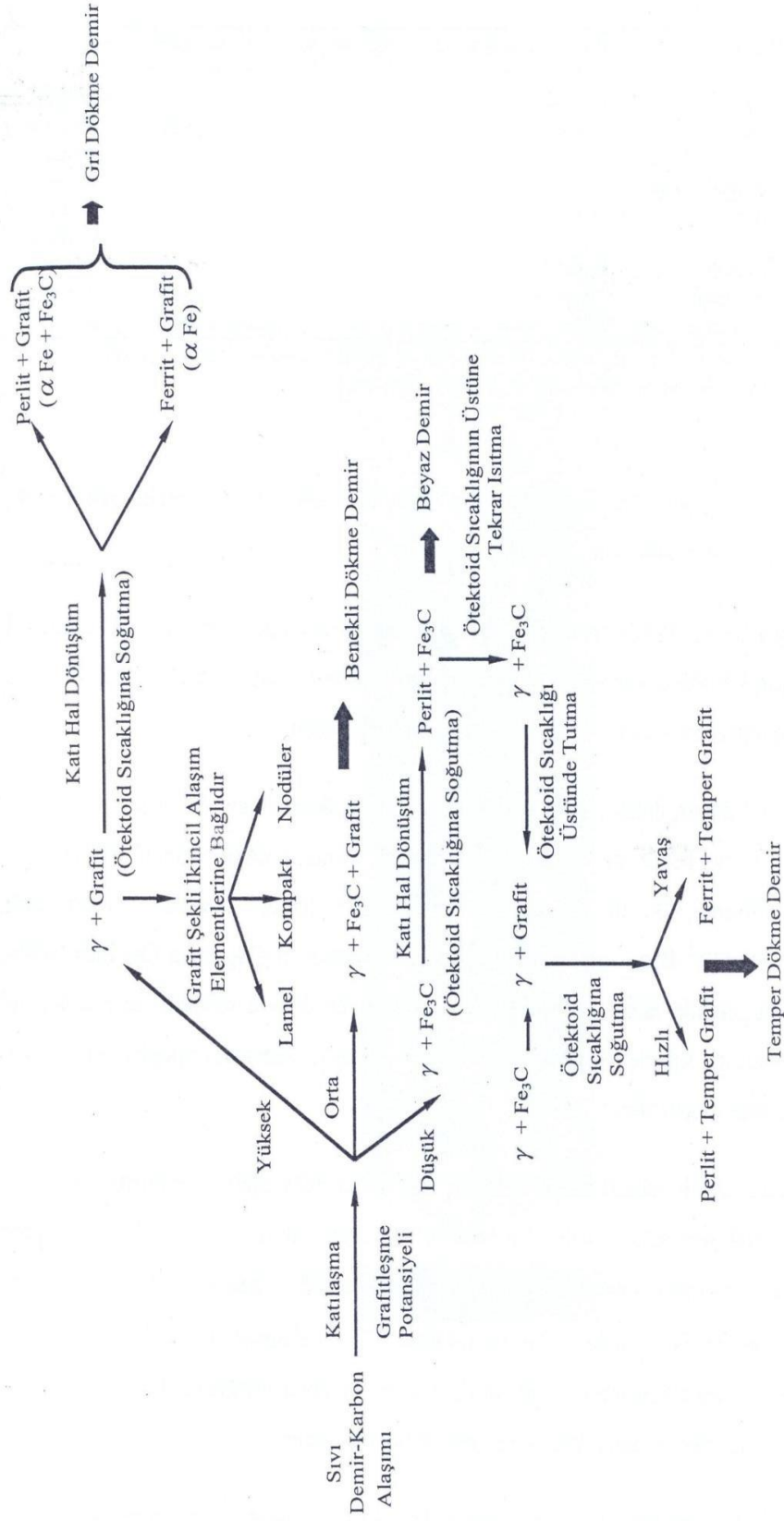
Temper dökme demirin çeşitleri aşağıdaki gibidir :

1. Siyah temper dökme demir : Siyah temper dökme demir, uygun kimyasal bileşimindeki sementit dokulu beyaz dökme demirin nötr bir ortamda uzun süre belli sıcaklıkta (östenit alanında) ısıtılmasıyla hazırlanan bir temper dökümdür. Kırılmış kesiti genellikle siyah renktedir [3].

2. Beyaz temper dökme demir : Beyaz dökme demir, uygun kimyasal bileşimdeki sementit dokulu beyaz dökme demirin, oksitleyici bir ortamda uzun süre belli sıcaklıkta (östenit alanında) ısıtılmasıyla hazırlanan bir temper dökümdür. Kırılmış kesiti genellikle beyaz renktedir [3].



Şekil 2.1 : Çeşitli dökme demirlerin mikroyapıları. (a) Gri dökme demir. (b) Nodüler dökme demir. (c) Beyaz dökme demir. (d) Temper dökme demir [6].



Şekil 2.2 : Dökme demirlerin sınıflandırılması ve mikroyapıları [7].

2.3 Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirler

Yüksek aşınma dirençli beyaz dökme demirler kararlı karbür yapısı oluşturmak için krom ile alaşımlandırılırlar. Krom grafit yerine karbür yaparak, kararlı karbon zengini ötektik faz oluşturur. Genellikle Fe_3C ve Cr_7C_3 halinde olan karbürler karbür yapıcı elementlerin ilavesi ile daha kompleks yapılar olan $(\text{Cr,Fe})_7\text{C}_3$ ve $(\text{Fe,Cr})_3\text{C}$ 'a dönüşebilir. Beyaz dökme demirde yüksek krom miktarı ($>\%10$) yapıda kararlı M_7C_3 karbürleri oluşturur [8,9,10].

Yüksek kromlu beyaz dökme demirler genel olarak iyi aşınma direnci ve tokluk özellikleri gösterirler. Bu nedenle geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Cevher kırıcıları, öğütücü değirmen bilyeleri, çeşitli astarlar, tarım alet ve makinaları, pistonlar ve dişlileri, çeşitli konveyörler, greyder bıçakları, pompalar, diskler, tuğla kalıpları, segmanlar ve çubuklar, madencilik ve mineral sanayi gibi yüksek aşınma direnci gerektiren yerlerde yüksek alaşımlı beyaz dökme demirler kullanılır [1,7].

2.3.1 Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde mikroyapı

Beyaz dökme demirlerin üstün aşınma direnci doğrudan mikroyapılarının bir sonucudur. Mikroskobik ölçekte birçok aşınma prosesi, aşındırıcı tanelerinden birinin, metalin yüzeyine girmesi, deformasyon ve aşınma çizikleri oluşturması ve yüzeyden parçalar koparak gerçekleşir. Bunun kesme veya oyma gibi bir mekanik işlem prosesine benzediği ve aşınma parçacıklarının talaşlı işleme talaşlarına benzediği görülür. Bu mekanizmanın gerçekleşebilmesi için aşındırıcı partikülün metalden sert olması gerekir [11,12,13]. Partikül metalden yumuşaksa, proses, korozyon veya oksidasyona benzer ve sadece önemsiz bir miktarda aşınma oluşur.

2.3.1.1 Karbürler

Yüksek kromlu beyaz dökme demirler yapıda bulunan krom karbürlerin etkisiyle çok yüksek sertliğe ve aşınma direncine sahiptirler. Mikroyapıda iki çeşit karbür bulunur: süreksiz ötektik karbürler ve ikincil karbürler. Karbürler mikroyapıda hacimce % 40-50 oranında bulunurlar. Şekil 2.3'te krom/karbon oranının yapıdaki karbürlerle ilişkisi görülmektedir. Karbürler mikroyapıda hacimce % 40-50 oranında bulunur, bunun dışında kalan kısım matristir. Oluşan bu karbürler demirdeki krom/karbon oranı ile belirlenir. Yapıdaki yüksek krom içeriği karbürleri kararlı hale getirir [14,15].

Çizelge 2.1’de bu malzemelerin mikroyapısında bulunabilen karbürler ile bunların sertlikleri verilmiştir. Karbürlerin sertlikleri bileşime göre değişmektedir.

Çizelge 2.1 : Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin mikroyapısında bulunan karbürlerin sertlikleri [14].

Karbür Tipi	Sertlik (HV)
M_3C	840-1100
M_7C_3	1200-1800
M_2C	1500

Çizelge 2.2’de ise görüldüğü gibi karbürler çok karmaşık ve farklı kristal yapılara sahiptirler.

Çizelge 2.2 : Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin mikroyapısında bulunan fazlar ve kafes parametreleri [14].

Faz	Kafes Yapısı
Fe	HMK
γ Fe	YMK
Fe	HMK
Cr	HMK
Fe_3C	Ortorombik
$Cr_{23}C_6$	YMK
Cr_7C_3	Hekzagonal
Cr_3C_2	Ortorombik
σ (% 14,7 Cr)	Tetragonal

Alaşımli beyaz dökme demirler, aşınmaya karşı olan dirençlerini mikroyapı içindeki sert ötektik karbürlerden alır. Bu alaşımların aşınma dayanımı ve kırılma tokluğu bu sert karbürlerin, tip, oran ve morfolojisi ile dendritik ve ötektik matris yapısına bağlıdır. Aşınma direnci için kullanılan dökme demirlerin çoğunluğu şekil 2.4’ te görüldüğü gibi ötektikaltı ve birincil östenit fazında bulunurlar. Katılaşmaları birincil östenitin çekirdeklenmesi ve büyümesini takiben östenit ve karbürli ötektik yapıya dönüşmesi şeklinde olur [14,16].

2.3.1.2 Matris

Aşınma direnci ve tokluğun yüksek olabilmesi için beyaz dökme demirin mikroyapısında uygun karbür ve matrisin bulunması gereklidir. Matris için yapılabilecek optimum seçim ikincil karbürlerle sertleştirilmiş yüksek karbonlu sert martenzittir. Diğer bir alternatif ise ısıt işlemlerle sertleştirilebilen kararsız östenittir [11].

Karbon artışı ile birlikte martenzitin aşınma direnci artar. Isıl işlem sonucu martenzitik matrise dağılan ikincil karbürler aşınma direncinde artış sağlar. Temperleme ile aşınma direnci düşmektedir.

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde karbürler matris içinde dağılmışlardır. Matris yumuşak olduğunda aşınır ve karbürler matristen kopar. Bu durumda karbürlerin aşınma dirençlerinin yalnızca bir kısmından yararlanılabilmiş olunur.

Matris yumuşak olursa karbürlerin kırılma eğilimi yüksek ve aşınma direnci daha düşük olur. Matris yumuşadıkça akma noktası düşmektedir. Yumuşak matris, sürtünme sırasında oluşan mekanik gerilmelere karşı karbürlere gerekli desteği sağlayamaz. Sonuçta karbürler kırılır. Bu nedenle mikroyapıdaki perlit varlığı da önemlidir. Beyaz dökme demirlerde mikroyapıda bulunan perlit miktarı %10' u aştığı zaman aşınma direnci düşmektedir [12].

Östenitik yapıdaki yüksek krom-molibdenli beyaz dökme demirler %12 Mn içeren Headfield çeliği gibi aşınma esnasında oluşan gerilmelerin etkisiyle deformasyon sertleşmesine uğrayabilir. Ancak mekanik gerilmelerle sertleşebilen östenitik matris, martenzitik matris kadar aşınmaya dirençli olmadığı Çizelge 2.3' te görülebilir.

Çizelge 2.3 : Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde matris yapısının aşınma kaybına etkisi [11].

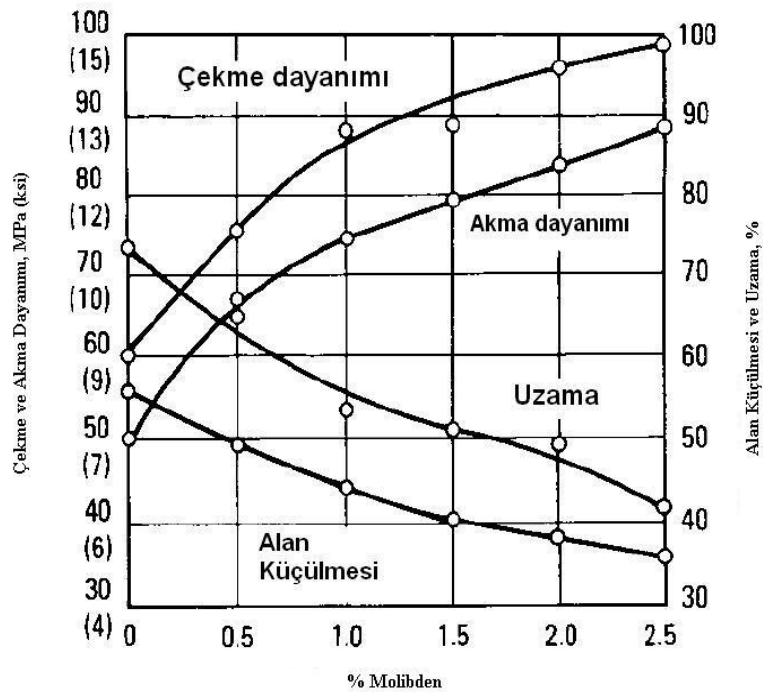
Matris	Oyma Aşınması Kaybı (g)	Öğütme Aşınması Kaybı (g)	HB
Perlit	0,41	0,14	406
Östenit	0,09	0,08	564
Martenzit	0,04	0,04	840

Çizelge 2.3' teki sıralama endüstriyel olarak birçok kırma ve öğütme operasyonundaki datalarla doğrulanmaktadır.

Mekanik gerilmeler etkisiyle martenzitik dönüşüme uğrayan östenitik veya kısmi östenitik matrisin bir dezavantajı, sıcaklıktaki bir artışla matrisin tekrar kararsız hale gelmesidir. Bu faz dönüşümleri sonucu oluşan hacim değişikliği, dökümün kırılmasına veya yüzeyde mikro çatlaklar oluşmasına yol açar.

Martenzitik beyaz dökme demirler için yüksek aşınma direnci istenen yerlerde, % 0.5- % 3 arası molibden ilavesi etkili bir biçimde perlit oluşumunu engeller. Molibden; bakır, krom ve nikel ile birlikte kullanıldığında etkisini artırır. Molibdenin bakır, nikel ve mangan'a göre üstün olan özelliği, kalıntı östenite sebep olmadan sertleşebilirliği arttırmasıdır [9].

Molibden perlit engelleyici özellikleri sayesinde yüksek kromlu dökme demirlerde büyük avantaj sağlar. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde (% 12 - % 18) aşınma direncini arttırmak için kullanılır. % 1-4 molibden ilavesi, dökümler yavaş soğutulsa bile perlit oluşumunu engellemede çok etkilidir [9]. Şekil 2.5' te molibdenin çekme özelliklerine etkisi görülmektedir.



Şekil 2.5 : Molibdenin beyaz dökme demirin çekme dayanımına etkisi [9].

2.3.2 Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde ısıt işlemleri

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin ısıt işlemleri esnasında kırılma riskini ortadan kaldırmak için ısıtmanın ve soğutmanın kontrollü bir şekilde yapılması gerekir. Kırılmayı önlemek için 650 °C' a kadar yavaş ısıtmak gerekir. Kompleks dökümler için tamamen perlitik olan ve basit şekilli döküm parçalar daha hızlı ısıtılabilir. Isıtma hızı, parçanın kızıl-sıcak duruma gelmesiyle arttırılabilir [12].

Östenitleme: Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde östenitleme sıcaklığı 950-1070 °C arasındadır. Sertleştirme ısıt işleminde maksimum sertliği elde etmek için, östenitleme sıcaklığı kimyasal bileşime göre belirlenmelidir. ASTM A 532' ye göre %12-20 Cr içeren 2. sınıf beyaz dökme demirler 855-1010 °C' da, %23-28 Cr içeren 3. sınıf beyaz dökme demirler, 1010-1095 °C' da östenitlenirler. Kalın kesitli dökümler, genellikle sıcaklık aralığının üst noktasına yakın sıcaklıklarda östenitlenirler. Döküm parçalar, krom karbürlerin çözülmesi ve karbonun dengeli dağılımıyla yeterli sertliği vermesi için, östenitleme sıcaklığında yeterli süre tutulmalıdır (östenitleme sıcaklığında en az 4 saat). Kalın kesitli parçalar için 1 saat/25.4 mm yeterlidir. Yapısı tamamen perlitik olan dökümlerde tutma süresi kısaltılabilir.

Östenitleme sıcaklığı, östenit matris içerisinde çözünen karbon oranını belirler. Östenitleme sıcaklığının aşırı yüksek olması durumunda; östenitin kararlılığı artacağından kalıntı östenit oranı artar. Sonuçta, kalıntı östenit, döküm parçanın sertliğini düşürür. Östenitleme sıcaklığının aşırı düşük olması durumunda; az karbonlu martenzit elde edilir. Sonuçta, döküm parçanın sertliği ve aşınma direnci düşer. Östenitleme işleminin sıcaklığa olan duyarlılığı nedeniyle fırınların istenilen sıcaklığı sağlayabilmeleri önemlidir [12].

Su verme: Östenitleme sıcaklığından perlit oluşum sıcaklığının (550-600 °C) altına kadar havada (genelde vantilatör kullanılarak) soğutulur. Sonra, ısıt gerilimleri azaltmak için, fırında veya havada oda sıcaklığına kadar soğutulur. Kompleks ve kalın kesitli parçalar, 550-600 °C sıcaklığındaki fırınlara yerleştirilir ve sabit sıcaklıkta uniform sıcaklığa gelmesi beklenir. Bu aşamadan sonra, havada veya fırında oda sıcaklığına kadar soğutulur [12].

Temperleme: Sertleştirme ısıt işlemleri sonucunda oluşan martenzitik yapının tokluğunu arttırmak ve kalıntı gerilimleri azaltmak için temperleme işlemi uygulanır.

Temperleme işleminde döküm parça 205-230 °C’ da 2-4 saat bekletilir. Genelde, su vermeden sonra döküm parçanın yapısında %10-30 oranında kalıntı östenit bulunur. Düşük sıcaklıklarda temperleme sırasında kalıntı östenitin bir kısmı martenzite dönüşür. Fakat, döküm parçada kabuklaşma problemi var ise temperleme sıcaklığı arttırılmalıdır.

Büyük ve kalın kesitli parçalarda sertleştirme ısı işlemi ile elde edilen martenzitik yapıdaki kalıntı östenit miktarını azaltmak ve kabuklaşma direncini arttırmak için daha yüksek sıcaklıkta temperlenirler. Tipik temperleme işlemi; 480-540 °C sıcaklık aralığında 8-12 saat bekletilir. Temperleme sıcaklığı ve zamanı, parça boyutuna, kimyasal bileşime ve önceki ısı işleme bağlıdır. Gereğinden daha fazla sıcaklık veya bekletme süresi, döküm parçanın sertliğini ve aşınma direncini düşürür. Yetersiz temperleme ise kalıntı östenitin azalmasını sağlayamaz [12].

Tavlama (Yumuşatma): Döküm parçaların işlenebilme kolaylığını sağlamak için uygulanır. Tavlama, alt kritik ve tam tavlama şeklinde yapılır. Alt kritik tavlamada, döküm parça 695-705 °C’ da 4-12 saat bekletilerek 400-450 Brinell sertlik değeri elde edilir. Tam tavlamada ise döküm parça 955-1010 °C sıcaklık aralığından 760 °C’a yavaşça soğutulur ve bu sıcaklıkta bileşime bağlı olarak 10-50 saat bekletilir. Tam tavlamada daha düşük sertlik elde edilir.

Tavlama işlemi, birincil karbürleri ve sertleştirme potansiyelini etkilemez. Tavlanan döküm parçalara, normal sertleştirme işlemi uygulanabilir [12].

2.3.3 Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin uygulama alanları

Yüksek krom içeren beyaz dökme demirlerdeki üstün aşınma direnci ve tokluk, bu malzemelerin aşınmaya maruz birçok uygulamada kullanılmasının nedenidir. Geniş bir kullanım alanına sahiptirler.

Cevher kırıcıları, öğütücü değirmen bilyeleri, çeşitli astarlar, tarım alet ve makinaları, pistonlar ve dişlileri, çeşitli konveyörler, greyder bıçakları, pompalar, diskler, tuğla kalıpları, segmanlar ve çubuklar, madencilik ve mineral sanayi gibi yüksek aşınma direnci gerektiren yerlerde yüksek alaşımlı beyaz dökme demirler kullanılır [11].

2.4 Yüksek Kromlu Çelikler

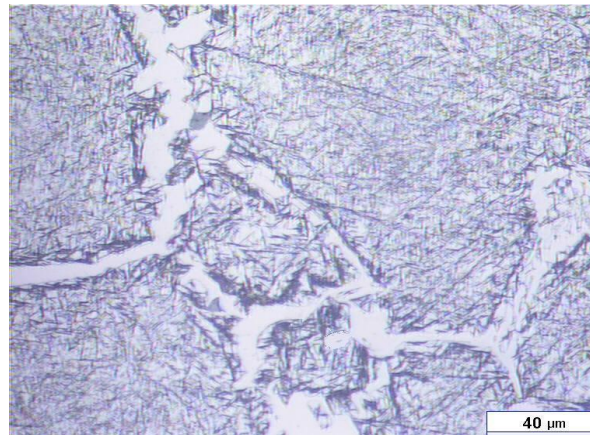
Krom, alaşım elementi olarak çeliklere en fazla katılan elementtir. Kuvvetli karbür teşkil eder. Çelikteki karbonla birleşerek çok sert olan krom karbür meydana getirir.

Krom çeliğin dönüşmesini yavaşlatır. Dönüşme hızının düşük olması nedeniyle kromlu çelikler daha fazla ve çekirdeğine kadar sertleşir. Krom çeliğin ince taneli olmasını sağlar. Krom çeliklerin akma direncini, dayanımını ve sertliğini önemli derecede yükseltir. Yüksek aşınma mukavemeti verir ve kesme özelliğini artırır. Yüksek kromlu çelikler, paslanmaya ve korozyona ve krom karbür oluşumu dolayısıyla, aşınmaya çok dayanıklıdır. Krom oranı arttıkça kaynak yapılma özelliği azalır. Her %1 Cr artışı ile çekme dayanımı 8- 10 Kg/mm² akma sınırı da buna yakın bir oranda yükselir, darbe dayanımı ise biraz düşer.

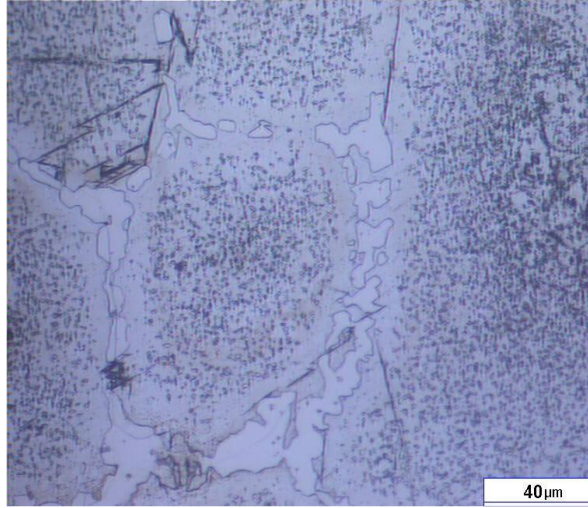
Kromlu çelikler talaşlı işleme tabi tutulmadan önce yumuşatma işlemi görürler. Yüksek kromlu çeliklerde, krom, karbürün erimesi için sertleştirme sıcaklığında uzun müddet tutulmalıdır. Kromlu çelikler dövme ve ısı işlemlerine karşı hassastırlar. Dikkatle işlenmelidirler [20].

2.4.1 Yüksek kromlu çeliklerde mikroyapı

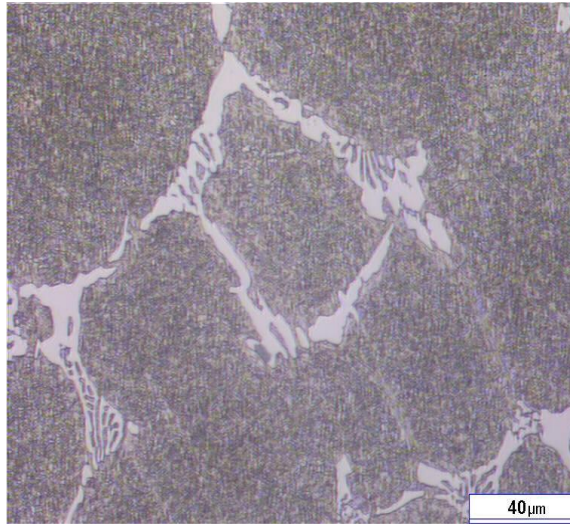
Karbon ve krom içerikleri önemli miktarda ötektik M₇C₃ karbürler oluşturur. Vanadyum ve molibden gibi diğer elementler martenzitik matrisin termal yumuşama direncini artırma amacıyla katılırlar ve böylece aşınmaya karşı direnci artırıcı etkide bulunurlar. Şekil 2.6, 2.7 ve 2.8’ de, bileşiminde %1.5 C ve % 13 Cr içeren çeliğe ait mikroyapı resimleri gösterilmiştir [21].



Şekil 2.6 : 1050 °C’ de 1 saat östenitleme işleminden sonra yüksek kromlu çeliğin mikroyapısı (500X).



Şekil 2.7 : 1100 °C’ de 1 saat su verme işleminden sonra yüksek kromlu çeliğin mikroyapısı (500X).



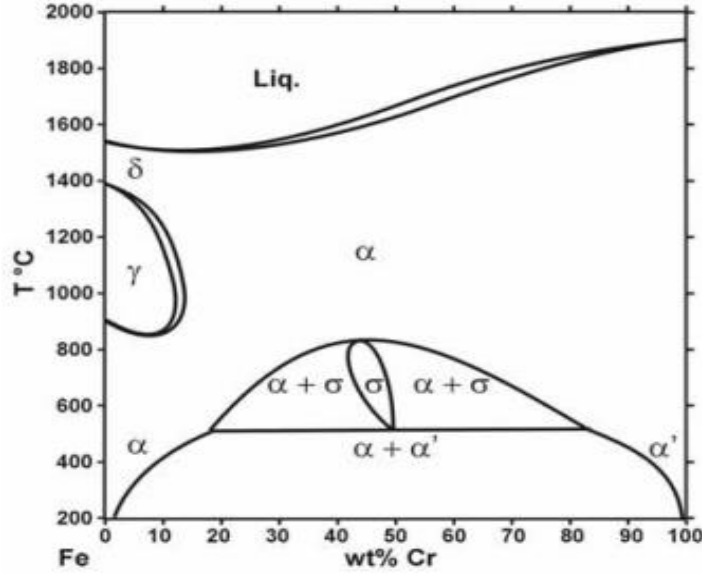
Şekil 2.8 : 1000 °C’ de 12 saat su verme işleminden sonra yüksek kromlu çeliğin mikroyapısı (500X).

2.4.2 Yüksek kromlu çeliklerde ısıt işlem

Çelikte ana ısıt işlem prosedürleri östenit dönüşümünü içerir. Bu dönüşüm ürünlerinin özelliği ve görünüşü çeliğin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirler. Isıt işlemde ilk adım östenit oluşturmak için malzemeyi belli bir kritik sıcaklığıyla ısıtmasıyla başlar.

Demir-krom alaşımları “sade Cr” alaşımları olarak da bilinmektedirler. Bu alaşımlar %9-28 arası Cr içerirler ve bileşimlerinde çok az oranda Ni vardır veya hiç yoktur.

Şekil 2.9’ da Fe-Cr ikili diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 2.9 : Fe- Cr ikili diyagramı [17].

Fe-Cr alaşımlarının bazı grupları aşağıda incelenmiştir.

HA Alaşımları (%9 Cr- %1 Mo): HA alaşımlarının bileşiminde bulunan Cr, 650 °C’de iyi oksidasyon direnci sağlar. Bileşimde bulunan Mo ise alaşımın mukavemetini artırır. Cr içeriği artırıldığında (%12-14 Cr) bu alaşım cam endüstrisinde de kullanılabilir. HA alaşımları, karbürlerin de yer aldığı ferritik matrisli mikroyapıya sahiptir. Bu alaşımların sertleşmesi 815 °C’den havada soğutma ile gerçekleşebilir. Normalize edilmiş ve temperlenmiş durumlarda yeterli tokluğa sahiptirler. HA alaşımlarının genel uygulama alanları; pervane kanatları, fırın merdanesi, petrol rafineri endüstrisinde rafineri teçhizatları ve silindir yatağı şeklinde sıralanabilir.

HC Alaşımları (%28 Cr): HC alaşımları ferritik matrise sahiptir. 1100 °C’nin üzerindeki sıcaklıklarda kükürt gazlarına ve oksidasyona dirençlidir. Bu alaşımın kullanıldığı mühendislik uygulamalarında mukavemet çok önemli değildir. Sünekliği ve tokluk oda sıcaklığında düşüktür. Bileşimindeki Ni miktarının düşük olması nedeniyle yüksek sıcaklıklardaki sürtünme mukavemeti de çok düşüktür. %2’ den fazla Ni içeren HC alaşımlarında süneklik, darbe ve sürünme direnci daha yüksektir. HC alaşımlarının uygulama alanları; tuğla fırın parçaları, boru birleştirme halkaları, fırın ızgara çubukları, gaz çıkış taşıyıcıları, karıştırıcı bıçaklar ve tuz potaları şeklinde sıralanabilir [22].

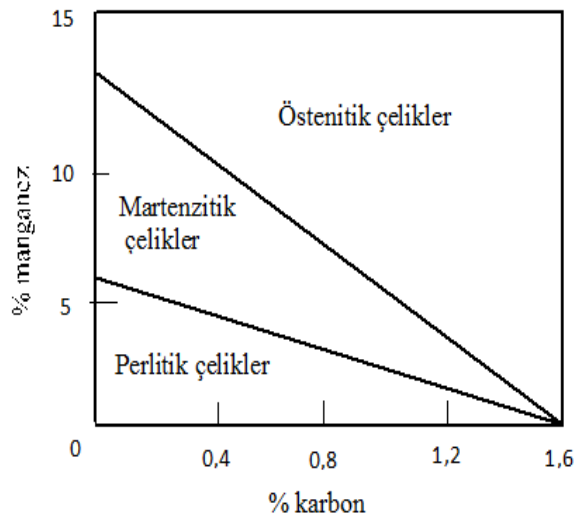
2.4.3 Yüksek kromlu çeliklerin uygulama alanları

Yüksek kromlu çelikler yüksek sertlik ve iyi aşınma direnci özellikleriyle metalürji, madencilik, maden işleme, çimento sektörlerinde ilgi görmektedir. İçerdikleri yüksek miktardaki ötektik karbürler, bu mekanik özelliklerin sağlanmasında etkili olmaktadır.

2.5 Yüksek Manganlı Çelikler

Temel bileşimi genellikle %11-14 Mn ve %1.1-1.4 C olan yüksek manganlı çelikler, yüksek mukavemet ve süneklik özellikleri ve yüksek aşınma ve darbe direncine sahip olmaları sayesinde birçok sanayi alanında kullanılmaktadır. Biçimlendirilmek için talaşlı işlenmesi hemen hemen olanaksızdır ancak dökülebilmekte ve taşlanabilmektedir [23].

Östenitik iç yapılarının yanısıra basınç ve darbe etkisiyle soğuk şekil değiştirme sertleşmesi sonucu yüzeylerinde sert ve aşınmaya dirençli bir tabaka oluşmaktadır. Bu üstünlüklerinden ötürü, özellikle madencilik ve toprak işleme makinalarının parçalarında kullanılmaktadır [23]. Şekil 2.10' da bileşimdeki C ve Mn yüzdelerinin değişimine göre elde edilen çelik cinsleri gösterilmiştir.

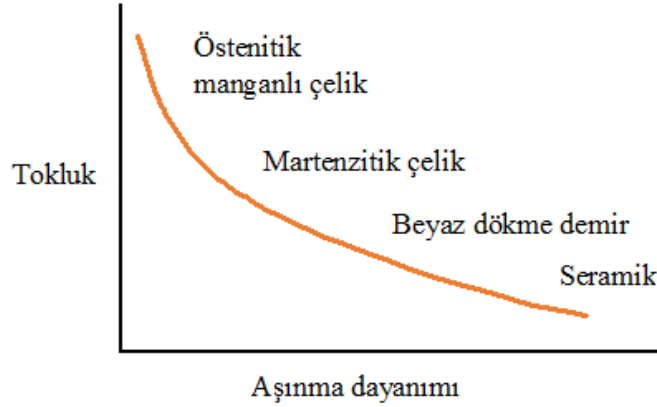


Şekil 2.10 : Bileşimindeki C ve Mn yüzdelerine göre elde edilen çelik cinsleri [24].

2.5.1 Yüksek manganlı çeliklerde mikroyapı

Yüksek manganlı östenitik çeliklerde Mn:C oranı genellikle 10:1 şeklinde olmaktadır. Bu çeliklerde doku östenit olup, östenit kristallerinde ikizlenmeler görülmektedir. Şekil 2.11' de farklı malzemelerin tokluk ve aşınma dirençleri karşılaştırılmıştır.

Günümüz endüstrisinde oldukça yaygın kullanım alanına sahip yüksek manganlı çelikler tok, sünek, mukavemetli, aşınmaya dirençli, yüksek şekil değiştirme sertleşmesi gösteren malzemelerdir. Bu tür çeliklere gerektiğinde mekanik özelliklerini ve aşınma direncini iyileştirmek için alaşım elementleri olarak Cr, Mo, Va, Cu, Ti ve Bi da katılmaktadır [23].



Şekil 2.11 : Farklı malzemelerin tokluk ve aşınma dirençlerinin karşılaştırılması.

%2-10 arasında Mn, çeliğe gevreklik verir. %1-1.2 C bileşimindeki çelikte eğer Mn içeriği %11-14 arasına arttırılırsa tok, aşınma dirençli bir yapı uygun ısıl işlemde sonra elde edilebilir. Fazla miktarda Mn' nin varlığı ile kritik sıcaklık yeterince düşmekte ve kritik soğuma oranı azalmaktadır. Eğer çelik hızla soğutulur ise; yüksek karbon bileşeni ile uyumlu mangan, martenzit başlama sıcaklığını -200 °C ye indirdiğinden, çelik östenit yapıda olacak, tok ve de sünek olacaktır [23].

Östenitik manganlı çeliklerde C bileşenindeki azalma, akma mukavemetinde azalmaya neden olmaktadır. Bunun yanında, çok yüksek C bileşeni ısıl işlemde ya da dökümde problemlere neden olabilmektedir. Üretimde çatlak oluşumu ve serviste gevrek kırılma bu problemlerin bazılarıdır. Yüksek C'lu östenitik çeliklerde tavlama sırasında gerekli önlemler alınmaz ise yüzeyden Mn ve C kaybı oluşur ve parça su içinde soğutulduğunda bu ince tabaka kırılgan ve sert martenzite dönüşür. Kalın parçalarda kullanım koşullarında bu sert tabaka kırılır ve çatlak ilerlemesi alttaki tok kısma gelince durur; bu olay sadece yorulmaya maruz çok ince parçalarda tehlike arzeder [23].

Östenitin stabilitesi ise katı çözeltideki Mn ve C bileşeni ile belirlenmiştir. Çözeltideki yüksek karbon bileşeni çok daha dengeli östenit için gereklidir [23].

Genellikle krom %1-2 olarak katılmaktadır. %2.5' un altında krom eklenmesi akma mukavemetinde az bir artışa neden olur. %1-2 Mo eklenmesi de kroma benzer bir şekilde akma mukavemetini yükseltir [23].

Si dezoksidasyon elementi olarak katılır. Çelikte %1 Si bulunur ve silisyum içeriğinin %2' ye yükselmesi halinde akma sınırı yükselir ve sürekli darbe karşısında çeliğin yığılma direnci artar. %2' den fazla Si bileşeni süneklik üzerinde ters etkilidir [23].

Ni östenit yapıcı etkisi nedeniyle kaynak edilebilirliği iyileştirmek amacı ile katılır. Mukavemet ve aşınma direnci üzerine hemen hemen etkisi yoktur [23].

Fosfor ve kükürt süreksizliği haddelenmiş östenitik manganlı çeliklerde doğrultuya bağlı özelliklerin ortaya çıkmasına neden olur; döküm parçalar halinde ise bunlar zararsız kabul edilir. Fosforun zararlı etkileri daha çok yüksek karbonlu manganlı çeliklerde görülmektedir. Fosfor seviyesi %0.03' ten az olduğunda çok daha az çatlama problemleri ortaya çıkmaktadır [23].

2.5.2 Yüksek manganlı çeliklerde ısıt işlemleri

Östenit mangan çeliklerinde 1050°C'de uygulanan tav işlemi sonrasında 500 °C'de eş sıcaklıklı soğutma ile bir ısıt işlem uygulanırsa, oda sıcaklığında elde edilen doku, östenit kristalleri ve bunların sınırlarına ayrıışmış olan demir karbürlerden (sementit) oluşur. Bu tür sert mangan çeliklerinde şekillendirme zor olduğundan, üretimleri döküm yoluyla gerçekleştirilmektedir.

Yüksek manganlı östenitik çeliklerin su verme işlemi sonucunda tokluk ve çentik darbe mukavemetlerinin önemli bir şekilde kaldığı görülmektedir. Ayrıca, ısıt iletkenlik katsayısının düşük ve doğrusal ısıt genleşme katsayısının yüksek olması ısıt işlem altındaki davranışlarını koruyabilmek için en önemli özellikleridir [23].

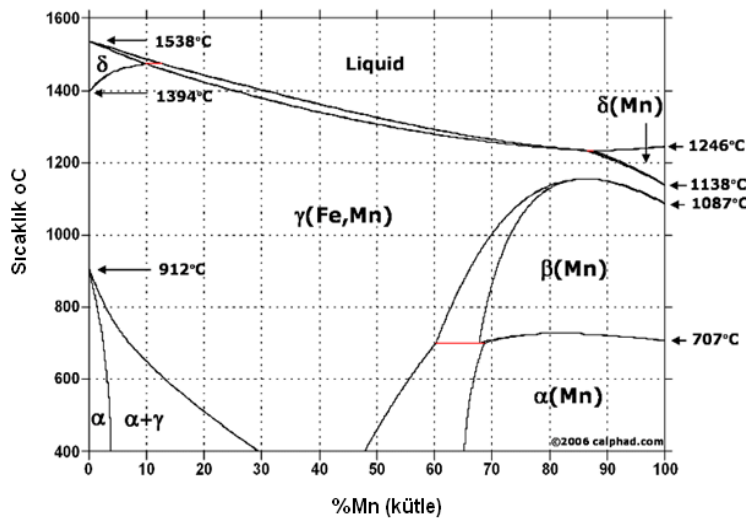
Bütün östenitik alaşımlar gibi manganlı çelikler de düşük sıcaklıklarda tok olarak kalırlar. -38 °C' de oda sıcaklığındaki çentik darbe mukavemetlerinin %50 ile 85' ine sahiptirler. Bütün atmosferik sıcaklıklarda kuzey kutbu iklimlerinde dahi önemli bir tokluğa sahiptirler. Bu yüzden sıfır altı sıcaklıklarda çalışan madencilik ve demiryolu çalışmalarında kullanıldığında ferritik çeliklere nazaran önemli bir emniyet faktörü sağlamaktadırlar. -253° C' de alaşımlar tamamen gevrek hale geçer [23].

Östenitik manganlı çeliklerde döküm ve yeniden ısıtma işlemleri, östenitin dengesizliği ve östenitin ayrışmasının neden olduğu gevreklikten dolayı bazı problemler ortaya çıkarmaktadır [23].

Östenitik Mn' li çeliklerde karbür ya da perlit oluşumları genellikle dökümden sonra 1050-1150 °C' de östenitizasyon sıcaklığından itibaren suda soğutma ile önlenmektedir. Ancak, madencilik tesisleri veya büyük kepçeler için kalın kesitli ağır dökümler halinde, alaşım elementleri eklenmeksizin sadece suda soğutma ile karbür ya da perlit oluşumlarından kaçınmak olanağı yoktur [23].

Östenitin kararlılığındaki problem, normal suda sertleştirme yönleri ile tamamen östenitleştirilen kalın kesitlerde ve aynı zamanda çatlama ve çarpılmalardan sakınmak için sınırlandırılan soğuma oranlarında özel bir dikkat gerektirir. İnce kesitli parçalar çözelti sıcaklığından itibaren suda sertleştirme ile tamamen östenitikleştirilebilir ancak böyle bir işlem çatlama ve çarpılma olasılığından dolayı ani kesit değişimli parçalara uygulanamaz. Bu nedenle, daha yavaş bir soğuma hızı gereklidir ve yapıdaki uygun bir değişiklik çok yavaş soğumadan sonra bile dönüşmeden kalan östeniti dengelemek için yapılır. Benzer şekilde, uygun bir bileşim merkezin çok daha yavaş soğuduğu kalın kesitler için de kabul edilebilir ve karbür bileşeni çökelmedikçe östenit, özellikle dengelidir [23].

Östenitizasyon işleminden sonra (1050 °C, suda soğutma) eğer çelik 24 saat sabit sıcaklıkta tutulur ise 250-800 °C sıcaklık aralığında karbür oluşumu meydana gelir. 750 °C' de tane sınırlarındaki ve tane içindeki karbürler birleşmektedir. Östenit yavaşça ayrışmaktadır. Şekil 2.12' de demir- mangan faz diyagramı görülmektedir.



Şekil 2.12 : Demir-mangan faz diyagramı [23].

Artan karbon içeriği, tanelerarası ve iğnesel karbürlerin çökmesine neden olur. Uygun bir ısıtıl işleminden sonra %2 Mo ve %2 V eklenmesi tanelerarası karbürlerin görünüşünü değiştirir. Bu durumda tanelerin etrafında oluşan karbürler uzun süreli bir film gibi değil de kaynaşmış şekilde görülür. Mo, perlit dönüşümünü yavaşlatmakta ve belirli bir Mo içeriğinin üzerinde, iğnesel karbürlerin oluşumu tamamen engellenmektedir [23]. %2 Cr ilavesi, tane sınır karbürlerinin oluşumunu hızlandırır ve perlit bileşeninin oluşumunu yavaşlatır [23]. %0.5' e kadar Ti, tane sınırı karbür tabakaları oluşturma eğilimini azaltmaktadır. %0.5' ten fazla Ti, karbür çökmesini arttırmakta ve tokluğu şiddetle düşürmektedir. %0.5-1.0 aralığındaki Si, gevrekleşen karbür filmlerini oluşturmakta ve perlit oluşumunu hızlandırarak iğnesel karbürlerin çökmesini arttırmaktadır [23].

2.5.3 Yüksek manganlı çeliklerin uygulama alanları

Yüksek manganlı çelikler, darbeli ve sürtünmeli çalışmalarda aşınmaya çok mukavim buna ek olarak kırılmalığa da dayanıklı yerlerde örneğin; kırma, ezme makinalarında, değirmenlerin darbeye ve sürtünmeye maruz parçaların imalinde, iş makinalarının kepçe tırnaklı kazma aksamında, taş ocaklarında, zincirli konveyör parçalarında, çimento değirmenlerinde, yüksek fırın ve diğer tesislerin zırhlarında uygulama alanı bulmaktadır [23].

Östenitik manganlı çelik, yüksek aşınma direnci, yüksek tokluk, yüksek süneklik ve yüksek çalışma sertleşmesi kapasitesi özellikleri ile bir mühendislik malzemesi olarak tercih edilmektedir. Ayrıca, küçük kompozisyon modifikasyonu ve uygun ısıtıl işlemler sonrasında toprak ve kum gibi maddeleri taşıma ve üretim işlerinde, madencilik uygulamalarında, taş ocaklarında, petrol sondaj çalışmalarında, çelik üretiminde, demiryolu malzemelerinde, orman ve ağaç işlerinde, çimento ve kil üretiminde kullanıldığı gibi taş kırıcılar, öğütücüler, kum tarağı sepetleri gibi yeryüzü madenlerini işleme sürecinde kullanılmaktadır. Östenitik manganlı çelikler demiryolu işlerinde makas, makas durumunu gösteren işaret cihazı, geçiş yeri gibi tekerin çarpma etkisinin kuvvetli olduğu yerlerde, otomobil geri dönüşüm sistemlerinde kullanılan parçalayıcı çenelerin üretiminde ve tank rampalarının üretiminde de yaygın olarak kullanılmaktadır [25].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler

Deneysel çalışmalar için döküm yöntemi ile üretilmiş farklı bileşimlerde alaşım elementi içeren yüksek kromlu beyaz dökme demir, yüksek kromlu çelik ve yüksek manganlı çelik malzeme gruplarına ait dokuz adet numune üzerinde çeşitli analizler ve testler yapılmıştır.

Çizelge 3.1’ de deneylerde kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri verilmektedir.

Çizelge 3.1 : Deneylerde kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri.

Numune No	Kimyasal Bilesim Elementleri (%)						
	C	Cr	Si	Mn	P	S	Mo
1	0.4	7.38	0.28	0.8	0.006	0.008	0.34
2	1.53	13.4	0.48	0.42	0.007	0.019	0.3
3	1.53	13.4	0.48	0.42	0.007	0.019	0.3
4	3.16	20.2	0.68	0.54	0.04	0.039	1.55
5	3.16	20.2	0.68	0.54	0.04	0.039	1.55
6	2.84	25.8	0.49	0.47	0.046	0.033	
7	2.84	25.8	0.49	0.47	0.046	0.033	
8	1.16	0.37	0.34	11.6	0.034	0.007	
9	1.34	1.8	0.37	17	0.044	0.02	

Tüm numunelere 920-1050 °C aralığında tavlama işlemi uygulanmış olup, ısıtım işlem sonrası soğutma şekilleri Çizelge 3.2’ de belirtilmiştir. Ayrıca numunelerin Cr/C oranları da hesaplanmış olup Çizelge 3.3’ te gösterilmektedir.

Çizelge 3.2 : Numunelerin ısıtıl işlem sonrası soğutma tipleri.

Numune No	Isıl işlem sonrası soğutma şekli
1	Fan ile
2	Fan ile
3	Yağda
4	Fan ile
5	Yağda
6	Havada
7	Yağda
8	Suda
9	Suda

Çizelge 3.3 : Numunelerin Cr/C oranı.

Numune No	Cr/C oranı
1	18,45
2	8,76
3	8,76
4	6,39
5	6,39
6	9,08
7	9,08
8	0,32
9	1,34

3.2 Mikroyapı İncelemeleri

Malzemelerin iç yapılarını tespit etmek için metalografik çalışmalar yapılmıştır. Malzemeler, kesme makinesinde malzemenin mikroyapısını yansıtacak şekilde uygun bölgelerden kesilmiş ve sıcak bakalite alma cihazında bakalite alınmıştır. Bakalite alınan numuneler sırayla 400, 600, 800, 1000, 1200 No' lu SiC zımparalarla zımparalandıktan sonra 3µm elmas pasta ile parlatılmıştır. Parlatılan yüksek kromlu çelik ve yüksek kromlu beyaz dökme demir numuneler %4' lük pikral çözeltisinde 30 saniye süreyle dağlanmıştır. Yüksek manganlı çelik numuneler ise %4' lük nital ile 60 saniye süreyle dağlanmıştır. Ardından numuneler optik mikroskopta incelenmiş ve farklı büyütmelerde fotoğrafları çekilmiştir.

3.3 X-Işınları Difraksiyon (XRD) Analizleri

3 ve 5 numaralı malzemeler, X- ışınları analizine tabi tutulmuşlardır. Bu numuneler için X-ışınları difraksiyon grafikleri elde edilmiştir.

3.4 Sertlik Ölçümleri

Numunelerin sertlikleri Rockwell sertlik ölçüm cihazında HRC cinsinden ölçülmüştür. Rockwell sertlik ölçümünde batıcı uç, malzeme üzerine 10 kg (100 N) ön bir yükleme ile batırılır. Sonra batıcı uca ana yük uygulanarak elde edilen derinlik ölçülür, HRC için ana yük 150 kg'dır. Her numune için 5 ölçüm yapılmış ve bu ölçümlerin ortalaması alınmıştır.

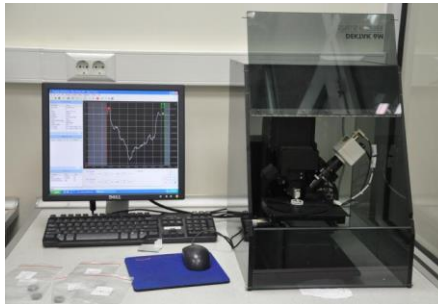
3.5 Aşınma Deneyleri

Numuneler Şekil 3.1' de görülen cihazda aşınma testlerine tabi tutulmuştur. Test parametreleri 3 N yük, 10.0 mm/s kayma hızı, 5 mm iz mesafesi ve 50000 mm aşınma toplam yolu olarak belirlenmiştir. Testler için 6 mm çapında alümina aşındırıcı top kullanılmıştır. Testler oda sıcaklığında ve % 25 nem oranına sahip ortamda yapılmıştır.



Şekil 3.1 : Tribo Tester aşınma deneyi cihazı.

Numuneler üzerinde açılan izler Şekil 3.2' de görülen Veeco Dektak 6m marka profilometre cihazı ile ölçülmüş ve aşınma alanları hesaplanmıştır.



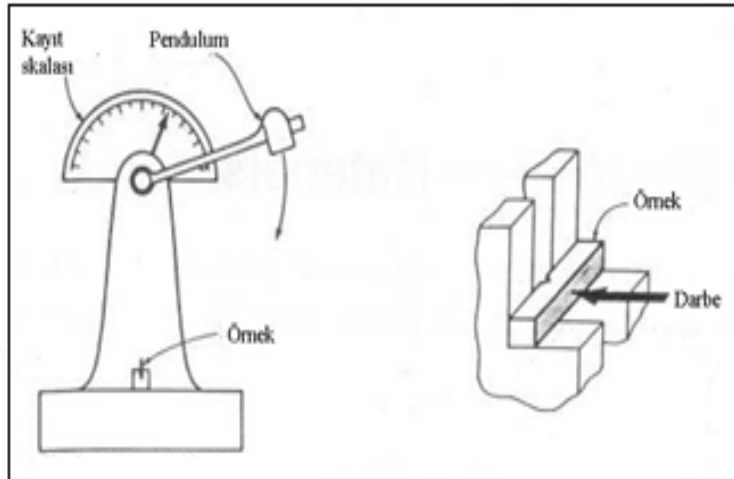
Şekil 3.2 : Profilometre cihazı.

3.6 Çekme Deneyleri

Çapı 10 mm ve ölçü uzunluğu 50 mm olan çekme numuneleri, çekme cihazının çenelerine bağlanmış ve numuneler kırılncaya kadar eksenleri boyunca yük uygulanmıştır. Çekme hızı 2 mm/dk' dır. Çekme deneyi sonucunda numunelerin akma dayanımı ve çekme dayanımı gibi mukavemet değerleri kaydedilmiştir.

3.7 Darbe Deneyleri

Numuneler darbe testine tabi tutulmuştur. Çekme testinde numunelerin çoğunun gevrek kırılması gözlemlendiğinden ötürü, numunelere çentik açılmamıştır. Deneyde numunenin dinamik zorlama altında kırılması için gereken enerji, yani malzemenin darbe direnci belirlenmiştir. 55 mm uzunluğunda ve 10 mm en ve yükseklik ölçülerine sahip darbe numuneleri, deney düzeneğine yerleştirilmiş ve darbe enerjileri not edilmiştir. Şekil 3.3' te darbe deneyi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.3 : Darbe deneyi şematik gösterimi.

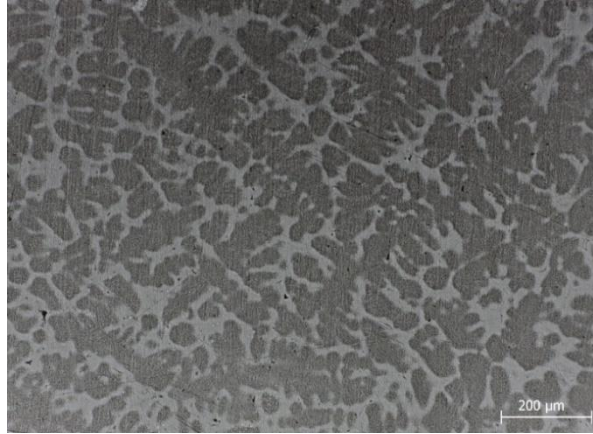
3.8 Taramalı Elektan Mikroskobu (SEM) Analizleri

Darbe testi uygulanan numunelerin kırık yüzeylerinden, SEM cihazında farklı büyütme ölçeklerinde görüntüler alınmıştır. Bu kırık yüzey görüntülerinden yola çıkılarak kırılma tipleri (sünek-gevrek kırılma), mikroyapı vs. hakkında yorumlar yapılmıştır.

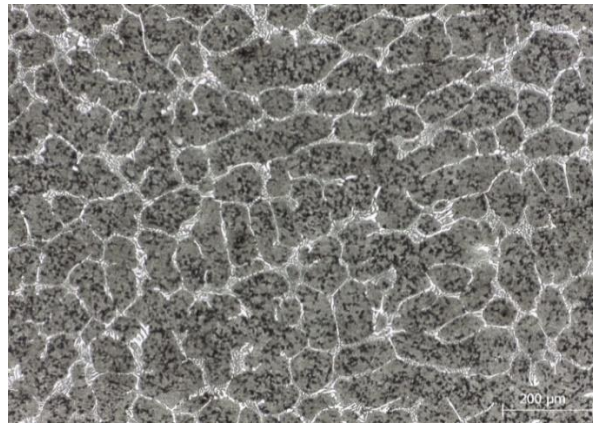
4. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

4.1 Mikroyapı İncelemeleri

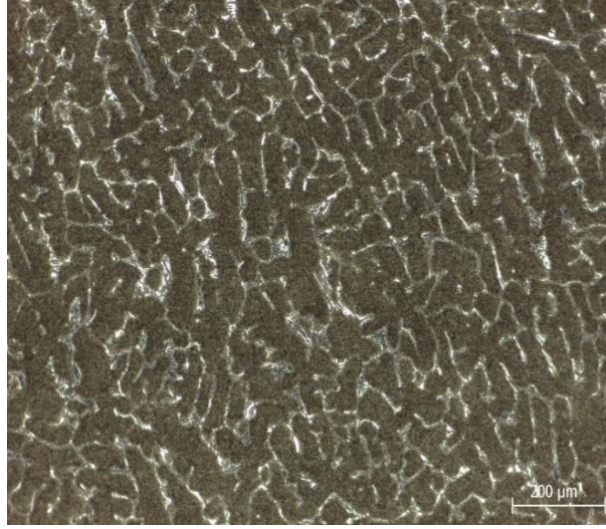
Tüm numunelerin 100 büyütmedeki optik mikroskop görüntüleri aşağıda verilmiştir. Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3' teki numune 1, 2 ve 3' e ait mikroyapı görüntülerinde döküm yapısı açıkça görülmektedir. Oldukça düzenli görünümlü ve dendritik yapı göze çarpmaktadır. Martenzitik matris içerisinde krom karbürler mevcuttur. Beyaz bölgeler karbürleri temsil etmektedir. Küçük siyah bölgeler ise döküm yapısındaki inklüzyonlar ve boşluklardır.



Şekil 4.1 : Numune 1' in mikroyapı görüntüsü (100X).

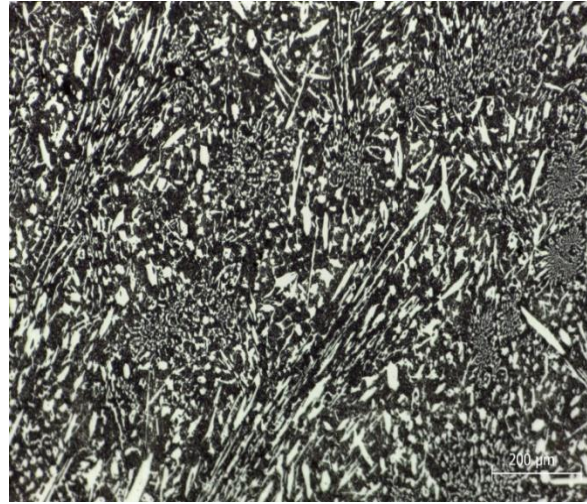


Şekil 4.2 : Numune 2' nin mikroyapı görüntüsü (100X).

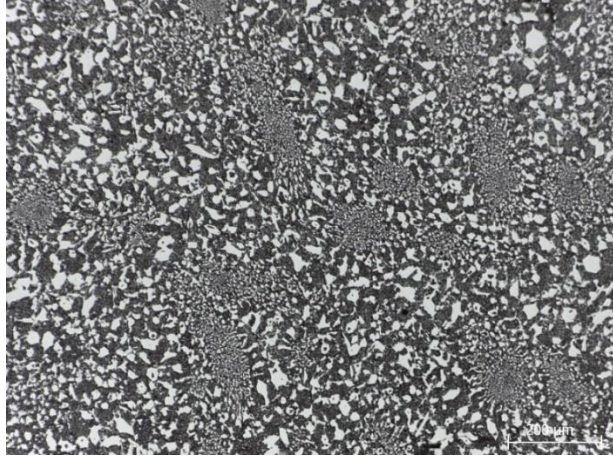


Şekil 4.3 : Numune 3' ün mikroyapı görüntüsü (100X).

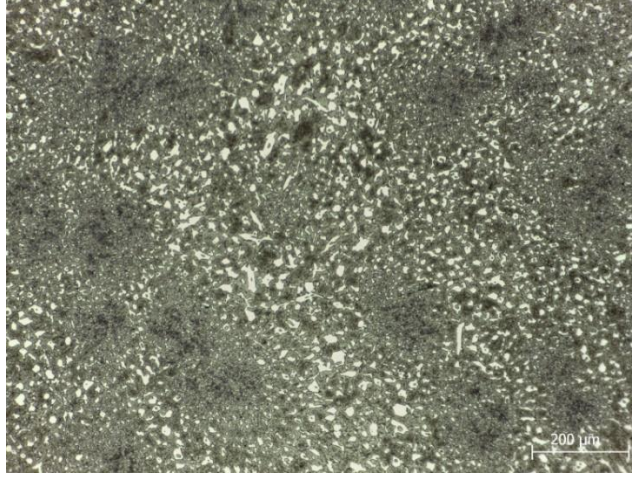
Şekil 4.4, 4.5, 4.6 ve 4.7' deki 4, 5, 6 ve 7 numaralı numunelerin mikroyapı görüntülerine bakıldığında beyaz dökme demir ailesine dahil oldukları anlaşılmaktadır. Mikroyapıda süreksiz ötektik karbürler ve ikincil karbürler olmak üzere iki çeşit karbür bulunmaktadır. Matris martenzitik yapıda olup; siyah bölgeler matrisi, beyaz bölgeler karbürleri temsil etmektedir. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde karbürler matris içerisinde dağılmıştır.



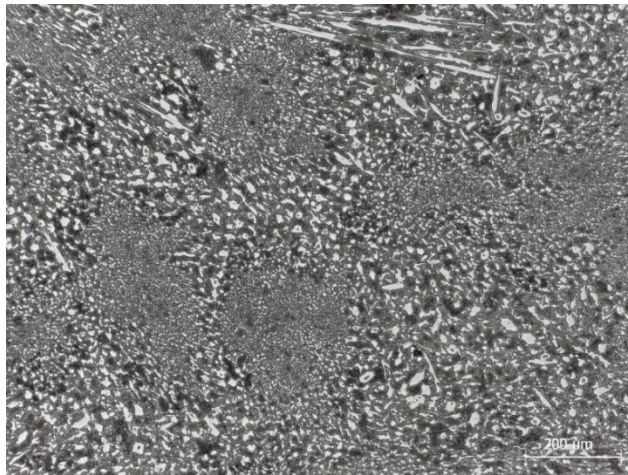
Şekil 4.4 : Numune 4' ün mikroyapı görüntüsü (100X).



Şekil 4.5 : Numune 5' in mikroyapı görüntüsü (100X).

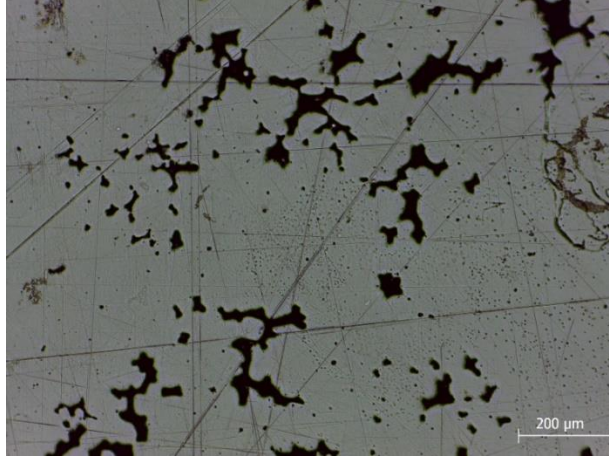


Şekil 4.6 : Numune 6' nin mikroyapı görüntüsü (100X).

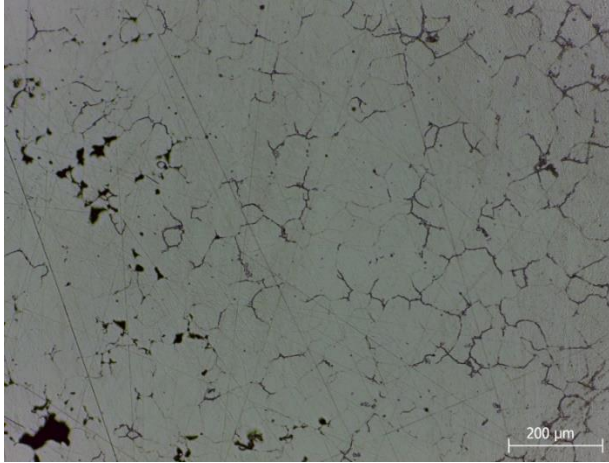


Şekil 4.7 : Numune 7' nin mikroyapı görüntüsü (100X).

Yüksek oranda Mn içeren 8 ve 9 numaralı numunelerin mikroyapı görüntüleri Şekil 4.8 ve 4.9’ da verilmiştir. Mikroyapılarda matris yapısı östenitik olup, taneler içinde ve tane sınırları boyunca karbürler ((Fe,Mn)₃C) görülmektedir. Siyah bölgeler karbürleri temsil etmektedir.



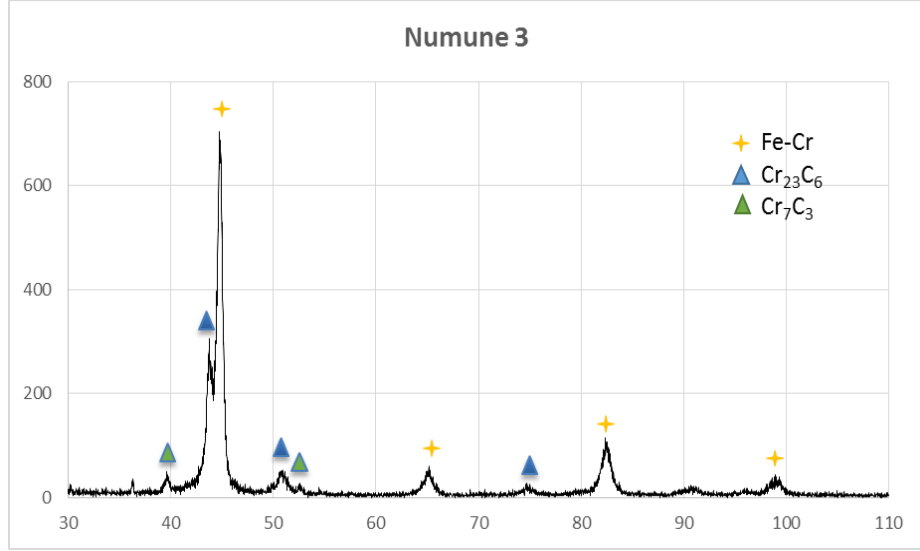
Şekil 4.8 : Numune 8’ in mikroyapı görüntüsü (100X).



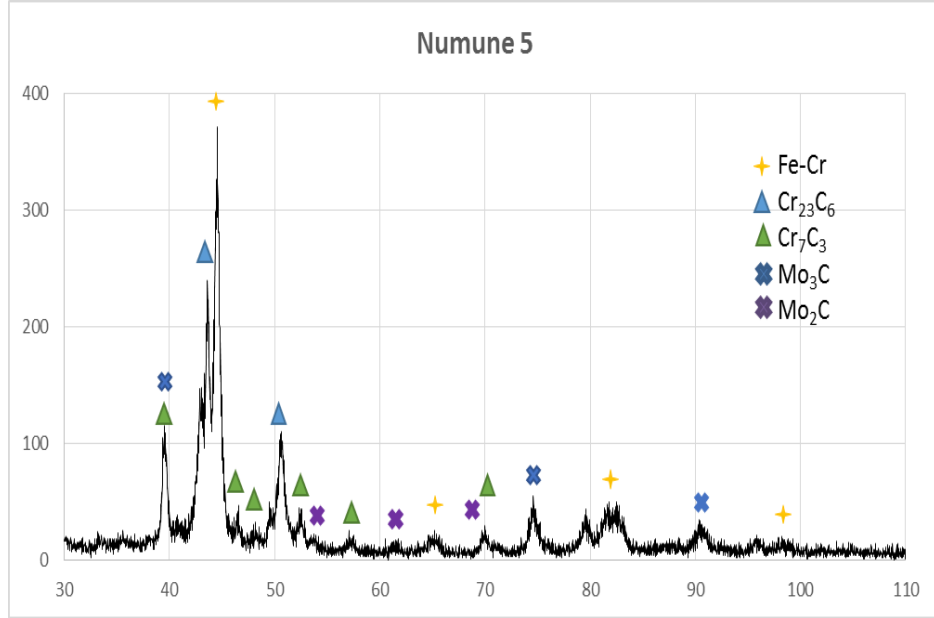
Şekil 4.9 : Numune 9’ un mikroyapı görüntüsü (100X).

4.2 XRD Analizi Sonuçları

3 numaralı yüksek kromlu çelik malzemeye ve 5 numaralı yüksek kromlu beyaz dökme demir malzemeye XRD analizi yapılmıştır. Elde edilen grafikler şekil 4.10 ve 4.11’ de verilmiştir. Yapılan analizlerde, literatür çalışmasında anlatılanlardan da beklenildiği üzere, yapıda karbürler tespit edilmiştir. İki numunede de başta Cr₇C₃ birincil karbürler olmak üzere krom karbürler mevcuttur. Numune 5’ te ayrıca, içerdiği molibden miktarından ötürü (%1,55) molibden karbürlerine rastlanılmıştır.



Şekil 4.10 : Numune 3' e ait XRD grafiği.



Şekil 4.11 : Numune 5' e ait XRD grafiği.

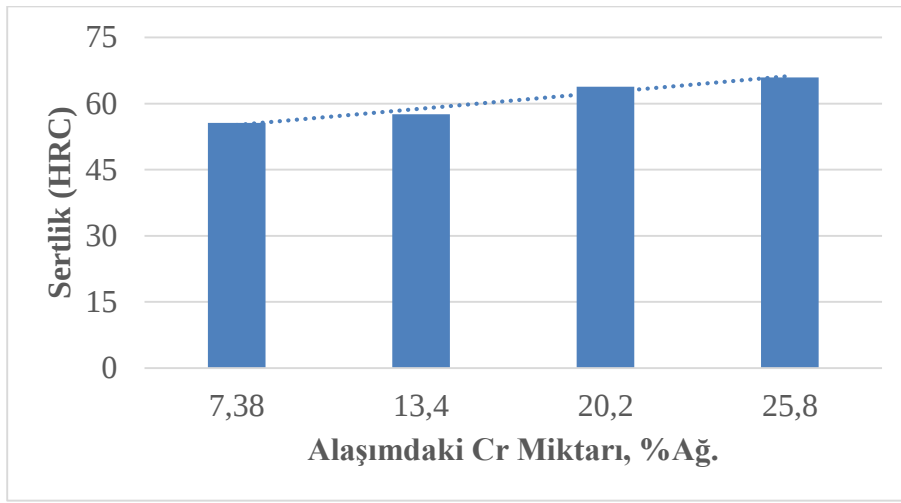
4.3 Sertlik Deneyi Sonuçları

Bütün numunelere en az 5 farklı noktadan sertlik ölçümleri yapılmış ve bunların ortalaması alınmıştır. Bu parçaların sertlik analizi sonuçları (Rockwell C cinsinden) Çizelge 4.1'de görülmektedir.

Şekil 4.12' de ise %Cr miktarına göre sertliğin değişimi görülmektedir.

Çizelge 4.1 : Numunelerin sertlik değerleri (HRC).

Numuneler	Sertlik(HRC)
1	55,6
2	54,2
3	57,6
4	63,8
5	65,3
6	63,8
7	65,9
8	10,7
9	18,9



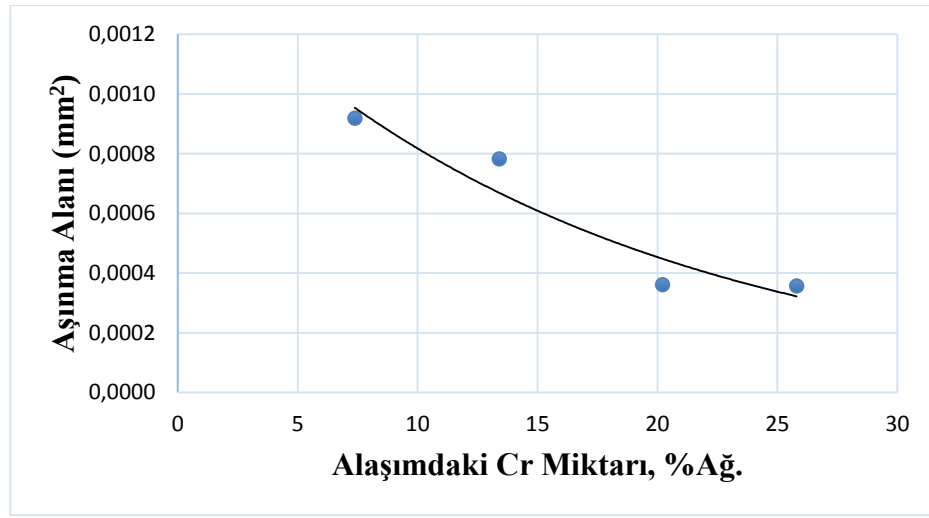
Şekil 4.12 : Alaşımdaki Cr miktarının sertliğe olan etkisi.

4.4 Aşınma Deneyi Sonuçları

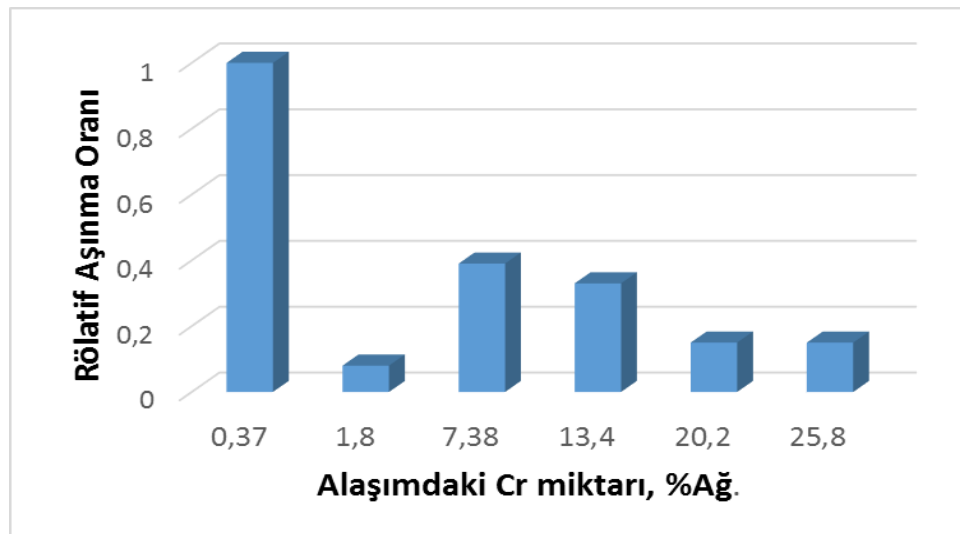
Numuneler üzerinde açılan izler profilometre ile ölçülmüş ve aşınma alanları elips alan formülüyle hesaplanmıştır. Numunelere ait profilometre grafikleri ve ortalama genişlik – ortalama derinlik değerlerinin olduğu çizelgeler ekler kısmında verilmiştir. Bu grafiklerden anlaşıldığı üzere; en fazla aşınmanın 8 numaralı manganlı çelikte olduğu (%11.6 Mn, %0.37 Cr) en az aşınmanın ise 9 numaralı manganlı çelikte olduğu (%17 Mn, %1.8 Cr) görülmektedir. Aşınma testine tabi tutulan numunelerin aşınma alanları μm^2 ve mm^2 cinsinden olmak üzere Çizelge 4.2’ de verilmiştir. Alaşımdaki Cr miktarının aşınma alanına ve rölatif aşınma direncine etkisi Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 : Numunelerin aşınma miktarları (μm^2 , mm^2).

Numuneler	Aşınma Miktarları (Alan, μm^2)	Aşınma Miktarları (Alan, mm^2)
1	917,85	0,0009
2	1217,09	0,0012
3	781,99	0,0008
4	356,18	0,0004
5	216,48	0,0002
6	356,46	0,0004
8	2333,84	0,0023
9	187,25	0,0002

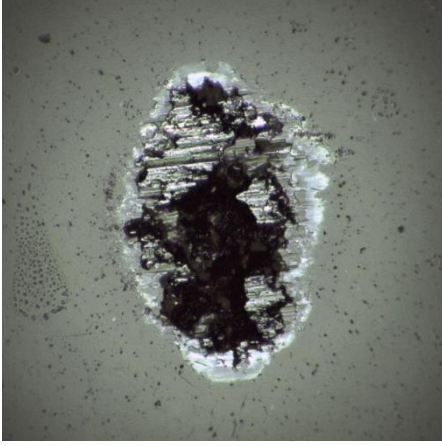


Şekil 4.13 : Alaşımdaki Cr miktarının aşınma alanına olan etkisi.

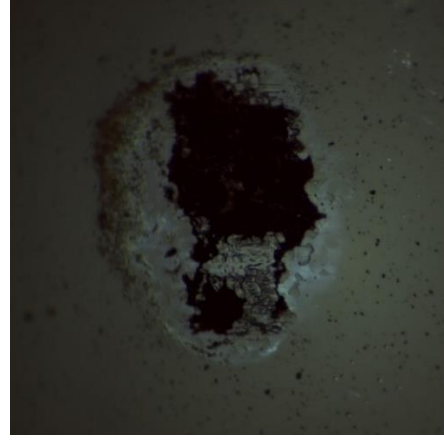


Şekil 4.14 : Alaşımdaki Cr miktarının rölatif aşınma oranına olan etkisi.

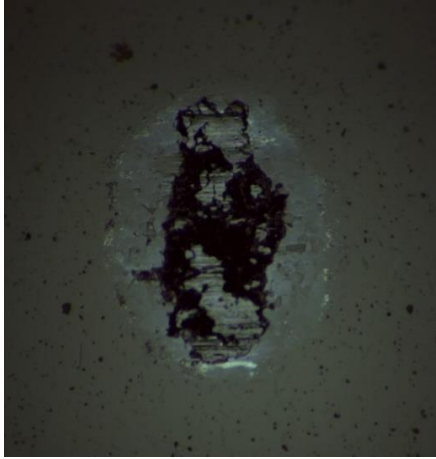
Aşınma testleri sonunda, testlerde kullanılan alümina aşınma toplarının optik mikroskopta çekilen fotoğrafları Şekil 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20, 4.21 ve 4.22’ de görülmektedir. Aşınma topları alkollü pamuk ile temizlenerek, 100 büyütmede temiz görünümeleri alınmıştır (nmn: numune, a.t.i: aşınma topu izi).



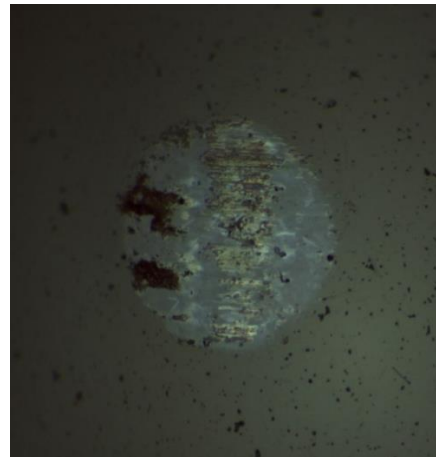
Şekil 4.15 : Nmn 1’ e ait a.t.i (100X).



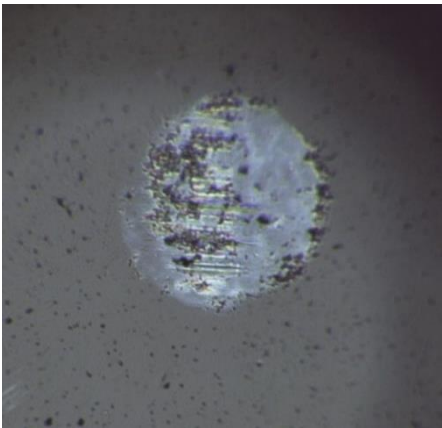
Şekil 4.16 : Nmne 2’ ye ait a.t.i (100X)



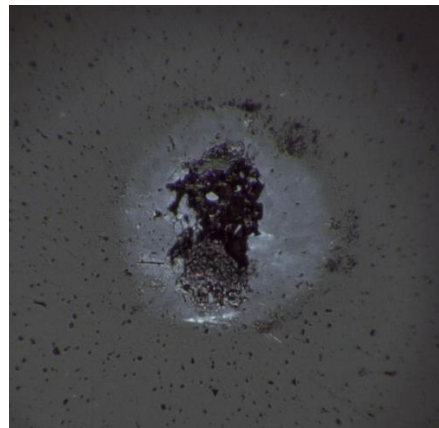
Şekil 4.17 : Nmn 3’ e ait a.t.i (100X).



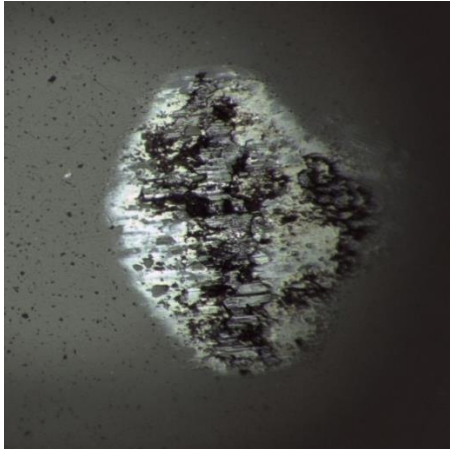
Şekil 4.18 : Nmn 4’ e ait a.t.i (100X).



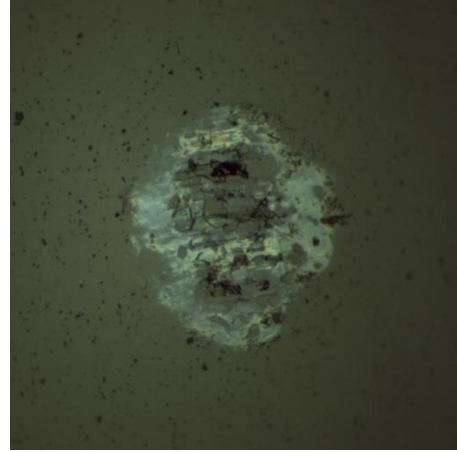
Şekil 4.19 : Nmn 5’ e ait a.t.i (100X).



Şekil 4.20 : Nmn 6’ ya ait a.t.i (100X).



Şekil 4.21 : Nmn 8' e ait a.t.i (100X).



Şekil 4.22 : Nmn 9' a ait a.t.i (100X).

4.5 Çekme Deneyi Sonuçları

Çekme testi uygulanan numunelerin çekme dayanımları Çizelge 4.3' te gösterilmiştir. Yalnızca numune 8 ve 9 yüksek manganlı çelikleri akma göstermiştir. Diğer tüm numuneler plastik deformasyon bölgesine ulaşamayıp, gevrek kırılmıştır.

Çizelge 4.3 : Numunelerin akma ve çekme dayanımı değerleri (MPa).

Numuneler	Çekme dayanımı (MPa)	
1	726,3	
2	429,5	
3	484,2	
4	442,1	
6	536,8	
7	342,1	
8	405,3	
9	605,3	
		Akma dayanımı (MPa)
		278,9
		394,7

4.6 Darbe Deneyi Sonuçları

Darbe testi uygulanan numunelerin darbe enerjileri Çizelge 4.4' te gösterilmiştir. %11.6 Mn içeren numune 8' in en yüksek darbe enerjisine sahip olduğu görülmektedir. Diğer çelik ve dökme demir numuneler düşük darbe enerjilerinde kırılmıştır. Buradan numune 8' in bütün numuneler içerisinde en tok ve sünek malzeme olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.4 : Numunelerin darbe dayanımı değerleri (J).

Numuneler	Darbe dayanımı (J)
1	6
2	6
3	8
4	4
6	4
7	6
8	171

4.7 Kırık Yüzeylerin Makro ve SEM Görüntüleri

Darbe testi uygulanan numunelerin kırık yüzeylerinin çekilen makro fotoğrafları Şekil 4.23, 4.24, 4.25, 4.26, 4.27, 4.28 ve 4.29’ da verilmiştir. Numune 8’ in kırılma bölgesinde plastik deformasyon gözlenmiş, diğer numunelerde plastik deformasyon gözlenmemiştir. Gevrek kırılma gösteren 1, 2, 3, 4, 6 ve 7 numaralı numunelerin kırılma yüzeyinin görünüşü düz olup kırık yüzeylerinin parlak ve granüler yapıda olduğu görülmektedir. Sünek kırılma gösteren 8 numaralı yüksek manganlı çelik numunenin kırık yüzeyinin mat ve lifli yapıda olduğu görülmüştür (nmn: numune, k.y.m.g.: kırık yüzey makro görünümü).



Şekil 4.23 : Nmn 1’ in k.y.m.g.



Şekil 4.24 : Nmn 2’ nin k.y.m.g.



Şekil 4.25 : Nmn 3' ün k.y.m.g.



Şekil 4.26 : Nmn 4' ün k.y.m.g.



Şekil 4.27 : Nmn 6' nın k.y.m.g.



Şekil 4.28 : Nmn 7' nin k.y.m.g.



Şekil 4.29 : Nmn 8' in k.y.m.g.

Darbe testi uygulanan numunelerin kırık yüzeylerine, ayrıca taramalı elektron mikroskopunda da bakılmış; 200,1000 ve 20000 olmak üzere üç farklı büyütmede görüntüler alınmıştır.

1, 2 ve 3 No' lu numunelerin kırık yüzeylerinin belirli bölgelerinde sıvı kalıntısı benzeri morfolojide yapılar da tespit edilmiştir. Dendrit yapılar, sıvı metalin katılaşması sırasında oluşur. Sıvı içinde oluşan katı dendrit çekirdekleri katılaşma sırasında büyür ve sıvıyı tüketir. Böylece dendrit kolları büyürken katılaşma gerçekleşir.

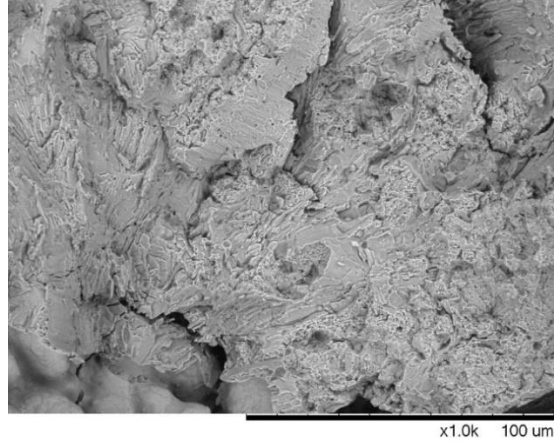
Çekme boşluğu vb. gözenekler içeren metal kırık yüzeylerinde dendrit kolları rahatlıkla seçilebilir. Bu nedenle, katılaşma sırasında oluşan çekme boşluklarının en doğru kanıtı gözenek içlerinde tespit edilen dendrit kollarıdır.

Şekil 4.30, 4.31 ve 4.32'de kırık yüzey üzerinde tespit edilen dendrit morfolojisine örnek yapılar gösterilebilir. Yine çekme boşluğunun bir göstergesi olan derin kaviteasyonlar da yapıda mevcuttur.

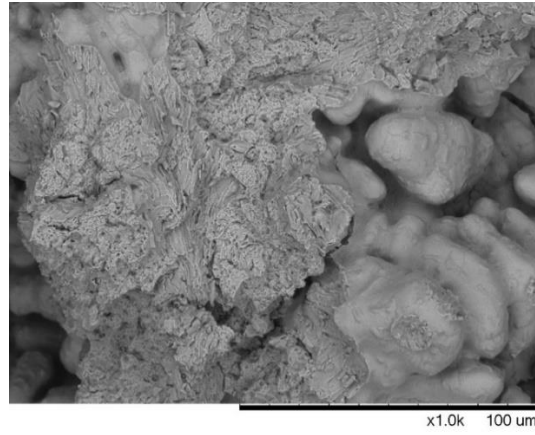
Bu sonuçlar ışığında, 1, 2 ve 3 No' lu numunelerin döküm aşamasından kalan gözenek vb. çekme boşlukları içerdiği söylenebilir [26].



Şekil 4.30 : Numune 1' in kırık yüzey SEM görüntüsü (1000X).

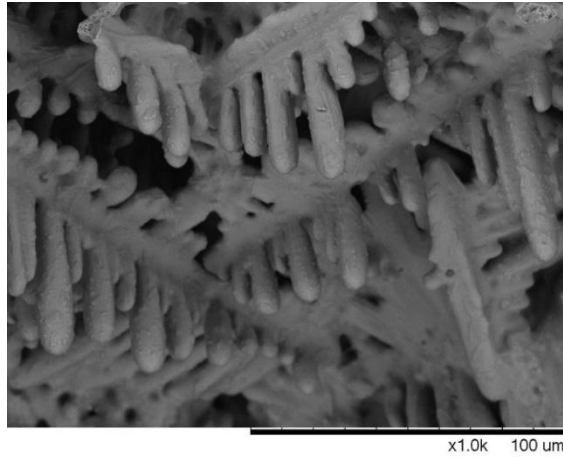


Şekil 4.31 : Numune 2' in kırık yüzey SEM görüntüsü (1000X).

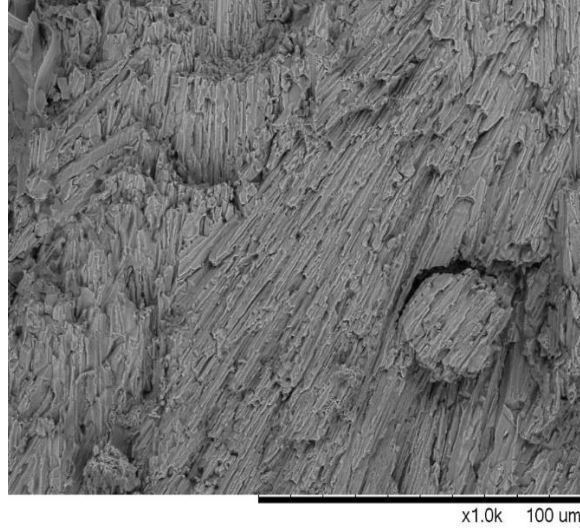


Şekil 4.32: Numune 3' ün kırık yüzey SEM görüntüsü (1000X).

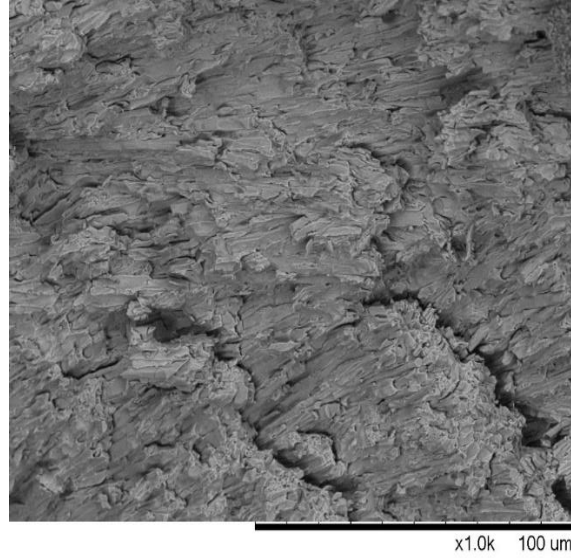
Numune 4' te var olan dendritler Şekil 4.33' te çok net bir şekilde görülmektedir. Döküm aşamasından kalan çekme boşlukları, bu morfolojinin oluşmasında rol oynamıştır. Numune 4, 6 ve 7' de kırılma, klivaj düzlemleri diye bilinen belirli kristallografik düzlemler boyunca meydana gelmiştir. Gevrek kırılma, Şekil 4.34 ve 4.35' te görüldüğü üzere, karakteristik klivaj kırılması şeklinde gerçekleşmiştir.



Şekil 4.33 : Numune 4' ün kırık yüzey SEM görüntüsü (1000X).

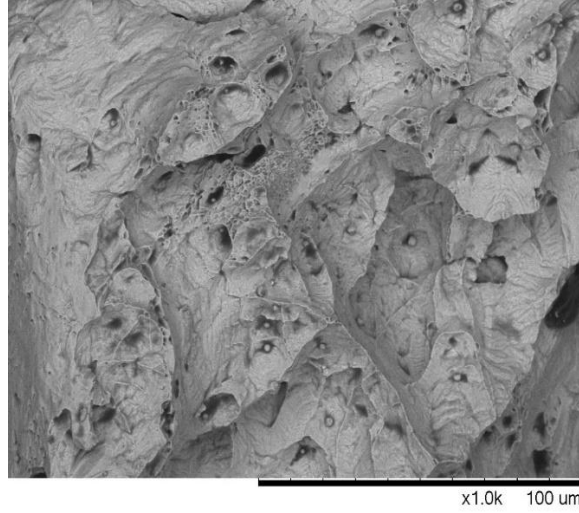


Şekil 4.34 : Numune 6' nın kırık yüzey SEM görüntüsü (1000X).



Şekil 4.35 : Numune 7' nin kırık yüzey SEM görüntüsü (1000X).

Numuneler içerisinde sünek kırılma gösteren tek numune, 8 No' lu yüksek manganlı çelik numune olmuştur. Kırılma yüzeyinin diğer numunelerden farklı olduğu dikkat çekmektedir. Kırılma yüzeyinde plastik deformasyonlar gerçekleşmiştir. Ara yüzeyler ve matrisin arasındaki bağın kopması sonucu, yapıda çukurcuklar (dimples) oluşur. Şekil 4.36' ya bakıldığında, yapıda çok sayıda çukurcukların mevcut olduğu açıkça görülmektedir. Bu küçük çukurcuklar birleşerek kırılma meydana gelmiştir.



Şekil 4.36 : Numune 8' in kırık yüzey SEM görüntüsü (1000X).

4.8 Soğutma Şeklinin Sertlik, Aşınma ve Dayanıma Etkisi

Çizelge 4.5' te aynı kimyasal bileşime sahip 2-3, 4-5 ve 6-7 numunelerinin soğutma ortamlarının, mekanik özelliklerine olan etkisi gösterilmiştir. Yağda soğutma şeklinin, hava ve fan ile soğutma şekline göre; daha hızlı soğuma olduğu bilinmektedir. Yağda soğutma uygulanan numunelerin, havada ve fan ile soğutma uygulanan numunelere göre daha iyi mekanik özellikler sergilediği görülmüştür.

Çizelge 4.5 : Aynı kimyasal bileşimde, soğutma tipinin mekanik özelliklere olan etkisi.

Numuneler	Soğutma Tipi	Sertlik (HRC)	Aşınma miktarı (Alan/ μm^2)	Darbe Dayanımı (J)
2	Fan ile	54,2	1217,09	6
3	Yağda	57,6	781,99	8
4	Fan ile	63,8	356,18	4
5	Yağda	65,3	216,48	
6	Havada	63,8	356,46	4
7	Yağda	65,9		6

5. GENEL SONUÇLAR

Deney numuneleri içerisinde en fazla aşınmaya uğrayan 1, 2 ve 3 No' lu numunelerin, Şekil A.3, A.6 ve A.9'da verilen 500 büyütmedeki optik fotoğraflarında mikroyapıları incelendiğinde, martenzitik yapı içerisinde dendritik dallanmalar mevcut olup; karbürler çoğunlukla tane sınırlarında birikmiş ve matris içinde düzenli dağılmamış biçimdedir. Krom karbürlerin (beyaz bölgeler) sütunsal halde olduğu gözlenmektedir. Homojen olmayan bu durum aşınmayı olumsuz etkilemektedir. Aşınma testlerinin sonuçlarına bakıldığında, söz konusu numunelerin diğer numunelere göre daha fazla aşındığı görülmektedir.

Şekil A.18 ve A.21'de optik mikroskop fotoğrafları görülen 6 ve 7 No'lu numunelerin mikroyapıları, 4 ve 5 No'lu numunelerin Şekil A.12 ve A.15'te verilen mikroyapılarına benzemekle beraber burada martenzitik yapı içerisinde ince krom karbür parçalarının yanı sıra büyük (beyaz) krom karbür parçalarının daha çokça yer aldığı açıkça görülmektedir. Büyük karbür partikülleri matrisi abrasiv aşınmadan korur ve böylece aşınma hızı düşmektedir. Malzemenin ana matris mikroyapısında bulunan büyük krom karbür parçalarının malzemenin aşınma dayanımına önemli oranda katkı sağladığı düşünülmektedir.

8 ve 9 No' lu yüksek manganlı östenitik çelikler karşılaştırılırsa, 9 No' lu numune 8 No' lu numuneden yaklaşık 5 kat daha fazla Cr içermektedir; aynı zamanda Mn miktarı da daha fazladır. Mn' ın ayrıca, çeliklerde mukavemet arttırıcı bir element olduğu bilinmektedir. Yapılan tüm testlerin sonuçlarından da anlaşılmaktadır ki, 9 No' lu numune 8 No' lu numuneye göre daha yüksek sertlik, daha iyi aşınma direnci, daha yüksek akma ve çekme dayanımı değerlerine sahiptir.

Numune 8 ve Numune 9' un aşınma dirençleri arasındaki büyük fark, kimyasal bileşimin yanı sıra östenitik manganlı çeliklerin, işlem sertleşmesi (work hardening) gösterme özelliğinden de kaynaklanabilir. Bu çelikler belirli yüklemeler altında, sertleşme gösterebilirler. Yüzeyde ince bir martenzitik tabaka oluşur ve sertlik artar.

Bu da aşınma direncinin artmasını sağlar. Dolayısıyla 9 No' lu numunede, işlem sertleşmesi ile de aşınmaya karşı direnç artmış olabilir.

En yüksek sertlik 7 No' lu beyaz dökme demir numunede (%2.84 C, %25.8 Cr, yağda soğutma) elde edilmiştir. Burada, kimyasal bileşimdeki C ve Cr miktarının yüksek oluşunun ve yapıda krom karbürlerin homojen bir şekilde dağılmış olmasının etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde, sertlik ve aşınma davranışı ilişkisi incelendiğinde, bağıl aşınma direncinin sertlik arttıkça bir miktar arttığı gözlenmiştir.

6 ve 7 No' lu beyaz dökme demir numunelerin, 4 ve 5 No'lu beyaz dökme demir numunelerden daha fazla miktarda Cr içermesi dolayısıyla, daha yüksek sertlik ve aşınma dayanımı göstermesi beklenirken, bu değerler arasında önemli bir fark görülmemiştir. Bunun nedeninin 4 ve 5 No' lu numunelerin bileşiminde ayrıca %1,55 Mo bulunmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapıda ayrıyeten molibden karbürler teşkil etmiştir. Molibdenin, beyaz dökme demirlerde sertleşebilirliği ve aşınma direncini arttırdığı bilinmektedir.

En yüksek aşınma dayanımı, 5 No'lu yüksek kromlu beyaz dökme demir ve 9 No' lu yüksek manganlı çelik numunelerinde elde edilmiştir. Aşınma testleri sonrasında çekilen aşınma toplarının fotoğraflarına bakıldığında (Şekil 4.19 ve Şekil 4.22), 5 ve 9 No' lu numunelerde kullanılan topların az aşındığı görülmüştür. En çok aşınan numuneler ise 1 ve 2 No' lu çelik numunelerdir, aşınma toplarının fotoğraflarından da toplarda çok fazla aşınma olduğu açıkça görülmektedir.

En yüksek darbe dayanımı, 8 No'lu östenitik manganlı çelik numunede görülmüştür. Martenzitik matrisin, östenitik matrise göre sert ve kırılgan olduğu bilinmektedir. Östenitik matrisin tokluğu daha yüksektir.

En yüksek çekme dayanımı 1 No'lu numunede (%0.4 C, %7.38 Cr) elde edilmiştir. Çizelge 3.3' de görülmektedir ki, 1 No' lu numune Cr/C oranının en yüksek olduğu numunedir. Sadece yüksek miktarda mangan içeren 8 ve 9 No' lu numunelerde plastik deformasyon gözlenmiş olup, diğer tüm numunelerde elastik bölgede gevrek kırılma gerçekleşmiştir.

Soğutma ortamı tipleri, su-yag-hava ortamı şeklinde sıralanırsa, soğuma hızı hızlıdan yavaş doğru yazılmış olur. Diğer bir deyişle, en hızlı soğuma hızı suda elde edilirken; en yavaş soğuma hızı havada elde edilir. Su ile sertleştirme yağ ile sertleştirmeye göre

üç kat daha fazla iyi sertleştirir. Çizelge 4.5' te aynı kimyasal bileşimde olup farklı soğutma ortamlarında ısıtıl işlem görmüş numunelerin sertlik ve aşınma değerleri gösterilmiştir. Bu çizelgeden, yağda soğutulan numuneler havada veya fan ile soğutulan numunelere göre daha yüksek sertlik değerlerine ve daha iyi aşınma direncine sahip olduğu görülmüştür. Bu da göstermektedir ki, kimyasal bileşimleri aynı olmakla birlikte, ısıtıl işlem uygulaması uygun kontrol edilmeyen malzemelerin hem sertliği hem de aşınma performansları düşük çıkmaktadır.

Yapılan tüm testler ve incelemeler neticesinde, kısaca, aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

Yüksek Cr' lu çelik, yüksek Cr'lu beyaz dökme demir ve yüksek Mn' lı çelik numuneler arasında en yüksek sertlik ve en iyi aşınma direnci, yüksek Cr'lu beyaz dökme demir numunelerde görülmüştür. Bu sonuçta, yapıdaki sürekli krom karbür ağ yapısının etkili olduğu düşünülmektedir.

Sadece yüksek Mn'lı çelik numunelerde sünek kırılma gerçekleşmiştir. Yüksek Cr' lu çelik ve yüksek Cr'lu beyaz dökme demir numunelerin darbe dirençleri aynı mertebede iken, yüksek Mn'lı çelik numunelerin darbe direnci oldukça yüksek değerlerde görülmüştür. Bu malzemelerin tokluğunun daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Yüksek Mn'lı çeliklerde ayrıca, basınç ve darbe etkisiyle soğuk şekil değiştirme sertleşmesi (dönüşüm sertleşmesi) sonucu, yüzeylerinde sert ve aşınmaya dirençli bir tabaka oluşur. Bu özellikleri sayesinde yüksek Mn' lı çelik numunelerde, aşınma davranışlarında iyileşme görülür. Diğer yandan, yüksek Mn'lı çelik numunelerde Cr ve Mn miktarının artmasıyla, dayanımın ve aşınma direncinin arttığı gözlenmiştir.

En yüksek çekme dayanımına, en yüksek Cr/C oranına sahip olan yüksek Cr'lu çelik numunede ulaşılmıştır.

Aynı kimyasal bileşime sahip numunelerde, daha iyi sertlik-aşınma direnci-darbe dayanımı değerleri, ısıtıl işlem sonrası yağda soğutulan numunelerde elde edilmiştir.

Yapılan tüm deneysel çalışmalar sonucunda, yüksek aşınma direnci istenen yerlerde yüksek Cr'lu beyaz dökme demir malzemelerin kullanılması önerilirken; darbeli aşınma durumlarında ise yüksek Mn' lı çelik malzemelerin tercih edilmesi uygun görülmüştür.

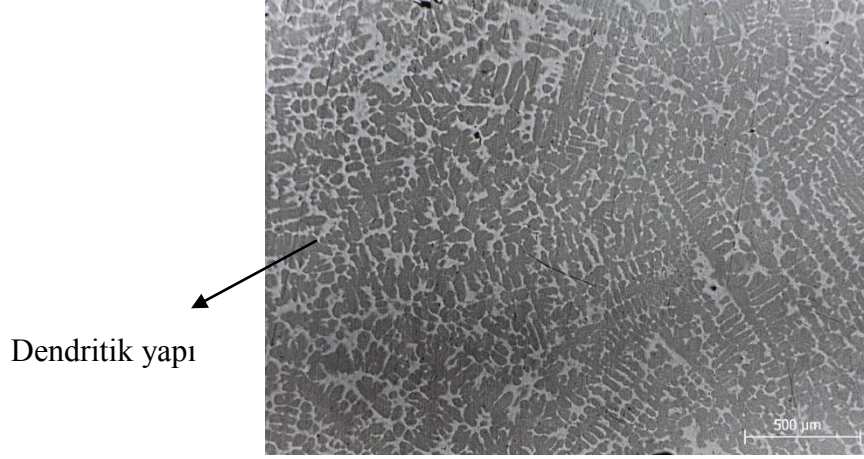
KAYNAKLAR

- [1] **Pearce, T. H. ve Elwell, W. J.** (1995). Efficient heat treatment of high chromium iron castings for abrasion-resistant applications. Cast Metals Development Ltd, International Conference.
- [2] **Çetinkaya, C.** (2006). An investigation of the wear behaviors of white cast irons under different compositions. Materials & Design 27, 437-445.
- [3] **Fidaner, S., Çelik, S., Doğmuş, H., Süzen, C., Duran, A. D.** (1979). Genel Dökümcülük Bilgisi. Milli Eğitim Basımevi, İstanbul.
- [4] **Aran, A.** (1989). Metal Döküm Teknolojisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Ofset Atölyesi.
- [5] **Çavuşoğlu, E.** (1992). Döküm Teknolojisi I. İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi
- [6] **Url-1** <<http://www.owl.net.rice.edu>>, alındığı tarih: 12.04.2015.
- [7] **Davis, J. R.** (1996). Classification and Basic Metallurgy of Cast Irons, Cast- Irons- ASM Speciality Handbook, 3-15, ASM International, Materials Park, OH.
- [8] **Zhongli, L., Yanxiang, L., Xiang, C. ve Kaihua, H.** (2008). Microstructure and mechanical properties of high boron white cast iron. Materials Science and Engineering 486 112-116.
- [9] **Zhongli, L., Xiang, C., Yanxiang, L., and Kaihua, H.** (2008). Effect of Chromium on Microstructure and Properties of High Boron White Cast Iron. The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International.
- [10] **Haohuai, J. W., Baoluo, S., Hongshan, Y., Shengji, G. ve Sijiu, H.** (2007). Influence of secondary carbide precipitation and transformation on abrasion resistance of a 3Cr15Mo1V1.5 white iron. Journal of University of Science and Technology, Beijing, Sf. 231.
- [11] **Fairhurst, W., Röhrig, K.** (1974). Abrasion resistant high chromium white cast irons, Foundry Trade Journal, 136, 685-698.
- [12] **Metals Handbook**, (1988). 9th Ed., 15, Casting, ASM.
- [13] **Turenne, S., Lavallee, F. ve Masounave, J.** (1989). Matrix microstructure effect on the abrasion wear resistance of high chromium. White cast iron, Journal of Materials Science, 24.
- [14] **Arıkan, M.** (1999). Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin aşınma direncine alaşım elementlerinin ısıtılmasının etkisi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

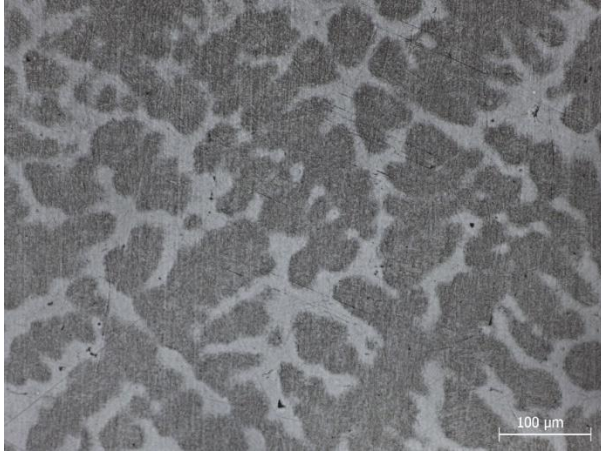
- [15] **Maldonado-Ruiz, S. I., Martinez, D. I., Velasco, A. ve Colas, R.** (2005). Wear of white cast irons by impact of direct reduced iron pellets. *Wear* 259, 361-366.
- [16] **Chang, K. K., Sunghak, L. ve Jae-Young, J.** (2006). Effects of heat treatment on wear resistance and fracture toughness of duo-cast materials composed of high-chromium white cast iron and low chromium steel. *Metallurgical and Materials Transactions*, Volume 37A.
- [17] **Raynor, G.V ve Rivlin, V. G.** (1988). Phase equilibria in iron ternary alloys, The Institute of Metals, London, (No.4).
- [18] **Tabrett, C. P. ve Sare, I. R.** (1997). The effect of heat treatment on the abrasion resistance of alloy white irons. *Wear* 203-204.
- [19] **Da, L., Ligang, L., Yunkun, Z., Chunlei, Y., Xuejun, R., Yulin, Y. ve Qingxiang, Y.** (2009). Phase diagram calculation of high chromium cast irons and influence of its chemical composition. *Materials and Design*, 30, 340-345.
- [20] **Url-2** <http://www.mert-celik.com/pdf/celikte_alasim_elementleri.pdf>, alındığı tarih: 11.04.2015.
- [21] **Ines, F. P., Artimez, J., Belzunce, M., Javier, F. ve Rodriguez, C.** (2010). Influence of heat treatment on the microstructure of a high chromium steel used for the manufacture of rolling rolls. *Materials Science Forum* Vols. 638-642, Sf. 3099-3104.
- [22] **Metal Handbook**, 8th Edition, (1990). Properties and selection of metals; Heat resistance casting, v1, ASM Int., 269.
- [23] **Nejat S.** (1995). Yüksek manganlı östenitik çelikler ve kaynağı. *Metal ve Kaynak Dergisi*. Sayı 66. Teknik makale. 36-41.
- [24] **Sauveur, A.** (1943). *The Metallography and Heat Treatment of Iron and Steel*, Mc Graw Hill Book Company, Inc., Newyork.
- [25] **Metal Handbook** - vol. 1, (1983). Specialty Steels and Heat-Resistant Alloys, ASM Handbook Committee, Metal Park, Ohio, 822-840.
- [26] **Ögel, B., Tan C.** (2012). Bir arka aks miline ait parçalarda görülen hasarın nedenleri, Araştırma Raporu, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.

EKLER

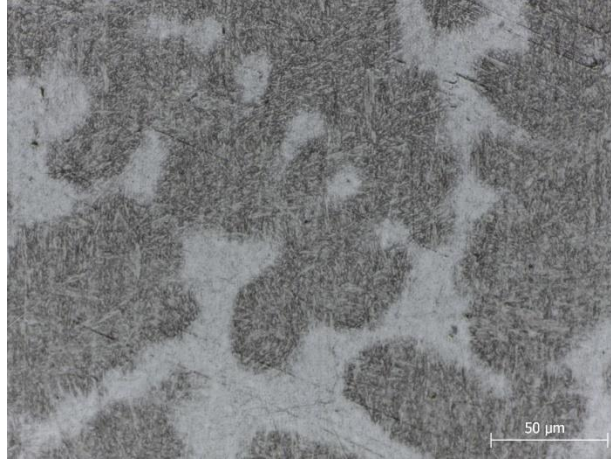
EK A: Optik mikroskop görüntüleri



Şekil A.1 : Numune 1' in mikroyapı görüntüsü (50X).



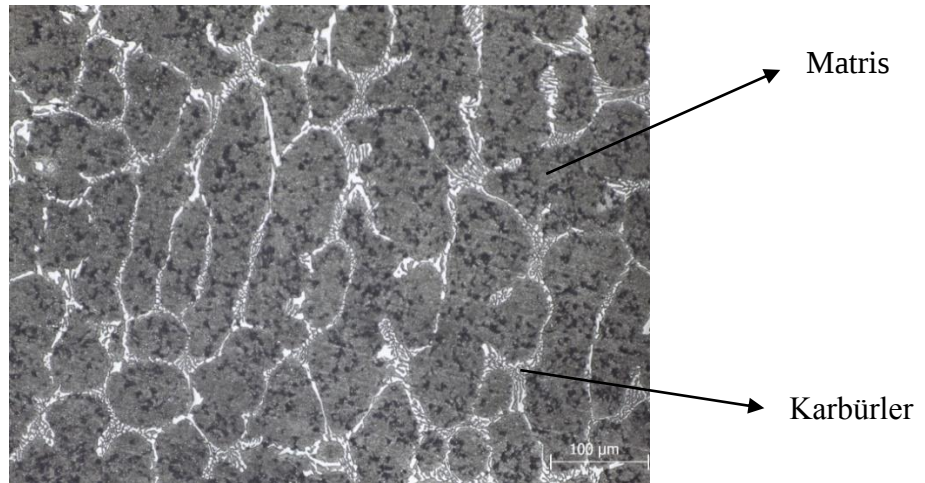
Şekil A.2 : Numune 1' in mikroyapı görüntüsü (200X).



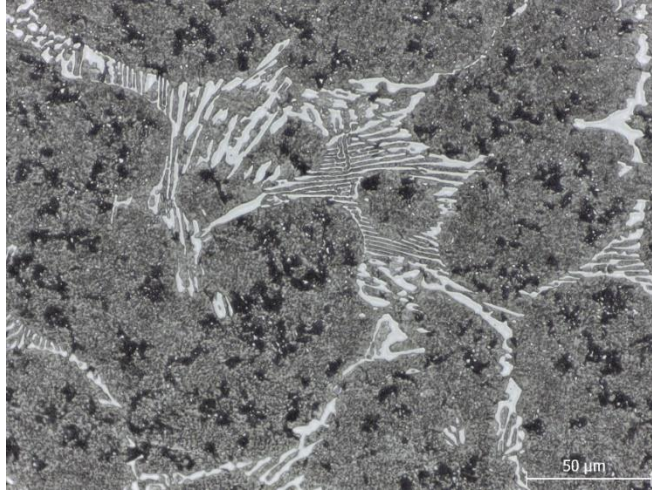
Şekil A.3 : Numune 1' in mikroyapı görüntüsü (500X).



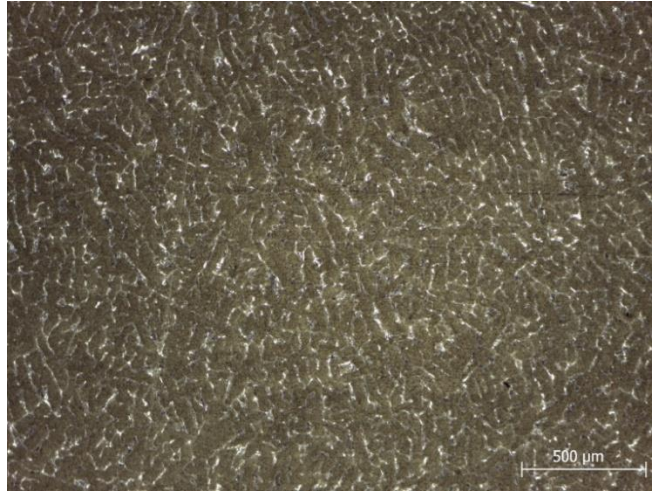
Şekil A.4 : Numune 2' nin mikroyapı görüntüsü (50X).



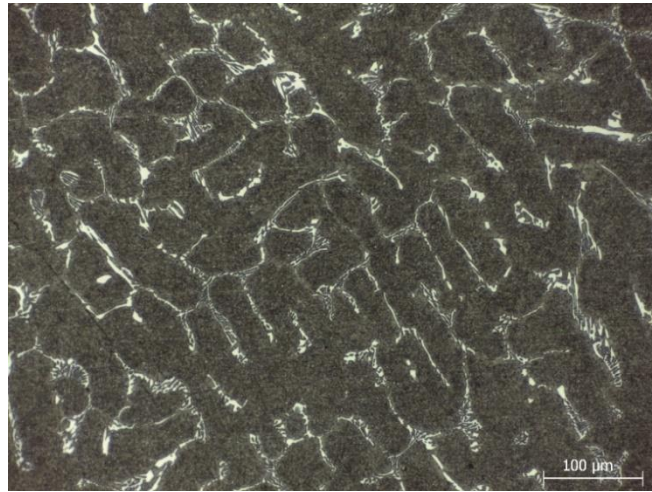
Şekil A.5 : Numune 2' nin mikroyapı görüntüsü (200X).



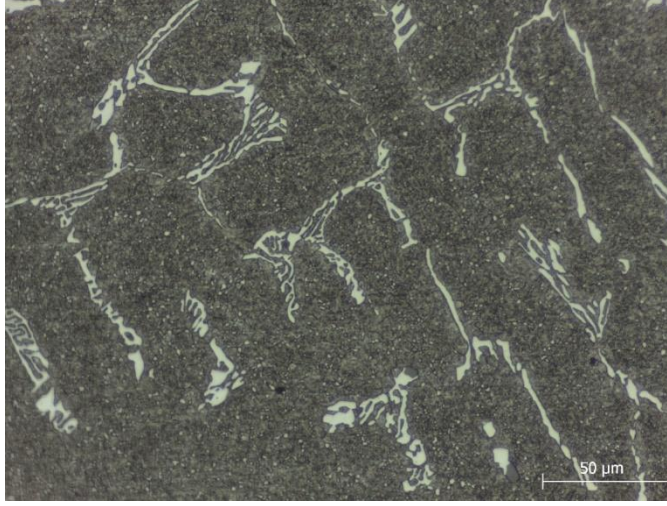
Şekil A.6 : Numune 2' nin mikroyapı görüntüsü (500X).



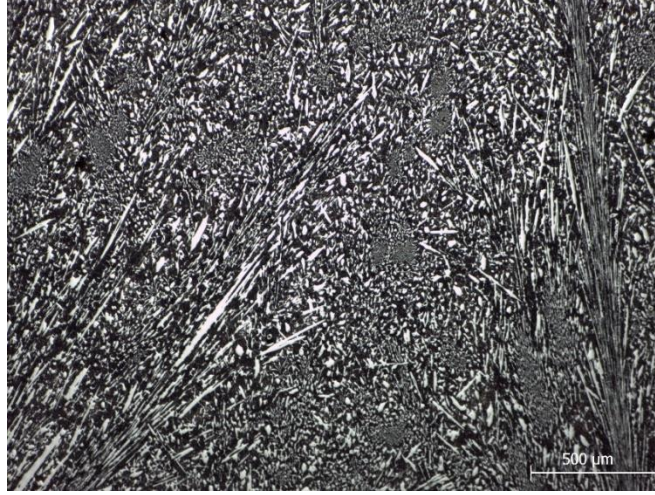
Şekil A.7 : Numune 3' ün mikroyapı görüntüsü (50X).



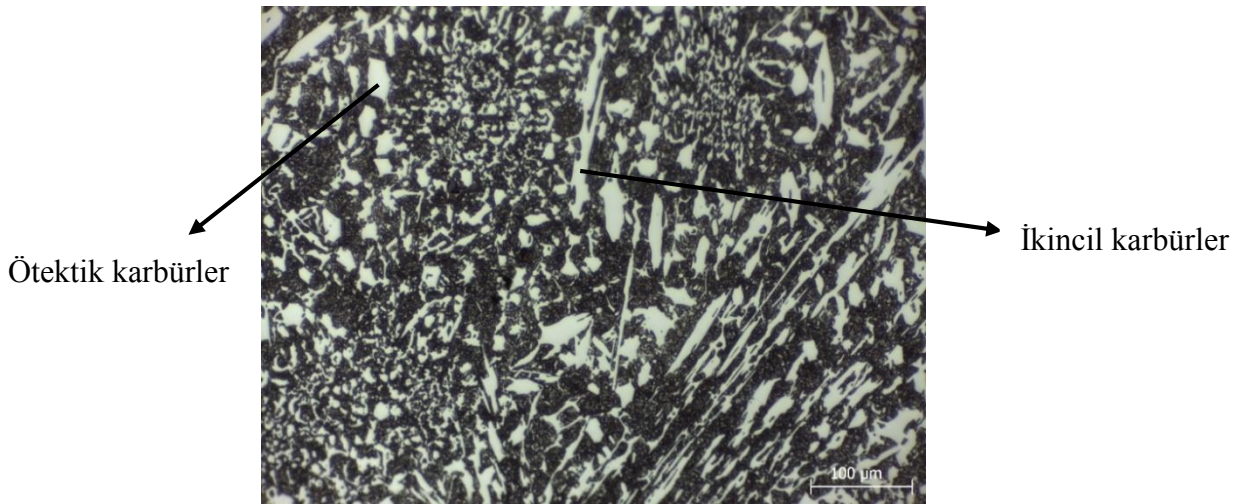
Şekil A.8 : Numune 3' ün mikroyapı görüntüsü (200X).



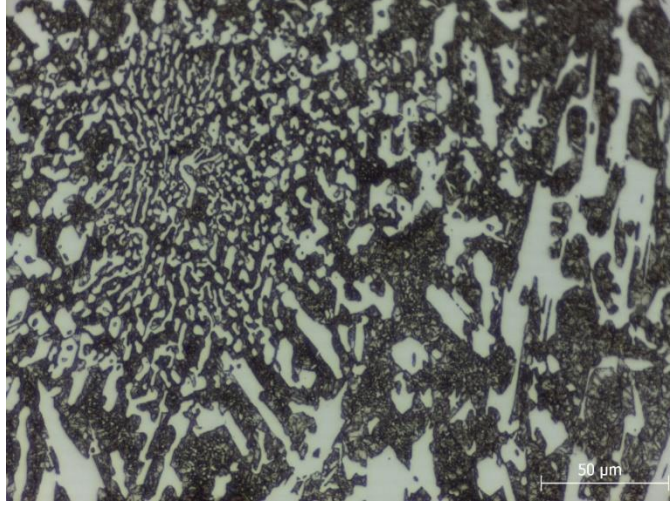
Şekil A.9 : Numune 3' ün mikroyapı görüntüsü (500X).



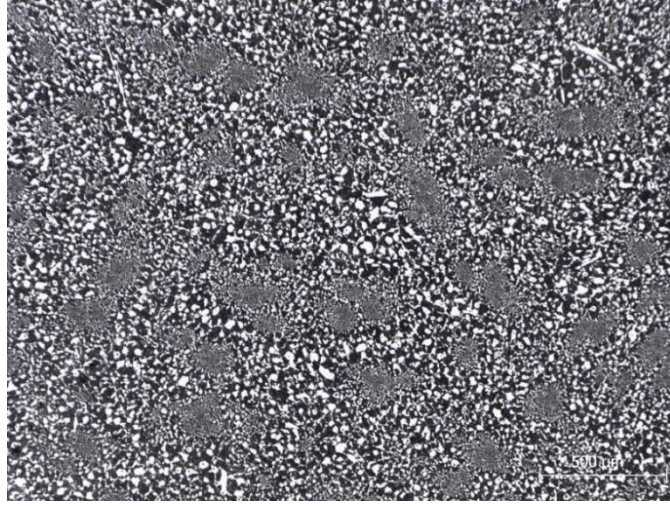
Şekil A.10 : Numune 4' ün mikroyapı görüntüsü (50X).



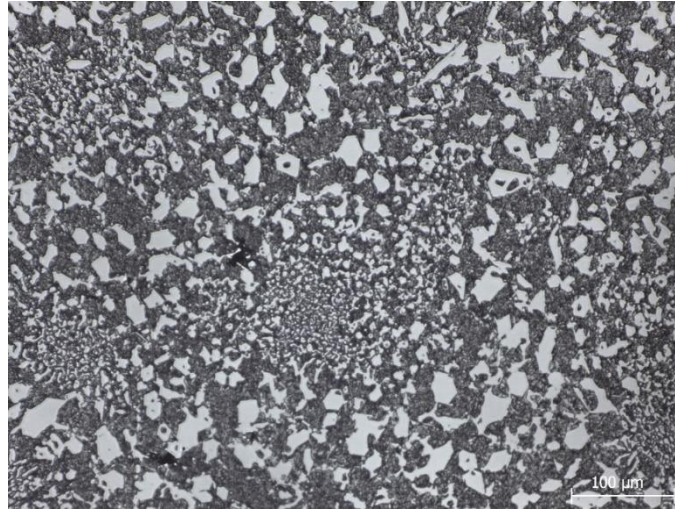
Şekil A.11 : Numune 4' ün mikroyapı görüntüsü (200X).



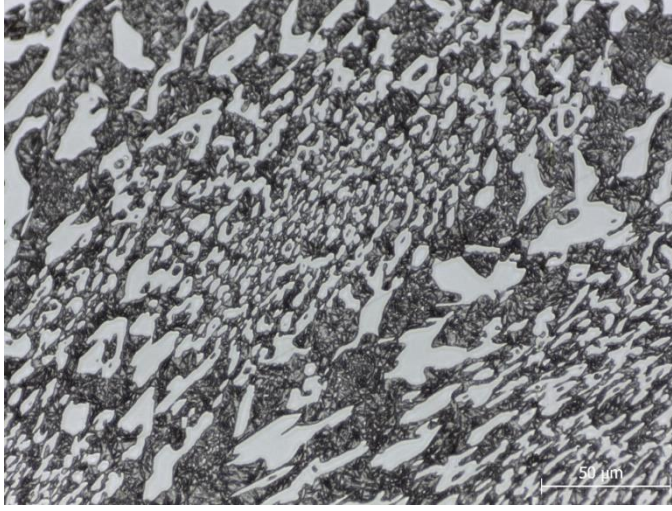
Şekil A.12 : Numune 4' ün mikroyapı görüntüsü (500X).



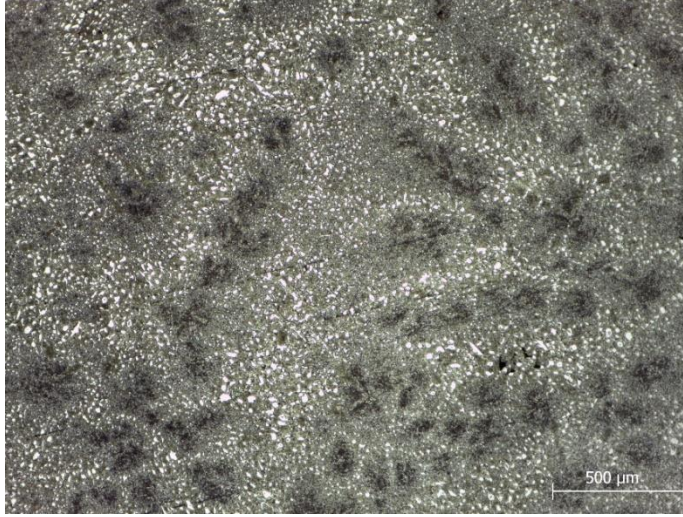
Şekil A.13 : Numune 5' in mikroyapı görüntüsü (50X).



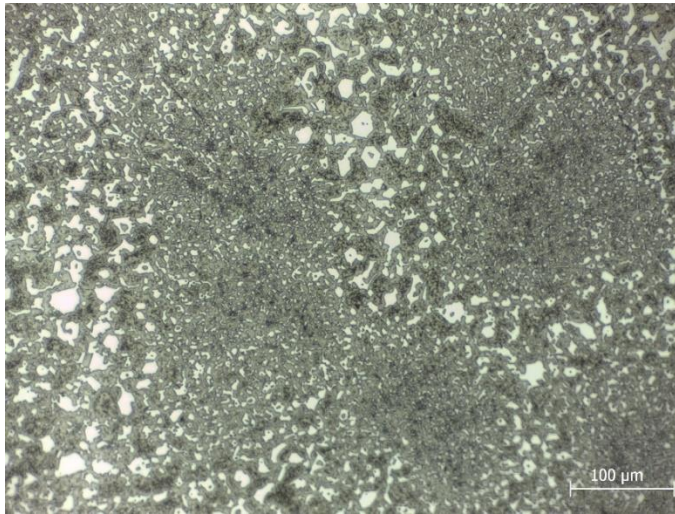
Şekil A.14 : Numune 5' in mikroyapı görüntüsü (200X).



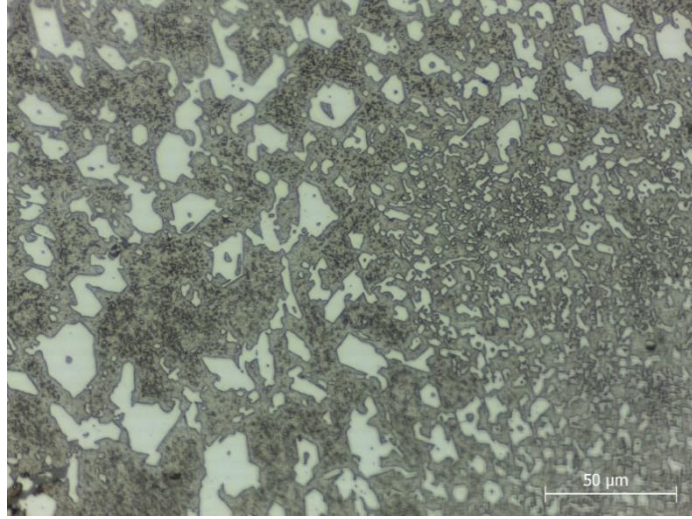
Şekil A.15 : Numune 5' in mikroyapı görüntüsü (500X).



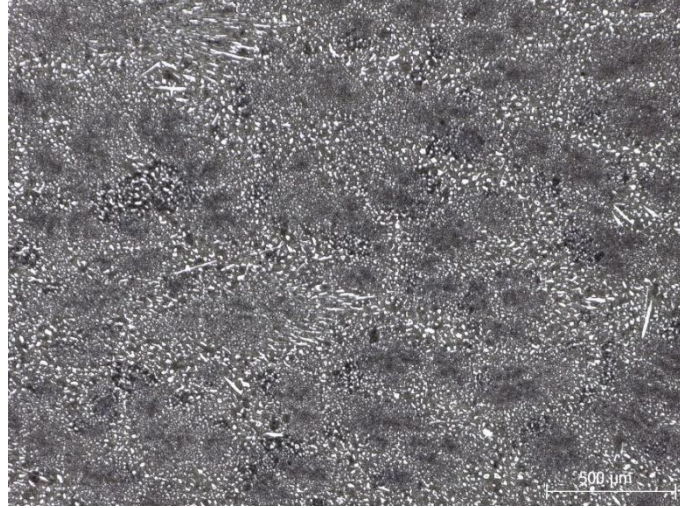
Şekil A.16 : Numune 6' nın mikroyapı görüntüsü (50X).



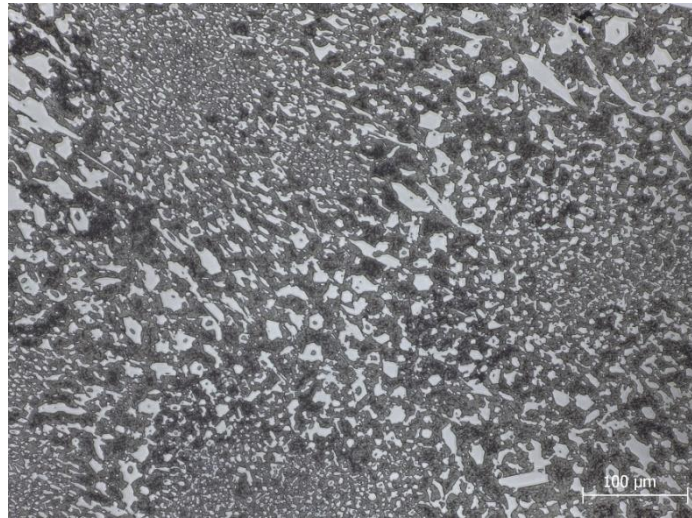
Şekil A.17 : Numune 6' nın mikroyapı görüntüsü (200X).



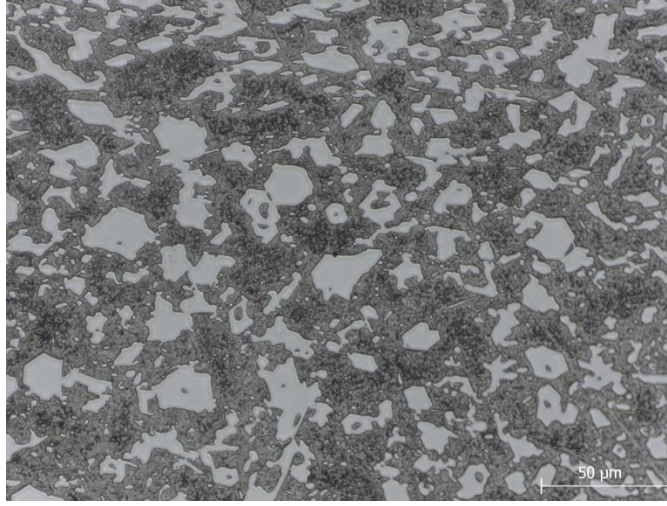
Şekil A.18 : Numune 6' nın mikroyapı görüntüsü (500X).



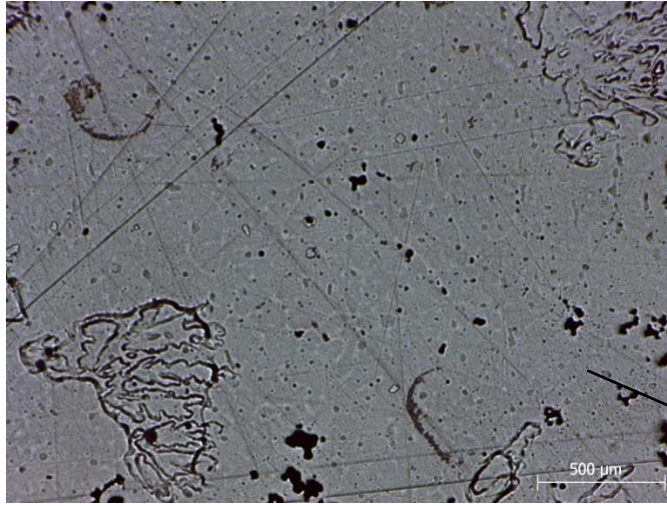
Şekil A.19 : Numune 7' nin mikroyapı görüntüsü (50X).



Şekil A.20 : Numune 7' nin mikroyapı görüntüsü (200X).

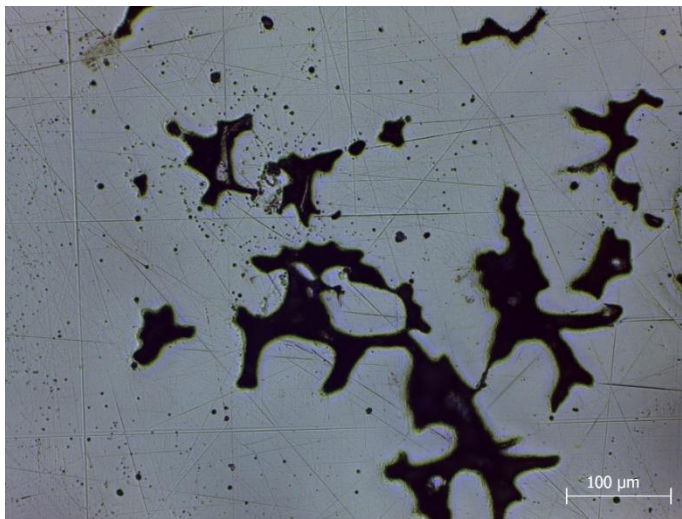


Şekil A.21 : Numune 7' nin mikroyapı görüntüsü (500X).

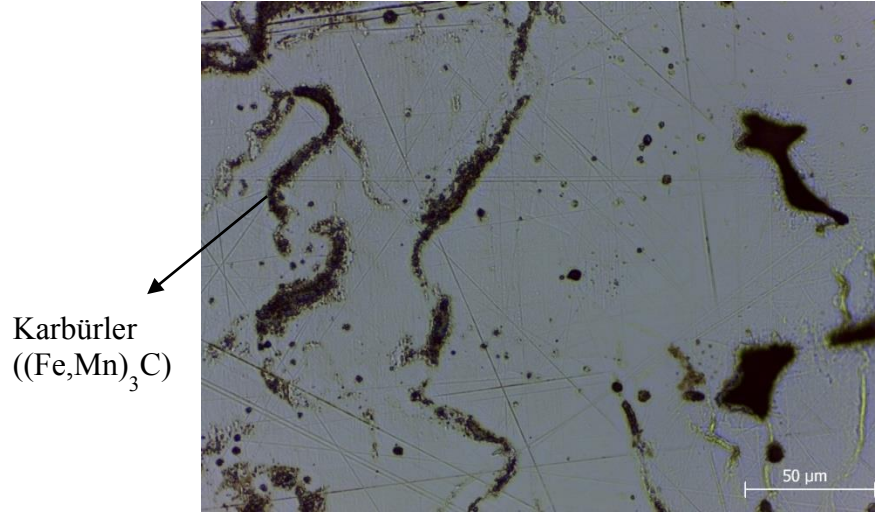


Şekil A.22 : Numune 8' in mikroyapı görüntüsü (50X).

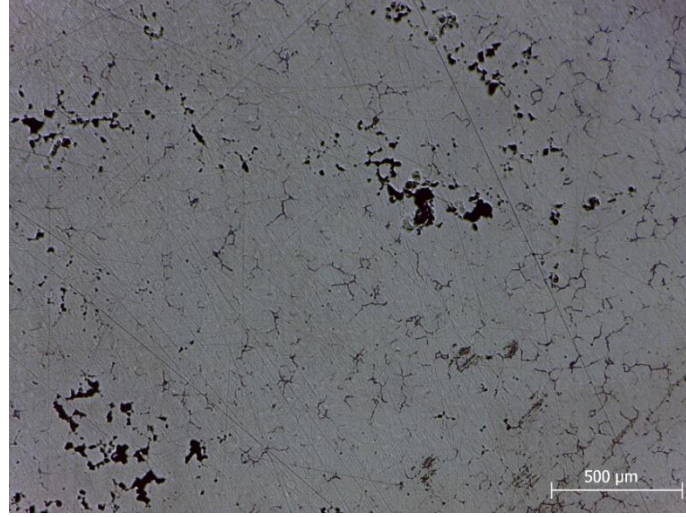
Östenitik
matris



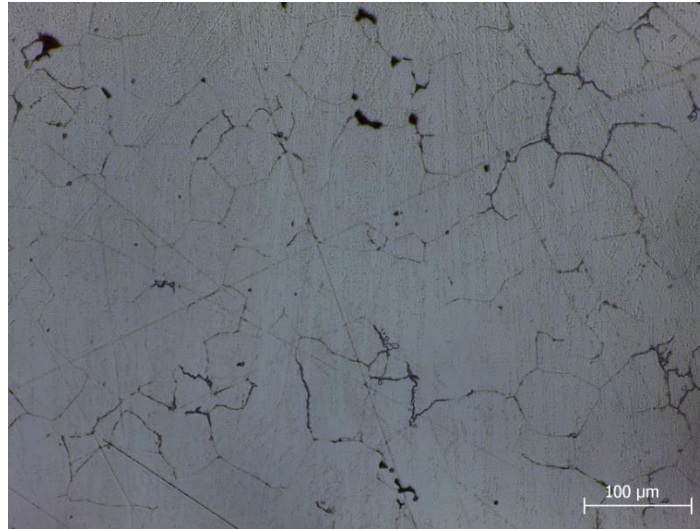
Şekil A.23 : Numune 8' in mikroyapı görüntüsü (200X).



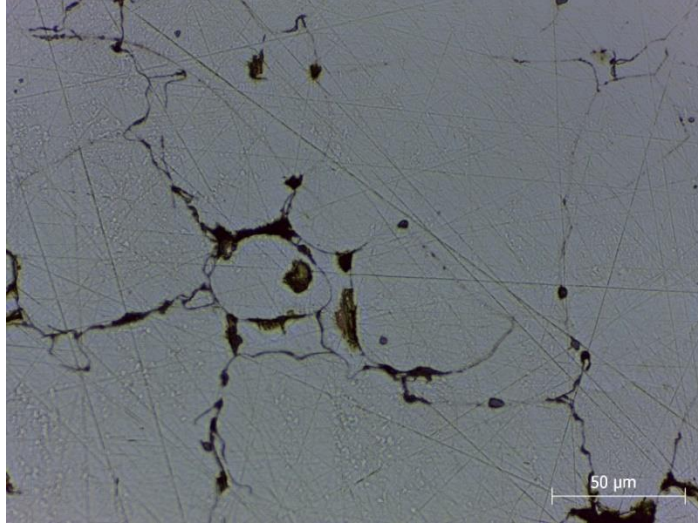
Şekil A.24 : Numune 8' in mikroyapı görüntüsü (500X).



Şekil A.25 : Numune 9' un mikroyapı görüntüsü (50X).

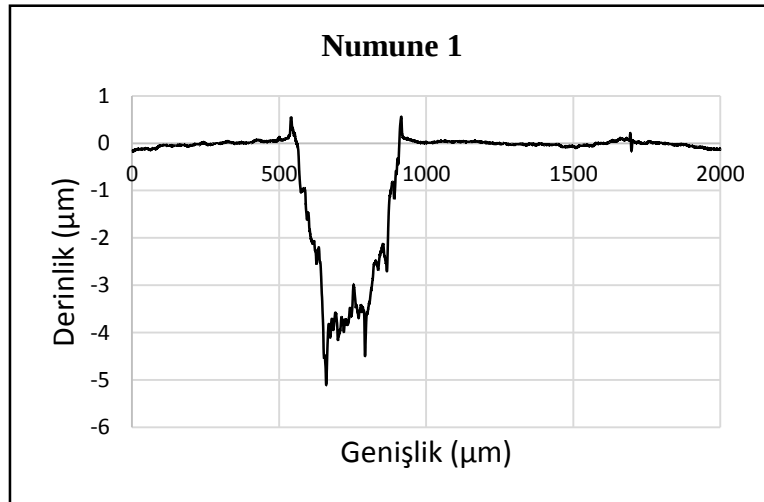


Şekil A.26 : Numune 9' un mikroyapı görüntüsü (200X).



Şekil A.27 : Numune 9' un mikroyapı görüntüsü (500X).

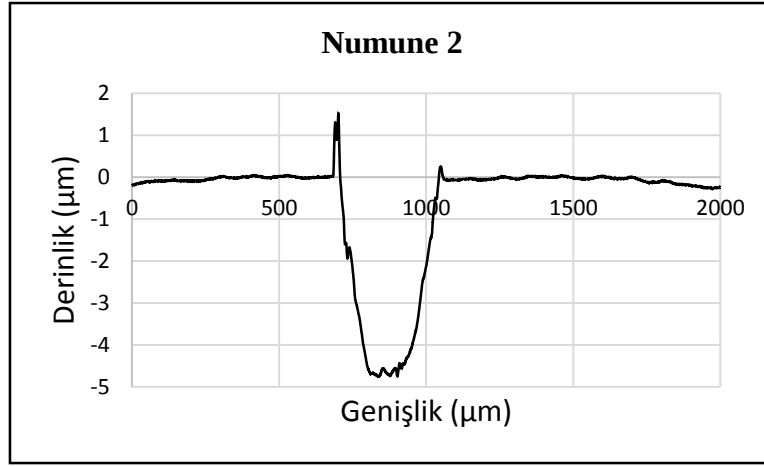
EK B: Profilometre grafikleri



Şekil B.1 : Numune 1' in profilometre grafiği.

Çizelge B.1 : Numune 1' in aşınma izi ölçüleri (μm).

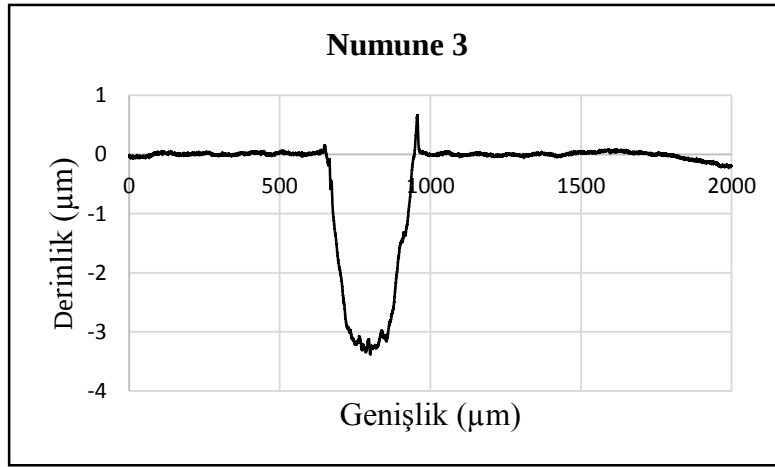
	μm	Ortalama
Numune 1	Genişlik	357,6
	Derinlik	3,27



Şekil B.2 : Numune 2' nin profilometre grafiği.

Çizelge B.2 : Numune 2' nin aşınma izi ölçüleri (μm).

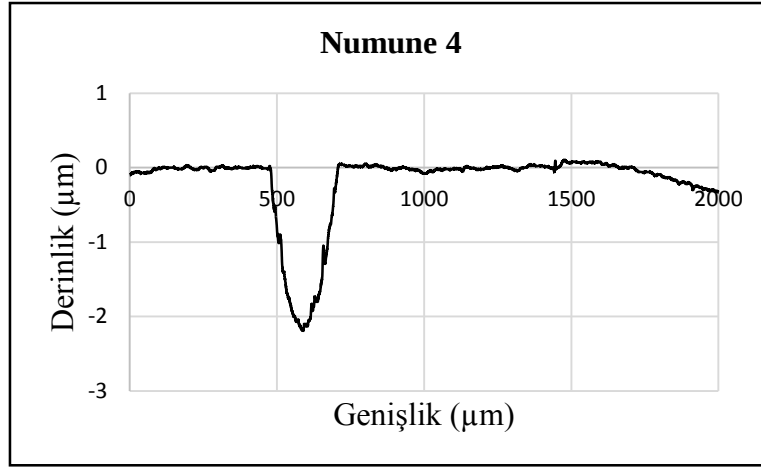
Numune 2	μm	Ortalama
	Genişlik	350,6
	Derinlik	4,42



Şekil B.3 : Numune 3' ün profilometre grafiği.

Çizelge B.3 : Numune 3' ün aşınma izi ölçüleri (μm).

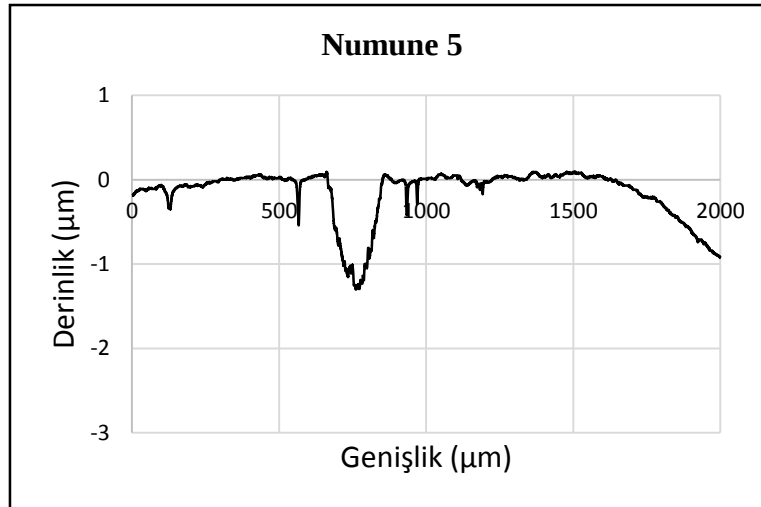
Numune 3	μm	Ortalama
	Genişlik	295,8
	Derinlik	3,37



Şekil B.4 : Numune 4' ün profilometre grafiği.

Çizelge B.4 : Numune 4' ün aşınma izi ölçüleri (μm).

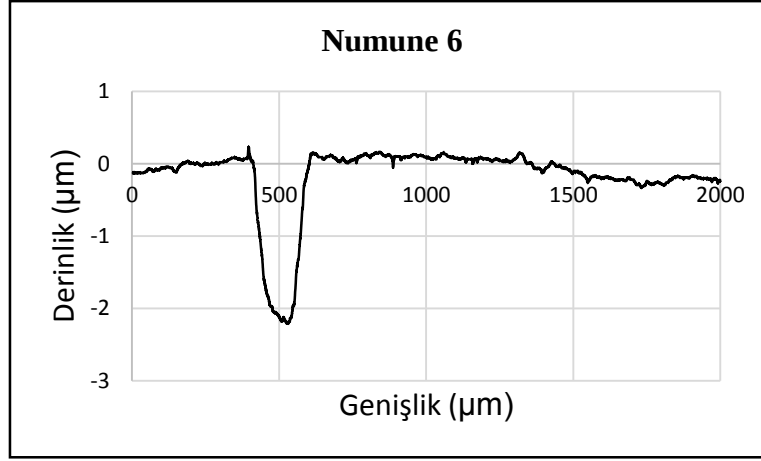
Numune 4	μm	Ortalama
	Genişlik	223,4
	Derinlik	2,03



Şekil B.5 : Numune 5' in profilometre grafiği.

Çizelge B.5 : Numune 5' in aşınma izi ölçüleri (μm).

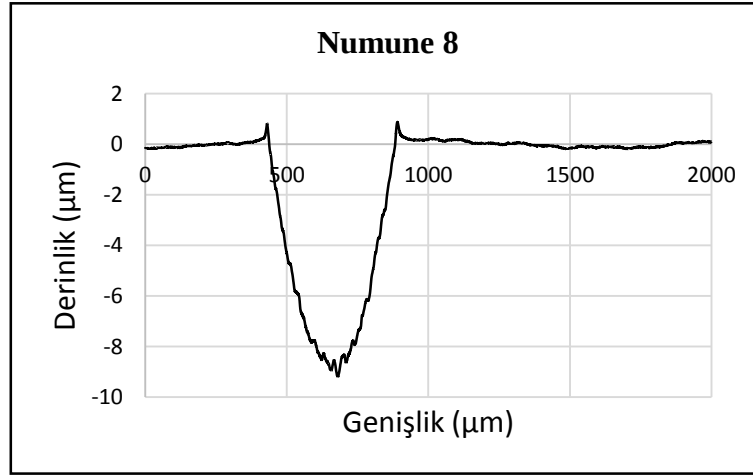
Numune 5	μm	Ortalama
	Genişlik	184
	Derinlik	1,50



Şekil B.6 : Numune 6' nın profilometre grafiği

Çizelge B.6 : Numune 6' nın aşınma izi ölçüleri (μm).

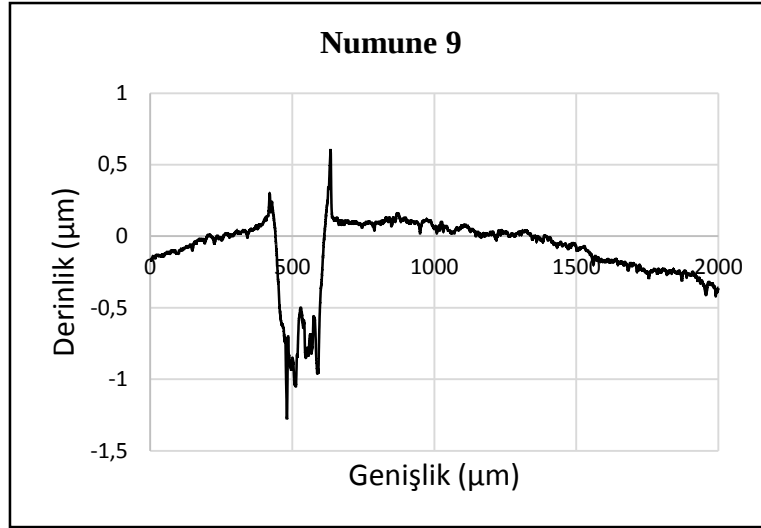
	μm	Ortalama
Numune 6	Genişlik	208
	Derinlik	2,18



Şekil B.7 : Numune 8' in profilometre grafiği.

Çizelge B.7 : Numune 8' in aşınma izi ölçüleri (μm).

	μm	Ortalama
Numune 8	Genişlik	463
	Derinlik	6,42

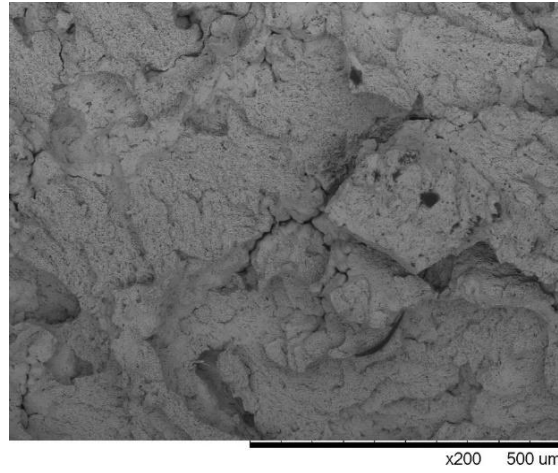


Şekil B.8 : Numune 9' un profilometre grafiği.

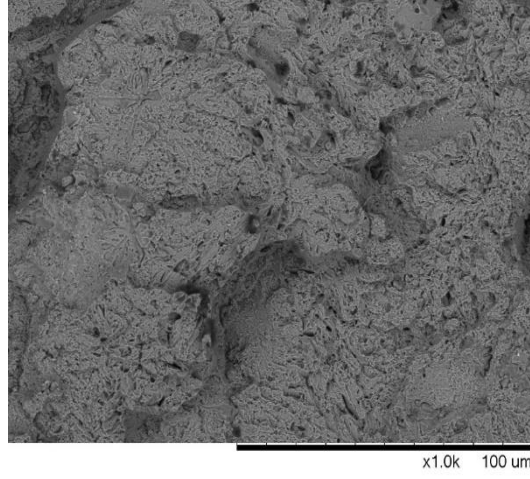
Çizelge B.8 : Numune 9' un aşınma izi ölçüleri (μm).

	μm	Ortalama
Numune 9	Genişlik	222,4
	Derinlik	1,07

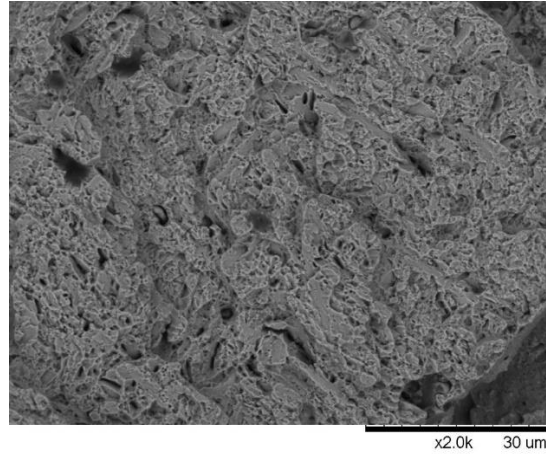
EK C: SEM görüntüleri



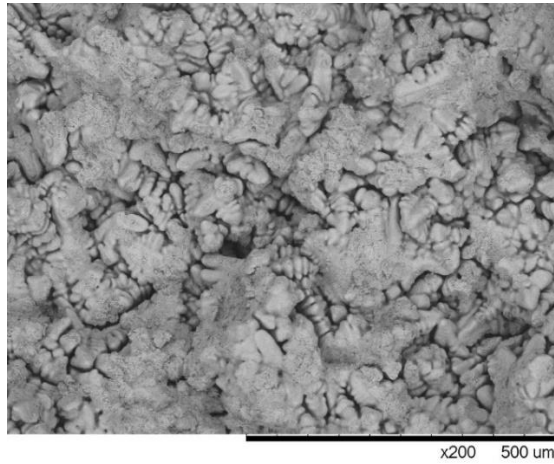
Şekil C.1 : Numune 1' in kırık yüzey SEM görüntüsü (200X).



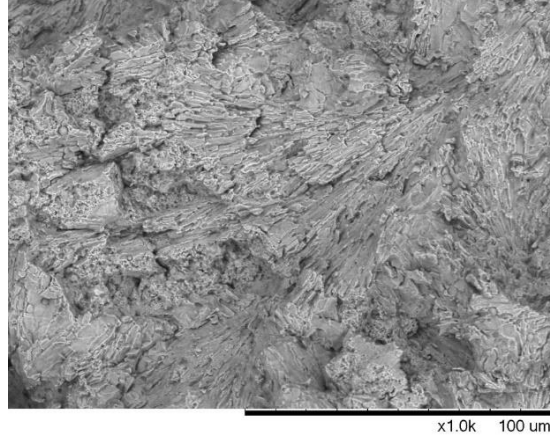
Şekil C.2 : Numune 1' in kırık yüzey SEM görüntüsü (1000X).



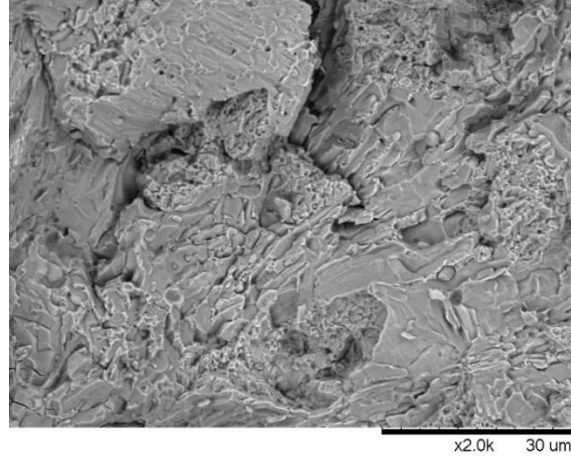
Şekil C.3 : Numune 1' in kırık yüzey SEM görüntüsü (2000X).



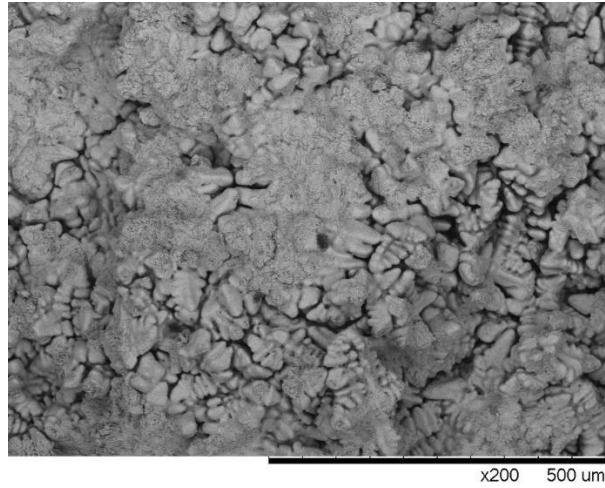
Şekil C.4 : Numune 2' nin kırık yüzey SEM görüntüsü (200X).



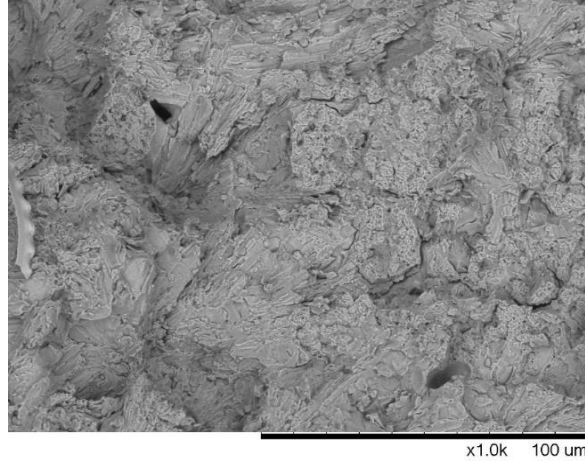
Şekil C.5 : Numune 2' in kırık yüzey SEM görüntüsü (1000X).



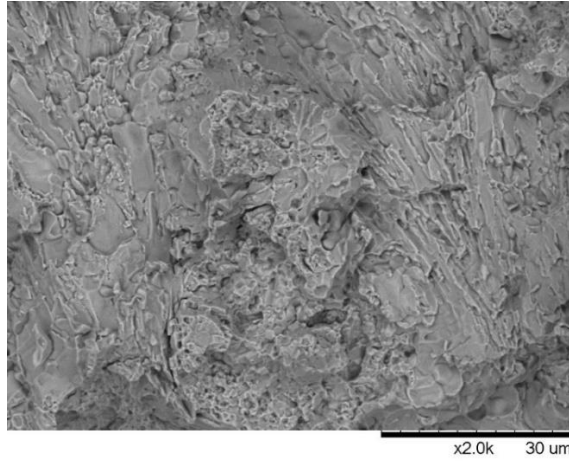
Şekil C.6 : Numune 2' nin kırık yüzey SEM görüntüsü (2000X).



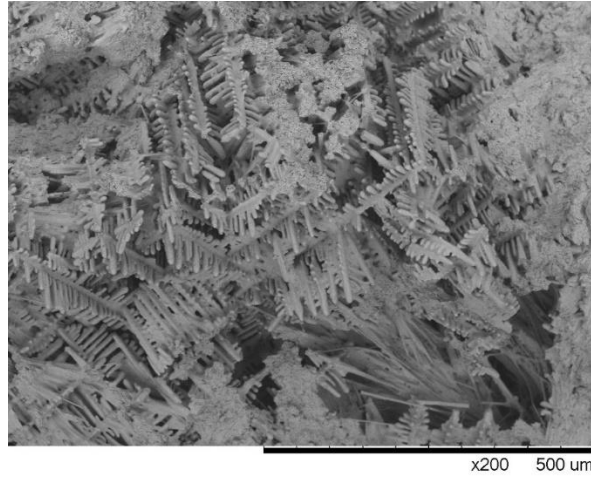
Şekil C.7 : Numune 3' ün kırık yüzey SEM görüntüsü (200X).



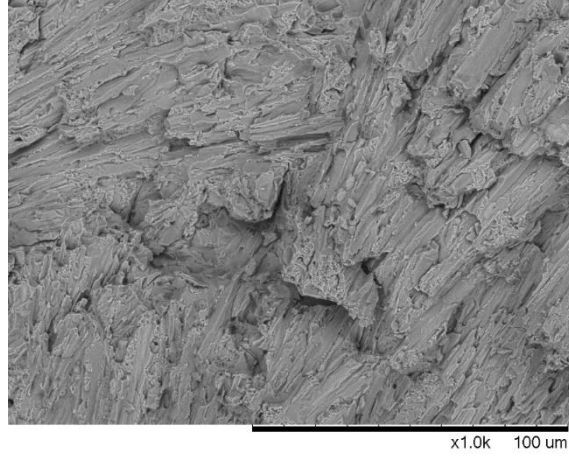
Şekil C.8 : Numune 3' ün kırık yüzey SEM görüntüsü (1000X).



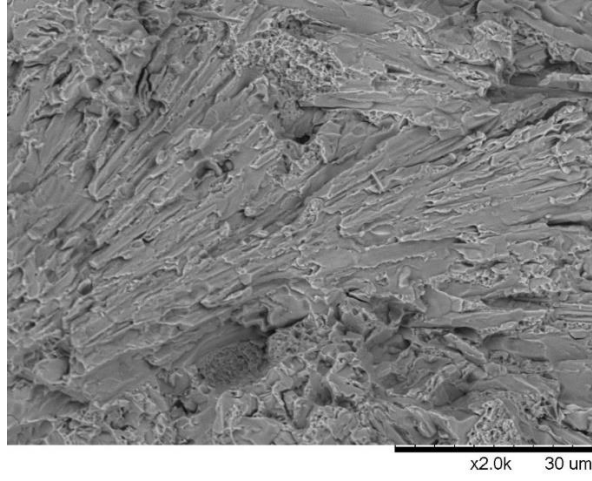
Şekil C.9 : Numune 3' ün kırık yüzey SEM görüntüsü (2000X).



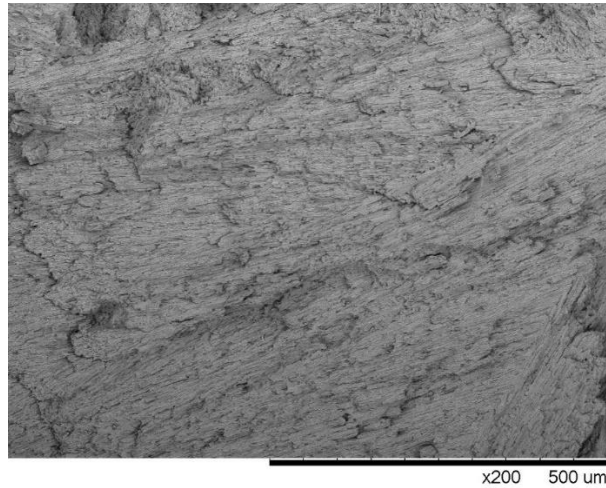
Şekil C.10 : Numune 4' ün kırık yüzey SEM görüntüsü (200X).



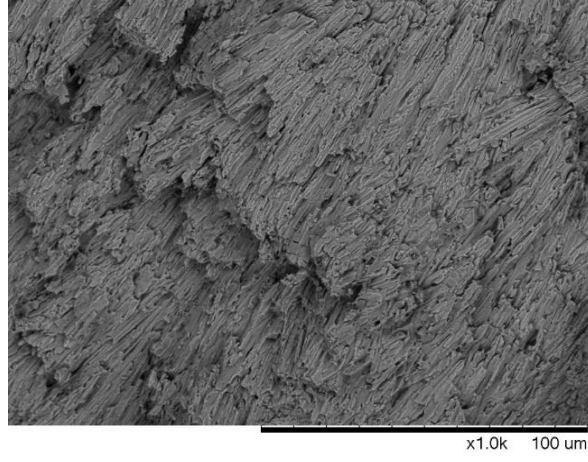
Şekil C.11 : Numune 4' ün kırık yüzey SEM görüntüsü (1000X).



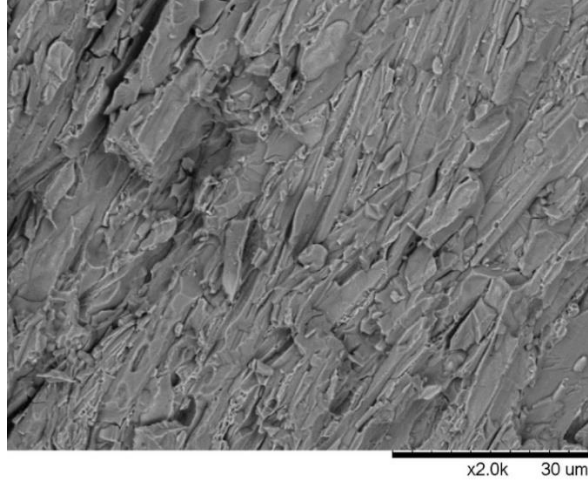
Şekil C.12 : Numune 4' ün kırık yüzey SEM görüntüsü (2000X).



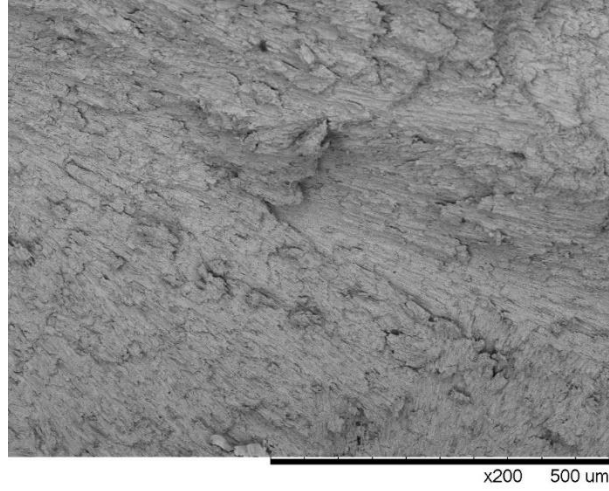
Şekil C.13 : Numune 6' nın kırık yüzey SEM görüntüsü (200X).



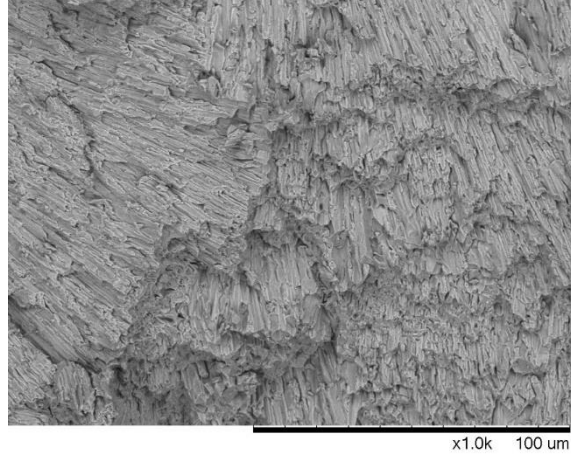
Şekil C.14 : Numune 6' nın kırık yüzey SEM görüntüsü (1000X).



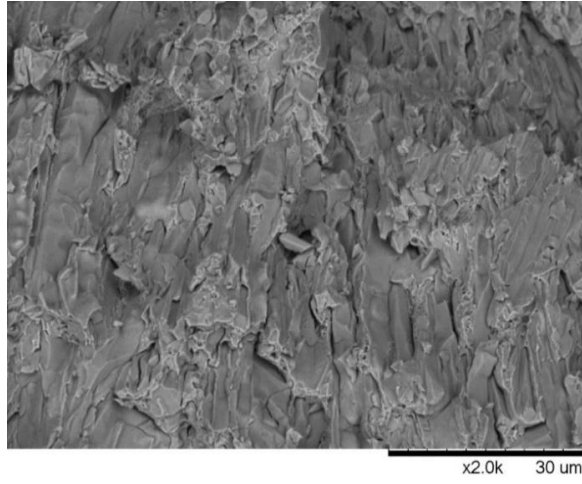
Şekil C.15 : Numune 6' nın kırık yüzey SEM görüntüsü (2000X).



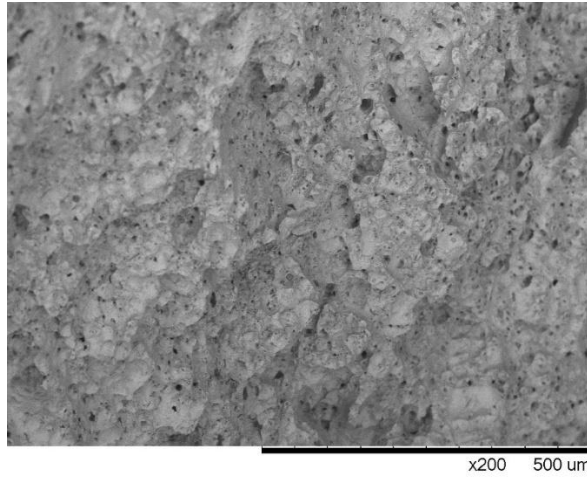
Şekil C.16 : Numune 7' nin kırık yüzey SEM görüntüsü (200X).



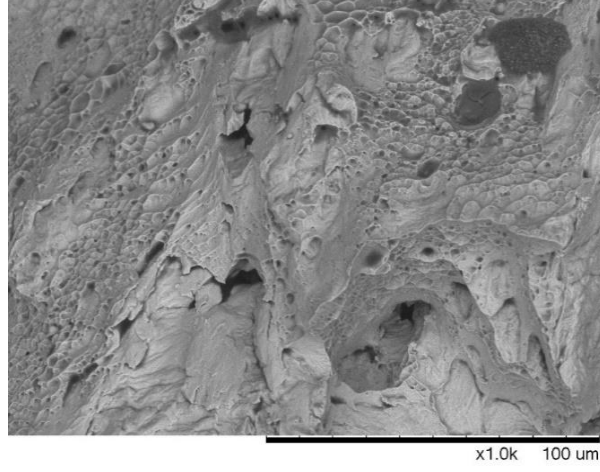
Şekil C.17 : Numune 7' nin kırık yüzey SEM görüntüsü (1000X).



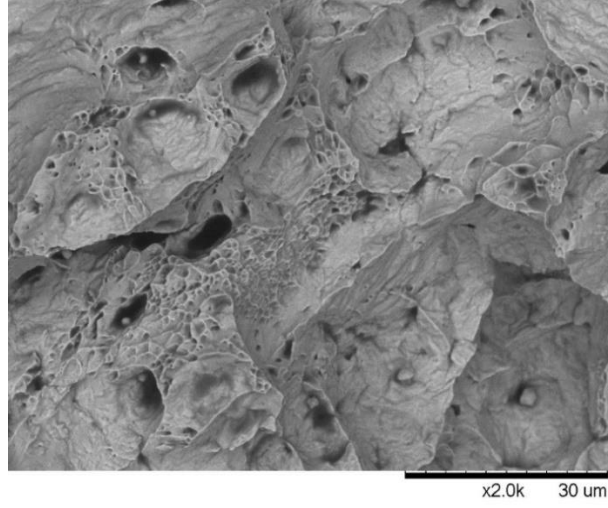
Şekil C.18 : Numune 7' nin kırık yüzey SEM görüntüsü (2000X).



Şekil C.19 : Numune 8' in kırık yüzey SEM görüntüsü (200X).



Şekil C.20 : Numune 8' in kırık yüzey SEM görüntüsü (1000X).



Şekil C.21: Numune 8' in kırık yüzey SEM görüntüsü (2000X).

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Ecem Çıkıt
Doğum Tarihi ve Yeri: 30/11/1989 İstanbul
E-posta : cikit@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012, Yıldız Teknik Üniversitesi (YTÜ), Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek lisans** : Devam ediyor, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Malzeme Mühendisliği Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

THY Teknik A.Ş. (Staj)
Saray Alüminyum A.Ş. (Staj)