

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MADEN KIRICILARDA KULLANILAN BEYAZ DÖKME DEMİRLERDE
BOR KATKISININ VE ISIL İŞLEMİN
MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Gürkan KAZDAL**

Anabilim Dalı : Metalurji ve Malzeme Müh.

Programı : Malzeme Mühendisliği

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU
Eş Danışman: Doç. Dr. Havva KAZDAL ZEYTİN**

OCAK 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MADEN KIRICILARDA KULLANILAN BEYAZ DÖKME DEMİRLERDE
BOR KATKISININ VE ISIL İŞLEMİN
MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Gürkan KAZDAL
(506081426)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 Aralık 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : Ocak 2011

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU (İTÜ)
Eş Danışman : Doç. Dr. Havva KAZDAL ZEYTİN
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. E.Sabri KAYALI (İTÜ)
Prof. Dr. Mehmet KOZ (MÜ)
Doç.Dr. Murat BAYDOĞAN(İTÜ)**

OCAK 2011

ÖNSÖZ

Tezimi yöneten değerli fikirleriyle çalışmalarında bana yol gösteren, Sayın Hocam Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU'na en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bütün üniversite yaşantım boyunca ve bu tezin hazırlanması esnasında destek, teşvik ve yardımlarını gördüğüm Sayın Hocam Doç. Dr. Havva KAZDAL ZEYTİN'e de teşekkürlerimi sunarım.

Tezimde kullandığım döküm numunelerin hazırlandığı DUDUÖĞLU Çelik Döküm A.Ş. 'de destekleri için teşekkürlerimi sunarım.

Deneylerde kullandığım numunelerin hazırlanmasında bana yardımcı olan Tübitak Malzeme Enstitüsü Mekanik Metalurji Lab. çalışanlarına, teknisyen Adem DENİZ ve Bilal TEYMUR'a, yaptığım deneyler sırasında bana yardımcı olan Araştırma Görevlisi Dr. Özgür ÇELİK'e, Metalurji ve Malzeme Yüksek Mühendisi Onur MEYDANOĞLU, Mert GÜNYÜZ, Rıza KARADAŞ, ve İ. Metin ÖZKARA'ya, çalışmalarım esnasında desteklerini esirgemeyen arkadaşlarım Metalurji ve Malzeme Mühendisi Burcu ÖZTÜRK, Kudret SOLUM ve Metalurji ve Malzeme Yüksek Mühendisi Farid SİYAHJANI'ye çok teşekkür ederim.

Ayrıca bütün eğitim hayatım boyunca beni destekleyen ve bana güvenen aileme teşekkürlerimi sunarım.

Aralık, 2010

Gürkan KAZDAL

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1.GİRİŞ VE AMAÇ	1
2.DÖKME DEMİRLER	5
2.1 Dökme Demirlerin Tanımı	5
2.2 Dökme Demirlerin Sınıflandırılması	5
2.3 Beyaz Dökme Demirler	6
3.YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLER	7
3.1 İçeriği	7
3.2 Mikroyapı	8
3.2.1 Karbürler	9
3.2.2 Matris	10
3.3 Alaşım Elementlerinin Etkisi	11
3.3.1 Karbon	11
3.3.2 Krom	12
3.3.3 Molibden	12
3.3.4 Silisyum	13
3.3.5 Bakır	13
3.3.6 Kükürt	13
3.3.7 Fosfor	14
3.3.8 Mangan	14
3.3.9 Nikel	14
3.3.10 Bor	14
3.3.11 Niyobiyum	14
3.3.12 Vanadyum	15
3.3.13 Titanyum	15
3.3.14 Seryum	15
3.3.15 Nadir Toprak Elementleri	15
3.4 Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin Uygulama Alanları	16
4.YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERDE	
KATILAŞMA VE ISIL İŞLEM	17
4.1 Fe-C-Cr Sistemi	17
4.2 M_7C_3 Karbürlerinin Özellikleri	19
4.3 Fe-Cr-C Alaşımlarının Döküm Matris Yapısı	19
4.3.1 Fe-C-Cr Alaşımlarının katı hal reaksiyonları	19

4.3.2 İkincil M_7C_3 karbürlerinin oluşumu	20
4.3.3 Bor katkısının birincil ve ikincil karbürler üzerine etkisi	20
4.4 Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin Isıl İşlemi	21
4.4.1 Su verme sıcaklığı	22
4.4.2 Martensit dönüşümü	22
4.4.3 Tavlama ve temperleme	23
5.YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERİN AŞINMA	
DAVRANIŞI	25
5.1 Abrasif Aşınmanın Tanımı	25
5.2 Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerde Abrasif Aşınmayı	25
Etkileyen Faktörler	
5.2.1 Karbür yapısının abrasif aşınmaya etkisi	25
5.2.2 Matris yapısının abrasif aşınmaya etkisi	26
6.DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	27
6.1 Kullanılan Malzemeler	27
6.2 Mikroyapısal Karakterizasyon	27
6.3 Mekanik Deneyler	28
6.3.1 Sertlik deneyleri	28
6.3.2 Aşınma deneyleri	28
7.DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	29
7.1 Isıl İşlem Koşullarının Mikroyapıya Etkisi	29
7.2 Mekanik Özellikler	51
8.SONUÇLAR	59
KAYNAKLAR	63
EKLER	67

KISALTMALAR

SEM	: Scanning Elecron Microscope
XRD	: X-Ray Diffraction
EDS	: Electron Dispersive Spectroscope
α	: Ferrit
γ	: Östenit
HC	: High Carbon
LC	: Low Carbon

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1: Aşınma dirençli yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin bileşimleri	7
Çizelge 3.2: Çeşitli minerallerin, karbürlerin ve matrislerin ertlikleri	8
Çizelge 3.3: Yüksek krom-molibdenli beyaz dökme demirlerde mikroyapıda bulunan karbürlerin sertlikleri	9
Çizelge 4.1: Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin yapısında oluşan fazlar ve kafes yapıları	18
Çizelge 4.2: Fe-C-Cr sisteminin sıvılaşıma yüzeyindeki kritik noktalarda oluşan reaksiyonlar	19
Çizelge 6.1: Kullanılan beyaz dökme demirlerin kimyasal bileşimi	27
Çizelge 7.1: Alaşımlara uygulanan ısıt işlemler	29
Çizelge 7.2: 1-8 No'lu numunelerin mikroyapısal karşılaştırılması	30
Çizelge 7.3: Isıl işlem ve kompozisyona göre sertlik ve göreceli aşınma direncinin değişimi	52
Çizelge C.1: Döküm hali ve her iki ısıt işlem koşulu için aşınma iz alanları	84

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1: Dökme demirler ve alt grupları	5
Şekil 3.1: Yüksek kromlu dökme demirlerde krom ve karbon oranı arasındaki ilişki	10
Şekil 3.2: Yüksek krom-molibdenli beyaz dökme demirlerde matris mikrosertliğinin (Hv50) aşınma direncine etkisi	11
Şekil 4.1: Fe-Cr-C diyagramında katı-sıvı ara yüzeyi	17
Şekil 4.2: İzotermal dönüşüm diyagramları a) destabilize edilmemiş ostenit b) İkincil karbür çökmesiyle destabilize edilmiş ostenit	21
Şekil 6.1: İleri – geri aşınma cihazı fotoğrafı	28
Şekil 7.1: C6 ısıtıl işlemi görmüş 1 numaralı numune SEM görüntüsü	32
Şekil 7.2: 1 Numaralı numunenin döküm ve C6 ısıtıl işlemi için XRD analizleri ...	33
Şekil 7.3: C6 ısıtıl işlemi görmüş 2 numaralı numune SEM görüntüsü	34
Şekil 7.4: 2 Numaralı numunenin döküm ve C6 ısıtıl işlemi için XRD analizleri	35
Şekil 7.5: C6 ve C6+200 ısıtıl işlemi görmüş 3 numaralı numune SEM görüntüsü.....	36
Şekil 7.6: 3 Numaralı numunenin döküm ve C6 ısıtıl işlemi için XRD analizleri	37
Şekil 7.7: C6 ve C6+200 ısıtıl işlemi görmüş 4 numaralı numune SEM görüntüsü	39
Şekil 7.8: 4 Numaralı numunenin döküm ve C6 ısıtıl işlemi için XRD analizleri	40
Şekil 7.9: C6 ve C6+200 ısıtıl işlemi görmüş 5 numaralı numune SEM görüntüsü	41
Şekil 7.10: 5 Numaralı numunenin döküm ve C6 ısıtıl işlemi için XRD analizleri	42
Şekil 7.11: C6 ve C6+200 ısıtıl işlemi görmüş 6 numaralı numune SEM görüntüsü	44
Şekil 7.12: 6 Numaralı numunenin döküm ve C6 ısıtıl işlemi için XRD analizleri	45
Şekil 7.13: C6 ve C6+200 ısıtıl işlemi görmüş 7 numaralı numune SEM görüntüsü	47
Şekil 7.14: 7 Numaralı numunenin döküm ve C6 ısıtıl işlemi için XRD analizleri	48
Şekil 7.15: C6 ve C6+200 ısıtıl işlemi görmüş 8 numaralı numune SEM görüntüsü	50
Şekil 7.16: 8 Numaralı numunenin döküm ve C6 ısıtıl işlemi için XRD analizleri	51
Şekil 7.17: Isıl işlemdeki değişime göre makro sertlik değişimleri.....	54
Şekil 7.18: Isıl işlemdeki değişime göre mikrosertlik değişimleri.....	55
Şekil 7.19: Isıl işlemdeki değişime göre aşınma direncindeki değişim.....	56
Şekil 7.20: 1,5 ve 7 numaralı numuneler döküm hali ve C6 ısıtıl işlemi için aşınma iz alanı SEM görüntüleri	58
Şekil A.1 : 1 Numaralı numune optik mikroskop görüntüsü	68
Şekil A.2 : 2 Numaralı numune optik mikroskop görüntüsü	69

Şekil A.3 : 3 Numaralı numune optik mikroskop görüntüsü	70
Şekil A.4 : 4 Numaralı numune optik mikroskop görüntüsü	71
Şekil A.5 : 5 Numaralı numune optik mikroskop görüntüsü	72
Şekil A.6 : 6 Numaralı numune optik mikroskop görüntüsü	73
Şekil A.7 : 7 Numaralı numune optik mikroskop görüntüsü	74
Şekil A.8 : 8 Numaralı numune optik mikroskop görüntüsü	75
Şekil B.1: 1 numaralı numune profilometre ölçümleri:	
(a) C6 ısıt işlemleri (b) C6+200 ısıt işlemleri (c) döküm hali	76
Şekil B.2: 2 numaralı numune profilometre ölçümleri:	
(a) C6 ısıt işlemleri (b) C6+200 ısıt işlemleri (c) döküm hali	77
Şekil B.3: 3 numaralı numune profilometre ölçümleri:	
(a) C6 ısıt işlemleri (b) C6+200 ısıt işlemleri (c) döküm hali	78
Şekil B.4: 4 numaralı numune profilometre ölçümleri:	
(a) C6 ısıt işlemleri (b) C6+200 ısıt işlemleri (c) döküm hali	79
Şekil B.5: 5 numaralı numune profilometre ölçümleri:	
(a) C6 ısıt işlemleri (b) C6+200 ısıt işlemleri (c) döküm hali	80
Şekil B.6: 6 numaralı numune profilometre ölçümleri:	
(a) C6 ısıt işlemleri (b) C6+200 ısıt işlemleri (c) döküm hali	81
Şekil B.7: 7 numaralı numune profilometre ölçümleri:	
(a) C6 ısıt işlemleri (b) C6+200 ısıt işlemleri (c) döküm hali	82
Şekil B.8: 8 numaralı numune profilometre ölçümleri:	
(a) C6 ısıt işlemleri (b) C6+200 ısıt işlemleri (c) döküm hali	83

MADEN KIRICILARDA KULLANILAN BEYAZ DÖKME DEMİRLERDE BOR KATKISININ VE ISIL İŞLEMİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

ÖZET

Madencilikte kullanılan kırıcı parçaları yüksek mukavemetli aşınmaya ve darbeye dayanıklı, beyaz dökme demirden üretilirler. Bu çalışmada yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin sertlik ve aşınma özelliklerini etkileyen mikroyapının, alaşım elementlerindeki değişimle ve ısıtılma işlemle nasıl değiştiğine değinilmiştir.

Bu amaçla standart kromlu ve %28 kromlu numunelerin Mo ve B miktarları değiştirilmiş ve ısıtılma işlemin etkisini görebilmek için döküm halindeki alaşımlara C6(Kritik Altı Isıl İşlem: 600C de 6 saat → Havada soğutma, Destabilizasyon: 970C de 4 saat ostenitleme → Havada Soğutma) ısıtılma işlemi ve tavlama işleminin etkisini görebilmek için C6 ısıtılma işleminden sonra 200C'de 4 saat temperleme uygulanmıştır. Uygulanan ısıtılma işlemlerle matris yapısı martensite dönüşmüştür ve dönüşen matrisle beraber sertlik ve aşınma direncide artmıştır. C6 ve C6+200 ısıtılma işlemi uygulanan dökme demirlerin mikroyapısında martensitik matris boyunca karbür alaşımları (M_7C_3 , $M_{23}C_6$, M_3C) görülmüştür. Genel eğilim olarak krom oranındaki artışla beraber sertlik ve aşınma direncide artış sağlanmıştır. Buna rağmen, bor miktarı %2 oranında artırılmasına rağmen beklenen sertlik ve aşınma direnci değeri sağlanamamıştır. Sonuçta en yüksek sertlik ve aşınma direnci değeri C6+200 ısıtılma işlemi görmüş ve 21Cr-1Mo-0,5B içeren beyaz dökme demir numunesinde elde edilmiştir.

EFFECT OF HEAT TREATMENT AND BOR ADDITION TO MECHANICAL PROPERTIES OF WHITE CAST IRONS USED FOR THE MINING APPLICATIONS

SUMMARY

High strength, impact and wear resistant white cast irons are used for the mining applications. This study focuses on the microstructures and mechanical properties of high chromium white cast irons depending on the alloying elements and heat treatment procedures. For these purposes, amount of chromium, molibdenium and bor present in the compositions were changed. As the heat treatment procedures C6(Sub-critical heat treatment: in 600⁰C for 6 hours → Air cooling, Destabilisation: in 970⁰C for 4 hours → Air cooling) and C6+200 (tempering at 200C after C6 process) were followed. The applied heat treatments changed the matrix into martensite while increasing both the hardness and the wear resistance. In the microstructures of the C6 and C6+200 heat treated cast irons alloy carbides (such as M₇C₃ and M₂₃C₆ types) were detected along with the martensitic matrix. As a general trend higher hardness and wear resistance values were obtained as the chromium content of the white cast iron was increased. However, the addition of boron to a value of about 2 % did not result in an enhanecement in wear resistance. Finally high hardness and wear resistance combination was oobtained from 21Cr-1Mo-0,5B containing cast iron after C6+200 heat treatment.

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Yüksek kromlu beyaz dökme demirler tavlansak, tokluk ve işleme kolaylığı ile birlikte mükemmel abrasif aşınma direncine sahiptirler. Bu nedenle diğer dökme demirlerden ayrı bir malzeme grubudurlar. Yüksek krom molibdenli ve borlu beyaz dökme demirler, cevher kırıcıları, öğütücü değirmen bilyaları, çeşitli astarlar, tarım alet ve makinaları, pistonlar ve dişlileri, çeşitli konveyörler, grayder bıçakları, çeşitli pompalar, pabuçlar, diskler, tuğla kalıpları, segmanlar ve barlar, madencilik ve mineral sanayii gibi yüksek abrasif aşınma direnci gerektiren yerlerde kullanılmaktadırlar [1-6].

Sözü edilen alanlarda kullanılan malzemelerin aşınması maddi zararlara ve iş kayıplarına neden olmaktadır. Bu nedenle daha sert ve aşınmaya daha dirençli malzemelerin geliştirilmesi gerekliliği bulunmaktadır. Yüksek krom molibdenli ve alaşımlı beyaz dökme demirler bu amaca en uygun malzeme gruplarından birisidir[3,4,7].

Bu malzemelerde aşınma dayanımını sağlayan mikroyapısal özellikleridir. Aşınmaya dayanıklı mikro yapıyı oluşturan Fe-Cr-C üçlü sistemi sadece dökme demirlerin değil, aynı zamanda martensitik ve ferritik paslanmaz çeliklerin de seçiminde kullanılır. Bu sistemde %15 kadar krom, sementit fazı içinde demir ile yer değiştirebilir. Ancak daha yüksek krom içeriklerinde sementit kararsızdır ve M_7C_3 hegzagonal karbürüne dönüşür. Krom karbür ağırlıklı olmakla birlikte, bu karbür içinde diğer elementler de belli oranlarda çözünür. Aşınma direncini sağlayan krom karbürün sertliği 1500–1800 HV iken, sementit 1000–1200 HV sertliğine sahiptir. Mikroyapıda yer alan geniş primer ve özellikle M_7C_3 tipi ötektik karbürler kırma, öğütme, işleme gibi alanlar için gerekli yüksek sertliği ve aşınma direncini verir. Bu özelliği ile yüksek kromlu beyaz dökme demirler aşınma uygulamaları için vazgeçilmez malzemelerdir.

Beyaz dökme demirler yüksek aşınma dayanımlarına karşın içerdikleri yüksek karbür miktarı nedeni ile toklukları nispeten düşüktür. Son yıllarda yapılan araştırmalar

aşınma davranışı ile birlikte tokluğu da arttırma yönünde yoğunlaşmış olup, ısıt işlem ile birlikte alaşım bileşimi ile ilgili araştırmalar hale devam etmektedir.

Alaşım elementleri seçimi ve miktarı, krom karbürün bileşimi, birincil ve ikincil karbür çökmesinin kontrolü, perlitik dönüşümün geciktirilmesi, martensit dönüşüm sıcaklığı üzerindeki etkisi gibi faktörler dikkate alınarak yapılır. Yüksek alaşımlı beyaz dökme demirler başlıca iki gruba ayrılırlar:

- 1) Nikel – krom içeren beyaz dökme demirler; bileşimlerinde %3-5 nikel, %1-4 krom veya %7-11 krom bulunur
- 2) Krom –molibden içeren beyaz dökme demirler:
 - Bileşimlerinde %11-23 krom, max %3 molibden, nikel ya da bakır bulunur.
 - Bileşimlerinde %25-28 krom, max %1,5 nikel ve/veya molibden bulunur.

Alaşım elementlerinden en önemlisi molibdendir. Molibden genellikle %0.5 ile %4 arasında ilave edilir. Molibdenin oluşturduğu karbür C/Cr oranına bağlıdır. Eğer $Cr/C = 5$ ise Mo_2C karbürü, $Cr/C = 10$ ise M_6C karbürü oluşturur. Molibden, %50 Mo_2C , %25 M_7C_3 karbürleri şeklinde ve %25 matriste bulunur. Molibdenin en önemli etkisi döküm koşullarında ostenit fazını stabil etmesidir. Bor elementi bu alaşımlara tokluğu düşürmeden aşınma dayanımını arttırmak için katılmaktadır. Bor ilavesi ile matristeki karbür miktarı azaltılarak yerine boritler oluşturmayı hedeflemektedir. Yapılan çalışmalarda bor içeren alaşımlarda mikroyapının dendritik matris ile ötektik bileşenlerden oluştuğu anlaşılmaktadır. Ötektik bileşenler $M(Fe, Cr, Mn)_2B$ yapısına sahiptir. Bu yapı karbüre benzer olmakla birlikte sertliği karbürden çok daha yüksektir.

Beyaz dökme demirlerin aşınma ve tokluk özelliklerinin geliştirilmesi için standart ısıt işlemler uygulanır. Optimum özellikler martensitik bir yapı ile elde edilir. Temel ısıt işlem kademeleri ostenitleme (destabilizasyon) /su verme, temperleme, kritik altı (sub-kritik) ısıt işlem, tavlama ve gerilim giderme işlemleridir. Ostenitleme işlemi krom miktarına bağlı olarak değişir ve %12-20 krom içeren alaşımlarda 950-1010°C, %23-28 krom içeren alaşımlarda ise 1010-1090°C arasında değişir. Su verme işlemi genellikle havada yapılır. Beyaz dökme demirler bir temperleme veya sub kritik ısıt işlemi yapılmadan da kullanılabilirler, ancak matrisin tokluğunu

arttırmak ve gerilim gidermek için temperleme yapılabilir. Sub-kritik ısıt işlemleri genellikle büyük parçalara uygulanır. Burada amaç kalıntı osteniti azaltmak olup bu işlem genellikle 450–600°C’lerde 8–12 saat uygulanır. Tavlama işlemi diğer bir ısıt işlem olup, işlenebilirliği arttırmak için uygulanır. Gerilim giderme işlemi, su vermede oluşan iç gerilimleri gidermek için uygulanır.

Bu çalışmada 8 farklı alaşım içeren ve maden kırıcı uç olarak kullanılan beyaz dökme demirin aşınma ve tokluğunu geliştirmek üzere kimyasal bileşim ve ısıt işlem modifikasyonu yapılmıştır. Bu amaçla standart kromlu ve %28 kromlu numunelerin Mo ve B miktarları değiştirilmiş ve ısıt işlemin etkisini görebilmek için döküm halindeki alaşımlara C6(Kritik Altı Isıt İşlem: 600C de 6 saat → Havada soğutma,

Destabilizasyon: 970C de 4 saat ostenitleme → Havada Soğutma) ısıt işlemi uygulanmış buna ek olarak tavlama işleminin etkisini görebilmek için C6+200C(Kritik Altı Isıt İşlem: 600C de 6 saat → Havada soğutma, Destabilizasyon: 970C de 4 saat ostenitleme → Havada Soğutma, Temperleme : 200C de 4 saat → Havada Soğutma) ısıt işlemi uygulanmıştır. Bu numunelerin mikroyapı değişimleri incelenmiş sertlik değerleri ölçülmüş ve aşınma dayanımlarında uygulanan ısıt işleme ve alaşıma göre meydana gelen değişimler incelenmiştir.

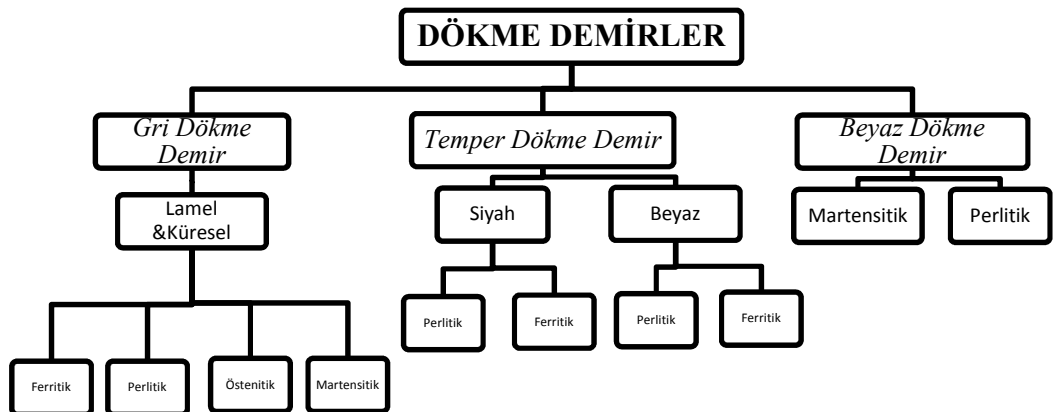
2. DÖKME DEMİRLER

2.1 Dökme Demirlerin Tanımı

Dökme demir ismi; gerçekte özellikleri birbirinden oldukça farklı malzemelerin meydana getirdiği grubun veya ailenin soy ismidir. Genel olarak dökme demirler; %2-4 oranında karbon, %3,5 'a kadar silisyum içerebilen bir demir alaşımı olup dökülmüş halde sünek değildirler.

2.2 Dökme Demirlerin Sınıflandırılması

Dökme demirler, mühendislikte kullanılan genel bir terimdir. Bunlar; beyaz dökme demirler, gri dökme demirler, temper dökme demirler ve küresel grafitli dökme demirler olarak sınıflandırılmaktadırlar. Dökme demirlerin başlıca alt grupları Şekil 2.1' de gösterilmiştir. Fe-C denge diyagramına baktığımızda dökme demirlerin %2-6,67 C içerdiği görülür. Fakat yüksek karbon oranının malzemeyi aşırı gevrek yapması sebebiyle, pratikte bu oran %2-4 C seviyesindedir. Dökme demirlerin matris yapısı perlitten martensite kadar değişiklikler gösterebilir.



Şekil 2.1 : Dökme Demirler ve Alt Grupları [8].

Dökme demirlerde bu değişik gurupların oluşumunu, malzemenin kimyasal kompozisyonu, soğuma hızı, üretim yöntemi, üretimden sonraki ısıt işlemleri gibi değişkenler belirler.

2.3 Beyaz Dökme Demirler

Karbonun tamamı sementit olarak bileşik haldedir. Katılaşma sıcaklığında hızlı soğuma yoluyla elde edilir. Bu tip malzemeler kırılınca beyaz renkte görüldükleri için Beyaz Dökme Demir (White Cast Iron) diye adlandırılırlar. Sert ve kırılğan özellikteki bu malzemeler aşınma direncinin yüksek olmasının istendiği parçalarda alaşımsız veya krom, molibden gibi karbür yapıcı elementlerle alaşımlı olarak üretilirler. Beyaz dökme demirde önemli miktarda sementit bulunmasından ve sementitin sert gevrek bir bileşik oluşundan dolayı, beyaz dökme demirlerin yapıları sert ve aynı zamanda aşınmaya karşı dirençlidir. Gevrek yapılarından dolayı beyaz dökme demirlerin işlenebilmesi zordur, aşınma direncinin önemli olduğu ve sünekliğin istenmediği yerlerde kullanılır.

3. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLER

Yüksek kromlu demirler mikroyapıdaki karbürlerin sertliği sayesinde mükemmel mekanik özellikler verir. Krom aralığı ile kullanım amaçlarına göre 3 gruba ayrılabilirler.

- a) 15-17% Cr Isı ve Aşınma direnci için
- b) 26-28% Cr Aşınma direnci için
- c) 30-35% Cr Isı ve korozyon direnci için

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde mekanik testler sertlik testleri ile sınırlıdır. Sert ve kırılğan malzemeler için çekme testi numunesi hazırlaması zor ve pahalıdır. Numune elde edilmesi esnasında kırılmaya sebep olacak küçük çatlakların oluşma ihtimali çok fazladır. Sonuç olarak bu tür malzemelerin kalite kontrolleri, sertlik testi dışındaki diğer mekanik testlerle belirlenememektedir.

3.1 İçeriği

Krom, demir – karbon alaşımlarına atıldığı anda karbür yapıcı ve östenit fazını bastırıcı element olarak bilinir. Yüksek karbon yüzdeleri, krom açısından zengin karbürler oluşturur ve östenitin kararlı olduğu alanları azaltır veya tamamen yok eder. Çizelge 3.1’de aşınmaya dirençli yüksek kromlu beyaz dökme demir bileşimleri verilmektedir.

Çizelge 3.1: Aşınma dirençli yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin bileşimleri [4].

Sınıf	Tip	Sembol	Kimyasal Bileşim,%					
			C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo
I	A	Ni-Cr-HC	3-3,6	1,3 max	0,8 max	3,3 - 5	1,4 - 4	1 max
I	B	Ni-Cr-LC	2,5-3	1,3 max	0,8 max	3,3 - 5	1,4 - 4	1 max
I	C	Ni-Cr-GB	2,9-3,7	1,3 max	0,8 max	2,7 - 4	1,1 - 1,5	1 max
I	D	Ni-HiCr	2,5-3,6	1,3 max	1 – 2,2	5 - 7	7 - 11	1 max
II	A	%12Cr	2,8	0,5 – 1,5	1 max	0,5 max	11 – 14	0,5 – 1
II	B	%15Cr-Mo-LC	2,4-2,8	0,5 – 1,5	1 max	0,5 max	14 - 18	1 – 3
II	C	%15Cr-Mo-HC	2,8-3,6	0,5 – 1,5	1 max	0,5 max	14 – 18	2,3 – 3,5

3.2 Mikroyapı

Beyaz dökme demirlerin üstün aşınma direnci doğrudan mikroyapılarının bir sonucudur. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde döküm sonrası mikroyapı, krom açısından zengin ferritik matris içinde süreksiz özellikle ötektik demir – krom karbürlerden $(Cr,Fe)_7C_3$ oluşur. Daha sonra ısıtıl işlem ile ikincil karbürler matris içinde çökler.

Aşınma işlemine mikroskobik olarak bakılırsa; aşınma, aşındırıcı tanelerden birinin metalin yüzeyine girmesi, deformasyon ve aşınma çizikleri oluşturması ve yüzeyden parçalar kopması nedeni ile gerçekleşir. Bu olayın gerçekleşebilmesi için aşındırıcı partikülün metalden daha sert olması gerekir [3,4,7].

Çizelge 3.2’de çeşitli mineral karbür ve matrislerin sertlikleri gösterilmektedir. Buna göre kuarts demir esaslı alaşımların matris yapısından daha serttir ve bunları kolayca aşındırabilir. Bununla birlikte yüksek krom molibdenli beyaz dökme demirlerde öncelikle oluşan krom-karbür kuartzdan daha serttir ve aşınmaya daha dirençlidir.

Çizelge 3.2: Çeşitli minerallerin, karbürlerin ve matrislerin sertlikleri [4,7].

Mineral, Malzeme veya Faz	Sertlik	
	<i>Knoop</i>	<i>HV</i>
Talk	20	-
Karbon	35	-
Cam	455	500
Feldspat	550	600-750
Manyetit	575	-
Kuarz	840	900-1280
Zımpara	1400	-
Silisyum Karbür	2585	2600
Elmas	7575	10000
Ferrit	235	70-200
Perlit(Alaşımsız)	-	250-320
Perlit(Alaşımlı)	-	300-460
Ostenit(%12 Mn)	305	170-230
Ostenit(Az alaşımlı)	-	250-350
Ostenit(Yüksek krom)	-	300-600
Martenzit	500-800	500-1010
Sementit	1025	840-1100
Krom-Karbür	1735	1200-1600
Molibden-Karbür	1800	1500
Tungsten Karbür	1800	2400
Vanadyum Karbür	2660	2800
Titanyum Karbür	2470	3200
Bor Karbür	2800	3700

3.2.1 Karbürler

Yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirler, mikroyapıda bulunan krom karbürlerin etkisiyle, mikroyapsında sementit içeren dökme demirlerden daha serttir ve aşınmaya daha dirençlidir. Yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirlerde mikroyapıda süreksiz ötektik karbürler ve ikincil karbürler olmak üzere iki çeşit karbür bulunmaktadır.

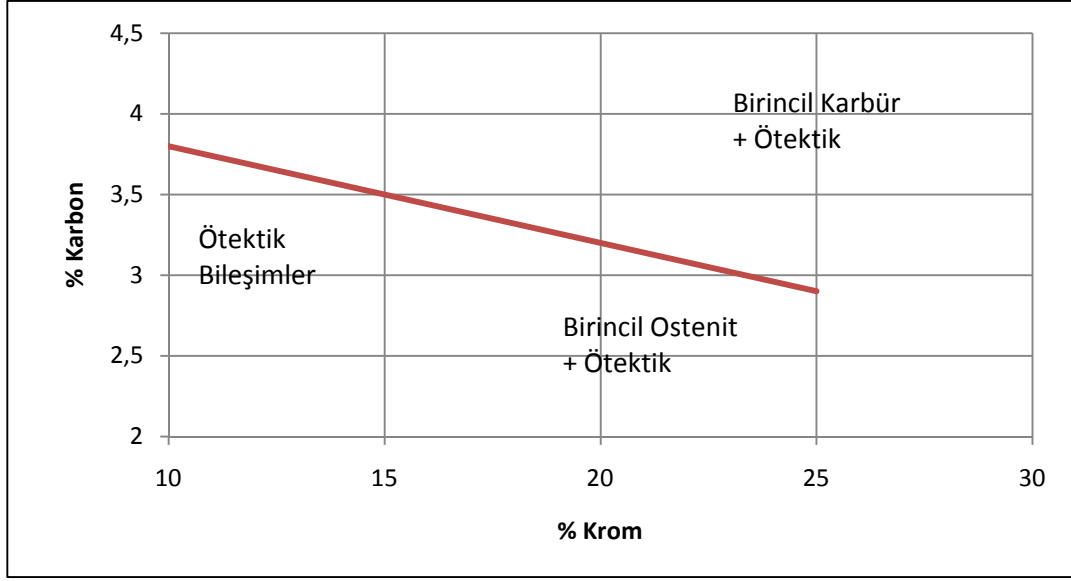
Çizelge 3.3’de mikroyapıda bulunabilen karbürlerin sertlikleri verilmektedir, karbürlerin sertlikleri bileşime göre değişmektedir. M_7C_3 tipi karbür en yüksek sertliğe sahiptir.

Çizelge 3.3: Yüksek krom -molbdenli beyaz dökme demirlerde mikroyapıda bulunan karbürlerin sertlikleri [11].

Karbür Tipi	Sertlik(HV)
M_3C	840-1100
M_7C_3	1200-1800
M_2C_3	1500

Karbürler mikroyapıda hacimce % 40 – 50 oranında bulunur. Bunun dışında kalan kısım matristir. Karbür oranı ile sertlik arasında doğru orantılı bir ilişki vardır. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi karbon miktarının artışıyla mikroyapıda bulunan karbür miktarı artar. Ötektik karbonun içeriği aşıldığında çok kaba primer karbürler oluşur.

Mikroyapıda oluşan primer karbürler gevrek yapıya sahiptir ve abrasif partiküllerin etkisi ile kırılmaya eğilimlidir. Bu nedenle ötektik karbon içeriği temel uygulamalar için izin verilebilen maksimum orandır [3]. Ötektik karbon içeriği % 3,6 C - % 15 Cr, % 3,2 C - %20 Cr ve %3 C - %25 Cr’da oluşur. Diğer alaşım elementleri bu miktarı değiştirir. Özellikler silisyum bu içeriği azaltmaktadır [3,4,7].



Şekil 3.1: Yüksek kromlu dökme demirlerde krom ve karbon oranı arasındaki ilişki[3,4].

3.2.2 Matris

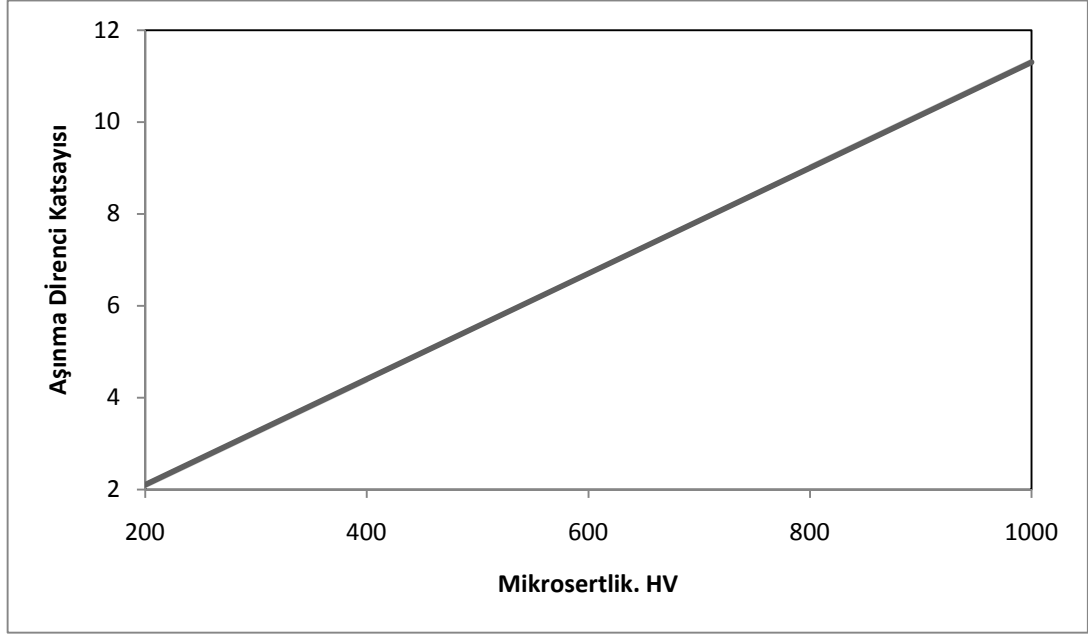
Aşınma direnci ve tokluğun yüksek olabilmesi için beyaz dökme demirin mikroyapısında uygun karbür ve matrisin bulunması gereklidir. Matris için yapılabilecek optimumum seçim ikincil karbürlerde sertleştirilmiş yüksek karbonlu sert martensittir. Diğer bir alternatif ise ısıtılı ile serleştirilebilen kararsız östenittir[3].

Beyaz dökme demirlerde matrisin kırılma prosesinde birincil rolü; gevrek çatlakların bir karbür parçacığından diğerine geçmesini engellemektir. Bununla beraber matrisin çatlak ilerlemesi için ihtiyaç duyulan kritik gerilim yoğunlu faktörünün artışı engelleyici bir etkisi vardır. Matrisin çatlak engelleme etkisinin etkin olabilmesi için östenit yapısı martensit yapısından daha etkindir [12].

Karbon artışı ile martensitin aşınma direnci artar. Isıl işlem sonucu martensitik matrise dağılan ikincil karbürler aşınma direncinde artışa sebep olur. 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 yararlanılabildiği olur.

Matrisin önemi Şekil 3.2’de açıkça görülebilir. Matris yumuşak olursa karbürlerin kırılma eğilimi yüksek ve aşınma direnci daha düşük olur. Yumuşak matris, sürtünme esnasında oluşan mekanik gerilmelere karşı karbürlere gerekli desteği sağlayamaz. Sonuçta karbürler kırılır. Bu yüzden mikroyapıdaki perlit varlığında önemlidir. Beyaz dökme demirlerde mikroyapıda bulunan perlit varlığı %10’u aştığı zaman aşınma direnci düşmektedir [4].



Şekil 3.2 : Yüksek krom-molibdenli beyaz dökme demirlerde matris mikrosertliğinin (Hv50) aşınma direncine etkisi [4].

3.3 Alaşım Elementlerinin Özelliklere Etkisi

Birçok dökme demirde alaşım elementlerinin birbirlerinden etkilenmeleri ile birlikte dökme demirlerin özellikleride etkilenirler. Alaşım elementleri grafitin ve karbürünlerin şekil ve miktarını etkiler.

Beyaz dökme demirlerde optimum kimyasal bileşim ayarlanması; malzemenin beklenen hizmet özellikleri dikkate alınarak, maliyet, ısıtma işlemi, parça boyutu ve kompleksliği gibi parametrelere göre belirlenir. Beyaz dökme demirde istenen mikroyapıyı sağlamak için C, Mn, Si, Cr, Mo, Ni, ve V gibi alaşım elementleri uygun kombinasyonlarla ilave edilir [5].

3.3.1 Karbon

Kromlu demirlerde karbonun temel etkisi karbür oluşturmaktır. Karbon, ötektik karbon miktarınıda etkilediği için malzemenin sertliğinin belirlenmesinde önemlidir.

Yani beyaz dökme demirin sertliğini artırır. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde karbon içeriği %15 Cr için %2.2-3.5, %27 Cr için %2.2 -2.7 civarındadır. Beyaz dökme demirde karbon artışı kırılabilirliği artırır ve özellikle mukavemeti düşürür. Diğer alaşım elementleri sabit kaldığı düşünülürse , karbon artışı sertliği arttırdığı için aşınma direncini de arttırmaktadır [5].

3.3.2 Krom

Aşınmaya dirençli yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde krom; kararlı karbür yapısı oluşturup, sertlik ve aşınma direncinin artırılması için kullanılır. Aynı zamanda sertleştirilebilirlik açısından faydalıdır.

Beyaz dökme demirde krom miktarı %10'u geçtiği zaman M_7C_3 tipi ötektik karbürler oluşturur. Krom içeriği %10'dan az olan alaşımlarda M_3C karbürleri oluşur.

%12-22 Cr içeren beyaz dökme demirlerin martensitik yapıda en iyi aşınma direncini gösteren alaşım olduğu görülmektedir. Yapıda krom içeriğinin artmasıyla beraber martensit oluşmaya başladığı ve hacim oranının arttığı görülmektedir. Bununla beraber yüksek krom içeriği karbonun matriste düzensiz bir şekilde dağılmasına sebep olur. Bunun sonucunda düşük karbonlu bölgeler martensite dönüşür ve yüksek karbonlu bölgeler perlitte dönüşür. Bunun sonucunda yüksek karbonlu bölgede $M_{23}(B,C)_6$ parçacıkları çöker.

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde krom yalnız başına kullanıldığında perlit oluşumunu önleyemediğinden, yeterli sertleşebilirliği sağlayabilmek için Mn, Ni, Mo gibi elementler ile birlikte kullanılır [14,15].

3.3.3 Molibden

Molibdenin %3,5'a kadar atılması aşınma direncini iyileştirir. Molibdenin diğer bir avantajı ise östenitleme sıcaklığını düşürerek ısı işlemleri kolaylaştırmasıdır.

Molibden perlit oluşumunu önler. %12-18 Cr'lu beyazdökme demirlerde, %1-4 Mo kullanımı, yavaş soğuyan kalın kesitlerde bile perlit oluşumunu engeller. Mo aynı zamanda beyaz dökme demirin aşınma direncini de arttırmaktadır. Aynı Cr içeriğinde ve tek fazlı matriste; molibden içeriğinin artmasıyla sertlik artarken aşınma kaybı azalır. Bunun nedeni molibdenin, matrisin perlitik olmasını engellemesidir [15].

3.3.4 Silisyum

Silisyum yüksek kromlu demirlerde %1-3 arasında değişen oranlarda eklenir. Miktar demirin uygulama alanı ile silisin temel etkisi göz önünde bulundurularak hesaplanır. Silisyum yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin sertleşebilirliğinde olumsuz rol oynar. Silisyum oranı arttıkça ısıl işlem görmüş beyaz dökme demirin aşınma direnci azalır. Silisyum içeriği yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde %0.4 – 0.9 arasında olmalıdır. Silisyum ayrıca mikroyapıdaki karbür yapısını değiştirir.

Silisyum mikroyapıdaki karbürlerin artışına sebep olur ve daha ince yapılı karbürler oluşur. Silisyum ilavesi ile karbürler süreksiz ince taneli bloklar veya çubuklar haline gelir. Bunun sonucunda karbürler arası mesafe azalır. Bu durumda karbürler matrisi aşınmadan korur ve malzeme yüksek aşınma direnci gösterir. Bunun yanında fazla miktarda silisyum ilavesi perlit oluşma ihtimalini arttırdığı için matrisin zayıflamasına neden olur [16].

Si içeriği arttıkça matrisin ve karbürlerin; mikrosertlik ve makro sertlikleri artar. Buna ek olarak beyaz dökme demirlerde mikroyapıda oluşan karbür miktarıda artar. Buna rağmen, ağırlıkça % 2,5 Si içeriğine kadar toklukta artış görülür. Bunun dışında Si içeriğinin artmasıyla karbür türünün Fe_3C 'den Fe_7C_3 'e dönüştüğü görülür [19].

3.3.5 Bakır

Bakır yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde perlit oluşumunun önlenmesi için ilave edilir. Bakırın östenit fazında çözünürlüğü kısıtlı olduğundan, kullanımı %2,5 ile sınırlandırılır. Bakır genelde molibdenle beraber kullanılır. Maksimum %1,2 veya daha az bakır, %0,5 – 2 molibden ile kullanıldığında perlit oluşumunu önler [4].

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde aynı orandaki bakır içeriğinde; molibden miktarındaki artış sertleştirilebilirliği düşürür[15].

3.3.6 Kükürt

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde kükürt içeriği çok düşük olmalıdır. Optimum aşınma direnci için maksimum kükürt miktarı %0,03'tür. Bu değerin üzerinde mikroyapıda bulunan kükürt, aşınma direncini olumsuz etkiler [4].

3.3.7 Fosfor

Fosfor yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin tokluğunu düşürür. Ayrıca fosfor kalın kesitli dökümlerde molibdenin sertleştirici etkisini yok edebilmektedir. Fosfor içeriği % 0,3'ün altında olmalıdır [4].

3.3.8 Mangan

Mangan perlit oluşumunu önlemek için ilave edilir. Mn içeriği %0,7'nin altında olmalıdır. Beyaz dökme demirde Mn içeriği %1,5'i aştığı zaman tokluk, mukavemet ve aşınma direnci düşer çünkü bu değer üzerinde manganın kalıntı östenit oluşturma riski ve kırılma tehlikesi fazladır [4].

3.3.9 Nikel

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde nikel, perlit oluşumunun önlenmesi için ilave edilir. Genellikle nikel miktarı %0,2-1,5 aralığındadır. Ayrıca nikel sertleşebilirliği artırır. Aşınma dirençli demirlerde nikel östeniti kararlı hale getirici etkisinden dolayı minimuma indirilebilir fakat ısı dirençli demirlerde tokluğu arttırmak için arttırılabilir[4].

3.3.10 Bor

Borda silisyum gibi mikroyapıdaki karbürleri etkiler. Bor mikroyapıdaki karbürleri inceltir ve sürekli iğneler şekline getirir. Bunun sonucunda aşınma direnci artar. Bu durum, bor miktarı %0,12-0,3 arasında olduğunda geçerlidir. Bu limitler arasında bor ilavesiyle darbe direncide %20 artar [16]. Bor miktarının artmasıyla birincil karbürler oluşabilir. Bu yüzden bor ilavesi %0,57 oranıyla sınırlıdır.

%28 Cr'lu beyaz dökme demirlerde bor ilavesi karbür miktarını artırır, karbürleri daha sert yapar, kabalaştırır ve döküm halinde martensit oluşumunu ilerletir. Bor ilavesi %29 Cr'lu beyaz dökme demirin tokluğunu düşürür [17,18].

3.3.11 Niyobiyum

Nb kuvvetli bir karbür yapıcı elementtir. % 0,01 – 0,5 oranında Nb'un; dökme demirlerin mekanik özelliklerini ve aşınma direncini arttırdığı bilinmektedir.

Nb ilavesi yapıyı inceltmektedir. İnce taneli yapıda; demirin aşınma direncini arttırmaktadır. Nb ilavesiyle ötektik nokta sağa doğru kaymaktadır. Böylece demir; gevrek, kaba taneli birincil karbür görülmezsizin daha fazla karbon içerebilmektedir [20].

3.3.12 Vanadyum

Vanadyum mikroyapıda karbür oluşturu element olarak yer alır. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde düşük miktarda vanadyum ilavesi aşınma direncini düşürür. Aşınma direncinin düşmesi; vanadyumun krom karbürlerde yoğun olarak çözünmesi ve gevrekliğin artmasından dolayıdır.

Yüksek kromlu dökme demirlerde vanadyum ilavesi ile beraber; birincil östenit miktarı azalır ve ince kolonsal bir kristal halini alır. Karbür morfolojisi ağa benzer bir yapıdan çok açılı izole edilmiş kolonsal bir yapıya dönüşür ve boyutlarında küçülerek düzenli bir hal alır. Buna ek olarak vanadyum ilavesi ile beraber aşınma direnci, sertlik ve toklukta da artış görülür [18].

3.3.13 Titanyum

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde % 0,03 – 0,3 oranlarında titanyum ilavesi yapıdaki birincil ve ötektik karbürleri küreselleştirme eğilimi gösterir. Ti oranının artması ile TiC miktarıda artar. Yüksek sıcaklıklarda birincil ve ötektik karbürler olarak çekirdeklenmiş bir çok ince TiC partikülü çökler. Ti oranının artması ile ötektik karbür oranı düşer ve matris mikrosertliği ile yüzey sertliği artar. Titanyum ilavesi ile beraber aşınma direnci, sertlik ve toklukta da artış görülür [18,21,22].

3.3.14 Seryum

Seryum çok güçlü bir miktarda karbür stabilize eder. Seryum ilavesi ile karbürler daha incelmekte ve birincil M_7C_3 karbürünün morfolojisi daha izotropik hale gelmektedir. Ama bu durum seryum miktarı ağırlıkça %1'i geçince yavaşlamaktadır. Oluşan Ce_2O_3 , primer karbürler için ideal heterojen çekirdeklenme yörelidir. Ce_2O_3 , birincil M_7C_3 karbürü için heterojen çekirdekler olarak davranırlar ve primer karbürleri inceltirler.

Uygun seryum ilavesi ile tüm karbürler incelir ve primer M_7C_3 karbürleri küreselleşir. Ek olarak primer karbür içinde Ce_2O_3 da bulunmaktadır. Bu Ce_2O_3 inklüzyonları, primer M_7C_3 için heterojen çekirdekler gibi davranırlar böylece çekirdeklenme sağlarlar ve birincil karbürlerin inceltirler [23].

3.3.15 Nadir toprak elementleri

Seryum, lantan ve neodim gibi nadir toprak elementleri; %18 Cr içeren beyaz dökme demirlerin mikroyapı karakteristiklerini değiştirebilmekte ve mekanik özelliklerini düzeltebilmektedirler. Yüksek kromlu beyaz dökme demirler optimum seryum,

lantın ve neodim içeriği %0,13 – 0,26 arasındadır. Bu alaşımların aşınma direnci, hiç nadir toprak elementi içermeyen temel alaşıma göre % 10 daha iyidir ve kırılma tokluğunda hiçbir değişim yoktur [24].

3.4 Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin Uygulama Alanları

Yüksek krom – molibden içeren beyaz dökme demirlerdeki üstün aşınma direnci ve tokluk, bu malzemelerin aşınmaya maruz birçok uygulamada kullanılmasının nedenidir. En başarılı uygulamalardan biri darbe çubukları ve darbeli kırıcıların dövücü bloklarıdır [25].

Yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirler için aynı aşındırma şartlarında başarılı uygulamalar; çeşitli şahmerdanlar, bazı çekiciler ve küçük çeneli kırıcılar için aşındırma plakalarıdır. Dövücü parçalar çok yüksek aşınma etkileri altında çatlamakta ve genellikle en iyi sonuçlar martensitik yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde elde edilmektedir [4,6].

Yüksek kromlu beyaz dökme demirler çimento değirmenlerinde astar olarak başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca cevher öğütmek için bilyalı ve otojen değirmenler de kullanılmaktadır. Burada yüksek kromlu beyaz dökme demirler, östenitik Mn çeliklerinin veya su verilip temperlenmiş az alaşımlı çeliklerin yerini birçok alanda devralmışlardır [25].

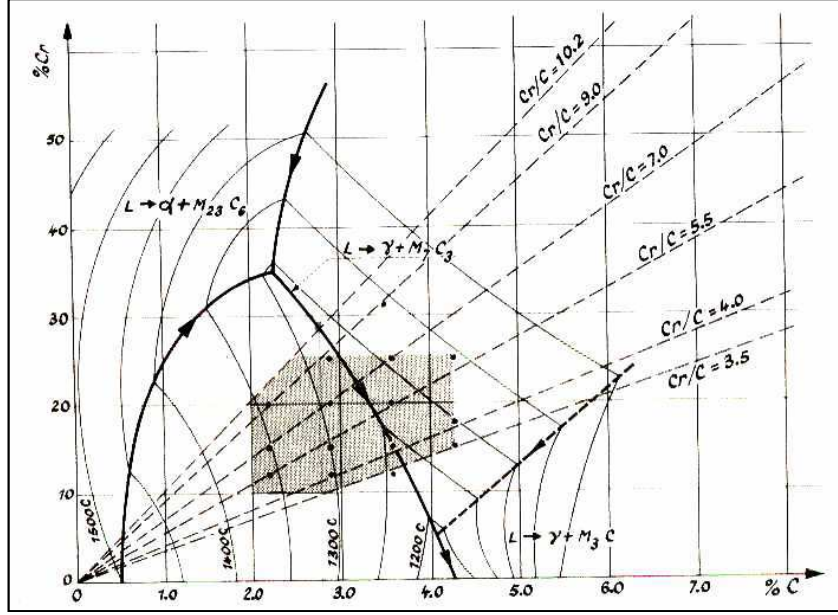
Aşınmaya dirençli pompa üretiminde yüksek kromlu beyaz dökme demirler artan ölçülerde kullanılmaktadır. Bu alanda yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin az alaşımlı beyaz dökme demirlere göre üstünlüğü sadece daha yüksek tokluk ve aşınma direncine sahip olmalarından değil, aynı zamanda daha iyi işlenebilirliğinden kaynaklanmaktadır [25].

Maden ve mineral endüstrisi dışında yüksek krom molibdenli beyaz dökme demirler merdaneli değirmenlerde önemli bir uygulama alanı bulmuştur. Şeritli değirmenler için işlem merdanelerinde, profil, çubuk ve tel üretiminde yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirler artan oranda kullanılmakta ve konvansiyonel merdane malzemelerinden daha iyi bir performans göstermektedir [4,6].

4. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERDE KATILAŞMA VE ISIL İŞLEM

4.1 Fe-C-Cr Sistemi

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin üstün aşınma direnci ve mekanik özellikleri mikroyapılarından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle Fe – Cr – C sisteminin özellikleri incelenmelidir.



Şekil 4.1: Fe-Cr-C diyagramında katı-sıvı ara yüzeyi [9].

Fe-Cr-C sistemine ait diyagram Şekil 4.1’de verilmiştir. Bu diyagramda γ (ostenit)- M_7C_3 bölgesini içerecek şekilde ve iki peritektik çizgi ile sınırlandırılmış olarak verilmiştir. Diyagramda Cr/C oranına bağlı olarak oluşan karbür tipleri görülmektedir. Diyagramda faz alanlarını gösteren eğrilerin durumu soğuma hızına bağlıdır. Soğuma hızına bağlı olarak ötektik hücrelerin büyüklüğü değişir. Düşük döküm sıcaklıkları ve hızlı soğutma koşullarında ötektik hücreler küçülür, ısıtma işlemi ise ötektik hücrelerin morfolojisine önemli bir etkisi yoktur[9]. Şekil 4,1’de verilen denge diyagramındaki karbürler K_c , K_1 ve K_2 olarak adlandırılırlar. Bunlardan K_c Karbürü: $M_3C(Fe,Cr)_3C$; K_1 karbürü: $M_{23}C_6 (Fe,Cr)_{23}C_6$ ve K_2 karbürü: $M_7C_3 (Fe,Cr)_7C_3$ karbürleridir [26,27]. Beyaz dökme demirler yüksek aşınma dayanımlarına karşın içerdikleri yüksek karbür miktarı nedeni ile toklukları nispeten düşüktür. Son yıllarda yapılan araştırmalar aşınma davranışı ile birlikte tokluğu da artırma yönünde yoğunlaşmış olup, ısıtma işlemi ile birlikte alaşım bileşimi ile ilgili araştırmalar hale devam etmektedir. Alaşım elementleri seçimi ve miktarı, krom

karbürün bileşimi, birincil ve ikincil karbür çökmesinin kontrolü, perlitik dönüşümün geciktirilmesi, martensit dönüşüm sıcaklığı üzerindeki etkisi gibi faktörler dikkate alınarak yapılır. Bu üç faktöre bağlı olarak alaşım bileşimi kontrol edilir[27].

Fe - Cr - C sistemi üçlü denge diyagramları birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Özellikle bu araştırmalar sıvılaşıma yüzeyi ve üzerindeki kritik noktalar üzerinden yoğunlaşmıştır.

Ticari açıdan yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin çoğunluğu bileşim açısından östenit M_7C_3 bölgesinden bulunur. Aynı Cr/C oranına sahip bileşimdeki alaşımlar östenitleme sırasında benzer matris yapısı oluşturur. Karbür yapısı farklı olsa bile aynı sıcaklıkta yapılan ısıl işlemle benzer matris elde edilir.

Çizelge 4.1’de Fe-Cr-C sisteminden bulunan fazların kristal yapıları ve kafes parametreleri görülmektedir. Çizelgedende görüldüğü gibi karbürler çok karmaşık ve farklı kristal yapıya sahiptirler [11].

Çizelge 4.1: Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin yapısında oluşan fazlar ve kafes yapıları [11].

Karbür	Yapı
$K_c - (Cr,Fe)_3C$	Ortorombik
$K_1 - (Cr,Fe)_{23}C_6$	Kübik
$K_2 - (Cr,Fe)_7C_3$	Hekzagonal

Çizelge 4.2’de Fe-C-Cr sisteminin bazı kritik noktalarındaki reaksiyonları göstermektedir.

Çizelge 4.2 : Fe-C-Cr sisteminin sıvılaşma yüzeyindeki kritik noktalarda oluşan reaksiyonlar [11].

Sistem	%Cr	%C	Sıcaklık $^{\circ}\text{C}$	Reaksiyon
Fe-C-Cr	34	2.4	1275	$L+\alpha\rightarrow\gamma+M_{23}C_6$
	23	3.5	1255	$L+M_{23}C_6\rightarrow\gamma+M_7C_3$
	8	3.8	1175	$L+M_7C_3\rightarrow\gamma+M_3C$

Düşük Cr/C oranına sahip bileşimler ısıtılma işlemlerde sıcaklık değişikliklerine yüksek Cr/C oranına sahip alaşımlara göre daha hassastır. Ancak sıcaklık düşüşü ile beraber bütün bileşimlerde östenitin Cr ve C oranı azalır [27].

4.2 M_7C_3 Karbürlerinin Özellikleri

Yüksek kromlu beyaz dökme demirler bileşimlerinde krom dışında molibden, titanium gibi karbür yapıcılarda bulunmaktadır. Fakat mikroyapıda genel olarak krom karbürler yer alır. Karbürlerin yapısındaki krom miktarı alaşımın Cr/C oranına bağlıdır. Örneğin alaşım Cr/C oranı 3 ise M_7C_3 karbürleri oluşur [27].

Karbür yapıcı elementlerin bir kısmı M_7C_3 tipi karbürler oluştururken, kendi karbürlerini de oluşturur.

4.3 Fe-C-Cr Alaşımlarının Döküm Matris Yapısı

Yüksek karbonlu Fe-C-Cr alaşımlarında katılaşma sırasında ötektik altı bileşimlerde ilk olarak östenit dendritleri oluşur. Daha sonra bu dendritlerin etrafında östenit M_7C_3 ötektiği oluşur.

Karbür yapısına giren elementler katılaşma esnasında ayrışır. Karbür yapıcı elementler karbürlerin içinde yer alırken silisyum gibi karbür yapısına girmeyen elementler ötektik karbür kenarlarında birikir. Fosfor ve kükürdün karbür yapısı içinde kısmen dağılması karbür östenit arayüzeyini zayıflatarak çatlak oluşmasına ve ilerlemesine sebep olabilir [28].

4.3.1 Fe-C-Cr Alaşımlarının katı hal reaksiyonları

M_7C_3 östenit bölgesindeki reaksiyonlar yüksek kromlu beyaz dökme demirlere uygulanan ısıtılma işlemleri açısından çok önemlidir. Döküm sırasında oluşan östenit oda sıcaklığında yarı kararlı durumda varlığını sürdürebilir. Kalıntı östenit beyaz dökme demirin aşınma direncini olumsuz etkiler. Bu yüzden kalıntı östenit içeren beyaz

dökme demirlere östenitleme ısısal işlemi uygulanır. Bu işlemin amacı kalıntı östenitin karbon ve krom miktarını azaltıp oda sıcaklığına soğutulduğunda martensite dönüşümünü sağlamaktır [28].

4.3.2 İkincil M_7C_3 karbürlerinin oluşumu

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde 950-1030 °C arasındaki sıcaklıklarda ikincil karbürler için çekirdekleşme süresinin ortalama 20 sn civarında olduğu ve bütün reaksiyonun 4-6 saatte tamamlandığı tespit edilmiştir. Çökelme sırasında hacimde çok az daralma olur.

Sıcaklık ikincil karbürlerin oluşum sürecinde en önemli etkidir. Karbürler etrafında gelişigüzel çökelme 950°C nin altındaki sıcaklıklarda başlar, daha sonra birçok östenit tanesinde görülmeye başlar. Sıcaklık yükselişiyle beraber gelişigüzel çökelti bölgeleri azalır ve sonunda kaybolur. İkincil karbür çökmesi sadece izotermal ısısal işlemle değil, sürekli soğuma sırasında da olabilir. Bu yüzden soğuma ne kadar yavaş olursa karbür çökmeside o kadar fazla olur.

4.3.3 Bor katkısının birincil ve ikincil karbürler üzerine etkisi

Döküm koşulunda yüksek bor içerikli beyaz dökme demir dendritik matris ve ötektik bileşen içermektedir. Ötektik bileşen M_2B (M= Fe, Cr veya Mn) formülüne sahiptir. Borit morfolojisi yüksek krom içerikli beyaz dökme demirdeki karbür yapısına benzer, ama sertliği karbürden daha yüksektir.

Matris martensit ve küçük bir perlit yüzdesinden oluşmaktadır. Isıl işlemten sonra matris çoğunlukla martensite dönüşmekte ama borit morfolojisi değişmeden kalmaktadır. Ama matriste iki çeşit ikincil çökeltiye rastlanmaktadır. Borun denge çökmesiyle oluşmuş her iki ikincil çökelti de aynı kimyasal formüle ($M_{23}(C,B)_6$) sahip olmasına rağmen oluşma prosesleri birbirlerinden farklıdır.

Yüksek B içerikli beyaz dökme demirlerin sertliği Cr'lu beyaz dökme demirin sertliği ile neredeyse aynı iken, tokluğu Cr'luya nazaran daha yüksektir. Bu tokluk artışı matris tokluğunun geliştirilmesiyle ilgilidir [13].

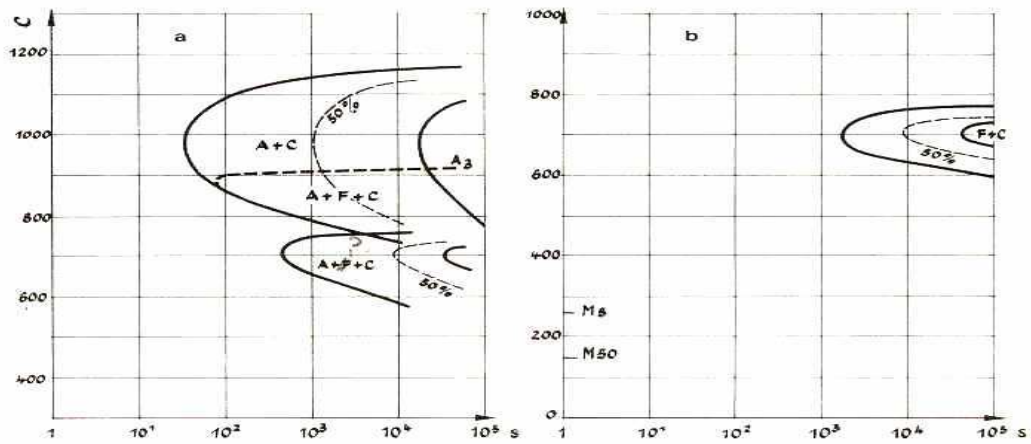
4.4 Yüksek Kromlu Beyaz Dökme demirlerin Isıl İşlemi

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde ısıtılma işlemin amacı aşınma dayanımını ve darbe direncini arttırmaktır. Bu amaçla mikroyapı matrisinin martensit, östenit yada bu ikisinin karışımından oluşması istenir çünkü bu sayede yapıda bulunan karbürlerin çatlamaya yada kopmaya karşı matris tarafından korunması sağlanır [29].

Yapıdaki yüksek krom içeriği karbürleri kararlı hale getirir. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde alaşımsız dökme demirlerin aksine grafitleşme görülmez.

Katılaşma sırasında yüksek sıcaklıkta oluşan östenit; krom, karbon ve diğer alaşım elementlerine doymuş haldedir. Sıcaklık düşüşüyle beraber krom ve karbon ikincil karbürler olarak çökelir ve mikroyapıdaki östenit miktarı azalır. Bu durumda kararsız hale gelmiş östenit soğuma hızında bağlı olarak perlite, beynite veya martensite dönüşebilir. Bunun yanında karbür çökmesi düzensizdir. Bu nedenle ortalama soğuma hızlarında bile oda sıcaklığında mikroyapıda kalıntı östenit bulunur. Bu yüzden dökümden sonraki yapı perlit, martensit ve kalıntı östenittir.

Aşırı miktarda kalıntı östenit içermeyen, tamamen martensitik mikroyapı elde etmek için dökümün 920-1000°C'de tutularak destabilize edilmesi gerekir. Yüksek kromlu dökme demirlerde östenitin bu yarı kararlı durumu karbona aşırı doymuşluğundan kaynaklanır. Östenitleme işleminin amacı kalıntı östenitin karbonu ve kromundan ikincil M_7C_3 karbürlerini çökeltmek denge değerine getirmektir [29,30].



Şekil 4.2 : İzotermal Dönüşüm Diyagramları a) destabilize edilmemiş östenit b) ikincil karbür çökmesiyle destabilize edilmiş östenit [9].

Şekil 4.2 ostenit destabilizasyonu üzerindeki etkiyi izotermal dönüşüm ve martensitik dönüşüm diyagramında göstermektedir.

4.4.1 Su verme sıcaklığı

Östenit içinde çözünen krom ve karbon miktarına göre; su verme sıcaklığı dönüşüm özelliklerini ve son durumdaki sertliği belirler. Östenit içindeki karbon çözünürlüğü sıcaklık arttıkça artar. Su verildikten sonraki sertlik su verme sıcaklığına bağlı olarak artar.

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde ikincil karbür çökmesinin sertliğe direk etkisi olduğu için %20 kalıntı östenit sağlayan östenitleme sıcaklığı maksimum sertliği sağlar.

İkincil sertleşmeden sonraki aşınma direnci genellikle su vermeden sonraki aşınma direncinden düşüktür. Bunun sebebi matriste önceden bulunan martensitin yumuşamasıdır [7].

Mikroyapıdaki kalıntı östenit sertliği düşürür. Kalıntı östenit miktarı destabilizasyon işlemi ile azaltılabilir. Kalıntı östenitin kararlılığını azaltabilmek için bu fazın krom ve karbon içeriğini azaltmak gerekir. Buda destabilizasyon süresini uzun tutmakla olur. %0.5-1 Ni veya Cu içeren beyaz dökme demirlerde yeterli kararlılık, destabilizasyon sıcaklığında 6 saat yada fazla durularak sağlanır [31].

4.4.2 Martensit dönüşümü

Martensit dönüşüm süresi ikincil karbür çökmesi ile ilgilidir. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin matrisleri katılaşma sırasında oluşan ayrışma nedeni ile homojen bir bileşime sahip değildir. Martensit dönüşüm oranı karbür çökme oranı ile artar.

Matrisin sertliği, martensit dönüşüm oranı ve oluşan martensitin sertliğine bağlıdır. Martensitin sertliğide içerdiği karbon miktarına bağlıdır.

Yüksek sıcaklıklarda karbür çökme oranının artması ile oluşan sertlik düşüşü kalıntı östenit oranının artışı ile ilgilidir. Düşük sıcaklıklardaki düşüş, martensitin karbonunun azalması nedeniyledir.

4.4.3 Tavlama ve temperleme

Yüksek krom ve molibden içeren beyaz dökme demirlerde işlenebilirliği arttırmak için tavlama yapılabilir.

Genellikle beyaz dökme demirler için tavlama işlemi uzun bir ısıtma işlemi kapsar. Ötektik krom karbürler tavlama işleminden etkilenmediğinden işlenebilirliği etkileyen başlıca faktör karbon içeriğidir.

Temperleme işlemi genellikle 205-230⁰C'da 2-4 saat süreyle yapılır. Sertleştirmeden sonra yapı %10-30 östenit içerir. Kalıntı östenit miktarını azaltmak için yüksek sıcaklık temperlemesi yapılır[31].

Döküm koşullarında matris yüksek miktarda östenit içermektedir. Bu östenit bir veya birden fazla temperleme ısıtma işleminden sonra stabilize edilmeli ve böylece α matris içinde $M_{23}C_6$ karbürleri içeren yapı ve uygun bir sertlik değerine ulaşmalıdır. Buna karşın, her zaman kararlı artık östenit vardır. Eğer bunu ayrıştırmak için temperleme sıcaklığı yükseltirse, sertlikte azalma görülmektedir [9].

5. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERİN AŞINMA DAVRANIŞI

Aşınma, hareket eden iki yüzeyin birbirine teması sonucu malzeme yüzeyinde oluşan mekanik veya fiziksel bozulmadır. Aşınmanın miktarı servis koşullarından çok temas eden yüzeylerin fiziksel özelliklerine bağlıdır [32].

5.1 Abrasif Aşınmanın Tanımı

Malzemenin yapısına bağlı olarak abrasif aşınma, aşınma tipleri içinde en etkili olanıdır ve aşınma miktarı diğer türlere göre en fazla olandır. Bu diğer aşınma türlerinin ciddi hasarlar vermediği anlamına gelmez fakat abrasif aşınma ile karşılaştırıldığında bunlar tolere edilebilir düzeydedir [32].

Abrasif aşınma direnci mikroyapının sertliğini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Beyaz dökme demirler hariç diğer dökme demirler ve çeliklerde aşınmadan önceki sertlikle abrasif aşınma arasında doğrudan bir bağ yoktur fakat beyaz dökme demirlerde abrasif aşınma ile sertlik arasında doğrudan bir bağ vardır. Buna rağmen yalnız başına sertlik aşınma davranışını tatmin edici şekilde tanımlayamaz. İnküzyon, karbür, kalıntı östenit, anizotropi ve matris gibi mikroyapı elemanları hesaba katılmak zorundadır [33].

Aşınma direnci malzemenin içsel bir özelliği değildir ve kullanılan aşınma sistemine dolayısıyla kullanılan abrasif aşındırıcın çeşidine bağlıdır [33].

5.2 Yüksek kromlu Beyaz Dökme Demirlerde Abrasif Aşınmayı Etkileyen Faktörler

Yüksek krom molibdenli beyaz dökme demirlerin abrasif aşınma özelliklerini başlıca iki faktör etkiler. Bunlar beyaz dökme demirin matris yapısı ve bu matriste yer alan karbürlerin yapısıdır.

5.2.1 Karbür yapısının abrasif aşınmaya etkisi

Karbür miktarı arttıkça aşınma direnci artar. Karbür hacminin %30'a kadar artışı, abrasif aşınma kaybında gözle görülür bir düşüşe sebep olmuştur. Abrasif aşındırıcılar beyaz dökme demirdeki büyük M_7C_3 karbürlerinden daha yumuşaktır

ve bu karbürlerin miktarındaki artış matrisi abrasif aşınma parçacıklarına karşı korur. Aşınma davranışı sırasında büyük M_7C_3 karbürlerinin kopmaya başladığı hakim, karbürler için üst sınırın belirlenmesini sağlamıştır. Bu optimum sınır birçok değişik aşınma ortamında %30 olarak belirlenmiştir [33].

Karbürler arası uzaklık aşınma direncinde önemli rol oynar. Karbürler arası uzaklık ne kadar düşük olursa aşınma direnci o kadar yüksek olur.

5.2.2 Matris yapısının abrasif aşınmaya etkisi

Beyaz dökme demirlerde matrisin makro sertlik ve mikro sertlik değerleri aşınma direncini belirlemede belirleyici değildir. Birincil yada ikincil karbürlerin varlığı, temperlenmiş yada temperlenmemiş martensit varlığı, kalıntı östenit miktarı, içsel hatalar ve gerilimler gibi mikroyapısal faktörler beyaz dökme demirlerin abrasif aşınma davranışını tahmin etmekte daha etkilidir.

Yapılan testler göstermiştir ki en düşük malzeme kaybı martensitik bir matriste sağlanmaktadır. Kalıntı östenitin miktarını azaltmak aşınma kaybında düşüşe neden olur. Birincil karbürlerden sert olan SiC abrasif aşındırıcı kullanılırsa; büyük oranda östenit içeren bir matris martensit içeren matrise göre daha az abrasif aşınma kaybına uğrar [33].

Yüksek gerilmeli şartlarda beyaz dökme demirlerin aşınma direnci matris tarafından ötektik karbürlere verilen desteğe bağlıdır; bu nedenle martensitik matrisli yapılar östenitik yada perlitik yapılara göre daha iyi aşınma direnci verirler.

Matrisin yapısındaki karbon arttıkça mikrosertlik ve buna bağlı olarak aşınma direnci artar. Ancak, düşük gerilmeli aşınma ortamlarında sertlik belli bir değere geldikten sonra mikrosertlik artışı aşınma direncini etkilemez.

Aşınmaya sebep olan gerilmeler yüksek olursa martensitik yapı östenitik yapıya göre iki üç kat daha iyi aşınma direnci gösterir.

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1 Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada 8 farklı alaşım içeren ve maden kırıcı uç olarak kullanılan yüksek kromlu beyaz dökme demir kullanılmıştır. Standart kromlu ve %28 kromlu numunelerde Mo ve B elementlerinin mekanik özelliklere ve mikroyapıya etkisini görebilmek için miktarları %0,5-2 aralığında değiştirilmiştir. Sekiz farklı numunenin kimyasal bileşimleri Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1: Kullanılan beyaz dökme demirlerin kimyasal bileşimi.

Numune No	Elementler (%)							
	C	Si	Mn	Ti	Cr	Mo	B	Geriye kalan
1	2,76	0,72	0,93	0,0036	20,57	1,56	0,52	Fe
2	2,86	0,73	0,92	0,0037	20,97	0,52	0,54	Fe
3	2,82	0,72	0,95	0,0036	20,54	1,05	0,56	Fe
4	2,84	0,69	0,97	0,045	20,55	0,54	1,02	Fe
5	2,79	0,68	0,98	0,043	20,62	0,56	1,98	Fe
6	2,89	0,64	0,92	0,041	27,87	1,1	-	Fe
7	2,78	0,67	0,89	0,039	27,56	0,57	-	Fe
8	2,89	0,74	0,87	0,056	27,82	-	0,53	Fe

Numuneler açık indüksiyon ocağında ergitilerek doğrudan kırıcı parça olarak dökülmüş ve bu parçalardan numuneler çıkarılarak incelenmiştir. Kırıcı parçalardan çıkarılan numuneler 100mmx50mmx50mm boyutlarındadır. Bu numunelere açık atmosferli bir elektrik fırını kullanılarak ısıtıl işlem yapılmıştır.

6.2 Mikroyapısal Karakterizasyon

Farklı koşullarda ısıtıl işleme tabi tutulan numunelerin mikroyapısal incelemeleri için öncelikle 120-2400 zımpara yapılmıştır daha sonra 6 mikron ve 1 mikronluk çuhalarla parlatma işlemi uygulanmıştır. Son olarakta dağlama işlemi için martensitik yapının görülmesini en iyi sağlayan bir çözelti(10ml HNO₃+3mlHCl+10ml FeCl₃(doymuş)+77ml ethanol) ile dağlama yapılmıştır.

NIKON L150 optik mikroskop ve Jeol JSM 6400 taramalı elektron mikroskobu ile mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir. Ayrıca taramalı elektron mikroskobu kullanılarak EDS analizleri yapılmıştır. Optik mikroskop kullanılarak elde edilen görüntülerden birincil karbürlerin hacim oranları hesaplanmıştır. Bu amaçla 50 X büyütmede elde edilen optik mikroskop görüntüleri üzerinde farklı bölgelerde 10 cm uzunluğunda çizgiler çizilmiş ve bu çizgilerin birincil karbürleri kesen bölümleri ölçülmüş ve sonuç olarak % hacim oranı şeklinde birincil karbür miktarları belirlenmiştir. İncelenen numunelerin mikroyapısında bulunan fazların analizi X-ışınları difraksiyon (XRD) tekniği ile belirlenmiştir. XRD analizi Analytical X'Pert Pro MPD X-ışını cihazında 0,8°/dakikalık tarama hızıyla gerçekleştirilmiştir.

6.3 Mekanik Deneyler

6.3.1 Sertlik deneyleri

Sertlik ölçümleri için EMCO universal test cihazı kullanılmış ve her numune için 5-8 arası ölçüm alınmıştır. Sertlik ölçümleri RockwellC (HRc) ve mikrovickers (HV1) cinsinden yapılmıştır.

6.3.2 Aşınma deneyleri

Aşınma davranışını belirlemek için Şekil 6.1'de görülen ileri - geri aşınma cihazı kullanılmıştır. Aşınma deneylerinde 20N yük ve 10mm Al_2O_3 bilye kullanılarak 5000 tur yapılmıştır ve 120m yol alınmıştır. Aşınma izlerinin ölçümleri için DEKTAK profilometre kullanılmıştır. Ölçüm için 2,5 mikronluk uç kullanılmıştır ve ölçümler 30 saniyede alınmıştır. Aşınma iz alanlarını hesaplayabilmek için her numuneden 3 derinlik ve genişlik değeri ölçülmüş ve kürenin yüzey alanı formülü kullanılarak aşınma iz alanı bulunmuştur.



Şekil 6.1 : İleri – geri aşınma cihazı fotoğrafı.

7. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

7.1 Isıl İşlem Koşullarının Mikroyapıya Etkisi

Beyaz dökme demirlerde Cr/C oranı mikroyapıyı belirleyen en önemli faktördür. Bu çalışmada incelenen numunelerin Cr/C oranları 7.5 ve 10 olmak üzere iki çeşittir. Şekil 4.1'e göre Cr/C oranı 7.5 ve 10 aralığında döküm halinde mikroyapılar γ (ostenit)+ M_7C_3 [9] şeklinde olup, dökümden sonra bazı bileşimlerde soğuma koşullarında ostenit perlitte dönüşmektedir

Isıl işlemin etkisini görebilmek için döküm halindeki alaşımlara C6 ve C6+200°C olarak kodlanan ısıtma işlemleri uygulanmıştır. Uygulanan ısıtma işlemi proseslerinde sıcaklıklar ve uygulama süreleri Çizelge 7.1'de verilmiştir. Çizelge 7.1'de seçilen ısıtma işlemi prosesinde genel olarak C6 ısıtma işlemi sonrası matris martensite dönüşmüştür.

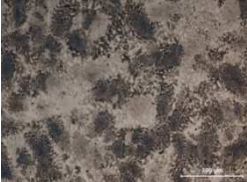
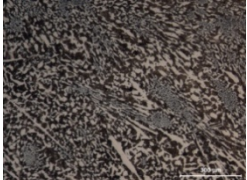
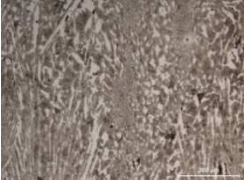
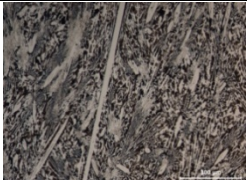
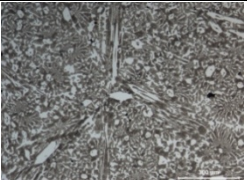
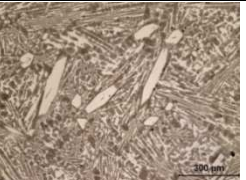
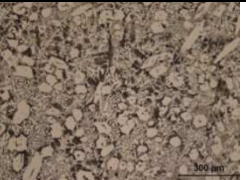
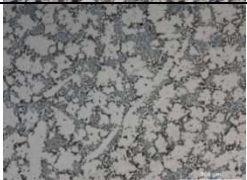
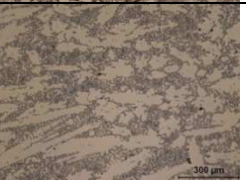
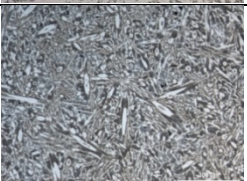
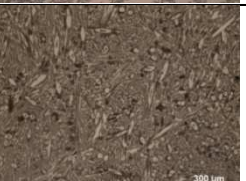
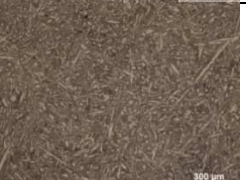
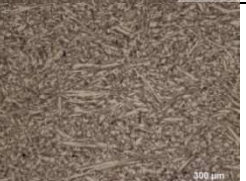
C6 ısıtma işlemi ilk olarak 600°C'de bir kritik altı işlem içermektedir. Bu işlem ile matrisde stabil ikincil karbürler çökmesi hedeflenmiştir. Seçilen destabilizasyon sıcaklığı (970°C) düşük tutularak ilk çökelen bu karbürlerin çözünmesi engellenmiştir. Bu yüzden C6 ısıtma işlemi sonrası matris martensit ve ikincil karbürler içermektedir. C6+200 ısıtma işlemi ile düşük sıcaklıkta bir temperleme yapılmıştır. Bu işlem ile martensit matriste çok daha ince ikincil karbürler çökeltmesi hedeflenmiştir. Bu ısıtma işlemlerinden sonra mikroyapı görüntüleri Çizelge 7.2'de verilmiştir.

Çizelge 7.1: Alaşımlara uygulanan ısıtma işlemleri.

Isıtma işlemi tipi	Isıtma İşlem Prosesi
C6	Kritik Altı Isıtma İşlem: 600°C de 6 saat → Havada soğutma Destabilizasyon: 970°C de 4 saat ostenitleme → Havada Soğutma
C6+200	Kritik Altı Isıtma İşlem: 600°C de 6 saat → Havada soğutma Destabilizasyon: 970°C de 4 saat ostenitleme → Havada Soğutma Temperleme : 200°C de 4 saat → Havada Soğutma

Bu çalışmada yapılan ısıt işlemlerin numune mikroyapıları üzerine etkisini görmek amacıyla optik mikroskopta incelenmiş numunelerin mikroyapıları düşük büyütmelelerde genel görüntü olarak Çizelge 7.2 de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 7.2 : 1-8 No'lu numunelerin mikroyapısal karşılaştırılması.

Kompozisyon	Isıl İşlem		
	döküm	C6	C6+200
21Cr + 1,5Mo + 0,5B (1)			
21Cr + 0,5Mo + 0,5B (2)			
21Cr + 1Mo + 0,5B (3)			
21Cr + 0,5Mo + 1B (4)			
21Cr + 0,5Mo + 2B (5)			
28Cr + 1Mo (6)			
28Cr + 0,5Mo (7)			
28Cr + 0,5B (8)			

Bu mikroyapı görüntüleri ısıtılma ve alaşımla elementindeki değışime bağılı olarak oluşan değışimleri genel olarak göstermektedir. Şekil 7.1,3,5,7,9,11,13,15’de malzemelerin SEM fotoğrafları ve Ek Şekil A.1-8’e kadar yüksek büyütme optik mikroskop fotoğrafları karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 7.2’de ilk gözlemlenen %28Cr içeren numunelerin daha küçük taneli ve daha homojen bir mikroyapıda olmasıdır. Bunun yanında ısıtılma işlemli bütün numunelerin matrisinde döküm numunelerine göre karbürlerin daha homojen ve ince dağıldığı görölmektedir.

Bu genel mikroyapı oluşumları alaşımla bileşimine ve ısıtılma işlemi göre şekil, boyut, dağılım ve dönüşüm bakımından farklılıklar göstermiştir. Bu farklılıklar maddeler halinde herbir bileşim ve ısıtılma işlemi için ayrıca tartışılmıştır.

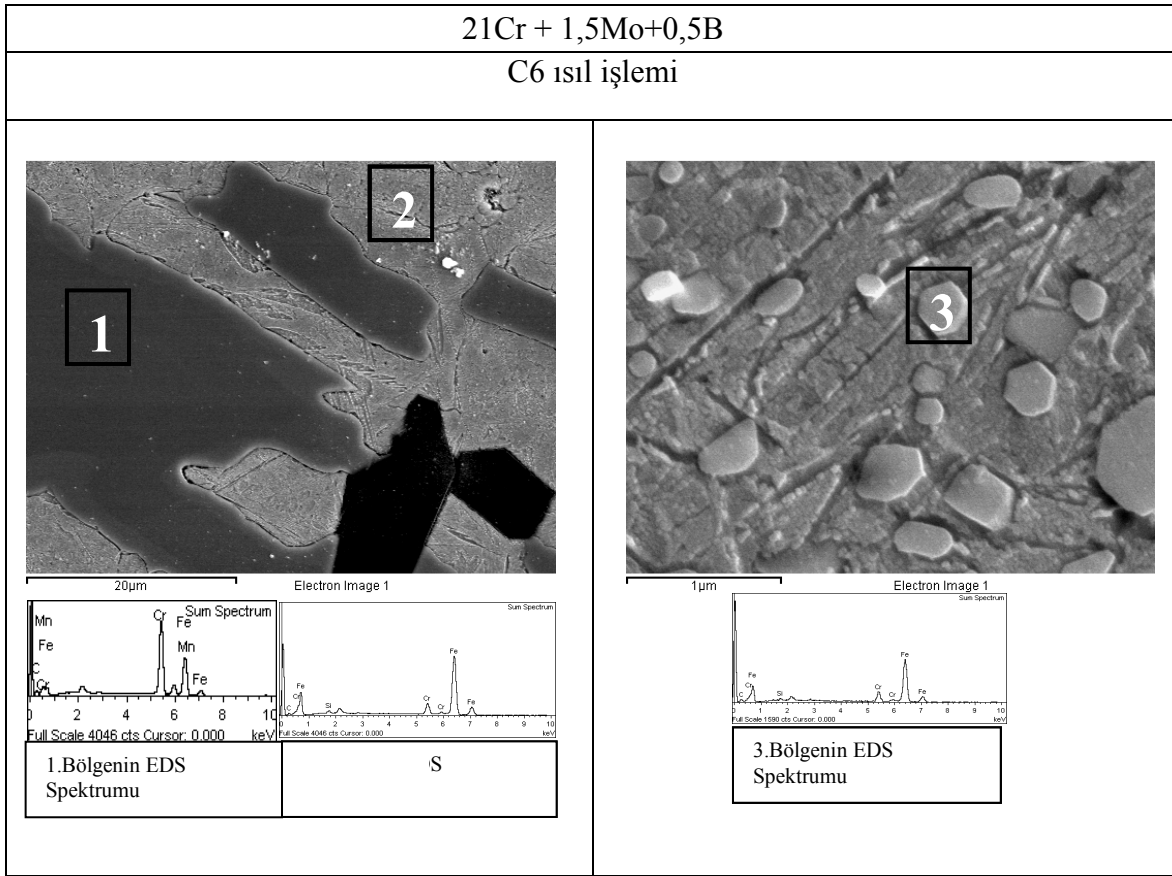
(1) - 21Cr + 1,5Mo+0,5B içeren numune:

Ek şekil A.1 de 21Cr+1,5Mo+0,5B içeren numunenin döküm hali ve her iki ısıtılma işlemli hali için optik mikroskop görüntüleri verilmektedir. Bu görüntülerde ilk gözlemlenen ısıtılma işlemli numunelerde yapının daha homojen hale gelmesidir. Optik mikroskop görüntülerinde beyaz renkte görölen bölgelerin döküm hali ve her iki ısıtılma işlemi için birincil karbürler olduğı düşünölmektedir [35]. Döküm halinde matris; ferrit, perlit karışımı bir matristen ve çeşitli ikincil karbürlerden oluşmaktadır. C6 ısıtılma işlemi sonrası matris martensite dönüşmektedir. Ek şekil A.1’de C6 ısıtılma işlemli numuneye baktığımızda matrisde çökelen ikincil karbürler görölmektedir. Seçilen destablizasyon sıcaklığı(970⁰C) düşük tutularak ilk çökelen bu karbürlerin çözünmesi engellenmiştir. Bu yüzden C6 ısıtılma işlemi sonrası matris martensit ve ikincil karbürler içermektedir. C6+200 işlemi ile martensit matriste çok daha ince ikincil karbürler çökeldiğı Ek şekil A.1’de görölmektedir.

Şekil 7.2’de verilen XRD analizine göre C6 ısıtılma işlemi döküm yapısına oranla mikroyapıda karbür (Cr₇C₃ ve Fe₂₃(C,B)₆) çökmesine sebep olmuştur XRD sonuçlarına göre bor M₂₃(C,B)₆ karbürünün bileşimine girmiştir. M₂₃(C,B)₆ karbürü ikincil bir karbür olup, C6+200 sonrası çökeldiğı ve homojen dağıldığı görölmektedir.

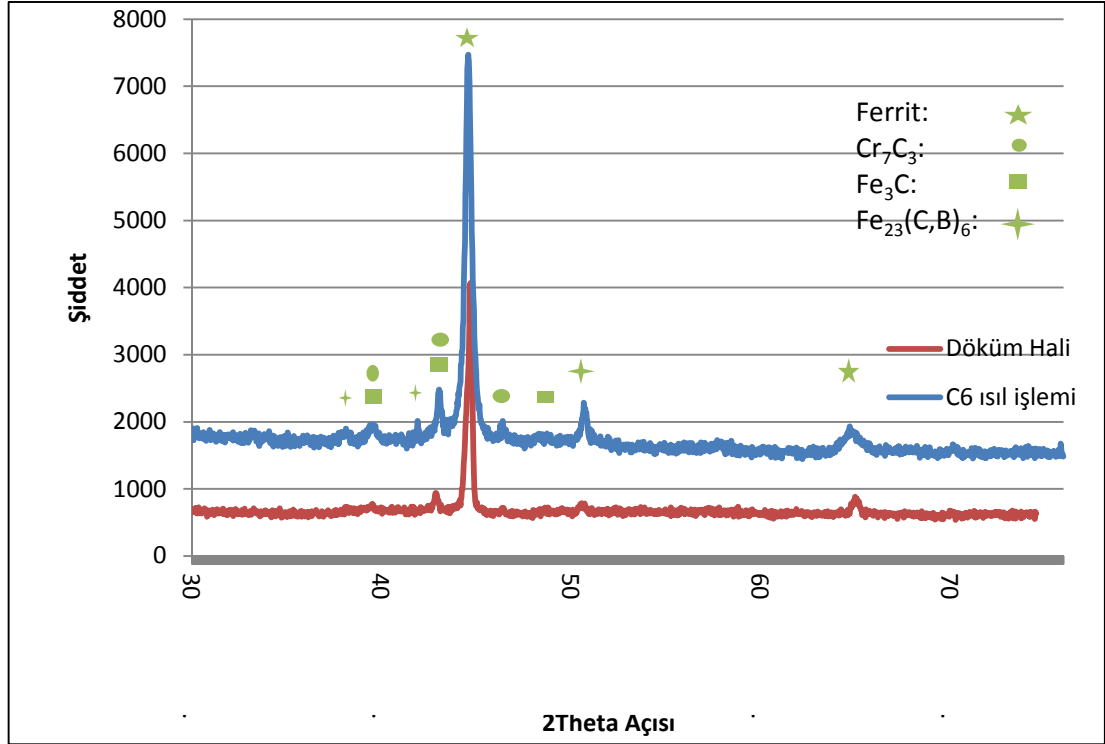
Şekil 7.1 de 21Cr+1,5Mo+0,5B içeren numunenin SEM fotoğrafları görölmektedir. Burada 1 numaralı bölge olarak belirlenen kısım optik mikroskopta beyaz renkte görölen kısımdır. Yapılan EDS analizinde M₇C₃ birincil karbürü olduğı

belirlenmiştir. 2 numaralı bölge olarak belirlenen kısım numunenin matrisini oluşturmaktadır. Yapılan EDS analizinde içeriğinde yüksek oranda Fe, C ve Cr tespit edilmiştir. Şekil 7.1’de 3 numara ile gösterilen bölge matris üzerinde 20 kat büyütme yapıldığında net bir şekilde görülebilen ikincil karbürlerdir. Yapılan EDS analizinde elde edilen atomik oranlara göre bunların M_2C olabileceği düşünülmektedir. Buna ek olarak Şekil 7.2’de C6 ısıt işlemleri gören numunede $Fe_{23}(B,C)_6$ piklerinede rastlanmaktadır. Bu durum bize ikincil karbürlerin çeşitlilik gösterdiğini kanıtlamaktadır.



Şekil 7.1 : C6 ısıt işlemleri görmüş 1 numaralı numune SEM görüntüsü.

Ek şekil A.1’de birincil karbürlerin ısıt işleme bağlı olarak şekillerine bakıldığında C6 ısıt işlemleri sonunda birincil karbürlerin nispeten altıgen geometrisinde olduğu fakat temperleme ısıt işlemleri ile beraber karbürlerin altıgen geometrisini kaybettiği görülmektedir. Yapılan ölçümler sonucunda döküm halinde birincil karbürlerin hacim oranının %40,4 olduğu belirlenmiştir. Buna ek olarak döküm halinde matris adacıklarının etrafında görülen beyaz renkli düşük karbon içeriği nedeniyle oluşan bölgelerin C6 ısıt işlemleri ile beraber yok olduğu görülmektedir.



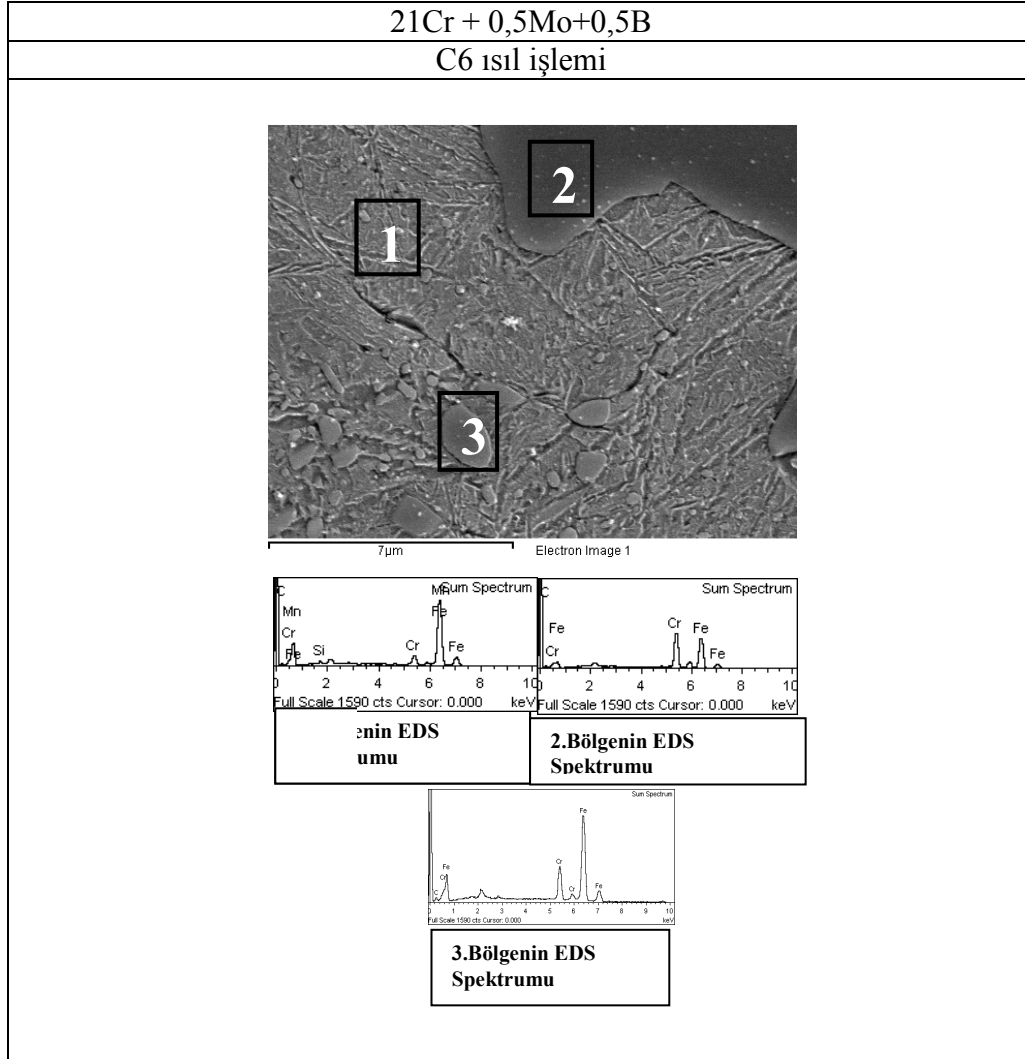
Şekil 7.2 : 1 Numaralı numunenin döküm ve C6 ısıtılması için XRD analizleri.

(2) - 21Cr + 0,5Mo+0,5B içeren numune:

21Cr + 0,5Mo+0,5B içeren numunede krom ve bor miktarları sabit tutularak molibden miktarı %0,5'e düşürülmüştür. Bunun nedeni molibdenin pahalı bir element olması ve molibden miktarı düşürüldüğünde mikroyapı özelliklerinin nasıl değiştiğinin görülmek istenmesidir.

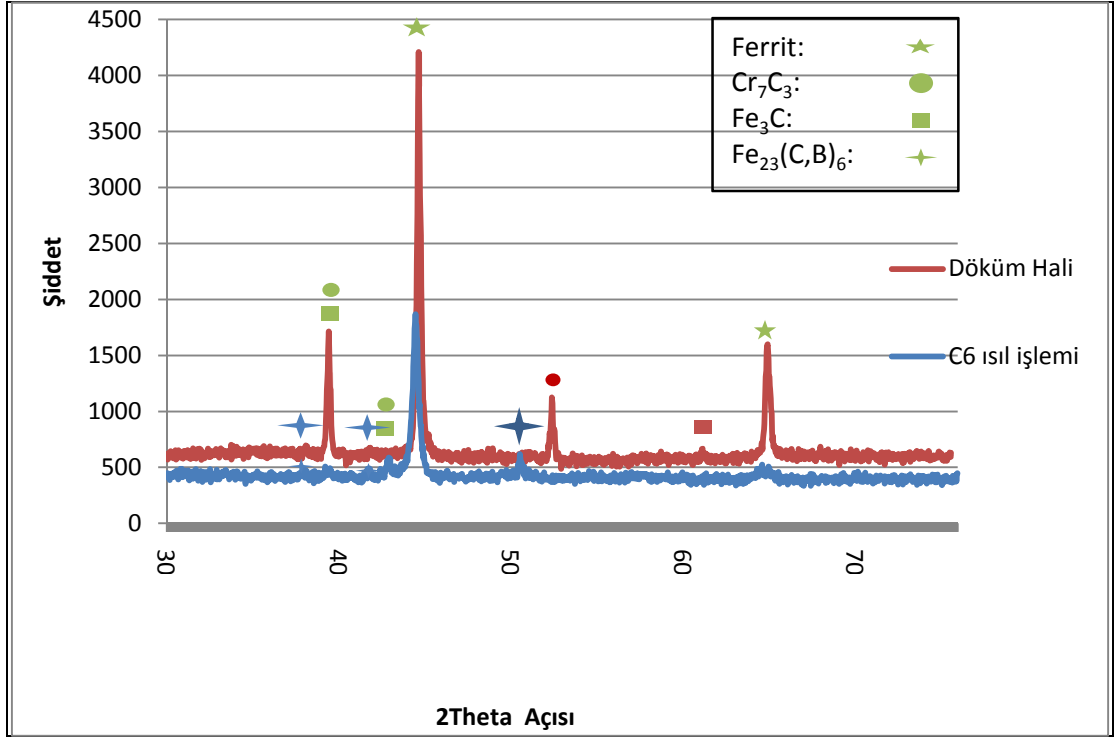
Ek şekil A.2'de 21Cr + 0,5Mo+0,5B içeren numunenin döküm hali ve her iki ısıtım işlemi için optik mikroskop görüntüleri görülmektedir. Döküm hali ve her iki ısıtım işlemi için Ek şekil A.2'de açık renkli bölümler birincil karbürleri göstermektedir. Döküm halinde matris; ferrit, perlit karışımı matris ve ikincil karbürlerden oluşmaktadır. 1 numaralı numuneye benzer bir mikroyapı görülmektedir. C6 ısıtım işlemi ile beraber matrisin martensite dönüştüğü ve stabil kaba ikincil karbürlerin çökelediği hem Ek şekil A.2'de optik mikroskop hem de Şekil 7.3'de SEM fotoğrafında görülmektedir. C6+200 ısıtım işlemi ile beraber ise küçük ikincil karbürlerin çökelediği ve matrise daha homojen dağıldığı Ek şekil A.2'de C6+200 ısıtım işlemli numunenin optik mikroskop fotoğrafında görülmektedir. Döküm numunesinde yapılan ölçümler sonucunda birincil karbür hacim oranının %45,8 olduğu belirlenmiştir.

Şekil 7.3’de C6 ısıt işlemleri için 2 numaralı bölge birincil karbür bölgesidir ve yapılan EDS analizinde M_7C_3 birincil karbürü olduğu tespit edilmiştir. Şekil 7.3’de C6 ısıt işlemleri görmüş numune SEM fotoğrafı görülmektedir. Burada 1 numaralı bölge matrisi temsil etmektedir. Yapılan EDS analizinde içeriğinde yüksek oranda Fe, C ve Cr dışında muhtelif oranlarda Mn ve Si tespit edilmiştir. Şekil 7.3’de 3 numara ile gösterilen bölge ikincil karbür parçacığıdır. Yapılan EDS analizi $M_{23}(B,C)_6$ ikincil karbürü olduğunu ortaya çıkarmaktadır.



Şekil 7.3 : C6 ısıt işlemleri görmüş 2 numaralı numune SEM görüntüsü.

Şekil 7.4’de döküm hali ve C6 ısıt işlemleri için yapılan XRD analizinde Cr_7C_3 pikleri olması EDS analizinde bulunan sonuçları desteklemektedir. Ayrıca yapılan XRD analizinde döküm halindeki numunenin XRD paterninde Cr_7C_3 ve Fe_3C (sementit) pikleri çoğunlukta iken; C6 ısıt işlemleri ile beraber Cr_7C_3 ve Fe_3C piklerinin azaldığı onun yerine $Fe_{23}(B,C)_6$ piklerinin sayıca arttığı görülmektedir.



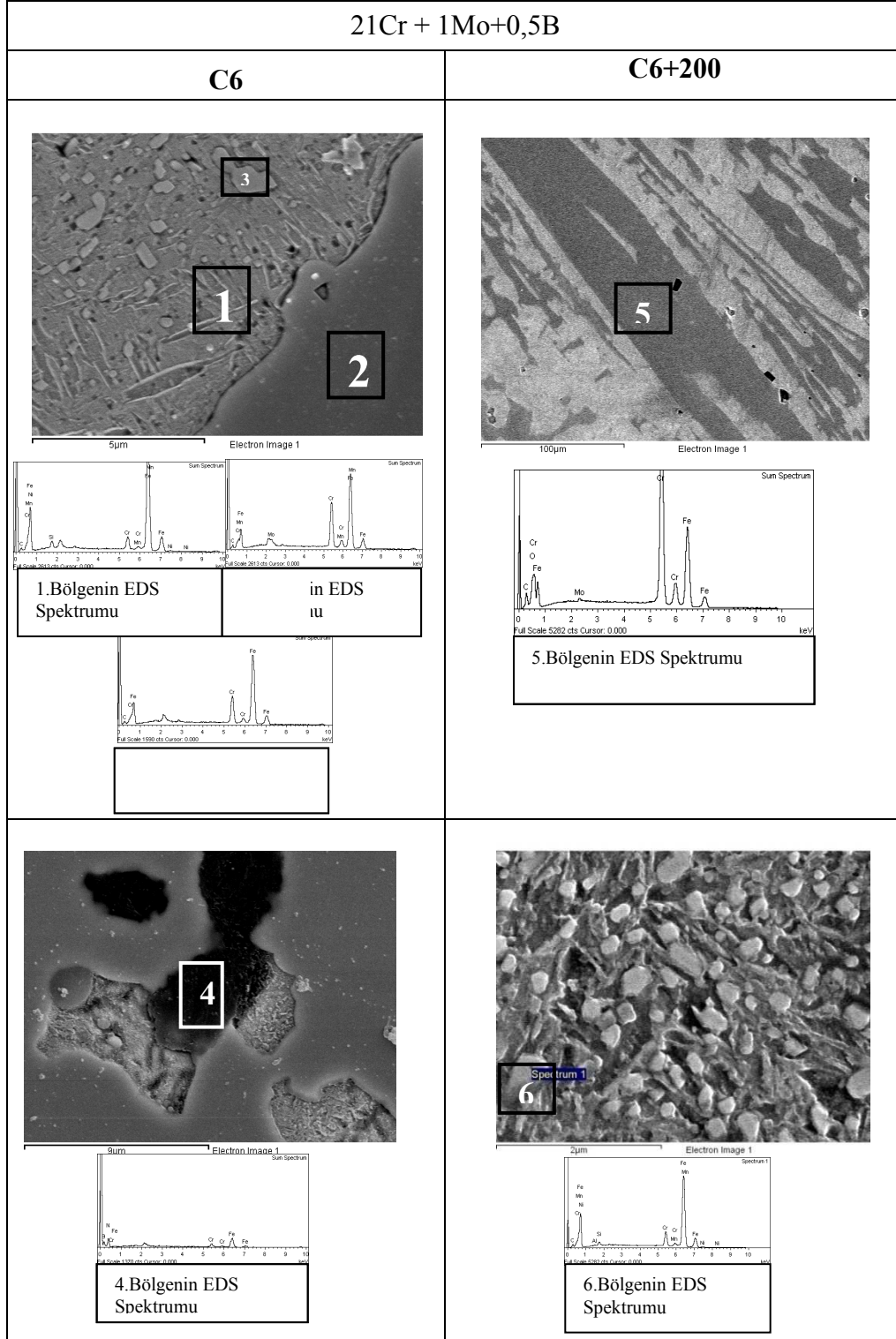
Şekil 7.4: 2 Numaralı numune döküm ve C6 ısıt işlemleri için XRD analizleri.

(3) - 21Cr + 1Mo+0,5B içeren numune:

21Cr + 1Mo+0,5B içeren numunede; 21Cr + 0,5Mo+0,5B içeren numunede olduğu gibi krom ve bor miktarları sabit tutularak molibden miktarındaki değişimin etkisi görülmek istenmiştir.

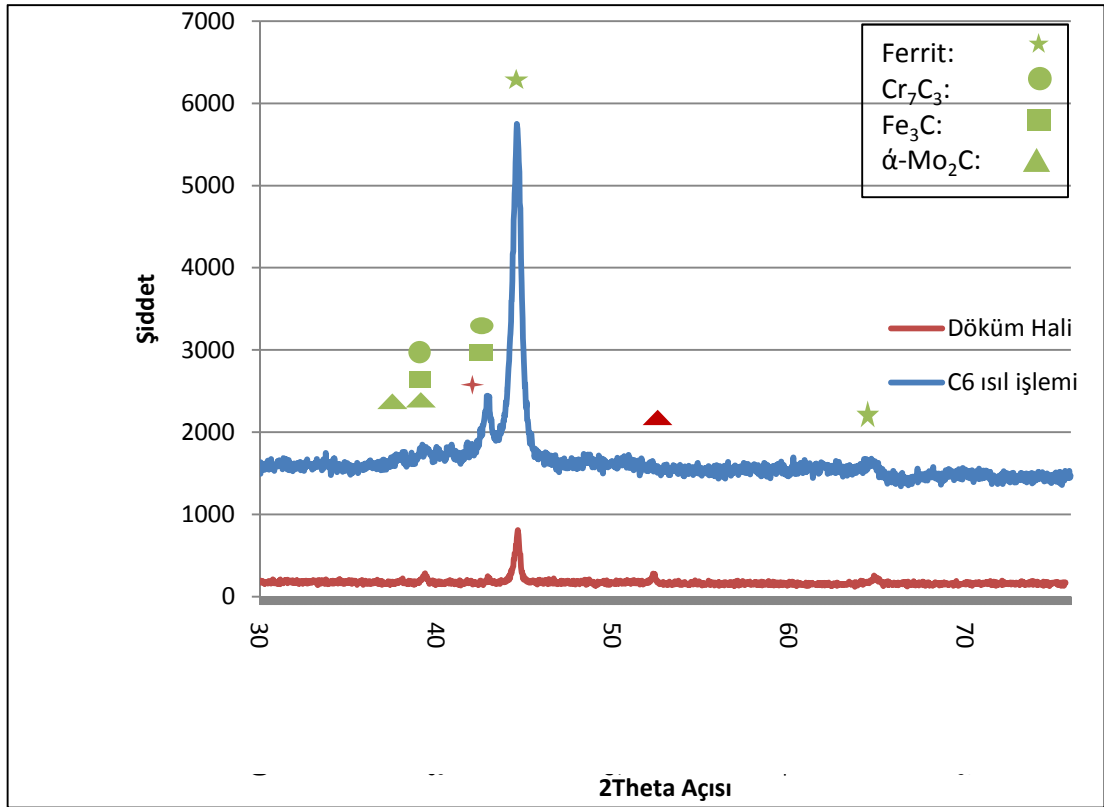
Ek şekil A.3’de 21Cr + 1Mo+0,5B içeren numunenin döküm hali ve her iki ısıt işlemleri için optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Bu görüntülerde döküm hali ve her iki ısıt işlemleri için açık renkte görülen kısımlar birincil karbürleri oluşturmaktadır. Geri kalan koyu renkli kısımlar ise matrisdir. Döküm halinde ilk iki numunede olduğu gibi bu numunede de matris ferrit, perlit karışımından oluşmaktadır. C6 ısıt işlemleri ile beraber ise matris tamamen martensit olurken; primer karbürler parçalanarak altıgen şekli almıştır. Matrisde kritik altı ısıt işlemleri sonrası oluşmuş ikincil karbürler mevcuttur. C6+200 ısıt işlemlerinden sonra ise matriste kritik altı ısıt işlemlerinde oluşan ikincil karbürlere ek olarak 200⁰C de temperleme sonrası oluşan ikincil karbürlere de görülmektedir. Bununla beraber matrisin ana yapısı temperlenmiş martensite dönüşür. Ek şekil A.3’de C6 ısıt işlemleri ile beraber birincil karbürlerin altıgen şekilli yuvarlak bir yapı aldığı ve ötektik karbür alanlarının arttığı görülmektedir. Döküm halinde yapılan ölçümlerde birincil karbür hacim oranının %45,6 olduğu belirlenmiştir

Şekil 7.5’de C6 ve C6+200 ısıt işlemleri görmüş numunelerin SEM fotoğraflarında sırasıyla 2 ve 5 numaralı alanlar birincil karbürlerdir. Bu alanlar altıgen morfolojide değildir ve yapılan EDS analizlerinde hem 2 numaralı bölgenin hemde 5 numaralı temperlenmiş birincil karbürün M_2C olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 7.5 : C6 ve C6+200 ısıt işlemleri için 3 numaralı numune SEM fotoğrafları.

M_7C_3 karbürlerinin beyaz dökme demirlerde altıgen mikroyapısında olduğu dikkat çekmektedir. Ötektik karbürler ise büyük M_7C_3 karbürlerinin çevresinde görülmektedir [35]. Karbürün M_7C_3 şeklinde çökmemesi sebebi karbürün yapısında Mo çözmüş olması olabileceği olarak tahmin edilmektedir. Şekil 7.5’de 3 ve 6 numaralı bölge sırasıyla C6 ve C6+200 ısıtma işlemi için ostenitleme sırasında çökelen bir ikincil karbürdür ve yapılan EDS analizinde M_3C olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında Şekil 7.5’de C6 ısıtma işlemi görmüş numune için 4 numara ile belirtilen bölgede yapılan EDS analizinde borun nitrürle birleşerek bornitrür olarak çökelediği tespit edilmiştir. Şekil 7.6’da verilen döküm hali ve C6 ısıtma işlemi için XRD analizlerinde Cr_7C_3 ve α - Mo_2C pikleri tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalarda molibdenin M_7C_3 ötektik karbürleri ve molibden karbürü(Mo_2C) segregasyonu olduğu görülmüştür. Bu yüzden matrisin molibden içeriğinin oldukça az olması beklenir [36].



Şekil 7.6 : 3 Numaralı numunenin döküm ve C6 ısıtma işlemi için XRD analizleri.

(4) - 21Cr + 0,5Mo+1B içeren numune:

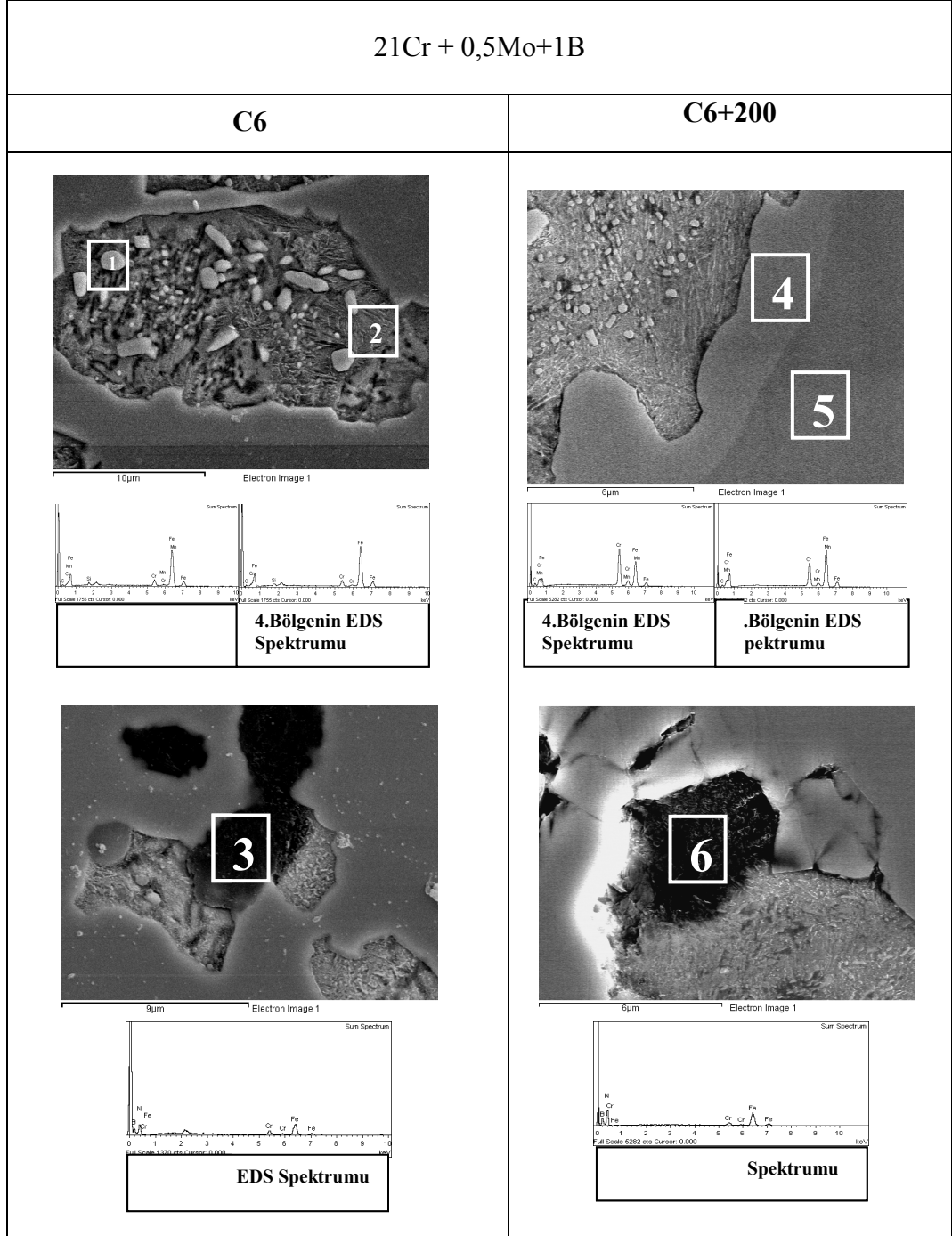
21Cr + 0,5Mo+1B içeren numunede diğer üç numuneden farklı olarak molibden miktarı düşük tutulup bor miktarı artırılarak borun mikroyapıya etkisi görülmek istenmiştir.

Ek şekil A.4’de $21\text{Cr} + 0,5\text{Mo} + 1\text{B}$ içeren numune için optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Burada ilk göze çarpan açık renkli bölgeler olan birincil karbürlerin ısıtılma işlemle beraber fazla bir değişim göstermemesi fakat miktarının çok az da olsa düşüş göstermesidir. Bununla beraber matris mikroyapısı ısıtılma işlemle beraber büyük bir değişim göstermektedir. Döküm halinde matris mikroyapısı tamamen perlitik bir yapı ve çok küçük ikincil karbürlerden oluşmaktadır. Döküm halinde yapılan ölçümlerde birincil karbür hacim oranının %42,4 olduğu belirlenmiştir. Şekil 7.8’de 4 numaralı numunenin döküm hali için XRD patternlerine bakıldığında Fe_3C (sementit) pikleri net bir şekilde görülmektedir. Bu durum yapıdaki perlit mikroyapısına destek niteliğindedir.

C6 ve C6+200 ısıtılma işlemi için SEM görüntülerinde matris mikroyapısına bakarsak döküm haline göre büyük bir değişimle karşılaşırız (Şekil 7.7). C6 ısıtılma işlemi ile beraber matris martensit ve perlit karışımından ve çok sayıda büyük ikincil karbürlerden oluşmaktadır. Yani C6 ısıtılma işlemi ile beraber yapının tamamen martensite dönüşmediği görülmektedir. Bunun nedeninin bor miktarının artması ile beraber matrisde segregasyon eğiliminin artması ile ilişkili olduğu düşünülmüştür. Bununla beraber yüksek krom içeriği matriste karbonun düzensiz dağılmasına neden olur ve düşük karbonlu bölgeler martensite dönüşür, yüksek karbonlu bölgeler ise perlite dönüşür. Yüksek karbonlu bölgelerde $\text{M}_{23}(\text{C},\text{B})_6$ parçacıkları çökelir [14]. C6+200 ısıtılma işlemi ile beraber ise matrisde neredeyse hiçbir değişim görülmemektedir. Yalnızca ostenitleme sıcaklığında oluşan kaba ikincil karbürlerin ve temperleme sırasında oluşan ince ikincil karbürlerin yapıya daha homojen olarak dağıldığı görülmektedir.

Şekil 7.7’de C6 ve C6+200 ısıtılma işlemi için SEM fotoğrafları görülmektedir. Burada 1 numara ile gösterilen bölge C6 ısıtılma işlemi için optik mikroskopta rahatlıkla görülebilen ve ostenitleme sıcaklığında oluşan ikincil karbürlerdir. Yapılan EDS analizinde bu ikincil karbürün M_3C yapısında olduğu tespit edilmiştir. 2 numaralı bölgede ise matrisdeki perlit bölgesi net bir şekilde görülmektedir. Ek şekil A.4’de bütün ısıtılma işlem koşulları için matrisde ve Şekil 7.7’de C6+200 ısıtılma işlemi için 4 ve 5 numaralı birincil karbür bölgelerinde görülen renk farkı C ve Cr miktarı ile ilgilidir. 4 ve 5 numaralı bölgede yapılan EDS analizlerinde 5 numaralı daha koyu renkle görülen bölgenin 4 numaralı bölgeye göre daha çok C ve Cr içerdiği ve Fe miktarının daha az olduğu tespit edilmiştir. Bu durum döküm halinde matris adacıklarının

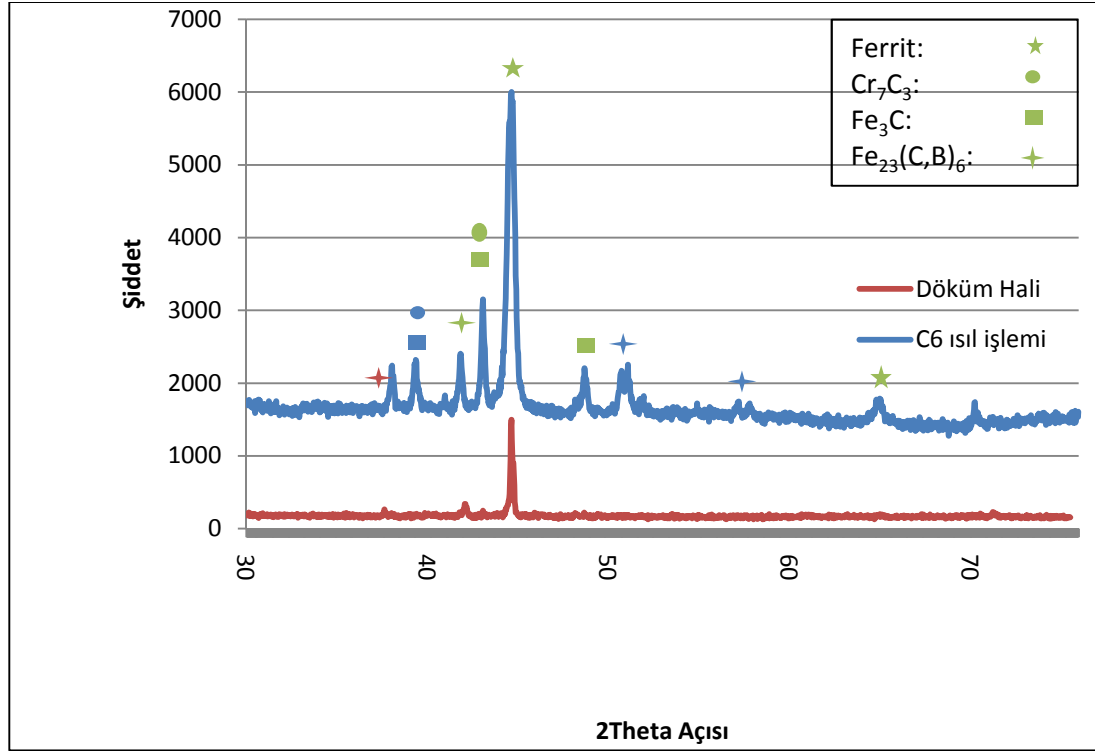
sadece kıyılarında gözlemlenmekte iken C6 ve C6+200 ısıt işlemleri sonrası matris kıyılarından matrisin geneline doğru yayılmıştır. Döküm halindeki durum katılaşma boyunca karbon ve krom'un karbürlere segregasyonu göstermektedir [36]. C6 ısıt işlemleri ile beraber ise Cr ve C'un segregasyonu matrisin geneline yayıldığı ve ikincil karbürlerin çoğunlukta olduğu bölgelere kümelenildiği görülmektedir.



Şekil 7.7 : C6 ve C6+200 ısıt işlemleri için 4 Numaralı numune SEM görüntüsü.

Şekil 7.7'de 3 ve 6 numaralı bölgelerde yapılan EDS analizlerinde bornitür tespit edilmiştir. SEM fotoğraflarında bu bölgeler siyah renkte görülmektedirler. Bileşimde

bor miktarının artmasına rağmen beklenildiği gibi Fe₂B çökeltmemesinin nedeni borun nitrürle bileşik yaparak çökmesi olduğu düşünülmektedir. Bu çökme hem C6 hemde C6+200 ısıtıl işleminde aynı şekilde matrisle birincil karbürlerin birleşme noktasında görülmektedir.



Şekil 7.8 : 4 Numaralı numunenin döküm hali ve C6 ısıtıl işlemi için XRD analizleri.

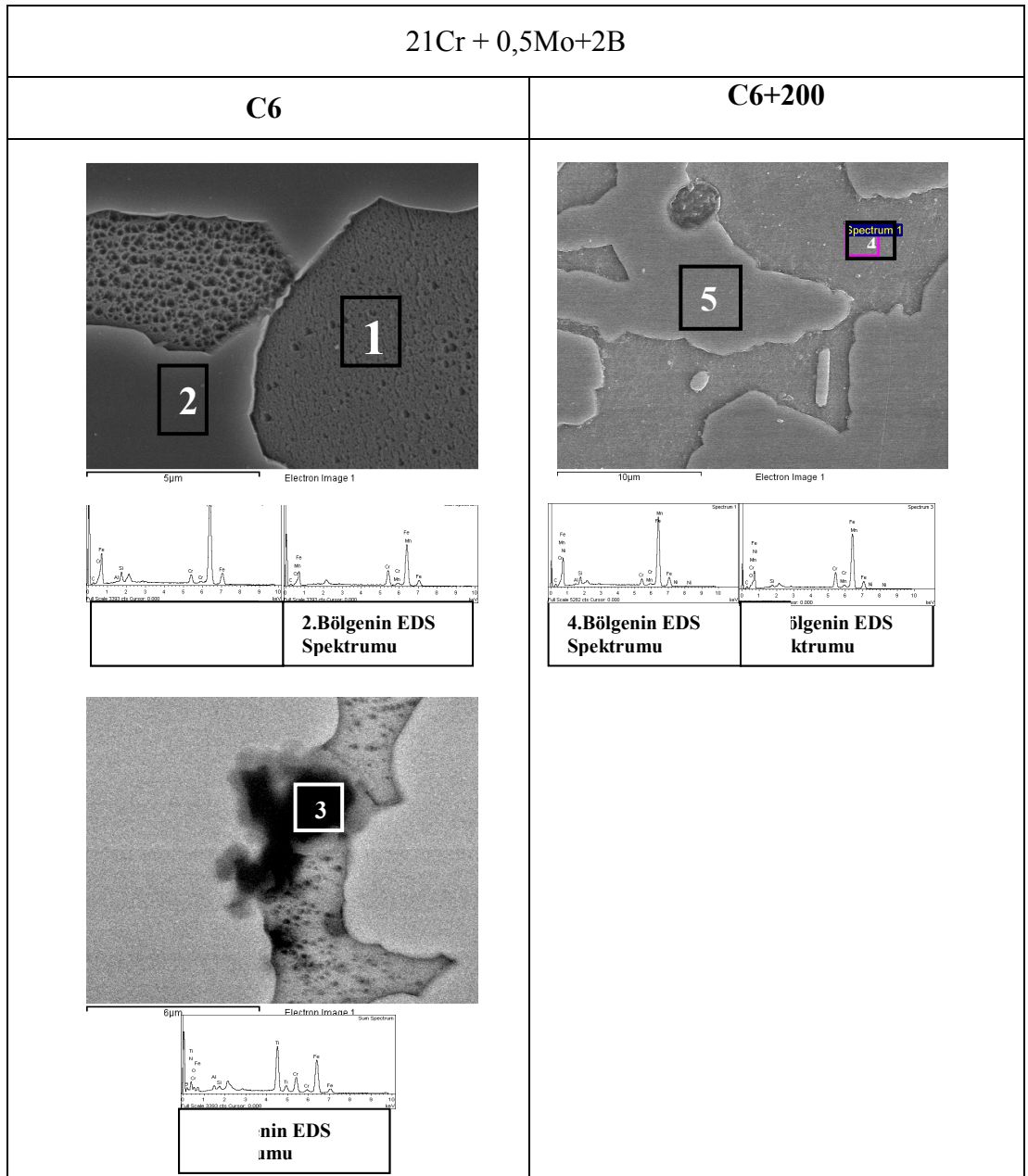
(5) - 21Cr + 0,5Mo+2B içeren numune:

21Cr + 0,5Mo+2B içeren bu numunede bor miktarı %2 seviyesine çekilerek bor katkısının maksimum sağlayacağı fayda görülmek istenmiştir.

Ek şekil A.5’de 21Cr + 0,5Mo+2B içeren numune için optik mikroskop görüntüleri görülmektedir. En yüksek bor içerikli olan bu numunede diğer numunelerden farklı bir matris yapısı görülmektedir. Döküm numunesinde yapılan ölçümlerde birincil karbür hacim oranı %46,5 olduğu belirlenmiştir.

Şekil 7.9’da 5 numaralı numunenin C6 ve C6+200 ısıtıl işlemi için SEM mikroyapıları görülmektedir. Burada 1 ve 4 numara ile gösterilen bölgeler C6 ve C6+200 ısıtıl işlemi için matris bölgelerini göstermektedir. Matrisde ilk dikkat çeken nokta poroz bir yapının görülmesidir. 2 numaralı bölge C6 ısıtıl işlemi için ve 5 numaralı bölge C6+200 ısıtıl işlemi için birincil karbür bölgesini göstermektedir ve yapılan EDS

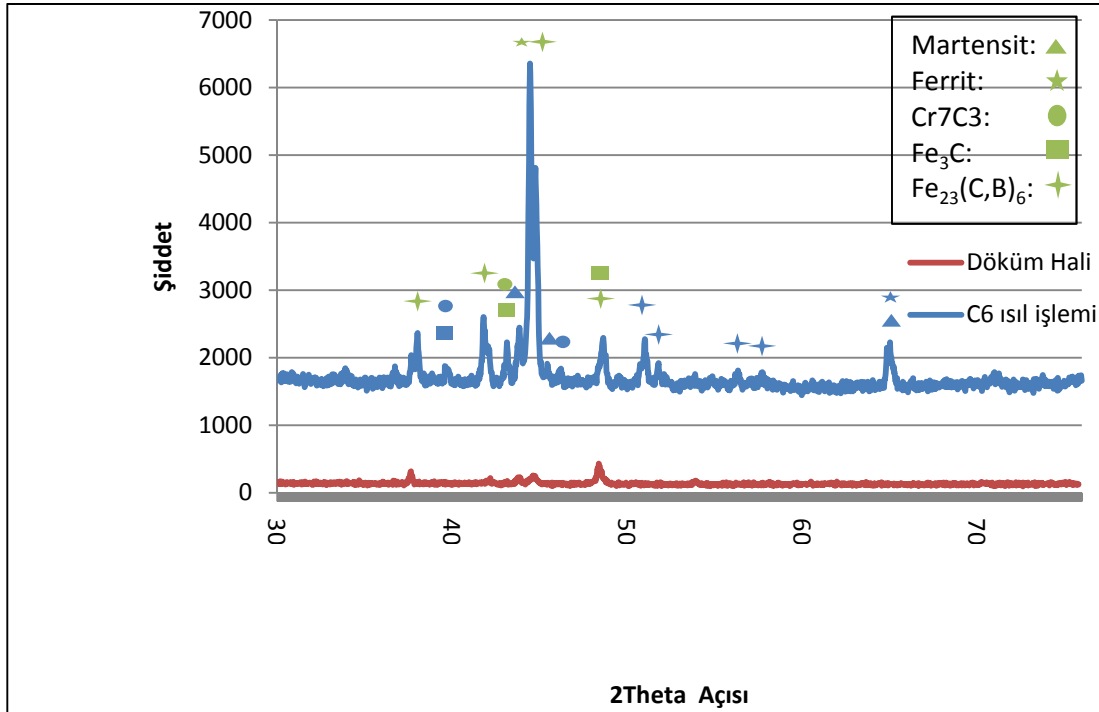
analizinde her iki bölgede karbürün M_3C yapısında olduğu belirlenmiştir. Buna ek olarak C6+200 ısıt işlemleri yapılmış olan 5 numaralı bölgede Cr içeriğinin daha az olduğu belirlenmiştir. Yani $200^{\circ}C$ de temperleme işlemi ile beraber Cr matrisine doğru segregasyon olmuştur. Diğer numunelerden farklı olarak 21Cr + 0,5Mo+2B içeren numunede yapılan EDS analizlerinde görülmektedir ki hem birincil karbür bölgesinde hemde matriste diğer numunelere göre Cr oranında ciddi bir düşüş vardır. Bunun nedeni bor miktarındaki artış olarak tahmin edilmektedir. Cr oranındaki bu düşüş nedeniyle birincil karbürlerin Cr_7C_3 olarak değil Fe_3C (sementit) olarak çöktüğü düşünülmektedir.



Şekil 7.9 : C6 ve C6+200 ısıt işlemleri için 5 numaralı numune SEM görüntüsü.

Şekil 7.9 da C6 ısıt işlemleri görmüş numunede 3 numaralı bölge ile gösterilen siyah kısımda yapılan EDS analizinde 4 numaralı numune ile benzer şekilde borun, bornitrür olarak matrisle karbürün birleştiği noktada çöktüğü görülmektedir.

5 numaralı numunede bor %2 oranında alınmıştır ancak yapılan mikroyapısal incelemelerde yüksek orandaki borun, alaşımdaki kirliliklere segregasyon olduğu ve bor nitrit olarak bağlandığı tespit edilmiştir. Bu numunede ikinci önemli bulgu matrisin iğnesel değil literatürde “globular” olarak tarif edilen bir morfolojiye sahip olmasıdır. Globular martensit genellikle düşük karbonlu çeliklerde görülen bir yapıdır. Burada SEM-EDS analizlerinde matrisin karbonunun ve matriste çözünmüş kromun diğer numunelere göre göreceli olarak daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca matris poroz bir görüntüye sahiptir. Matriste oluşan bu boşlukların tam olarak nasıl ve prosesin hangi aşamasında oluştuğu anlaşılamamıştır. Matriste çözünmüş kromun düşük olması nedeni ile çökelmiş karbürlerin demirce zengin olması, bu karbürlerin düşük sıcaklıklarda çözündüğünü düşündürmüştür. XRD paterninde tespit edilen $Fe_{23}(C,B)_6$ nedeniyle borun nitrit oluşturan miktarının dışındaki kısmın $M_{23}(B,C)_6$ karbürüne girdiği anlaşılmaktadır (Şekil 7.10). Ancak optik ve SEM görüntülerinde bu karbür tam olarak ayırt edilememiştir.



Şekil 7.10 : 5 Numaralı numunenin döküm ve C6 ısıt işlemi için XRD analizleri.

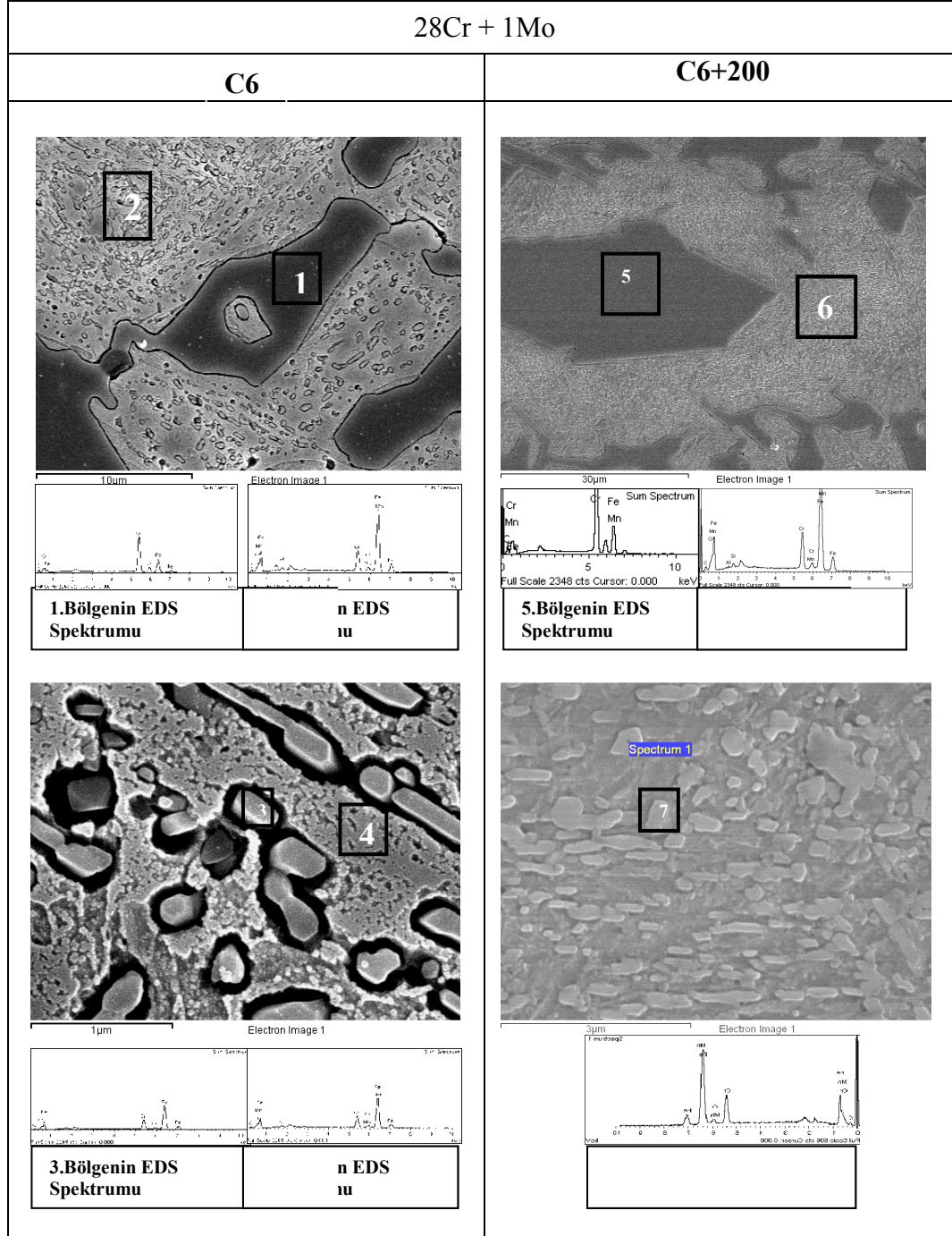
(6) - 28Cr + 1Mo içeren numune:

Ek şekil A.6'da döküm hali ve her iki ısıtım işlem için 28Cr + 1Mo içeren numune optik mikroskop görüntüleri görülmektedir. 1-5 numaralı numunelerden farklı olarak 6-8 numaralı numuneler %28Cr içeriklidir. Bu 3 numunede krom artışının etkisi görülmek istenmiştir.

Bu durumun mikroyapıda oluşturduğu fark Çizelge 7.2'de daha net görülmektedir. Çizelge 7.2'ye bakıldığında döküm mikroyapısında matris ve birincil karbürleri birbirinden ayırmak mümkün değilken C6 ısıtım işlemi ile beraber altıgen şekilli birincil karbürler gözle görülür bir hal almakta ve matrisin oranında bir artış gözlemlenmektedir. C6 ısıtım işleminden sonra yapılan temperleme ile beraber altıgen şekilli karbürlerin mikroyapıda nispeten daha homojen olarak dağıldıkları görülmektedir. Mikroyapının döküm halinde bu şekilde olma nedeni yüksek krom nedeni ile matristeki karbonun tamamen karbür oluşturmak üzere Cr_7C_3 'e gitmesi ve bu yüzden perlitik dönüşümün gerçekleşmemesi olarak düşünülmektedir. Döküm numunesinde yapılan ölçümlerde birincil karbür hacim oranının %53,5 olduğu belirlenmiştir. Isıtım işlem sırasında ostenitleme sıcaklığında bu karbürlerin bir miktar çözünerek tekrar matrisin karbon miktarını yükselttiği ve soğutma sırasında martensit dönüşümünün gerçekleştiği kanaatine varılmıştır. Yüksek kromlu tüm numunelerde matris globular martensit olup, bu martensit morfolojisinin matrisin karbon içeriği ile ilişkili olduğu görülmektedir.

Ek şekil A.6'da 28Cr + 1Mo içeren numunenin döküm mikroyapısına yüksek büyütme bakıldığında; birincil karbürlerle matrisin arasında bir fark görülememektedir. Görülebilen sadece karbürlerle matrisi ayıran sınır çizgileridir. C6 ısıtım işleminden sonra yapının gözle görülebilir bir değişime uğradığı görülmektedir. C6 ve C6+200 ısıtım işleminden sonra matris globular martensittir. Birincil karbürlerin kromca zengin, altıgen morfolojide ve oldukça kaba olduğu anlaşılmaktadır. C6+200 işleminden sonra martensit matriste oldukça kaba ikincil karbürler çökmüştür. Ayrıca ısıtım işlem sonrası matriste çökelen ikincil karbürlerin çözünmeye başladığı ve matris/karbür ara yüzeyinin açıldığı görülmektedir. İkincil karbürlerin kromca fakirleştiği ve demirce zengin Fe_3C şeklinde çökelediği anlaşılmaktadır.

Şekil 7.11’de C6 ve C6+200 ısıt işlemleri için SEM görüntüleri görülmektedir. 1 ve 5 numaralı bölgeler sırası ile C6 ve C6+200 ısıt işlemleri numunelerinde birincil karbür bölgelerini göstermektedir. Bu bölgelerde yapılan EDS analizlerinde her iki bölgede M_7C_3 olduğu ve aynı oranda Cr,C ve Fe içerdiği tespit edilmiştir.

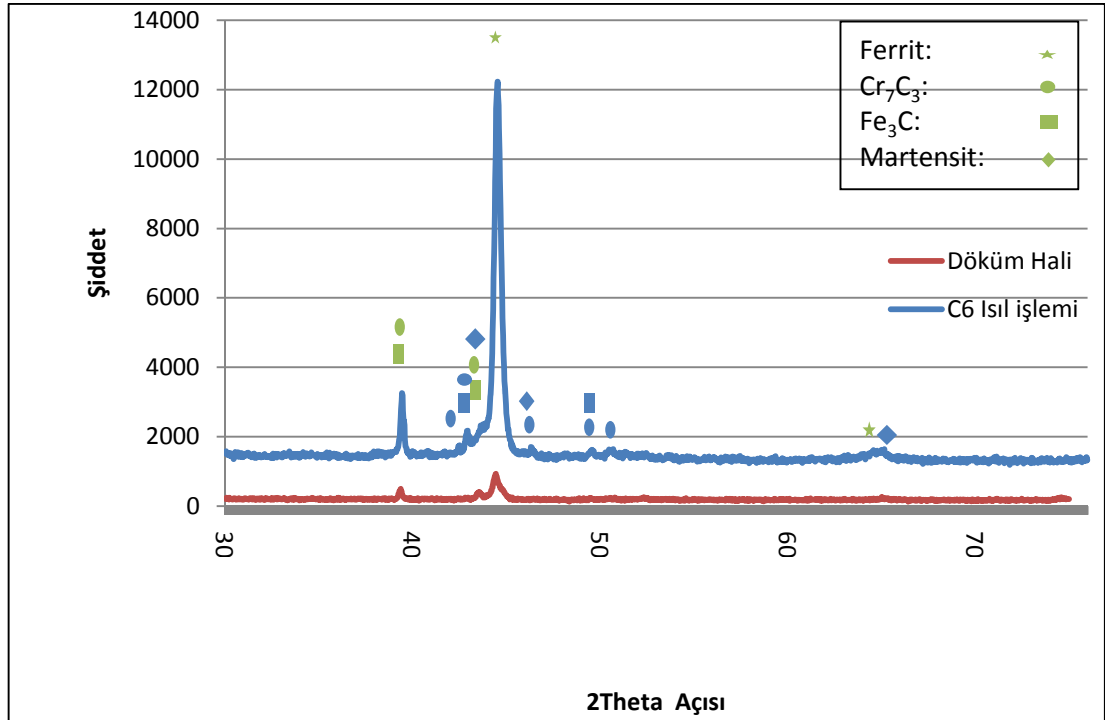


Şekil 7.11 : C6 ve C6+200 ısıt işlemleri için 6 numaralı numune SEM görüntüsü.

2 ve 6 numaralı bölgeler ise sırasıyla C6 ve C6+200 ısıt işlemleri görmüş numunelerde matris bölgelerini temsil etmektedir. Bu bölgelerde yapılan EDS analizlerinde her iki bölgede de sırasıyla Fe,C ve Cr oranının yüksek olduğu ve eşit miktarda olduğu

tespit edilmiştir. Buda yapılan temperleme ısıt işleminin hem matrisde hemde birincil karbürlerde kompozisyon değişikliğine neden olmadığı sadece karbürlerin morfolojisinin ve dağılımının değişmesini sağladığını göstermektedir. 3 ve 7 numaralı bölgeler ise ısıt işlemle beraber oluşan ikincil karbürlerdir. Yapılan EDS analizlerinde M_3C oldukları tespit edilmiştir.

Şekil 7.12’de döküm hali ve C6 ısıt işlemi için alınan XRD patterninde C6 ısıt işlemi ile ortaya çıkan martensit pikleri (2 theta: 65,3) en net farklılık olarak görülmektedir.



Şekil 7.12 : 6 Numaralı numunenin döküm ve C6 ısıt işlemi için XRD analizleri.

(7) - 28Cr + 0,5Mo içeren numune:

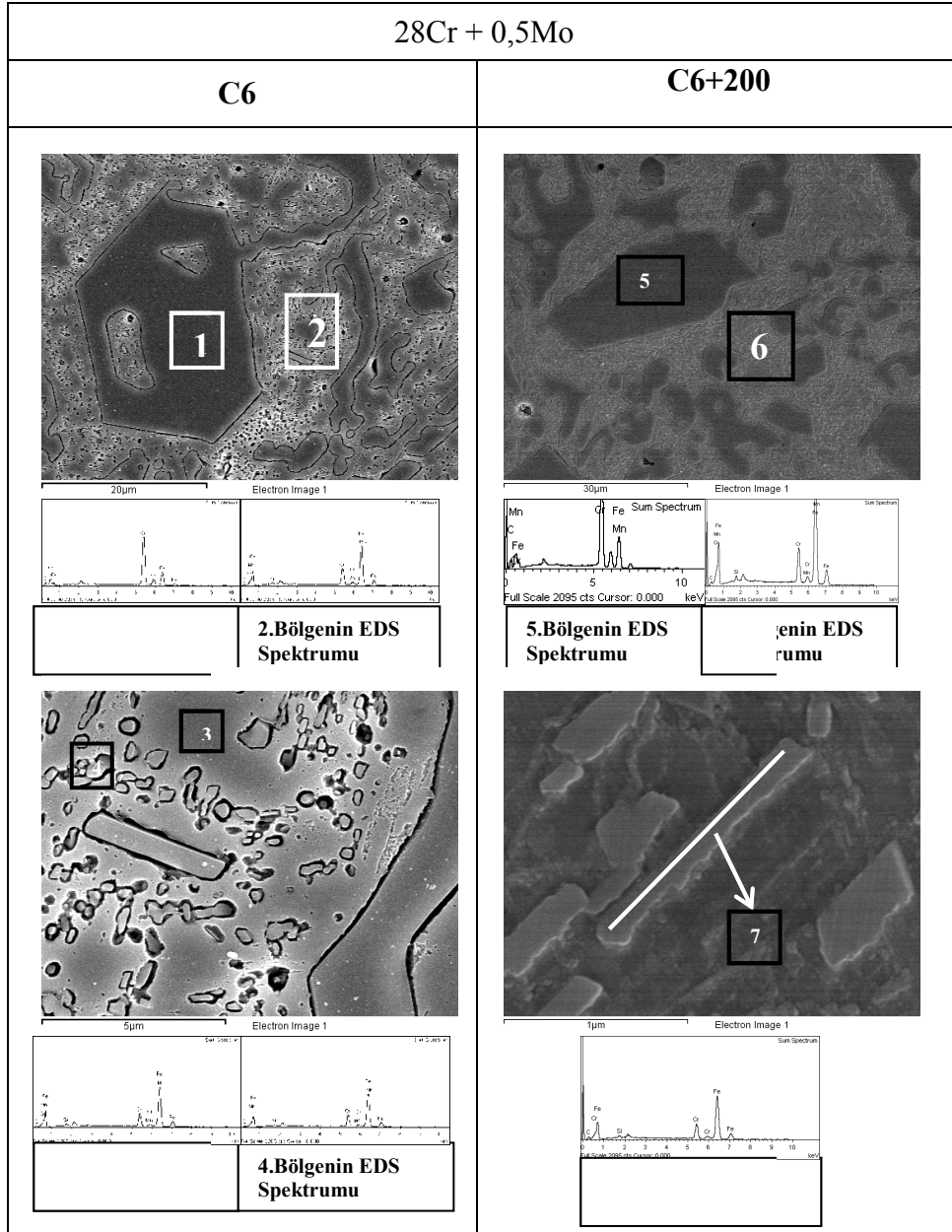
Ek şekil A.7’de döküm hali ve her iki ısıt işlem için 28Cr + 0,5Mo içeren numune optik mikroskop fotoğrafları görülmektedir. Bu numunede Cr miktarı aynı iken bir önceki numuneden farklı olarak molibden miktarı %1’den %0.5’e düşürülmüştür. Yani yüksek krom içeriğinde molibdenin etkisi görülmek istenmiştir.

Çizelge 7.2’de 28Cr + 0,5Mo içeren numuneye baktığımızda döküm halinde 28Cr + 1Mo içeren numuneye benzetmekle beraber birincil karbürlerin daha ayırt edilebilir olduğu görülmektedir. Matrisle karbürler arasındaki sınır daha keskindir. Çizelge 7.2’de C6 ısıt işlemi ile beraber birincil karbürlerin daha belirgin hale geldiği

fakat 28Cr + 1Mo içeren numuneden farklı olarak daha küçük ve altıgen şeklinde olduğu görülmektedir. Temperleme ısı işlemi ile beraber ise birincil karbürlerin yapıya daha homojen yayıldığı görülmektedir.

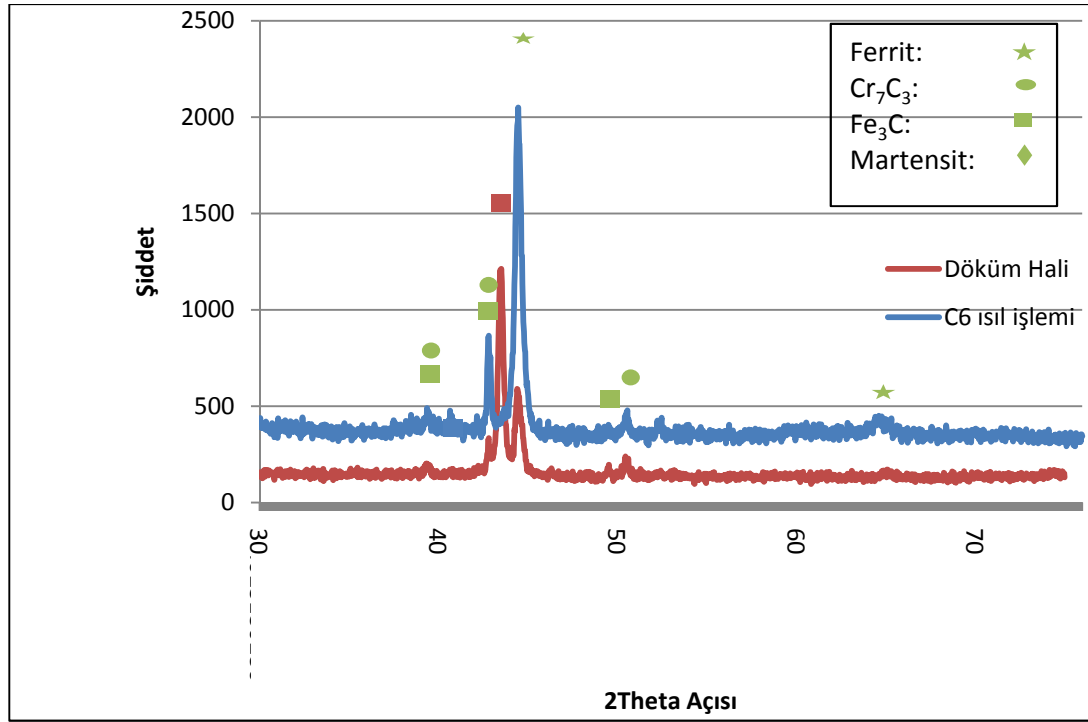
Ek şekil A.7’de 28Cr + 0,5Mo içeren numunenin döküm mikroyapsına bakıldığında 28Cr + 1Mo içeren numuneden farklı olarak matrisin içinde az miktarda da olsa perlit görülmektedir. Döküm halinde yüksek kromlu alaşımlarda molibden ferrit/perlit dönüşümünü etkilemektedir. Molibden miktarı azaldıkça matriste perlit oranı artmıştır. Döküm numunesinde yapılan ölçümlerde birincil karbür hacim oranının %52,5 olduğu belirlenmiştir. Yani %1 molibden içeren numuneye göre birincil karbür oranında azda olsa bir düşüş gerçekleşmiştir. Buna bağlı olarak ısı işlem koşullarında martensitin morfolojiside etkilenmiştir. C6 ısı işlemi ile beraber matris 28Cr + 1Mo içeren numunede olduğu gibi globular martensittir. Matris üzerinde ikincil karbürlerin arttığı fakat 28Cr + 1Mo içeren numune ile karşılaştırıldığında daha az olduğu görülmektedir. C6+200 ısı işlemi ile beraber birincil karbürleri altıgen morfolojisinin az da olsa kaybolduğu ve ikincil karbürlerin matrise daha homojen olarak dağıldığı görülmektedir.

Şekil 7.13’de C6 ve C6+200 ısı işlemi için 28Cr + 0,5Mo içeren numunenin SEM fotoğrafları görülmektedir. 1 ve 5 numaralı bölgeler sırası ile C6 ve C6+200 ısı işlemi için birincil karbür bölgeleridir. Bu bölgede yapılan EDS analizinde her iki yapısında aynı oranda Cr ve C içeren karbürler olduğu belirlenmiştir. Burada 2 ve 6 numaralı bölgeler ise matris bölgesini göstermektedir. Yapılan EDS analizinde C6+200 ısı işlemi görmüş olan 6 numaralı bölgede C ve Cr oranının az miktarda azaldığı belirlenmiştir. 4 ve 7 numara ile gösterilen bölgeler ikincil karbürlerdir. Üzerlerinde yapılan bölgesel ve çizgisel analiz sonucunda 4 numaralı ikincil karbürün $M_{23}(B,C)_6$, 7 numaralı ikincil karbürün M_3C olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yüksek büyütmedeki SEM fotoğrafları 6 numaralı numune ile karşılaştırıldığında matris üzerinde çökelen ikincil karbür sayısının çok daha az olduğunu göstermektedir (Şekil 7.13). Bu yüzden azalan molibden miktarının C6 ısı işleminde ikincil karbür miktarını azalttığını ama karbürlerin göreceli olarak daha büyük olmasını sağladığını söyleyebiliriz.



Şekil 7.13 : C6 ve C6+200 ısıt işlemleri için 7 numaralı numune SEM görüntüsü.

Şekil 7.14’de döküm hali ve C6 ısıt işlemleri için XRD analizleri verilmiştir. Döküm halinde en belirgin pik olan Fe_3C (2Theta:43,4) pikinin C6 ısıt işlemleri ile beraber yok olduğu görülmektedir. Bu durum uygulanan ısıt işlemleri ile beraber döküm halinde matrisde bulunan perlit mikroyapısının ısıt işlemleri ile beraber dönüşüme uğradığını destekler niteliktedir.



Şekil 7.14 : 7 Numaralı numunenin döküm ve C6 ısıt işlemleri için XRD analizleri.

(8) - 28Cr + 0,5B içeren numune:

28Cr + 0,5B içeren numunede %28 krom içeren numunelerden farklı olarak molibden yoktur. Bunun yerine %0,5 oranında bor mevcuttur. Bu numunede de amaç yüksek krom içeriğinde borun etkisini görebilmektir.

Ek Şekil A.8’de döküm hali ve her iki ısıt işlem için 28Cr + 0,5B içeren numune optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Burada döküm halinde matris molibden içermediği için perlitce yoğun olduğu görülmektedir. Ayrıca döküm numunesinde yapılan ölçümlerde birincil karbür hacim oranının % 51,6 olduğu belirlenmiştir. 8 numunenin tamamında birincil karbür hacim oranları karşılaştırılırsa hem %28 hem de %21 krom içeren numunelerde artan molibden miktarı ile birincil karbür hacim oranının azaldığı görülmektedir. Bununla beraber %28 krom içeren numunelerin birincil karbür hacim oranları %51,6-53,5 aralığında iken %21 krom içeren numunelerde bu oranın %40,4-45,8 aralığına gerilediği belirlenmiştir.

Matris adacıklarının etrafında diğer numunelerde de görülen karbonca fakir bölgeler mevcuttur. Bu numunede C6 ısıt işlemi ile beraber matris martensite dönüşmüştür. Ancak ostenitleme sıcaklığında çözünen karbürler nedeni ile matrisin karbon miktarıda artmıştır ve bu yüzden martensit morfolojisinde bu durumdan etkilenmiştir.

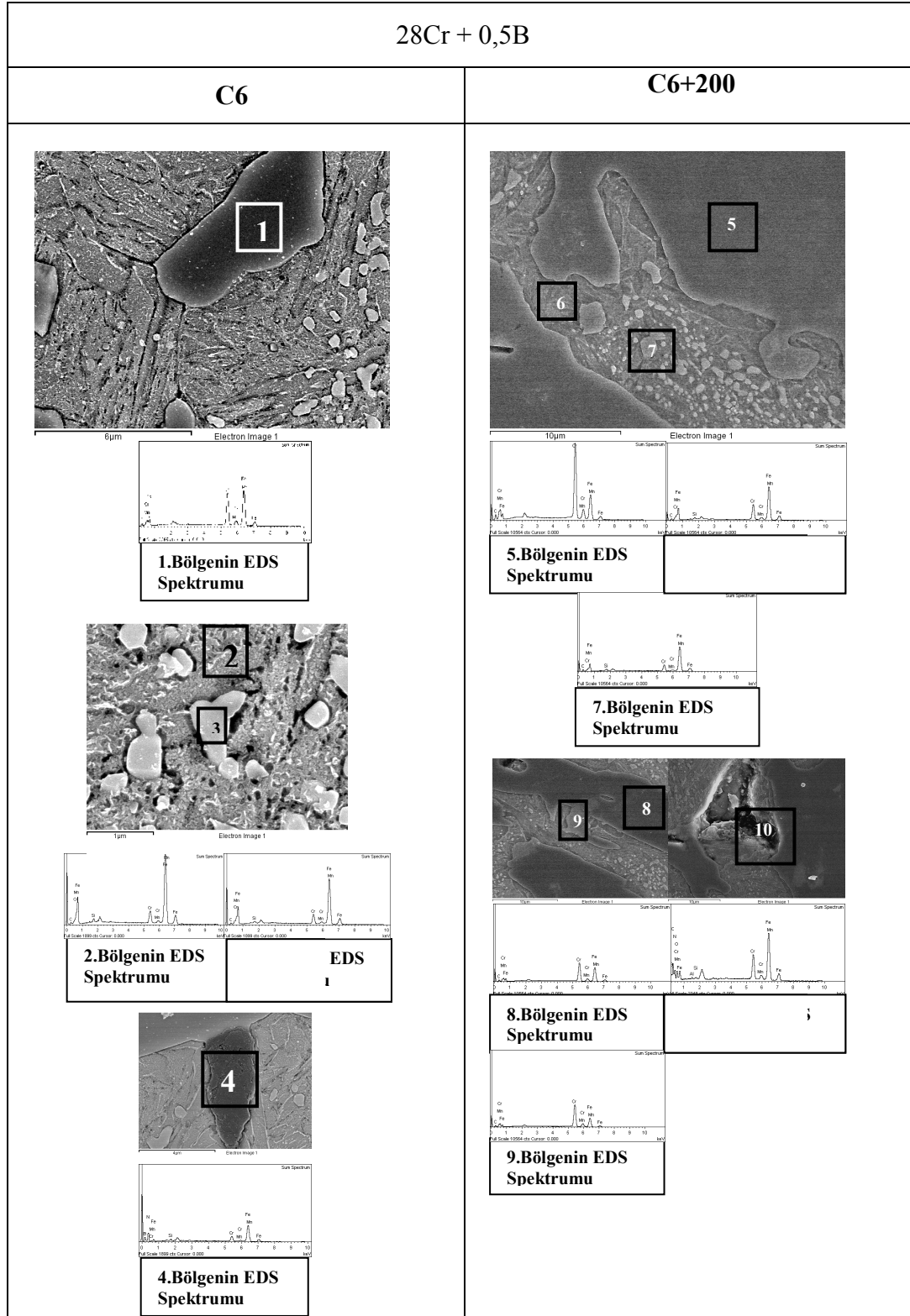
Bu numunede martensit genellikle globular olmakla beraber iğnesel morfolojilerde içermektedir. Aynı zamanda matris üzerinde ikincil karbür çökeltileri görülmektedir. Döküm halinde matrisin çevresinde görülmekte olan düşük karbonlu bölgelerde ısıtım işlem sonrasında matris mikroyapısında görülmemektedir. Temperleme ısıtım işlemi ile beraber ise C6 ısıtım işleminde oluşan ikincil karbürlerin matris üzerinde daha homojen olarak dağıldığı hem SEM hemde optik mikroskop görüntülerinde görülmektedir.

Çizelge 7.2’de %28Cr içeren numunelerin düşük büyütmedeki optik mikroskop görüntüleri karşılaştırmalı olarak görülmektedir. 28Cr + 0,5B içeren numunenin döküm halindeki mikroyapısı %28 krom içeren diğer numuneler ile karşılaştırıldığında birincil karbürlerin bu numunelere göre daha büyük ve hacim oranının daha fazla olduğu açıkça görülmektedir. 28Cr + 0,5Mo içeren ve 28Cr + 1Mo içeren numuneler arasında karşılaştırma yaptığımızda da %0,5 molibdenli olan numunedeki birincil karbürlerin daha büyük olduğu dikkate alındığında döküm halinde molibdenin birincil karbürlerin oluşumunu engelleyici bir rol oynadığı düşünülmektedir [15].

Şekil 7.15’de C6 ve C6+200 ısıtım işlemi için 8 numaralı numunenin SEM mikroyapıları görülmektedir. 1 ve 5 numaralı bölgeler her iki ısıtım işlem için birincil karbür bölgeleridir. Yapılan EDS analizlerinde 5 numaralı C6+200 ısıtım işlemi görmüş bölgede Cr içeriğinin 1 numaralı bölgeye göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yani temperleme ısıtım işlemi ile beraber krom matrisden birincil karbürlere segregasyon olmuştur. 2 ve 6 numaralı bölgelerde her iki ısıtım işlem için matris bölgeleridir. 2 numaralı temperlenmemiş matris bölgesinde globular ve iğnesel martensit beraber görülmektedir. 3 ve 7 numaralı bölgeler her iki ısıtım işlem için ikincil karbürleri göstermektedir. EDS analizinde bu ikincil karbürlerin temperlenmemiş 3 numaralı bölgede $M_{23}(C,B)_6$ olduğu, temperlenmiş 4 numaralı bölgede ise M_2C bileşiminde olduğu tespit edilmiştir. C6 ve C6+200 ısıtım işlemi için matrislerde ikincil karbür dağılımı karşılaştırıldığında temperlenmiş matrisin daha düzenli dağılmış ikincil karbürlere sahip olduğu görülmektedir. C6+200 ısıtım işlemi gören numunede 8 ve 9 numara ile gösterilen bölgelerde birincil karbür üzerinde oluşan renk farklılığının krom oranının 9 numaralı bölgede düşük olmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir. 8 numaralı numunenin ısıtım işlemli ve temperlenmiş halinde de döküm halinde ki kadar fazla olmasada kısmi krom segregasyonları mevcuttur.

Şekil 7.15 ‘de 4 ve 10 numaralı bölgeler yapıda borun tespit edildiği bölgelerdir.

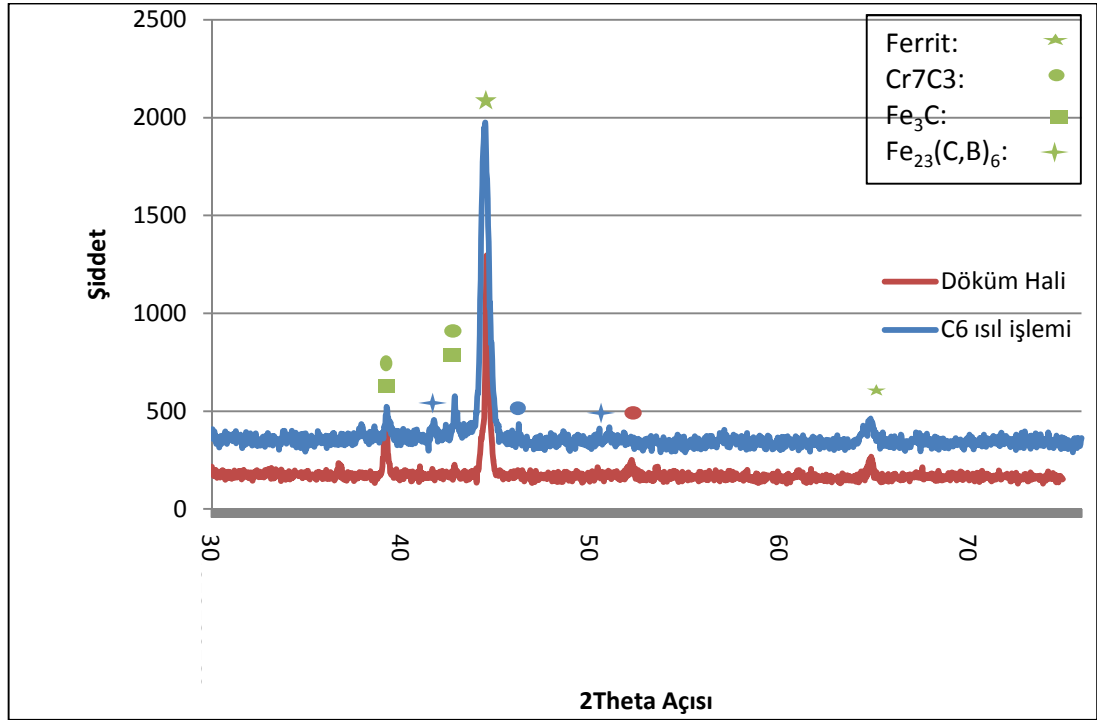
Temperlenmemiş numunede bulunan 4 numaralı bölgede daha öncede birçok numunede olduğu gibi bor nitrür ile birleşerek bor nitrür olarak çöktüğü görülmektedir.



Şekil 7.15 : C6 ve C6+200 ısıtılması için 8 numaralı numune SEM görüntüsü.

Temperlenmiş numunede ki 10 numaralı bölgede ise yapıda borla eşit oranda karbon ve daha az miktarda da nitrür bulunmaktadır. Yani bu bölgede borun borkarbür olarak çökeldiği söylenebilir.

Şekil 7.16’da döküm hali ve C6 ısıt işlemleri için XRD analizleri verilmiştir. XRD analizleri incelendiğinde döküm hali ve C6 ısıt işlemleri arasındaki en net fark ortaya çıkan $\text{Fe}_{23}(\text{C},\text{B})_6$ pikleridir.



Şekil 7.16 : 8 Numaralı numunenin döküm ve C6 ısıt işlemleri için XRD analizleri.

7.2 Mekanik Özellikler

Çizelge 7.3’de farklı kompozisyondaki 8 numune için döküm halinde, C6 ve C6+200 ısıt işlemleri için sertlik(HR_c) ve göreceli aşınma değerleri verilmektedir.

Ek çizelge C.1’de 8 numune için döküm halinde ve her iki ısıt işlem için aşınma alanlarının karşılaştırmalı tablosu görülmektedir. Burada karşılaştırılan aşınma alanları Al_2O_3 topla git-gel çizgi hareketiyle 5000 çevrim yapılarak elde edilmiştir ve 5000 çevrim sonunda numuneler üzerinde Al_2O_3 top ile toplam 120m yol gidilmiştir.

Aşınma deneyleri sonrasında elde edilen aşınma profilleri EK şekil B.1-8’de ve bu profillerden elde edilen aşınma alanları Ek çizelge C.1’de verilmiştir. En büyük aşınma alanı 2 numaralı numunenin döküm halinde ölçüldüğünden bu numune

referans kabul edilip, göreceli aşınma direnci 1 olarak alınmıştır. Diğer numunler için göreceli aşınma direnci (7.1):

$$\text{Göreceli aşınma direnci} = \frac{\text{Döküm halindeki 2 nolu numunenin aşınma alanı}}{\text{İncelenen numunenin aşınma alanı}} \quad (7.1)$$

Çizelge 7.3’de de görüldüğü gibi en yüksek sertlik değeri 1 numaralı numunenin C6 ısıt işlemleri görmüş halindedir. En yüksek aşınma direncini sağlayan numune ise 3 numaralı C6+200 ısıt işlemleri görmüş olan numunede görülmektedir. En düşük sertlik ve aşınma direnci ise 2 numaralı numunenin döküm halinde görülmektedir.

Çizelge 7.3 : Isıt işlemleri ve kompozisyona göre sertlik ve göreceli aşınma direncinin değişimi.

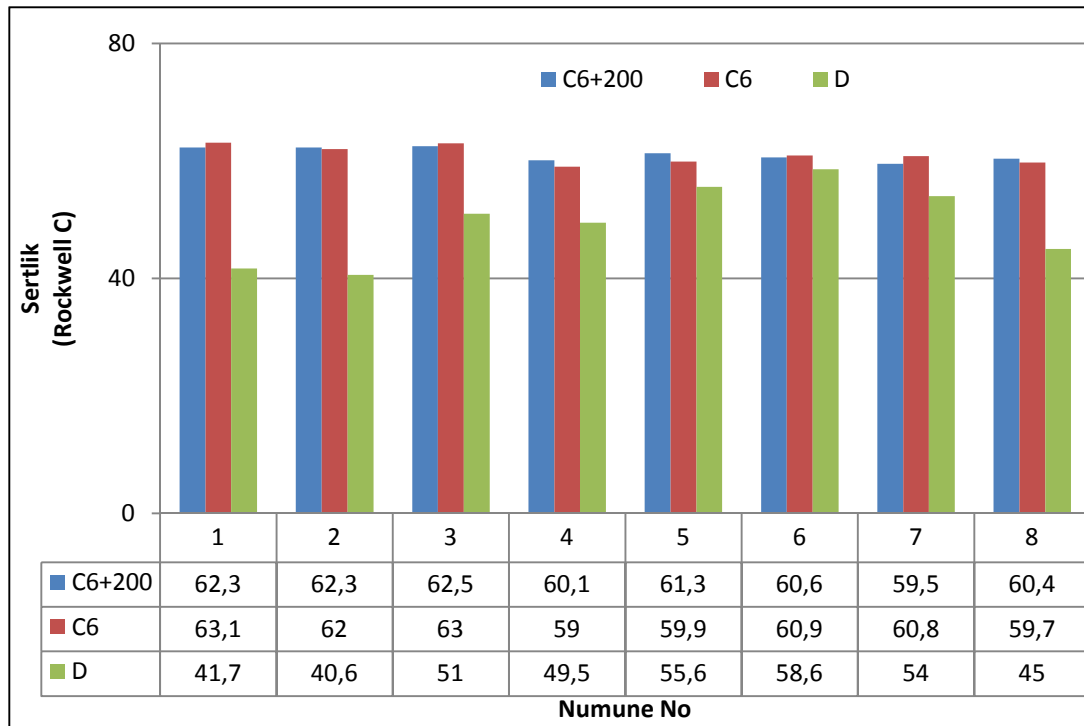
		ISIT İŞLEM					
		Döküm Hali		C6		C6+200	
Numune No	Kompozisyon	Sertlik	Göreceli Aşınma Direnci	Sertlik	Göreceli Aşınma Direnci	Sertlik	Göreceli Aşınma Direnci
1	21Cr 1,5Mo 0,5B	41,7	1,5	63,1	29,4	62,3	3,8
2	21Cr 0,5Mo 0,5B	40,6	1	62	7,7	62,3	7,1
3	21Cr 1Mo 0,5B	51	4,8	63	8,2	62,5	177,7
4	21Cr 0,5Mo 1B	49,5	2,4	59	9,9	60,1	6,6
5	21Cr 0,5Mo 2B	55,6	4,1	59,9	11,1	61,3	11,2
6	28Cr 1Mo	58,6	5,7	60,9	7,9	60,6	6,3
7	28Cr 0,5Mo	54	9,8	60,8	4,5	59,5	14,6
8	28Cr 0,5B	45	1,6	59,7	49,3	60,4	16,2

Şekil 7.17’de %21 ve 28 krom içeren numunelerde döküm hali, C6 ve C6+200 ısıt işlemleri için bor ve molibden miktarındaki değişimle beraber sertlikde(HR_c) meydana

gelen değişimler görölmektedir. Döküm halindeki numunelerin sertlik değerleri incelendiğinde 40-55 rockwell C aralığında olduğu görölmektedir. Sadece %28Cr ve %1 Mo içeren 6 numaralı numunenin ısıtılma işlemi görmüş olan numunelerin sertlik değerlerine yakın bir değere ulaşabildiği görölmektedir. Bunu sağlayan 6 numaralı numunenin döküm halinde büyük oranda birincil karbürlerden oluşan mikroyapısıdır. Çizelge 7.2’de numunelerin döküm halleri incelendiğinde en küçük boyutlu birincil karbürlerin 6 numaralı numunede olduğunu ama bunun yanında karbür sayısının da tam tersine çok olduğu görölmektedir. Bu mikroyapının 6 numaralı numunenin sertlik değerini yükselttiğini söyleyebiliriz. C6 ve C6+200 ısıtılma işlemli numunelerin sertlik değerlerine baktığımızda iki ısıtılma işlemi arasında sertlik değerleri açısından çok küçük farklar olduğu ve sertlik değerlerinin 59-63 rockwell C aralığında olduğu görölmektedir.

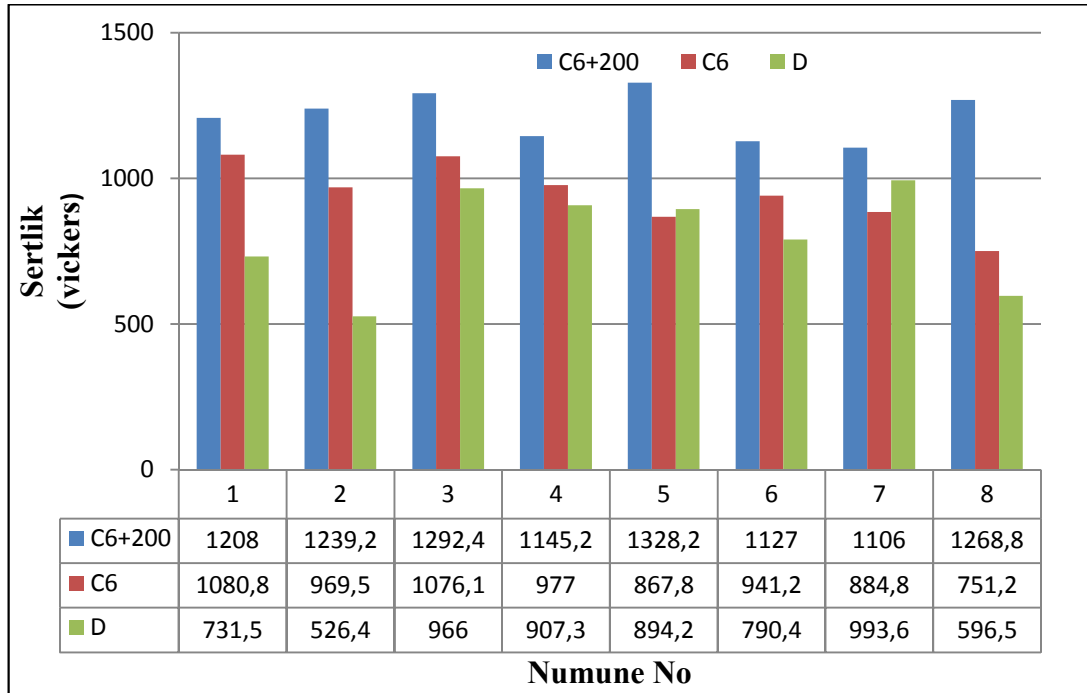
%21Cr içeren numunelerde her iki ısıtılma işlemi için bor sabit tutulup molibden miktarı artırıldığında sertliğin azda olsa arttığı görölmektedir. Eğer molibden miktarı sabitlenip bor miktarı arttırılırsa önce sertliğin düştüğü sonra bir miktar arttığı görölmektedir. Bunun yanında %21Cr-0,5Mo ve 0,5B içeren 2 numaralı numunenin C6 ve C6+200 ısıtılma işlemli hali için bor sabit tutulup molibden miktarı değiştirildiğinde en düşük sertliğine sahipken; molibden sabitken bor oranı değiştirildiğinde en yüksek sertlik değerine sahip olduğu görölmektedir. Yani %21 Cr içeren numunelerde sertlik artışı göz önünde tutulduğunda bor miktarını arttırmak yerine molibden miktarını arttırmanın daha faydalı olduğu görölmektedir. Döküm halinde ise bunu söylemek mümkün değildir. Döküm halinde hem molibden hem de bor artışıyla beraber aynı oranda sertliğin arttığını fakat bor içeriği %1’e yükseldikten sonra sertlik değerlerinde bordaki artışın fayda sağladığı fakat numunenin sertlik değerinin artan molibden miktarı ile tekrar azaldığı görölmektedir. Bunun nedeni molibdende ki artışla beraber mikroyapıdaki ferritik bölgelerin oranındaki artıştır[15]. Isıtılma işlemli numunelerde bor oranındaki artışla beraber sertliğin önce düşmesi daha sonra ise bir miktar artmasının sebebi bor miktarındaki artışla beraber karbürlerin miktarının ve çeşidinin değişmesinden kaynaklanmaktadır. En düşük bor seviyesinde mikroyapıda sadece M_7C_3 karbürleri varken bordaki artışla beraber M_3C karbürleri oluşmaya başlar ve bu durum sertlikte düşüşe neden olur. Daha sonra bor miktarı arttıkça M_7C_3 ve M_3C karbürleri değişmeden kalırlar fakat bir yandan $M_{23}(C,B)_6$ karbürleri oluşur. Buda sertlikte bir miktar artışa sebep olur fakat M_7C_3 karbürleri kadar sertlik sağlayamaz [37].

Şekil 7.17’de bütün numuneler için döküm halinde ve her iki ısıtma işlemi sonucunda oluşan makrosertlik (HR_c) değerlerinin karşılaştırılması görülmektedir. Burada döküm halinde ki numunelerin sertlikleriyle ısıtma işlemi görmüş numune sertlikleri arasında büyük fark varken ; C6 ısıtma işlemi ve C6+200 ısıtma işlemi sonucunda sertlikler arasında çok küçük farklılıklar olduğu görülmektedir. Grafik incelendiğinde 5,6 ve 7 numaralı numunelerin döküm haliyle C6 ve C6+200 ısıtma işlemi görmüş halleri arasında diğer numunelere göre çok az bir fark olduğu görülmektedir. 5 numaralı numunede ikincil karbürlerin çözünmesi nedeni ile C6 ısıtma işlemi sonrası ve C6+200 ısıtma işlemi sonrası sertlik ve aşınmada büyük bir farklılık gözlenmemiştir.



Şekil 7.17 : Isıtma işlemindeki değişime göre makro sertlik değişimleri.

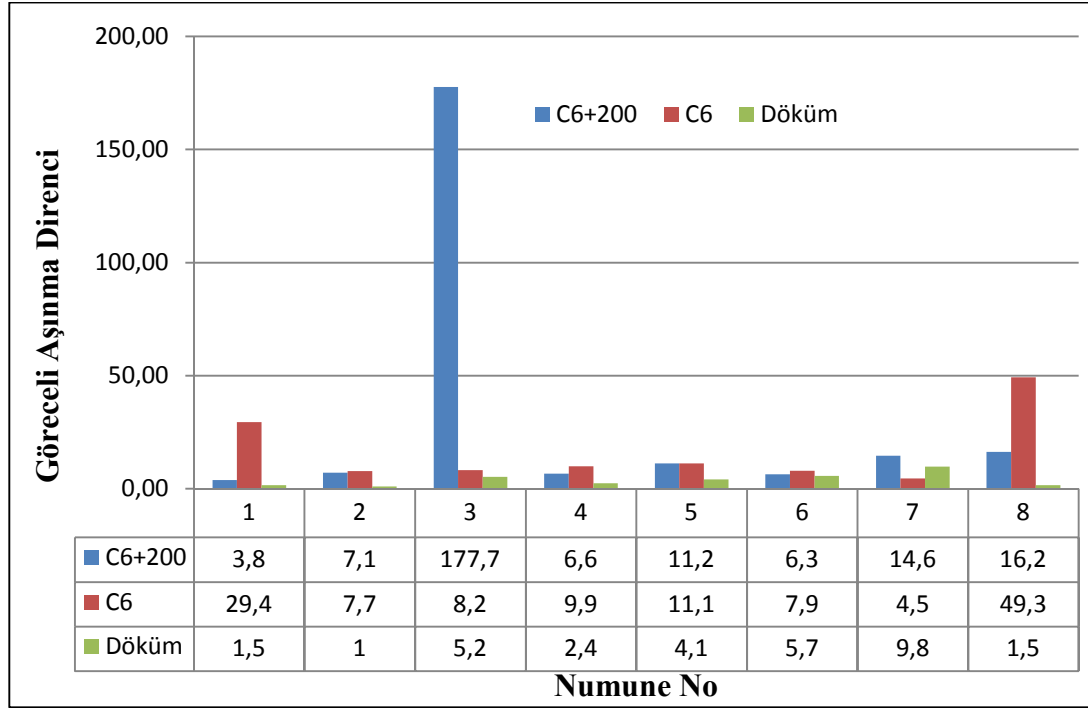
Şekil 7.18’de da yine 8 adet numune için döküm halinde ve her iki ısıtma işlemi için mikrosertlik değerleri karşılaştırılmıştır. Makro sertlik değerlerinden farklı olarak çoğu numunede C6 ve C6+200 ısıtma işlemleri arasında sertlik farkının yüksek olduğu görülmektedir. Aynı zamanda 7 ve 5 numaralı numuneler hariç sırasıyla döküm-C6-C6+200 ısıtma işlemiyle beraber mikrosertlik değeri artmaktadır. 7 ve 5 numarada ise yine C6+200 ısıtma işlemi en sert olmakla beraber döküm halindeki numunelerin mikrosertlikleri C6 ısıtma işlemi görmüş numunelerden yüksektir. Ayrıca 3 ve 7 numaralı numunelerin döküm halinde mikrosertlikleri 5,6 ve 8 numaralı numunelerin C6 ısıtma işlemi görmüş hallerinin mikrosertliğinden daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 7.18 : Isıl işlemdeki değişime göre mikrosertlik değişimleri.

Şekil 7.19’da döküm hali ve her iki ısıl işlem koşulu için göreceli aşınma direncindeki değişim verilmiştir. Döküm halindeki numuneler incelendiğinde 7 numaralı numune hariç bütün numunelerin yapılan her iki ısıl işlemle göreceli aşınma dirençlerini arttırdıkları yani aşınma iz alanlarını azalttıkları görülmektedir. C6 ve C6+200 ısıl işlemi sonrasında ise aşınma direncinde böyle bir doğru orantı bulunmamaktadır. Bazı numunelerde C6 ısıl işlemi ile aşınma kaybının az olduğu bazılarında da C6+200 ısıl işlemi ile aşınma kaybının daha az olduğu görülmektedir. 1, 2, 4, 6 ve 8 numaralı numunelerde döküm halinde aşınma kaybının en fazla olduğu daha sonra C6 ısıl işlemi ile beraber aşınma kaybının en az seviyeye indiği ve son olarakda C6+200 yani temperleme ısıl işlemi ile beraber döküm seviyesinin çok altında da olsa bir miktar aşınma kaybının arttığı görülmektedir. 3 ve 5 numaralı numunelerde ise döküm halinden başlayarak sırasıyla C6 ve C6+200 ısıl işlemi ile beraber aşınma kaybı giderek azalma göstermektedir. Hatta aşınma testinin yapıldığı 24 numune içerisinde en az aşınma kaybına uğrayanda 3 numaralı numunenin C6+200 ısıl işlemi görmüş olan numunesidir. Aşınmaya karşı beklenen direnci gösteremeyen numunelerde ötektik karbür çökelmesinin büyük rol oynadığı bilinmektedir. Yapılan çalışmalarda ötektik bileşikler sert ve kırılgan oldukları için

mikroyapıdaki dağılımları ve morfolojileri en önemli sorun olarak ortaya çıkmaktadır[14]. Çizelge 7.2’de mikroyapılar incelendiğinde C6+200 ısıt işlemleri için 1,2 ve 3 numaralı numuneler benzer sertlikte olmalarına rağmen 3 numaralı numunenin aşınma direncinin daha yüksek çıkma nedeninin 3 numune arasında mikroyapısında en az ötektik karbür bulunduranın 3 numaralı numune olması olduğu düşünülmektedir.



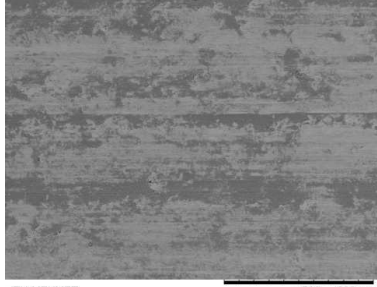
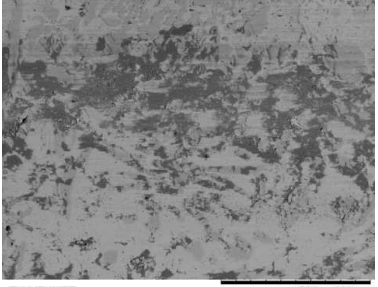
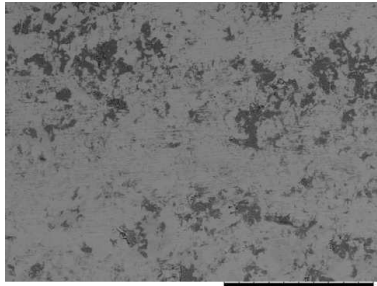
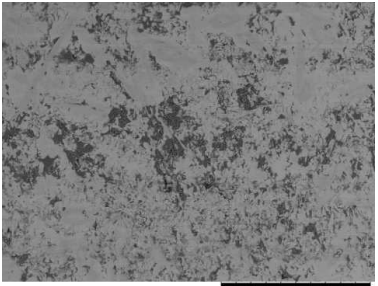
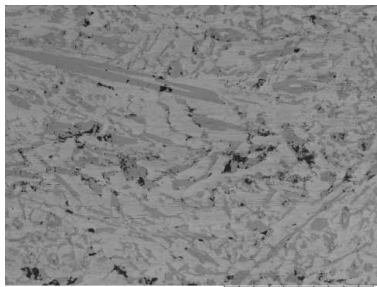
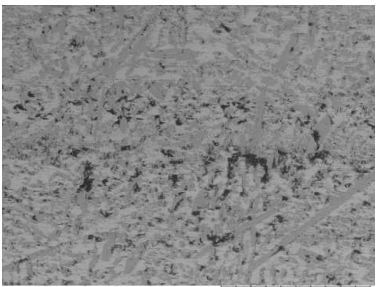
Şekil 7.19 : Isıl işlemdeki değişime göre aşınma direncindeki değişim.

Şekil 7.17 ve 7.18’de de görülmekte olduğu gibi döküm hali haricinde C6 ve C6+200 ısıt işlemlerinde sertlik değerleri birbirlerine çok yakın değerlerdedir. Sertlik değerlerinin çok yakın olduğu durumlarda mikroyapı ve aşınma direnci arasında yakın bir ilişki vardır. ZHOU Xian-liang ve arkadaşları da [14] yaptıkları bir çalışmada benzer sertlik değerlerinde mikroyapı ile aşınma direnci arasında önemli bir ilişki olduğunu ve aynı sertlik değerlerinde aşınma kaybının en az olduğu mikroyapının alt beyrit ile kalıntı ostenit mikroyapısı olduğunu belirtmektedirler. Aşınma kaybının en az olduğu 3 numaralı numunenin C6+200 ısıt işlemleri mikroyapısına baktığımızda ise temperlenmiş martensitten oluşan matris ayrıca M_7C_3 formunda birincil karbürler görülmektedir. En iyi aşınma direnci gösteren ikinci malzeme ise %28Cr-0,5B içeren 8 numaralı numunenin C6 ısıt işlemi görmüş halidir. Cr miktarının artmasıyla hem döküm halinde hemde ısıt işlemleri halde sertlik ve darbe direnci artar. Cr artışı sadece borun sertliğini arttırmaz aynı zamanda

morfolojisini de değiştirir. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde artan krom içeriği sertlik ve tokluk arasında iyi bir denge sağlar. Bu durumda aşınma davranışında iyileşme sağlar. Krom artışıyla beraber matriste martensit görülür ve hakim oranı artar. Ykske krom içeriği matriste karbonun düzensiz dağılmasına neden olur ve düşük karbonlu bölgeler martensite dönüşür. Yüksek karbonlu bölgelerde $M_{23}(C,B)_6$ parçacıkları keler. 8 numaralı numunenin bu mikroyapısı literatürde yapılan çalışmalarla [14] uyum içindedir.

şekil 7.21’de 1,5 ve 7 numaralı numuneler için döküm hali ve C6 ısııl işleminde aşınma sonucunda oluşan iz yüzeyinin SEM fotoğrafları grlmektedir. Bu görüntüler incelendiğinde iz yüzeylerinde sürtünme sonucunda oluşan hiçbir kopma görülmemektedir. Yani aşınma mekanizmasına koparak oluşan parçacıklar etki etmemiştir. Fakat görüntülerde koyu renkle grlen kısımların oksit tabakası olduğu bilinmektedir. Bu oksit tabakasının aşınma esnasında numunelere etki etmiş olabileceği dşnlmektedir.

şekil 7.20 incelendiğinde aşınma direnci en yüksek olan malzeme ile en düşük olan arasında 177 kat fark olduğu grlmektedir. Aşınma direnci en yüksek olan numunenin ısııl işlemlili hali ile döküm hali arasında 34 kat fark olduğu grlmektedir. Bu sonuçlar ısııl işlemin aşınma direncine büyük katkı sağladığını göstermektedir.

Numune No	Döküm Hali	C6 Isıl İşlemi
1		
5		
7		

Şekil 7.20 : 1,5 ve 7 numaralı numuneler döküm hali ve C6 ısıt işlemleri için aşınma iz alanı SEM görüntüleri.

8. SONUÇLAR

8 farklı yüksek kromlu beyaz dökme demir numunesi döküm halinde, C6(kritikaltı ısıtıl işlem+destabilizasyon) ve C6+200(kritikaltı ısıtıl ısıtıl işlem+destabilizasyon+tavlama) işlemleri sonucunda incelenmiş ve elde edilen sonuçlar maddeler halinde belirtilmiştir.

1. Uygulanan C6 ısıtıl işlemi ile beraber döküm yapısında bulunan birincil karbürlerin büyük oranda değişikliğe uğramadığı sadece morfolojisinin değiştiği fakat matris üzerinde uygulanan C6 ısıtıl işlemi ile beraber genellikle $M_{23}(C,B)_6$ tipi ikincil karbürler olmakla beraber çeşitli ikincil karbürlerin çökeldiği belirlenmiştir.
2. C6+200 ısıtıl işlemi ise mikroyapıdaki birincil karbürlerin ve matrisdeki ikincil karbürlerin yapıya daha homojen dağılmasını teşvik etmektedir.
3. 8 farklı bileşimdeki beyaz dökme demirlere uygulanan ısıtıl işlem(C6 ve C6+200) döküm haline göre sertlik değerlerinde önemli artışa sebep olmuştur. Ancak C6 ve C6+200 ısıtıl işlemleri uygulanan beyaz dökme demirlerin sertlik değerleri arasında önemli bir fark görülmemektedir.
4. İncelenen beyaz dökme demirlerde C6 ve C6+200 ısıtıl işlemlerinin uygulanması ile döküm haline nazaran aşınma kaybı önemli oranda azalmaktadır. Örneğin aynı kompozisyondaki beyaz dökme demirde ısıtıl işlem neticesinde döküm haline göre aşınma direnci 34 kat oranında artabilmektedir.
5. İncelenen beyaz dökme demirler arasında en yüksek aşınma direnci C6+200 ısıtıl işlemi uygulanmış 21Cr+1Mo+0,5B bileşimindeki alaşımda elde edilmiştir.

ÖNERİ

İncelenen beyaz dökme demirlerde % 2 mertebesine kadar bor ilavesi ile gerek döküm gerekse ısıtıl işlem uygulanmış durumlarda aşınma direncinde beklenen artış sağlanamamıştır. Alaşımlardaki bor artışıyla beraber aşınma direnci ve sertlik değerlerinde beklenen artışın sağlanamamasının nedeni borun beklendiği gibi Fe_2B olarak değil de bornitrür olarak çökmesi olabileceği düşünülmektedir.

Bu sorunun giderilebilmesi için beyaz dökme demir numuneleri kontrollü atmosferde üretilmelidir Bu konunun ayrı bir çalışma olarak incelenmesi mümkündür.

KAYNAKLAR

- [1] **Avner, S.H.**, 1983: Introduction to Phsyical Metallurgy, Mc Graw-Hill Internatioal Book Company ,2nd Edition.
- [2] **Sare, I.R., and Arnold, B.K.**, 1989: Gauging Abrasion of Wear Resistant Alloy Cast Irons, wear, 131, 15-38
- [3] **Fairhurst, W., and Rohrig, K.**, 1974: Abrasion-Resistant High-Chromium White Cast Irons, Foundry Crade Journal, 136, 685-698
- [4] **Metals Handbook.**, 1988: 9th Edition, Vol 15, Casting, ASM
- [5] **Metals Hanbook.**, 1988: 10th Edition, Vol 1, Properties and Selection, ASM.
- [6] **Laurens, H.P.**, 1983: Fighting Wear in Agricultural and Off Road Equipment, Metall Progress Agust.
- [7] **Turenne, S., Lavalle, F., and Masounave, J.**, 1989: Matrix Microstructure Effect On The Abrasion Wear Resistance of High-Chromium White Cast Iron , Journall of Materials Science 24.
- [8] **Erdoğan, M.**, 2000: Mühendislik Alaşımları Yapı Özellikleri 1.
- [9] **Breyer, J.P., Ketin, M., Walnag, G., and Soluay, R.U.**, Metallurgy of High Chomium- Molybdenum White Iron and Steel Rolls, Belgium
- [10] **Choi, J.N., Chang, S.K.**, Effects of Molybdenum and Copper Additions on Microstructure of High Chomium Cast Iron Rolls 1515 Int., 1902 Vol 3, p1170-1176
- [11] **Minkoff, I.**, 1983: The Physical Metallurgy of Cast Iron, A Wiley-Interscience Publication.
- [12] **Filipovic, Mirjana., Amod-Adeen A.Bauk.**, Studies of a Wear Resistant Cast Iron, Tehnolosko-Metalurski Fakultet, Beograd.Metalurgia-Journal of Metallurgy.
- [13] **Zhangli, Liu., Yanxiang, Li., Xiang, Chen., and Kaihuo, Hu.**, 2008: Microstructure and Machanical Properties of High Boron White Cast Iron Material Science and Engineering.
- [14] **Zhong Li, Liu., Xiang, Cher., Yannxiang, Li., and Kaihua, Hu.**, 2008: Effect of Chromium on Microstructure and Properties of High Boron White Cast Iron, The Minerals, Metals and Materials Society and ASM International.
- [15] **Scandion, C., Boher., De Mello, J.D.B., and Rezazaria, F.**, 2009: Effect of Molybdenum and Chomium Content in Sliding Wear of High Chromium White Cast Iron:The Relationship Between Microstructure and Wear, Elsevier Wear.
- [16] **Fusheng, H., Chaochang, W.**, 1989: Modifying High Cr-Mn Cast Iron With Boron and Rare Earth-Si Alloy, Materials Science And Technology.

- [17] **Zhang Li, Liu., Xiang, Chen., Xiang, Li Yan., and Kai-Hua Hu.,** 2009: High Boron Iron Based Alloy and its Modification, Journal of Iron and Steel Research, International.
- [18] **Gua, Erjun., Wang, Lihua., Wang, Liping., and Huang, Yangchang.,** 2008: Effect of RE, V, T: and B Composite Modification on the Microstructure and Properties of High Chromium Cast Iron Containing 3 % Molybdenum. Rare Metals Vol.08, No.6, Dec 2009 p.606
- [19] **Zhou-Xian, Liang., Hua, Xia-Zhen., and Zhang, Jian-Yun.,** 2008: Microstructure and Property of the New Type White cast Iron, Advanced Material Research Vol.31(2008) pp31-40.
- [20] **Chen, H., Chang, Z., Lu, J., and Lin, H.,** 1993: Effect of Niobium on Wear Resistance of 15%Cr White Cast Iron, Wear, 166,197-201.
- [21] **Xiaohui, Zhi., Jiandong, Xing., Hanguang, Fu., and Yiming, Gao.,** 2007: Effect of Titanium on the as Cast Microstructure of Hypereutectic High Chromium Cast Iron, Materials Characterization. 59 (2008) 1221-1226.
- [22] **Arıkan, M.M., Çimenoglu, H., and Kayalı, E.S.,** 2000: The Effect of Titanium on the Abrasion Resistance of 15Cr- 3Mo White Cast Iron, Weni 247(2001) 231-235.
- [23] **Yinhu, Qu., Jiandong, Xing., Xiaohui, Zhi., and Jiyun, Peng.,** 2008: Effect of Cerium on the as Cast Microstructure of Hypereutectic High chromium cast iron, Material Cettters 62(2008) 3024-3027.
- [24] **Radulovic, M., Fiset, M., Peev, K.,** 1994: Effect of Rare Earth Elements on Microstructure and Properties of High Chromium White Iron, Materials Science and Technology, 10, 1057-1062.
- [25] **Studnicki, A., Przybyl, M., Juchon, J., Bartocha, D.,** 2006: Wear Resistance of Chromium Cast Iron Research and Application, Journal of Achievments in Materials and Manufacturing Engineering, Volume 16 issue 1-2 May-June 2006.
- [26] **Chang, K.K., Sunghak, Lee., and Jae, Y.J.,** 2006: Metallurgical and Materials Transactions, 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, Volume 37A, march 2006-633.
- [27] **Jackson, R.S.,** 1970: The Austenite Liquidus Surface and Constitutional Diagram For The Fe-Cr-C Metalstable System, Journal of the Iron and Steel Institute Feb.
- [28] **Pero-Sanz, J.A., Plaza, D., Verdeja, J.I., and Asensio, J.,** 1999: Metallographic Characterization of Hypoeutectic Martensitic White Cast Irons: Fe-C-Cr system, Elsevier Science Inc.
- [29] **Zhang, M.X., Kelly, P.M., and Gates, J.D.,** 2001: The Effect of Heat Treatment on the Toughness, Hardness and Microstructure of Low Carbon White Cast Irons, Journal of Material Science 36(2001) 3865-3875.

- [30] **Taşgın, Yahya., Kaplan, Mehmet., and Yaz, Mehmet.,** 2008: Investigation of Effects of Boron Additives and Heat Treatment on Carbides and Phase Transition of Highly Alloyed Duplex Cast Iron, *Materials and Design* (2009) 3174-3179.
- [31] **Karantzaliz, A.E., Lekatov, A., and Mauros, M.,** Microstructural Modifications of as cast High Chromium White Iron by Heat Treatment, *Jmepeg*(2008) 18.174-18.
- [32] **Walton, Charles.F.,** 1971: *Gray and Ductile Iron Castings Handbook*, The Gray and Ductile Iron Founders Society Inc, 1971.
- [33] **Zumgahi, K.H., and Eldis, George.T.,** 1979: Abrasive Wear of White Cast Irons, *Wear*, 64(1980) 175.194.
- [34] **Gundlach, R.B.,** 1993: Alloy Cast Irons in *ASM Handbook*, 1, 10th Ed.
- [35] **Taşgın, Yahya., and Kaplan, Mehmet.,** 2007: Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerde Oluşan M_7C_3 Karbürlerinin Mikroyapı Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları* 2007.
- [36] **Tabrett C.P., and Sare, I.R.,** 1997: The Effect of Heat Treatment on the Abrasion Resistance of Alloy White Irons, *Wear* 203-204(1997)206-219.
- [37] **Petrovic S.T., Markovic S.V., and Zec S.,** 2002: The Effect of Boron on the Amount and Type of Carbides in Chromium White Irons, *J. Serb. Chem. Soc.* 67(10)697–707(2002).

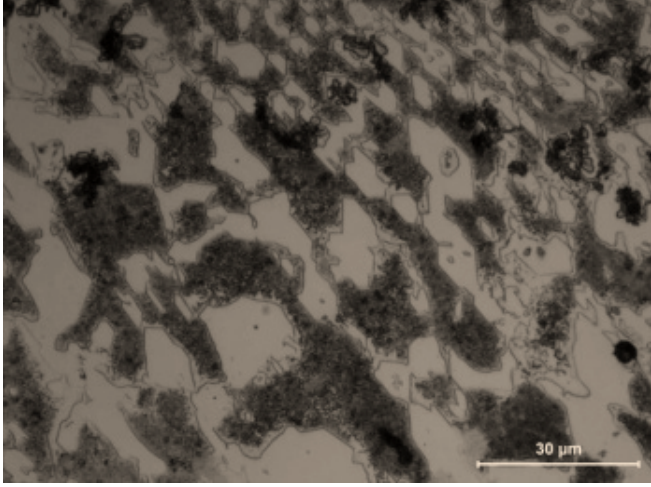
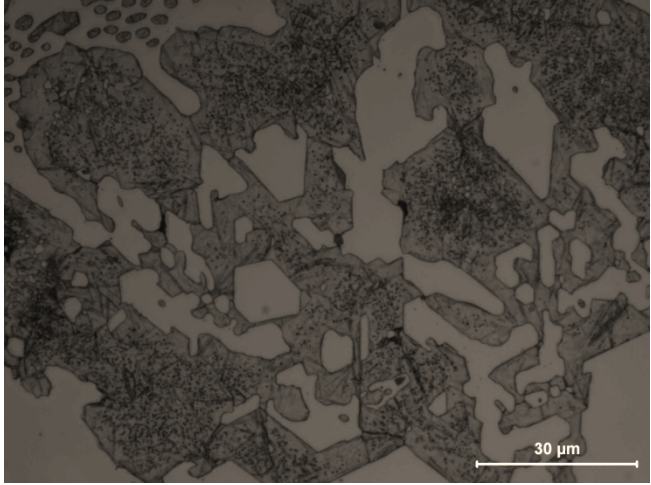
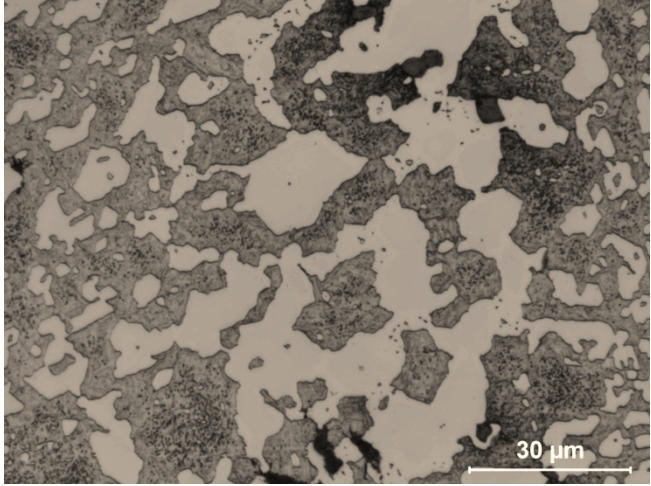
EKLER

EK A.1 : Mikroyapılar

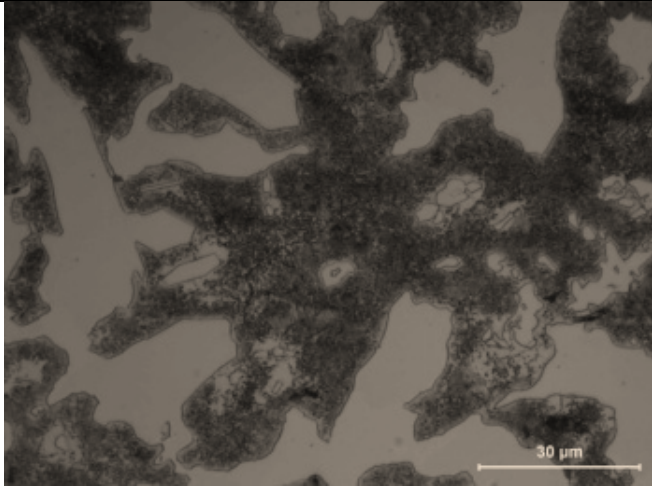
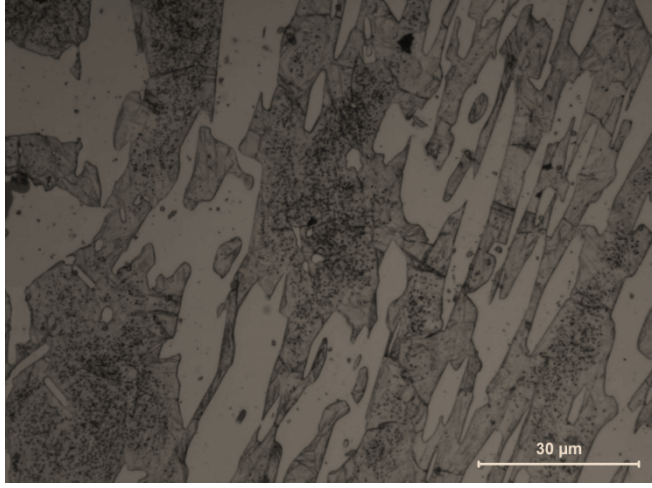
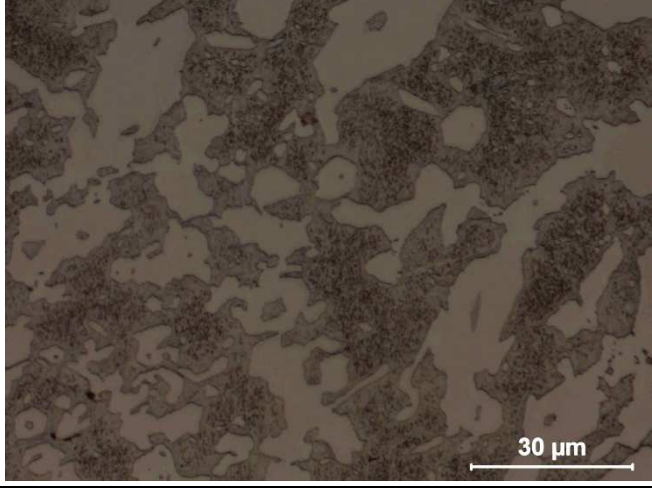
EK B.1 : Profil ölçümleri

EK C.1 : Aşınma İz Alanları

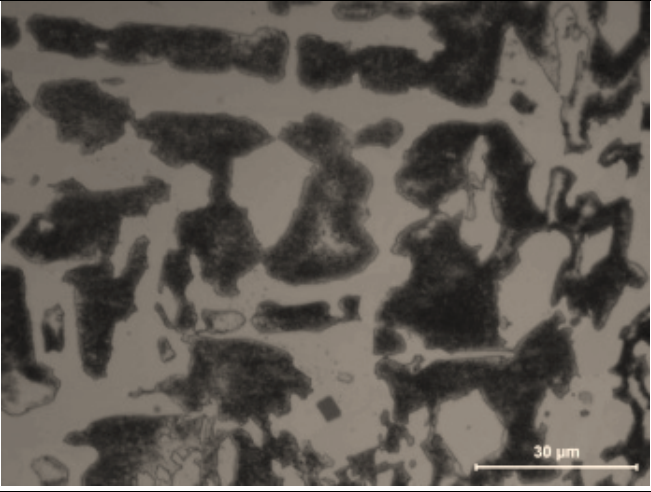
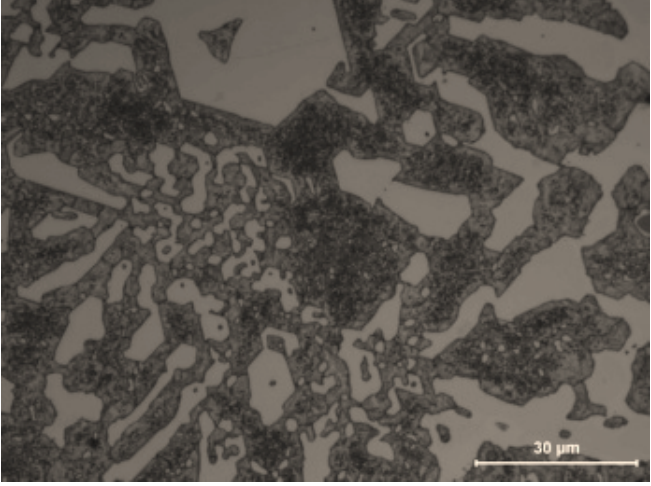
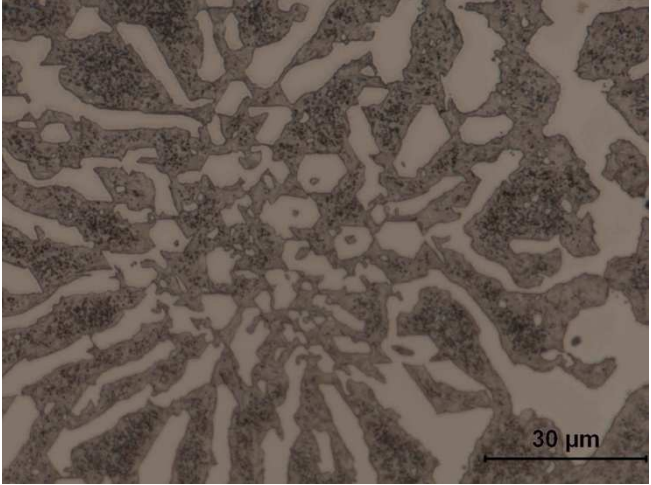
EK A.1

	21Cr + 1,5Mo+0,5B
Döküm	
C6	
C6+200	

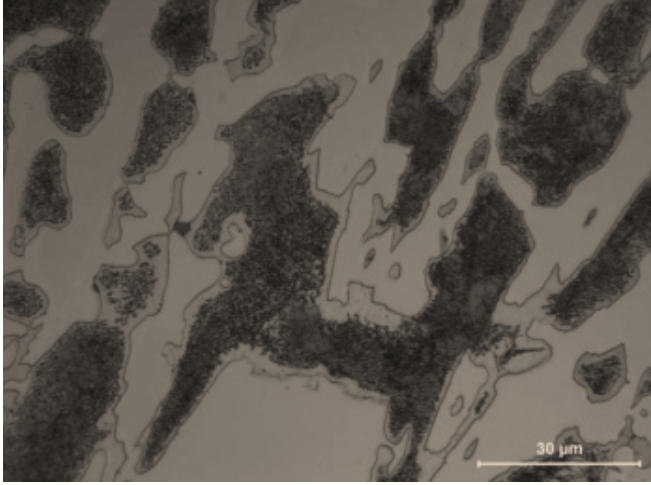
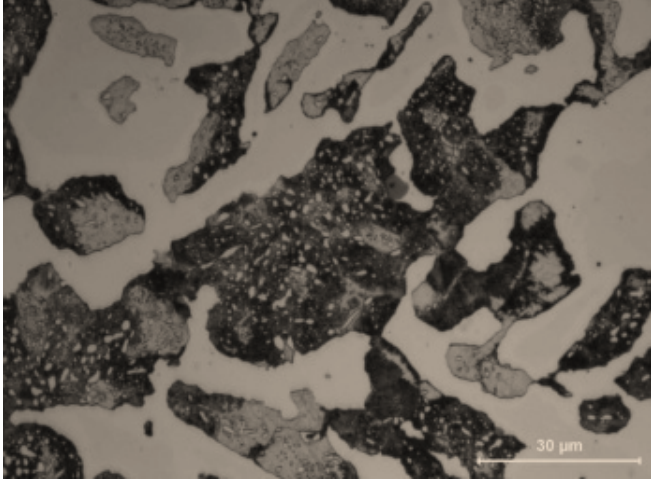
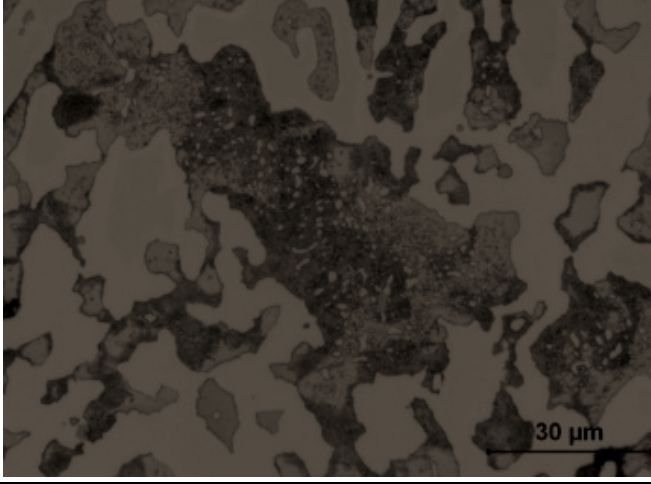
Şekil A.1 : 1 Numaralı numune optik mikroskop görüntüsü.

	21Cr+0,5Mo+0,5B
Döküm	
C6	
C6+200	

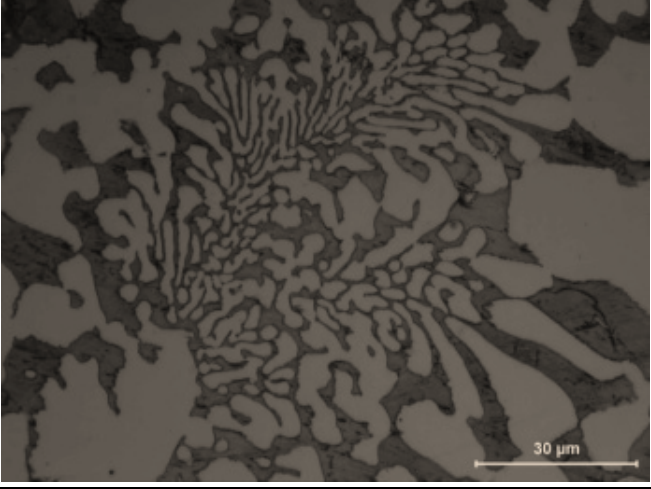
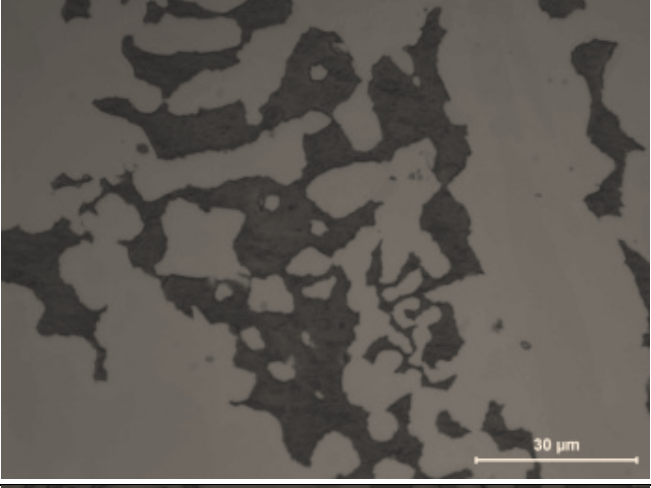
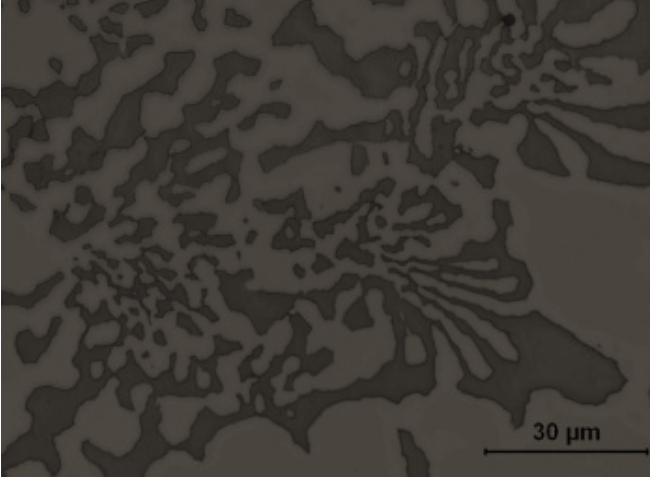
Şekil A.2 : 2 Numaralı numune optik mikroskop görüntüsü

	21Cr+1Mo+0,5B
Döküm	
C6	
C6+200	

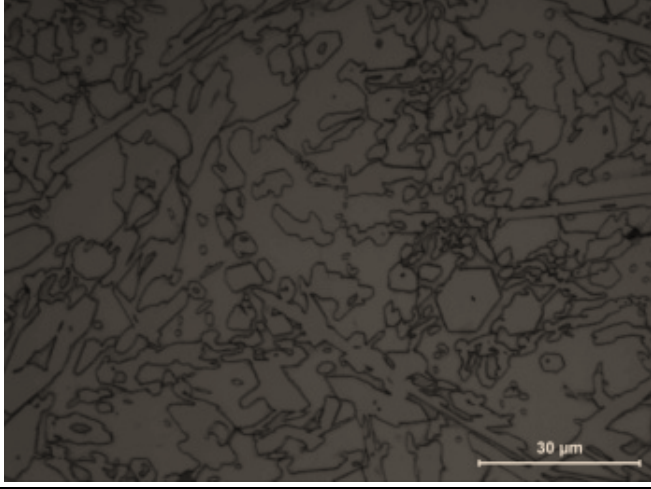
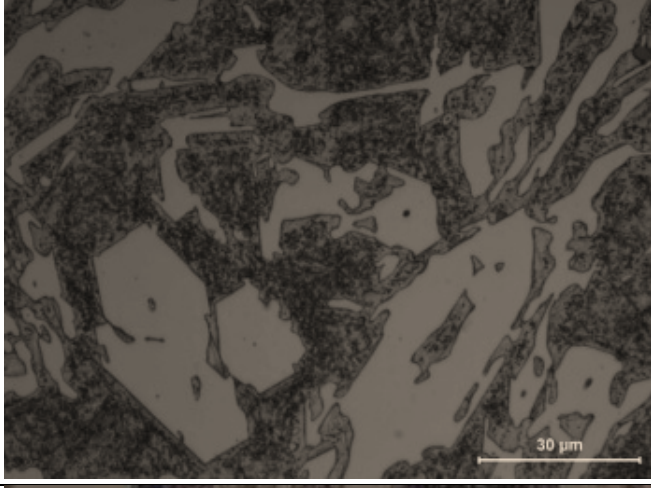
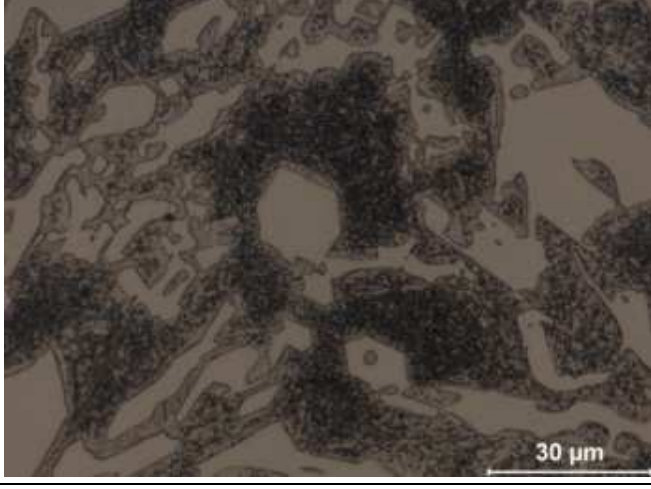
Şekil A.3 : 3 Numaralı numune optik mikroskop görüntüsü.

	21Cr+1Mo+1B
Döküm	
C6	
C6+200	

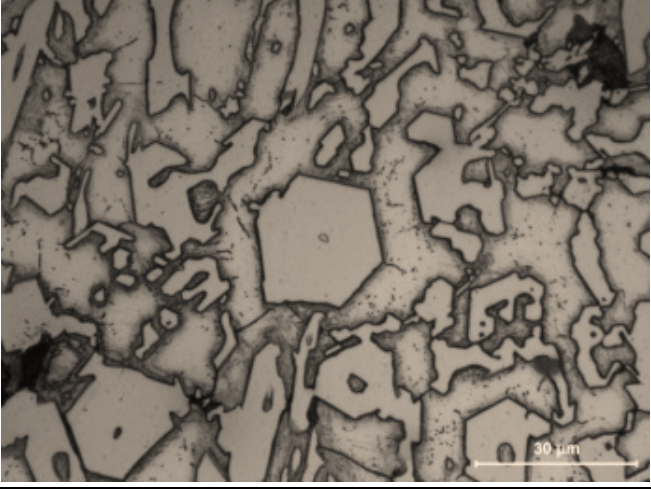
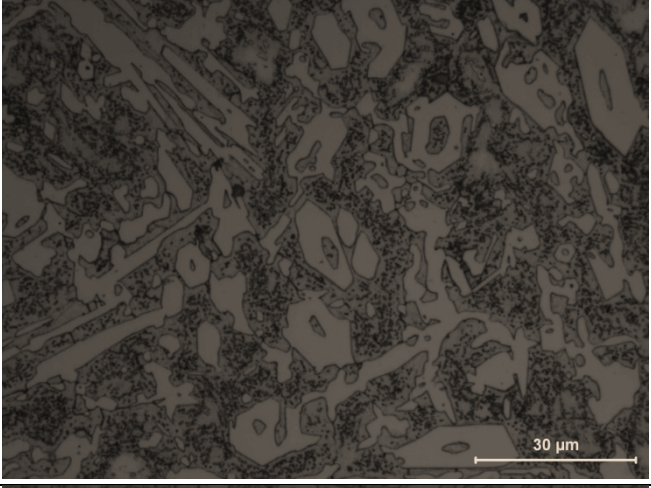
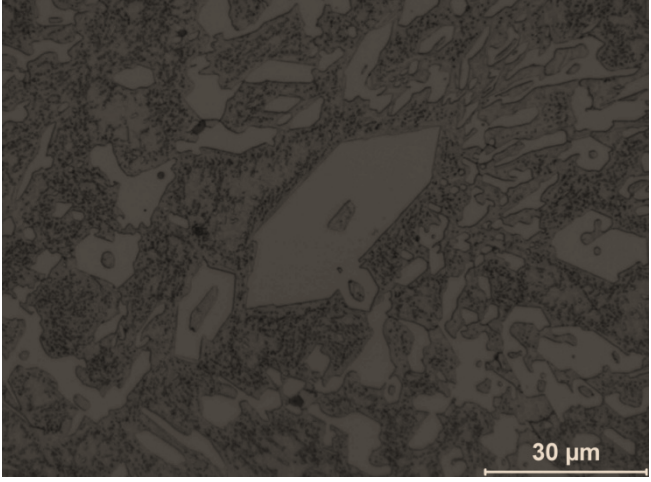
Şekil A.4 : 4 Numaralı numune optik mikroskop görüntüsü.

Isıl İşlem	21Cr+0,5Mo+2B
Döküm	
C6	
C6+200	

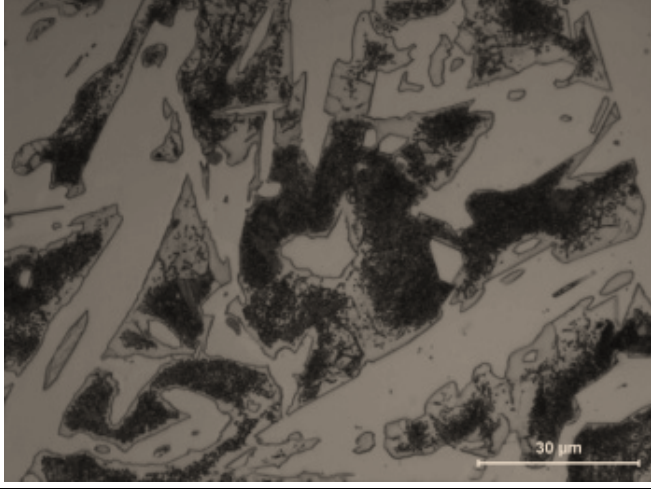
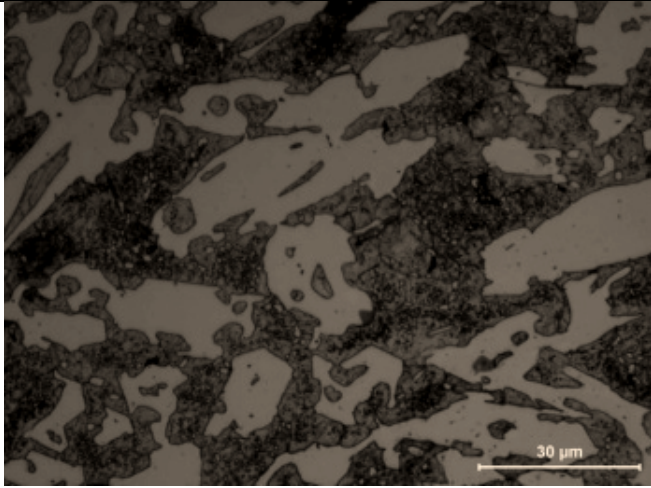
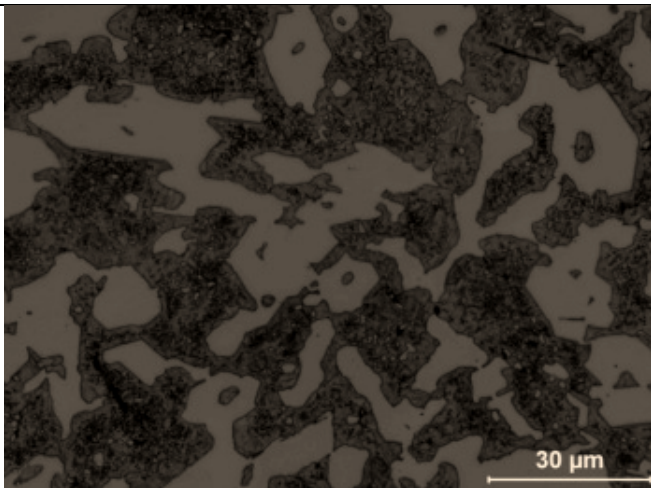
Şekil A.5 : 5 Numaralı numune optik mikroskop görüntüsü.

Isıl İşlem	28Cr+1Mo
Döküm	
C6	
C6+200	

Şekil A.6 : 6 Numaralı numune optik mikroskop görüntüsü.

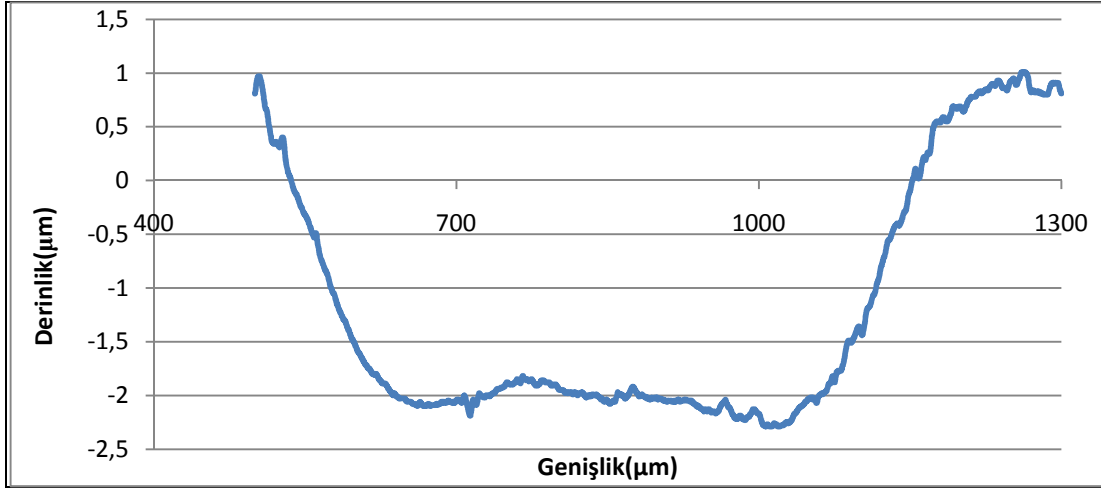
Isıl İşlem	28Cr+0,5Mo
Döküm	
C6	
C6 + 200	

Şekil A.19 : 7 Numaralı numune optik mikroskop görüntüsü.

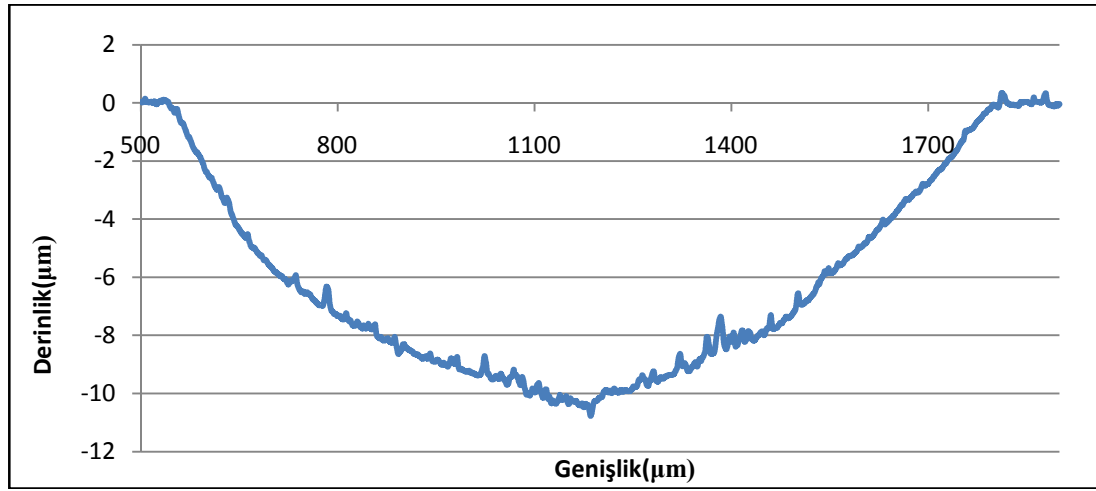
Isıl İşlem	28Cr+0,5B
Döküm	
C6	
C6+200	

Şekil A.8 : 8 Numaralı numune optik mikroskop görüntüsü.

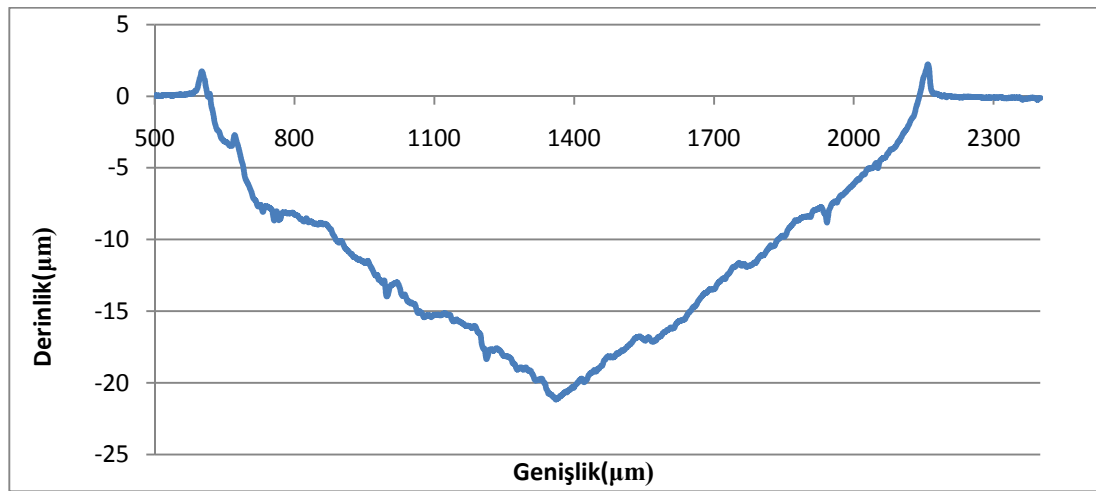
EK B.1



(a)

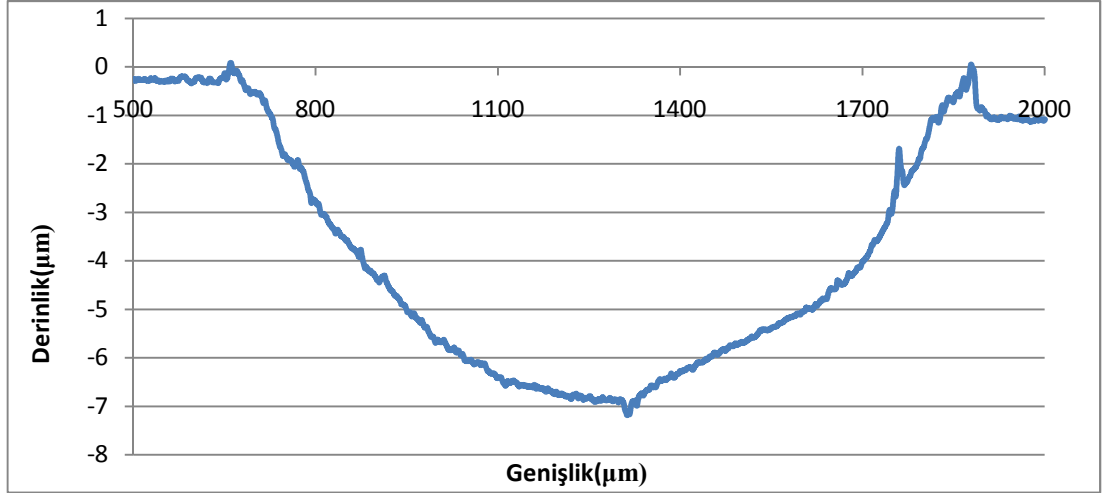


(b)

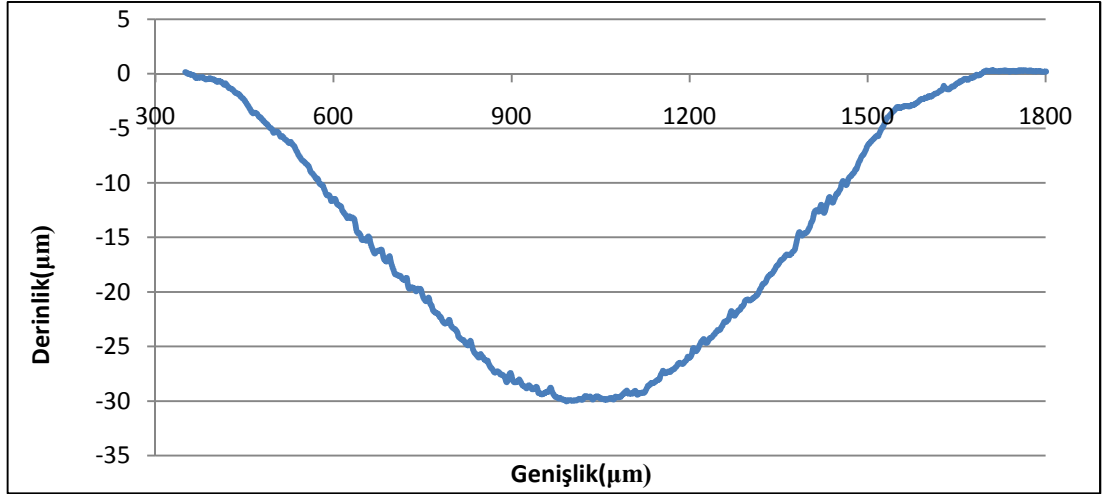


(c)

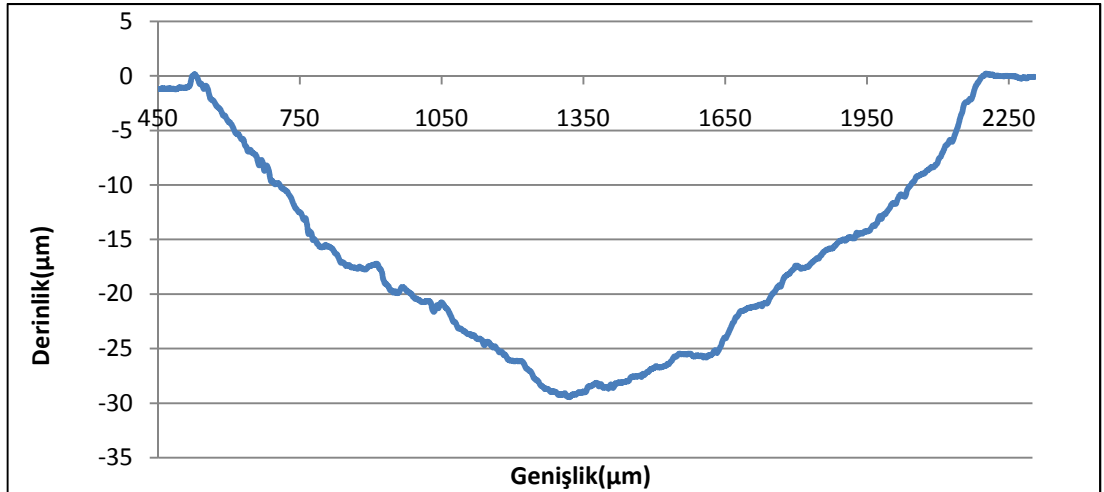
Şekil B.1: 1 numaralı numune profilometre ölçümleri: (a) C6 ısıt işleminin (b) C6+200 ısıt işleminin (c) döküm hali.



(a)

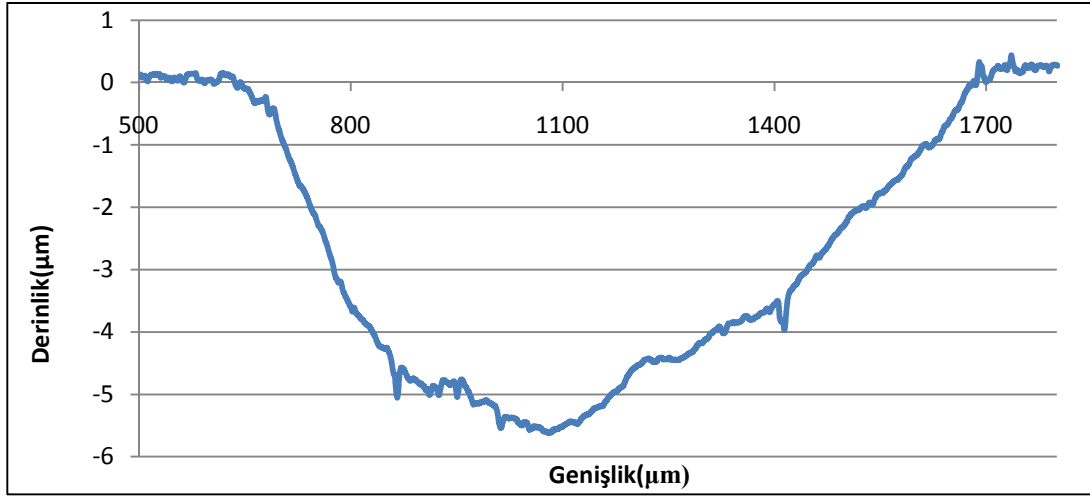


(b)

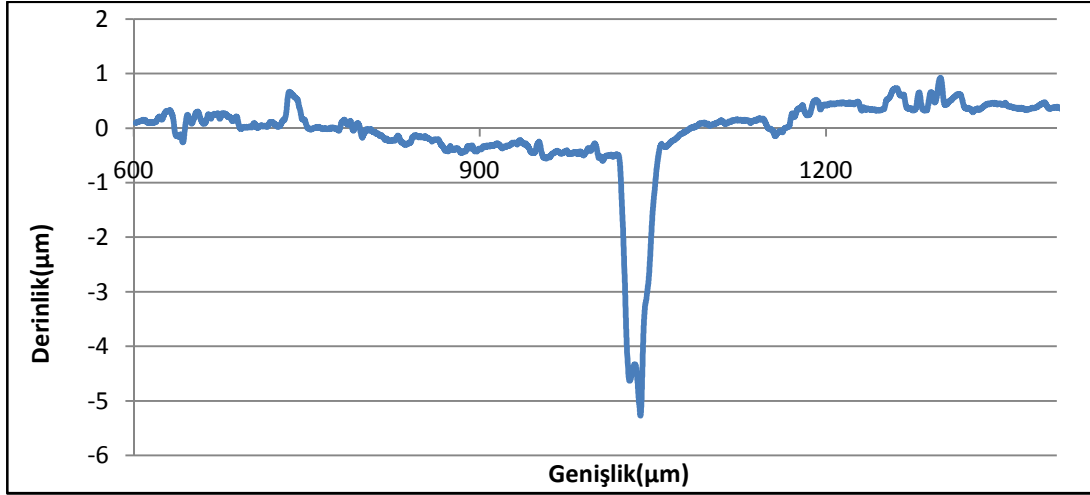


(c)

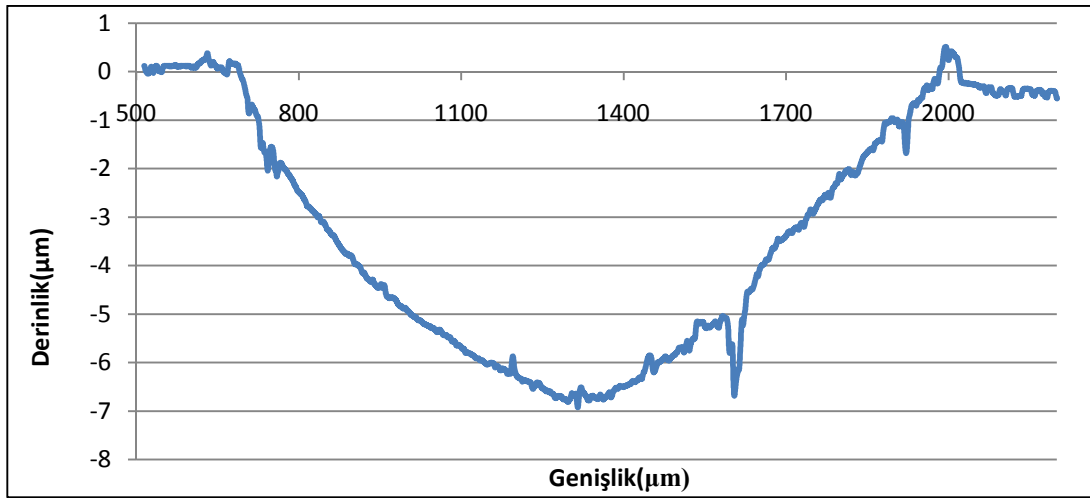
Şekil B.2: 2 numaralı numune profilometre ölçümleri: (a) C6 ısıt işleme (b) C6+200 ısıt işleme (c) döküm hali.



(a)

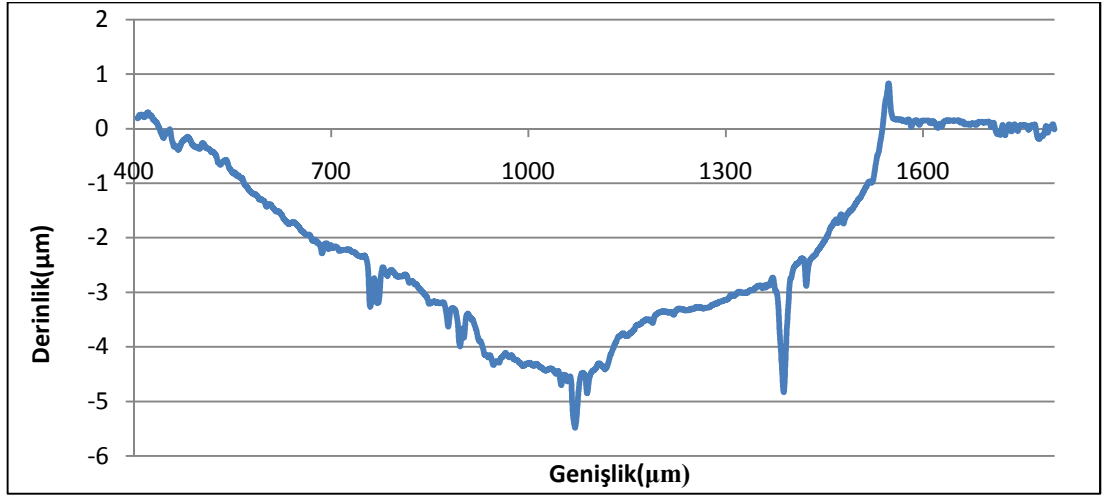


(b)

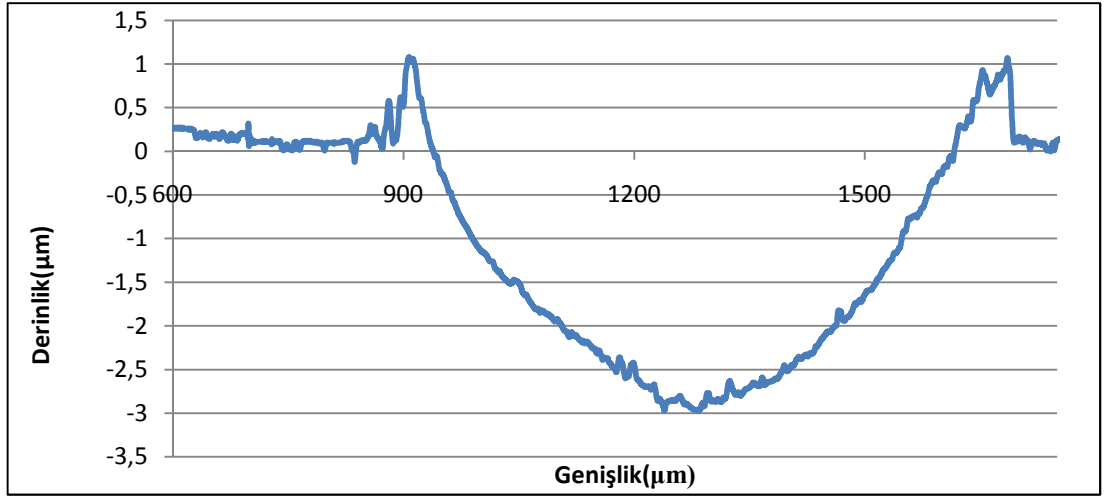


(c)

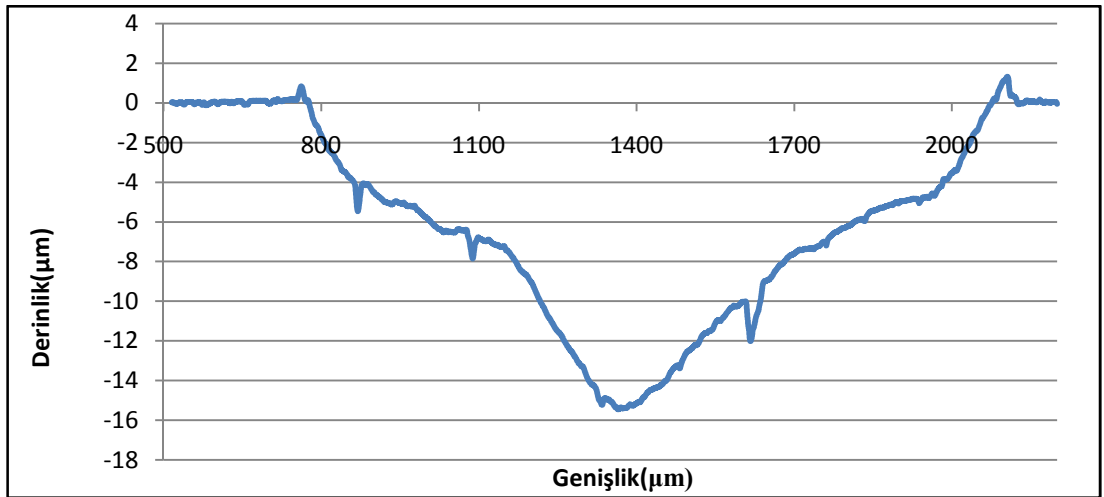
Şekil B.3: 3 numaralı numune profilometre ölçümleri: (a) C6 ısıtma işlemi (b) C6+200 ısıtma işlemi (c) döküm hali.



(a)

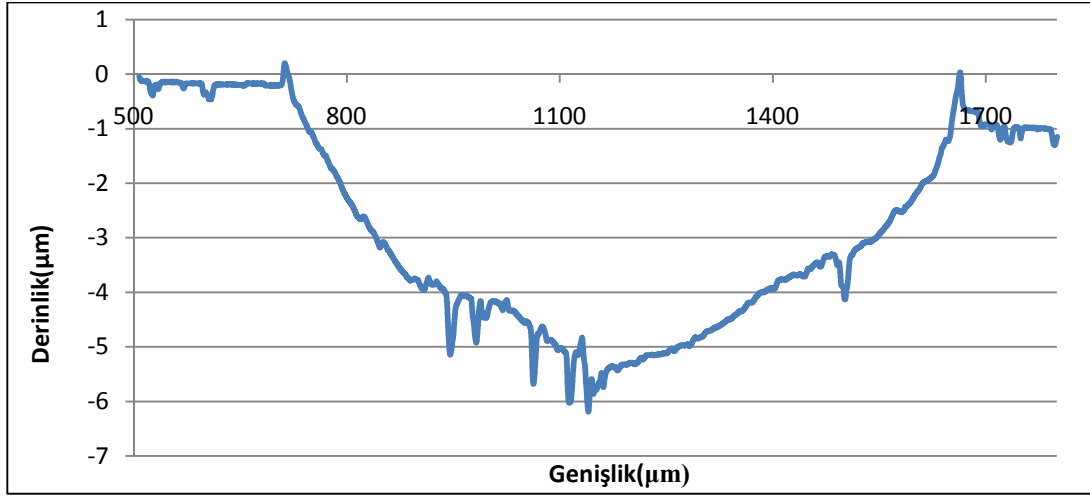


(b)

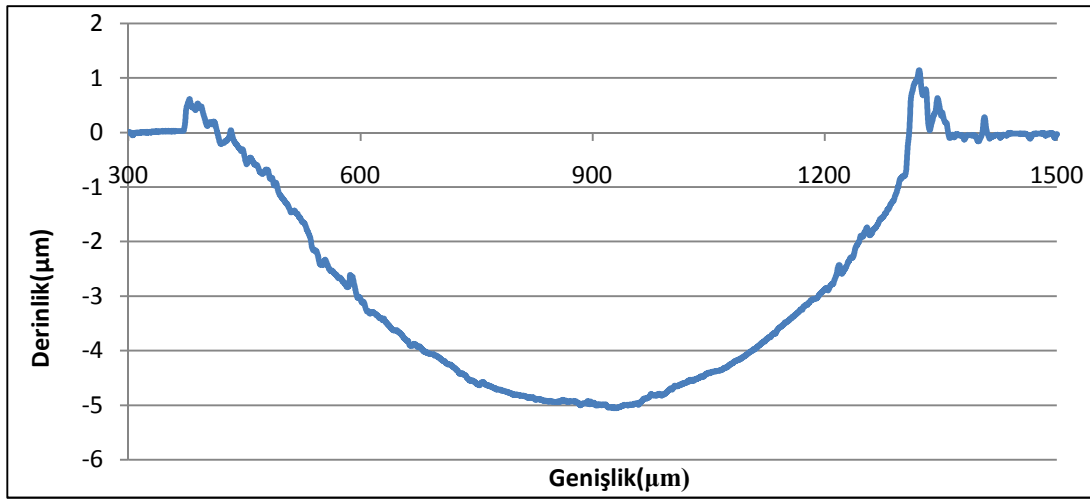


(c)

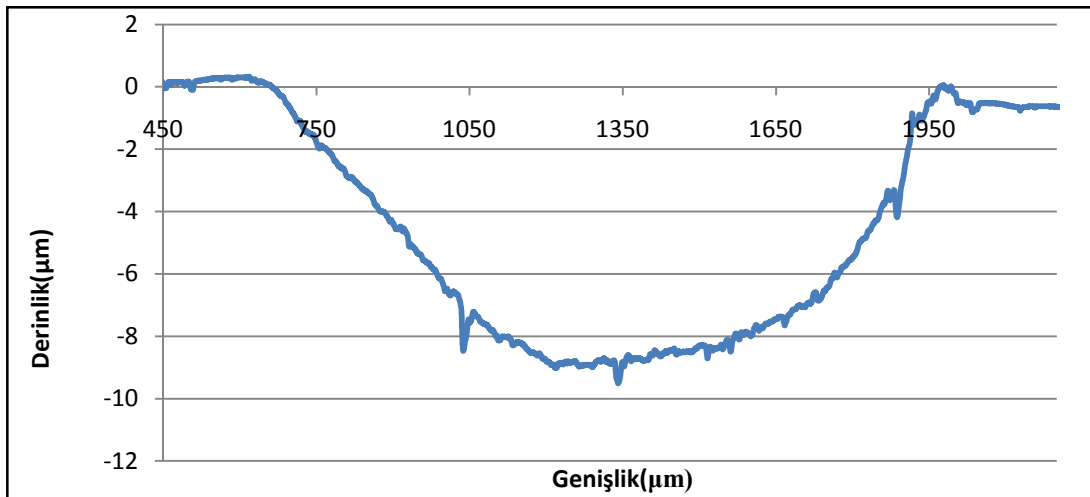
Şekil B.4: 4 numaralı numune profilometre ölçümleri: (a) C6 ısıtılması (b) C6+200 ısıtılması (c) döküm hali.



(a)

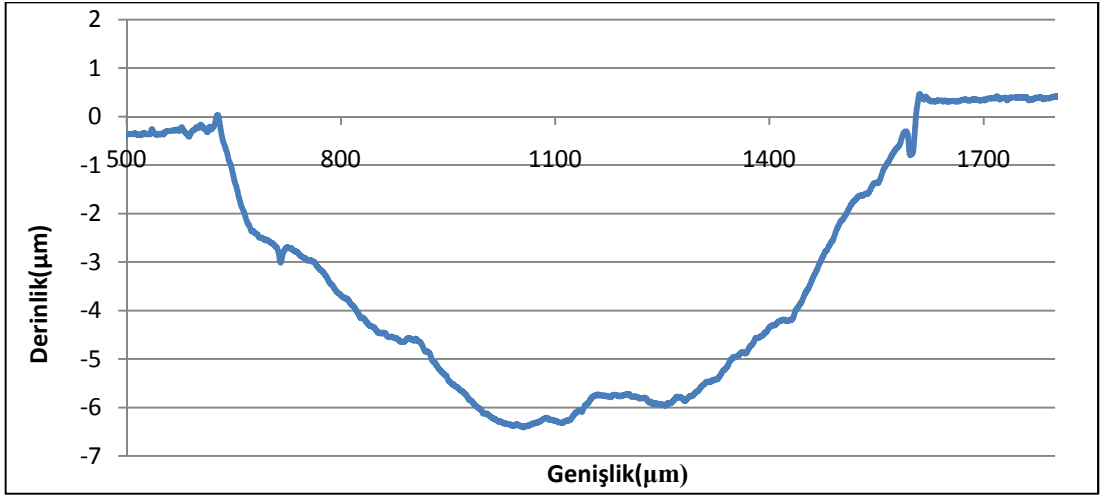


(b)

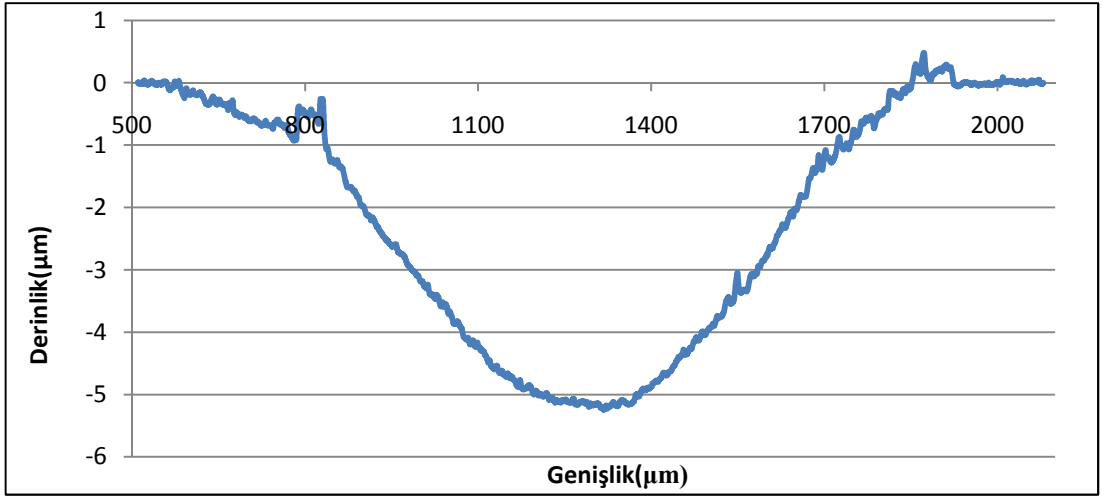


(c)

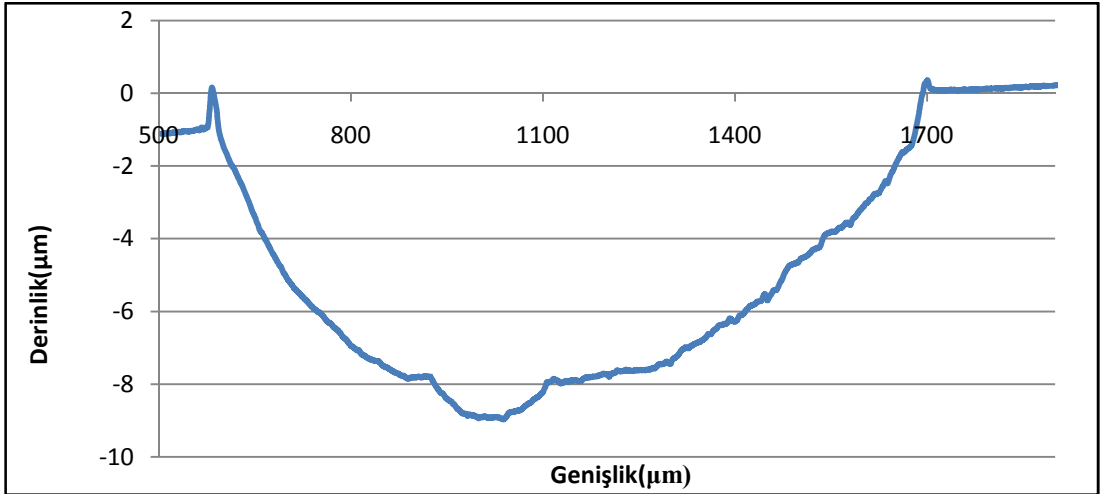
Şekil B.5: 5 numaralı numune profilometre ölçümleri: (a) C6 ısıtma işlemi (b) C6+200 ısıtma işlemi (c) döküm hali.



(a)

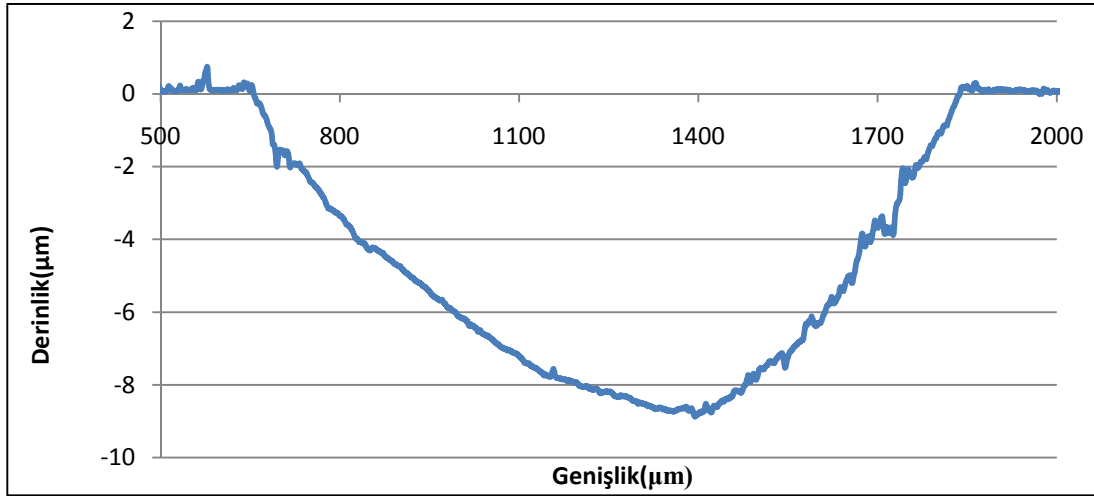


(b)

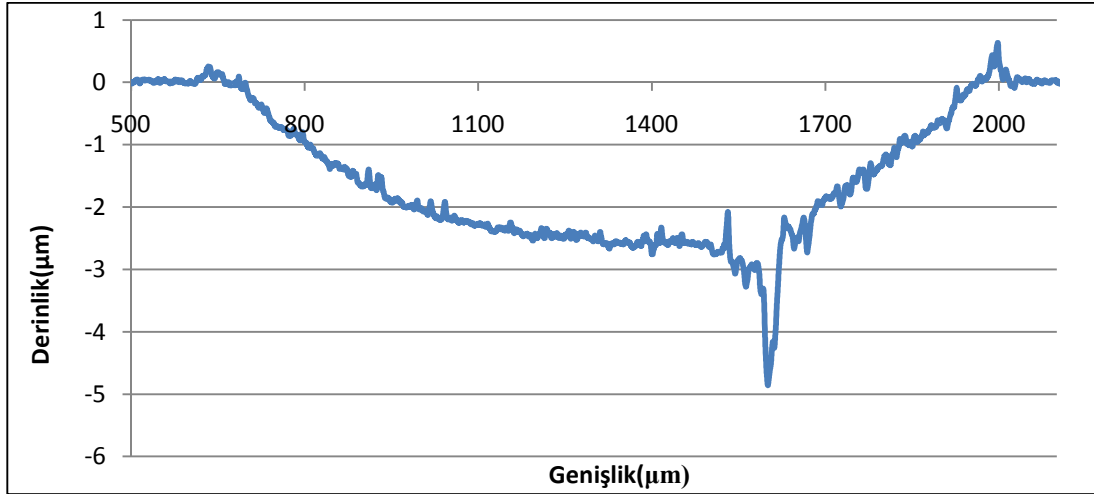


(c)

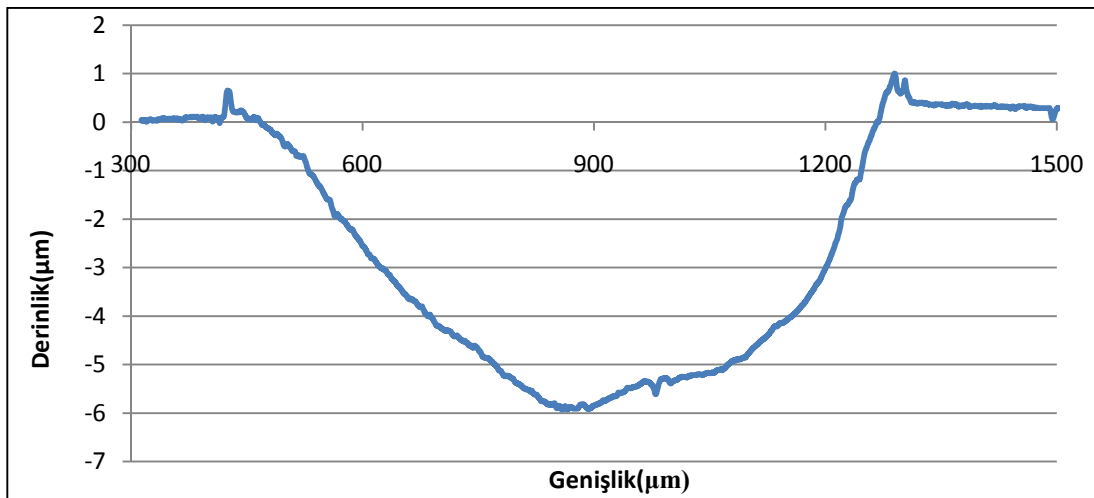
Şekil B.6: 6 numaralı numune profilometre ölçümleri: (a) C6 ısıtılması (b) C6+200 ısıtılması (c) döküm hali.



(a)

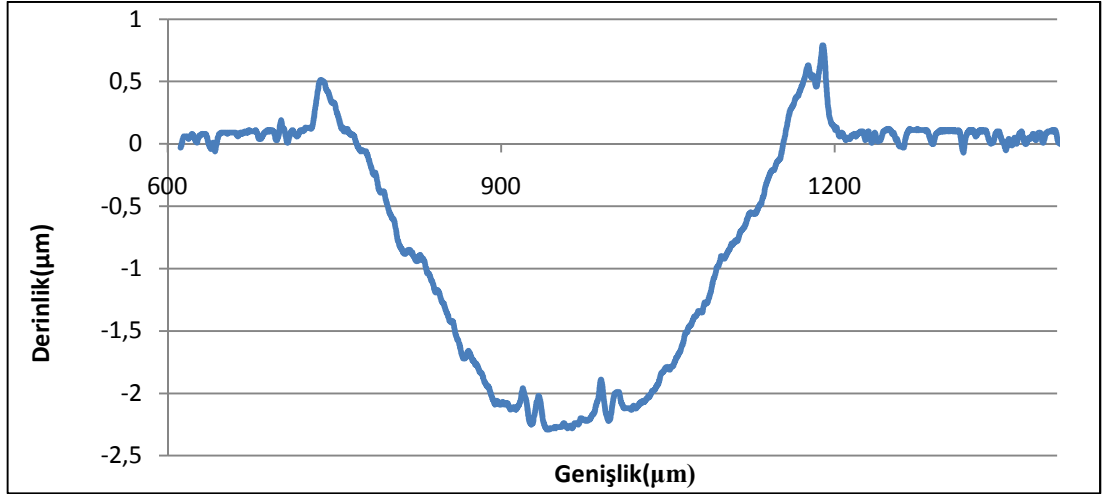


(b)

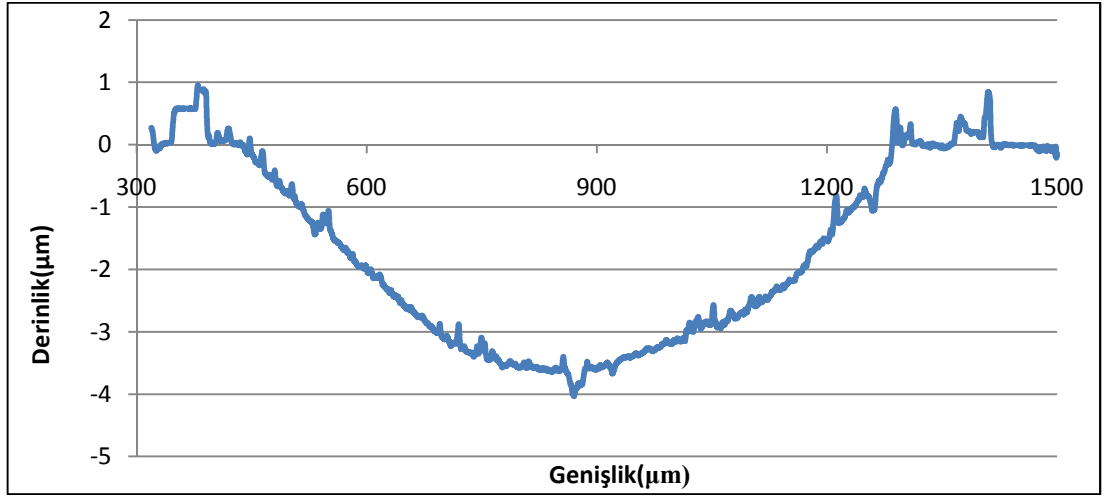


(c)

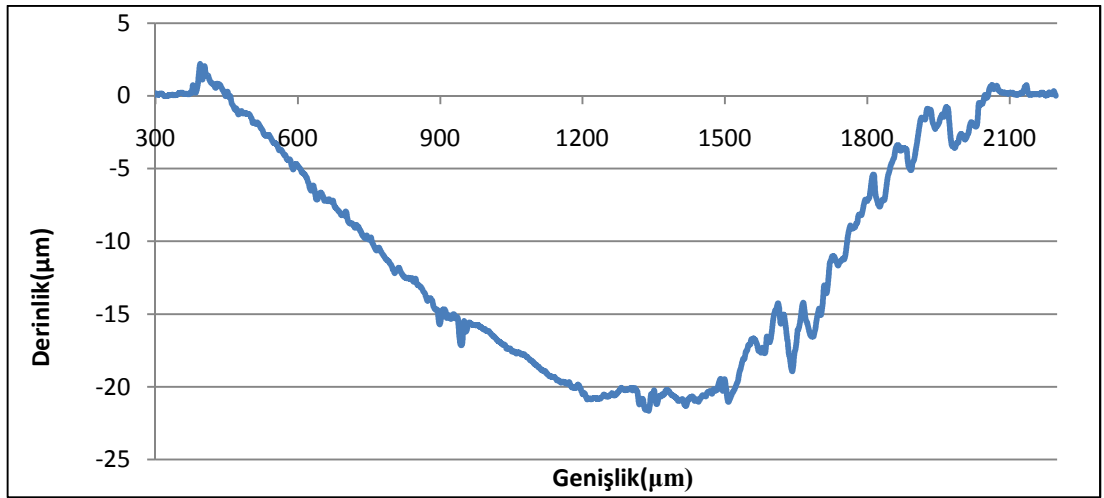
Şekil B.7: 7 numaralı numune profilometre ölçümleri: (a)C6 ısıt işlemleri (b)C6+200 ısıt işlemleri (c)döküm hali.



(a)



(b)



(c)

Şekil B.8: 8 numaralı numune profilometre ölçümleri: (a) C6 ısıt işleminin (b) C6+200 ısıt işleminin (c) döküm hali.

EK C.1

Çizelge C.1 : Döküm hali ve her iki ısıtım işlem koşulu için aşınma iz alanları.

Numune No	Aşınma İz Alanı (µm ²)		
	Döküm Hali	C6	C6+200
1	24523,11	1250,4	9708,4
2	36726,6	4760,4	517436
3	7582,9	4484,6	206,7
4	15514,1	3703,3	5603,9
5	9048,7	3312,2	5781,5
6	6474,6	4639,9	5781,5
7	3735,8	8083,5	2508,8
8	34392,1	744,6	2270,8

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Gürkan KAZDAL

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul / 17.01.1984

Adres: Gülbağ Cad. Biberiye Sok. No.18 Aydeniz Apt. D.42 Mecidiyeköy/Şişli -
İSTANBUL

Lisans Üniversitesi: Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü