

Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirde Abrasiv Aşınma Dayanımı-Mikroyapı İlişkisinin
İncelenmesi

Fatih Ertürk

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık 2012

An Investigation of Abrasive Wear Behaviour - Microstructure Relationship in High
Chromium White Cast Iron

Fatih Ertürk

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Metallurgical Engineering

December 2012

Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirde Abrasiv Aşınma Dayanımı - Mikroyapı
İlişkisinin İncelenmesi

Fatih Ertürk

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hakan Gaşan

Aralık 2012

ONAY

Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek lisans öğrencisi Fatih Ertürk'ün YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirde Abrasiv Aşınma Dayanımı - Mikroyapı İlişkisinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir

Danışman : Yrd.Doç.Dr. Hakan GAŞAN

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye: Yrd. Doç. Dr. Hakan Gaşan

Üye: Prof. Dr. Remzi Güler

Üye: Yrd. Doç. Dr. Nedret Aydınbeyli

Üye: Yrd. Doç. Dr. Osman Nuri Çelik

Üye: Yrd. Doç. Dr. İbrahim Çelikyürek

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu çalışmada, yüksek kromlu beyaz dökme demire 900 °C, 1000 °C ve 1100 °C sıcaklıklarda uygulanan destabilizasyon işlemi ile mikroyapısal özelliklerde meydana gelen değişiklikler incelenmiş, malzemelerin makro ve mikro sertlikleri belirlenerek abrasif aşınma deneyleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar mikroyapısal özelliklere bağlı olarak ortaya konulmuştur. Mikroyapıda meydana gelen değişimlerin belirlenmesinde geleneksel optik metalografi, SEM ve XRD teknikleri kullanılmıştır. Döküm durumunda östenit yapıda bulunan matrisin destabilizasyon işlemi ile martenzite dönüştüğü ve M_7C_3 türünde ikincil karbürlerin çökeldiği belirlenmiştir. Destabilizasyon işlem sıcaklığının artışı ile bu karbürlerin irileştiği gözlemlenmiştir. Yüksek kromlu beyaz dökme demirin döküm durumunda makro sertlik değeri 52 HR_c iken 900 °C, 1000 °C ve 1100 °C sıcaklıklarda uygulanan destabilizasyon işlemleri sonucunda sırasıyla, 66.5, 69.0 ve 65.5 HR_c olarak belirlenmiştir. Uygulanan tüm destabilizasyon işlemleri sonucunda abrasif aşınma özelliklerinin iyileştiği görülmüştür. Bunun yanı sıra, aşınmada kayma hızının artması aşınma direncinin azalmasına neden olmaktadır. Sertlik ve aşınmadaki iyileşme martenzitik dönüşüm ve ikincil karbür oluşumundan kaynaklanmaktadır. Yapıda dönüşmeden kalan östenitin sertlik ve aşınma özelliklerinde etkili olduğu bulunmuştur. Yapıdaki kalıntı östenit, belirli aşınma hızlarına kadar aşınma direncini arttırmıştır (1000°C sıcaklıkta, 60 cm/s ve 90 cm/s kayma hızlarında).

Anahtar Kelimeler: Yüksek kromlu beyaz dökme demirler, destabilizasyon, abrasif aşınma ve sertlik

SUMMARY

In this study, the changes occurred in micro structural properties with the destabilization heat treatment at temperatures of 900 °C, 1000 °C and 1100 °C were investigated. The abrasive wear tests were carried out and with the determining macro and micro hardness values and the results were revealed depending on micro structural properties. Conventional optic metallography, SEM and XRD technics were used for determining changes in micro structure. Transformation of matrix in the austenitic structure to martensite by destabilization treatment and precipitation of M_7C_3 type carbides were determined. Coarsening of the secondary carbides was observed within increasing destabilization treatment temperature. The macro hardness values were determined as 66.5, 69.0 and 65.5 HR_c as a result of applied destabilization treatments at the temperatures of 900 °C, 1000 °C ve 1100 °C, respectively, while it was 52 HR_c in as-cast condition. Improvement of abrasive wear properties was obtained as a result of all applied destabilization treatment. In addition, their increase in sliding speed causes a decrease in wear resistance. Increment of hardness and wear occurs due to martensitic transformation and secondary carbide formation. It was found that untransformed austenite is effective at the structure in terms of hardness and wear properties. Retained austenite improved wear resistance defined wear rates (at the temperature of 1000°C, at the sliding speeds of 60 cm/s and 90 cm/s).

Keywords: High chromium white cast irons, destabilization, abrasive wear and hardness

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin süresince, gerek derslerimde ve gerekse de tez çalışmalarında, bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan danışmanım Yrd. Doç. Dr. Hakan Gaşan'a, metalografik çalışmalarına teorik ve uygulamadaki değerli destekleri için Yrd. Doç. Dr. Osman Nuri Çelik'e, değerli çalışma arkadaşlarım Akın Özcan, Gökhan Arıcı ve tekniker Akif Tutgun'a ve hayatımın her anında yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. BEYAZ DÖKME DEMİRLER	4
2.1. Beyaz Dökme Demirlerin Özellikleri	4
2.1.1. Isıl işlemler	9
2.1.2. Alaşım elementlerinin etkisi	11
2.2. Beyaz Dökme Demirlerin Sınıflandırılması.....	13
2.2.1. Ötektik altı beyaz dökme demirler.....	18
2.2.2. Ötektik beyaz dökme demirler.....	19
2.2.3. Ötektik üstü beyaz dökme demirler	19
2.3. Beyaz Dökme Demirlerin Kullanım Alanları	20
3. AŞINMA VE SÜRTÜNME DAVRANIŞLARI.....	22
3.1 Aşınma	22
3.1.1. Adhesifaşınma.....	22
3.1.2. Abrasif aşınma	23
3.2. Aşınmaya Etki Eden Faktörüler.....	24
3.3. Beyaz Dökme Demirlerin Aşınma Özellikleri	26
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	33
4.1. Deneysel Çalışmalar.....	33

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
4.1.1. Isıl işlem prosesleri.....	34
4.1.2 Metalografik incelemeler.....	36
4.1.3. X-Işını difraksiyonu.....	38
5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMALAR.....	41
5.1.Metalografi.....	41
5.2. X-Işını Difraksiyonu İncelemeleri.....	48
5.3. Sertlik ve Aşınma.....	51
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	57
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	60

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. 15Cr-1Ni-0,2Mo yüksek krom beyaz dökme demir denge diyagramı	7
Şekil 2.2. Döküm sonrası beyaz dökme demir mikroyapısı (Fe-3,0%C-2,7%Si-0,45%Mn-0,07%P-0,025S).....	15
Şekil 2.3. Isıl işlem (destabilizasyon) sonrası beyaz dökme demir Mikroyapısı	16
Şekil 2.4. Yüksek kromlu beyaz dökme demir yapısı (a) ötektik altı, (b) ötektik, (c) ötektiküstü.....	17
Şekil 2.5. Yüksek kromlu beyaz dökme demir yapısı (PC: primarycarbides-birincilkarbürler; EC: eutecticcarbides-ötektik karbürler ve M: martensite-martenzit olarak adlandırılmıştır).....	17
Şekil 2.6. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demir Yapısı	18
Şekil 2.7. 15Cr-3Mo beyaz dökme demir yapısı (γ : östenit, C: ötektik karbürler, P: perlit ve α' : ötektik karbürleri çevreleyen martenzit)....	19
Şekil 2.8. Beyaz dökme demir aşındırıcı	20
Şekil 2.9. Aşındırıcı ızgara astarı.....	21
Şekil 2.10. Beyaz dökme demir pompa	21
Şekil 3.1. Aşınma çeşitleri	24
Şekil 3.2. Abrasif parçacık-matris ilişkisi ve matrisin rolü	25
Şekil 3.3. Karbür hacmine bağlı olarak abrasif aşınma kaybı	26
Şekil 3.4. 19Cr-2,35Mo-2,9C alaşımında kalıntı östenite bağlı abrasif aşınma Kaybı.....	29
Şekil 3.5. Destabilizasyon sıcaklığının sertlik ve kalıntı östenit üzerine etkisi ...	31
Şekil 4.1. Vakum ark ergitme ocağı şematik gösterimi	33
Şekil 4.2. Struers Discotom-5 kesme cihazı	34
Şekil 4.3. Isıl işlem fırını.....	35
Şekil 4.4. %2,5 C içerikli yüksek kromlu beyaz dökme demir denge faz diyagramı (K1:M ₂₃ C ₆ , K2:M ₇ C ₃)	36
Şekil 4.5. Taramalı elektron mikroskobu.....	37

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.6. Otomatik zımparalama-parlatma cihazı.....	37
Şekil 4.7. Aşınma cihazı	40
Şekil 4.8. Aşınma deney düzeneği şematik gösterimi.....	40
Şekil 5.1. Yüksek kromlu beyaz dökme demirin döküm durumunun optik mikroyapı görüntüleri, a) 100x, b) 200x.....	42
Şekil 5.2. Yüksek kromlu beyaz dökme demirin döküm durumunun 5000X SEM görüntüsü	42
Şekil 5.3. 900 °C’ de destabilize edilmiş yüksek kromlu beyaz dökme demirin 5000X SEM görüntüsü	43
Şekil5.4. 1000 °C’ de destabilize edilmiş yüksek kromlu beyaz dökme demirin 5000X SEM görüntüsü.....	43
Şekil5.5. 1100 °C’ de destabilize edilmiş yüksek kromlu beyaz dökme demirin 5000X SEM görüntüsü.....	44
Şekil5.6. 900 °C’ de destabilize edilmiş yüksek kromlu beyaz dökme demirin 5000X SEM görüntüsü (derin dağlanmış).....	45
Şekil5.7. 1000 °C’ de destabilize edilmiş yüksek kromlu beyaz dökme demirin 5000X SEM görüntüsü (derin dağlanmış).....	46
Şekil5.8. 1100 °C’ de destabilize edilmiş yüksek kromlu beyaz dökme demirin 5000X SEM görüntüsü (derin dağlanmış).....	46
Şekil5.9. 900, 1000 ve 1100 °C’ de destabilize edilmiş yüksek kromlu beyaz dökme demirin 5000X SEM görüntüleri; a, b, c Murakami dağlayıcısı, d, e, f ise derin dağlama ile elde edilen görüntüleri yansıtmaktadır.....	47
Şekil5.10. Yüksek kromlu beyaz dökme demirin XRD diyagramları; a) orijinal, b) 900 °C, b) 1000 °C anmış)) 1000 °C ve d) 1100 °C’ destabilize edilmiş.....	50
Şekil5.11. Destabilizasyon sıcaklığına bağlı mikro ve makro sertlikler	51
Şekil5.12. Kayma mesafesine bağlı olarak farklı kayma hızlarındaki aşınma oranları.....	53

ŞEKİLLER DİZİNİ(devam ediyor)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.13. Farklı kayma hızlarında aşınma miktarlarındaki değişim.....	54
Şekil 5.14. Döküm numunenin aşınma sonucu oluşan 2000X SEM görüntüsü; a)30cm/sn, b) 60 cm/sn hızda aşınma.....	55
Şekil 5.15. 900 °Cdestabilize edilmiş numunenin aşınma sonucu oluşan 2000X SEM görüntüsü; a) 30cm/sn, b) 60 cm/sn hızda aşınma.....	55
Şekil 5.16. 1000 °Cdestabilize edilmiş numunenin aşınma sonucu oluşan 2000X SEM görüntüsü; a) 30cm/sn, b) 60 cm/sn hızda aşınma.....	56
Şekil 5.17. 1100 °Cdestabilize edilmiş numunenin aşınma sonucu oluşan 2000X SEMgörüntüsü; a) 30cm/sn, b) 60 cm/sn hızda aşınma.....	57

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin mikroyapısında bulunan fazlar ve kafes parametreleri	8
Çizelge 2.2. ASTMA532 Beyaz Dökme Demir Standardı	15
Çizelge4.1. Yüksek kromlu beyaz dökme demirin kimyasal bileşimi	34
Çizelge5.1. Numunelerin metalografik yöntemlerle belirlenen karbür miktarları.....	48

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
γ	Östenit fazı
α	Ferrit fazı
HV	Vickers sertliği
MC, M ₂ C, M ₆ C ve M ₇ C ₃	Karbür türleri
Δm	ağırlık kaybı, g.
ρ	yoğunlukg/cm ³
F _N	uygulanan yük (N)
T	Sıcaklık (°C, K)
<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
SEM	Taramalı elektron mikroskopi
XRD	X -ışını difraksiyonu
dk	Dakika
et al	Ve diğerleri (v.d)
g	Gram
L	Sıvı faz
SIM	Gerilme ile uyarılmış martenzit oluşumu
CV	Karbür hacmi
°C/sa	Selsius derece/saat
m	Metre
mg	Miligram
mm	Milimetre
mbar	Milibar
ml	Mililitre
N	Newton
cm	Santimetre
s	saniye

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte sanayide kullanılan ileri teknoloji malzemelerinin artan maliyetleri nedeniyle uzun süre kullanılması gerekmektedir. Bu da öncelikle malzemelerin aşınma dayanımlarının iyileştirilmesi ile mümkündür. Aşınma ve sürtünme her malzemede düşük ya da yüksek hızlarda meydana gelir. Önemli olan bu hızı azaltabilmek ve katastrofik malzeme kayıpları oluşmadan aşınmayı tespit edebilmektir. Aşınmanın kritik olduğu otomotiv ve havacılık sektöründe aşınmanın yeterince dikkate alınmaması ciddi can ve mal kayıplarına neden olabilmektedir.

Malzemede performans denilince en önemli özelliklerden biri olan aşınma, malzeme ömrünü ifade eder. Endüstriyel uygulamalarda kullanılan malzemelerdeki aşınma ömrü parçaların kritik olma derecesine göre hayati önem taşıyabilir. Örneğin, uçak parçası olarak kullanılan bir palenin beklenen zamandan daha kısa sürede aşınması sadece maddi değil, ölümcül kazalara da sebep olabilir. Dolayısıyla, bu ve benzeri parçaların aşınma ömürlerinin artırılması ve beraberinde sertlik gibi mekanik özelliklerinin birleştirilmesi ve malzemedeki çatlak oluşumlarının en aza indirgenmesi oldukça önemlidir.

Aşınma özelliklerinin iyileştirilmesi genellikle farklı alaşım elementlerinin eklenerek bileşimlerinin değiştirilmesi, tümüyle farklı proseslerin uygulanarak ısıl işlem sürelerinin kısaltılması, farklı sıcaklık geçişleri ve çevrimlerin uygulanması ve en önemlisi faz diyagramlarının en etkili şekilde kullanılması ile mümkün olur.

Beyaz dökme demirlerin ticari olarak kullanımı yüz yılı bulmaktadır. Beyaz dökme demirlerin üretim teknikleri ve kullanılan alaşım türleri ve bileşimlerindeki

değişiklikler bu malzemelerin uygulama alanlarını genişletmiştir (Çetinkaya,2006). Yüksek kromlu beyaz dökme demirler özellikle yüksek aşınma direnci ve sertlik değerleri nedeniyle sanayide sıklıkla kullanılan malzemeler arasındadır. Yüksek kromlu beyaz dökme demirler; pompalar, tuğla kalıplarında, maden sondaj ekipmanlarında ve kaya işleme ekipmanlarında kullanılmaktadır (Çetinkaya, 2006).

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin tipik mikroyapısı, östenitten martenzite dönüşüm sonucunda sertleşmesi için yeterli karbon konsantrasyonu içeren matrisle dağılmış yüksek sertlikteki krom karbürlerden meydana gelmektedir. Buna ek olarak, yapıda bir miktar östenit ve martenzit fazı da bulunmaktadır. Bu dönüşüm, su verme sonrası meydana gelmektedir. Bu malzemeler temperleme sonrasında, oda sıcaklığı koşullarında ve ayrıca 500 °C'nin altındaki sıcaklıklarda çalışabilmektedir (Fernandez and Belzunce, 2008).

Malzemelerin aşınma davranışları ısıtılma işlem öncesi ve sonrası için öncelikle mikroyapı ve faz dağılımı ile yönlendirilir. Yüksek kromlu beyaz dökme demir bileşimlerinde beklenen abrasif ve eroziv aşınma direnci için her ne kadar, matris tokluğu aşınma direncine katkıda bulunsa da sert karbürlerin yüksek hacim oranı aşınma direncinde birincil etki sağlamaktadır. Ayrıca, yüksek kromlu beyaz dökme demir gibi alaşımlarda matris, ikincil karbürler ve birincil karbür fazları aşınma direncinin sağlanmasında ana etkenlerdir.

Bileşim aralığı 12-30% krom olan beyaz dökme demirler yaygın olarak prosesteki ham maddeleri manipüle etmek, var olan özelliklerini üst seviyeye çıkarmak için kullanılmaktadır (Carpenter, et al., 2004).

Bu çalışmanın amacı, yüksek kromlu beyaz dökme demirin abrasif aşınma özelliklerinin, farklı sıcaklıklarda uygulanan destabilizasyon işleminin mikroyapısal

özelliklerde meydana getirdiği değişikliklere bağlı olarak incelenmesidir. Bu bağlamda çalışmanın ikinci bölümünde beyaz dökme demirlerin genel özellikleri konusunda ayrıntılı bilgiler verilmiş, üçüncü bölümde ise aşınma olayı ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Çalışmanın dördüncü bölümü deneysel çalışmaları kapsamaktadır. Bu bölümde farklı sıcaklıklarda uygulanan destabilizasyon işleminin neticesinde mikroyapıda meydana gelen değişimler çeşitli karakterizasyon teknikleri kullanılarak incelenmiştir. Malzemelerin sertlikleri belirlenerek abrasif aşınma deneyleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar mikroyapısal özelliklere bağlı olarak ortaya konulmuştur.

BÖLÜM 2

BEYAZ DÖKME DEMİRLER

2.1 Beyaz Dökme Demirlerin Özellikleri

Beyaz dökme demir, katılaşma sonucu, karbonun grafit yerine demir karbür oluşturması ile meydana gelmektedir. Beyaz dökme demirde esas yapıyı gösteren ve aşınma özelliklerini ortaya koyan Fe-Cr-C üçlü sistemidir. Bu sistemde %15 kadar krom, sementit fazı içinde demirle yer değiştirebilir. Ancak daha yüksek krom içeriklerinde sementit kararsızdır ve M_7C_3 hekzagonal 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 sertliğe sahiptir (Kazdal vd., 2012). Döküm halindeki, alaşımsız beyaz dökme demirin mikroyapısı perlit anafazı içinde büyük miktarda demir karbürden oluşur. Beyaz dökme demirin beyaz diye adlandırılmasının nedeni kırılma yüzeyinin beyaz veya parlak kristalimsi bir yapıda olmasıdır (Smith, 2001).

Yüksek alaşımlı beyaz dökme demirler geleneksel dökme demirlerden ayrı olarak düşünülmesi gereken önemli bir malzeme grubudur. Bu demir alaşımları elektrik ocaklarında, özellikle elektrikli ark ocaklarında ve bileşim oranları ve sıcaklığın hassas bir şekilde takip edilebildiği indüksiyon ocaklarında üretilir.

Yüksek alaşımlı beyaz dökme demirler öncelikle aşınma direnci gereken uygulamalarda, kırıcı, öğütücü ve abrasif malzeme tutucuları için üretilmektedir. Yüksek alaşımlı beyaz dökme demirde krom içeriği aynı zamanda korozyon direncini de iyileştirmektedir.

Yüksek kromlu beyaz dökme demirde aşınma sırasında matris yapısını bir arada tutan sert M_7C_3 türü karbürlerdir. Matris aşındığında gerilme altında kalan karbürler kırılır. Bazı durumlarda, kırılan karbürler yumuşak matris içine girerek sert bir yüzey tabakası meydana getirirler. Bu durum özellikle ferritik matriste geçerli bir durumdur. Düşük aşınma direnci nedeniyle perlitik matris beyaz dökme demirde tercih edilmez. Artan karbon miktarı ise sertliği dolayısıyla aşınma direncini artırır (Çetinkaya, 2006).

Aşınmaya neden olan gerilme yüksekse, martenzitik yapı östenit yapıya göre iki ila üç kat daha iyi aşınma direnci performansı gösterir. Yapıdaki kalıntı östenit miktarı hacimsel genleşmeye sebep olur ve bu durum da artan gerilmeyle birlikte mikro çatlaklara neden olur (Çetinkaya, 2006).

Beyaz dökme demirlerde yüksek aşınma direnci ve tokluk seviyelerine ulaşmak için uygun karbür ve matris yapılarının mikro yapı içinde yer alması gerekir. Matris için yapılacak en iyi seçim ikincil karbürlerle sertleştirilmiş yüksek karbonlu sert martenzittir. Diğer bir seçenek ise östenitin ısı ile sertleştirilmesidir. Artan karbon miktarı aynı zamanda martenzitin de aşınma direncini artırır. Isıl işlem sonrası martenzitik yapı içine dağılan ikincil karbürlerin aşınma direncini arttırdığı bilinmektedir. Isıl işlem sonrası yapılan temperleme ise aşınma direncini düşürdüğü için tercih edilmemektedir (Çetinkaya, 2006).

Döküm sonrası durumda mikroyapı, östenit ve M_7C_3 karbürlerinden oluşan ötektik yapıdadır. Birçok uygulamada, dökümler servis öncesi ısı ile işleminden geçirilir. Kritik ısı ile işlem mikroyapıda döküm sonrası oluşan kalıntı östenitlerin giderilmesi için kullanılır. Bu noktada destabilizasyon işlemi, östenit içerisinde ikincil karbürlerin çökmesi için sıcaklığı 1000 °C civarlarına çıkarmayı gerektirir. Çökelen karbürlerin türü, alaşım bileşimine ve destabilizasyon sıcaklığına bağlıdır (Yang, et al., 2006).

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde başlıca elementler ağı. %11 - %30 aralığında krom ve ağı. %1.8- %3.6 aralığında karbondur (Tabrett, et al., 1996).

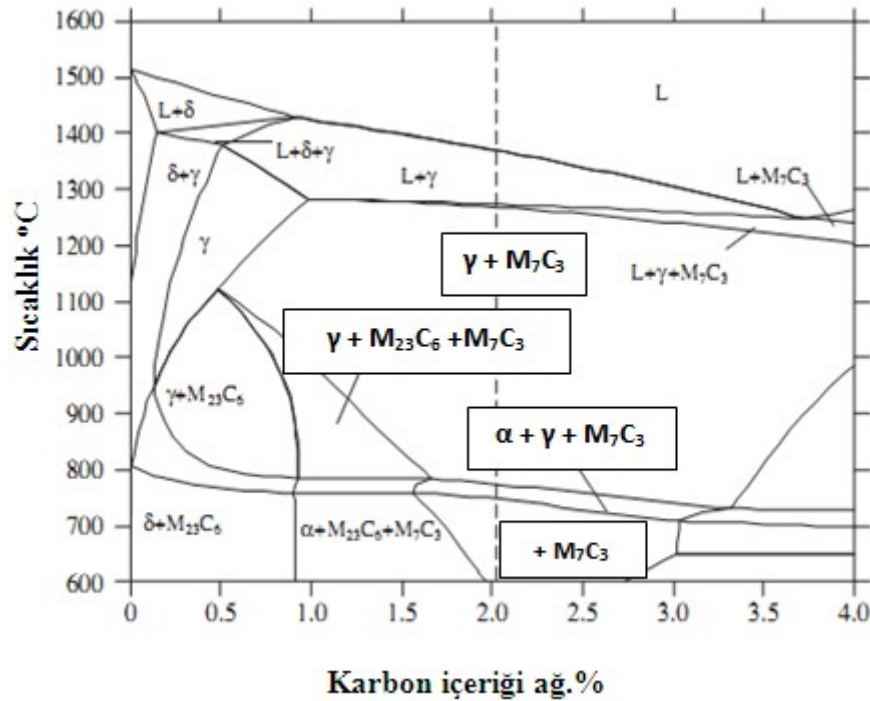
Mikroyapı olarak sert birincil karbürlerin ve/veya ötektik karbürlerin (M_7C_3 türü) daha yumuşak demir fazı (ötektik, martenzitik, ferritik veya beynitik) içerisindeki oluşumundan söz edilir. Molibden, Vanadyum, Niyobyum gibi alaşım elementlerinin eklenmesi ile M_6C veya M_2C ve MC karbürleri meydana gelir (Scandian, et al., 2009).

Aşınma direnci genellikle matris mikroyapısına, karbür türlerine ve boyut, morfoloji, dağılım ve yönlenme gibi karakteristiklere bağlıdır. Buna ek olarak hacim oranı, kırılma tokluğu ve alaşımların sertliği de aşınma direncini etkilemektedir. Malzeme üzerine binen yük koşulları, tribolojik çevre özellikleri, temas yüzeyindeki hareket, abrasif yüzeylerin büyüklüğü ve türü de aşınmayı etkileyen çevresel etkenlerdendir (Scandian, et al., 2009).

Tabrett, Sare ve Ghomashchi'ye (1996) göre aşınma direnci, östenitik/martenzitik bir matris içine %20-35 oranlarında dağılmış krom karbürlerin yüksek hacimsel kesrine bağlı olarak oluşan mikroyapı sayesinde sağlanabilir. Mikroyapıdaki döküm sonrası oluşan M_7C_3 ($M= Cr, Fe$) türü ötektik karbürler darbe direncini, sünekliği ve yorulma direncini azaltmaktadır. Dolayısıyla, ötektik karbürlerin kontrolünde uygulanacak ısıl işlem son derece önemlidir.

Yüksek kromlu dökme demir mikroyapısında iki çeşit karbür bulunur. Bunlardan ilki birincil karbürler ya da ötektik karbürler ve diğeri ısıl işlem sonrası oluşan ikincil karbürlerdir. Birincil karbürler katılaşma sırasında MC , M_2C , M_6C ve M_7C_3 şeklinde çökebilirler. Uygulanacak ısıl işlemlerle sert matris çok sayıdaki ince ikincil karbürlerin çökmesi ve östenit yapıdan martenzit yapıya geçiş ile elde edilir (Matsubara, et al., 2001).

Şekil 2.1’ de görüldüğü gibi ötektik sıcaklık 1390 °C civarındadır. Sıcaklığın 1290 °C’ ye düşmesiyle birlikte birincil östenit dendirit yapı oluşmaya başlar. Sıcaklığın 1245 °C’ e düşmesiyle, $L \Rightarrow \gamma + M_7C_3$ ötektik reaksiyonu oluşmaya başlar ve 1210 °C’ de tamamlanır. 735 °C’ den 1210 °C’ ye olan sıcaklık aralığında, östenit ve M_7C_3 karbürlü iki faz alanı bulunmaktadır. Sıcaklığın düşmeye devam etmesiyle birlikte ikincil karbürler (M_7C_3II) çökeler. Dolayısıyla, östenit miktarı azalırken, M_7C_3 karbür miktarı hızla artar. Sıcaklık 735°C’ ye düştüğünde ötektik reaksiyon $\gamma \Rightarrow \alpha + M_7C_3$ meydana gelir. 700 °C’ de ise dönüşüm tamamlanmış olur (Li et al., 2009).



Şekil 2.1. 15Cr-1Ni-0,2Mo yüksek krom beyaz dökme demir denge diyagramı (Li, et al., 2009).

Çizelge 2.1 'de yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde mikroyapı, faz ve kafes yapıları görülmektedir. En az %5 alaşım elementi içeren bu tür yüksek alaşımlarda, %74 doluluk oranlı yüzey merkezli kübik (YMK) östenit yapısının aniden soğutulması sırasında çözünmüş karbonun yüzeye çıkacak fırsatı bulamaması sonucu %74 doluluk oranlı tetragonal martenzit yapısı meydana gelir. Yavaş soğutma ile oluşan yapı ise %68 doluluk oranlı hacmi merkezli kübik (HMK) ferrit fazıdır.

Çizelge 2.1. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin mikroyapısında bulunan fazlar ve kafes (lattice) parametreleri (Taşgın ve Kaplan, 2007).

Faz	Fe	Fe	Cr	Fe ₃ C	Cr ₂₃ C ₆	Cr ₇ C ₃	Cr ₃ C ₂	σ (%14,7 Cr)
Kafes Yapısı	HMK	YMK	HMK	Orto rombik	YMK	Hekza gonal	Orto rombik	Tetra gonal

Yüksek Cr yüzdesi karbürü tamamen kararlı hale getirir. Alaşımsız veya düşük alaşımlı beyaz dökme demirden farklı olarak grafitleşme mümkün değildir. Yüksek alaşım yüzdesi nedeniyle yüksek kromlu demirlerin dönüşüm davranışları, düşük alaşım çeliği veya dökme demirden ziyade yüksek hız takım çeliklerine benzer. Katılma sırasında veya çok yüksek sıcaklıklarda oluşan östenit Karbon, Krom ve diğer alaşım elementlerine doymuştur ve çok karardır. Sıcaklığın azalmasıyla Krom ve Karbon ikincil karbürler şeklinde çökelerek östenitteki alaşım miktarını ve östenitin kararlılığını azaltırlar. Kararsız hale gelen östenit, soğuma hızına bağlı olarak perlit, beynit veya martenzite dönüşür. Ancak karbür çökmesi o kadar yavaştır ki, oldukça hızlı soğumada bile fazla miktarda aşırı doymuş östenit oda sıcaklığında kalabilir. Bu yüzden döküm halindeki yapı çoğunlukla bir perlit, martenzit ve kalıntı östenit karışımıdır. İnce kesitler ağırlıklı olarak östenitik, kalın kesitler ise perlitiktir (Fairhurst and Röhrig, 1974).

Tamamen östenitik bir yapı, bileşimin kesit kalınlığı ve soğuma hızının uygun olarak ayarlanması ile mümkün olur. Bu da yüksek krom yüzdesi ile Molibden, Nikel veya Bakır ilavesini gerektirir. Martenzitik yapı ancak ısı işleme elde edilebilir (Fairhurst and Röhrig, 1974).

2.1.1 Isıl işlemler

Beyaz dökme demirlerin aşınma ve tokluk özelliklerinin geliştirilmesi için standart ısı işlemler uygulanır. Optimum özellikler martenzitik bir yapı ile elde edilir. Temel ısı işlem kademeleri destabilizasyon/su verme, temperleme, kritik altı (sub-kritik) ısı işlem, tavlama ve gerilim giderme işlemleridir. Destabilizasyon işlemi krom miktarına bağlı olarak değişir ve %12-20 krom içeren alaşımlarda 950-1010°C, %23-28 krom içeren alaşımlarda ise 1010-1090°C arasındadır. Su verme işlemi genellikle havada yapılır. Beyaz dökme demirler temperleme yapılmadan da kullanılabilirler ancak matrisin tokluğunu arttırmak ve gerilim gidermek için temperleme yapılabilir. Kritik altı ısı işlemi genellikle büyük parçalara uygulanır. Burada amaç kalıntı östeniti azaltmak olup bu işlem genellikle 450–600 °C’ lerde 8–12 saat uygulanır. Tavlama işlemi diğer bir ısı işlem olup, işlenebilirliği arttırmak için uygulanır. Gerilim giderme işlemi, su vermede oluşan iç gerilmeleri gidermek için uygulanır (Kazdal vd., 2012).

Kalıntı östenit olmaksızın tamamen martenzitik bir yapı elde edebilmek için dökümü 920-1000 °C arasında bir sıcaklıkta destabilize etmek şarttır. Alaşımın destabilize edilmesinden sonra sertleşebilirliği Krom ve Karbon yüzdeleri ile tayin edilir. C ve Cr ötektik veya ikincil karbürler oluşturmak üzere birleşirler. Toplam Krom yüzdesinin sadece bir kısmı doku içinde kalır ve burada sertleşebilirliği artırabilir (Fairhurst and Röhrig, 1974).

Östenit kararlılığını azaltmanın tek yolu, bu faz içindeki C ve Cr miktarını mümkün olduğu kadar azaltmak yani dengeye yaklaştırmaktır. Bu da destabilizasyon sıcaklığında bekleme süresini uzatarak mümkün olur. Nikel veya Bakır içermeyen yüksek Cr/Mo' li dökme demirlerde gerekli destabilizasyon işlemi genellikle 1 saatten az süre beklenerek sağlanabilir. Molibdenin kalıcı östenitin kararlılığı üzerinde çok az etkisi vardır. Ancak alaşımda %0.5-1.0 arasında Ni veya Cu bulunması durumunda yeterli ayrışma için sıcakta 6 saat veya daha uzun süre bekletilmesi gerekir.

Mangan Ms sıcaklığını düşürmesi nedeniyle kalıntı östenit miktarı artar. Yüksek kromlu beyaz dökme demirler genellikle %0.8-1.0 aralığında Mn içermektedir.

Si oranı %0,3-0,8 arasında tercih edilir. Oksijen giderme için bir miktar gerekli olmakla beraber, daha yüksek oranlar bir avantaj sağlamadığı gibi sertliği de bir miktar düşürür.

Suverme sıcaklığı östenit içinde çözültide kalan C ve Cr miktarı üzerindeki etkisi nedeniyle nihai sertliğe ve dönüşüm özelliklerine etki eder. Östenit içindeki C çözünürlüğü sıcaklığın yükselmesi ile artar. Başlangıçta, yüksek C yüzdesi daha yüksek sertleşebilirlik ve suvermeden sonra daha yüksek martenzit sertliği verir. Bu eğilim bir orana kadar devam eder, bu noktada fazla C kalıntı östenit oluşturmaya başlar, bu yüzden C daha da artınca sertlik de düşmeye başlar. Giderek artan sıcaklıklardan suvermeden sonraki sertlik en yüksek değerine ulaşır. Cr, ferritten östenite dönüşüm sıcaklığını yükselttiği için en yüksek sertliğin elde edildiği sıcaklık Cr yüzdesi ile artar. Örnek olarak % 15 Cr' lu bir alaşım için en yüksek sertliğin alınabileceği sıcaklık 940-970 °C arasındayken, % 20 Cr alaşımında bu sıcaklık 960-1010 °C arasındadır. Kalıntı östenit kararlı olmadığından, en azından kısmen martenzite dönüşür. Bu alaşımın tekrar 400-600 °C sıcaklığa ısıtılmasıyla kalıcı östenitin bir kısmı ayrışır, oda sıcaklığına soğuma sırasında bu östenit dönüşür (Fairhurst and Röhrig, 1974).

Bu dökme demirler, yağ, su veya tuzlu su gibi sıvı ortamlar çok fazla çatlama riski taşıdığından, normal olarak hava ile soğutulmuş sertleştirilir. Ancak hızlandırılmış hava soğutmasında, aşırı gerilim yığılmalarını önlemek için dökümün bütün bölümlerinde homojen bir soğuma sağlayacak önlemler alınmalıdır. Bu gibi hallerde 500 °C' ye soğuması 4 saate kadar uzayabilen bir soğuma hızına imkan veren 20-2-1 cinsi malzemenin seçilmesi avantajlı olur. Beynite izin veriliyorsa daha düşük soğuma hızları bile uygulanabilir. Bu durumda dökümler sakın havada, hatta fırın içinde veya araba üzerinde soğutulmuş döküm parça içindeki sıcaklık farklılıkları ve kalıcı gerilmeler en aza indirilir. Çoğunlukla dökümleri, sıcaklık eşitlenmesi için 400 veya 500 °C sıcaklıktaki fırına yükleyecek kadar zaman bulunur (Fairhurst and Röhrig, 1974).

2.1.2 Alaşım elementlerinin etkisi

Molibden, genellikle %0,5- 4 aralığında eklenir. Likidüs yüzeyine etkisi yoktur ve sadece peritektik çizginin düşük krom içeriğine taşınmasına etki eder. Düşük Cr/C oranlarında (Cr/C=5) Mo₂C ve yüksek Cr/C oranlarında (Cr/C=10) M₆C karbürlerinin oluşumu gözlenir. Molibden, %50 Mo₂C, %25 M₇C₃ ve %25 matris şeklinde dağılım gösterir. Bununla birlikte, ne toplam karbür miktarına ne de östenitik matrisin sertliğine önemli bir etkisi vardır. Döküm sonrası yapıda molibden östeniti kararlı hale getirir. Bunun anlamı, verilen krom içeriği için perlit veya başka dönüşümler yüksek karbon içeriklerinde engellenir (Breyer and Walmag, 1996).

Vanadyum, güçlü bir karbür yapıcı elementtir. %0,1- %0,5 aralığında ilave edilir. Demirle birleşerek katılma sırasında hem birincil karbürleri hem de ikincil karbürleri meydana getirir. Böylece matristeki karbon miktarını düşürür. Katılma, östenit, ötektik γ -VC ve son olarak γ -M₇C₃ şeklinde ilerler. Molibden gibi Vanadyum da M₇C₃ morfolojisine ve toplam karbür miktarına etki etmez. Vanadyum perlitik sertliği artırır ve kalıntı östenit miktarını azaltır. Ms sıcaklığında bir değişikliğe yol açmaz (Breyer and Walmag, 1996).

Bakır, yüksek kromlu beyaz dökme demirlere sıklıkla eklenir. Östenit dönüşüm hızını yavaşlatması bunun sebebidir. Bu sayede, martenzit dönüşüm aralığı genişler. Bakır tamamen matris içinde yer alır. Bir dezavantajı, kalıntı östenit miktarını 1%-1,2% civarında tutmasıdır (Breyer and Walmag, 1996).

Mangan, Bakır, Nikel ve Molibden gibi mikroyapıdaki perlit oluşumunu geciktirir. Silisyum da ise bunun tersine perlit oluşumunu hızlandırır. Mangan, M_7C_3 ve matris arasında eşit olarak dağılmışken; Silisyum, Bakır gibi tamamıyla matris içinde yer alır. Mangan, mikroyapıda yüksek miktarda kalıntı östenit bırakırken, silisyum östeniti kararsız hale getirme eğilimindedir (Breyer and Walmag 1996).

Karbon en kritik alaşım elementidir. Karbonun güçlü bir rolü, karbür hacminin oluşumunu belirlemesi ve büyük ölçüde aşınma direncini etkilemesidir. Karbon içeriğindeki artış çoğu durumda yüksek karbür hacmi nedeniyle, yüksek aşınma direnci ile bağdaştırılır. Artan Cr/C oranının düşük gerilim aşınma direncini arttırdığı belirlenmiştir. Muhtemelen bunun nedeni karbür sertliğindeki artıştır. Daha yüksek matris krom içeriğinin korozyon direncini arttırması ve ıslak kumlu, kauçuk tekerlek testleriyle ölçülen aşınma direncini geliştirebileceği umulmaktadır (Tabrett, et al., 1996).

Nikel, Mangan ve Bakır ilavelerinin, muhtemelen yüksek alaşım içerikli östenitin aşırı kararlı olması sebebiyle, aşınma direncini olumsuz etkilediği düşünülmektedir. Bu aşırı kararlılık, ısıl işlem içerisinde kalıntı östenit miktarını arttırır ve ısıl işlem öncesi döküm koşullarındaki SIM (strain induced martensite; gerilimle uyarılmış martenzit oluşumu) oluşumu azaltabilir. Bu elementlerin ilavesinin matrisi mukavemetlendirerek aşınma direncini arttırdığına dair bulgular da vardır (Tabrett, et al., 1996).

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlere molibden ilaveleri aşınma direncini arttırmaktadır. Bunun öncelikli sebebi molibdenin perlit oluşumunu yavaşlatıcı etkisidir. %0,9' a kadar olan silisyum ilaveleri, perlit oluşumunu arttırmasına rağmen, aşınma direncini bir miktar arttırabilir, bunun muhtemel nedeni ısı işlem öncesinde döküm sertliğindeki artıştır. Beyaz dökme demirlere ilave edilen Niyobyum, Vanadyum ve Titanyum gibi elementler sert karbürlerin oluşumunu sağlar ve bu da aşınma direncindeki artışla sonuçlanır. Bu elementler ayrıca döküm yapısını düzenler ve ötektik karbürlerle matris bölgelerine daha büyük koruma sağlarlar (Tabrett, et al., 1996).

2.2 Beyaz Dökme Demirlerin Sınıflandırılması

Çizelge 2.2' de ASTM A532 standardına göre beyaz dökme demirlerin sınıflandırılması görülmektedir. Sınıf I-B tipi beyaz dökme demirler kırıcı plakalar, kırıcı konkavlar ve pulvarizatör mandalları olarak da kullanılmaktadır. Sınıf I-D tipi Ni-Hard türü beyaz dökme demirler yüksek düzeyde mukavemet ve sertlik değerlerine sahiptir. Bu nedenle aşındırıcı çamur ve kömür taşıma sarmallarında ve pulvarizatör segmentlerinde kullanılmaktadır. Sınıf I tipi alaşımlar (Ni-Hard 3) özellikle öğütücü bilyelerin tasarımında kullanılmaktadır. Bütün öğütücü bilyelerde, istenen darbe tokluğunun elde edilmesi için 260 °C- 315 °C arası 8 saatlik temperleme gerekmektedir. Özel Nikel-Krom beyaz dökme demir alaşımları A tipi özel sınıf olarak haddeleme ile geliştirilmektedir. Bu alaşımlar grafit içeren benekli yapıları üretmek üzere biçimlendirilmektedir. Grafit inklüzyonları termal çatlama direncini geliştirmektedir. Silisyum/Krom oranları ve ferrosilisyumlu aşılama grafit parçacıklarının dağılım miktarlarını kontrol etmek için kullanılır. Molibden modifikasyonu ile matris martenzitik yapıya dönüşür. Beynitik yapıyı elde etmek için de ilave ısı işlem işlemleri uygulanmaktadır. Yüksek kromlu beyaz dökme demirler ise bu sınıflandırmada en yüksek aşınma direncine sahip malzemelerdir. Bileşim ve ısı işlem değişkenleri ile tokluk ve aşınma direnci, en iyi koşullarda abrasif uygulamalarda kullanılmak üzere ayarlanabilmektedir. Alaşımlı demir sınıfı olarak yüksek kromlu beyaz dökme demirler,

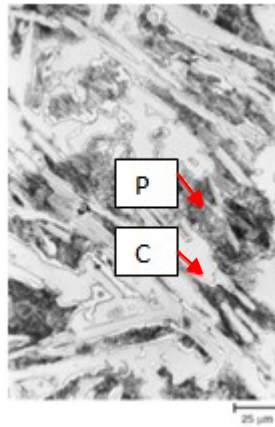
mikroyapıdaki M_7C_3 ötektik karbürleri ile ayırt edilebilmektedir. Bu alaşımlar genellikle hipoötektik (ötektikaltı) bileşimlerde üretilmektedir. ASTM A 532 sınıflandırmasına göre, yüksek kromlu beyaz dökme demirleri bileşim ve sertleşebilirliklerine göre iki sınıfa ayırmak mümkündür. Krom- molibden alaşımları (Sınıf-II) %11-23 Cr içerir ve %3,5' a kadar Mo içerir. Isıl işlem öncesi östenitik ya da östenitik-martenzitik matris yapıları döküm veya maksimum aşınma direnci ve tokluk için martenzitik yapıya sahip ısıl işlemlerle üretilir. Bu malzeme sınıfı beyaz dökme demir sınıfında sertliği en yüksek malzeme olarak bilinir. Düşük alaşımlı nikel- krom beyaz dökme demirlerine göre, ötektik karbürler daha serttir ve ısıl işlemlerle sertlikleri artırılabilir. Nikel ve Bakır kadar Molibden ilave edildiğinde perlit oluşumu engellenerek maksimum sertliği sağlamak mümkündür. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde Sınıf-III bilinen en eski türdür ve %25 Cr ve %28 krom alaşımları olarak da anılır. %23-%28 arası Krom ve %1.5'e kadar Molibden içerir. Sınıf-II Krom-Molibden beyaz dökme demirleri kadar sertlikleri olmasa da, bu alaşımlar özellikle korozyon direnci gerektiren yerlerde kullanılır. Denge koşullarında, fazladan Krom karbür, ötektik sıcaklıktan kritik sıcaklığa soğumanın üzerinde östenitik matristen çöker. Bu da 760 °C' de gerçekleşir. Bunu takip eden soğuma ile ferrite ve karbürlere dönüşüm gerçekleşmiş olur. Bununla birlikte, denge koşullarının altında soğutma yapılması, östeniti karbon ve krom içinde aşırı doymun hale getirir. Yüksek miktarda Karbon ve Krom içerikleri sebebiyle metastabil östenitik dökme demir gelişir ve bu da perlitik ve beynitik dönüşümü engellemiş olur. Yeterli miktarda molibden, mangan, nikel ve bakır ilaveleri perlitik dönüşümün engellenmesinde önemli bir rol oynar. Martenzitik yapılar ise yüksek soğuma hızları ile östenitik kararlılığın tamamlanamaması ile birlikte, östenitten martenzite kısmi bir dönüşüm meydana gelir. Ancak bu durumda martenzit, çok miktarda kalıntı östenitle birlikte birarada bulunur. Bu nedenle sertlik değerleri ısıl işlemlerle martenzitik dökümlerden daha düşüktür. Bu dökümler soğuma ile perlitli engelleyecek yeteri miktarda alaşım içermek zorundadır. Bazı bileşimler (daha yüksek silisyum) soğuma sırasında martenzit oluşumuna yardımcı olur. Kritik altı (subcritical) ısıl işlem hem östenit miktarını azaltmak hem de sertlik ve tokluğu arttırmak için uygulanır (ASM Handbook V: 15).

Çizelge 2.2.ASTM A532 Beyaz Dökme Demir Standardı

Sınıf	Tür	Gösterimi	C	Mn (mak.)	Si (mak.)	Ni	Cr	Mo (mak.)	Cu (mak.)	P (mak.)	S (mak.)
I	A	Ni-Cr-Hc	2,8-3,6	2,0	0,8	3,3-5,0	1,4-4,0	1,0	...	0,3	0,15
I	B	Ni-Cr-Lc	2,4-3,0	2,0	0,8	3,3-5,0	1,4-4,0	1,0	...	0,3	0,15
I	C	Ni-Cr-GB	2,5-3,7	2,0	0,8	4,0 mak.	1,0-2,5	1,0	...	0,3	0,15
I	D	Ni-HiCr	2,5-3,6	2,0	2,0	4,5-7,0	7,0-11,0	1,5	...	0,10	0,15
II	A	12%Cr	2,0-3,3	2,0	1,5	2,5 mak.	11,0-14,0	3,0	1,2	0,10	0,06
II	B	15%Cr	2,0-3,3	2,0	1,5	2,5 mak.	14,0-18,0	3,0	1,2	0,10	0,06
II	D	20%Cr	2,0-3,3	2,0	1,0-2,2	2,5 mak.	18,0-23,0	3,0	1,2	0,10	0,06
III	A	25%Cr	2,0-3,3	2,0	1,5	2,5 mak.	23,0-30,0	3,0	1,2	0,10	0,06

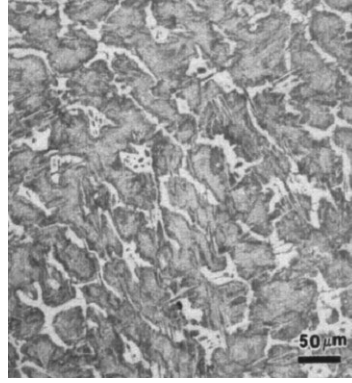
GB=Grinding balls (öğütücü bilye); Hc=High Carbon (yüksek karbon); Lc=low Carbon (düşük karbon); HiC= High-Chromium (yüksek karbon) ifade etmektedir.

Şekil 2.2 'de görülen beyaz dökme demir mikroyapısı dökümün metastabil sistemde katılaşması ve yapının grafitten tamamiyle arınmış olduğu durumda ortaya çıkar. Açık renkli sementit (C) ve koyu renkli perlit yapısı matris yapısını oluşturmaktadır (ASM Handbook V: 15).



Şekil 2.2. Döküm sonrası beyaz dökme demir mikroyapısı (Fe-%3,0C-%2,7Si-%0,45Mn-%0,07P-0,025S) (ASM Handbook V: 15).

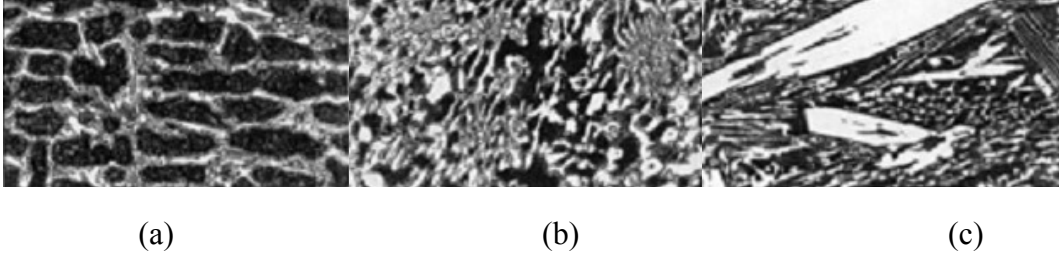
Şekil 2.3' te Isıl işlem sonrası sementit ve temperlenmiş martenzit yapısı aşınma dirençli malzemeler sınıfı içerisinde (ASM Handbook V: 15).



Şekil 2.3. Isıl işlem (destabilizasyon) sonrası beyaz dökme demir mikroyapısı (ASM Handbook V: 15).

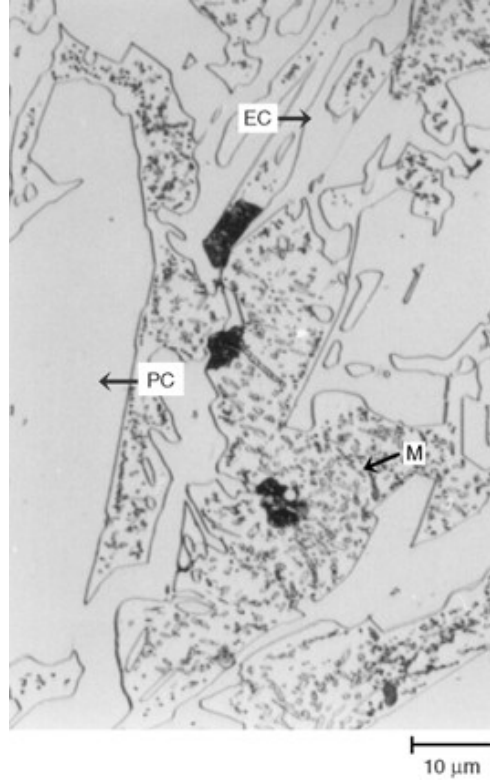
Beyaz dökme demirlerde mikroyapıyı oluşturan yapılar, karbürler, östenit ve martenzit yapıdır. Beyaz dökme demirlerde karbürler çok sert ve aşınma dirençli ama aynı zamanda kırılgandırlar. Genellikle, aşınma direnci karbon miktarının artışına bağlı olarak karbürlerin artışı ile elde edilir. Bununla birlikte tokluk metalik matriste karbon miktarının azaltılması ile iyileştirilebilir (ASM Handbook V: 15).

Şekil 2.4.' te yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde karbür fazının dağılımı ve şekli üzerinde karbon içeriğinin etkisi görülmektedir. Karbon içeriğinin ötektik karbür miktarını aşması durumunda geniş hegzagonal karbür çubukları meydana gelmektedir. Ötektik katılaşma öncesi çökelen bu birincil krom karbürler, darbe tokluğuna engeldir ve kullanım sırasında her hangi bir darbeye maruz bırakılmamalıdır. Ötektik altı alaşımlarda katılaşma östenit ve M_7C_3 krom karbürlerinin ötektik oluşumunu takiben östenit dendritlerinin oluşumu ile meydana gelir (ASM Handbook V: 15).

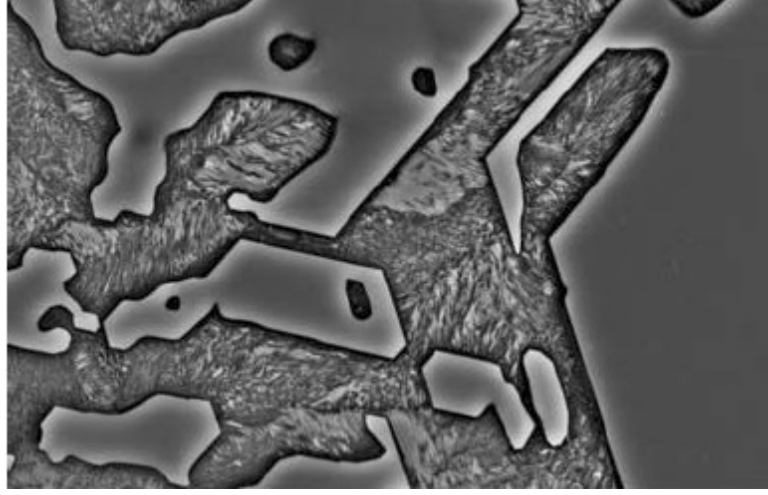


Şekil 2.4 Yüksek kromlu beyaz dökme demir yapısı (a) ötektik altı, (b) ötektik, (c) ötektik üstü (ASM Handbook V: 15).

Şekil 2.5.' te izotermal ısıtma işlemi sonrası yüksek kromlu beyaz dökme demir yapısında, martenzite dönüşmüş östenitik matris içine çökelmiş ince yapıda ikincil karbürler görülmektedir. Döküm sonrası yapı 1000 °C 'de 1 saat bekletilerek ısıtma işlemi uygulanmış, 550 °C' ye fırın içinde soğutulmuş, 400 °C' de 4 saat bekletilerek en son olarak tuz banyosuna verilmiştir (ASM Handbook V: 9).



Şekil 2.5. Yüksek kromlu beyaz dökme demir yapısı; (PC: primary carbides- birincil karbürler; EC: eutectic carbides-ötektik karbürler ve M:martensite-martenzit olarak adlandırılmıştır) (ASM Handbook V: 9).



Şekil 2.6. Yüksek kromlu beyaz dökme demir yapısı (Hinckley, et al., 2008).

Şekil 2.6' da ısıl işlem öncesi yüksek kromlu beyaz dökme demir yapısında perlit matrisi üzerinde birincil karbürler açıkça görünmektedir (Hinckley, et al., 2008).

2.2.1 Ötektik altıbeyaz dökme demirler

Ötektik altı yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde döküm mikroyapısı östenit, dendirit (martenzite, perlite ve beynite kısmi dönüşümle) ve dendiritlerarası ötektik karbürler ve kısmen dönüşüm geçirmiş östenit barındırır. Ötektik bileşime yakın alaşımların dendiritik bölgeleri azdır ya da yoktur. Şekil 2.7' de örnek olarak, 15Cr-3Mo beyaz dökme demir verilmiştir (Sınıf II-B). Bu mikroyapıda, östenitik gri olarak dağlanmışken, ötektik karbürler beyaz olarak dağlanmıştır. Martenzitik bölgeler dendiritlerin ve ötektik bölgelerin etrafında görülürken, koyu bölgeler perlittir (Tabrett, et al., 1996).



Şekil 2.7. 15Cr-3Mo beyaz dökme demir yapısı (γ : östenit, C: ötektik karbürler, P: perlit ve α : ötektik karbürleri çevreleyen martenzit) (Tabrett, et al., 1996).

2.2.2 Ötektik beyaz dökme demirler

Güçlü bir karbür yapıcı olan Krom ötektik karbür yapısına fazlasıyla etki eder. Yukarıda bahsedildiği gibi M_3C ' den M_7C_3 ' e değişen ötektik karbür formunda Krom içeriği %10-12' nin yukarısında artış gösterir. Her iki türdeki ötektik karbür için, alaşımda artan Krom içeriği karbür sertliğini artırırken, karbürlerdeki metal çeşitleri olarak demir karbon oranını yükseltir (Tabrett, et al., 1996).

2.2.3 Ötektik üstü beyaz dökme demirler

Ötektik üstü alaşımlarda genellikle katılaşma ilk olarak birincil M_7C_3 bölgesinde gerçekleşir. $\gamma + M_7C_3$ ötektik reaksiyonunu takiben iri ikincil karbürler oluşur.

Ötektik üstü alaşımlarda karbür hacminin artması nedeniyle aşınma direnci azalır. Artan karbür hacmi ile birlikte karbürlerin aşınma sırasında parçalandığı ve matrisi de aşındırarak aşınma direncini azalttığı düşünülmektedir.

2.3 Beyaz Dökme Demirlerin Kullanım Alanları

Beyaz dökme demirler, bileşimlerine ve mekanik özelliklerine göre farklı alanlarda kullanılmaktadır. Düşük maliyetleri sebebiyle, martenzitik nikel-krom beyaz dökme demirler (Sınıf-I A tipi) büyük tonajlarda madencilikte öğütme işlemlerinde öğütücü bilye olarak kullanılmaktadır. Buna ek olarak, kül boruları, çamur pompaları, silindir başları, kok-kırıcı segmentlerinde kullanılmaktadır (ASM Handbook V: 15).



Şekil 2.8. Paletli vinç kepçe dişi (ASM Handbook V: 15).

Şekil 2.8’ da her biri 1 metre uzunluğunda ve 300 kg olan paletli vinç kepçe dişi görülmektedir. Aşınma ve sürtünme direncinin en fazla ihtiyaç duyulacağı bu tip öğütücü, kazıcı ve delici sistemlerde yüksek kromlu beyaz dökme demir vazgeçilmez bir malzemedir.

Şekil 2.9 ve 2.10' da beyaz dökme demirlerdeki diğer uygulama alanları görülmektedir. Aşındırıcı özelliğinden dolayı beyaz dökme demirler değirmen aşındırıcı ızgaralarında ve aşınma dirençleri nedeniyle pompalarda tercih edilmektedir.



Şekil 2.9. Aşındırıcı Izgara Astarı

(<http://www.borancelik.com.tr/page.php?ID=12>)



Şekil 2.10. Beyaz Dökme Demir Aşındırıcı

(http://www.borancelik.com.tr/uploading/high_chromium_white_cast_irons/4.jpg)

BÖLÜM 3

AŞINMA VE SÜRTÜNME DAVRANIŞLARI

3.1 Aşınma

Aşınma, mekanik ve/veya kimyasal anlamda meydana gelir ve genellikle sürtünme ısınmasıyla artar. Aşınmadan korunmada temel prensip sürtünen yüzeylerden katı malzemenin uzaklaştırılmasıdır.

Aşınma çeşitleri; adhesif, abrasif, yorulma, erozyon veya çarpmalı darbe, kimyasal (korozif) ve elektrik ark aşınmalarıdır. Bazı değerlendirmelere göre endüstriyel uygulamalarda bütün aşınma şekillerinin çoğu adhesif ve abrasif aşınma mekanizmaları nedeniyle meydana gelmektedir. Yorulma mekanizması dışında bütün mekanizmalardaki aşınmalarda malzeme kaybı meydana gelir (Çelikyürek, 2006).

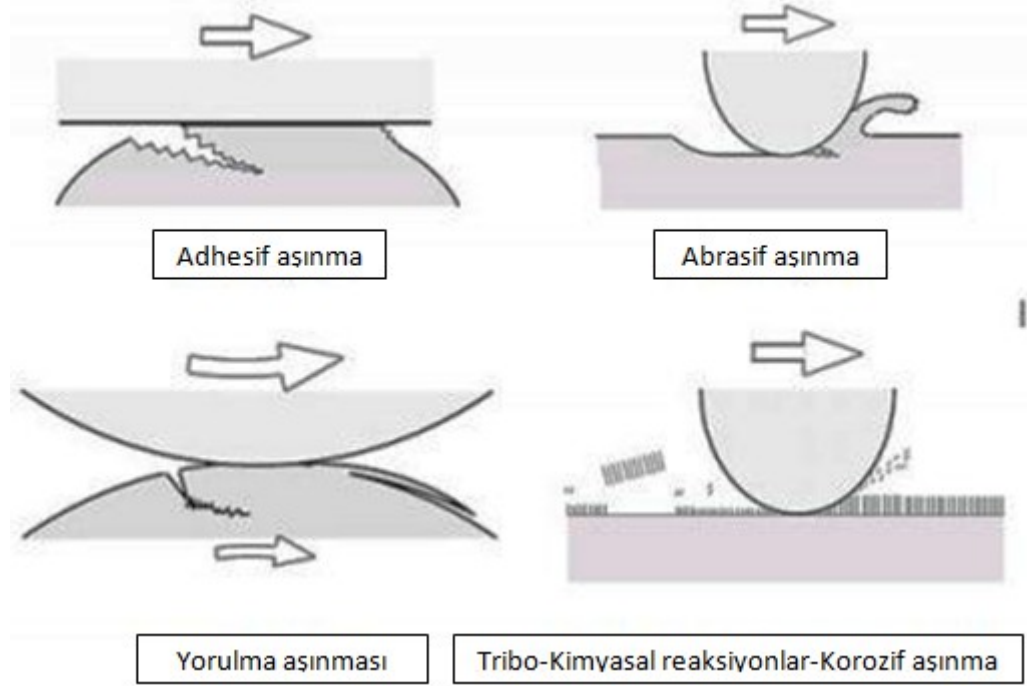
3.1.1 Adhesif aşınma

Adhesif aşınma iki normal düzgün katı cismin temasında meydana gelir. Ara yüzeyde pürüzlerin temasında adhezyon yani bağlanma meydana gelir ve bunlar kayma ile kesilir. Bir yüzeyden parçalar koparak diğer yüzeye yapışabilir. Kaymanın devamında diğer yüzeye parçalar koparak diğer yüzeye yapışabilir. Kaymanın devamında diğer yüzeye transfer olabilir veya serbest aşınma partikülleri oluşabilir (Çelikyürek, 2006).

3.1.2. Abrasif Aşınma

Sert, keskin bir parçanın daha yumuşak bir parçadan talaş kaldırmasına abrasif aşınma denir. Aşınma oranı, malzemedeki deformasyon görmeyen bölgenin sertliğine değil, aşınmış yüzeyin sertliğine bağlıdır. Üç çeşit abrasif aşınma mekanizmasından söz etmek mümkündür. Bunlar, mikrokesme, mikroyorulma ve mikroyarılma mekanizmalarıdır. Mikroyarılma mekanizması, östenit matrisinde daha ağır basar. Beyaz dökme demirler bu özellikleri sebebiyle ekstürüzyon nozullarında ve maden sanayiinde haddeleme silindirleri üretiminde kullanılır (Coronado ve Sinatora, 2009). Abrasif aşınma direnci bu bağlamda sadece çökelen karbürlerin türü, miktarı ve morfolojisine bağlı değil, aynı zamanda matris yapısına da bağlıdır (Matsubara, vd, 2001). Mikroyapıdaki iri karbürler, yüksek kromlu beyaz dökme demirde üstün aşınma özelliklerini etkileyen ana etmendir. Bu nedenle, karbür yapıcı elementler olarak Ti, Cr, Mo, Ni, V ve Cu gibi alaşım elementleri kullanılır (Arikan, vd., 2001). Ayrıca yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde, %11-30 Cr ve %1,8-3,6 C bileşim aralıklarının yanı sıra Mn, Ni, Mo ve Cu gibi elementlerin miktarı en fazla %2 civarındadır. Bu ilavelerle ötektik karbürde hem karbür hacim kesrinde artış hem de karbür sertliğinin artması sağlanır. Bu aynı zamanda, karbür yapıcı elementlerin matrisin bir parçası olduğu için, matris sertliğinin artmasına yardımcı olur (Bedolla, et al., 2007).

Şekil 3.1' de adhesif, abrasif, yorulma ve tribo-kimyasal korozif aşınma görülmektedir.



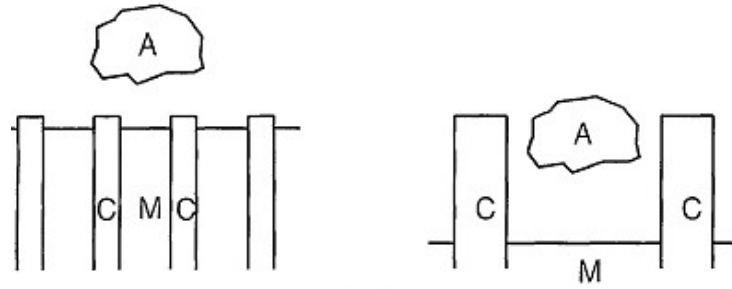
Şekil 3.1. Aşınma çeşitleri (Kato and Adachi, 2001).

3.2 Aşınmaya etki eden faktörler

Karbür hacminin (CV) yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde abrasif aşınma performansını güçlü bir şekilde etkilediği görülmüştür. Aşınma direncinin artan sert karbürlerin hacmiyle arttırdığı düşünülse de, gerçekte aşınma direnci, aşınma sistemi ve meydana gelen aşınma mekanizması ile ilgilidir (Tabrett, et al., 1996).

Düşük gerilmeli abrasif koşulları altında, bazı araştırmacılar artan karbür hacminin abrasif aşınma direncini arttırdığını bulmuşlardır. Yapılan araştırmalarda abrasif olarak silika (SiO_2) kullanılan aşınma testlerinde, matris bölgelerinin, abrasif parçacıkların yükünü desteklemek için ötektik karbür bölgesinden ayrıldığı düşünülmektedir. Ötektik bileşim civarında daha küçük katılma aralığı nedeniyle dendrit aralığı azalırken, karbür hacminin artması ile dendritik bölge oranı düşmektedir. Her iki faktörde aşınma direncini arttırmaktadır. Eğer matris bölgelerindeki aşınma

aşırıysa, karbürler desteklemeyebilir ve parçalanma ve kırılmalara duyarlı hale gelebilir (Şekil 3.2). Abrasif kumtaşı oranı, karbürler tarafından matris koruması konusunda bazı fikirler veren matris serbest güzergahını ifade eder. İlginç olanı, ötektik üstü alaşımlarda karbür hacminin artması nedeniyle aşınma direncini azaltır. Çünkü birincil karbürler sıklıkla parçalanır ve kırılır. Bu parçalanmış karbürü, matrisin uzaklaştırılması sebebiyle desteklenmeyen birincil karbür kenarları ile ilişkilendirilir (Tabrett, et al., 1996).

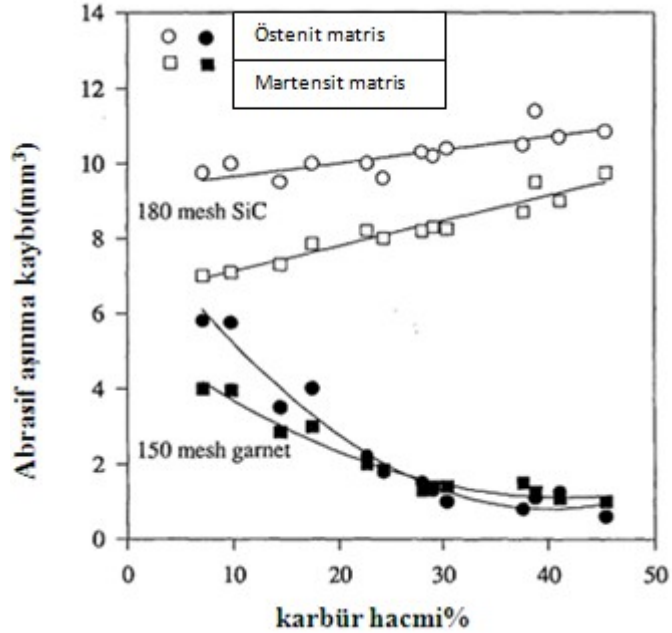


Şekil 3.2. Abrasif parçacık-matris ilişkisi ve matrisin rolü (Tabrett, et al., 1996).

Şekil 3.2’ de görüldüğü gibi matrisin görevi karbürlere mekanik destek sağlamaktır. Matrisin aşınması karbürleri mekanik destekten mahrum kalır ve kırılmaya eğilimli olur. Silikon karbür ve alümina gibi daha sert abrasiflerin kullanıldığı düşük gerilimli abrasyon altında, hem matris hem de karbürler abrasif parçacıklar tarafından aşındırılır. Karbürlerin bununla birlikte, aşınmaları daha büyük sertlikleri nedeniyle daha yavaştır. Matris bölgelerinde aşırı aşınma olması, karbürlerin aşınma hızı tarafından kontrol edilen tam bir aşınma meydana getirmez. Isıl işlem sırasında matris yapısının değiştirilmesinin düşük bir etkisi vardır. Çünkü bu durumdaki matrisin rolü karbürlere mekanik direnç sağlamaktır. Bu durumda, artan karbür hacmi, abrasyon direncini ötektik üstü alaşımlar için bile geliştirir. Bu sert parçacıklarla yapılan testteki aşınma hızının büyüklüğü, silika ve garnet kullanılanlardan 30 kata kadar çıkabilir (Tabrett, et al., 1996).

3.3 Beyaz dökme demirlerin aşınma özellikleri

Yüksek gerilmeli abrasif aşınma koşullar altında, karbür hacminin artış etkisi yeniden kullanılan abrasif malzeme türüne bağlıdır. Eğer yüksek kromlu dökme demirlerde M_7C_3 karbürden daha yumuşak olan garnet ya da silika abrasif malzeme olarak kullanılırsa, karbür hacmiyle birlikte aşınma direnci artar. Alumina veya silisyum karbür gibi daha sert abrasiflerin kullanılması durumunda, karbür hacminin artması aşınma direncinde küçük bir gelişmeye hatta azalmaya yol açar. Şekil 3.3' teki sonuçlarda görüldüğü gibi, abrasif aşınma ve karbür hacmi arasındaki ilişkinin abrasif etkisi ortaya konulmuştur. Karbürler içindeki daha sert abrasif oyukları parçalanmaya ve çukurluklara yol açar. Bu nedenle aşınma hızı artar. Ayrıca üç bünyeli aşınma durumlarında daha sert abrasiflerin karbürlerin içindeki oyuklar gibi olduğuna ve abrasiflerin karbür kırılması meydana getirdiğine inanılmaktadır. Her durumda, karbür hacminin artmasına bağlı olarak aşınma direnci düştüğünde, karbür parçalanması ve çatlaklarının meydana geldiği görülür (Tabrett, et al., 1996).



Şekil 3.3. Karbür hacmine bağlı olarak abrasif aşınma kaybı (Tabrett, et al., 1996).

Ötektik karbürlerin yöneliminin aynı zamanda aşınma performansını etkilediği gösterilmiştir. Aşınma yüzeyine dik olarak hizalanmış yapılar üzerine çalışan bazı araştırmacılar daha yüksek seviyede aşınma direnci rapor etmişlerdir. Bu karbür yöneliminin aşınma yüzeyine ilişkin olarak paralel veya rastgele karbon hizalanmasında etkili olduğuna inanılmaktadır. Ayrıca karbon yöneliminin matris tarafından karbürlere daha fazla takviye sağlayacağı düşünülmektedir. Karbür bitiş kısımlarının dikey yüzeylere göre daha sert bir yapıda olduğu ve bunun da aşınma direncini arttırdığı açıklanmıştır. Bununla birlikte, aşınma yüzeyine paralel hizalanan karbürlerin yüksek gerilimli abrasyon testlerinde yüksek aşınma direnci gösterdiği bulunmuştur. Aşınma sırasında, karbürlerin yüzey altındaki kırılmasının uzun eksene dik olduğu gözlemlenmiştir. Yüzey altındaki dikey hizalanmanın daha yaygın olması nedeniyle karbürlerin ayrılmasının (birbirlerinden kopmalarının) daha büyük abrasif aşınma kayıpları oluşturacağı düşünülmektedir (Tabrett, et al., 1996).

Aşınma üzerinde karbür karakteristiklerinin etkisi üzerine yapılan tartışmalardan, matrisin ilk görevi, karbürlere mekanik destek sağlamaktır. Bununla birlikte, bazı araştırmacılar matris rolünün daha karmaşık olabileceğini düşünmektedir. Matris etkisinin karbürler tarafından oluşturulan koruma derecesi ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Eğer karbürler matrisi abrasif parçacıklardan korursa, matrisin rolü sadece mekanik destek sağlamaktır. Bununla birlikte, eğer matris korunmazsa ve aşınma ile uzaklaştırılırsa, karbürler desteklenmemiş olabilir ve parçalanma ve kırılmalara karşı hassas olur. Bu noktada, matrisin aşınma direnci kritiktir, çünkü karbürlerin desteklenmediği kırılmaya maruz kaldığı yerde, aşınma hızını sözünü ettiğimiz abrasyon direnci kontrol eder (Tabrett, et al., 1996).

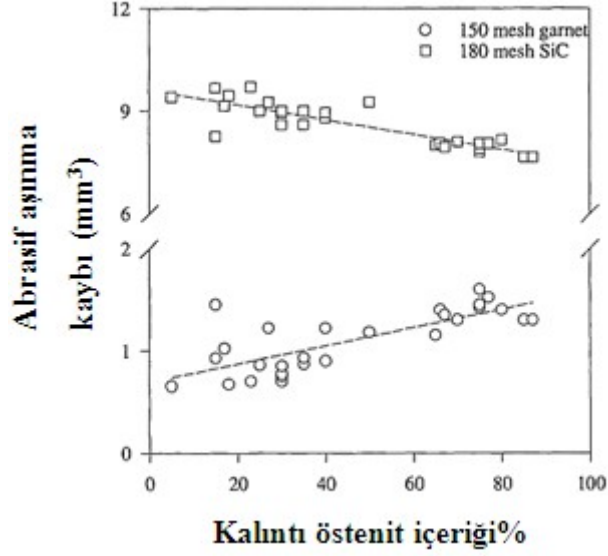
Çoğu aşınma sisteminde, östenitik matrisin, ısıl işlemlerle martenzitik matristen daha fazla aşınma direnci sağladığı görülmüştür. Bu üstün aşınma direnci sıklıkla östenitik matris içinde meydana gelen daha büyük sertleşmeden dolayı meydana geldiği ve martenzit içeriğine göre östenit içeriğinde daha büyük sertleşme ile sonuçlandığı düşünülmektedir. Aşınmayı takiben, östenitik matrisin mikrosertliğinde 400'den 900 HV' ye artış rapor edilmiştir. Östenitteki sertleştirme çalışmasının, östenitteki

dislokasyon etkileşimine ilaveten SIM (strain induced martenzite) oluşumu ile oluştuğu düşünülmektedir. Bununla birlikte, beyaz dökme demirlerdeki sertleştirme mekanizmasına dair çok az miktarda kanıt bulunmaktadır. SIM (gerilme ile uyarılmış martenzit) oluşumu, östenitteki dislokasyon hareketi ile beraber martenzit yapısının uyarılması yani indüklenmesidir. Bu oluşumun östenit matristeki aşınma direncini geliştirdiği düşünülmektedir (Tabrett, et al., 1996).

Özellikle aşınma sırasında SIM oluşumu üzerine yapılan çalışmalar, başka malzemeler için beyaz dökme demir alaşımlarında SIM oluşumunu ilerleten koşullarla ilgili bazı göstergeler vermiştir. Birkaç malzemede, östenit kararlılığını azalttığı (sıklıkla alaşım içeriği azalarak) ve uygulanan yüklerin arttığı ve bunun daha büyük SIM oluşumuna ve abrasyon direncini geliştirdiği görülmektedir. Beyaz dökme demirlerdeki üç bünyeli yüksek gerilmeli aşınma ve test çalışmalarındaki çizikler nedeniyle SIM oluşumuna dair kanıtlar yayınlanmıştır. Buna rağmen, alaşım içeriği etkisi üzerine sistematik çalışmalar yapılmamış ve SIM oluşumundaki ısıl işlem koşulları uygulanmamıştır (Tabrett, et al., 1996).

Pin aşınma testleri genellikle iki bünyeli yüksek gerilim aşınma dayanımını belirlemede kullanılır. Pin testlerinde kullanılan abrasif türüne bağlı olarak çok farklı trendler görülür. Bazı çalışmalarda, silisyum karbür veya alümina gibi sert abrasifler kullanıldığında, östenitik matris martenzitik matrise göre daha üstün durumda olur. Şekil 3.4' te bu durum gözlemlenmektedir. Bu pin aşınma sonuçları yükselen östenit miktarının abrasif olarak garnetli daha büyük aşınma hızlarına yol açar. Silisyum karbürün kullanıldığı testlerde, bununla birlikte, yükselen östenit içeriği abrasif kütle kaybının azaltmıştır. Bu sonuç, deneysel bir kanıt olmasa da, östenit matrisi içerisinde SIM oluşumuna yüklenmiştir. Araştırmacılar ayrıca aşınma direncini geliştiren daha büyük östenit sünekliği meydana geldiğini belirtmişlerdir (Tabrett, et al., 1996).

Şekil 3.4' te, abrasif olarak kullanılan malzemenin, kalıntı östenit miktarına bağlı olarak aşınma kaybını etkilediği görülmektedir.



Şekil 3.4. 19Cr-2,35Mo-2,9C alaşımında kalıntı östenite bağlı abrasif aşınma kaybı (Tabrett ve Sare, 1996).

Çoğu aşınma sisteminde, östenitik matrisin, ısıl işlemlenmiş martenzitik matristen daha fazla aşınma direnci sağladığı görülmüştür. Bu üstün aşınma direnci sıklıkla östenitik matris içinde meydana gelen daha büyük sertleşmeden dolayı meydana geldiği ve martenzit içeriğine göre östenit içeriğinde daha büyük sertleşme ile sonuçlandığı düşünülmektedir. Abrasyonu takiben, östenitik matrisin mikrosertliğinde 400'den 900 HV' ye artış rapor edilmiştir. Östenitteki sertleştirme çalışmasının, östenitteki dislokasyon etkileşimine ilaveten SIM oluşumu ile oluştuğu düşünülmektedir. Bununla birlikte, beyaz dökme demirlerdeki sertleştirme mekanizmasına dair çok az miktarda kanıt bulunmaktadır (Tabrett ve Sare, 1996).

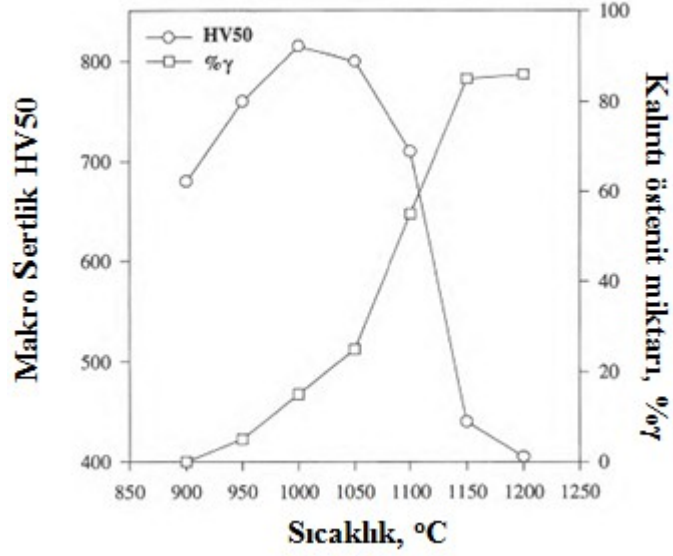
Sürtünme kayma veya yuvarlanma sırasında harekete karşı gösterilen dirençtir. Bu direnç bir katı cismin temas halinde başka bir katı ile yüzeysel hareketinde oluşur. Hareket yönünün tersindeki teğetsel direnç kuvvetine sürtünme kuvveti denir. Sürtünme, kuru ve sıvı sürtünme olmak üzere ikiye ayrılır. İki kuru yüzey hareket ettiğinde oluşan temas kuvvetlerinin teğetsel bileşenlerini anlatır. Sıvı sürtünme ise

birbirine göre farklı hızlarda hareket eden bir sıvı içinde bitişik tabakalar arasında oluşan temas kuvvetlerinin teğetsel bileşenini anlatır (Çelikyürek, 2006).

Havada soğutulmuş yapıda, en yüksek sertlikte optimum östenitleme (destabilizasyon) sıcaklığı için iki yöntem söz konusudur (Tabrett, et al., 1996).

- Daha yüksek sıcaklıklarda, östenitteki karbon çözünmesi daha fazladır ve bu durum karbür çökmesinde itici gücü (driving force) azaltır. Daha yüksek karbon matris daha düşük Ms sıcaklığıyla sonuçlanır ve havada soğutulan yapıda daha fazla kalıntı östeniti oluşturur (Tabrett ve Sare, 1996).
- Daha düşük sıcaklıklarda, karbür çökmesi daha geniş bir zaman aralığında gerçekleşir ve büyük ölçüde matristeki karbon içeriğini azaltır. Düşük seviyedeki karbon matrisi soğuma sırasında nispeten düşük sertlik meydana getirir (Tabrett ve Sare, 1996).

Bu karşı eğilimler araştırmacıların sonuçlarında yansıtılmıştır. Şekil 3.5' te destabilizasyon sıcaklığının östenit içeriği ve sertlik üzerindeki etkisi görülmektedir. Destabilizasyonu takiben mikroyapı, ısıl işlem sıcaklığına bağlı olarak çeşitlilik gösterir (Tabrett, et al., 1996).



Şekil 3.5. Destabilizasyon sıcaklığının sertlik ve kalıntı östenit üzerine etkisi (Tabrett, et al., 1996).

İkincil karbür çökmesi matristeki alaşım elementlerini tüketir ve bundan dolayı soğuma sırasında martenzitik matris oluşumu için östenitin karasızlaştırılması mümkündür. Çökelen karbür türü alaşım bileşimine ve östenitleme sıcaklığına bağlıdır. %15-20 Krom seviyesindeki alaşımlar, toplu çubuk ve tabaka oluşumu içerisinde M_7C_3 çökmesi görülürken, yüksek krom içeren kromların (>%25) ince bağlantılı çubuklar olarak $M_{23}C_6$ karbürü içerdiği görülmüştür. Döküm yapısındaki matris alaşım miktarının ölçerek ve yapısal Rivlin diyagramları kullanarak, araştırmacılar %18 ve %29 Kromlu beyaz dökme demirlerin içerisinde çökelen ikincil karbür türlerini başarıyla tahmin edebilmişlerdir (Tabrett, et al., 1996).

İkincil karbürler çoğunlukla östenitik bölgeler içerisinde kayma bantları veya tane sınırlarına çöker. Bu kayma bantları ve tane sınırları, ötektik karbürler ve matris arasındaki ısıl genleşme farklılığı tarafından oluşturulan gerilimler nedeniyle meydana gelir. Araştırmacılar ayrıca düşük Cr/C oranlı yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde, ikincil karbürler dendritler içerisinde muntazam bir şekilde çökelmiştir. Oysa ki, daha

yüksek Cr/C oranlı alaşımlarda çökeltme, tercihen ötektik karbürlere bitişik olarak meydana gelir (Tabrett, et al., 1996).

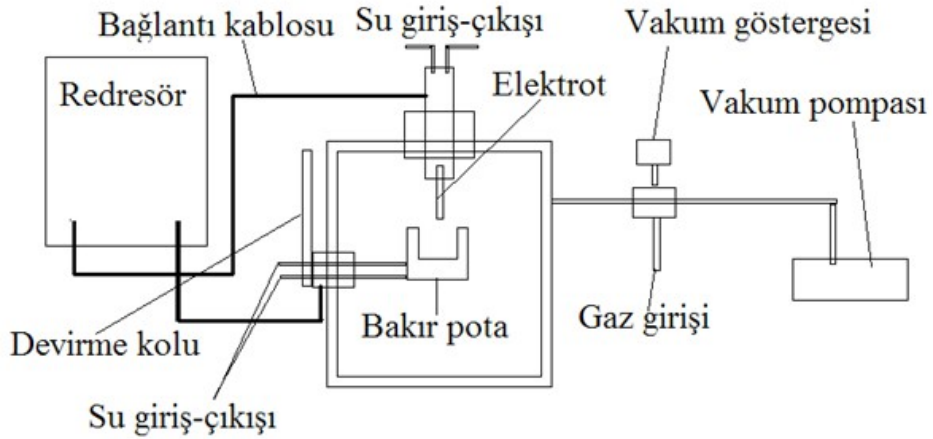
İkincil karbürler üzerine yapılan bazı çalışmalara göre, Powell ve Laird östenitleme sıcaklığında 15 dakika içerisinde çökeltmenin olduğunu, buna rağmen, bu sıcaklıkta beklemenin ikincil karbürleri büyüttüğünü gözlemlemişlerdir. Araştırmacılar, çökeltme başlangıcının daha hızlı ve 950 ve 1000 °C arasında 1 dakika içinde oluştuğunu fark etmişlerdir. Karbürler oluştuğunda, destabilizasyon sıcaklığında bekletme; ikincil karbürlerin sayısı, boyut ve alan kesrini artırır. 300 dakika üzerindeki bekletmeyle, Ostwald prosesi oluşur ve alan kesri artarken, ikincil karbür sayısı azalır. Araştırmacılar, 850 ve 1050 °C arasındaki östenitleme sıcaklığı için, matris bölgelerindeki ikincil karbürlerin alan kesri %9,5 ve %12 arasındadır. Isıtma sırasında östenitleme sıcaklığına kadar önemli miktarda karbür çökeltmesi görülmüştür. 24 saate kadar olan daha uzun bekleme sürelerinde karbür çökeltmesinde hafif bir artış söz konusudur. Araştırmacıların düşük karbon üzerine yaptığı çalışmada, östenitleme sıcaklığının 1075 °C üzerine çıkarılması dendiritler içindeki ikincil karbürlerdeki alan kesrinde düşüş meydana getirmiştir. 1150 °C ' deki östenitleme sıcaklığında alan kesri %2 civarındadır (Tabrett, et al., 1996).

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Deneysel Malzemeler

Deneylerde kullanılan yüksek kromlu beyaz dökme demir numuneler, kuşlama makinası türbin palelerinin argon atmosferinde vakum ark ocağında ergitilmesi ile $6\text{mm}\varnothing \times 100\text{ mmL}$ boyutlarında üretilmiştir. Döküm işlemi, Şekil 4.1’ de şematik gösterimdeki gibi gerçekleştirilmiştir. Ocak önce $2,2 \times 10^{-1}$ mbar’ a kadar vakumlanmış, sonra Argon gazı ile doldurularak ergitme yapılmıştır.



Şekil 4.1. Vakum ark ergitme ocağı şematik gösterimi.

Üretilen malzemelerin bileşimlerinin belirlendiği spektral analiz sonuçları Çizelge 4.1.’ de verilmektedir. Belirlenen malzeme bileşimi ASTM A532 standardına göre Sınıf II-B tipi malzeme grubundadır (Brow, 2000).

Çizelge 4.1. Yüksek kromlu beyaz dökme demirin kimyasal bileşimi.

Element	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Nb	Ti	V
% ağı.	75,41	2,66	0,98	0,66	0,16	0,05	17,86	1,05	0,66	0,109	0,036	0,011	0,039

Destabilizasyon işleminde kullanılacak numuneler, döküm sonrası Şekil 4.2’ de gösterilen Struers Discotom-5 kesme cihazında, 6 mmØ x 1.2 mm’lik boyutlarda kesilerek hazırlanmıştır.



Şekil 4.2. Struers Discotom-5 kesme cihazı.

4.1.1 Isıl işlem proseleri

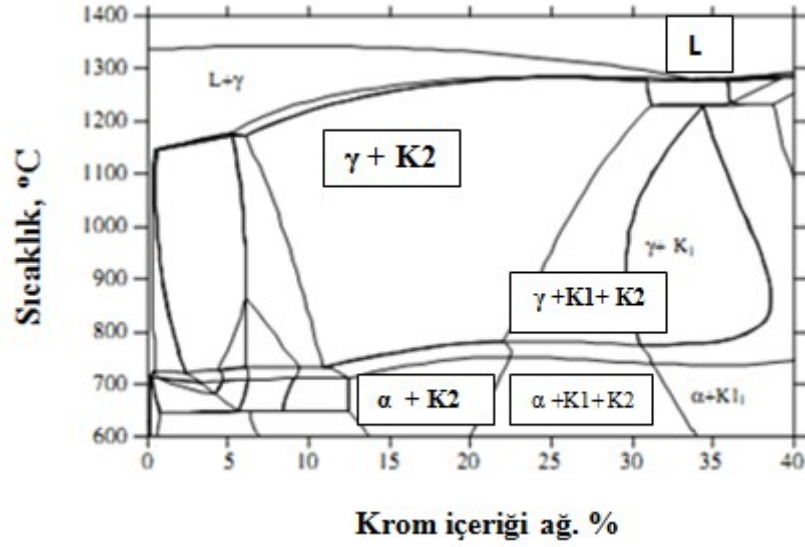
6 mmØ x 1,2 mm boyutlarında hazırlanan yüksek kromlu beyaz dökme demir numuneler, 200 °C/sa. hızda ısıtılarak 900 °C, 1000 °C ve 1100 °C sıcaklıklarda 2 saat fırında bekletilmiştir. Bu işlem Şekil 4.3’ te resmi verilen Heraeus marka açık atmosfer elektrik resistanlı fırında gerçekleştirilmiştir. Numuneler bu sıcaklıklarda 2 saat

bekletildikten sonra fırından çıkarılarak kuvvetli hava ile soğutulmuş ve 250 °C' de 1 saat temperlenmiştir.



Şekil 4.3. Isıl işlem fırını.

Şekil 4.4' te yüksek kromlu beyaz dökme demirin farklı krom ve karbon içeriklerine göre faz diyagramları görülmektedir. Çalışmada kullanılan %2,66 C içeriği ve %17,86 Cr içeriği şekil 4.4' e göre %15-20 Cr aralığındadır. Bu aralıkta bulunan yapının destabilizasyon öncesi ve sonrasında K2 diye belirtilen M_7C_3 karbür bileşimi olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 4.4. %2,5 C içerikli yüksek kromlu beyaz dökme demir denge faz diyagramı (K1: $M_{23}C_6$, K2: M_7C_3),(Li, et al., 2009)

4.1.2 Metalografik incelemeler

Yüksek kromlu beyaz dökme demir numunelerin döküm ve ısıl işlem sonrası oluşan yapısının metalografik incelemeleri, optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde kullanılan malzemelerin döküm ve destabilizasyon işlemi sonrası optik mikroyapı incelemeleri Nikon Eclipse L150 marka optik mikroskop kullanılarak gerçekleştirilmiştir. SEM mikroskobu incelemelerinde ZEISS SUPRA T 50 VP marka taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Taramalı elektron mikroskobu.

Numuneler mikroyapı incelemeleri öncesinde Struers Tegra Pol-21 marka cihazda (Şekil 4.6) MD Piano 600 zımpara ve MD Plus parlatma diskleri kullanılarak hazırlanmıştır.



Şekil 4.6. Otomatik zımparalama-parlatma cihazı.

Parlatma işleminden sonra numuneler, optik mikroskop ve SEM mikroyapı incelemeleri için Murakami dağlayıcısı (10 g KOH, 10 g $K_3Fe(CN)_6$ ve 100 ml saf su) ile dağlanarak hazırlanmıştır. Metalografik olarak hazırlanmış numunelerde ötektik karbür oranları optik mikroskoba bağlı görüntü analiz sisteminde Clemex Pro yazılımı kullanılarak belirlenmiştir. Karbürlerin morfolojik incelemeleri, 50 ml $FeCl_3$, 20 ml HCl ve 930 ml etanol karıştırılarak hazırlanan dağlayıcı ile matris yapının yüksek oranda aşınmasını sağlayan derin dağlama uygulanarak SEM’ da yapılmıştır.

4.1.3 X-Işını difraksiyon incelemeleri

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin yapısında bulunan fazların belirlenmesi için X-ışını difraksiyon (XRD) çalışmaları, Rigaku Rint 2000 model cihazda $Cu-K_{\alpha}$ ışınması kullanılarak yapılmıştır. XRD ölçümleri 30-100 2θ aralığında, 40 kV potansiyel fark ve 40.0 mA akım değerlerinde gerçekleştirilmiştir.

4.1.4 Sertlik ve aşınma deneyleri

Numunelerin makrosertlikleri Zwick marka test cihazı ile 150 kg toplam yük kullanılarak belirlenmiştir. Mikrosertlik ölçümleri, Future Tech FM-700 mikrosertlik test cihazı ile 200 g yükün 15 s uygulanması suretiyle gerçekleştirilmiştir. Sertlik değerleri 10 farklı ölçümün ortalaması alınarak belirlenmiştir.

Abrasif aşınma deneyleri Şekil 4.7’ de resmi verilen CSM marka test cihazında yapılmıştır. 6 mm çapta kesilen silindirik numuneler, numune tutucu aparat içine sabitlenmiş ve 32,74 mm çaplı çelik disk üzerine yapıştırılan 180 meşlik SiC abrasif aşındırıcı yüzeye 10 N yükte temas ettirilmiştir. Deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 4.8’ de verilmiştir. Abrasif aşındırıcı yüzeyine tam temasın sağlanabilmesi için

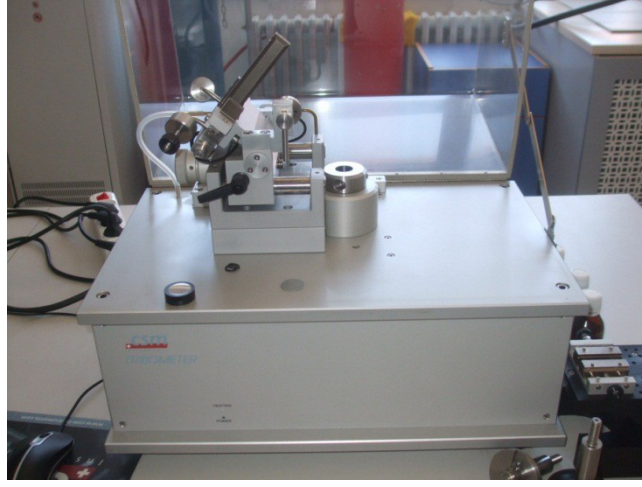
aşınma testleri öncesi numune yüzeyleri 800 meşlik zımpara kullanılarak düzgünleştirilmiştir. Aşınma deneyleri 30, 60 ve 90 cm/sn hızlarda toplam 1000 m aşınma mesafesinde gerçekleştirilmiştir. Numunelerin yeni, aşınmamış partiküllerle aşındırılmasının sağlanabilmesi için her 100 m' de SiC zımpara kağıtları yenilenmiştir. Her 100 m sonunda numuneler $\pm 0,0001$ g hassasiyette tartılarak aşınma kayıpları belirlenmiştir. Aşınma deney sonuçlarının belirlenmesinde her test koşulunda gerçekleştirilen üç deneyin ortalaması alınmıştır.

Numunelerin spesifik aşınma hızları aşağıdaki formül kullanılarak belirlenmiştir.

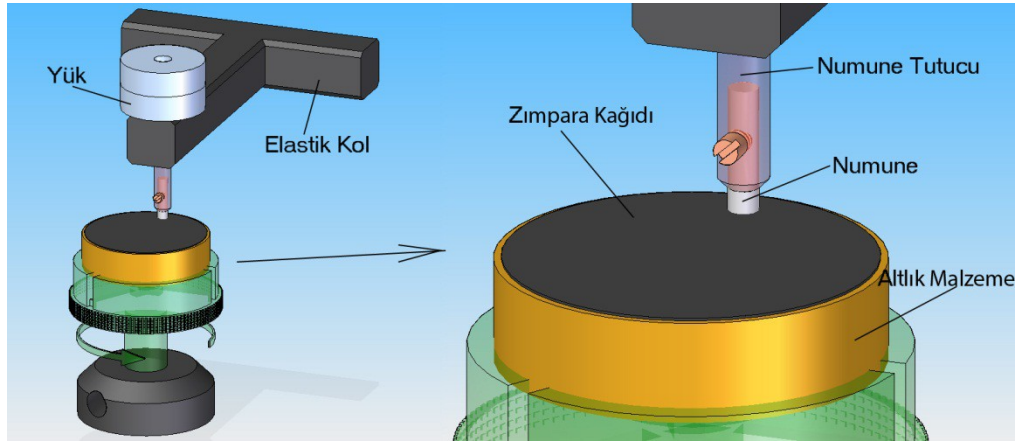
$$K = \Delta m / (\rho L F) \dots\dots\dots (1)$$

Burada Δm ; ağırlık kaybı, ρ ; yoğunluk ($7,7 \text{ g/cm}^3$), F_N uygulanan yük ve L ise toplam aşınma mesafesini ifade etmektedir.

Aşınma yüzeyleri SEM kullanılarak incelenmiştir.



Şekil 4.7. Aşınma cihazı.



Şekil 4.8. Aşınma deney düzeneği şematik gösterimi.

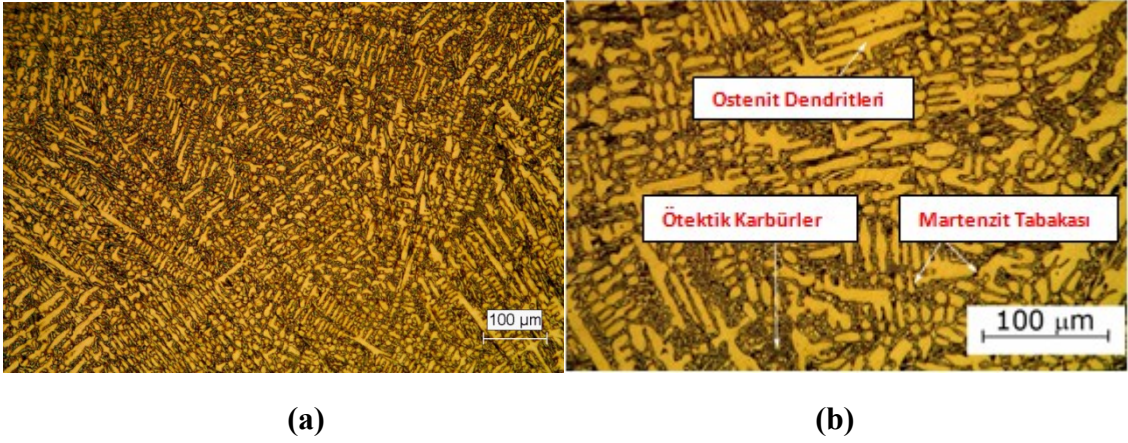
BÖLÜM 5

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMALAR

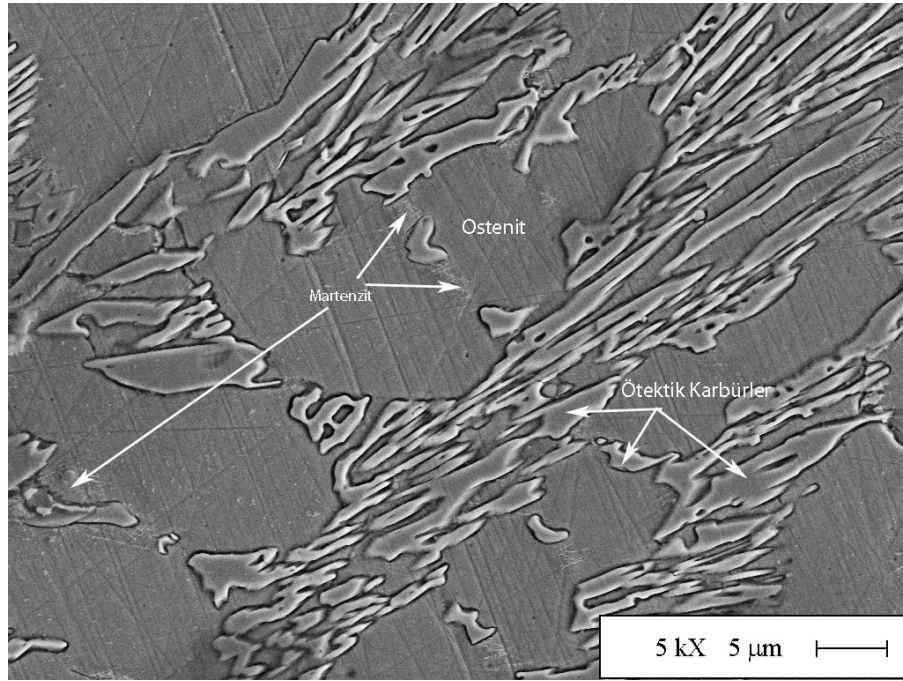
5.1 Metalografi

Vakum ark ergitme yöntemi ile üretilen yüksek kromlu beyaz dökme demir malzemenin ısı işlem öncesi döküm durumunun optik mikroskop görüntüsü Şekil 5.1’de verilmektedir. Yüksek kromlu beyaz dökme demir Fe-C-Cr faz diyagramının ötektik öncesi bileşimindedir ve mikroyapısı da bu bileşimdeki malzemenin görüntüsünü yansıtmaktadır. Mikroyapı östenit dendritlerinin yanında karbür, östenit dendritleri ve martenzit tabakası içermektedir. Optik mikroskop görüntüsünde net olarak ayırt edilememekle birlikte, Şekil 5.2’deki SEM görüntüsünden anlaşılacağı üzere, ötektik bölgede matriks/karbür ara yüzeylerinde bir miktar östenitten martenzite dönüşüm görülmektedir.

Literatürde, bu bileşimdeki malzemelerin katılaşmaları esnasında oluşan fazların aydınlatıldığı çalışmalar mevcuttur (Doğan, et al., 1997, Tabrett, et al., 1996, Laird, et al., 1991, Powell and Laird, 1992). Bunlara göre, katılaşma östenit dendritlerinin oluşumu ile başlar ve ötektik sıcaklığa ulaşıldığında ötektik reaksiyon gerçekleşerek karbür ve östenitlerin ötektik karışımları meydana gelir. Ötektik katılaşma esnasında ötektik karbürler, C ve alaşım elementlerini östenitten absorbe ederek karbür/östenit ara yüzeyinde alaşım elementlerince fakir bir bölge oluşmasına neden olur. Bu bölgelerde C ve alaşım elementlerince fakirleşme martenzit başlangıç (M_s) sıcaklığının yükselmesine ve bu da soğuma esnasında östenitten martenzite dönüşümün sağlanmasına neden olur. Bu durum, yapılan çalışmada elde edilen sonuçlarla uyum göstermektedir.

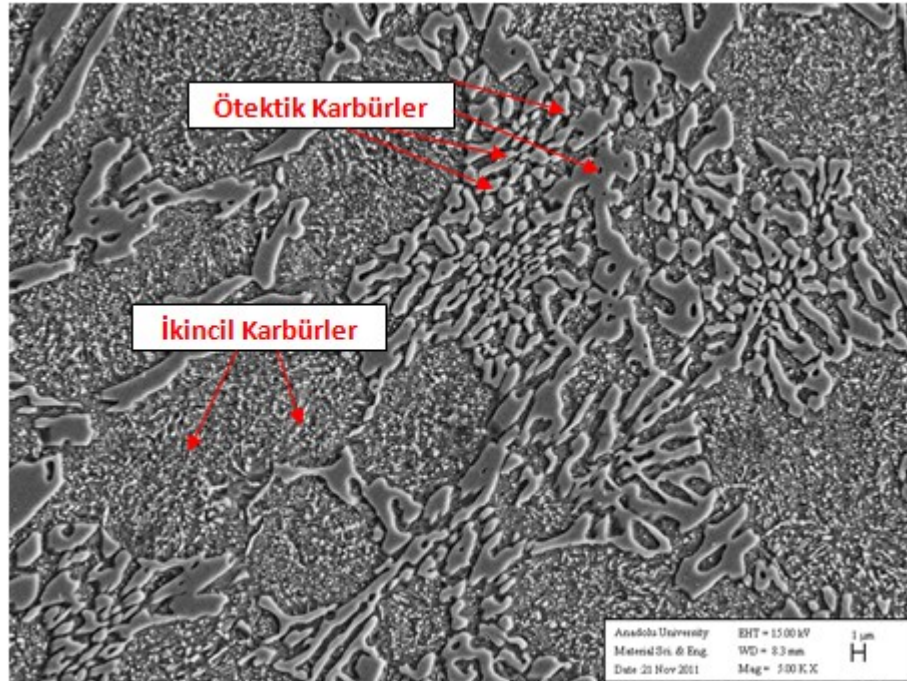


Şekil 5.1. Yüksek kromlu beyaz dökme demirin döküm durumunun optik mikroyapı görüntüleri, a) 100x, b) 200x.

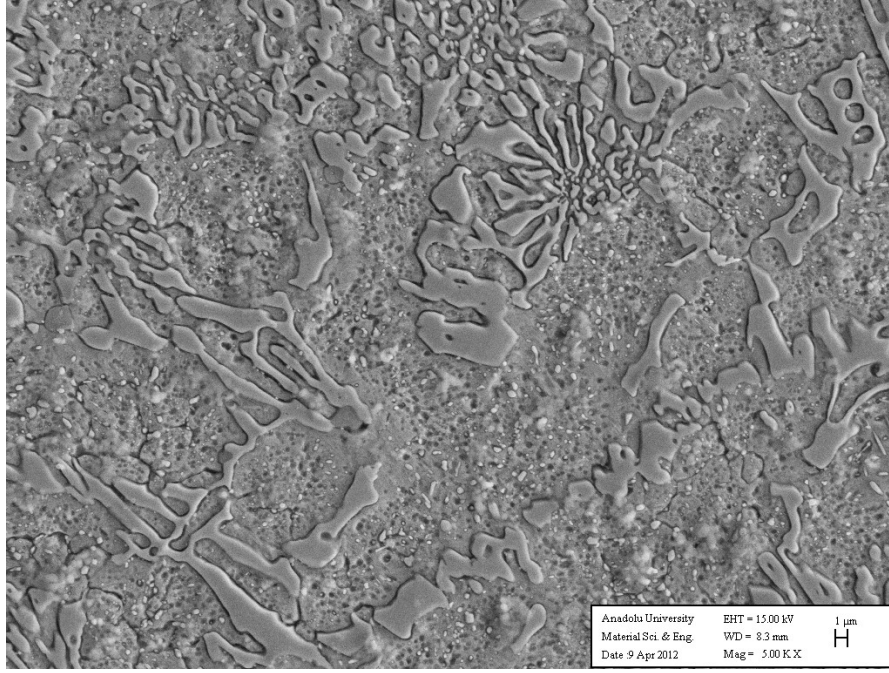


Şekil 5.2. Yüksek kromlu beyaz dökme demirin döküm durumunun 5000X SEM görüntüsü.

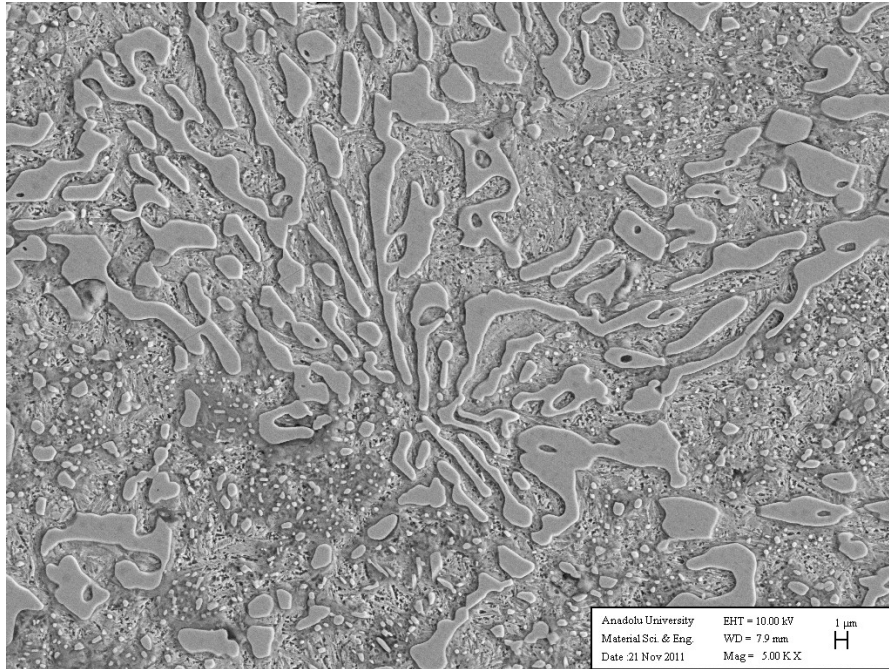
Şekil 5.3' te 900 °C' de destabilizasyon işlemi uygulanmış numunenin, Şekil 5.4' te 1000 °C' de ve Şekil 5.5' te ise 1100 °C' de destabilizasyon işlemi uygulanmış numunenin SEM mikro yapı fotoğrafları verilmektedir. Uygulanan destabilizasyon işlemi ile mikroyapıda meydana gelen değişiklik açıkça görülmektedir. Destabilizasyon işlemi sonunda mikroyapı, martenzitik matris, ötektik karbürler ve ikincil karbürlerden oluşmaktadır. SEM görüntülerinden ayırt edilememesine rağmen XRD incelemeleri ile varlığı kanıtlanan bir miktar kalıntı östenit de yapıda bulunmaktadır. Destabilizasyon işlemi östenitik matrisin martenzite dönüşmesinin yanında matris içinde ikincil karbürler çökmesini sağlamaktadır. Bunun yanı sıra destabilizasyon işleminin ötektik karbürlerin yapısına etki etmediği de görüntülerden anlaşılmaktadır. Şekil 5.3' ten açıkça görüleceği üzere 900 °C destabilizasyon işlemi sonrası ikincil karbürler oldukça ince boyutta ve oldukça homojen dağılımdadır. Destabilizasyon sıcaklığının artması ile ikincil karbürlerin irileştiği ve miktarlarının azaldığı gözlenmektedir (Şekil 5.4-5).



Şekil 5.3. 900 °C' de destabilize edilmiş yüksek kromlu beyaz dökme demirin 5000X SEM görüntüsü.

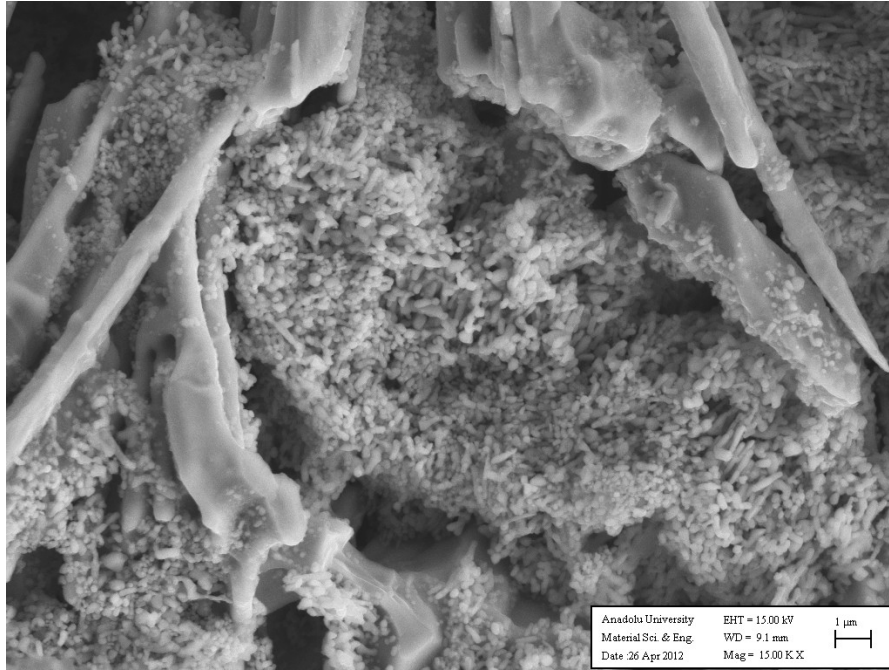


Şekil 5.4. 1000 °C’ de destabilize edilmiş yüksek kromlu beyaz dökme demirin 5000X SEM görüntüsü.

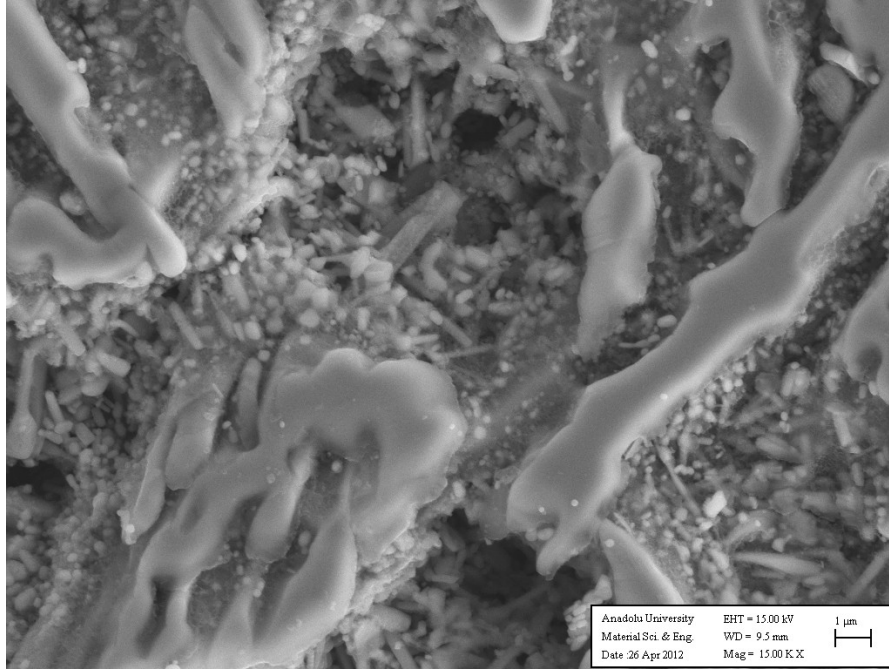


Şekil 5.5. 1100 °C’ de destabilize edilmiş yüksek kromlu beyaz dökme demirin 5000X SEM görüntüsü.

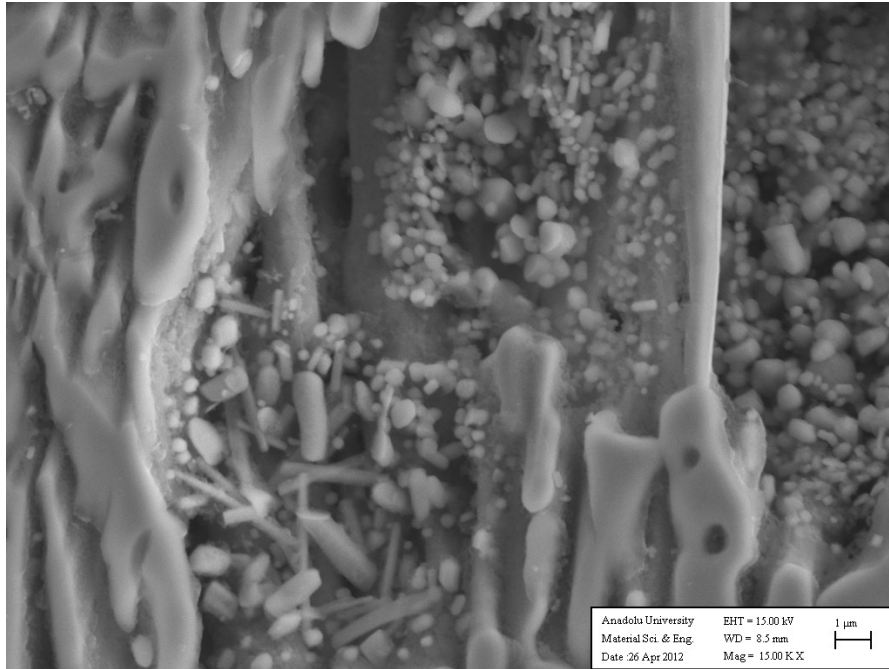
Çökelen ikincil karbürlerin morfolojik incelemeleri, derin dağlanmış numunelerin SEM mikroyapı fotoğrafları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 900, 1000 ve 1100 °C’ de detabilizasyon işlemi uygulanmış numunelerin derin dağlama sonrası SEM mikroyapı fotoğrafları sırasıyla, Şekil 5.6-8’ de verilmektedir. Şekil 5.6’ da, 900 °C’ de uygulanan destabilizasyon işlemi sonrası ikincil karbürlerin aglomerasyonu dikkat çekmektedir. Aynı zamanda ikincil karbürler plaka ve süreksiz çubuk karışımı şeklindedir. Sıcaklığın 1000 ve 1100 °C sıcaklığa artırılması sonrasında ikincil karbürlerde irileşme ve miktarlarında da azalma görülmektedir (Şekil 5.7-8). Bu bulgular literatürle uyum göstermektedir (Powell and Laird, 1992, Karantzalis et al., 2009).



Şekil 5.6. 900 °C’ de destabilize edilmiş yüksek kromlu beyaz dökme demirin 5000X SEM görüntüsü (derin dağlanmış).

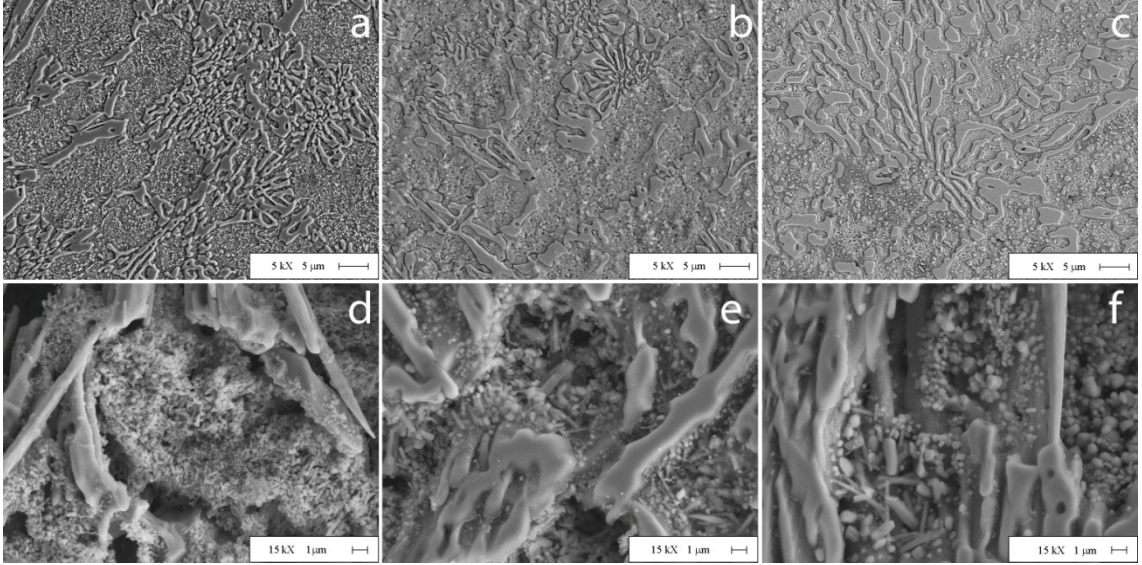


Şekil 5.7. 1000 °C’ de destabilize edilmiş yüksek kromlu beyaz dökme demirin 5000X SEM görüntüsü (derin dağlanmış).



Şekil 5.8. 1100 °C’ de destabilize edilmiş yüksek kromlu beyaz dökme demirin 5000X SEM görüntüsü (derin dağlanmış).

Farklı sıcaklıklarda uygulanan destabilizasyon işlemleri sonunda yapıda meydana gelen değişimlerin açıkça görülebilmesi için, normal ve derin dağlanmış numunelerin SEM mikroyapı fotoğrafları toplu olarak Şekil 5.9’ da verilmiştir.



Şekil 5.9. 900, 1000 ve 1100 °C’ de destabilize edilmiş yüksek kromlu beyaz dökme demirin 5000X SEM görüntüleri; a, b, c Murakami dağlayıcısı, d, e, f ise derin dağlama ile elde edilen görüntüleri yansıtmaktadır.

Yüksek kromlu beyaz dökme demirin döküm ve destabilizasyon işlemi uygulanmış durumları için yapıda karbür miktarları, metalografik tekniklerle hazırlanan numunelerin görüntü analizöründe yapılan incelemeleri neticesinde elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1’ de verilmektedir. Diğer yandan, karbür miktarı aşağıdaki eşitlik kullanılarak da hesaplanabilir (Bedolla, et al., 2005).

$$\%CVF = 12,33(\%C) + 0,5(\%Cr) - 15,2 \dots\dots\dots (2)$$

Bu çalışmada kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi dikkate alınarak, eşitliğin kullanılarak yapılan hesaplama neticesinde karbür miktarının 27,42 olması gerektiği görülmektedir. Çizelge 5.1’ de metalografik teknikler kullanılarak yapılan ölçümler sonucunda elde edilen döküm malzemenin karbür miktarı 27,59 ile bu değere oldukça yakındır. Bu da metalografik tekniklerin karbürlerin miktarlarının hesaplanmasında sağlıklı biçimde kullanılabileceğini göstermektedir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken en önemli konu uygun dağlayıcıların dikkatlice seçilmiş ve dağlamının doğru bir şekilde uygulanmış olması gerekliliğidir. Diğer yandan metalografik tekniğin düşük miktarlarda fazların miktarlarının belirlenmesinde çok da elverişli olmayacağıdır. Destabilizasyon sıcaklığının artışı ile birlikte karbür miktarındaki artış, ısıl işlem sonrası meydana gelen ikincil karbür oluşumundan ileri gelmektedir.

Çizelge 5.1. Numunelerin metalografik yöntemlerle belirlenen karbür miktarları.

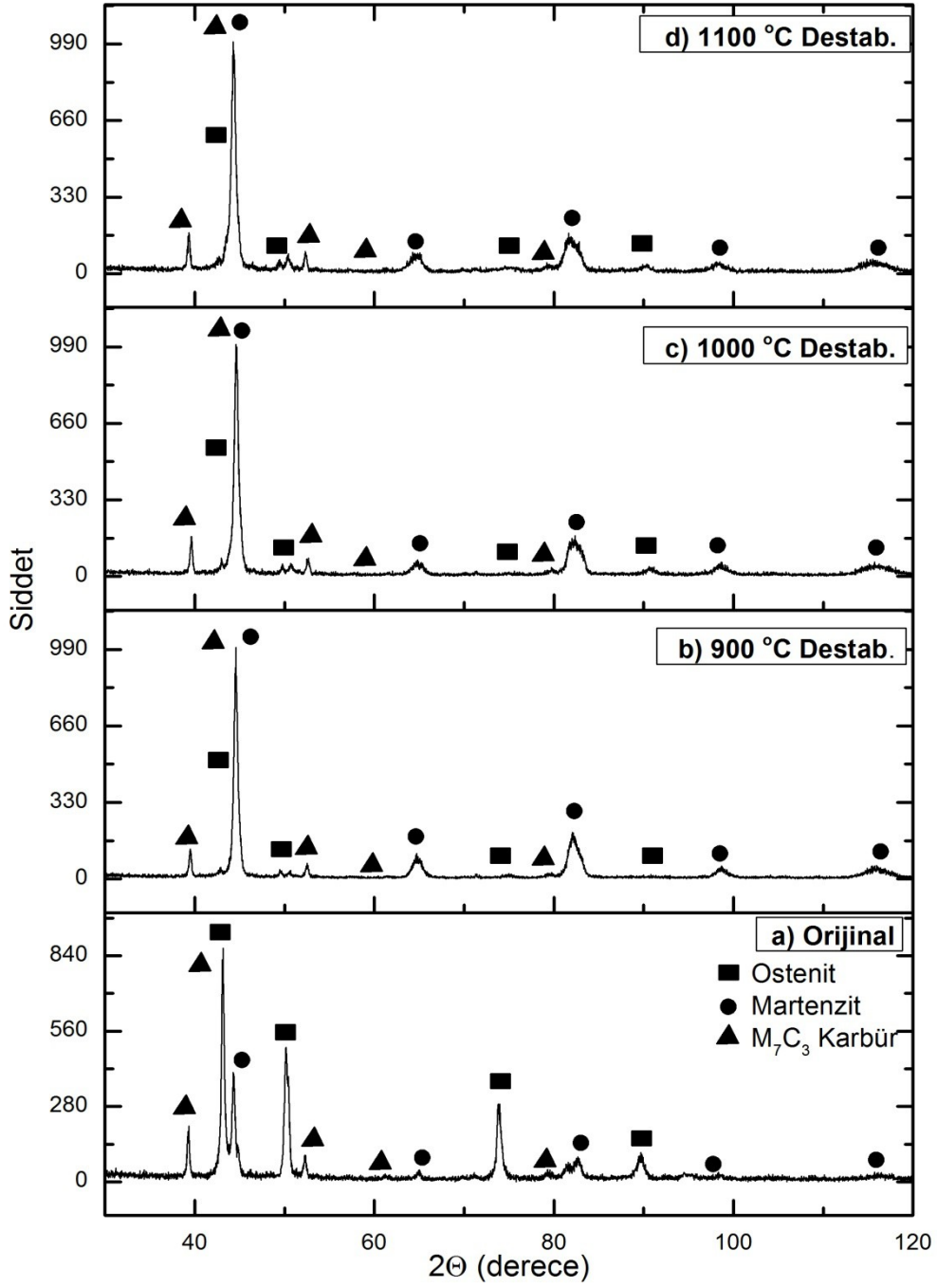
Numune→	Döküm	900 °C Destabilizasyon	1000 °C Destabilizasyon	1100 °C Destabilizasyon
M_7C_3	27,59	32,19	33,80	29,09
Miktar (%)				

5.2 X-Işını Difraksiyonu İncelemeleri

Şekil 5.10’ da yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin döküm ve uygulanan destabilizasyon işlemleri sonunda alınan XRD paternleri verilmektedir. XRD paternleri incelendiğinde, öncelikle döküm durumu ile 900, 1000 ve 1100 °C’ lerde stabilize edilmiş numunelerin yapısında bulunan fazlara ait piklerin farklılaşması dikkat çekmektedir. Şekil 5.10 (a)’ da görüldüğü üzere yüksek kromlu beyaz dökme demir döküm durumunda büyük miktarda östenit fazı ile birlikte M_7C_3 karbürlerini ve az

miktarda martenzit fazını içermektedir. Şekil 5.10 (b)' den görülebileceği üzere, 900°C' de yapılan destabilizasyon işlemi sonunda östenitin büyük kısmı martenzite dönüşmüştür. Bunun yanında yapıda az miktarda martenzite dönüşmeyen östenitin bulunduğu belirlenmiştir. Destabilizasyon işlemi sonunda çökelen ikincil karbürlere ait fazlar incelendiğinde, karbürlerin $M_{23}C_6$ veya M_2C türlerini içermeyen, M_7C_3 bileşiminde olduğu görülmektedir. Powell ve Laird' in yaptığı çalışmada Cr/C oranının 6,8' den düşük olması durumunda yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde, sadece M_7C_3 tipi karbürler çökeleceğini belirlemişlerdir. Bu açıdan, destabilizasyon işlemi sonucunda belirlenen karbür fazlarının bileşimlerinin doğru olarak belirlendiği görülmektedir.

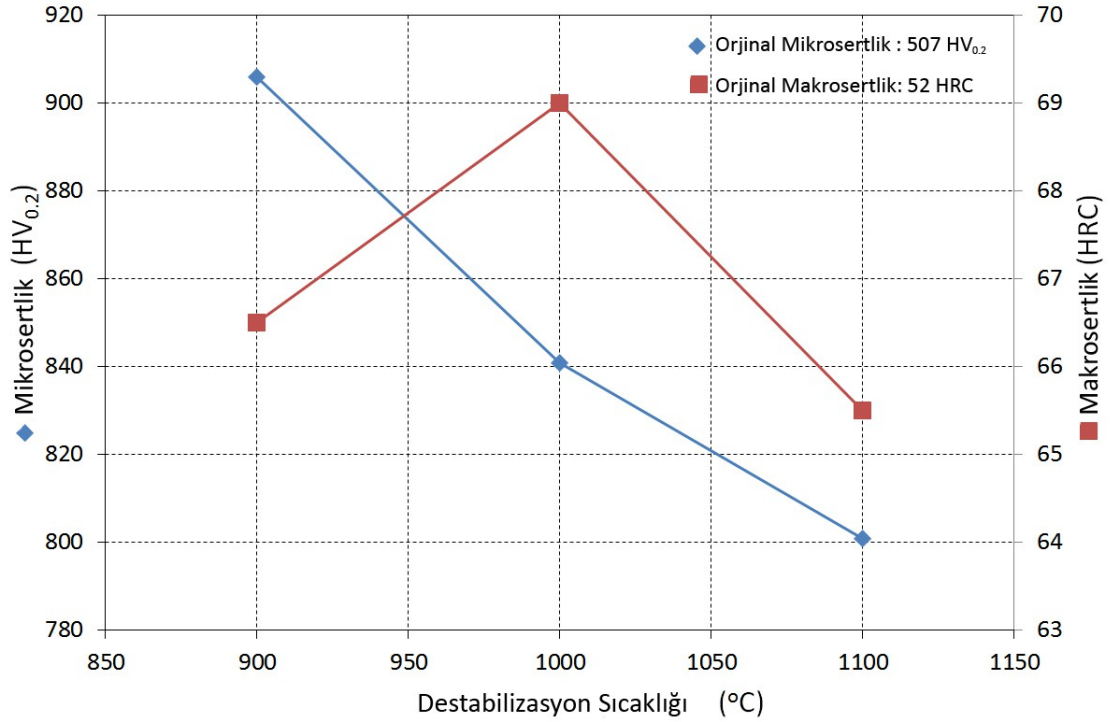
Şekil 5.10 (c-d)' de artan destabilizasyon işlem sıcaklığı ile kalıntı östenit miktarlarındaki artış dikkat çekmektedir. Bunun nedeni, literatürde destabilizasyon işleminin yapıda bulunan fazlara olan etkisinin incelendiği çalışmalarda ayrıntılı olarak açıklanmaktadır (Tabrett, et al., 1996). Buna göre, destabilizasyon işlem sıcaklığının artması östenitteki karbon çözünürlüğünü arttırmaktadır. Östenitin karbon çözünürlüğünün artmasına bağlı olarak da karbürlerin çökmesi azalmakta ve M_s sıcaklığı düşmektedir. Böylelikle artan destabilizasyon sıcaklığı kalıntı östenit miktarının artmasına neden olmaktadır. Bu durum yapılan çalışmada elde edilen sonuçlarla uyum göstermektedir.



Şekil 5.10. Yüksek kromlu beyaz dökme demirin XRD diyagramları; a) orijinal, b) 900 °C, c) 1000 °C ve d) 1100 °C’ de stabilize edilmiş.

5.3 Sertlik ve Aşınma

Şekil 5.11’ de destabilizasyon işleminin numunelerin sertliklerine olan etkileri verilmektedir. Buna göre destabilizasyon işlemleri sonucunda numunelerin sertlik değerleri döküm durumlarına göre oldukça artmaktadır. Bu destabilizasyon neticesinde östenitin martenzite dönüşmesi ve ikincil karbürlerin çökmesi açısından beklenen bir durumdur.



Şekil 5.11. Destabilizasyon sıcaklığının makro ve mikrosertliğe etkisi.

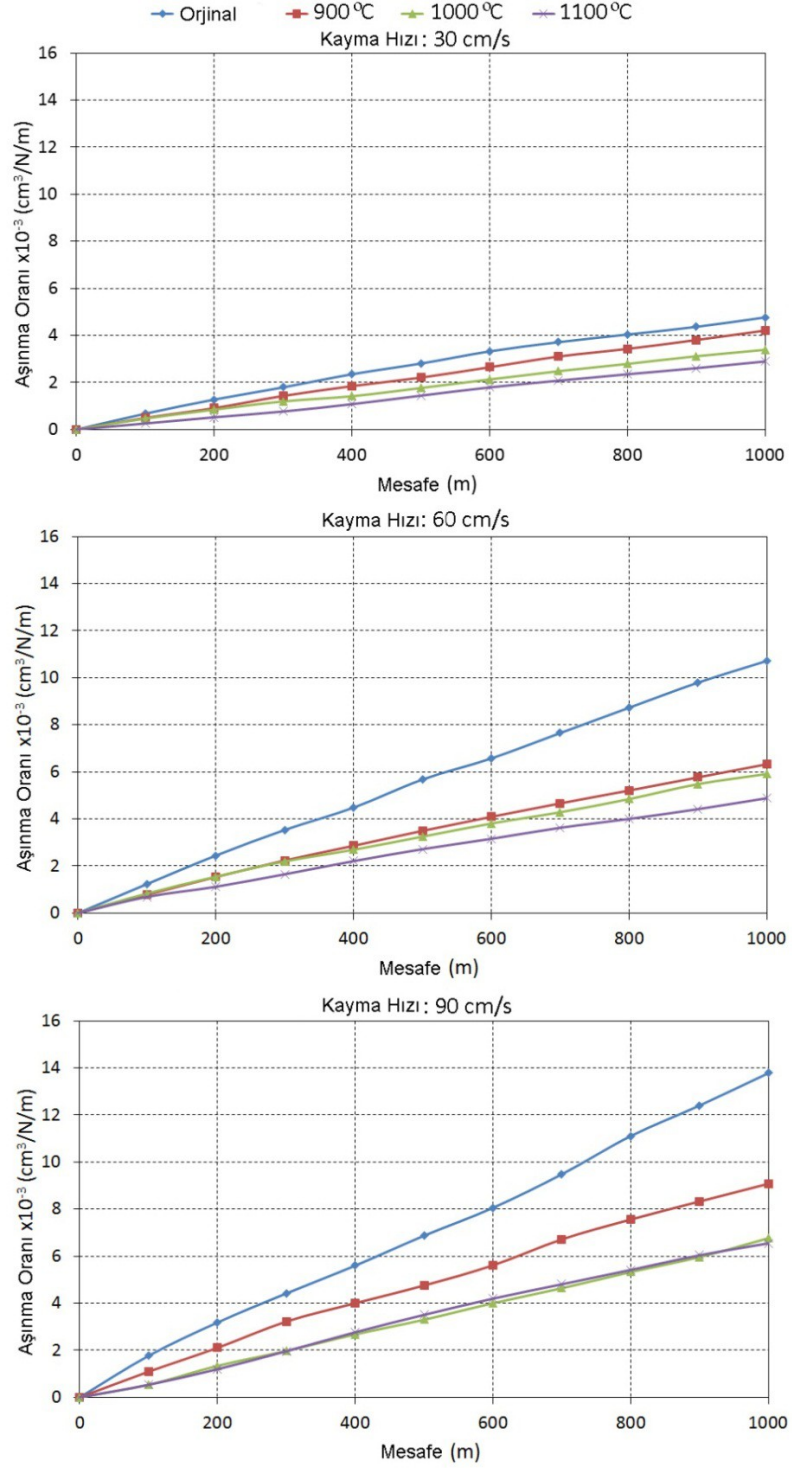
Yüksek kromlu beyaz dökme demir döküm durumunda 52 HRC makrosertliğe sahiptir. 900 ve 1000 °C’ de uygulanan destabilizasyon işlemleri sonucunda sertliğin arttığı, 1100 °C’ de uygulanan destabilizasyon işlemleri sonucunda ise 900 °C’ ye ve 1000 °C’ ye göre düştüğü görülmektedir. Sertlikteki düşüşün esas nedeninin artan

sıcaklıkla ikincil karbürlerin irileşmesi ve kalıntı östenit miktarının artması olduğu düşünülmektedir. Ayrıca 1100 °C de daha önceden çökelen ikincil karbürlerin bir kısmının yapıda çözündüğü optik metalografi incelemelerinden elde edilen karbür miktarlarından da görülmektedir. Mikrosertlik değerlerindeki azalmada da bu durumun etkili olduğu söylenebilir.

Şekil 5.12' de farklı hızlarda yapılan aşınma deneyleri sonucunda elde edilen aşınma miktarları görülmektedir. Destabilize edilmiş numunelerin tümü, döküm numuneye göre daha az aşınma miktarlarına sahiptir. Destabilizasyon işlemi ile ikincil karbürlerin çökmesi ve östenit yapıdan martenzite olan dönüşüm aşınma direncinin artması ile sonuçlanmıştır. Destabilizasyon işlem sıcaklığının 900 °C' den 1000 °C' ye yükseltilmesi sonucunda sertlik değerinin de arttığı göz önüne alındığında aşınma miktarının azalması beklenen bir durumdur. Ancak 1100 °C' de destabilize edilmiş numunenin sertlik değerinin düşük olmasına rağmen aşınma miktarının da azalması başka bir açıdan açıklanmalıdır. Yüksek kromlu beyaz dökme demirin aşınma davranışını belirleyen temel etkenlerin yapıda bulunan sert fazların yanı sıra tokluğu arttıran daha yumuşak fazlar olduğu bilinmektedir. Bu açıdan 1100 °C' de destabilize edilmiş numunenin yapısında bulunan östenitin, aşınma esnasında kopan karbürleri tutarak çatlak ilerlemesini engellediği düşünülebilir. Ayrıca durum, SIM (strain induced martensite-gerilimle uyarılmış martenzit) oluşumu ile ilişkilendirilebilir. Bu mekanizmada, östenit yapıda gerilimle meydana gelen dislokasyon hareketleri sonrası oluşan martenzit yapısı aşınma direncini arttırmaktadır. Artan kalıntı östenit miktarı ile aşınma kaybında azalmaların gözlendiği çalışmalar literatürde mevcuttur (Tabrett and Sare, 1998). Yapılan farklı bir çalışma da bu tezi desteklemektedir (Coronado and Sinatora, 2009). Araştırmacılara göre, martenzit yapı içindeki kalıntı östenitte aşınma sırasında gerilme sertleşmesinin meydana gelmesi sert parçacıklarla oluşan aşınmaya karşı direnci arttırmaktadır.

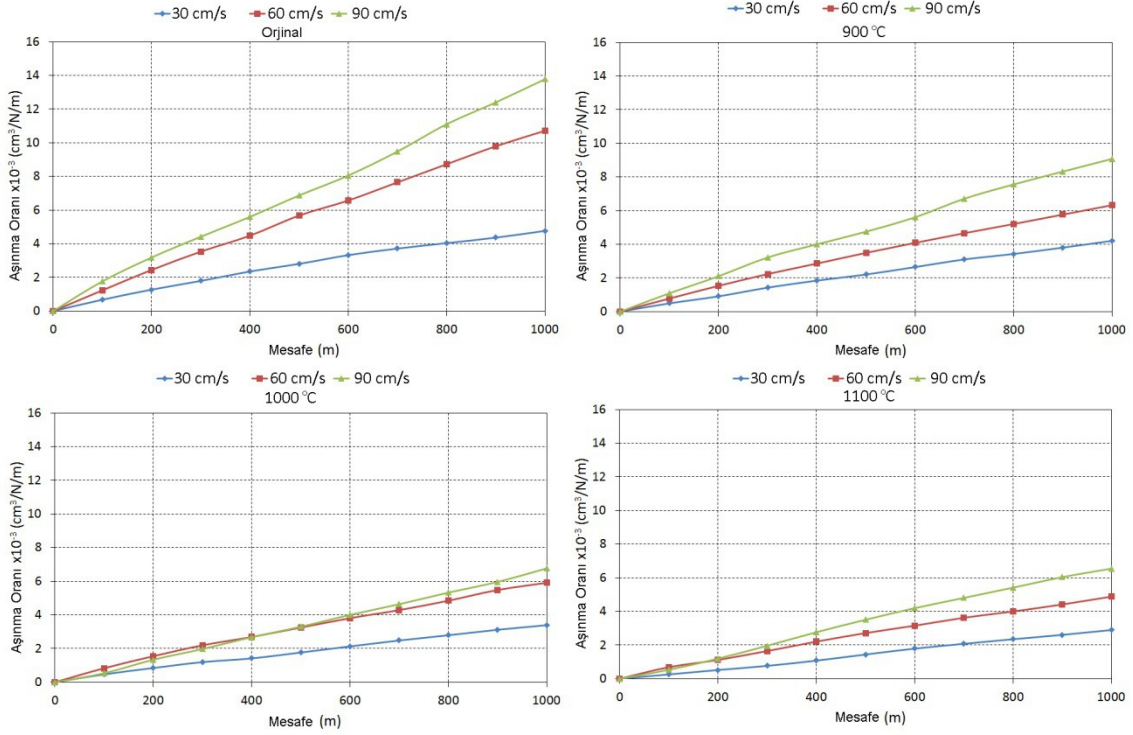
90 cm/sn hızda yapılan aşınma deneylerinde ise 1100 °C' de destabilize edilmiş numunenin aşınma direncinin azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni ise, yüksek hızlarda

yapıda bulunan kalıntı östenitin bahsedilen davranışı artık sergileyemeyerek yırtılması olarak açıklanabilir.



Şekil 5.12. Kayma mesafesine bağlı olarak farklı kayma hızlarındaki aşınma oranları.

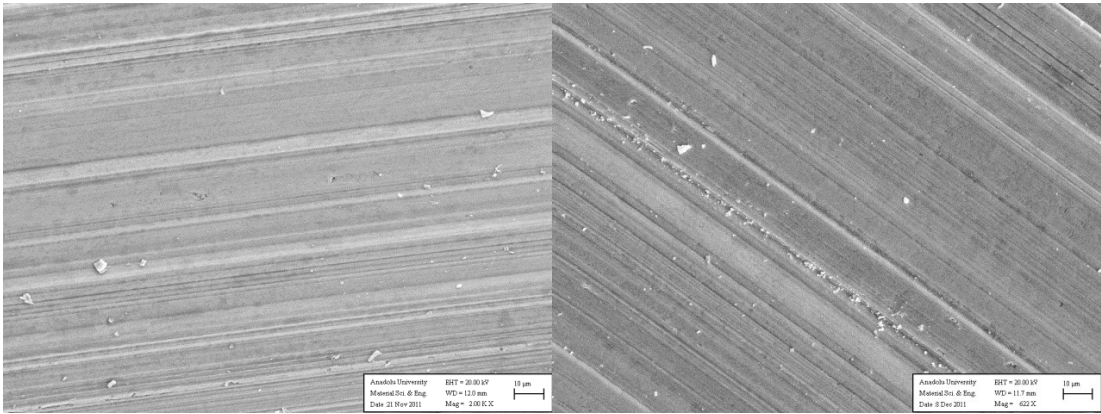
Kayma hızlarının aşınma davranışına olan etkileri Şekil 5.13’ de verilmektedir. Kayma hızlarındaki artışa bağlı olarak numunelerin tümünde, beklenildiği üzere aşınma miktarlarının arttığı görülmektedir.



Şekil 5.13. Farklı kayma hızlarında aşınma miktarlarındaki değişim.

Şekil 5.14-17’ de farklı hızlarda yapılan aşınma testleri sonucunda numunelerin SEM mikroyapı fotoğrafları verilmektedir. Görüntüler incelendiğinde, aşınma sonucu oluşan izlerin daha yüksek sıcaklıklarda destabilizasyon işlemine tabi tutulan numunelerde daha az olduğu görülmektedir. Numunelerin tümünde aşınma hızının artmasıyla birlikte artan aşınma miktarları dikkat çekmektedir. Şekil 5.14’ te aşınma hızının artması ile birlikte döküm numunedeki aşınma yarıklarında belirginleşme ve kopan karbür parçalarındaki artış göze çarpmaktadır. Şekil 5.15-17’ de 30cm/sn’ deki aşınma hızları incelendiğinde 900 °C’ deki aşınma derinliğinin 1000 °C ve 1100 °C’ deki aşınma derinliklerinden daha fazla olduğu gözlemlenmektedir. Bunun sebebi, 900

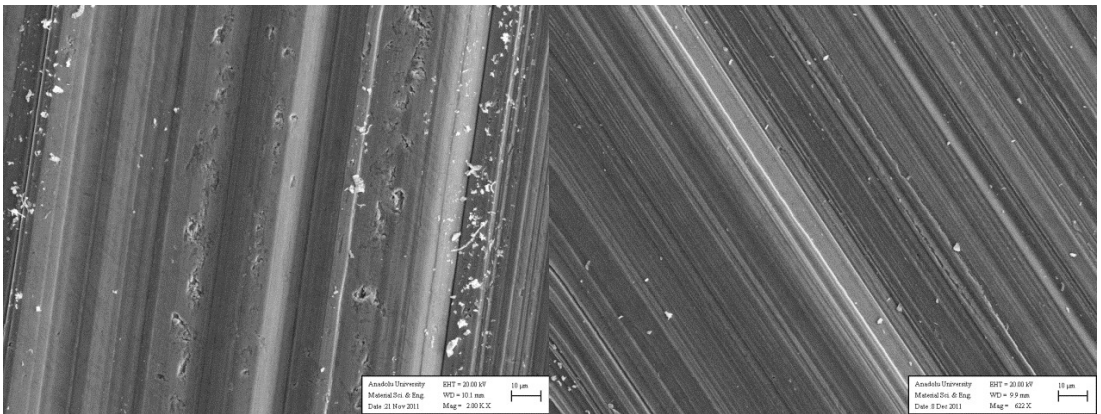
°C’ de abrasif aşınma sırasında kopan karbürlerin yeterli sertlikte olmayan östenit matrisini daha derin aşındırdığı düşünülmektedir. 1000 °C ve 1100 °C’ lerde aşınma çizgileri homojenlik göstermiş, parça kopmalarında azalma olduğu ve daha pürüzsüz bir yüzeyin meydana geldiği belirlenmiştir. Aşınma çizgilerindeki homojenlik, numuneler üzerinde sertlik dağılımının orantılı olduğunu da göstermektedir.



(a)

(b)

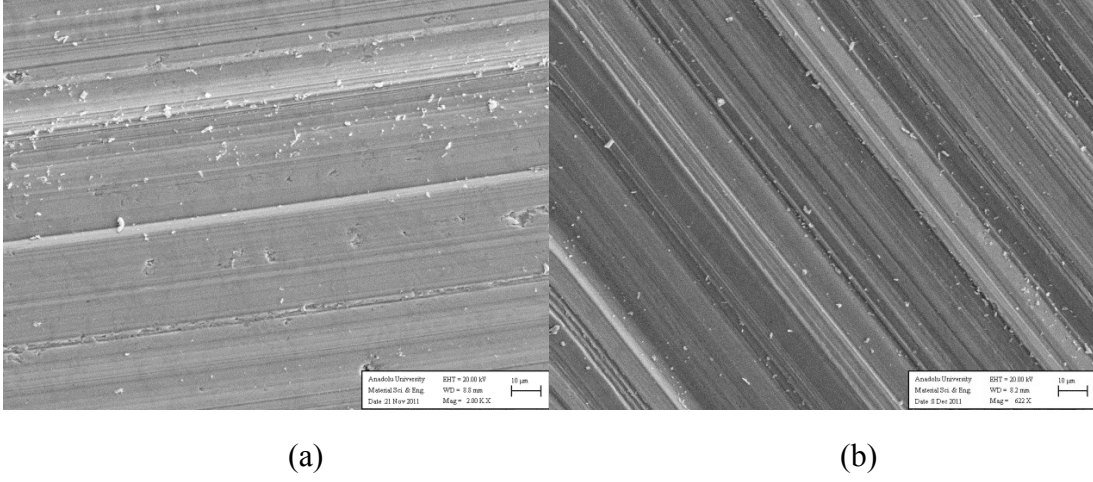
Şekil 5.14. Döküm numunenin aşınma sonucu oluşan 2000X SEM görüntüsü; a) 30cm/sn, b) 60 cm/sn hızda aşınma.



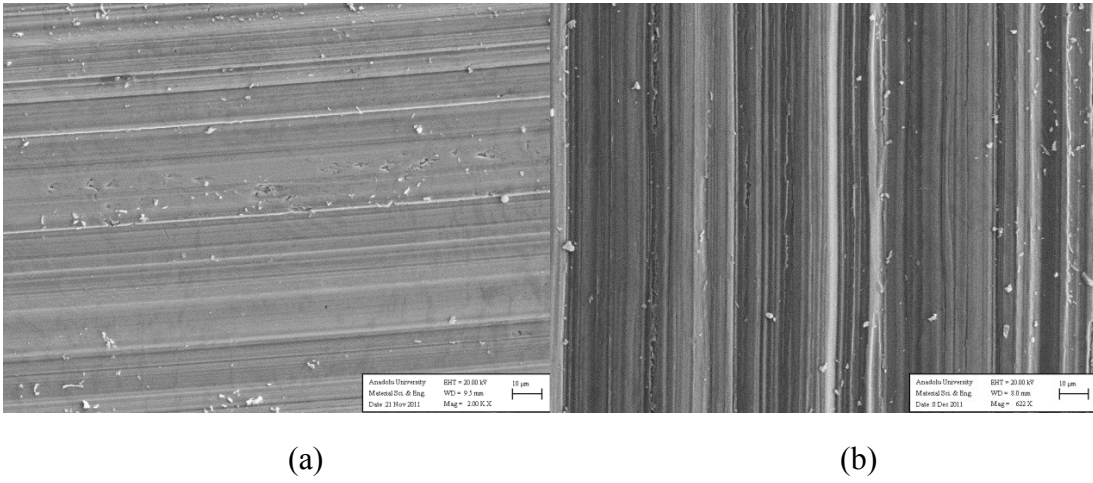
(a)

(b)

Şekil 5.15.900 °C stabilize edilmiş numunenin aşınma sonucu oluşan 2000X SEM görüntüsü; a) 30cm/sn, b) 60 cm/sn hızda aşınma.



Şekil 5.16. 1000 °C destabilize edilmiş numunenin aşınma sonucu oluşan 2000X SEM görüntüsü; a) 30cm/sn, b) 60 cm/sn hızda aşınma.



Şekil 5.17. 1100 °C destabilize edilmiş numunenin aşınma sonucu oluşan 2000X SEM görüntüsü; a) 30cm/sn, b) 60 cm/sn hızda aşınma.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Aşınma direnci, öncelikle kimyasal bileşim ve bunun beraberinde yapılan ısı ile işlemle ilişkilidir. Yüksek kromlu beyaz dökme demirde aşınma yapıda bulunan sert karbürlerin varlığına önemli ölçüde bağlıdır. Ancak bunun yanında tokluk aşınma direncine etki eden önemli parametrelerden biridir (Tabrett, et al., 1996).

Yüksek kromlu beyaz dökme demire uygulanan destabilizasyon işlemi ile, döküm durumunda östenitik olan matrisin martenzite dönüştürülmesi ve ikincil karbürlerin çökeltmesi malzemenin aşınma direncini arttırmaktadır. Uygulanan destabilizasyon işlemlerine bağlı olarak yapıda meydana gelen değişimlerin aydınlatılması aşınmaya dirençli alaşımların geliştirilmesinde oldukça önemli rol oynamaktadır. Bu bağlamda, yapılan çalışmada farklı sıcaklıklarda destabilizasyon uygulanmış numunelerin mikroyapısal özellikleri çeşitli karakterizasyon teknikleri kullanılarak incelenmiş, bu bilgiler ışığında yapılan aşınma testlerinin sonuçları yorumlanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir;

- Üretilen yüksek kromlu beyaz dökme demir ötektikaltı bileşimde olup, yapılan metalografik incelemelerde ve XRD çalışmalarından yapısının östenitik matrisin yanısıra M_7C_3 karbürleri ve az miktarda martenzit içerdiği belirlenmiştir.
- Destabilizasyon işlemi sonunda yapıda bir miktar östenitin dönüşmeden kaldığı ve bunların miktarının destabilizasyon sıcaklığının artması ile arttığı belirlenmiştir.
- Uygulanan destabilizasyon işlemleri neticesinde östenitik matris martenzite dönüşürken ötektik karbürlerin yapısında bir değişiklik olmamıştır. Bunun

yanında martenzitik matris içerisinde ikincil karbürlerin çökeldiği ve çökelen karbürlerin, XRD incelemelerinden M_7C_3 bileşimlerinde olduğu belirlenmiştir.

- Yüksek kromlu beyaz dökme demirin döküm ve destabilizasyon işlemleri neticesinde yapısında bulunan karbürlerin miktarı, metalografik teknikler kullanılarak belirlenmiştir. Bulunan değerlerin, literatürde geliştirilen teorik hesaplamalar ile bulunanlarla aynı olması, karbür miktarının belirlenmesinde metalografik tekniğin, doğru dağlayıcı ve dağlama koşullarının uygulanması şartıyla, oldukça kullanışlı olduğunu göstermektedir.
- Yüksek kromlu beyaz dökme demirin destabilizasyonu sonucunda çökelen ikincil karbürlerin destabilizasyon sıcaklığının artması ile irileştiği ve miktarlarının azaldığı SEM incelemeleri ile ortaya çıkarılmıştır.
- Uygulanan destabilizasyon işlemleri sonucunda makro sertliğin önemli ölçüde arttığı görülmektedir. Buna neden olan etkenler, östenitin martenzite dönüşümü ve çökelen ikincil karbürlerdir. Döküm durumunda 52 HRc olan sertlik değeri 900, 1000 ve 1100 °C destabilizasyon işlemleri sonunda sırasıyla, 66,5, 69 ve 65,5 HRc olarak belirlenmiştir. 1100 °C’ de uygulanan destabilizasyon işlemi sonucunda sertlikte meydana gelen azalmanın, ikincil karbürlerin sertlik kazanmasının yanı sıra kalıntı östenit miktarının artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.
- 900 °C’ de uygulanan destabilizasyon işlemi sonucunda numunenin mikrosertlik değerinin 507 HV_{0.2}’ den 906 HV_{0.2}’ ye arttığı belirlenmiştir. Destabilizasyon sıcaklığının 1000 °C’ ye arttırılması ile mikrosertlik değeri 841HV_{0.2}’ ye, 1100 °C’ ye arttırılması ile de 801 HV_{0.2}’ ye düşmüştür. Mikrosertlik değerlerinin destabilizasyon sıcaklığının artışı ile azalmasında ikincil karbürlerin irileşmesinin yanında miktarlarının azalmasının ve kalıntı östenit miktarının artmasının etkili olduğu düşünülmektedir.
- Aşınma deney sonuçlarına göre, destabilizasyon işlemi uygulanan numunelerin tümünün aşınma özelliklerinin döküm durumuna göre oldukça iyileştiği görülmektedir. Diğer yandan, aynı malzemelerin farklı hızlarda yapılan aşınma

deney sonuçları, aşınmada kayma hızının artması ile aşınma miktarlarının arttığını göstermektedir.

- Destabilizasyon işlemi ile aşınma dirençlerinin artmasında temel parametreler martenzit oluşumu ve ikincil karbürlerin çökmesidir. Yapıda dönüşmeden bulunan kalıntı östenitin bir noktaya kadar aşınma direncinin artmasında, kopan karbürlerin tutunmasını sağlayarak ve çatlak ilerlemesini engelleyerek yardımcı olduğu ancak özellikle yüksek hızlarda bu özelliğini yitirdiği anlaşılmaktadır. Dolayısıyla aşınma direncinin geliştirilmesinde yapıda bulunan sert fazların yanı sıra daha yumuşak fazların varlığının da hesaba katılması gerektiği ortadadır.

Sonuç olarak, aşınmaya dirençli uygulamalarda kullanılan yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin özellikleri destabilizasyon işlemleri ile iyileştirilebilir. Ancak destabilizasyon işlem parametrelerinin doğru bir şekilde belirlenmesi malzemelerin mikroyapısal değişimlerinin gözlemlenerek aşınma test sonuçları ile ilişkilendirilmesi ile mümkündür. Bu bağlamda, yapılan çalışmanın bu konuda ayrıntılı bilgiler sunmakta olup, bu alanda bundan sonra yapılacak çalışmalara oldukça yol gösterici nitelikte olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

ASM Volume 9 Metallography and Microstructures, 2004,1100-1104.

ASM Volume 15, Casting, 1300-1302.

Arıkan, M., M., Çimenoglu H., Kayali E., S., The effect of titanium on the abrasion resistance of 15Cr-3Mo white cast iron, *Wear*, 247, 2001, 231-235.

Bedolla A., Jacuinde, Correa R., Quezada J., G., Rainforth W., M., The effect of titanium on the wear behaviour of a 16%Cr white cast iron under pure sliding, *Wear*, 263, 2007, 808–820.

Breyer, J., P., and Walmag, G., Metallurgy of high chromium-molybdenum white iron steel rolls, Section I, Chapter 3, 1996.

Carpenter, S., D., Carpenter D and Pearce, J., T., H., XRD and electron microscope study of an as-cast 26.6% chromium white iron microstructure, *Materials Chemistry and Physics*, 85, 2004, 32–40.

Cetinkaya C., C., An investigation of the wear behaviours of white cast irons under different compositions, *Materials and Design*, 27, 2006, 437–445.

Coronado, J., J. and Sinatora A., Abrasive wear study of white cast iron with different solidification rates, *Wear*, 267, 2009, 2116–2121.

Çelikyürek, İ., Demir alüminatların borlanması ve aşınma özelliklerinin belirlenmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Metalürji Enstitüsü Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 2006.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Fairhurst, W., ve Röhrig K., Aşınmaya dayanıklı yüksek kromlu beyaz dökme demir, (Çev. T. Mersin), 1974.
- Fernandez, I., and Belzunce, F., J., Wear and oxidation behaviour of high-chromium white cast irons, *Materials Characterization*, 2008, 669-674.
- Hinckley, B., Dolman, K., F., Wuhrer, R., Yeung, W., and Ray., A., Sem investigation of heat treated high-chromium cast irons, *Materials Forum*, Volume 32, 2008.
- Kato, K., and Adachi, K., Wear Mechanisms, *Modern Tribology Handbook 1*, 2001.
- Kazdal, G., Kazdal Zeyrin., H., Çimenoglu, H., Kimyasal bileşim ve ısıl işlemin beyaz dökme demirin mikroyapı ve aşınma özelliklerine etkisi: Maden Kırıcılarında Uygulanabilirliği, *International Iron and Steel Symposium*, 2012, Karabük, Türkiye.
- Karantzalis,A., E., Lekatou, A., and Diavati,E., Effect of destabilization heat treatments on the microstructure of high-chromium cast iron: A microscopy examination approach, *J. Mater. Eng., and Perform.*, 2009, 1078-1085.
- Laird II G, Nielsen RL, Macmillan NH. On the nature of eutectic carbides in Cr-Ni white cast irons. *Metall., Trans.*, 1991, 1709-1719.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Li, D., Ligang L., Chunlei, Y., Xuejun, R., Yang., Y and Yang Qingxiang, Phase diagram calculation of high chromium cast iron and influence of its composition, *Materials and Design*, 30, 2009, 340–345.
- Matsubara Y., Sasaguri N., Shimizu K Yu S., K., Solidification and abrasion wear of white irons alloyed with 20% carbide forming elements, *Wear*, 250, 2001, 502–510.
- Powell GLF, Laird II G. Structure, nucleation, growth and morphology of secondary carbides in high chromium and Cr-Ni white cast irons. *J., Mater., Sci.*, 1992;27:29-35.
- Scandian, C., Boher, C., de Mello J.D.B. and Rézaï-Aria F., Effect of molybdenum and chromium contents in sliding wear of high-chromium white cast iron: The relationship between microstructure and wear, *Wear*, 267, 2009, 401–408.
- Smith, F., W., *Malzeme Bilimi ve Mühendisliği*, (Çev. N., G., Kınikoğlu), 2001.
- Tabrett C.P. and Sare I.R., Effect of high temperature and sub-ambient treatments on the matrix structure and abrasion resistance of a high-chromium white cast iron, *Scripta Materialia*, Vol. 38, No. 12, pp. 1747–1753, 1998.
- Tabrett C., P, Sare I.,R, and Ghomashchi M., R., Microstructure-property relationship in high chromium white iron alloys, *International Materials Reviews*, 1996, Vol. 41, No.2, 59-82.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Taşgın, Y., ve Kaplan, M., Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde oluşan M_7C_3 karbürlerin mikroyapı özelliklerine etkilerinin incelenmesi, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 2007.

Yang, H., S., WangBao J., Shen L, Li H., H., , Gao S., J., Huang S., J., Effect of cryogenic treatment on the matrix structure and abrasion resistanceof white cast iron subjected to destabilization treatment, 2006, 1150-1154.

<http://www.borancelik.com.tr/page.php?ID=12>

http://www.borancelik.com.tr/uploadimg/high_chromium_white_cast_irons/4.jpg