

**ÖTEKTİK ALTI YÜKSEK KROMLU BEYAZ
DÖKME DEMİRE Mo-W-Ti İLAVESİYLE
AŞINMA DİRENCİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

Burak Kürşad BAŞARAN

Yüksek Lisans

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ
2019**

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÖTEKTİK ALTI YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRE Mo-W-
Ti İLAVESİYLE AŞINMA DİRENCİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

Burak Kürşad BAŞARAN

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ

TEKİRDAĞ-2019

Her hakkı saklıdır.

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde eksiksiz biçimde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Burak Kürşad BAŞARAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÖTEKTİK ALTI YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRE Mo-W-Ti İLAVESİYLE
AŞINMA DİRENCİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Burak Kürşad BAŞARAN

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanan bu çalışmada, yüksek krom-molibdenli beyaz dökme demir malzemenin çeşitli ısıtma ve soğutma şartlarında sertlik, aşınma direnci gibi mekanik özellikler bakımından nasıl davrandığı ve mikro yapısının nasıl değiştiği incelenmiştir. Isıtma fırınlarında 800, 900, 1000, 1100 ve 1200 °C sıcaklıklarında 1, 3, 6, 12, 24 saat sürelerinde ısıtma işlemine tabi tutulan yüksek krom-molibdenli beyaz dökme demir malzemenin elde edilmiş numuneler havada, tuzlu suda ve yağda olmak üzere farklı şartlarda soğutulmuştur. Makro sertlik cihazı kullanılarak numunelerin Rockwell C cinsinden sertlikleri bulunmuş ve abrasif aşınma dirençleri kurulan bir deney düzeneği vasıtasıyla ölçülmüştür. Optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve XRD yöntemleri kullanılarak numunelerin metalografik çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda N4.1 (1100 °C, 1 saat, hava soğutma) numunesinin en sert, N4.2 (1100 °C, 3 saat, hava soğutma) numunesinin abrasif aşınma direnci en yüksek, N1.3 (800 °C, 6 saat, hava soğutma) numunesinin en yumuşak numuneleri olduğu tespit edilmiştir. Yüksek krom-molibden katkılı beyaz dökme demirin abrasif aşınma direncinde %44'lük bir iyileştirme gerçekleştirilebilmiştir.

Anahtar kelimeler: Yüksek krom-molibdenli beyaz dökme demir, dökme demir, krom, molibden, ısıtma işlemi, aşınma direnci, sertlik

ABSTRACT

MSc. Thesis

**ABRASION RESISTANCE IMPROVEMENT OF HYPO EUTECTIC HIGH CHROMIUM
WHITE CAST IRON BY Mo-W-Ti ADDITION**

Burak Kürşad BAŞARAN

Tekirdağ Namık Kemal University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ

In this study which was prepared as Department of Mechanical Engineering MSc. Thesis, it is examined how the high chromium-molybdenum white cast iron material behaves in terms of mechanical properties such as hardness, abrasion resistance under various heat treatment and cooling conditions and how the micro structure changes. High-chromium-molybdenum white cast iron samples heat treated under 800, 900, 1000, 1100 and 1200 °C and cooling applied in air, salt water and oil. The hardness of the samples were determined in terms of Rockwell C using the macro hardness tester and the abrasion resistance was measured by an arranged test apparatus. Metallographic studies of the samples were performed by using optical microscope, scanning electron microscopy (SEM) and XRD methods. As a result of these studies, N4.1 (1100 °C, 1 hour, air cooling) sample is the hardest, N4.2 (1100 °C, 3 hours, air cooling) sample has the highest abrasion resistance, N1.3 (800 °C, 6 hours, air cooling) sample was found to be the softest samples. Abrasion resistance increased by %44.

Key words: High chrome-molybdenum white cast irons, cast irons, chrome, molybden, heat treatment, abrasion resistance, hardness

2019, 139 pages

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGE DİZİNİ	vi
ŞEKİL DİZİNİ	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR	xi
TEŞEKKÜR	xiii
1. GİRİŞ	14
2. DÖKME DEMİRLER	15
2.1. Dökme Demirlerin Sınıflandırılması	15
2.2. Gri Dökme Demir	16
2.3. Temper Dökme Demir	17
2.4. Küre Grafitli Dökme Demir.....	17
2.5. Yüksek Alaşımli Dökme Demirler	17
2.6. Beyaz Dökme Demir	17
3. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLER	19
3.1. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin Özellikleri	20
3.1.1. Fiziksel Özellikler.....	20
3.1.2. Mekanik Özellikler	21
3.1.3. Manyetik Özellikler.....	23
3.1.4. Mikro Yapı.....	23
3.1.4.1. Karbürler	25
3.1.4.2. Matris	27
3.2. Yüksek Cr'lu Beyaz Dökme Demirlerde Uygulama Alanları	30
3.3. Alaşımda kullanılan elementlerin YKBDD Özelliklerine Etkisi.....	31
3.3.1. Bakır	33
3.3.2. Karbon	33
3.3.3. Krom.....	34
3.3.4. Molibden.....	36
3.3.5. Silisyum	36
3.3.6. Fosfor.....	37
3.3.7. Kükürt.....	37

3.3.8. Mangan	38
3.3.9. Nikel	38
3.3.10. Bor	38
3.3.11. Niyobyum	38
3.3.12. Vanadyum.....	38
3.3.13. Titanyum.....	39
3.3.14. Nadir Toprak Elementleri	41
4. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERDE ISIL İŞLEM VE KATILAŞMA	42
4.1. Ergitme ve Döküm.....	42
4.2. Fe-Cr-C Sistemi	44
4.3. Fe-C-Cr Sistemi Katı Durum Denge Diyagramı	47
4.4. YKBDD’de Katılaşma Yapısı	51
4.5. M_7C_3 Karbürlerinin Özellikleri.....	52
4.6. M_3C Karbürlerinin Özellikleri	55
4.7. M_2C (Mo_2C) Karbürlerinin Özellikleri.....	56
4.8. MC Karbürlerinin Özellikleri	57
4.9. Fe – C – Cr Alaşımlarının Dökümlerinin Matris Yapıları.....	58
4.9.1. Fe – C – Cr Alaşımlarında Katı Haldeki Reaksiyonlar	59
4.9.2. M_7C_3 – Östenit Ötektiğinin Oluşumu	60
4.9.3. İkincil M_7C_3 Karbürlerini Oluşumu	61
4.10. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerde Isıl İşlem.....	62
4.10.1. Su Verme Sıcaklığı	63
4.10.2. Martenzit Dönüşümü	65
4.10.3. Temperleme ve Tavlama	67
5. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERİN AŞINMA DİRENCİ.....	69
5.1. Abrasiv Aşınmanın Tanımı.....	69
5.2. Aşınma Deneyleri ve Ölçüm Yöntemleri	70
5.3. Beyaz Dökme Demirlerde Aşınma	71
5.4. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerde Abrasiv Aşınmayı Etkileyen Faktörler ...	74
5.4.1. Karbür Yapısının Abrasiv Aşınmaya Etkisi	74
5.4.2. Matris Yapısının Abrasiv Aşınmaya Etkisi	75
6. YÜKSEK KROMLU DÖKME DEMİRLERDE DARBE DİRENCİ.....	76
7. MATERYAL VE YÖNTEM.....	78

7.1. Deneyleerde Kullanılan Malzemeler	78
7.2. Isıl İşlem, Soğutma ve Temperleme	80
7.3. Zımparalama ve Yüzey Parlatma.....	83
7.4. Metalografik Çalışmalar	86
7.5. Sertlik Deneyleeri	86
7.6. Aşınma Deneyleeri	87
8. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	88
8.1. Numunelerin Sertlikleri	88
8.2. Numunelerin Aşınma Dirençleri.....	90
8.3. Metalografik Çalışmalar ve Deneyle Sonuçlarının İrdelenmesi.....	92
8.4. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ve X-Ray Difraksiyon (XRD) Analizleri	123
9. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	134
KAYNAKLAR.....	136
ÖZGEÇMİŞ	139

ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 2.1. Tipik olarak alaşımlandırılmamış olan dökme demirlerin kimyasal kompozisyon aralıkları [3]	16
Çizelge 3.1. Yüksek aşınma dirençli yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde bileşimler [4] 20	
Çizelge 3.2. 25-32 mm kesitli yüksek krom-molibdenli beyaz dökme demirlerin mekanik özellikleri [5]	22
Çizelge 3.3. Çeşitli karbür, matris ve mineral sertlikleri [4,5]	24
Çizelge 3.4. Yüksek Cr-Mo içeren beyaz dökme demirlerin mikro yapısında bulunan karbürlerin sertlikleri [10]	25
Çizelge 3.5. Matris yapısının yüksek Cr – Mo’li beyaz dökme demirlerde aşınma kaybına etkisi[5].....	29
Çizelge 3.6. Aşınma dirençli dökme demirlerin katılaşması boyunca alaşım segregasyonu [7]	32
Çizelge 4.1. Ticari amaçla geliştirilen yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirlerin bileşimleri [5]	42
Çizelge 4.2 Aşınma dirençli yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin ASTM A352’den seçilmiş bazı standartlarının katılaşma sıcaklıkları [7].....	44
Çizelge 4.3. Fe – Cr - C sistemlerinde sıvılaşma yüzeyinde bulunan kritik noktalarda oluşan reaksiyonlar [14].....	46
Çizelge 4.4. YKBDD’de mikro yapıda bulunan kafes parametreleri ve fazlar [6]	46
Çizelge 4.5. 870 °C’deki üçgen bağıntıları [20]	51
Çizelge 4.6. Yüksek krom molibdenli beyaz dökme demirlerin ısıtma şartları [5].....	67
Çizelge 5.1. Çeşitli malzemelerin öğütme ve oyuklayıcı aşınma altındaki performansı [5]....	72
Çizelge 7.1. Deneylerde kullanılan yüksek krom-molibdenli malzemenin kimyasal bileşimi	78
Çizelge 7.2. Numuneler üzerinde ısıtma işlem, soğutma ve temperleme işlemleri	82
Çizelge 8.1. Numunelerin ortalama makro sertlikleri	88
Çizelge 8.2. Numunelerin aşınma sonrası ortalama kütle kayıpları	91
Çizelge 8.3 Sertliği en yüksek, en düşük ve işlemsiz numunelerin karbür ebatları ve sayıları ile aşınma kaybı arasındaki değişim	131

ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 2.1. Demir alaşımlarında yaklaşık karbon ve silisyum değerleri [3].....	16
Şekil 3.1 Karbür hacim oranının (CVF) artışı ile sertliğin doğrusal olarak arttığını gösteren grafik [7].....	25
Şekil 3.2. Karbür oranının - abrasiv aşınma kaybı grafiği [7].....	26
Şekil 3.3. Yüksek kromlu beyaz dökme demirler için karbon ve krom ve oranları [10]	26
Şekil 3.4. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde (a) östenit ve (b) martenzit matrislerine ait mikro yapı fotoğrafları [8,9].....	27
Şekil 3.5. Aşınma direnci ile kalıntı östenit yüzdesi arasındaki ilişki [7]	28
Şekil 3.6. Yüksek Cr – Mo’li beyaz dökme demirler için matrisin mikro sertliğinin (HV-50) aşınma direncine etkisi [4].....	28
(γ) östenit, (α') martenzit, (α) pelit, (c) karbür	30
Şekil 3.7. Yüksek kromlu dökme demirlerde karışık matris yapıları [13]	30
Şekil 3.8. Grafit ve karbür Ötektik sıcaklıkları üzerine alaşım elementlerinin etkisi [7].....	33
Titanyum, krom ve vanadyum miktarındaki artış ile ötektik karbür artar, ötektik grafit azalır (Şekil 3.8) [7].....	33
Şekil 3.9. Grafit ve karbür ötektik sıcaklıkları arasındaki temperleme aralığı [7]	34
Şekil 3.10. YKBDD’de karbonun aşınma direncine etkisi [14].....	34
Şekil 3.11. Krom karbürlerin farklı bileşimlerdeki mikro yapı fotoğrafları. (a) $(FeCr)_{23}C_6$ ve (b) $(FeCr)_7C_3$ [15].....	35
Şekil 3.12. Sertlik ölçümünün yeri ve krom miktarına bağlı olarak sertlikteki değişim [7]	35
Şekil 3.13. YKBDD’de molibdenin ve aşınma direnci grafiği [14].....	36
Şekil 3.14. YKBDD’de silisyum ve aşınma direnci [14]	37
Şekil 3.15. Östenit matris içerisindeki TiC’ün farklı büyütmelerdeki resimleri [9].....	39
Şekil 3.16. TiC’lerin bir araya toplanması sonucu karbür şeklinin değişimi (a) %1.68 Ti (b) %2.02 Ti [9].....	40
Şekil 3.17. Farklı oranlardaki titanyumun mikro yapıya etkisi [9].	40
Şekil 4.1. % 12 – 16 Cr, % 19 – 21 Cr içeren beyaz dökme demirlerin likidüs sıcaklıklarının karbon içeriğine göre değişimi [5].	43
Şekil 4.2. Fe – C – Cr sistemi [17,18]	45
Şekil 4.3. Fe-C-Cr sisteminin Fe-C-Cr 1000 °C deki katı durum izotermi [10].....	47
Şekil 4.4. Fe-C-Cr sisteminin 870 °C’deki katı durum izotermi [10]	48
Şekil 4.5. Fe-C-Cr sisteminde Fe köşesinde 1150 °C - 900 °C izotermi [17]	49
Şekil 4.6. Fe-C-Cr sisteminin 700 °C’deki katı durum izotermi [17]	50
Şekil 4.7. Ötektik karbürün mikro yapı fotoğrafı [21]	52

Şekil 4.8. M_7C_3 karbürlerinin çubuğa benzer (a) ve bıçağa benzer (b) mikro yapı fotoğrafları [7]	53
Şekil 4.9. M_7C_3 Karbürünün tahmin edilen Cr içeriği ve Fe'nin Cr/C oranı arasındaki ilişki [7]	55
Şekil 4.11. M_3C karbürünün ötektik altı (a), ötektik (b) ve ötektik üstü (c) ait mikro yapı fotoğrafları ve M_3C ötektiğinin büyütülmüş yapısı (d) [7,25]	56
Şekil 4.12. M_2C karbürünün mikro yapı fotoğrafı ve EDS ile alınan analizi [9]	57
Şekil 4.13. TiC'ün östenitik matris içindeki mikro yapı fotoğrafı (a) ve EDS analizi (b) [9]..	58
Şekil 4.14. Fe-C-Cr alaşımlarının ZSD diyagramı a.) döküm durumu b.) yeniden östenitleme işleminden sonraki durum [29].....	60
Şekil 4.15. Östenitleme sıcaklığına bağlı olarak Fe – C – Cr alaşımlarındaki kalıntı ostenit (γ) ve sertlik (HV) oranının değişimi [7]	63
Şekil 4.16. Çeşitli kesitlerdeki yüksek kromlu demirlerde havada su vermeden sonra matris yapısına ve sertlik üzerine karbon ve molibden içeriğinin etkisi [5].....	64
Şekil 4.17. Homojenleştirme ısı işleminin süresinin etkisi ve oda sıcaklığına soğuma üzerinde kalıntı ostenit miktarında başlangıç matris yapısı [7].....	65
Şekil 4.18. Karbür çökelme oranı- M_s -Sertlik ilişkileri [10]	66
Şekil 4.19. Çeşitli yüksek kromlu beyaz dökme demirler için sertlik (HV30) - temperleme sıcaklık eğrileri [5].....	68
Şekil 5.1. Abrasiv aşınma test düzeneği şeması [37]	70
Şekil 6.1. Darbe tokluğu üzerinde döküm süper ısıtmanın etkisini gösteren 5x5x18cm boyutlarındaki döküm çubuklarının darbe tokluğu verileri [7]	77
Şekil 6.2. Bazı karbürlerin sertlik ve kırılma toklukları arasındaki ilişki [35].....	77
Şekil 7.1. Tel Erozyon Tezgahı	79
Şekil 7.2. 30 mm çapında ve 15 mm yüksekliğinde numuneler.....	80
Şekil 7.3. Isıl işlem fırını	81
Şekil 7.4. Fanlı (hava) soğutma tüneli	83
Şekil 7.5. Parlatma öncesi ve sonrası numune yüzeyleri.....	84
Şekil 7.6. Parlatma Makinesi	84
Şekil 7.7. 1000 numara zımpara kağıdı	85
Şekil 7.8. 6 mikron yüzey parlatma pastası	85
Şekil 7.9. Sertlik ölçme cihazı.....	86
Şekil 8.1. Numunelerin sertlikleri (HRC).....	89
Şekil 8.2 N_0 Optik mikroskop ile alınmış görüntü	92
Şekil 8.3 $N1.1$ Optik mikroskop ile alınmış görüntü.....	93
Şekil 8.4 $N1.2$ Optik mikroskop ile alınmış görüntü.....	94

Şekil 8.5 N1.3 Optik mikroskop ile alınmış görüntü.....	95
Şekil 8.6 N ₀ ve 800 °C’de ısıl işlem görmüş ve havada soğutulmuş N1.1, N1.2, N1.3 numunelerinin sertliklerindeki değişim	96
Şekil 8.7 N ₀ ve 800 °C’de ısıl işlem görmüş ve havada soğutulmuş N1.1, N1.2, N1.3 numunelerinin 10N, 20N ve 30N yük altındaki aşınma miktarlarındaki değişim.....	97
Şekil 8.8 N2.1 Optik mikroskop ile alınmış görüntü.....	98
Şekil 8.9 N2.2 Optik mikroskop ile alınmış görüntü.....	99
Şekil 8.10 N2.3 Optik mikroskop ile alınmış görüntü.....	100
Şekil 8.11 N ₀ ve 900 °C’de ısıl işlem görmüş ve havada soğutulmuş N2.1, N2.2, N2.3 numunelerinin sertliklerindeki değişim	101
Şekil 8.12 N ₀ ve 900 °C’de ısıl işlem görmüş ve havada soğutulmuş N2.1, N2.2, N2.3 numunelerinin aşınma değerlerindeki değişim.....	102
Şekil 8.13 N3.1 Optik mikroskop ile alınmış görüntü.....	103
Şekil 8.14 N3.2 Optik mikroskop ile alınmış görüntü.....	104
Şekil 8.15 N3.3 Optik mikroskop ile alınmış görüntü.....	105
Şekil 8.16 N3.4 Optik mikroskop ile alınmış görüntü.....	106
Şekil 8.17 N3.5 Optik mikroskop ile alınmış görüntü.....	107
Şekil 8.18 N3.6 Optik mikroskop ile alınmış görüntü.....	108
Şekil 8.19 N3.7 Optik mikroskop ile alınmış görüntü.....	109
Şekil 8.20 N3.8 Optik mikroskop ile alınmış görüntü.....	110
Şekil 8.21 N ₀ ve 1000 °C’de ısıl işlem görmüş ve havada soğutulmuş N3.1, N3.2, N3.3, N3.6, N3.8 numunelerinin sertliklerindeki değişim	111
Şekil 8.22 N ₀ ve 1000 °C’de 12 saat boyunca ısıl işlem görmüş ancak farklı şartlarda soğutulmuş N3.4, N3.5, N3.6, N3.7 numunelerinin sertliklerindeki değişim	112
Şekil 8.23 N ₀ ve 1000 °C’de ısıl işlem görmüş numunelerin aşınma miktarlarındaki değişim	113
Şekil 8.24 N4.1 Optik mikroskop ile alınmış görüntü.....	114
Şekil 8.25 N4.2 Optik mikroskop ile alınmış görüntü.....	115
Şekil 8.26 N4.3 Optik mikroskop ile alınmış görüntü.....	116
Şekil 8.27 N ₀ ve 1100 °C’de ısıl işlem görmüş ve havada soğutulmuş N4.1, N4.2, N4.3 numunelerinin sertliklerindeki değişim	117
Şekil 8.28 N ₀ ve 1100 °C’de ısıl işlem görmüş ve havada soğutulmuş numunelerin aşınma miktarlarındaki değişim.....	118
Şekil 8.29 1200 °C’de ısıl işlem görmüş numunelerin yapısındaki bozulma.....	119
Şekil 8.30 N5.1 Optik mikroskop ile alınmış görüntü.....	120
Şekil 8.31 N5.2 Optik mikroskop ile alınmış görüntü.....	121

Şekil 8.32 N5.3 Optik mikroskop ile alınmış görüntü.....	122
Şekil 8.33 N ₀ numunesinin SEM görüntüsü.....	123
Şekil 8.34 N ₀ numunesinin XRD ile analiz edilen bölgeleri	124
Şekil 8.35 N ₀ numunesinin Ellipse 0 (Karbür) XRD analiz grafiği	124
Şekil 8.36 N ₀ numunesinin Ellipse 1 (Matris) XRD analiz grafiği	125
Şekil 8.37 N1.3 numunesinin SEM görüntüsü	125
Şekil 8.38 N1.3 numunesinin XRD ile analiz edilen bölgeleri	126
Şekil 8.39 N1.3 numunesinin Ellipse 0 (Karbür) XRD analiz grafiği.....	126
Şekil 8.40 N1.3 numunesinin Ellipse 1 (Matris) XRD analiz grafiği.....	127
Şekil 8.41 N4.1 numunesinin SEM görüntüsü	127
Şekil 8.42 N4.1 numunesinin XRD ile analiz edilen bölgeleri	128
Şekil 8.43 N4.1 numunesinin Ellipse 0 (Karbür) XRD analiz grafiği.....	128
Şekil 8.44 N4.1 numunesinin Ellipse 1 (Matris) XRD analiz grafiği.....	129
Şekil 8.45 N4.2 numunesinin SEM görüntüsü	129
Şekil 8.46 N4.2 numunesinin XRD ile analiz edilen bölgeleri	130
Şekil 8.47 N4.2 numunesinin Ellipse 0 (Karbür) XRD analiz grafiği.....	130
Şekil 8.48 N4.2 numunesinin Ellipse 1 (Matris) XRD analiz grafiği.....	131
Şekil 8.49 İşlemsiz, en yüksek ve en düşük sertlikteki numunelerin aşınma dirençlerindeki değişim	132
Şekil 8.50 İşlemsiz, en yüksek ve en düşük sertlikteki numunelerin karbür ebatları ve sayıları arasındaki bağıntı.....	133

SİMGELER VE KISALTMALAR

C	: Karbon
Mn	: Mangan
Si	: Silisyum
Ni	: Nikel
Cr	: Krom
Mo	: Molibden
HC	: Yüksek karbonlu
LC	: Düşük karbonlu
HiCr	: Yüksek kromlu
S	: Kükürt
Cu	: Bakır
P	: Fosfor
μm	: Mikrometre
$^{\circ}\text{C}$: Santigrat derece
g	: Gram
cm^3	: Santimetreküp
m	: Metre
Ω	: Ohm
W	: Watt
N	: Newton
mm^2	: Milimetrekare
m^2	: Metrekare
VC	: Vanadyum karbür
TiC	: Titanyum karbür
ZSD	: Zaman – sıcaklık – dönüşüm
CVF	: Karbür – hacim oranı
HB	: Brinell sertliği
HV	: Vickers sertliği

HRc	: Rockwell sertliği
T _e	: Ergime sıcaklığı
T _ö	: Ötektik sıcaklığı
α	: Alfa
δ	: Delta
γ	: Gama
inç ²	: İnçkare
YKBDD	: Yüksek kromlu beyaz dökme demir

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında konu ile ilgili çalışmalarında beni yönlendiren, teknik ve mental anlamda tecrübelerini ve bilgilerini benden esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. SERDAR OSMAN YILMAZ'a, bu süreçte bana yardımcı olan Makine Mühendisliği Bölümü'nün değerli öğretim elemanlarına, bu çalışmamı tamamlarken tecrübelerini benimle karşılıksız paylaşan Öğr. Gör. Dr. Ahmet Erhan AKAN'a ve her şartta yanımda olan aileme teşekkürü borç bilirim.

Aralık, 2019

Burak Kürşad BAŞARAN

Öğretim Görevlisi, Makine Mühendisi

1. GİRİŞ

Yüksek kromlu beyaz dökme demirler, tarım alet ve makineleri, kalıplar, madencilik, cevher kırıcıları, diskler, öğütücü değirmen balyaları gibi alanlar başta olmak üzere makine sanayinde önemli bir kullanım payına sahiptirler. Bu durumun başlıca sebepleri, yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin diğer dökme demirlerden farklı olarak oldukça sert, darbeye ve aşınmaya dayanıklı ve birçok mekanik özellik bakımında daha üstün özellikler göstermeleridir. Mühendislik özelliklerinde çeşitli varyasyonlara olanak vermelerinin yanı sıra yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin nispeten daha ekonomik olması, teknolojinin gelişimiyle beraber literatüre giren yeni malzemeler karşısında güçlü bir rekabet gösterebilmelerini sağlamaktadır [1].

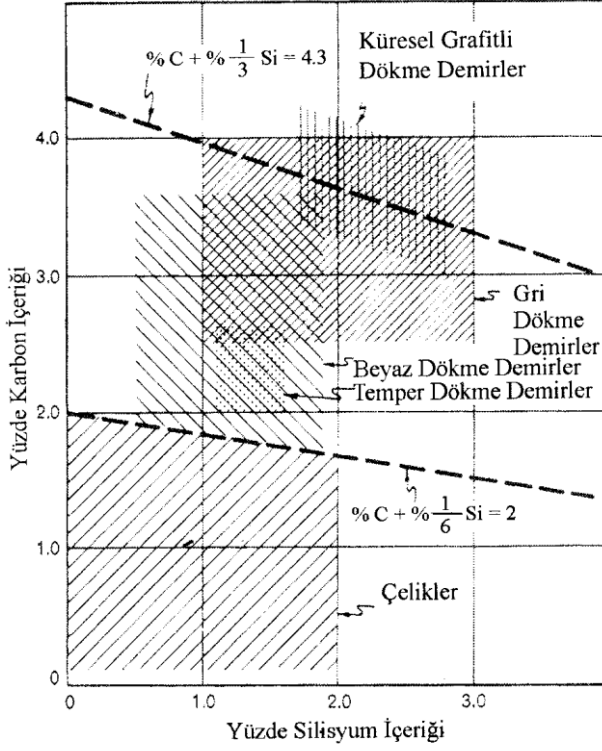
Farklı uygulamalar için gereken özellikler, diğer metalik ve metalik olmayan elementlerin alaşıma dahil edilebilmesi, döküm sonrası katılaştırma sürecindeki faktörlerin değiştirilmesi ve değişken süre ve sıcaklıklarda ısıl işlem uygulanması sonrası temin edilebilmektedirler [1].

2. DÖKME DEMİRLER

Demir alaşımları adı altında anılan dökme demirler, özellikleri bakımından farklılıklar göstermektedirler ve döküm yöntemiyle arzulanan şekle getirilirler. Çeliklerde genellikle görülen % 1'den daha az C (karbon) oranı, dökme demirlerde genellikle % 2 – 4 bandında görülmektedir ve bunun yanında % 1 – 3 Si (Silisyum) içerirler. İstenilen özellikleri tayin etmek adına diğer metalik olmayan ve metalik elementler alaşıma ilave edilir. Alaşımı oluşturan kimyasal kompozisyon dışında da özellikleri etkileyen bazı önemli faktörler bulunmaktadır. Bunlar, katılaşma sürecinde kullanılan yöntem, katılaşma hızı, bunun devamındaki ısıl işlemler ve sonrasındaki soğutma şartlarıdır. Yaygın olarak kullanılan dökme demirler, daha önceden de bahsedildiği üzere, nispeten ekonomik olması ve mühendislik özelliklerinin çok yönlü olmalarından dolayı sıkça tercih edilmektedirler [2].

2.1. Dökme Demirlerin Sınıflandırılması

Dökme demirlerin sınıflandırılmasında temel olarak baz alınan durum, mikro yapılarındaki karbon elementinin alaşım içerisindeki dağılımıdır. Dört temel dökme demir tipini ele aldığımızda bunlar; gri dökme demir, beyaz dökme demir, küresel grafitli dökme demir, temper dökme demir olarak incelenebilir. Beşinci ve ayrı bir başlık altında incelenmek üzere yüksek alaşımlı dökme demirleri de belirtmek gerekmektedir. Şekil 2.1'de dökme demir tiplerinin çeliklere kıyasla karbon ve silisyum oranlarının incelenmesi gösterilmiştir [2].



Şekil 2.1. Demir alaşımlarında yaklaşık karbon ve silisyum değerleri [3]

Çizelge 2.1. Tipik olarak alaşımlandırılmamış olan dökme demirlerin kimyasal kompozisyon aralıkları [3]

Element	Gri Dökme Demir %	Beyaz Dökme Demir %	Benekli Dökme Demir %	Sünek Dökme Demir %
Karbon	2.5 – 4.0	1.3 - 3.6	2.00 – 2.60	3.0 – 4.0
Silisyum	1.0 – 3.0	0.5 – 1.9	1.10 – 1.60	1.8 – 2.8
Mangan	0.25 – 1.0	0.25 – 80	0.20 – 1.00	0.10 – 1.00
Kükürt	0.02 – 0.25	0.06 – 0.20	0.04 – 0.18	0.03 max.
Fosfor	0.05 – 1.0	0.06 – 0.18	0.18 – max.	0.10 max.

Max: Maksimum

2.2. Gri Dökme Demir

Kimyasal kompozisyonu gri dökme demir aralığında bulunan, katılaşma esnasında soğuma hızının uygun olması durumunda sıvı demir içerisinde çözülmüş halde bulunan karbon elementinin demirin içerisinde ayrışarak lameller halinde grafitleşmesi halinde ortaya çıkan

dökme demir tipine gri dökme demir denmektedir. En akışkan demir alaşımlarından biri olan gri dökme demir, bu sebepten dolayı karmaşık ve ince kesitli parçaların imalatı için uygundur. Aşınma direncinin iyi olduğu sertliklerinde bile işlenebilirlikleri çok iyi seviyededir. Karbon elementinin, lamel, yani katmanlar halinde ortaya çıkması sonucu, yapı kırıldığında görünen mat renk bu tip dökme demirlere gri dökme demir denmesinin sebebidir [2].

2.3. Temper Dökme Demir

Bu tip dökme demirlerde ilk döküm beyaz dökme demire benzer şekilde yapılarak katılaştırılır. Ardından genellikle temperleme olarak isimlendirilen tavlama işlemlerinden geçirilerek, demir içerisinde çözünmüş olarak bulunan karbonun ayrışması sağlanır. Bu tip dökme demirde tavlama işlemini değiştirerek geniş aralıklarda özellikler elde edilebilmektedir. Ancak ilk aşamada beyaz dökme demir oluşturmak için hızlı bir soğutma işlemi gerektiğinden dökülecek olan temper dökme demirin kalınlığı sınırlı olmaktadır [2].

2.4. Küre Grafitli Dökme Demir

Sünek dökme demir olarak da adlandırılan küre grafitli dökme demir (KGDD) içerisindeki serbest karbon, lamel yerine küre şeklinde olmaktadır. Döküm yapılmadan önce ergiyik halde bulunan demire çok az miktarlarda ilave edilen magnezyum ile elde edilen küre grafit, son halde kimyasal kompozisyon açısından gri dökme demire benzemesine neden olur. Ancak, fosfor ve kükürt gibi elementler de eser miktarlarda bulunmaktadır. KGDD'ler uygun sünekliklerine ilave olarak akma dayanımları iyidir ve dökülebilecekleri kalınlık aralıkları oldukça yüksektir [2].

2.5. Yüksek Alaşımli Dökme Demirler

Bu tip dökme demirler yüksek oranlarda alaşımlandırılmış küre grafitli dökme demir ile birlikte gri dökme demir içerirler. Yüksek alaşımli dökme demirlerin ayrı bir grupta inceleniyor olması aşınma, korozyon ve ısı dirençleri gibi bazı özelliklerinin diğer dökme demir gruplarından oldukça farklı olmasından kaynaklanmaktadır [2].

2.6. Beyaz Dökme Demir

Sıvı demir (Fe) içerisinde çözünen C elementinin, katılma esnasında soğuma hızının yeterli olması durumunda, demirin içerisinde ayrışmadan çözünmüş halde kalması sonucu

oluşan dökme demir tipine beyaz dökme demir denmektedir. Beyaz dökme demirde eriyikte bulunan karbon, demir ile birleşerek sert ve gevrek bir bileşik olan demir karbür veya sementit olarak kalır. Bu sebeple sert ve kırılğan olan beyaz dökme demire bu adın verilmesi, kopma durumunda beyaz renkli kristal kopma yüzeyi sergilemesinden dolayıdır. Beyaz dökme demir, oldukça yüksek basma direncine ve çok iyi derecede aşınma direncine sahiptir [2].

3. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLER

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin tokluk ve aşınmaya karşı gösterdiği direnç özellikleri iyi seviyededir. Bu tip dökme demirler genellikle çamur pompaları, tuğla kalıpları, mineral delme, sert kaya işleme ekipmanları gibi alanlarda kullanılmaktadırlar. Alaşımdaki krom oranı arttıkça tokluk özelliğinde artış gözükür. Oldukça yüksek aşınma dayanımları sayesinde geniş bir kullanım alanları vardır. Ticari anlamda aşınmaya dayanıklı malzemeler olarak kullanılmaları yüz yıl öncesine kadar dayanmaktadır. Alaşımlandırma değişkenleri zenginleştikçe kullanım ağıda büyümüştür. Yapıdaki krom karbürler mekanik dayanım ve aşınma direncine vesile olan başlıca faktördür. Aşınmaya dayanıklı yüksek kromlu beyaz dökme demirler için bazı bileşimler Çizelge 3.1’de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Yüksek aşınma dirençli yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde bileşimler [4]

Sınıf	Tip	Sembol	Kimyasal Bileşim, %					
			C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo
I	A	Ni-Cr-HC	3,0–3,60	1,30 max	0,80 max	3,30–5,0	1,40–4,0	1,0 max (a)
I	B	Ni-Cr-LC	2,50–3,0	1,30 max	0,80 max	3,30–5,0	1,40–4,0	1,0 max (a)
I	C	Ni-Cr-GB	2,90–3,70	1,30 max	0,80 max	2,70–4,0	1,10–1,50	1,0 max (a)
I	D	Ni-HiCr	2,50–3,60	1,30 max	1,0–2,20	5,0–7,0	7,0–11,0	1,0 max (b)
II	A	% 12 Cr	2,8	0,50–1,50	1,0 max	0,50 max	11,0–14,0	0,50–1,0 (c)
II	B	% 15 Cr-Mo-LC	2,40–2,80	0,50–1,50	1,0 max	0,50 max	14,0–18,0	1,0–3,0 (c)
II	C	% 15 Cr-Mo-HC	2,80–3,60	0,50–1,50	1,0 max	0,50 max	14,0–18,0	2,30–3,50 (c)
II	D	% 20 Cr-Mo-LC	2,0–2,60	0,50–1,50	1,0 max	1,50 max	18,0–23,0	1,50 max (c)
II	E	% 20 Cr-Mo-HC	2,60–3,20	0,50–1,50	1,0 max	1,50 max	18,0–23,0	1,0–2,0 (c)
III	A	% 25 Cr	2,30–3,0	0,50–1,50	1,0 max	1,50 max	23,0–28,0	1,50 max (c)

(a) : Max. % 0,30 P, % 0,15 S

(b) : Max. % 0,10 P, % 0,06 S, % 1,2 Cu

(c) : Max. % 0,10 P, % 0,06 S, % 1,2 Cu

LC : Düşük karbonlu

HiCr : Yüksek kromlu

HC : Yüksek karbonlu

3.1. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin Özellikleri

3.1.1. Fiziksel Özellikler

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin özgül ağırlıklarında düşüş görülmektedir. Bunun sebebi içeriğindeki artan karbon miktarıdır. Ancak yapıdaki kalıntı östenitin artışı özgül ağırlığın artmasına sebebiyet vermektedir.

Genellikle özgül ağırlık değerleri $7,5 - 7,8 \text{ g/cm}^3$ 'tür. $40 - 425 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık aralığında $13,5 - 18 \text{ } \mu\text{m/m}^\circ\text{C}$ ısı genleşme katsayısı aralığına sahiptirler. Elektrik direnci $0,5 \text{ } \mu\Omega\text{m}$, ısı iletkenlikleri ise 22 w/mK civarındadır [5].

3.1.2. Mekanik Özellikler

Çizelge 3.2'de $25 - 32 \text{ mm}$ kesitli yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirlerin çeşitli mekanik özellikleri verilmektedir [5].

Çizelge 3.2. 25-32 mm kesitli yüksek krom-molibdenli beyaz dökme demirlerin mekanik özellikleri [5]

Koşullar (Matris)	Tür	% C	Sertlik			Çekme Özellikleri		Basma Özellikleri		Isıl. Gen Katsayısı	
			HB	DPH	HRC	Muk. (N/mm ²)	Modül (N/mm ²)	Muk. (N/mm ²)	Modül (N/mm ²)	20-90 °C	20-425° C
Su Verilmiş ve Temper. (M,O) (M,O)	15-3LC	2,51	716	782	61,7	100	25,9	305	183	12,7	14,9
	15-3HC	3,68	712	813	62,8	48,5	23,2	317	122	-	-
	15-2-1	3,32	760	-	64,6	62,3	23,7	310	226	11,5	14,3
	20-2-1	2,89	757	824	63,8	68,5	22,6	286	187	11,1	13,6
O % 66 (M+O), %34P % 71 (M+O), % 29P % 96 O % 4 P M+O	15-3LC	2,51	426	497	47,1	61,5	22,0	203	75	14,4	17,9
	15-3HC	3,6	-	-	-	50,8	23,4	164	68,9	-	-
	15-3HC	3,6	564	681	56,4	58	23	232	131	10,5	13,6
	15-2-1	3,32	444	508	46,3	45,6	22,5	183	70	13,4	17,6
	20-2-1	2,89	451	530	-	54,5	23,8	197	83,4	-	-
Fırında Soğut. (P)	15-3HC	3,6	411	455	41,8	69	24,3	158	48,2	11,1	13,6

M: Martenzit O: Ostenit P: Perlit

Tablodaki değerler çeşitli mekanik ve ısıl işlemler sırasında oluşabilen çatlaklar sebebiyle geniş sapmalar gösterebilmektedir ancak bu değerler pratikteki verilerle çoğunlukla paraleldir [5].

Mekanik testler arasında yüksek kromlu beyaz dökme demirler için normal şartlarda sadece sertlik testi aranır. Bunun sebebi, kırılğan gevrek ve sert malzemelerin çekme testi

numunelerinin hazırlanmasının oldukça pahalı ve zor olmasıdır. Elde edilecek numunede yüksek ihtimal mikro çatlakları oluşacaktır. Bu da kırılmaya yol açacaktır. Bu sebeple numunelerden elde edilecek sonuçlar ile gerçek döküm sonuçları arasında büyük farklılıklar oluşabilmektedir [5].

Mikro yapı ve termal ortamdaki malzemenin çoğu özelliği hala detaylı olarak bilinmemektedir [5].

3.1.3. Manyetik Özellikler

Ticari amaçla geliştirilen beyaz dökme demirlerden (20–2–1) ve (15–2–1) sınıfından yapılmış döküm malzemeler, genelde kalıplarında soğuması sonrasında östenitiktirler. Bunun sonucunda manyetik değildirler. Soğutma sırasında perlit veya martenzit dönüşümünden dolayı gerilme birikiminden kaçınıldığı için; bu tamamen östenitik durum, karmaşık şekilli dökümlerde avantaj olabilir. Beyaz dökme demirler martenzitik yapıda manyetikler. Manyetik olma özelliği için, kalıntı ostenit arttıkça manyetikliğin azaldığı söylenebilir [5].

3.1.4. Mikro Yapı

Beyaz dökme demirlerdeki üstün aşınma direncinin sebebi mikro yapılara dayanmaktadır. Mikro ölçekte aşınma süreci, aşındırıcı tanenin metalin yüzeyine girerek aşınma ve deformasyon çiziklerini oluşturması ve yüzeyden parçaları koparmasıyla gerçekleşmektedir [5]. Aşınma parçacıkları talaşlı işlem talaşlarına benzemektedir. Bu işlemin gerçekleşmesi için aşındırıcı tanenin metalden daha sert olması gerekmektedir. Çeşitli karbür, matris ve minerallerin sertlikleri Çizelge 3.3’de verilmektedir.

Çizelge 3.3. Çeşitli karbür, matris ve mineral sertlikleri [4,5]

Malzeme, Faz veya Mineral	Sertlik	
	Knoop	HV
-Talk	20	---
-Karbon	35	---
-Gibsiyum	40	36
-Kalsit	130	140
-Florit	175	190
-Apalit	335	540
-Cam	455	500
-Feldspat	550	750-600
-Manyetit	575	---
-Ortoglas	620	---
-Filint	820	---
-Kuars	840	1280-900
-Topaz	1330	1430
-Garnet	1360	---
-Zımpara	1400	---
-Korund	2020	1800
-Silisyum Karbür	2585	2600
-Elmas	7575	10000
-Ferit	235	200-70
-Perlit (Alaşımız)	---	320-250
-Perlit (Alaşımızlı)	---	460-300
-Ostenit (% 12 Mn)	305	230-170
-Ostenit (Az Alaşımızlı)	---	350-250
-Ostenit (Yüksek Cr)	---	600-300
-Martenzit	500 – 800	1010-500
-Sementit	1025	1100 840
-Krom – Karbür	1735	1600-1200
-Molibden Karbür	1800	1500
-Tungsten Karbür	1800	2400
-Vanadyum Karbür	2660	2800
-Titanyum Karbür	2470	3200
-Bor Karbür	2800	3700

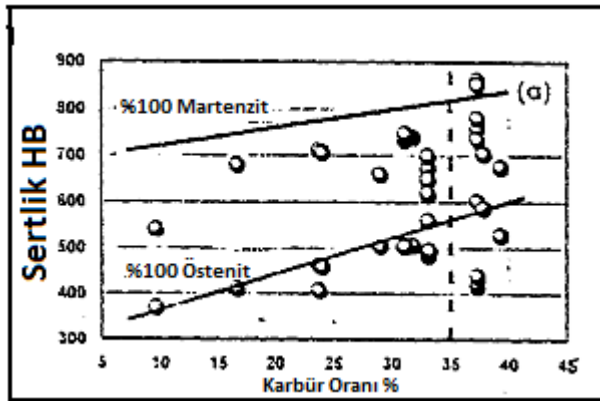
3.1.4.1. Karbürler

Yüksek krom-molibdenli beyaz dökme demirler sertlik ve aşınma direnci bakımından mikro yapısında sementit bulunduran dökme demirlerden daha iyi özellikler gösterirler. Bunun sebebi mikro yapıdaki krom karbürlerdir. Bu krom karbürler süreksiz ötektik ve ikincil olarak iki başlıkta incelenebilir. Çizelge 3.4. de bu karbürlerin sertlikleri verilmektedir. Karbür sertliklerinin bileşime göre değiştiği izlenmektedir [6].

Çizelge 3.4. Yüksek Cr-Mo içeren beyaz dökme demirlerin mikro yapısında bulunan karbürlerin sertlikleri [10]

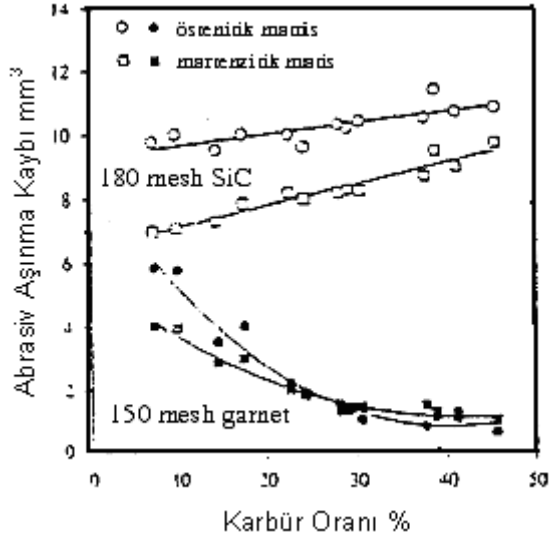
Tip	HV Sertlik
M_7C_3	1800-1200
M_2C	1500
M_3C	1100-840

Mikro yapıda hacim olarak %40-50 oranlarında bulunan karbürlerin dışında kalan kısımlara matris denir. Sertlik ve karbür oranı arasında doğru bir orantı mevcuttur [7]. Şekil 3.1’de bu doğru orantı izlenmektedir.



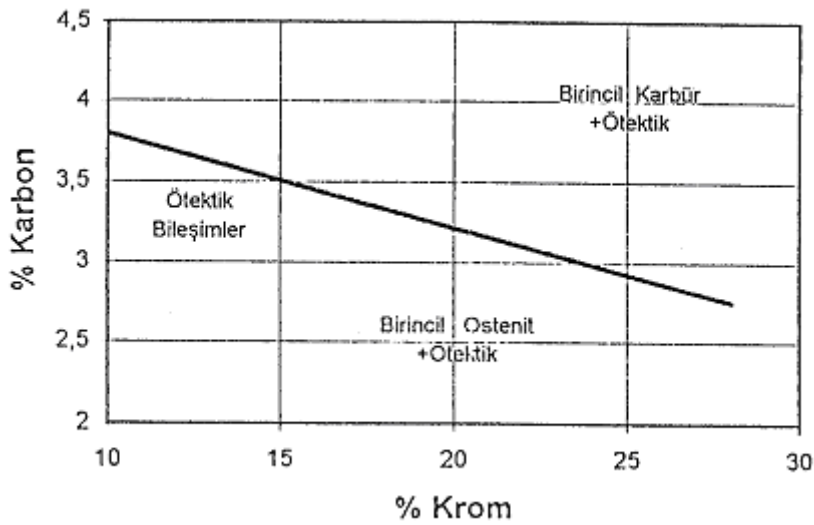
Şekil 3.1 Karbür hacim oranının (CVF) artışı ile sertliğin doğrusal olarak arttığını gösteren grafik [7]

Aşındırmada karbür oranı azalması ağırlık kaybının artışı demektir. Ancak buradaki bir diğer önemli faktör ise matris yapısıdır [7]. Aşındırıcı parçacıkların büyüklüğünün de etkisi oldukça önemlidir. Şekil 3.2’de abrasiv aşınma ve karbür oranı ilişkisi görülmektedir.



Şekil 3.2. Karbür oranının - abrasiv aşınma kaybı grafiği [7]

Mikro yapıdaki karbür oranı karbon miktarı arttıkça artmaktadır [4]. Oldukça kaba birincil karbürlerin oluşumu ötektik karbon miktarı artışı sonrası izlenmektedir.



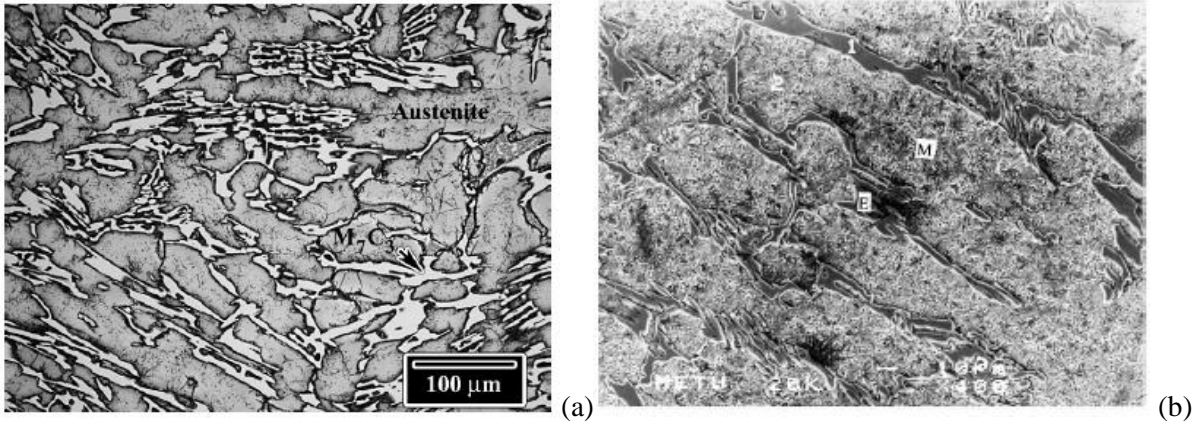
Şekil 3.3. Yüksek kromlu beyaz dökme demirler için karbon ve krom ve oranları [10]

Bahsi geçen birincil karbürler oldukça gevrek bir yapıdadır. Abrasiv parçacıkların etkisiyle kırılmaya meyillidirler. Bu sebeple normal durumdaki uygulamalarda izin verilen maksimum karbon oranı ötektik karbon içeriği kadardır. Bu miktar krom oranına göre değişiklik göstermektedir. Örneğin %3.6 (%15 Cr), %3.2 (%20 Cr), %3 (%25 Cr) gibidir.

Oranlar, alaşımda kullanılan diğer elementlere göre değişmektedir. Özellikle silisyum bu oranı azaltmaktadır [10].

3.1.4.2. Matris

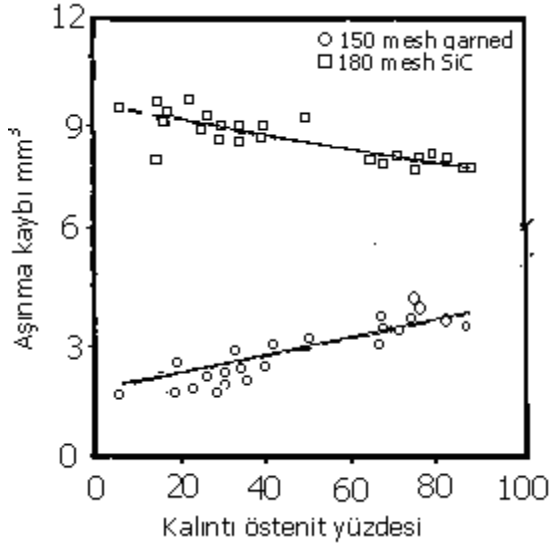
Mikro yapıdaki uygun karbür ve matrisin bulunması, tokluk ve aşınma direnci özelliklerinden yüksek verim alabilmek için önemlidir. İkincil karbürlerde sertleşmiş yüksek karbonlu sert martenzit matris için olabilecek optimum seçimdir. Farklı bir alternatif olarak, ısıtma işlemiyle sertleştirilmiş yüksek karbonlu sert martenzit sayılabilir. Fotoğrafta östenit ve martenzit matrisli mikro yapılar gözükmektedir [8,9].



Şekil 3.4. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde (a) östenit ve (b) martenzit matrislerine ait mikro yapı fotoğrafları [8,9]

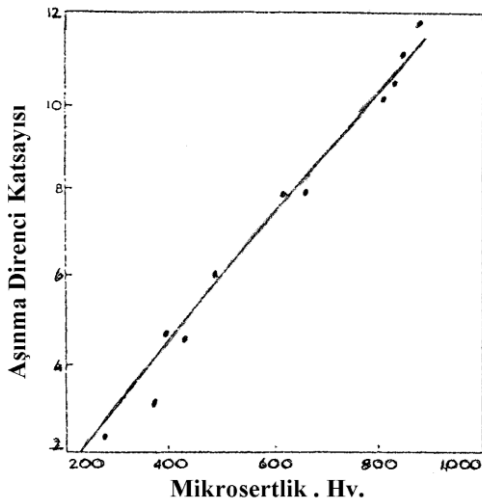
Martenzitin aşınmaya karşı gösterdiği direnç karbon oranının artmasıyla doğru orantılı gösterir. Isıl işlem sonrası martenzitik matrise dağılmış olan ikincil karbürler aşınma direncinin iyileşmesinde rol oynar. Ancak temperleme işlemi aşınma direnci için negatif etkiye sebep olmaktadır [8].

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde ise matris içine dağılmış karbürler izlenmektedir. Eğer matris yumuşak ise, karbürler aşınarak matristen koparlar. Bu durum karbürlerin aşınma direncinin tamamından yararlanılamamasına sebep olmaktadır [9]. Aşınma direnci ve kalıntı östenit oranı arasındaki ilişki Şekil 3.5’de verilmektedir.



Şekil 3.5. Aşınma direnci ile kalıntı östenit yüzdesi arasındaki ilişki [7]

Şekil 3.6'da görüldüğü üzere matris, karbürlerin aşınma direnci ve kırılma eğilimi açısından oldukça fazla önem arz etmektedir. Akma noktası, matris yumuşadıkça düşer. Bu esnada var olan mekanik gerilmeler karşısında karbürlere gerekli destek sağlanamaz. Sonuç olarak karbürler kırılmaktadır. Mikro yapıdaki perlit varlığı da bu sebeple önemlidir. Ancak yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde, %10'u aşan perlit oranı aşınma direncini kötü etkilemektedir [4,5].



Şekil 3.6. Yüksek Cr – Mo'li beyaz dökme demirler için matrisin mikro sertliğinin (HV-50) aşınma direncine etkisi [4]

%12 Mn içeren Hadfield çeliğinde olduğu gibi östenitik yapıda bulunan yüksek krom-molibdenli beyaz dökme demirler, aşınma sırasında oluşan gerilmeler ile deformasyon sertleşmesine uğrayabilmektedir. Fakat mekanik gerilme sonucu sertleşebilen östenitik matrisin, martenzitik matriste olduğu kadar yüksek aşınma direncine sahip görülmektedir [4,5]. (Çizelge 3.5)

Çizelge 3.5. Matris yapısının yüksek Cr – Mo’li beyaz dökme demirlerde aşınma kaybına etkisi[5]

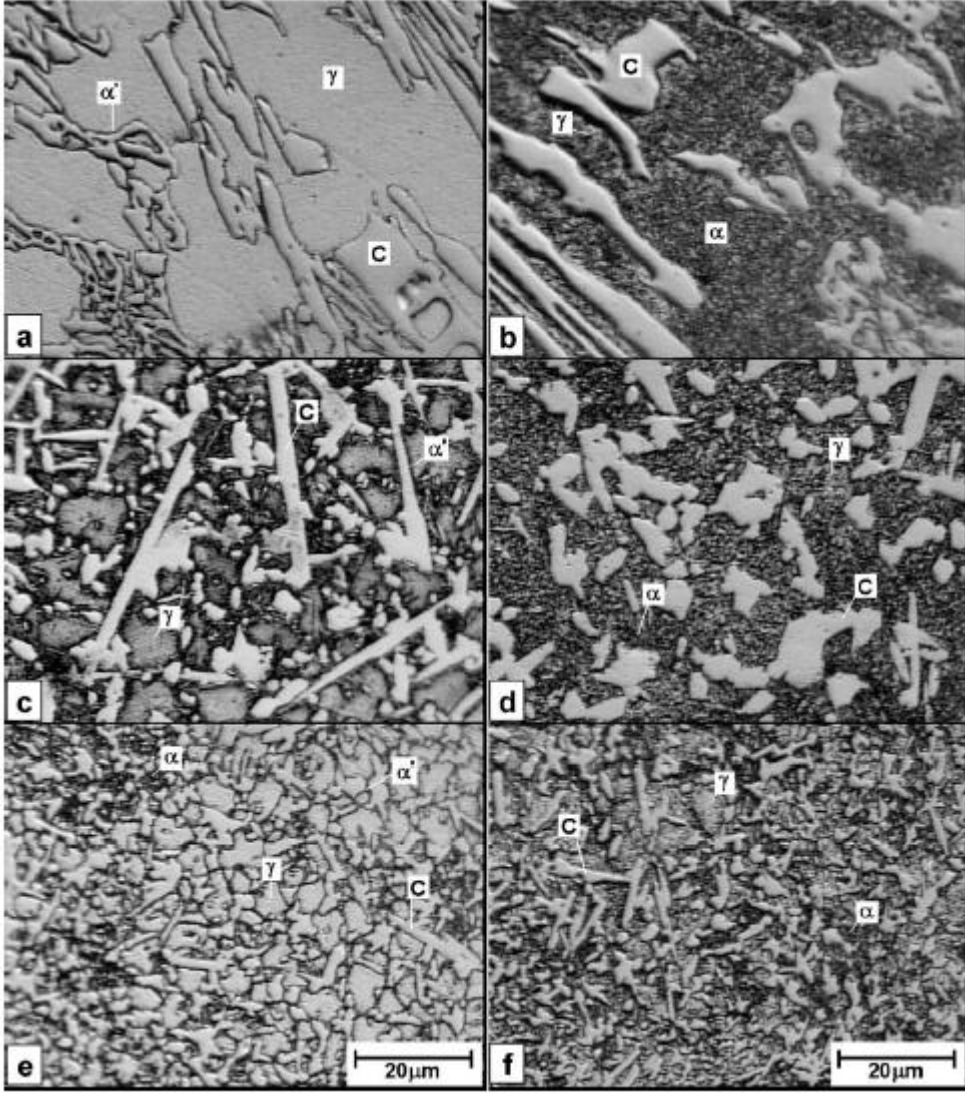
Matris Tipi	Aşınması Oranı (Oyma)	Aşınması Kaybı (gm) (Öğütme)	BHN
Martenzit	0,04	0,04	840
Östenit	0,09	0,08	564
Perlit	0,41	0,14	406

Çizelge 3.5’de belirtilen veriler, endüstride uygulanan çoğu öğütme ve kırma işlemlerindeki pratik veriler ile örtüşmektedir.

Östenitik veya kısmi östenitik matrisin mekanik gerilmeler altında martenzitik dönüşüme uğrayan tipinde sıcaklık artışıyla matrisin tekrar kararsız hale geldiği izlenmiştir. Oluşan faz dönüşümleri, hacim değişikliğine sebep olmakta ve dökümde kırılmalara veya yüzeyde istenmeyen mikro çatlaklara sebep olabilmektedir [12].

Bunun yanında bazı araştırmalar göstermektedir ki, östenitik matrisli yüksek kromlu beyaz dökme demirler, martenzitik matrisli beyaz dökme demirlerden, aşınma esnasında oluşan deformasyon sertleşmesi sebebiyle daha yüksek aşınma direncine sahiptir [12].

Isıl işlem, soğuma hızı ve alaşımdaki elementlerde yapılan değişiklikler yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde matris yapısına etki etmekte ve farklı yapılara meydana getirmektedir [12].



(γ) östenit , (α') martenzit, (α) pelit, (c) karbür

Şekil 3.7. Yüksek kromlu dökme demirlerde karışık matris yapıları [13]

3.2. Yüksek Cr'lu Beyaz Dökme Demirlerde Uygulama Alanları

Yüksek Cr – Mo ihtiva eden beyaz dökme demirlerin aşınmaya maruz birçok uygulamada kullanılmasının nedeni üstün aşınma direnci ve tokluk özellikleridir [5].

Darbe çubukları ve darbeli kırıcıların dövücü blokları bu tip dökme demirlerin kullanıldığı ve en çok verim alındığı alanlardan biridir. En iyi sonuçlar genelde martenzitik yapıda bulunan tipte görülmektedir [5].

Cevher öğütme değirmenlerinde ya da çimento değirmenleri için astar olarak başarılı bir şekilde kullanılmaktadır [5].

Aşınmaya dirençli pompa üretiminde her geçen gün artan oranlarda kullanılmaktadır. Bunun sebebi yüksek tokluk, aşınma direnci ve daha iyi işlenebilirlikleridir [5].

3.3. Alaşım da kullanılan elementlerin YKBDD Özelliklerine Etkisi

Dökme demir çeşitlerinin çoğunda alaşım elementleri birbirinden etkilenir ve dökme demirin özellikleri bu sebeple değişiklikler gösterir. Bu elementler karbür ve grafitlerin şekillerini ve miktarlarını etkilemektedir (Çizelge 3.6) [7].

Örneğin, dökme demirdeki beyazlaşma eğilimi Si-C oranındaki değişime bağlı bir şekilde değişmektedir. Molibden, krom, mangan, nikel, vanadyum vb. elementler ise alaşımdaki temel eğilimi yönlendirebilmek için ilave edilmektedirler (Şekil 3.8). Isıl işlem, ekonomik faktörler, parça boyutu, parça geometrisi gibi imalat parametreleri göz önüne alınarak, malzemedeki sonuç olarak beklenen özellikler de düşünüldüğünde, beyaz dökme demirlerin optimum kimyasal bileşimi seçilir. Bu amaçla bahsi geçen alaşım elementleri çeşitli kombinasyonlar ile alaşıma ilave edilerek beklenen sertlik, aşınma direnci ve mikro yapılar elde edilebilir [7]

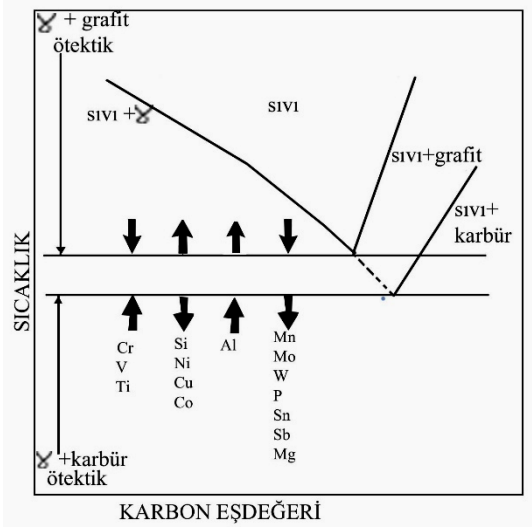
Çizelge 3.6. Aşınma dirençli dökme demirlerin katılaşması boyunca alaşım segregasyonu [7]

	Composition (Wt%)								Total	Stoich. ⁽¹⁾	Partition Ratios = Carbide% / Matrix%						
	Cr	C	Fe	Ni	Si	Mn	Mo	Cu			Cr	C	Ni	Si	Mn	Mo	Cu
Ni-Hard AR Cast Iron or ASTM IA:																	
Melt	3.2	3.6	n.a.	4.1	1.0	0.5	0.0	0.0									
Carbide	5.8	6.1	86.6	1.4	0.0	0.4	0.0	0.0	100.5	$M_{77}C_{23}$	4.8	5.5	0.23	0.0	1.3	n.a.	n.a.
Matrix	1.2	1.1 ⁽²⁾	89.8	6.1	2.0	0.3	0.0	0.0	100.7	(M_7C_3)							
Ni-Hard 4 AR Cast Iron or ASTM ID:																	
Melt	6.4	2.9	n.a.	5.8	1.8	1.0	0.0	0.0									
Carbide	30.2	8.8	60.2	0.7	0.0	1.3	n.a.	n.a.	101.3	$M_{70}C_{30}$	2.9	5.8	0.11	0.0	1.6	n.a.	n.a.
Matrix	3.4	1.3 ⁽²⁾	85.2	6.9	2.5	0.9	n.a.	n.a.	100.3	(M_7C_3)							
Ni-Hard 4 AR Cast Iron or ASTM ID:																	
Melt	8.0	3.4	n.a.	5.8	2.2	1.1	0.0	0.0									
Carbide	24.5	8.4	65.5	0.7	0.0	1.3	n.a.	n.a.	100.6	$M_{71}C_{29}$	9.4	8.4	0.09	0.0	1.6	n.a.	n.a.
Matrix	2.6	1.0 ⁽²⁾	86.5	7.4	2.2	0.8	n.a.	n.a.	101.6	(M_7C_3)							
High-Cr AR Cast Iron or ASTM IIB:																	
Melt	18.4	2.2	n.a.	0.4	0.3	0.5	0.0	0.0									
Carbide	50.2	8.7	41.0	0.0	0.0	0.7	0.1	0.0	100.4	$M_{70}C_{30}$	4.3	8.7	0.0	0.0	1.2	n.a.	0.0
Matrix	11.5	1.0 ⁽²⁾	85.4	0.6	0.7	0.6	0.0	0.1	100.2	(M_7C_3)							
High-Cr AR Cast Iron or ASTM IC:																	
Melt	15.3	3.1	n.a.	0.4	0.4	0.6	0.9	0.8									
Carbide	45.5	8.4	44.2	0.0	0.0	0.6	1.6	0.0	100.4	$M_{71}C_{29}$	4.8	7.6	0.0	0.0	1.0	3.2	0.0
Matrix	9.5	1.1 ⁽²⁾	86.3	0.5	0.5	0.6	0.5	1.3	100.2	(M_7C_3)							
High-Cr AR Cast Iron or ASTM IIE:																	
Melt	20.2	3.0	n.a.	0.4	0.5	0.7	1.9	0.8									
Carbide	53.0	8.6	36.1	0.0	0.0	0.7	1.8	0.0	100.2	$M_{70}C_{30}$	4.5	8.6	0.0	0.0	1.0	2.2	0.0
Matrix	11.7	1.0 ⁽²⁾	82.4	0.6	0.8	0.7	0.8	1.5	99.6	$(M_7C_3)^{1/2}$							
High-Cr AR Cast Iron or ASTM IIIA:																	
Melt	26.8	3.2	n.a.	0.3	0.2	0.5	0.5	0.1									
Carbide	60.9	8.6	31.3	0.0	0.0	0.4	0.5	0.0	101.5	$M_{71}C_{29}$	4.6	14.3	0.0	0.0	0.80	n.a.	0.0
Matrix	13.3	0.8 ⁽²⁾	85.0	0.4	0.6	0.5	0.3	0.1	101.0	(M_7C_3)							

(1) Stoichiometry of the carbide (i.e., $M_7C_3 = M_{70}C_{30}$) is based on exact microprobe data and () shows rounded numbers.

(2) Matrix C concentrations were referenced against a low-C standard (NBS 160A, 19% Cr, 14% Ni, 3% Mo, 0.06% C steel).

n.a. not applicable or not analyzed.



Şekil 3.8. Grafit ve karbür Ötektik sıcaklıkları üzerine alaşım elementlerinin etkisi [7]

Titanyum, krom ve vanadyum miktarındaki artış ile ötektik karbür artar, ötektik grafit azalır (Şekil 3.8) [7].

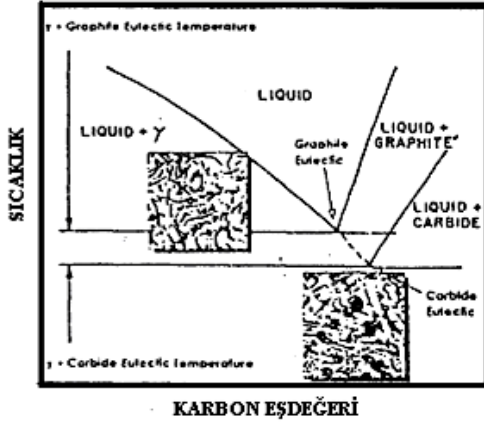
3.3.1. Bakır

Bakır elementinin östenit fazında çözünürlüğü sınırlıdır. Bu yüzden en fazla %2.5 kullanılır. Ancak yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin mikro yapısındaki perlit oluşumunu engeller. Özellikle molibden elementiyle birlikte alaşıma eklendiğinde bu amaca daha iyi hizmet eder [4].

%3 molibden ilavesi yerine %2 molibden ve %1 bakır kullanımı daha iyi bir sertleşebilirlik sağlar [4].

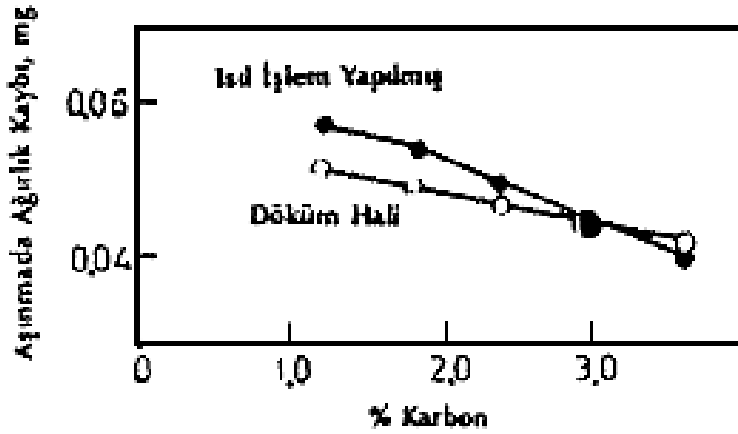
3.3.2. Karbon

Karbon, karbür oluşturması sonucu beyaz dökme demirin sertliğinde artışa neden olur. YKBDD'de karbür oluşumu en önemli etkenlerdendir. Karbon içeriği %2.2–3.5 (%15 Cr), %2.2–2.7 (%27 Cr) aralığındadır [7].



Şekil 3.9. Grafit ve karbür ötektik sıcaklıkları arasındaki temperleme aralığı [7]

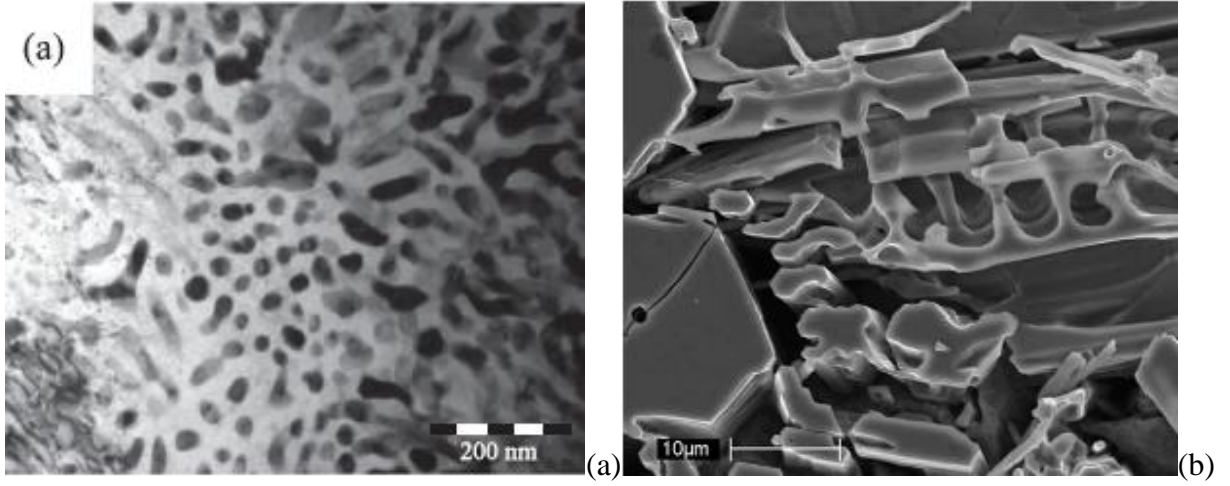
Karbon oranındaki artış, beyaz dökme demirlerde sertlik ve aşınma direncini artırırken mukavemeti düşürerek kırılabilirliği artırır (Şekil 3.10) [14].



Şekil 3.10. YKBDD'de karbonun aşınma direncine etkisi [14]

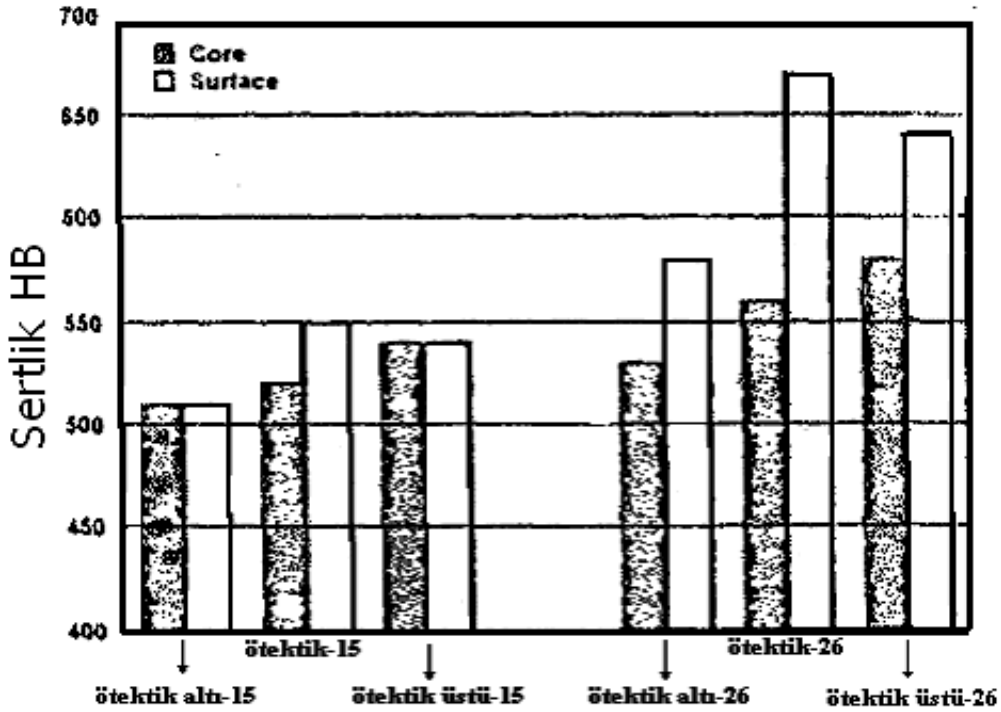
3.3.3. Krom

Krom, aşınma direnci yüksek YKBDD için kararlı bir karbür yapısı oluşturur (Şekil 3.11). Bu sayede aşınma direncini ve sertliği artıran bir elementtir [15]



Şekil 3.11. Krom karbürlerin farklı bileşimlerdeki mikro yapı fotoğrafları. (a) $(FeCr)_{23}C_6$ ve (b) $(FeCr)_7C_3$ [15]

%10'dan fazla krom oranı beyaz dökme demirlerde M_7C_3 tipinde ötektik karbürler oluşturur. Bu esnada korozyon direncinde artış görülür. Martenzitik yapıdaki beyaz dökme demirler için en yüksek aşınma direnci %12-22 oranında krom içeren alaşımlarda görülür. Krom oranı ve sertlik arasındaki doğru orantı Şekil 3.12'de görülmektedir [14].



Şekil 3.12. Sertlik ölçümünün yeri ve krom miktarına bağlı olarak sertlikteki değişim [7]

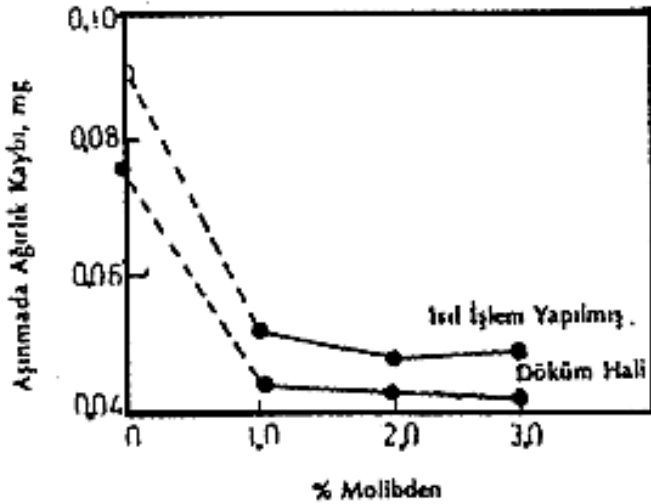
Sertlikteki en büyük fark, %26 krom ihtiva eden ötektik beyaz dökme demirde görülmektedir [7].

Krom yalnız başına kullanıldığı takdirde yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde perlit oluşumu engellenemez. Bu durumda yeterli sertlik miktarı için mangan, nikel, molibden gibi ilave alaşım elementleri kullanılmaktadır [7].

3.3.4. Molibden

Molibden %0,5 – 3 oranında kullanıldığında martenzitik beyaz dökme demirlerde mikro yapıdaki perlit oluşumunu engellemektedir. Beraberinde Ni, Cu, Cr ilavesiyle farklı yüksek sıcaklıktaki dönüşümleri engeller. %12 ila %18 krom içeren beyaz dökme demirlerde %1-4 aralığında kullanılan Mo, yavaş soğutma şartlarında elde edilmiş kalın kesitlerde dahi perlitin meydana gelmesini önleyebilir. İnce kesitlerde ise asiküler beynit tipi bir yapının oluşmasına neden olabilir [4].

Bu elementin bakır, nikel ve mangana göre en önemli fark yarattığı özellik ise, sertliği artırırken kalıntı östenit oluşumuna yer vermemesidir. Sertliğin yanı sıra beyaz dökme demirlerde aşınma direncini de oldukça iyi seviyeye getirmektedir (Şekil 3.13) [14].

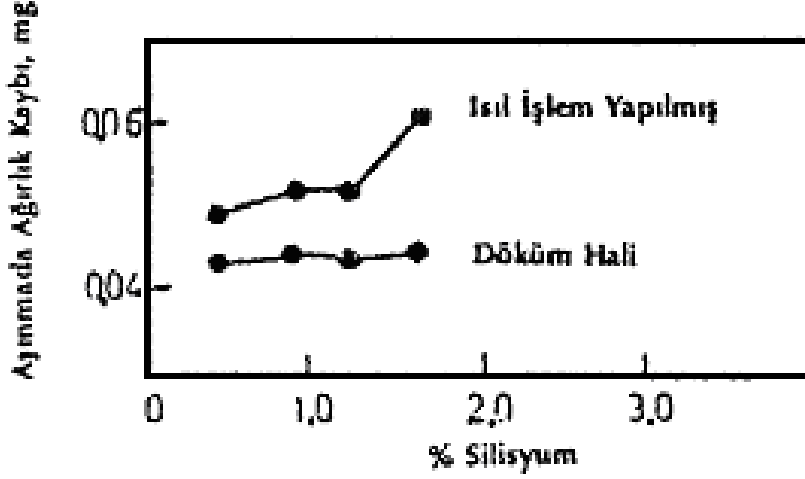


Şekil 3.13. YKBDD'de molibdenin ve aşınma direnci grafiği [14]

3.3.5. Silisyum

Silisyum oranı artışı, yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde aşınma direnci ve sertlik özelliklerinde negatif etki gösterebilmektedir [14].

Mikro yapısında perlit oluşumunu engelleyen nikel, bakır, molibden ve krom gibi elementler ile kullanıldığında M_s sıcaklığının yükseldiği izlenir. Aynı zamanda karbür yapısını da değiştirir [4].



Şekil 3.14. YKBDD’de silisyum ve aşınma direnci [14]

Uygun miktarda silisyum ilavesi, mikro yapıda bulunan karbürlerin artışına sebep olur. Bunun yanında nispeten ince yapıli karbürler meydana gelir. Sonuç olarak karbürler arasındaki mesafe azalarak matrisi aşınmadan korur ve aşınma direncinde artış sağlanır. Malzemedeki tokluğu ise %30 oranında artırabilir. Gereğinden fazla kullanılan silisyum mikro yapıda perlit meydana gelme ihtimalini artırarak matrisi daha zayıf hale getirebilir ve aşınma ve darbe dirençlerinde düşüşe sebep olabilir [4].

3.3.6. Fosfor

YKBDD’de tokluğu ve özellikle kalın kesitlerde molibdenin sağladığı sertleştirici etkiyi düşürdüğünden %0.3’ün altında kullanılması gerekmektedir [4].

3.3.7. Kükürt

YKBDD’de istenen optimum aşınma direncinin sağlanabilmesi açısından mikro yapıda bulunması gereken kükürt miktarı %0.03’ü aşmamalıdır [4].

3.3.8. Mangan

Mangan her ne kadar perlit oluşumunu engellese de yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde en fazla %0.7 bulundurulmalıdır. Bunun sebebi %1.5'i aştığı durumlarda kalıntı östenit oluşturma riskinin artışı sonucu tokluk, aşınma direnci ve mukavemet düşer ve kırılma riski yükselir [4].

3.3.9. Nikel

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin sertliğinin artırılması ve mikro yapıdaki perlit oluşumunun önlenmesi için çoğu zaman %1,5 ila %0,2 arasında nikel eklenmektedir [4].

3.3.10. Bor

%0,12 – 0,3 oranlarında bor ilave edildiğinde karbür yapısını inceltip sürekli iğneler haline getirerek yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin aşınma direncini ve darbe direncini artırır [4].

%28 krom içeren beyaz dökme demirlerde karbür miktarını artıran bor, alaşımı sertleştirir ancak tokluk değerinde düşme yaşanmasına sebep olabilir [4].

3.3.11. Niyobyum

Nb'un, %0,01 – 0,5 arasında kullanıldığında dökme demirlerin mikro yapısında karbür yapıcı etkisi vardır. Bu sayede aşınma direncini ve diğer mekanik özelliklerini artırmaktadır. Nb %3 oranlarına kadar kullanıldığında %15,6 – 27,7 Cr ve %2,9 – 3,2 C içeren demirlerin aşınma direncini arttırabilir [4].

Nb ilavesi yapıyı inceltirerek YKBDD'nin aşınma direncini artırır. Bu elementin alaşıma ilave edilmesi ötektik noktanın bir miktar sağa doğru kaymasına sebep olur. Bu da YKBDD'nin kaba parçacıklı, gevrek birincil karbürlere mahal vermeden daha yüksek miktarlarda C elementi içerebilmesini sağlamaktadır [4].

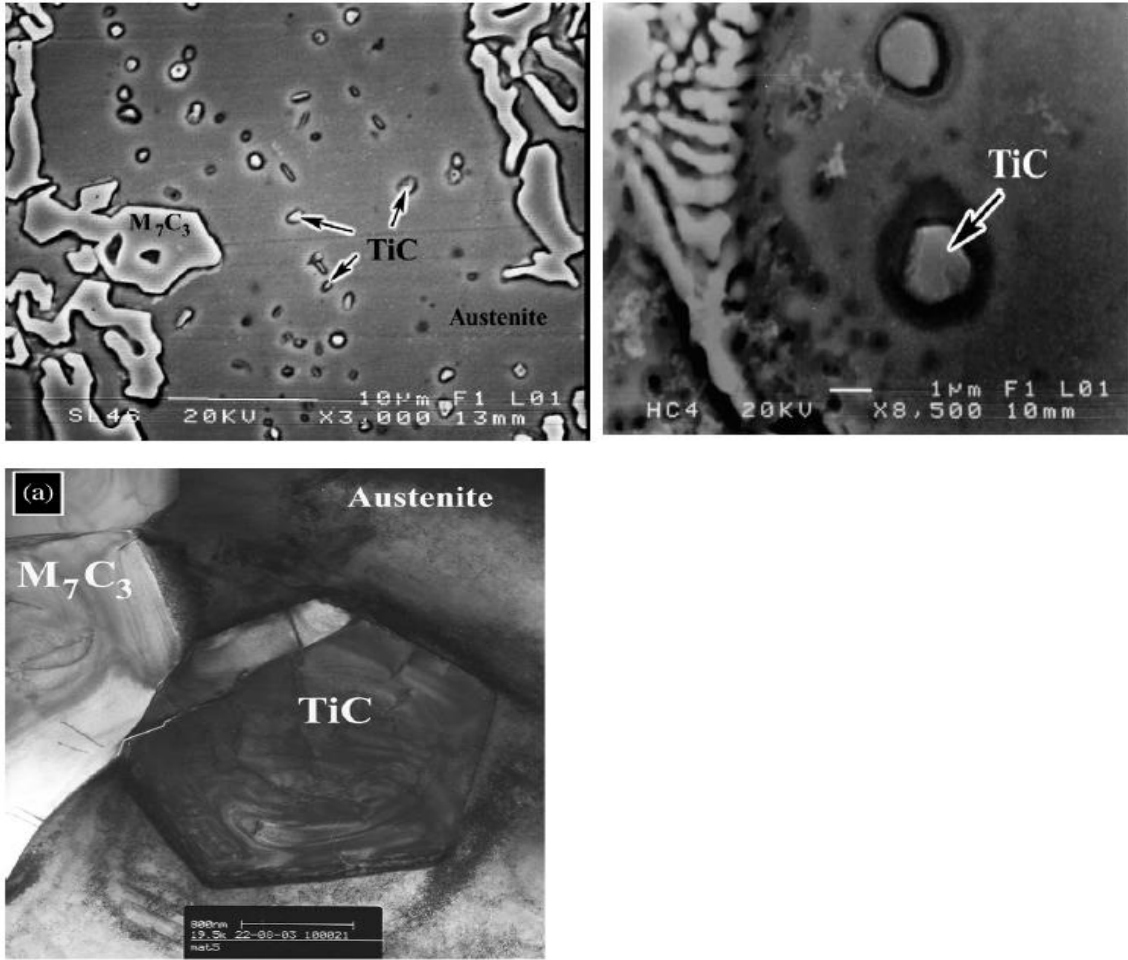
3.3.12. Vanadyum

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlere yaklaşık %0,5 vanadyum ilavesi krom karbürlerde yoğun olarak çözünüp krom karbürlerin gevrekliğini arttırmasından dolayı aşınma

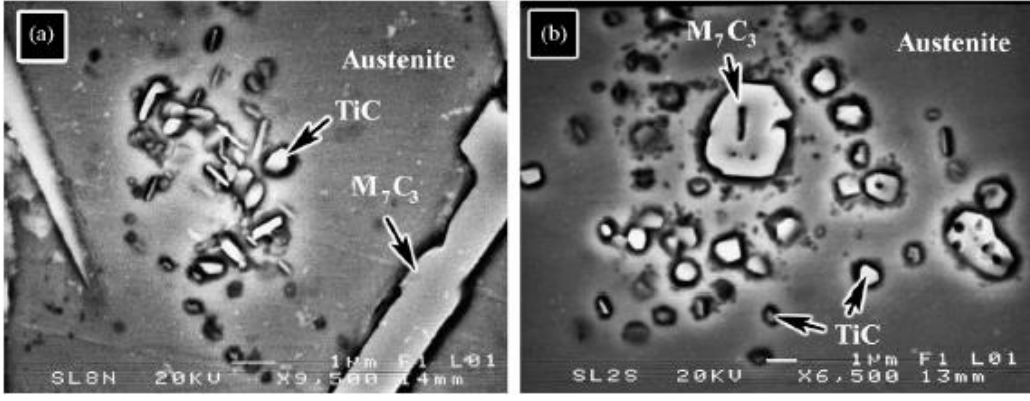
direncinin düşmesine sebep olur. %3'e kadar artması durumunda, vanadyum karbürlerin (VC) oluşması sebebiyle aşınma direncinde nispeten bir artış görülür [16].

3.3.13. Titanyum

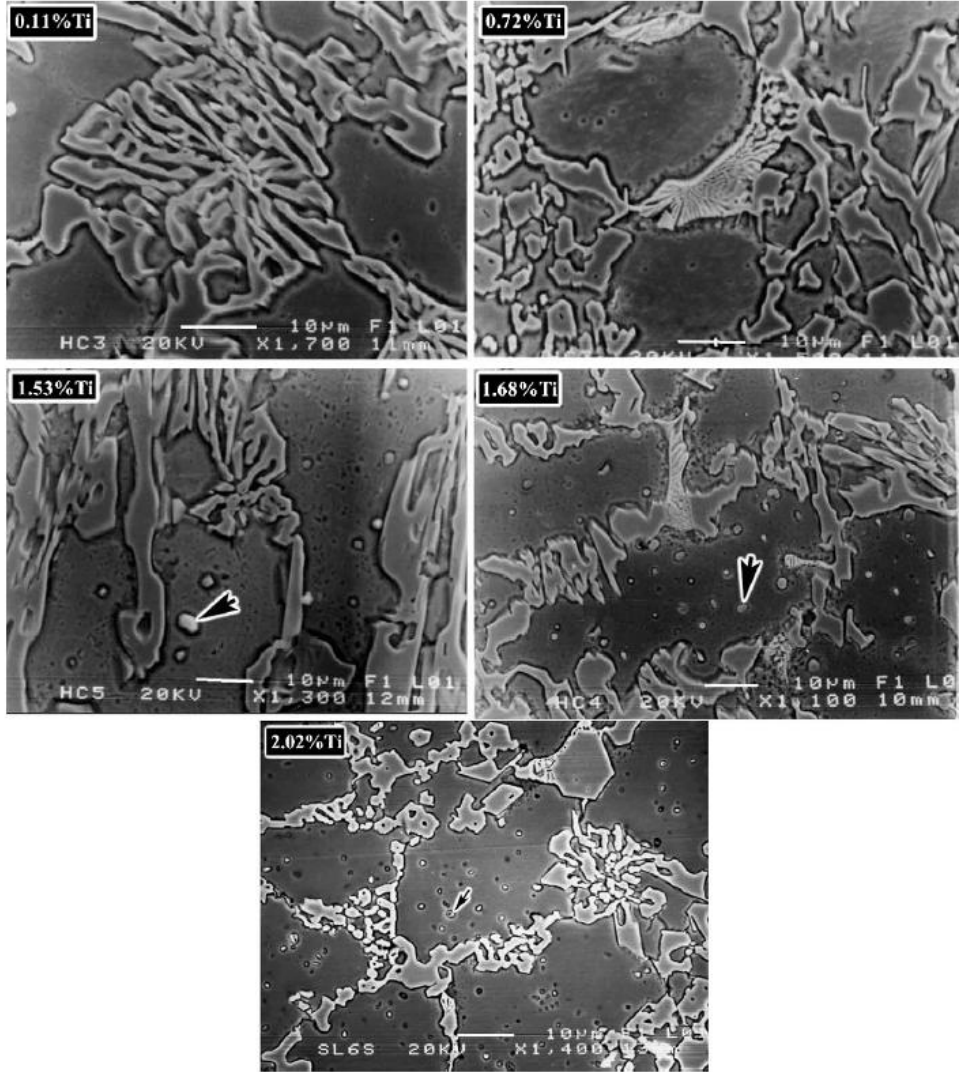
YKBDD'de %0,03 ila %0,3 oranında Ti ilavesi ile yapıda bulunan ötektik ve birincil karbürler küreleşirler. Bu elementin oranının artırılması sonucu TiC miktarı artar. Sıcaklık değerleri daha üst seviyelerde, yapıda ince bir şekilde çekirdeklenmiş ötektik ve birincil karbürler olarak bulunan birçok TiC parçacığı, Şekil 3.15'de görüldüğü gibi çökerek çubuğumsu, serbest dentritik veya taç yaprağı şeklinde karbür büyümesini bastırır ve toklukta düzelleme sağlar (Şekil 3.16). Ti oranının artması ile matris mikro sertliğindeki ve yüzey sertliğindeki artış doğru orantılıdır. Ayrıca ötektik karbür oranı da düşer (Şekil 3.17) [9].



Şekil 3.15. Östenit matris içerisindeki TiC'ün farklı büyütmelerdeki resimleri [9]



Şekil 3.16. TiC'lerin bir araya toplanması sonucu karbür şeklinin değişimi (a) %1.68 Ti (b) %2.02 Ti [9]



Şekil 3.17. Farklı oranlardaki titanyumun mikro yapıya etkisi [9].

3.3.14. Nadir Toprak Elementleri

Lantan, Seryum, ve neodim gibi toprakta nadir bulunan bazı elementler, YKBDD'nin mikro yapısında değişikliklere neden olarak mekanik özelliklerini düzeltmektedirler. Bu alaşım elementleri için optimum oran içeriği %0,13 – 0,26 arasındadır. Ayrıca alaşımın kırılma tokluğunu etkilemeden aşınma direncinde %10'a kadar artış sağladıkları da bilinmektedir [4].

4. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERDE ISIL İŞLEM VE KATILAŞMA

4.1. Ergitme ve Döküm

Yüksek krom molibdenli beyaz dökme demirlerden ticari amaçla geliştirilen beş temel sınıf Çizelge 4.1’de özellikleri ile birlikte görülmektedir [1].

Bu alaşımlar çoğu zaman elektrik ark ve indüksiyon fırınlarında asidik, bazik veya nötr astar kullanılarak üretilir. Her ne kadar önemli bir problem teşkil etmese de asidik astar kullanıldığında ergiyikteki krom ile silika astar arasında bir reaksiyon meydana gelir [1].

Genelde çeşitli çelik ve döküm hurdaları, şarj malzemeleri, servisten geri dönen hurda ve parçalar ferro kromdur [1].

Çizelge 4.1. Ticari amaçla geliştirilen yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirlerin bileşimleri [5]

Tür	% Bileşim								Sertlik (HRC)		
	C	Mn	Si	Cr	Mo	Cu	S (max)	P (max)	Döküm Sonrası	Su Verme	Tavlama Sonrası
15-3 HC	3.4	0.9	0.6	15	2.8	-	0.05	0.1	51-56	62-67	40-44
15-3 MC	3.0	0.8	0.6	15	2.8	-	0.05	0.1	50-54	60-65	37-42
15-3 LC	2.6	0.7	0.6	15	2.36	-	0.05	0.1	44-48	58-63	35-40
15-2-1	3.2	0.8	0.6	15	2.1	0.9	0.05	0.06	50-55	60-67	40-44
20-2-1	2.8	0.8	0.7	20	1.7	0.9	0.05	0.06	50-54	60-67	34-43

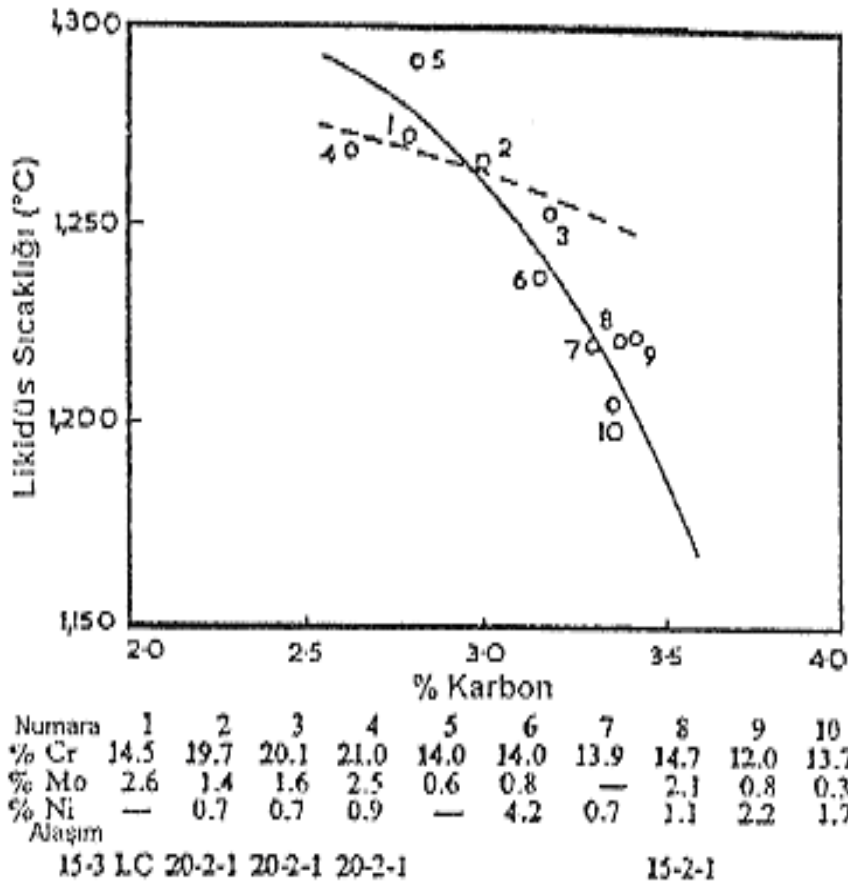
Molibden genellikle ferro alaşım olarak eklenir. Fakat özellikle ark fırınlarında molibden oksit olarak da kullanılabilir. Karbon, petrol, grafit elektrod ve benzeri diğer kaynaklardan elde edilmektedir. Karbürize amacıyla pik demir kullanıldığı takdirde düşük oranlarda silisyum ihtiva etmelidir. Si içeriğinin ideal oranı %0.6, Mn içeriği %1’dir. Ferro krom ilavesi, aşırı oksidasyon kaybını engellemek için ergitmenin sonunda yapılır [5].

Yüksek krom – molibden içeren beyaz dökme demirlerde likidüs sıcaklığı karbon ve krom içeriğine bağlıdır (Şekil 4.1) [5].

Tong'a göre T_e (ergime sıcaklığı) ve T_o (ötektik sıcaklığı) aşağıda verilen formülle hesaplanmaktadır [4]

$$T_e = 1554.5 - 89.2(\%C) - 0.77 (\%Cr) \quad T_o = 1201.7 - 20.3 (\%C) + 5.97 (\%Cr)$$

Çizelge 4.2 de C ve Cr içeriği ile ergime sıcaklığındaki değişim görülebilmektedir.



Şekil 4.1. % 12 – 16 Cr, % 19 – 21 Cr içeren beyaz dökme demirlerin likidüs sıcaklıklarının karbon içeriğine göre değişimi [5].

Çizelge 4.2 Aşınma dirençli yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin ASTM A352'den seçilmiş bazı standartlarının katılaşma sıcaklıkları [7]

Material Class	Type	Designation ⁽²⁾	%Cr	%C	Austenite		
					Start ⁽¹⁾ (Liquidus) Temp ⁽¹⁾ °C	Solidus Temp ⁽¹⁾ °C	Freezing Range °C
I	A	Ni-Cr-HC	2	3.0 + 1% Si	1275	1150	125
I	A	Ni-Cr-HC	2	3.6 + 1% Si	1225	1150	75
I	B	Ni-Cr-LC	2	2.5 + 1% Si	1325	1150	175
I	C	Ni-Cr-GB	Similar to the above irons (carbon is the dominant player).				
I	D	Ni-Hi Cr	8	2.5 + 1.5% Si	1325	1200	125
I	D	Ni-Hi Cr	8	3.6 + 1.5% Si	1225	1200	25
II	A	12% Cr	12	2.6	1340	1245	95
II	B	15% Cr-Mo-LC	15	2.6	1330	1255	85
II	C	15% Cr-Mo-HC	15	3.0	1300	1250	50
II	C	Cr-Mo-HC	15	3.6	1250	1240	10
II	D	20% Cr-Mo-LC	20	2.3	1350	1275	75
II	E	20% Cr-Mo-HC	20	3.0	1290	1260	30
III	A	25% Cr	25	2.3	1340	1285	55
III	A	25% Cr	25	3.0	1290	1270	20

(1) Solidification temperatures are accurate to $\pm 10^\circ\text{C}$.

(2) Designation: HC = High C; LC = Low C; GB = Great Britain.

Yüksek döküm sıcaklıklarında kaba dentritik yapı, düşük döküm sıcaklıklarında ince taneli yapı oluşur. Ötektik karbür yapısının kontrolü için de döküm sıcaklığı düşük olmalıdır [4].

Alaşımın yaş veya kuru kum kalıba, çelik kumu ya da yağlı kuma dökülür. Katılaşmadan sonra %2 civarında bir çekilme meydana gelir [4].

Besleyici ve yollukların ana parçadan kesilmesi sırasında termal gerilmelerin engellenmesine ve çatlak oluşturulmamasına dikkat edilmelidir [4].

Tokluk, genellikle dökümden sonra en düşük düzeydedir ancak ısıl işlemlerle artırılabilir [4].

4.2. Fe-Cr-C Sistemi

YKBDD mikro yapısı sebebiyle üstün mekanik özelliklere ve aşınma direncine sahiptir. Bu sebeple Fe-Cr-C sisteminin incelenmesinde yarar vardır [17].

Çizelge 4.3. Fe – Cr - C sistemlerinde sıvılaşma yüzeyinde bulunan kritik noktalarda oluşan reaksiyonlar [14]

Sistem	Sembol	Sıcaklık °C	Reaksiyon
Fe – C – Cr	U ₁	1275	$L + \delta Fe = M_{23}C_6 + \Gamma Fe$
	U ₂	1255	$L + M_{23}C_6 = M_7C_3 + \Gamma Fe$
	U ₃	1160	$L + M_7C_3 = M_3C + \Gamma Fe$
	U ₄	1156	$L + M_3C = M_3C + \Gamma Fe + C$
	U ₅	1230	$L + M_7C_3 + C = M_3C$
	U ₆	1585	$L + M_3C_2 = M_7C_3 + C$

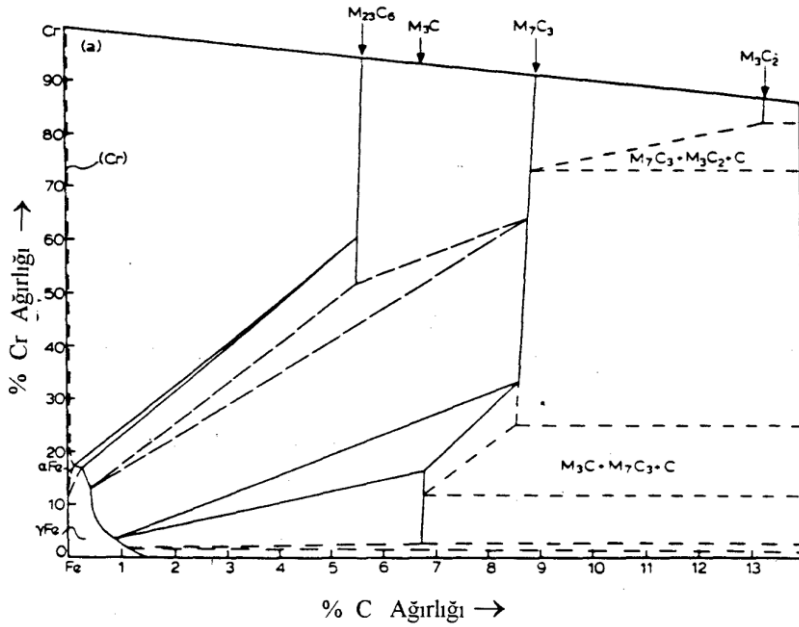
Çizelge 4.4.'de Fe–C–Cr sistemindeki fazların kafes parametreleri ve kristal yapıları görülmektedir

Çizelge 4.4. YKBDD'de mikro yapıda bulunan kafes parametreleri ve fazlar [6]

FAZ	KAFES YAPISI
α Fe	HMK
Γ Fe	YMK
δ Fe	HMK
Cr	HMK
Fe ₃ C	Ortorombik
Cr ₂₃ C ₆	YMK
Cr ₇ C ₃	Hekzagonal
Cr ₃ C ₂	Ortorombik
α (% 14,7 Cr)	Tetragonal

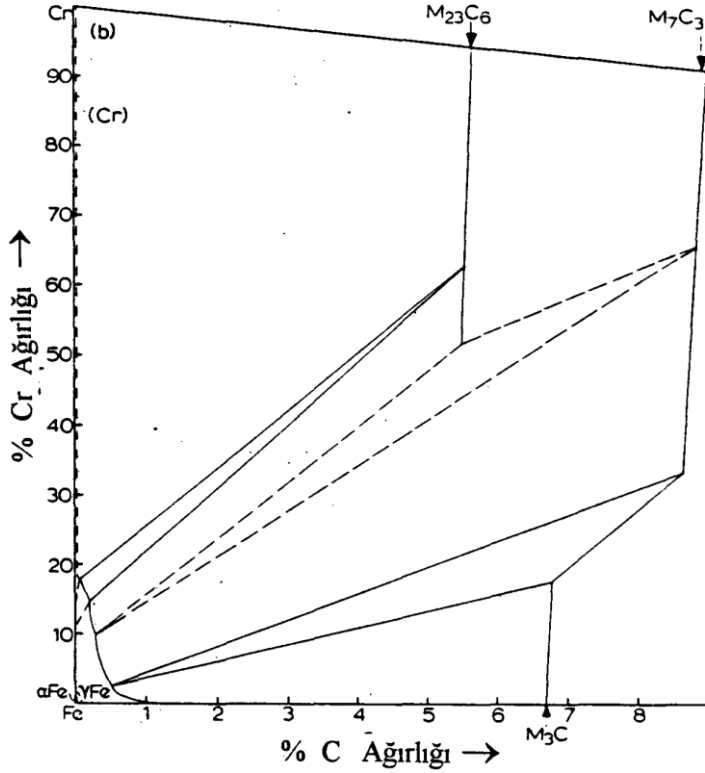
4.3. Fe-C-Cr Sistemi Katı Durum Denge Diyagramı

Fe-C-Cr sisteminin katı durum diyagramları, yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde döküm sonrasında soğuma esnasında oluşan matris yapısı bakımından ve yeniden östenitleme ile östeniti martenzite dönüştürme işlemindeki yapı oluşumları yönünden önemlidir. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de Fe-C-Cr sisteminin 870 °C ve 1000 °C'deki izotermi görülebilmektedir [10].



Şekil 4.3. Fe-C-Cr sisteminin Fe-C-Cr 1000 °C deki katı durum izotermi [10]

Ticari beyaz dökme demir alaşımlarının çoğu östenit - M_7C_3 bölgesinde bulunmaktadır. Şekil 4.4'de gösterilen 870 °C'deki izoterm 1000 °C'deki izotermden farkı temel olarak östenit alanının daralmasıdır. Bu daralma ile belirli bir bileşimdeki yüksek kromlu beyaz dökme demirin matrisini oluşturan östenit 870 °C'de 1000 °C'ye nazaran daha az karbon ve krom içermektedir [10].

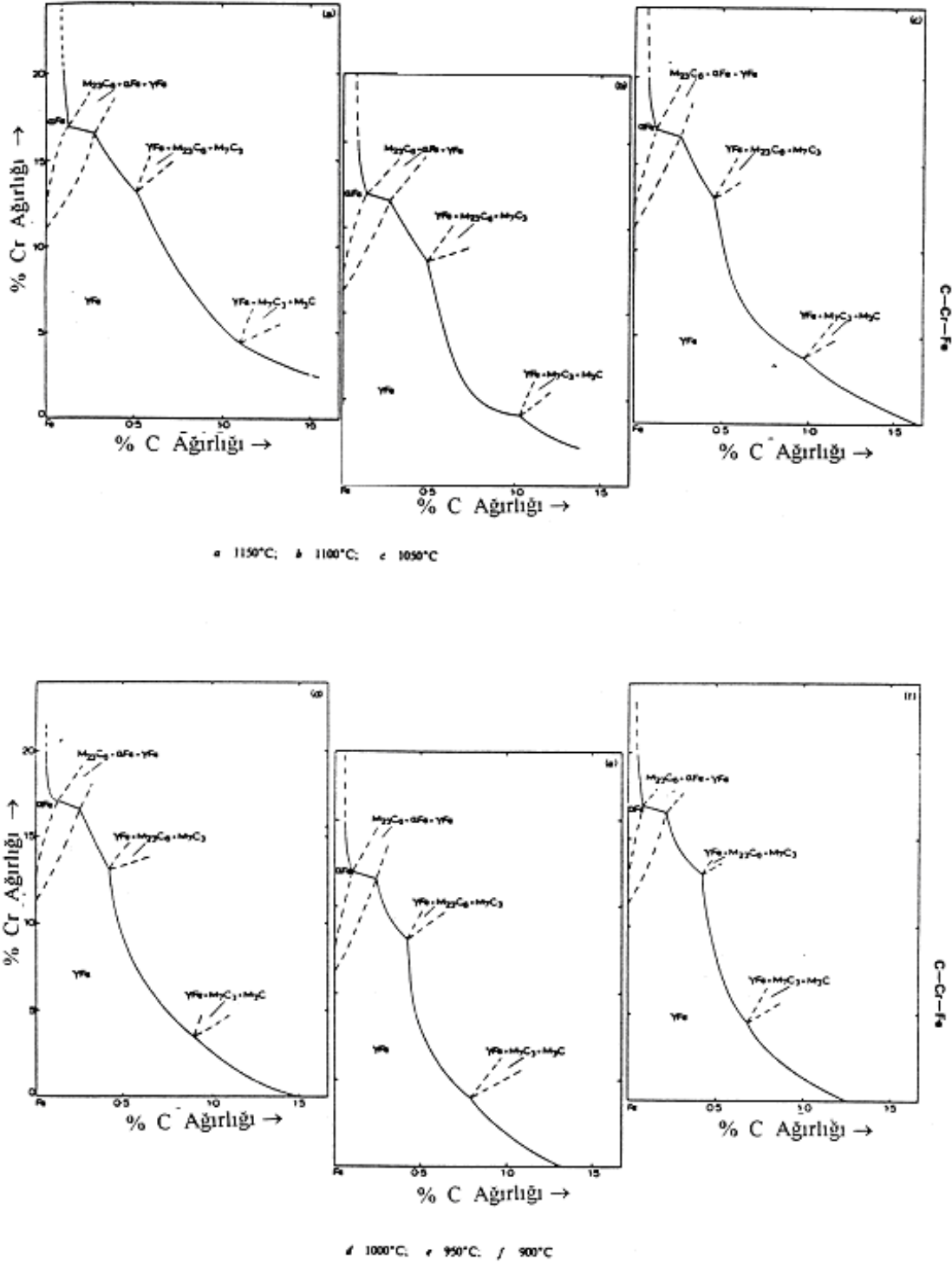


Şekil 4.4. Fe-C-Cr sisteminin 870 °C'deki katı durum izotermi [10]

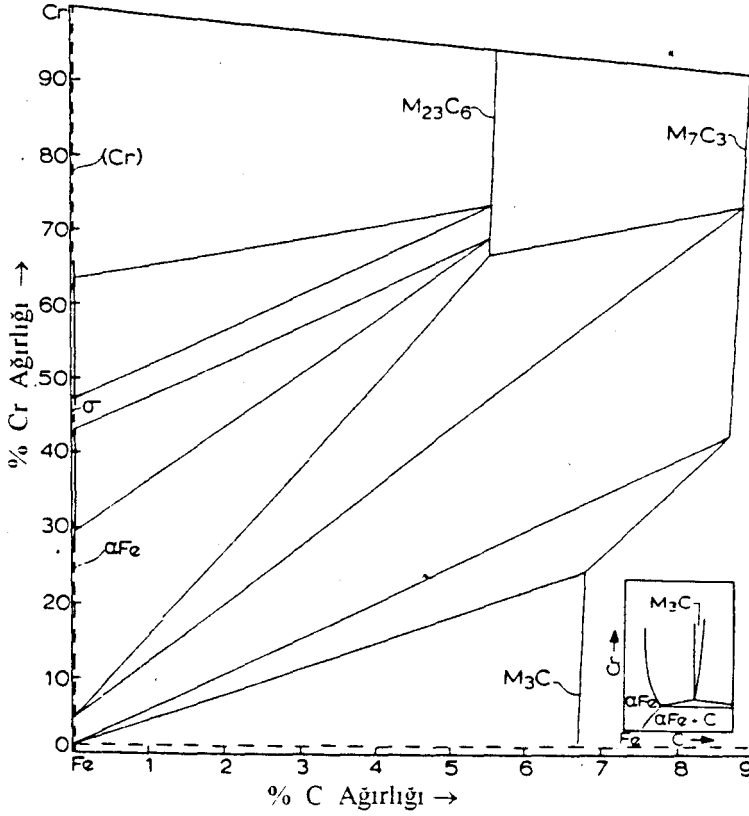
Bileşimdeki sıcaklık azalması ile beraber östenitte bulunan krom ve karbon oranı da düşmektedir. Sıcaklıkla östenit bileşimi arasındaki bu ilişkinin daha detaylı bir şekilde okunabilmesi için yalnızca bu köşenin 1150 °C ve 900 °C arasındaki izotermi Şekil 4.5.' de gösterilmektedir [10].

Burada dikkat çeken nokta östenit ve östenit- M_7C_3 ötektoid bölgesini ayıran çizginin sıcaklıkla değişimidir. 1150 °C'de üst noktada %0.4 C, %13 Cr, alt noktası, %3 C ve %4 Cr içermektedir. Buradan gerilmenin daha çok alt noktada olduğu söylenebilmektedir. Bunun sonucu olarak, ısıl işlem esnasında sıcaklık değişimlerine düşük Cr/C oranlı bileşimler yüksek Cr/C oranlı bileşimlere göre daha hassastır. Tüm bileşimlerde izlenen farklı bir durum ise sıcaklığın azalması ile birlikte östenitin Cr ve C oranı da azalmaktadır. 700 °C izotermi Şekil 4.5'de görülebilmektedir. Burada östenit bölgesinin yerini ferrit bölgesi almıştır. Bu izoterm daha çok temperleme işlemleri için kullanılmaktadır. Sıcaklık biraz daha düşürüldüğünde matris için denge fazı östenit yerine ferrit olmaktadır [10].

Benz (1974), 1150-900 °C sıcaklıklardaki Fe-C-Cr üçlü faz diyagramlarını, optik mikroskop, xrd ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanarak hassas bir biçimde analiz etmiştir [19].



Şekil 4.5. Fe-C-Cr sisteminde Fe köşesinde 1150 °C - 900 °C izotermleri [17]



Şekil 4.6. Fe-C-Cr sisteminin 700 °C'deki katı durum izotermi [17]

Şekil 4.3'deki kesik çizgiler 1000 °C'deki beklenen denge durumunu göstermektedir. Buradaki oluşumlar; $M_3C + \gamma Fe + C$ ve $C + \gamma Fe$ 'dir. Bunun yanında ileri üçgen bağlantılarında $M_3C + M_7C_3 + C$ ve $M_3C_2 + M_7C_3 + C$ oluşumları da elde edilebilir. Çözünürlük limitlerinin daha hassas ilişkileri Şekil4.5.'de görüldüğü üzere, $\gamma Fe + M_3C + M_7C_3$ ve $\gamma Fe + M_{23}C_6 + M_7C_3$ ayrıca $\alpha Fe + \gamma Fe + M_3C + M_{23}C_6$ üçgen bağıntıları ile verilebilir. Tablo4.5.'de 870 °C'de üçgen bağıntı değerleri görülmektedir. Şekil 4.5'de dikkat çeken bir başka nokta, östenit ve östenit- M_7C_3 ötektoid bölgesini ayıran çizginin sıcaklıkla olan değişimidir. Bütün bileşimlerde sıcaklık azaldıkça östenitte bulunan krom ve karbon oranı azalmaktadır. Sıcaklık daha da düşürüldüğünde matris için denge fazı olarak östenitin yerini ferrit almaktadır. 700 °C'deki izoterm incelendiğinde, M_3C karbürünün içindeki krom yaklaşık %18'e kadar olduğunda kromun demirle yer değiştirdiği izlenmektedir. Bu izotermde $M_{23}C_6$ karbürü yaklaşık %35' e kadar, M_7C_3 karbürü ise %50'ye kadar demir çözüdürebilmektedir [17,20].

Çizelge 4.5. 870 °C'deki üçgen bağıntıları [20]

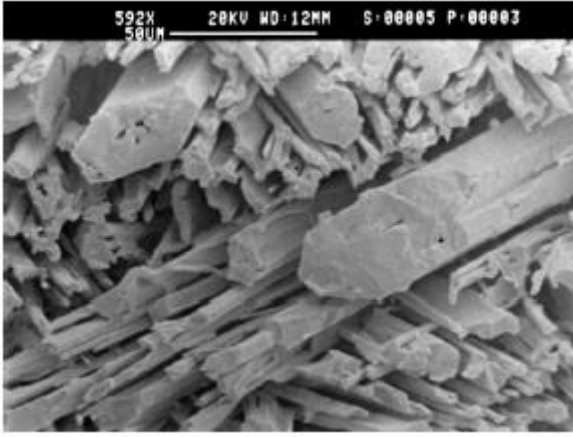
Üçgen	Bileşim % Ağırlığı	
	C	Cr
$\gamma\text{Fe}+\text{M}_3\text{C}+\text{M}_7\text{C}_3$		
M_3C	6.81	18
M_7C_3	8.61	33.2
γFe	0.53	2.5
$\gamma\text{Fe}+\text{M}_{23}\text{C}_6+\text{M}_7\text{C}_3$		
M_7C_3	8.84	65.7
M_{23}C_6	5.51	51.7
γFe	0.3	10.0
$\alpha\text{Fe}+\text{M}_3\text{C}+\gamma\text{Fe}+\text{M}_{23}\text{C}_6$		
M_{23}C_6	5.55	62.78
αFe	0.07	17.75
γFe	0.22	14.78

4.4. YKBDD'de Katılma Yapısı

YKBDD'de östenit ve M_7C_3 ötektiği arasındaki reaksiyon mekanik özellikler açısından önemlidir. Bunun sebebi, reaksiyonun alaşımın katılma özelliklerini, karbür morfolojisini ve sonuç olarak malzemenin aşınma direncini ve tokluğunu etkilemesidir [15].

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin ticari alanda kullanılan alaşımları çoğu durumda ötektik altı bileşimlerdir. Bu alaşımların katılma sürecinde öncelikle östenit taneleri, ardından M_7C_3 östenit ötektiği oluşur. Ötektiğin miktarı ve bileşiği, ötektik yapıdaki karbür dağılımı etkilemektedir [15].

Ötektik karbürün mikro yapıda bulunan oranı %20'den az ise, ötektik karbürleri östenit tane sınırlarına ayrışmaktadır. Bu karbürler östenit tane sınırları boyunca uzanan levhalar ve tane içlerinde küçük çubuklar şeklinde belirmektedir [15].



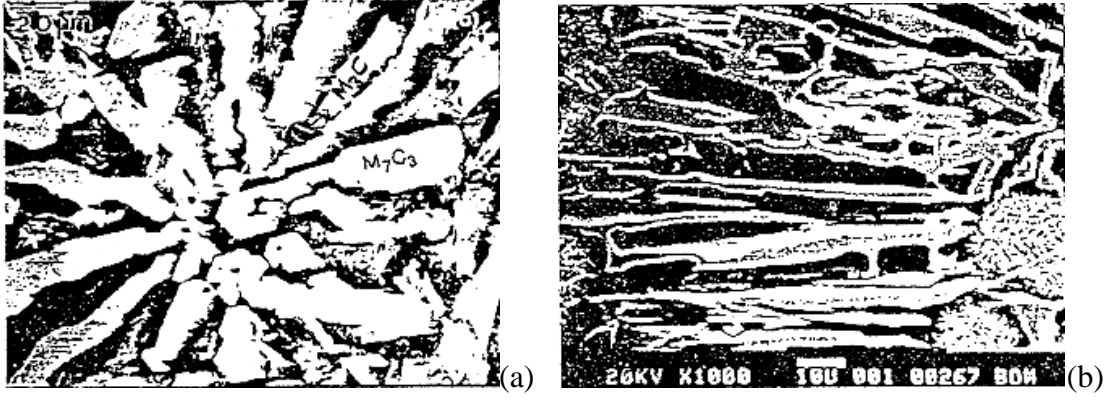
Şekil 4.7. Ötektik karbürün mikro yapı fotoğrafı [21]

Mikro yapıdaki ötektik karbür oranı yükseldikçe karbür lamelleri östenit tanelerinin içine doğru uzamaya başlar [15].

YKBDD'nin diğer beyaz dökme demirlerle kıyaslandığında iyi tokluk özelliği göstermesinin başlıca sebebi M_7C_3 karbürlerinin, diğer beyaz dökme demirlerdeki M_7C karbürleri gibi sürekli ağ yapısı oluşturmamasıdır. Bu sebeple ötektik yapının içinde bulunan bu tür karbürlerin boyut ve mikro yapı içindeki dağılımı yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin mekanik özellikleri açısından oldukça önemlidir. Metal döküm sıcaklığı, katılma hızı ve bileşim gibi parametrelere ötektik karbürlerin dağılım ve şekillerini etkilemektedir [15].

4.5. M_7C_3 Karbürlerinin Özellikleri

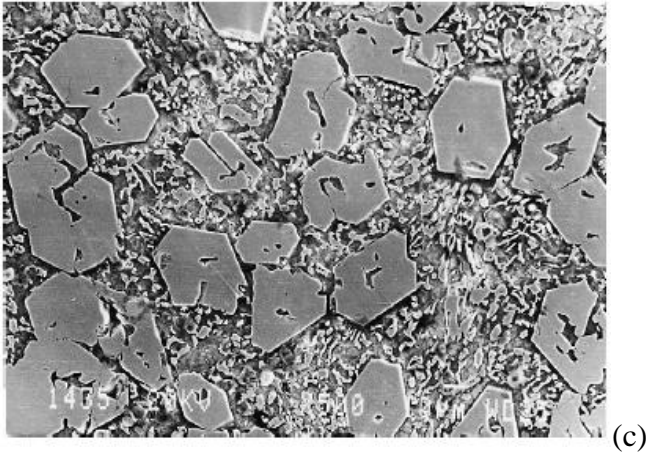
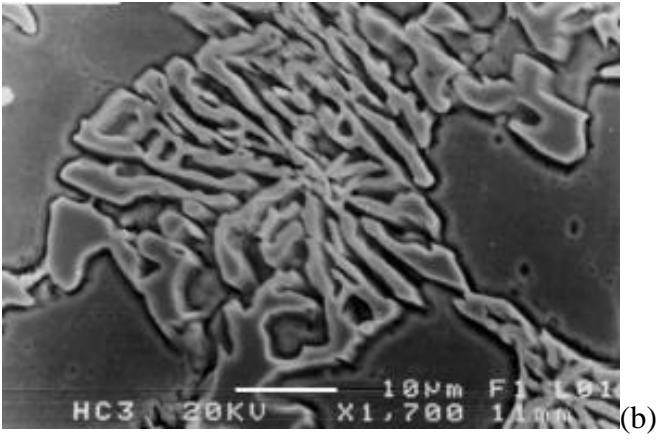
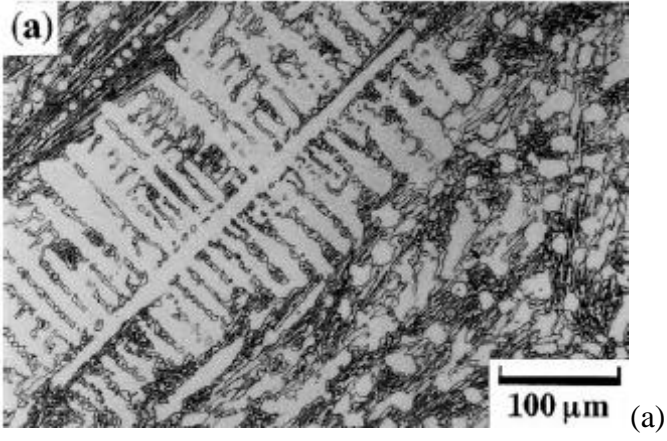
M_7C_3 karbürleri %8.6 - 8.9 oranında C içerirler. Yoğunlukları $6.6 - 6.9 \text{ gr/cm}^3$, kristalografik yapısı trigonal (pseudo (yalancı) hegzagonal), çubuk ve bıçağa benzer yapıda (Şekil 4.8) sertliği 1000 -1800 DPH ve serbest enerjisi (-10) – (-20) kJ/mol'dur. İçerisinde çözünebilen krom içeriği %24'den %56'ya kadar değişebilir. %30'un altında vanadyum ve %7'nin altında molibden içerebilirler [7,15].



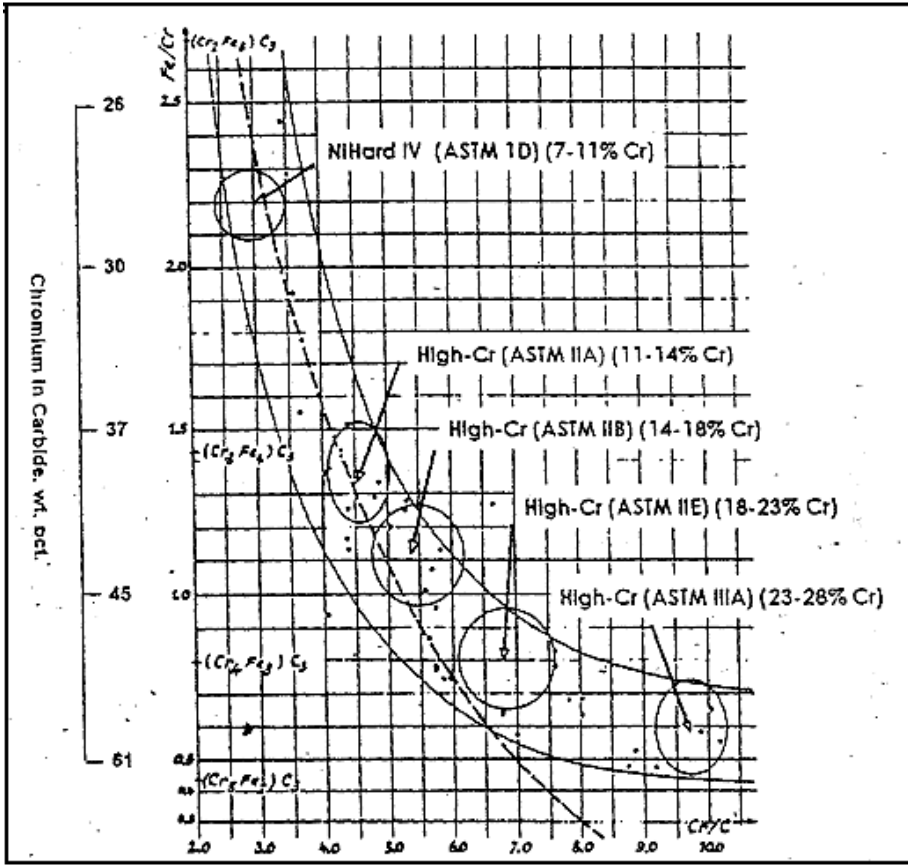
Şekil 4.8. M_7C_3 karbürlerinin çubuğa benzer (a) ve bıçağa benzer (b) mikro yapı fotoğrafları [7]

YKBDD'nin içerisinde bulunan titanyum, molibden, vanadyum gibi elementler krom gibi karbür yapıcı etkiye sahiptir. Fakat genellikle krom karbürler mikro yapıda yer almaktadır. Karbür içerisinde ihtiva edilen krom elementinin çokluğu alaşımın karbon/krom oranıyla bağlantılıdır. Örneğin M_7C_3 tipi karbürler Cr/C oranı 3 olduğunda meydana gelmektedir. $(Cr_5Fe_2)C_3$ karbürü yaklaşık %65 civarında Cr içerirken, $(Cr_2Fe_5)C_3$ karbürü yaklaşık %24 oranında Cr içermektedir. (Şekil 4.6) [7,15].

Karbür yapıcı elementlerin bir bölümü M_7C_3 tipi karbürler oluştururken, kendi karbürlerini de oluştururlar. Bu karbürler ötektik altında, ötektik noktada ve ötektik üstünde farklı yapılarda bulunabilirler (Şekil 4.10) [7,15].



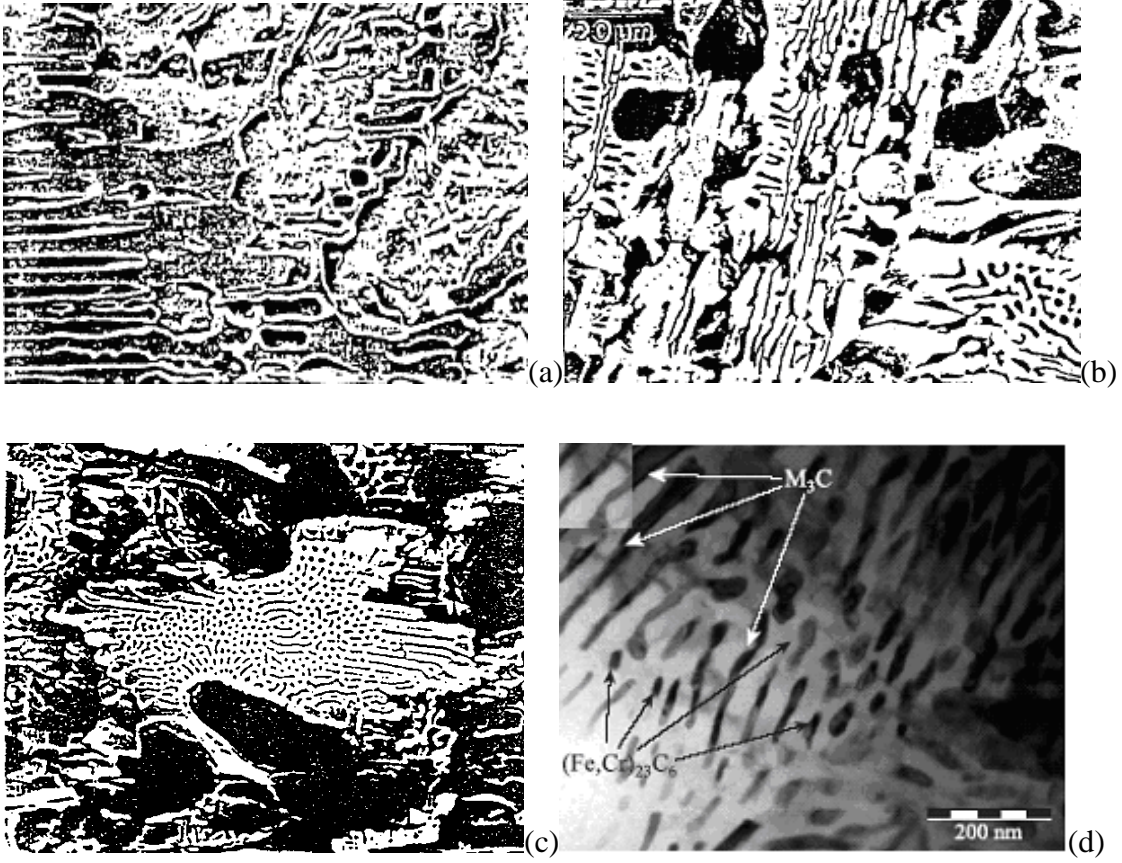
Şekil 4.10. M_7C_3 karbürünün ötektik altı(a), ötektik(b) ve ötektik üstü(c) yapılarındaki resimleri [9,22,23]



Şekil 4.9. M_7C_3 Karbürünün tahmin edilen Cr içeriği ve Fe'nin Cr/C oranı arasındaki ilişki [7]

4.6. M_3C Karbürlerinin Özellikleri

M_3C karbürleri %6.7 - 6.9 aralığında karbon ihtiva ederler. Yoğunluğu $7.4 - 7.6 \text{ gr/cm}^3$, kristalografik yapısı ortorombiktir. Yapısı plakaya benzer, sertliği 800-1100 DPH ve serbest enerjisi (+1) - (-10) kJ/mol'dur. %5 Cr'a ve %1.5 Ni'ye kadar Ni-Hard'ların çoğunda bulunmaktadır. İçerisinde Cr' u %17'ye kadar çözüdürebilir. Molibden ve vanadyum gibi diğer metal atomları M_3C içinde sınırlı oranda çözünmektedir. Ötektik altında, üstünde ve ötektik noktada farklı biçimlerde oluşurlar (Şekil 4.11) [1,3,24].

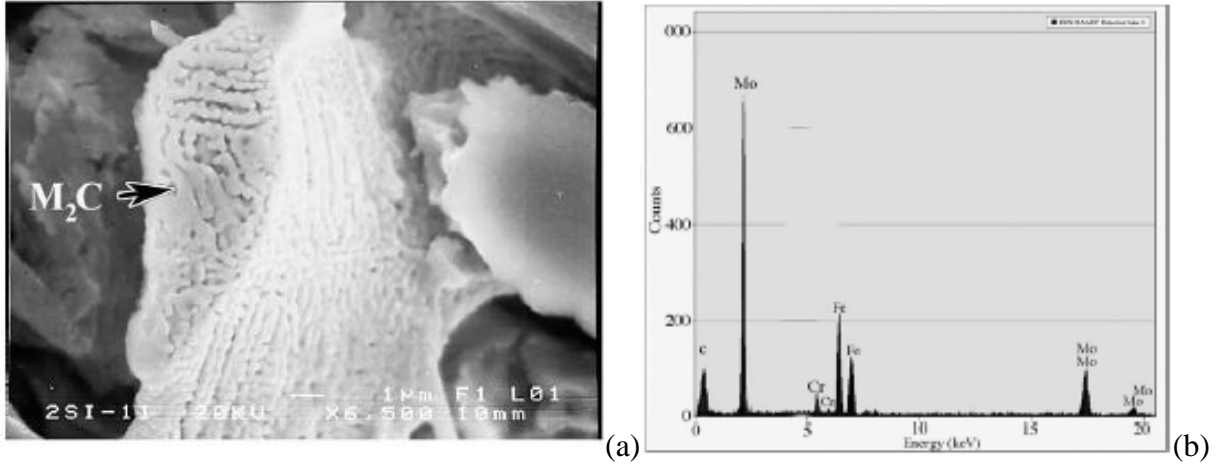


Şekil 4.11. M_3C karbürünün ötektik altı (a), ötektik (b) ve ötektik üstü (c) ait mikro yapı fotoğrafları ve M_3C ötektiğinin büyütülmüş yapısı (d) [7,25]

4.7. M_2C (Mo_2C) Karbürlerinin Özellikleri

M_2C (Mo_2C) karbürü %5.9 oranında C içerir. Yoğunluğu 9.1 gr/cm^3 , kristalografik yapısı ortorombiktir. Yapısı bıçağa benzer, sertliği 1500 -1800 DPH ve serbest enerjisi (-25) - (-30) kJ/mol'dur [7].

Yüksek oranda molibden içeren dökme demirlerin östenit tane sınırlarında görülür. Molibden dışında karbür oluşturuvcu diğer alaşım elementleri bu tipte görülmemektedir. Daha çok molibdene özgü bir karbür çeşididir (Şekil 4.12). Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin $M_2C(Mo_2C)$ karbürü içerisinde az miktarda krom bulunduğu düşünülse de bunların saf olduğu düşünülmektedir [9].



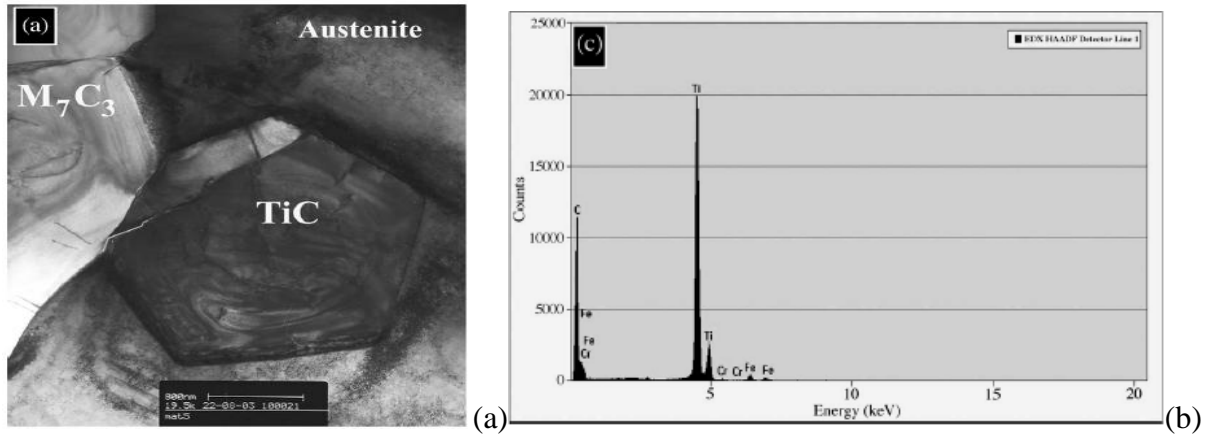
Şekil 4.12. M_2C karbürünün mikro yapı fotoğrafı ve EDS ile alınan analizi [9]

4.8. MC Karbürlerinin Özellikleri

VC %17-20 C içermektedir. Yoğunluğu $5.6-7 \text{ gr/cm}^3$, kristalografik yapısı karmaşık FCC (B_1 Tipi) 'dir. Çubuğa benzer yapıya sahiptir, sertliği 2000-3000 DPH ve serbest enerjisi (-40)–(-80) kJ/mol'dur. VC yanlış değerlendirilebilen karbürlerden biridir. %4.5'lik alaşımlarda ötektik karbür olarak görülür. Cr içeren dökme demirlerde VC %20'ye kadar Cr çözüdürebilir [7].

NbC %11 C içermektedir. Yoğunluğu 7.8 gr/cm^3 ve kristalografik yapısı karmaşık FCC (B_1 Tipi) 'dir. Mercan veya taç yaprağına benzer yapıya sahiptir. Sertliği 2000-2500 DPH ve serbest enerjisi (-110)–(-140) kJ/mol'dur. NbC kristal yapısı içerisinde diğer alaşım elementlerini çok sınırlı oranda çözüdürebilmektedir. Ayrıca östenit ve ferrit içerisinde sınırlı oranda çözünürlüğe sahiptir [7].

TiC %20 C içerir. Yoğunluğu 4.9 gr/cm^3 , kristalografik yapısı karmaşık FCC (B_1 Tipi) 'dir. Hegzagonal kalın bloklara benzer yapıya sahiptir (Şekil 4.13). Sertliği 2000 – 3100 DPH ve serbest enerjisi -180 kJ/mol'dur. TiC saf şekilde oluşmaktadır ve diğer alaşım elementlerini barındırmaz [7].



Şekil 4.13. TiC'ün östenitik matris içindeki mikro yapı fotoğrafı (a) ve EDS analizi (b) [9]

4.9. Fe – C – Cr Alaşımlarının Dökümlerinin Matris Yapıları

Ötektik altı karbon oranı yüksek Fe-Cr-C –bileşimlerinde, katılaşma esnasında, önce östenit dendritleri oluşmaktadır. Östenit M_7C_3 ötektiği daha sonra bunların etraflarında oluşmaktadır [10].

Mikro yapıdaki karbürün içerisinde bulunan elementler katılaşma sürecinde ayrışır. Karbürlerin içerisinde karbür yapıcı elementler yer alır. Ancak Si gibi bazı elementler karbür yapısına dahil olmazlar. Bunlar ötektik karbürlerin dış yüzeylerine doğru kenarlarda birikmektedirler. Fosfor ve kükürdün mikro yapıdaki karbür içerisinde dağılmış olması istenmez. Çünkü karbür östenit ara yüzeyini zayıflatırlar. Bu durum karbürde çatlak oluşumuna ve bu çatlakların ilerlemesine neden olabilmektedir [10].

Şekil 4.3'de de görüldüğü üzere, %24-23 Cr içeren beyaz dökme demirlerde (Şekil 4.2.'deki U_2 ve U_3 noktaları arası) yavaş soğuma şartlarında M_7C_3 ötektik karbürleri oluşur [10].

Griffing, mikro yapıda M_3C karbürleri ile çevrili M_7C_3 karbürleri olan ikili karbürlerin oluşumunu %10-20 Cr ve %4.8-7.5 C içeren alaşım için belirlemiştir. Üç adımda oluşan katılaşma ile ikili karbür yapısı meydana gelir [27].

1. Adım: Peritektik U_5 , P_1 ile karşılaşınca kadar demir köşesinde hareket eder.
2. Adım: $L+C = M_7C_3$ reaksiyonu ile M_7C_3 karbürleri oluşur ve sıvı P_1 'e gelir.
3. Adım: $L+C+M_7C_3 = M_3C$ reaksiyonu oluşur.

Thorpe ve Chicco' ya göre, Fe-C-Cr üçlü sisteminde, %9.6 Cr, %3.44 C içeren alaşım için benzer ikili karbürler gözlenmiştir [26].

Jackson'a [28] göre ise Fe-C-Cr sisteminde %10 Cr, %3.5 C içeren alaşımda katılaşma 4 adımda oluşmaktadır.

1. Adım: γFe oluşur (Şekil 4.2) $U_2 \longrightarrow U_3'$ e gelir.
2. Adım: $L = M_7C_3 + \gamma\text{Fe}$ oluşur.
3. Adım: $L + M_7C_3 = M_3C + \gamma\text{Fe}$ reaksiyonu oluşur. Bileşim U_3' e ulaşır.
4. Adım: $L = M_3C + \gamma\text{Fe}$ ledebüritik ötektik reaksiyonu oluşur.

Thorpe ve Chicco'nun yaptığı araştırmalarda Ni-Hard IV (%8-9 Cr , %4-7 Ni , %3.10 C, %1.4 Si, %0.50 Mn) ticari alaşımında ikili karbürlerin oluştuğu gözlenmiştir [26].

Yine aynı araştırmalarda gözlenmiştir ki, hızlı soğuma oranı $L = M_7C_3 + \gamma\text{Fe}$ reaksiyonuna neden olur ve düşük krom içerikli M_7C_3 karbürleri oluşur. Bu durum daha sonra M_3C karbürlerinin oluşumu için daha yüksek bir termodinamik kuvvet sağlamaktadır [26].

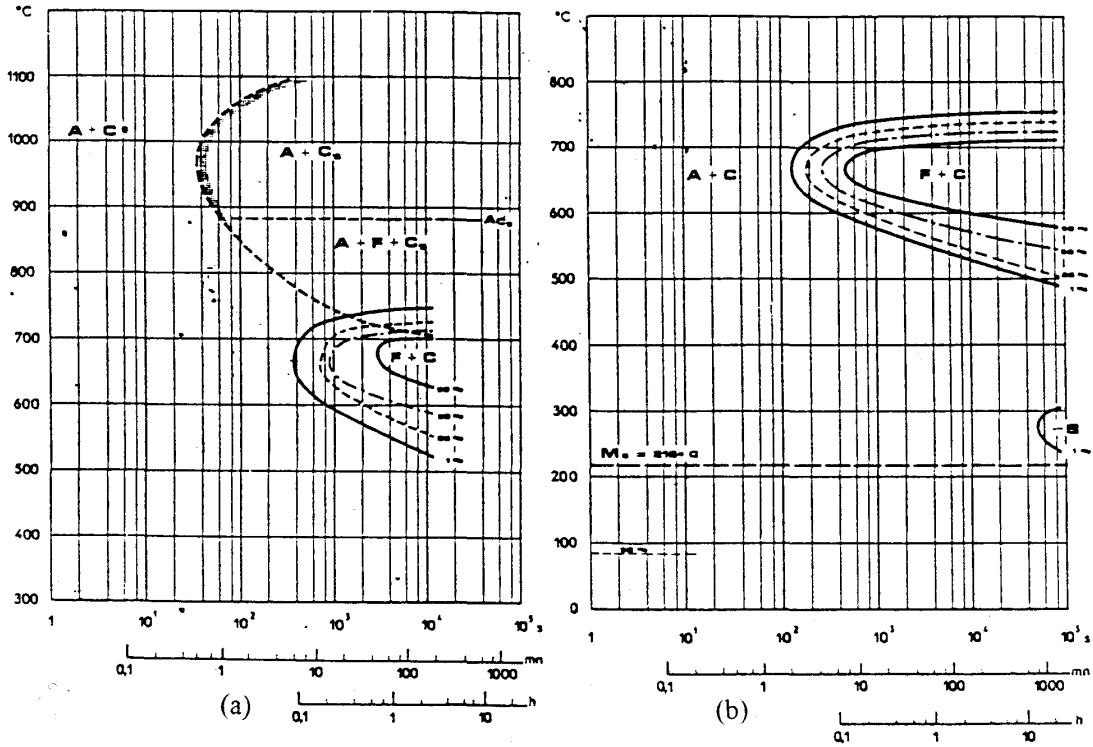
4.9.1. Fe – C – Cr Alaşımlarında Katı Haldeki Reaksiyonlar

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlere uygulanan ısı işlemler açısından M_7C_3 östenit bölgesindeki reaksiyonlar çok önemlidir. Oda sıcaklığında, döküm sırasında oluşan östenit yarı kararlı durumda varlığını sürdürebilir. Kalıntı östenit beyaz dökme demirin aşınma direncinde olumsuz etki gösterir. Bundan dolayı kalıntı östenit barındıran yüksek kromlu beyaz dökme demirlere östenitleme ısı işlemi uygulanmaktadır. Bu işlemi uygulamadaki amaç, kalıntı östenitin C ve Cr miktarını azaltıp oda sıcaklığına soğutulduğunda martenzite dönüşümünü sağlamaktır. Bu durum; matrisin M_s sıcaklığını yükselterek sağlanabilir. Dökme demirlerde M_s sıcaklığını gösteren formül aşağıdaki gibidir [29].

$$M_s = 561^\circ\text{C} - 475C - 33Mn - 21Mo - 17Cr - 17Ni [29]$$

Bu denklemde görüldüğü üzere karbon, M_s sıcaklığında en büyük düşüşü sağlayan elementtir. Östenitin yarı kararlı durumu yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde karbona aşırı doymuş olmasından kaynaklanır. Östenitleme işlemindeki amaç, kalıntı östenitin karbonu ve kromundan ikincil M_7C_3 karbürlerini çökelterek denge değerine getirmektir. Döküm

durumundaki malzemeyi östenitleme işlemiyle A_3 sıcaklığının üstünde karbon ve kroma aşırı doymuş östenit çözünür ve M_7C_3 tipi karbürler çökeler. Östenit içinde ikincil M_7C_3 karbürlerinin çökmesi, östenitin bileşimi ve dönüşüm özelliklerini değiştirmektedir. Şekil 4.7.' de şematik bir zaman – sıcaklık – dönüşüm (ZSD) diyagramı görülmektedir. Yeniden östenitleme işleminin ardından, dengelenmiş östenitin perlit dönüşüm süresi daha uzundur. Ancak bundan daha da önemlisi, martenzit dönüşüm oranı artmaktadır [29].



Şekil 4.14. Fe-C-Cr alaşımlarının ZSD diyagramı a.) döküm durumu b.) yeniden östenitleme işleminden sonraki durum [29]

4.9.2. M_7C_3 – Östenit Ötektiğinin Oluşumu

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin ticari alaşımları çoğu durumda ötektik altı bileşime sahiptir. Bu alaşımların katılaşma sürecinde önce östenit taneleri, daha sonra M_7C_3 -östenit ötektiği oluşur. Ötektik yapıdaki karbür şekli ve dağılımı ötektiğin miktarına ve bileşimine bağlıdır. Ötektik karbürün yapı içindeki oranı en az durumda ise (%20'nin altında) ötektik karbürleri östenit tane sınırlarına ayrışır. Bunlar, östenit tane içinde beliren küçük çubuklar ve östenit tane sınırları boyunca uzayan levhalar şeklinde görülürler. Ötektik oranının arttığı süreçte karbür lamelleri östenit tanelerinin içine doğru uzanmaya başlar [30].

M_7C_3 karbürlerinin, diğer beyaz dökme demirlerdeki M_3C karbürleri gibi sürekli ağ yapısı oluşturmaması sonucu yüksek kromlu beyaz dökme demirler diğer beyaz dökme demirlere göre daha iyi tokluk özelliği sergilerler. Bu sebeple ötektik yapının içindeki bu karbürlerin boyutları ve dağılımı yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin mekanik özellikleri açısından önemlidir. Ötektik karbürlerin dağılım ve şekilleri, metal döküm sıcaklığı, katılma hızı ve şartları gibi fiziki ortamdan kaynaklanan olayların yanı sıra metal bileşiminden de etkilenmektedir. Malzeme içindeki krom oranı attıkça karbürlerin hacminde küçülme meydana gelir ve buna bağlı olarak aşınma azalır. M_7C_3 tipi karbürlerin beyaz dökme demir içerisindeki yüzdesi şu bağıntı ile bulunabilir [30].

$$\% \text{Karbür} = 12,3(\%C) + 0,55(\%Cr) - 15,2 \quad [30]$$

4.9.3. İkincil M_7C_3 Karbürlerini Oluşumu

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde, A_3 sıcaklığının üstündeki bölgede sadece M_7C_3 karbürleri oluşmaktadır. $950 \text{ }^\circ\text{C} - 1030 \text{ }^\circ\text{C}$ arasındaki sıcaklıklarda ikincil karbürler için çekirdeklenme süresinin, ortalama 20 saniye civarında olduğu ve bütün reaksiyonun 4 ila 6 saatte tamamlandığı tespit edilmiştir. Çökme sırasında hacimdeki daralma oldukça azdır. Çökme aralığı, Cr/C oranı arttıkça daha yüksek sıcaklıklara kayar. İlk önce ince çökelti karbürler etrafında ve tane sınırlarında dağınık durumda bulunurlar. Sonrasında östenit dendritleri içinde belirli bazı kristalografik düzlemler üstünde çökme başlar [12,31,32].

İkincil karbürlerin oluşum sürecinde en önemli etken sıcaklıktır. Karbürler etrafında meydana gelen gelişigüzel çökme $950 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin altındaki sıcaklıklarda başlar. Sonrasında birçok östenit tanesinde de görülmeye başlar. Sıcaklık yükseldikçe gelişigüzel çökelti bölgesi azalır. Sonunda kaybolur. Karbürlerin sayısı azalır ve kabalaşır. Karbürler büyüdükçe etkin çökme düzlemi sayısı da azalır [12,32].

İkincil karbür çökmesi izotermal ısı işlem sürecinin yanı sıra sürekli soğuma sırasında da olabilmektedir. Bu sebeple soğumanın yavaşlaması karbür çökmesini artırır. Düşük Cr/C alaşımlarda yüksek Cr/C oranına sahip alaşımlara göre çökme yoğunluğu daha fazladır [31,32].

4.10. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerde Isıl İşlem

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin ısıl işleminin temel amacı, martenzitik matris içinde ikincil karbürler oluşturmaktır [33].

Su verme işlemi, yağda su verme işlemi çatlama riski oluşturduğu için havada yapılır. Bu sebeple, yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin bileşimi havada sertleşmeye izin verecek şekilde yapılmalıdır. Uygun soğuma hızı kullanılmalıdır. Bu işlem, fanlar ve püskürtme teknikleriyle hızlandırılabilir [33].

İşlem esnasında yapıdaki yüksek krom karbürleri kararlı hale getirir. Alaşımsız dökme demirlerin aksine yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde grafitleşme görülmez [33].

Katılaşma esnasında veya yüksek sıcaklıkta oluşan östenit karbon, krom ve diğer alaşım elementlerine doymuş haldedir. Sıcaklık düştükçe krom ve karbon ikincil karbürler olarak çökler. Mikro yapıdaki östenit miktarı azalır. Bu durumda kararsız hale gelmiş östenit soğuma hızına bağlı olmakla birlikte beynite, perlite veya martenzite dönüşebilir. Bunun yanında karbür çökmesi düzensizdir. Bu sebeple ortalama soğuma hızlarında dahi, oda sıcaklığında mikro yapıda kalıntı östenit bulunur. Sonuç olarak dökümden sonraki yapı perlit, martenzit ve kalıntı östenittir [33].

Kalın kesitli malzemelerde ise perlit, ince kesitli malzemelerde östenit mikro yapıya hakimdir. Fakat döküm yapısında yine de perlit bulunmaktadır [33].

Bunun yanında bileşim parça kesiti ve soğuma hızına göre ayarlanırsa tamamen östenitik yapı da elde edilebilir. Bu da yüksek miktarda krom kullanılması ile bakır, molibden ya da nikel ilavelerinin yapılması anlamına gelir [33].

Tamamen martenzitik ve aşırı miktarda kalıntı östenit içermeyen mikro yapı elde etmek için dökümün 920 – 1000°C’da tutularak destabilize edilmesi gerekmektedir. Bu sırada oluşan ikincil karbür çökmesi ile matrisin krom ve karbon içeriği düşer. Destabilizasyon sonrası yapılan soğutmada soğuma hızı perlit dönüşümüne yol açmayacak miktarda ise östenit, martenzite dönüşebilir [33].

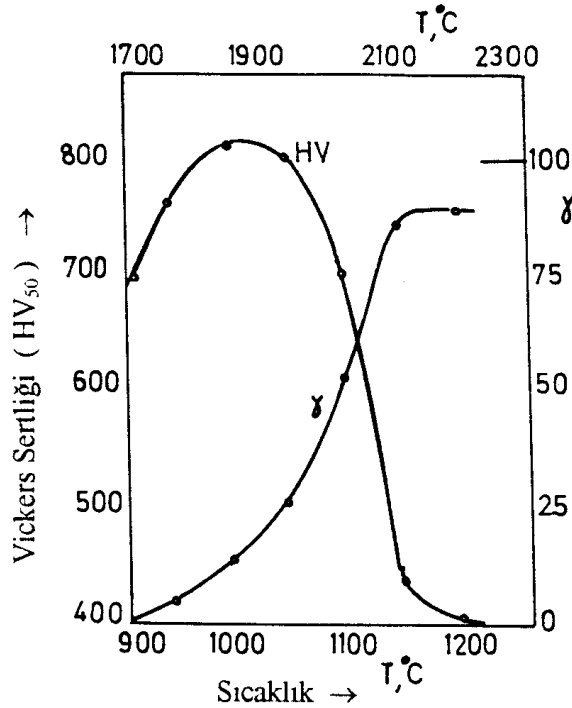
Alaşımının stabilize edilmesi sonrasında sertleşebilirlik, karbon ve krom içeriği ile belirlenir. Karbon ve krom ve birleşir ve ötektik ve ikincil karbürleri oluşturur. Alaşımdaki

toplam krom içeriğinden sadece bir kısmı matris içinde kalır ve sertleşebilirliği artırır. Karbon içeriği sabit tutulur ve krom içeriği artırılırsa sertleşebilirlik artar [33].

4.10.1. Su Verme Sıcaklığı

Su verme sıcaklığı östenit içinde çözünen krom ve karbon miktarına bağlı olarak dönüşüm özelliklerini ve son durumdaki sertliği, belirler. Östenit içindeki karbon çözünürlüğü sıcaklık arttıkça artar. Karbon içeriğini arttırmak daha fazla setreleşebilirliğe yol açar. Ayrıca su verdikten sonra daha sert martenzit oluşumuna yol açar. Su verme sıcaklığına bağlı olmakla birlikte su verildikten sonraki sertlik artar [7,33].

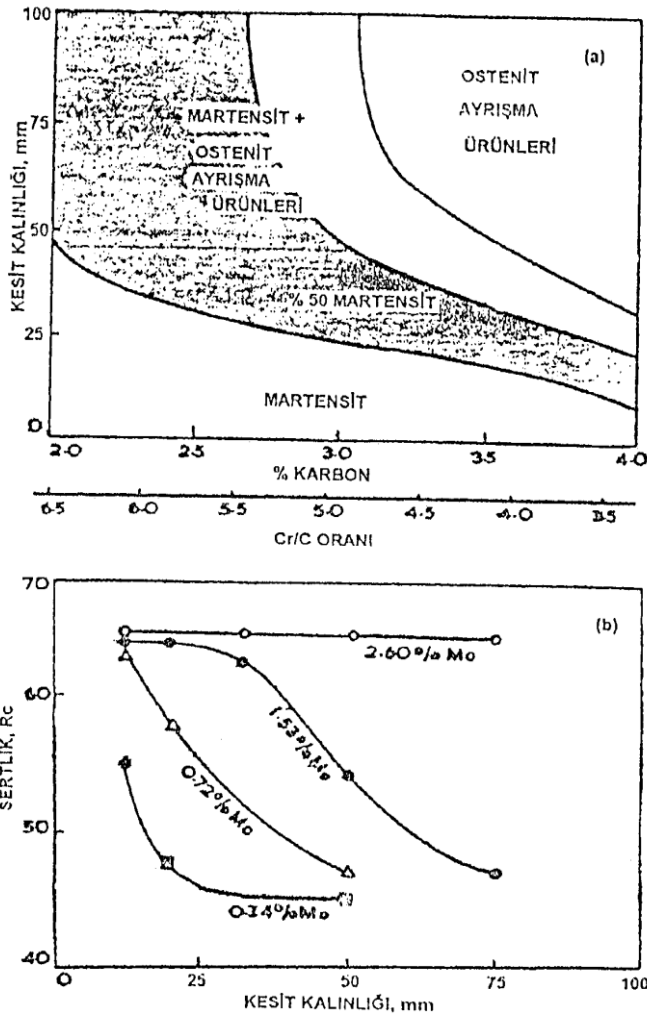
Ferritten östenite dönüşüm sıcaklığını arttıran krom elementinin oranı arttıkça maksimum sertliğin elde edildiği su verme sıcaklığı da artar. İkincil karbür çözülmesinin sertliğe etkisi yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde olduğu için, %20 oranında kalıntı östenit sağlayan östenitleşme sıcaklığı en yüksek sertliği sağlar. %15 Cr barındıran bir alaşım için maksimum sertliğin elde edildiği su verme sıcaklığı 940 – 970 °C aralığındadır. Şekil 4.15’de Bu durum görülebilmektedir [7,33].



Şekil 4.15. Östenitleme sıcaklığına bağlı olarak Fe – C – Cr alaşımlarındaki kalıntı ostenit (γ) ve sertlik (HV) oranının değişimi [7]

Fazla oranda kalıntı östenit içeren dökme demirlerde ikincil sertleşme, su verildikten sonraki sertlikten daha fazla sertlik oluşturur. İkincil sertleşmenin maksimum olabilmesi için temperleme sıcaklığı kalıntı östenitin kararlılığına bağlıdır. Aşınma direncinin fazlalığı, İkincil sertleşmeden sonraki durumda genellikle su vermeden sonraki değerden daha düşüktür. Bunun nedeni, matriste önceden bulunan martenzitin yumuşamasıdır [7].

Şekil 4.16'da kesit kalınlığının, Cr/C oranı ve molibden içeriğine göre mikro yapı ve sertlik üzerindeki etkisi gösterilmektedir. Kesiti kalın olan parçalarda, soğuma hızına bağlı olmakla birlikte mikro yapıda perlit oluşması, beyaz dökme demirde sertliği çok fazla düşürmese bile aşınma direncinde önemli bir düşüşe sebep olabilmektedir [5,7]

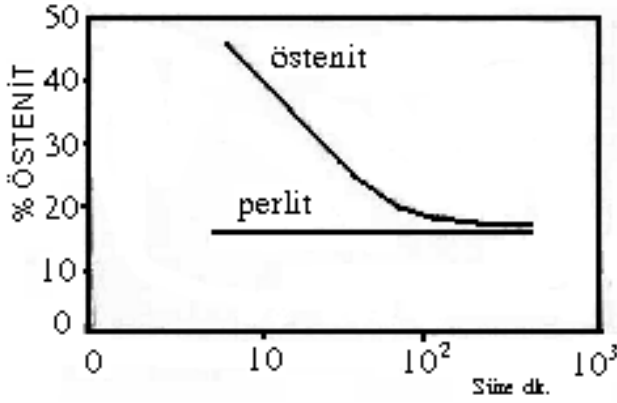


Şekil 4.16. Çeşitli kesitlerdeki yüksek kromlu demirlerde havada su vermeden sonra matris yapısına ve sertlik üzerine karbon ve molibden içeriğinin etkisi [5]

%12 – 14 Cr, %1,5 Mo'de karbon içeriğinin etkisi

%12 – 14 Cr, %3 C'da molibdenin etkisi

Östenit miktarı, homojenleştirme ısıl işlem süresi arttıkça, düşer (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. Homojenleştirme ısıl işleminin süresinin etkisi ve oda sıcaklığına soğuma üzerinde kalıntı östenit miktarında başlangıç matris yapısı [7].

Önce östenitik sonra da martenzitik matriste oluşan perlit dönüşümüyle ilgili diferansiyel değişikliklerden dolayı, karışık martenzit ve perlit yapısı iç gerilmelere sebep olabilmektedir. Buna benzer karışık yapıları olan döküm parçalarda hem kırılma direnci hem de aşınma direnci az miktardadır [7].

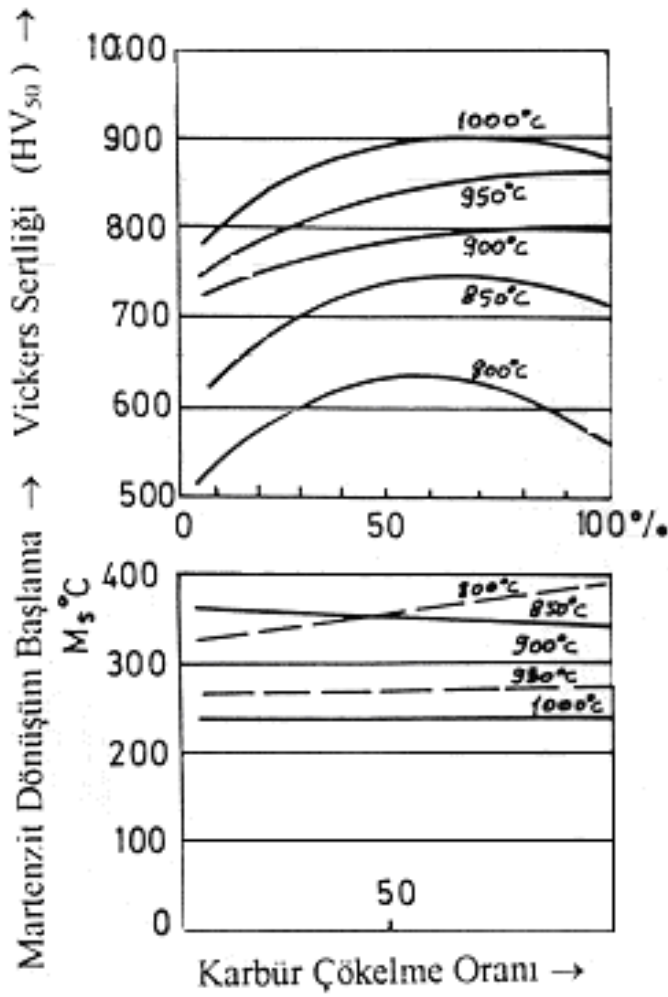
Mikro yapıda bulunan kalıntı östenit sertliği düşürür. İstenmeyen kalıntı östenit miktarı destabilizasyon işlemi ile azaltılabilmektedir. Bunun gibi kalıntı östenitin kararlılığının azaltılmasının istendiği durumlarda bu fazın karbon ve krom içeriğini azaltmak gerekir. Bu durum, destabilizasyon süresini uzun tutarak elde edilebilir. Alaşım nikel veya bakır içermiyorsa bu süre en az bir saattir. Bunun yanında molibdenin kalıntı östenite etkisi çok azdır. Ayrıca %0,5 – 1,0 Ni ve Cu içeren beyaz dökme demirler için yeterli kararlılık, destabilizasyon süresi 6 saate getirilerek sağlanır. Sonuçtaki düşük karbonlu östenit düşük karbonlu bir martenzite dönüşür. Bu martenzit nikel veya bakırsız alaşımlardan elde edilen yüksek karbonlu martenzitten daha düşük bir sertliğe ve aşınma direncine sahiptir [7].

4.10.2. Martenzit Dönüşümü

Martenzitin dönüşme süreci ikincil karbür çökmesi ile alakalıdır. M_s sıcaklığı östenitin bileşimine bağlıdır. İkincil karbürlerin çökmesi ile birlikte östenitin karbon ve krom oranı

azalır. Bu durum M_s sıcaklığı ile birlikte M_f sıcaklığını yükselttiği için martenzit dönüşüm oranı artar. Östenitleme sıcaklığı düştükçe M_s ve M_f sıcaklığı azalır. Bu durum, sıcaklık arttıkça karbon ve krom bakımından matrisin giderek fakirleştiğini gösterir. Daha önce incelenen Fe – C – Cr sistemi denge diyagramları ele alındığında bu beklenen bir durumdur [10].

Karbür çökelme oranı %10'a kadar ise, martenzit dönüşüm oranı yeniden östenitleme sıcaklığına bağlı değildir. Bunun sebebi, M_s sıcaklığında etkin olan elementin en düşük karbon alanı olmasıdır [10].



Şekil 4.18. Karbür çökelme oranı- M_s -Sertlik ilişkileri [10]

Karbür ve martenzit dönüşüm oranı ile sertliğin ilişkisi Şekil 4.18'de daha açık görülmektedir. M_s sıcaklığının karbür dönüşüm oranına bağlı olmadığı şekilden de anlaşılabilir [10].

Katılaşma sırasında oluşan ayrışma nedeniyle yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin matrisleri homojen bir bileşime sahip değildir. Karbür çökeltme oranı martenzit dönüşüm oranı ile birlikte artar [10].

Yüksek sıcaklıklarda karbür çökeltme oranının artması ile düşen sertlik, kalıntı östenit oranının artışı ile ilgilidir. Alçak sıcaklıklardaki sertlik düşüşü ise martenzitteki karbonun azalması nedeniyledir. Matrisin sertliği, martenzitin sertliğine, o ise içerdiği karbon miktarına bağlıdır [10].

4.10.3. Temperleme ve Tavlama

Beyaz dökme demirlerin işlenmesi yüksek sertlik ve karbür içeriği nedeniyle oldukça zordur. Fakat bu yüksek krom ve molibden içeren beyaz dökme demirlerin işlenebilirliği tavlama yapılarak arttırılabilir. Tavlama işlemindeki amaç martenzit veya östenit içermeyen perlitik bir matris yapısı elde etmektir [5].

Yüksek sertleşebilirliğe sahip beyaz dökme demirler için tavlama süreci genellikle oldukça uzun bir ısı işlem demektir [5].

Bazı yüksek krom-molibdenli beyaz dökme demirlere ait ısı işlem şartları Çizelge 4.6.'da verilmektedir [5].

Çizelge 4.6. Yüksek krom molibdenli beyaz dökme demirlerin ısı işlem şartları [5]

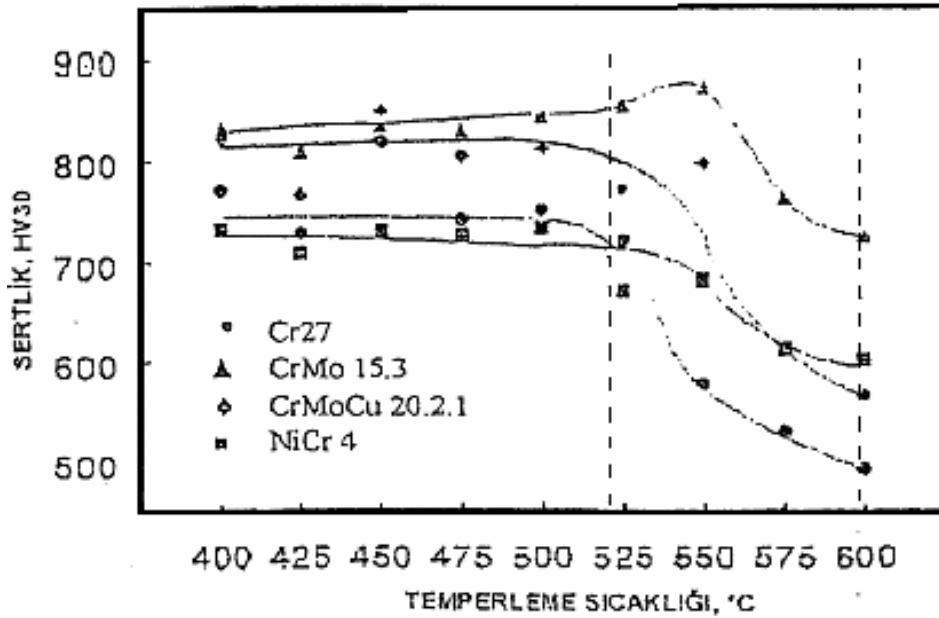
Sınıf (ASTM A 532- 67)	Sertleştirme			Temperleme Sıcaklığı (°C)
	Sıcaklık (°C)	Su Verme Süresi	Su Verme Ortamı	
15-3	920-960	½-1 saat	Hava	200-260
15-2-1	920-960	4 saat min.	Hava	
20-2-1	950-1000	6 saat min.	Hava	

Bahsi geçen işlem aşağıdaki şekilde yapılır:

- 930 – 980 °C’da 2 saat bekletme,
- 820 °C’a kadar 60 °C/saat hız ile kontrollü soğutma,

- 700-720 °C'a kadar 10-15 °C/saat hız ile kontrollü soğutma,
- 700-720 °C'da 4 – 20 saat bekletme.

Temperleme sıcaklığındaki artışa bağlı sertlikteki değişim Şekil 4.19'da görülmektedir. Yaklaşık 500 °C'ye kadar yapılan temperleme işlemlerinde yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde çok fazla bir değişim görülmez. Temper gevrekliğinden dolayı bu değerden sonra sertlikte ani bir artış ve yaklaşık 550 °C'den sonra ani bir düşüş görülmektedir. Bahsedilen sıcaklık değerleri alaşım elementlerinin miktarına göre küçük oranlarda değişim gösterebilmektedir (Şekil 4.19) [5].



Şekil 4.19. Çeşitli yüksek kromlu beyaz dökme demirler için sertlik (HV30) - temperleme sıcaklık eğrileri [5]

Sertlik, tavlama sonrası 350 – 450 HB arasında olur. Bu sayede dişli testere ile kesme de dahil olmak üzere çeşitli işleme operasyonlarına imkân tanınmış olur. İşlenebilirliği etkileyen başlıca faktör karbon içeriğidir. Bunun sebebi, ötektik krom karbürlerinin tavlama işleminden etkilenmemeleridir. En rahat işlenebilir sınıf 15-3 LC tipidir. Karbon oranı % 3'ü geçtiğinde işleme zorlaşır [5].

5. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERİN AŞINMA DİRENCİ

5.1. Abrasiv Aşınmanın Tanımı

Bir yüzeyden diğer bir yüzeye malzeme transferi ya da aşınma parçalarının oluşumu sonucu ortaya çıkan malzeme kaybı aşınma olarak tanımlanır. DIN 50320’de aşınma, “kullanılan malzeme yüzeylerinden mekanik nedenlerle ufak parçaların ayrılması sonucu meydana gelen değişiklik” olarak tanımlanmaktadır. Aşınma ve erozyonla ilgili terminolojiyi içeren ASTM G-40-93 standartlarında benzer bir aşınma tanımlanmaktadır. Bu tanımlamalar ele alındığında, makine parçalarının yüzeylerinin parlatılması, taşlanması veya elemanların birbirlerine alıştırılması işlemlerini aşınma olayı olarak incelemek gerekmektedir. Bunun başlıca sebebi, bu olaylardaki yüzey değişiklikleri uygulayıcı tarafından bilinerek ve istenerek yapılan bir işlem olmasıdır. Bunlar birer aşınma olayı olarak değil bir işleme veya talaşlı şekillendirme olayı olarak kabul edilmelidir [34].

Abrasiv aşınma, aşınma türlerinden biridir. Yırılma veya çizilme aşınması olarak da isimlendirilir. Sistemde hasara sebep olan önemli bir aşınma türüdür. Bu aşınma türü, biri diğerinden daha pürüzlü ve sert olan metal yüzeylerinin birbiriyle temas halindeyken kayma sırasında meydana gelir [34].

Abrasiv aşınma, başlıca sebebi sertlik ve hız olan gerilmeler sonucu oluşur. Genelde metal olmayan malzemeler çizilme şeklinde bir aşınmaya sebep olur [34].

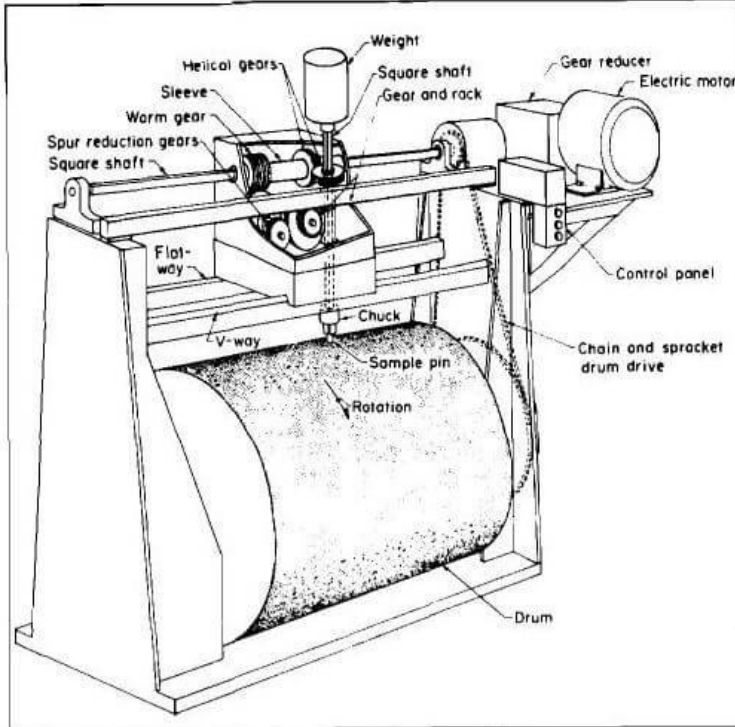
Abrasiv aşınmaya sebep olan bir başka etken ise sert parçacıkların yumuşak metale batmasıdır. Bu duruma örnek olarak, sisteme dışarıdan giren toz parçacıklarının veya bir motorda oluşan yanma ürünlerinin sebep olduğu aşınma tarzı verilebilir [34].

Malzeme yüzeyine etki eden yük azaltılarak abrasiv aşınma hızı düşürülebilir. Bu sayede parçacıklar yüzeye daha az batar. Çapak kaldırılması sırasında daha az iz bırakır. Abrasiv aşınma hızını azaltmak için;

- Daha sert bir alaşım kullanmak,
- Isıl işlem uygulayarak sertliği arttırmak,
- Sert bir tabaka ile malzeme yüzeyini kaplamak,
tavsiye edilir.

5.2. Aşınma DeneYleri ve Ölçüm Yöntemleri

Aşınma olayı endüstrinin neredeyse her alanında karşılaşılan oldukça önemli bir problemdir. Maden sanayinde madenlerin öğütülmesinde kullanılan bilyaların ve öğütme çubuklarının aşınması veya makine sanayinde makine parçalarının aşınması örnek olarak verilebilir. Aşınma ekonomik kayıplara sebep olmaktadır ve bu durumu asgari düzeye indirebilmek için sürekli araştırmalar yapılmaktadır. Aşınmaya maruz kalan parçalar üretilirken aşınma direnci yüksek malzemeler seçilir. Aşınma deneylerini yapabilmek için laboratuvarlarda çeşitli aşınma deney cihazları kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılmış olan abrasiv aşınma test düzeneği Şekil 5.1’de görülmektedir [37].



Şekil 5.1. Abrasiv aşınma test düzeneği şeması [37]

Aşınma deneylerinde kullanılan ölçüm yöntemlerinden bazıları aşağıdaki gibidir;

- Ağırlık farkı metodu
- Kalınlık farkı metodu
- İz değişim metodu
- Radyoizotop metodu'dur.

Ekonomik olmasından dolayı ve ölçülen büyüklüğün alet duyarlılık kapasitesi dahilinde bulunması nedeniyle en çok kullanılan yöntem ağırlık farkı metodudur. Bu yöntemin en büyük dezavantajı, deney numunelerinin her ölçümü için numunenin yerinden çıkartılıp ağırlık ölçme yapılmasıdır. Yani numune deney düzeneğindeyken üzerinden ölçü alınamaz. Ağırlık kaybının ölçülmesi hassas bir terazi yardımıyla yapılır [34].

5.3. Beyaz Dökme Demirlerde Aşınma

Üstün darbe ve aşınma direnci sebebiyle yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin uygulama alanları ve pazar payı artmaktadır. Tavlandıktan sonraki işleme imkânı da başka bir avantajıdır [34].

Çeşitli malzemelerin öğütme ve oyuklayıcı aşınma altındaki performansları tokluklarına dayanılarak Çizelge 5.1'de verilmektedir.

Çizelge 5.1. Çeşitli malzemelerin öğütme ve oyuklayıcı aşınma altındaki performansı [5].

MALZEME	TOKLUK SIRASI	BAĞIL AŞINMA KAYBI	
		OYMA AŞINMASI	ÖĞÜTME AŞINMASI
Östenitik Mn Çeliği (% 12 Mn)	1	0,34 – 0,19	138 - 142
Martenzitik az Alaşımli Çelik (% 0,3 – 0,6 C)	2	0,28 – 0,15	126 114
Östenitik Mn Çeliği (% 6 Mn - % Mo)	3	0,25 – 0,17	114 - 120
Cr / Mo Çeliği (% 0,7 C), Su verilmiş+Temp.	4	-	126 - 130
Martenzitik 6 Cr / 1 Mo Çeliği (% 1 C)	5	0,1	102 - 97
Martenzitik Yüksek Cr / Mo'li Beyaz D.D.	6	0,08 – 0,035	85 - 90
Martenzitik 26 Cr'lu Beyaz D.D.	7	0,17 – 0,09	96 - 100
Martenzitik Az Alaşımli Cr / Ni D.D.	8	-	105 - 116
Perlitik Çil Uygulanmış D.D.	9	0,4	185 - 200

Mikro yapıda bulunan karbürlerin hacimce oranı ve morfolojisi çok önemlidir. Genelde mikro yapıdaki karbür oranı artışı aşınma direncini artırmaktadır. Bunun yanında matris, çatlayan ve deforme olan karbürleri yeterli kuvvetle yerinde tutarsa karbürler aşınma direncini etkiler [5].

Beyaz dökme demirlerin aşınmasında rol oynayan çeşitli mekanizmaları şu şekilde sıralamak mümkündür.

- Matris veya matrisle birlikte karbürlerin de kesme ile aşınması,
- Yorulma sonucu matrisin aşınması,
- Plastik deformasyon sonucun matrisin aşınması,

- Kesme ya da plastik deformasyon sonucu karbürlerde mikro çatlaklar oluşması ve çatlayan karbürlerin kopması,
- Yorulma nedeniyle karbürlerin çatlayıp kopması

Aşınma yüzeyi ve aşınma yönüne göre karbürlerin oryantasyonuna bağlı olarak, yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin yüzeyindeki karbürlerin abrasiv aşınma şartlarına karşı davranışı farklılık gösterir. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde karbür çubuklarının uzun eksenini aşınma yüzeyine paralel olduğunda, karbürlerin uzun eksenini yüksek gerilmeli abrasiv aşınma şartları altında aşınma yüzeyine dik olduğu durumdakinden daha yüksek aşınma direncine sahip olurlar [5].

Bileşimindeki krom içeriği nedeniyle yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirler iyi bir korozyon direncine sahiptirler. Mükemmel aşınma direncinin sebebi mikro yapıdaki sert ötektik karbürlerdir. Molibdenin katkısı ise perlit oluşumunu önlemesidir. Bu sayede sertleşebilirliği artırarak aşınma direncine katkıda bulunur [5].

Nb, B, Ce, La, Nd gibi alaşım elementleri, yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin aşınma davranışını etkilerler [5].

Niyobyum ilavesi oldukça sert karbürler oluşturduğundan ve yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin (%15 Cr) matris sertliğini arttırmışından dolayı yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin aşınma direncini artırır. Ötektik noktayı sağa kaydırarak demirin gevrek, hiper ötektik karbürler oluşturma tehlikesi olmaksızın yüksek bir karbon içeriğine sahip olabilmelerini sağlar. NbC'ün morfolojisi blok-çengel şeklindedir ve matris içinde sıkıca tutunabilirler [5]

Bor ilavesi, yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde (%28 Cr) karbürlerin hacim oranını artırır ve karbürleri daha sert yapar. Döküm halinde karbürleri kalınlaştırır ve martenzit oluşumunu iletir. %0,2 oranında ilave edildiğinde, 1050 °C'dan havada su verme şartlarında, iki elemanlı abrasiv aşınma durumunda aşınma direncini önemli miktarda artırır [5].

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde %0,3'e kadar titanyum ilavesi yapıdaki VC ve NbC'lerin şeklini değiştirir ve yüksek sıcaklıklarda birincil ve ötektik karbürler olarak çekirdeklenmiş birçok ince Tic Partikülü çökeler. Bu durum serbest dendritik, çubuğumsu veya taç yaprağı şeklinde karbür büyümesini bastırır [5].

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde Ce, La ve Nd elementlerinin içeriği arttırıldığında, M_7C_3 karbürlerinin hacim oranını azaltır. Buna rağmen bu elementlerin içeriği %0,26'yı aşmamak kaydıyla aşınma direncini arttırdığı bildirilmektedir [5].

5.4. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerde Abrasiv Aşınmayı Etkileyen Faktörler

Beyaz dökme demirin matris yapısı ve bu matriste yer alan karbürlerin yapısı abrasiv aşınmayı etkileyen başlıca faktörlerdir [5].

5.4.1. Karbür Yapısının Abrasiv Aşınmaya Etkisi

Darbe şartları olmadığı durumda karbür miktarı ve aşınma direnci doğru orantılı bir şekilde artar. Karbür etkisi bakımından aşındırıcının sertliği de önemlidir. Sertliği M_7C_3 karbürlerinin sertliğinden (1200-1800 HV) daha düşük aşındırıcılar kullanıldığı durumda en yüksek aşınma mukavemetinin %40-50 karbür oranında elde edildiği, ancak daha sert aşındırıcılar kullanılırsa bu oranın %30 civarına düştüğü saptanmıştır. Pearce'ın yaptığı çalışmalarda [33], plaka şeklinde olan M_3C karbürleri ile ince çubuk şeklinde olan M_7C_3 karbürlerinin, kırılmadan aşınma yönünde plastik deformasyona uğradıklarını gözlemlenmiştir. Farklı bir çalışmada da gözlemlendiği üzere karbürler birbirine yaklaştıkça veya östenit taneleri küçüldükçe aşınma mukavemeti artmaktadır [5].

Karbürler birbirine yakın bir şekilde yerleştiğinde matris desteklenerek matrisin plastik deformasyon kabiliyeti azaltılır ve bu sayede abrasiv aşınma direnci iyileşmiş olur. Karbürlerin abrasivlere direnç gösterecek kadar sert olduğunu ve abrasivlerin komşu iki karbür arasındaki matris fazına batacak kadar küçük, sert ve keskince olduğunu kabul edersek, malzemenin aşınma mekanizması büyük oranda matris fazı ile kontrol edilecektir. Bu durumda matris fazı kolayca abrasiv aşınmaya maruz kalıyor ve karbür/matris ara yüzeyindeki bağ zayıf ise karbürlere destek azalacaktır. Bu demektir ki karbür/matris bağları zayıfsa ve ara yüzeydeki yerel gerilmeler çatlak başlangıcına sebep olursa partikül kopması kaçınılmaz olur [5].

Abrasiv partiküller komşu iki karbürün arasındaki matris fazına batacak kadar küçük değilse, aşınma hızı karbürlerin kopma hızına bağlı olacaktır. Bu durumda karbür ve abrasivin sertliği, karbür boyutu, karbür hacim oranı, abrasiv tipi, abrasivin köşelilik durumu gibi parametrelerin önemi azalmaktadır [5].

5.4.2. Matris Yapısının Abrasiv Aşınmaya Etkisi

Matris, yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde sert ötektik M_7C_3 tipi karbürleri yerinde tutar. Karbürlerin destek aldığı matris aşınırsa desteksiz kalan karbürler gerilmeler altında kırılır. Bu gerilmeler altında kırılan karbürler bazı durumlarda yumuşak matrise gömülerek sert bir yüzey tabakası oluşturmaktadır. Bu olay özellikle ferritik matriste meydana gelmektedir [5].

Bazı araştırmalar göstermiştir ki [7], (%17,5 Cr-%3C) yüksek gerilmeli şartlarda beyaz dökme demirlerin aşınma direnci matris tarafından ötektik karbürlere verilen desteğin seviyesine bağlıdır. Martensitik matrisli yapılar, östenitik veya perlitik matrisli yapılara göre daha büyük aşınma direnci vermektedir. Benzer sonuçlar ve görüşler diğer araştırmacılar tarafından da ileri sürülmüştür [33].

Beyaz dökme demirlerde perlitik yapı istenmez. Bunun sebebi perlitik matrisin tipler arasında en düşük aşınma direncine sahip olmasıdır [7,33].

Matris için aşınma direnci, aşınma sırasındaki gerilmelerle alakalıdır. Bileşimindeki karbon arttıkça mikro sertlik ve buna bağlı olarak aşınma direnci artar. Fakat düşük gerilmeli aşınma ortamlarında sertliğin belli bir değerine kadar etkili olsa da, mikro sertlik belli bir değerden sonra aşınma direncini etkilemez [33].

Yüksek aşınma yaratabilecek gerilmeler altında martenzitik yapı, östenitik yapıya göre iki üç kat daha iyi aşınma direnci gösterir. Östenitleme esnasında meydana gelen martenzitin mikro yapısı için, bu işlem sırasındaki reaksiyonlar oldukça önemlidir [7,33].

Ms sıcaklığında aşırı bir azalmaya sebep olabilecek bir işlem, aşınma direncini düşüreceği gibi martenzitik karbonunu azaltıp sertliğini de düşürür. Bununla beraber Mf sıcaklığı da düşeceği için mikro yapıdaki kalıntı östenit miktarı artar, sertlik düşer. Nispeten yüksek gerilmeler altında östenit martenzite dönüşerek, hacimsel genleşmelerin oluşmasına ve bunun sonucu oluşan gerilmeler sebebiyle mikro çatlaklara yol açar [33].

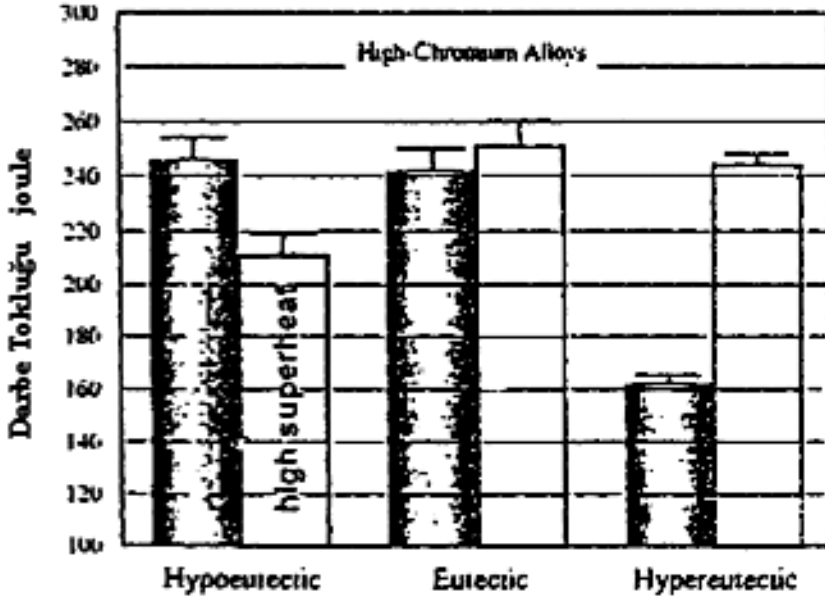
6. YÜKSEK KROMLU DÖKME DEMİRLERDE DARBE DİRENCİ

Darbe testi, yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde çok şey ifade etmemektedir. Bunun sebebi; darbe enerjisi, sürtünme ve kırılma esnasındaki parçaların ayrılması ile açığa çıkan enerjiye eşdeğerdir. Bunun yanında AFS özel Fe komitesi tarafından hazırlanan büyük boyutlardaki (50x50x180mm) (5-D) darbe çubukları darbe direncinin tayininde başarılı olduğunu ve bu çubukları kullanarak farklı ısıl işlemliler, farklı karbür yüzdesine sahip ve farklı matristeki dökme demirlerin darbe dirençlerini iyi bir şekilde tespit edildiğini savunmuşlardır [7].

Yüksek kromlu beyaz dökme demirler alaşımlılardan daha toktur. Bu dağılım çentikli veya çentiksiz numunelere yapılan darbe deneyleri sonucu ortaya çıkmaktadır. Düşük alaşımlı beyaz dökme demirde çentiksiz izod (30 mm) deney çubukları 22-58 joule darbe enerjisi verirken, yüksek alaşımlı beyaz dökme demirde 52–87 joule darbe enerjisi vermektedir. Darbe direnci ile karbon miktarı arasında ters orantı izlenmektedir [7].

Süper ısıtma yüksek kromlu beyaz dökme demirlere uygulandığında, darbe tokluğunda değişimler izlenmiştir. Döküm sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklara getirilme anlamına gelen süper ısıtma, ötektik altı alaşımlarda olumsuz bir etki oluştururken, ötektik üstü alaşımlarda çok iyi sonuçlar vermiştir. Darbe tokluğu açısından ötektik alaşımlarda az oranda artışa sebep olduğu belirlenmiştir [7].

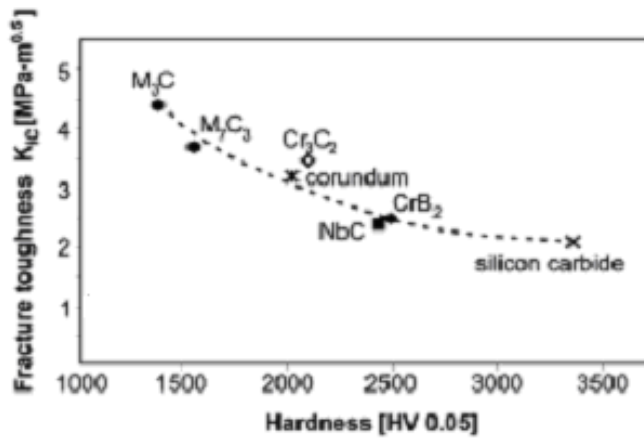
Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin süper ısıtmaya karşı darbe tokluğundaki değişim ötektik altı, ötektik ve ötektik üstü için Şekil 6.1’de verilmektedir [7].



Şekil 6.1. Darbe tokluğu üzerinde döküm süper ısıtmanın etkisini gösteren 5x5x18cm boyutlarındaki döküm çubuklarının darbe tokluğu verileri [7]

Tokluk, özellikle öğütme ve kırma işlemlerinde kaza önleyici bir faktör olduğundan oldukça önemlidir.

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde kırılma tokluğu ölçümü son yıllarda başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Karbon oranının artması martenzitik beyaz dökme demirlerin kırılma tokluğunu azaltır. Bunun yanında yapı içerisindeki karbür çeşidi de kırılma tokluğuna etki eder [35]. Kırılma tokluğu ve sertlik birbirleriyle ters orantılıdır. Şekil 6.2.'de bazı karbür çeşitlerinin kırılma toklukları sertliğe bağlı olarak verilmiştir.



Şekil 6.2. Bazı karbürlerin sertlik ve kırılma toklukları arasındaki ilişki [35]

7. MATERYAL VE YÖNTEM

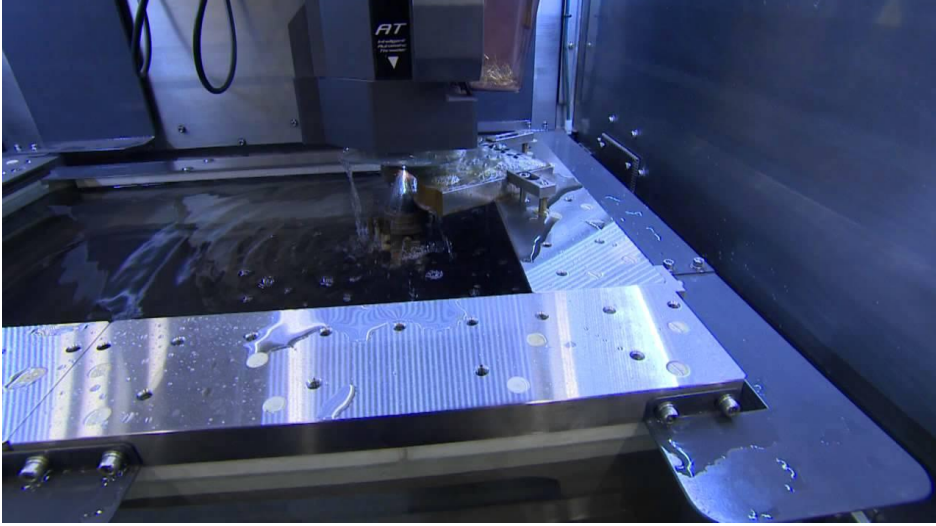
7.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Deney aşamalarına tabi tutulacak ötektik altı yüksek krom-molibdenli beyaz dökme demir numunelerinin kimyasal bileşimi Çizelge 7.1’de verilmiştir. Verilen değerler spektrometre cihazı vasıtasıyla elde edilmiştir.

Çizelge 7.1. Deneylerde kullanılan yüksek krom-molibdenli malzemenin kimyasal bileşimi

Element (%)	1.Deney (%)	2.Deney (%)	3.Deney (%)	4.Deney (%)	5.Deney (%)	6.Deney (%)	Ortalama (%)
C	2,21	2,3	2,36	2,44	2,44	2,37	2,35
Cr	>35	>35	>35	>35	>35	>35	>35
Fe	38,7	39,1	39,4	38,8	38,8	39	39
Mo	1,32	1,33	1,30	1,30	1,33	1,31	1,32
Si	2,85	2,87	2,88	2,92	2,90	2,89	2,88
Mn	1,03	1,04	1,07	1,00	0,998	1,02	1,02
P	0,0411	0,0412	0,0428	0,0457	0,0451	0,0433	0,0432
S	0,0277	0,0306	0,0282	0,0302	0,0286	0,0290	0,0291
Ni	0,532	0,612	0,573	0,529	0,557	0,544	0,558
Al	0,0134	0,0149	0,0138	0,0143	0,0140	0,0145	0,0142
Co	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cu	0,0847	0,0883	0,0801	0,0837	0,0864	0,0837	0,0845
Nb	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Ti	0,127	0,128	0,121	0,126	0,125	0,127	0,126
V	0,117	0,110	0,108	0,115	0,114	0,111	0,112
W	0,610	0,627	0,587	0,906	0,916	0,919	0,761
Pb	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Deneyleerde kullanılacak olan malzeme 30 mm çapında ve 15 mm yüksekliğinde numuneler (Şekil 7.2) olarak hazırlanmıŐtır. Bu numunelerin hazırlanmasında tel erozyon (Şekil 7.1) yöntemi kullanılmıştır. Bunun sebebi, malzemenin yüksek sertliğinden dolayı mekanik talaş kaldırma yöntemlerince verimli bir Şekilde numune hazırlanamamasıdır.



Şekil 7.1. Tel Erozyon Tezgahı

Elektro erozyon ile iŐlemenin özel bir Şekli olan tel erozyon ile işleme (WEDM) yönteminde elektrot, sürekli olarak ilerletilmekte olan iletken bir teldir. Bu iŐlemede talaş, elektrik kıvılcımlarının erozyonu vasıtasıyla kaldırılır. Bu kıvılcımlar bir güç kaynağı vasıtasıyla, yalıtkan bir sıvı içerisinde birbirine oldukça yakın yerleŐtirilen iÇ parçası ve tel elektrot arasında oluşur. Tel erozyon ile işleme tekniğinin diğer talaş kaldırma iŐlemlerine göre en büyük üstünlüğü, elektriksel iletkenliğe sahip her tipte malzemenin sertlik değeri fark etmeksizin iŐlenebilmesidir. Bunun yanında karmaşık kesitlerin ve kalın malzemelerin (~200mm) iŐlenebilmesine de olanak sağlamaktadır [36].



Şekil 7.2. 30 mm çapında ve 15 mm yüksekliğinde numuneler

7.2. Isıl İşlem, Soğutma ve Temperleme

Daha önce de bahsedildiği üzere ısıl işlem vasıtasıyla malzemelerin mikro yapısında ve sertlik, aşınma direnci gibi mekanik özelliklerinde iyileşme sağlanabilmektedir. Deneye tabi tutulan yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demir malzemenin hangi ısıl işlem şartlarının ardından daha iyi sertlik ve aşınma direnci değerlerine sahip olduğunun bulunabilmesi için ısıl işlem sıcaklığı ve tabi tutulacak süreler ile ilgili bir skala belirlenmiştir. Bu skala Çizelge 7.2’de gösterilmiştir. 1 numaralı numune hiç ısıl işlem görmemiş olup diğer numunelerle sonuçlarının karşılaştırılması sonraki tablolarda verilecektir. Isıl işlem yaparken kullanılacak olan fırın (Şekil 7.3) 1300 °C’nin üzerindeki sıcaklıklara ulaşabilmektedir. Sonuçların doğruluğunun sağlanabilmesi için fırın açıldıktan sonra ısıl işlemin gerçekleştirileceği sıcaklığa ulaşana kadar numuneler fırına konulmamaktadır. İstenen sıcaklık değerine gelen fırın belirlenen sıcaklıkta istenildiği süre boyunca sabit kalabilmektedir.



Şekil 7.3. Isıl işlem fırını

Soğutma şartları olarak yağda, tuzlu suda ve havada soğutma kullanılmıştır. Havada soğutma için bir soğutma tüneli (Şekil 7.4), yağda soğutma için gres yağı, tuzlu suda soğutma için ise doymuş NaCl – su çözeltisi kullanılmıştır. Her numunenin tabii tutulduğu soğutma koşulları Çizelge 7.2’de belirtilmiştir.

Temperleme işlemi mikro yapıda bir dizi değişikliğe sebep olmaktadır. Bu sebeple 14 numaralı numune ısıtıldıktan sonra 180 °C’de 1 saat temperleme işlemine tabii tutulmuştur.

Çizelge 7.2’de gösterildiği gibi numuneler 800 °C – 1200 °C aralığında ısıtıldıktan sonra tabii tutulmuştur. Bunun sebebi 1200 °C sıcaklığın üzerindeki ısıtılmalardan sonra numunelerde erime ve bozulma gözlenmesidir.

Çizelge 7.2. Numuneler üzerinde ısıtma işlemi, soğutma ve temperleme işlemleri

#	Isıtma İşlemi (°C)	Isıtma İşlemi (Süre)	Soğutma	Temperleme
N ₀	İşlem Yok	İşlem Yok	İşlem Yok	İşlem Yok
N1.1	800	1	Hava	İşlem Yok
N1.2	800	3	Hava	İşlem Yok
N1.3	800	6	Hava	İşlem Yok
N2.1	900	1	Hava	İşlem Yok
N2.2	900	3	Hava	İşlem Yok
N2.3	900	6	Hava	İşlem Yok
N3.1	1000	1	Hava	İşlem Yok
N3.2	1000	3	Hava	İşlem Yok
N3.3	1000	6	Hava	İşlem Yok
N3.4	1000	12	Tuzlu Su	İşlem Yok
N3.5	1000	12	Yağ	İşlem Yok
N3.6	1000	12	Hava	İşlem Yok
N3.7	1000	12	Hava	180°C-1saat
N3.8	1000	24	Hava	İşlem Yok
N4.1	1100	1	Hava	İşlem Yok
N4.2	1100	3	Hava	İşlem Yok
N4.3	1100	6	Hava	İşlem Yok
N5.1	1200	1	Hava	İşlem Yok
N5.2	1200	3	Hava	İşlem Yok
N5.3	1200	6	Hava	İşlem Yok



Şekil 7.4. Fanlı (hava) soğutma tüneli

7.3. Zımparalama ve Yüzey Parlatma

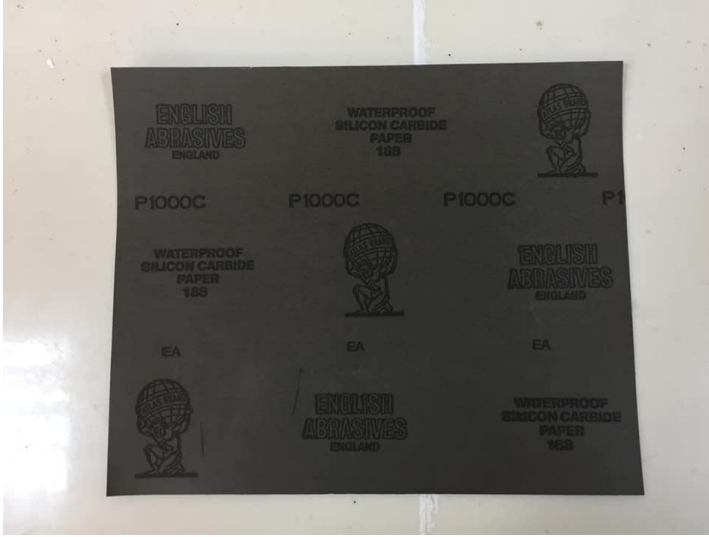
Çeşitli ısı işlem, soğutma ve temperleme aşamalarından geçmiş olan numunelerin hem metalografik çalışmalarının yapılabilmesi, hem de mekanik özelliklerinin test edilebilmesi için yüzey pürüzlülüğünün giderilerek parlatılması gerekmektedir (Şekil 7.5). Bu işlemin yapılabilmesi için bir parlatma makinesi (Şekil 7.6), zımpara kağıtları (Şekil 7.7) ve yüzey parlatma pastasına (Şekil 7.8) ihtiyaç vardır. Zımparalama aşamasında kullanılan kağıtlar kademeli olarak sırasıyla 80, 120, 240, 400, 600, 1000 ve 1200'lük şeklindedir. Bunun amacı, başlangıçtaki yüzey pürüzlülüğünün daha fazla olmasıdır. Bu sebeple kullanılan zımpara kağıtları kalından inceye doğru gitmektedir. Belirtilen zımpara kağıdı numaraları, 1 inç² alanda bulunan aşındırıcı tane miktarı baz alınarak verilmektedir. Zımparalama aşamasından sonra yüzeyin parlatılması sırasıyla 6 mikron ve 1 mikronluk yüzey parlatma pastaları vasıtasıyla yapılmaktadır. Tüm zımparalama ve yüzey parlatma aşamaları parlatma makinesi kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 7.5. Parlatma öncesi ve sonrası numune yüzeyleri



Şekil 7.6. Parlatma Makinesi



Şekil 7.7. 1000 numara zımpara kağıdı



Şekil 7.8. 6 mikron yüzey parlatma pastası

7.4. Metalografik Çalışmalar

Bu bölümdeki çalışmalar belli ısıl işlem, soğutma ve temperleme aşamalarından geçen numunelerin mikro yapılarını incelemek amacıyla yapılmaktadır. Mikro yapıdaki karbür ve matris oluşumlarının malzemenin sertliği ve aşınma direnci ile doğrudan alakalı olduğunun pratikte de saptanabilmesi için optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) vasıtasıyla numunelerin farklı büyütmelerde fotoğrafları çekilmiştir. Bu fotoğraflar irdelenmek üzere Araştırma Bulguları bölümünde paylaşılacaktır. Numunelerin yüzeylerinde gözlenecek olan matris ve karbür oluşumları arasında bir faz farkı yaratarak daha rahat gözlem yapabilmek ve fotoğraf alabilmek için parlatılmış yüzeyler pikral (3 gr FeCl₃ ,15ml HCP, 100 ml H₂O) çözeltisi ile dağlanmıştır.

7.5. Sertlik Deneyleri

Çeşitli ısıl işlem kombinasyonlarından geçmiş numunelerin makro sertliklerinin ölçümü sertlik ölçme cihazı (Şekil 7.9) vasıtasıyla yapılmıştır. Ölçümler her numune için 5 farklı bölgeden, en büyük ve en küçük ölçümlerin hesap dışında bırakılması suretiyle aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Sertlik ölçme tipi olarak Rockwell C (HRC) kullanılmıştır.



Şekil 7.9. Sertlik ölçme cihazı

7.6. Aşınma Deneyleri

Numunelerin aşınma karakteristiklerinin ölçülmesi için bir abrasiv aşınma deney düzeneği kullanılmıştır. Kullanılan deney düzeneğinde numunelerin her biri 10 N, 20 N ve 30 N'luk ağırlıklar altında bırakılarak aşınmaya tabi tutulmuştur. Aşınma düzeneğinde kullanılan aşındırıcı yüzey 80 numaralı zımpara kağıdı kullanılarak oluşturulmuştur. Her bir numune 500 m uzunluğunda aşındırıcı bir yola maruz bırakılmıştır. Kullanılan herhangi bir yüzeyin bir daha kullanılmadığından emin olunarak sonuçların güvenilirliği sağlanmıştır. Her aşınma sonrası numune yüzeyleri temizlenerek aynı hizaya getirilmiştir. Aşınma öncesi ve sonrası ağırlık değerleri 10^{-5} g hassasiyet değeri olan terazide ölçülerek kaydedilmiştir. Her bir deney aşaması 3 kez tekrarlanmış olup aşınma miktarları ortalama olarak hesaplanmıştır.

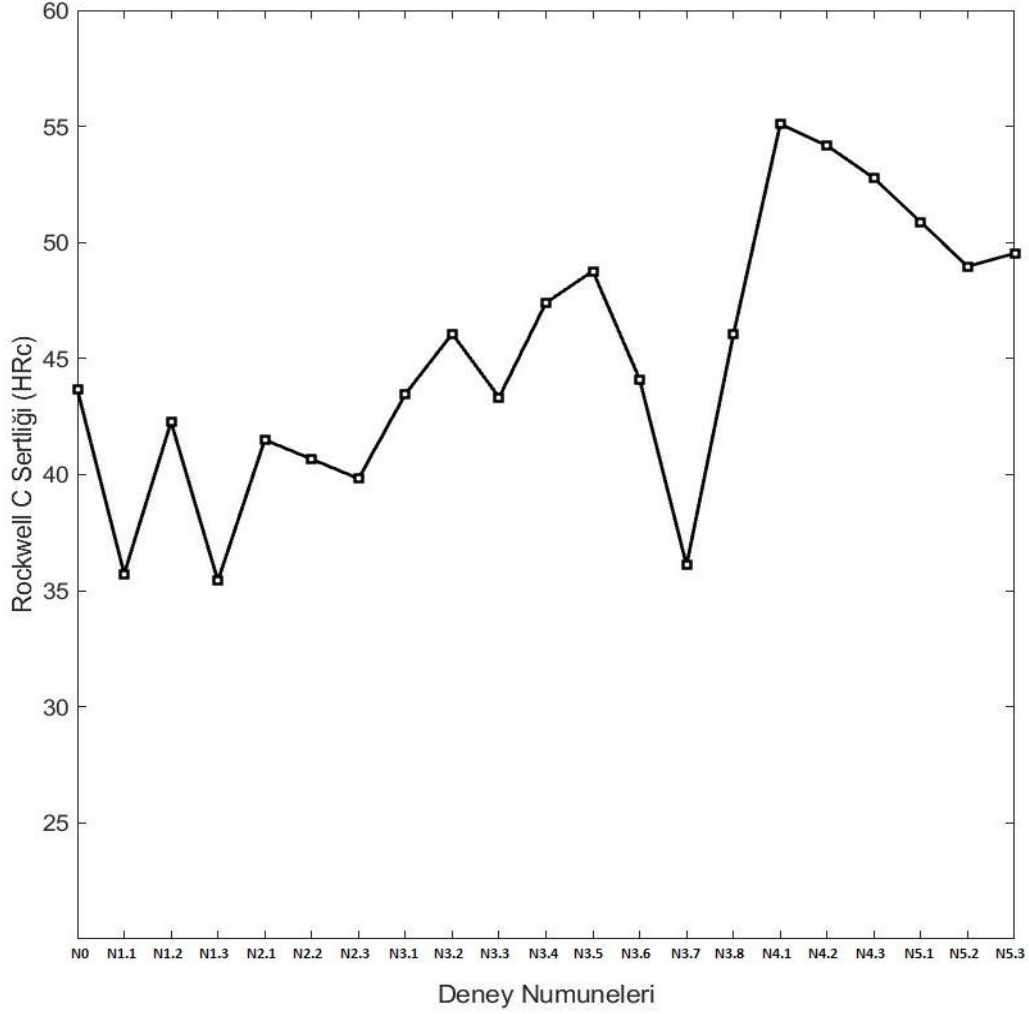
8. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

8.1. Numunelerin Sertlikleri

Çizelge 8.1. Numunelerin ortalama makro sertlikleri

#	Isıl İşlem (°C)	Isıl İşlem (Saat)	Soğutma	Temperleme	Ortalama Sertlik (HRC)
No	İşlem Yok	İşlem Yok	İşlem Yok	İşlem Yok	43,67
N1.1	800	1	Hava	İşlem Yok	35,73
N1.2	800	3	Hava	İşlem Yok	42,27
N1.3	800	6	Hava	İşlem Yok	35,43
N2.1	900	1	Hava	İşlem Yok	41,50
N2.2	900	3	Hava	İşlem Yok	40,67
N2.3	900	6	Hava	İşlem Yok	39,83
N3.1	1000	1	Hava	İşlem Yok	43,47
N3.2	1000	3	Hava	İşlem Yok	46,07
N3.3	1000	6	Hava	İşlem Yok	43,33
N3.4	1000	12	Tuzlu Su	İşlem Yok	47,40
N3.5	1000	12	Yağ	İşlem Yok	48,77
N3.6	1000	12	Hava	İşlem Yok	44,10
N3.7	1000	12	Hava	180°C-1saat	36,10
N3.8	1000	24	Hava	İşlem Yok	46,03
N4.1	1100	1	Hava	İşlem Yok	55,10
N4.2	1100	3	Hava	İşlem Yok	54,17
N4.3	1100	6	Hava	İşlem Yok	52,77
N5.1	1200	1	Hava	İşlem Yok	50,87
N5.2	1200	3	Hava	İşlem Yok	48,97
N5.3	1200	6	Hava	İşlem Yok	49,53

Yüksek krom-molibdenli beyaz dökme demir malzemeden üretilmiş numunelerin sertlikleri Çizelge 8.1’de gösterilmiştir. Buna göre hiç ısıl işlem görmemiş olan orijinal malzeme olan N₀ numunesinin sertlik değeri 43,67 HRC iken 1100 °C’de 1 saat ısıl işlem görüp havada soğutulmuş olan N4.1 numunesi diğerlerinin arasında en yüksek sertlik olan 55,1 HRC’ye ulaşmıştır.



Şekil 8.1.Numunelerin sertlikleri (HRC)

Burada bir başka önemli konu, sertliğin yalnızca yükselmesi değil, bazı şartlarda azalması da söz konusudur.

8.2. Numunelerin Aşınma Dirençleri

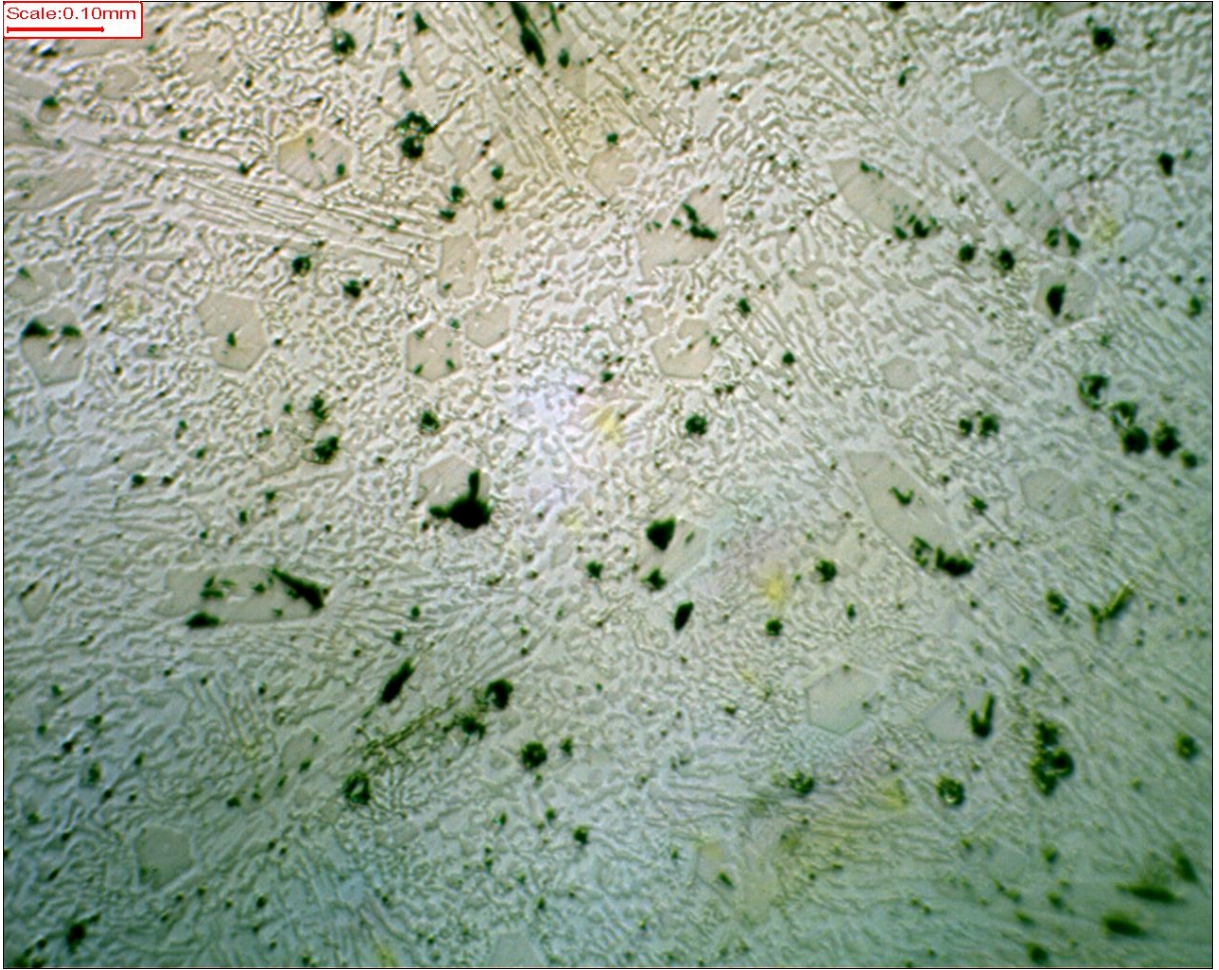
Numunelerin her birinin abrasiv aşınma dirençleri 3'er ayrı deney ile test edilmiş ve sonuçları ortalama olarak Çizelge 8.2'de verilmiştir. Burada 10 N, 20 N ve 30 N'luk yükler altında numunelerin ne kadar kütle kaybettikleri gram cinsinden verilmiştir. Yük arttıkça her bir numunenin aynı şartlarda daha fazla kütle kaybettiği gözlemlenmiştir. Bunun yanında en sert numune olan N4.1 numunesi aşınma direnci açısından N4.2 numaralı numunenin ardından ikinci sırada yer almaktadır.

Aşınma deneyleri boyunca yük arttıkça malzemedeki kütle kaybının arttığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 8.2. Numunelerin aşınma sonrası ortalama kütle kayıpları

#	Δm 10N (g)	Δm 20N (g)	Δm 30N (g)
N ₀	0,1636	0,2294	0,3462
N1.1	0,1763	0,2621	0,3983
N1.2	0,1496	0,2249	0,3390
N1.3	0,1803	0,2612	0,3958
N2.1	0,1860	0,2774	0,4151
N2.2	0,1786	0,2780	0,4198
N2.3	0,1563	0,2466	0,3630
N3.1	0,1362	0,2028	0,3051
N3.2	0,0930	0,1680	0,2574
N3.3	0,1223	0,1816	0,2816
N3.4	0,1180	0,1740	0,2614
N3.5	0,1013	0,1549	0,2350
N3.6	0,1564	0,2302	0,3133
N3.7	0,1360	0,2153	0,3255
N3.8	0,1068	0,1640	0,2486
N4.1	0,0857	0,1308	0,1926
N4.2	0,0790	0,1301	0,1918
N4.3	0,0899	0,1308	0,1942
N5.1	0,0989	0,1431	0,2152
N5.2	0,1013	0,1487	0,2281
N5.3	0,0966	0,1443	0,2143

8.3. Metalografik Çalışmalar ve Deney Sonuçlarının İrdelenmesi

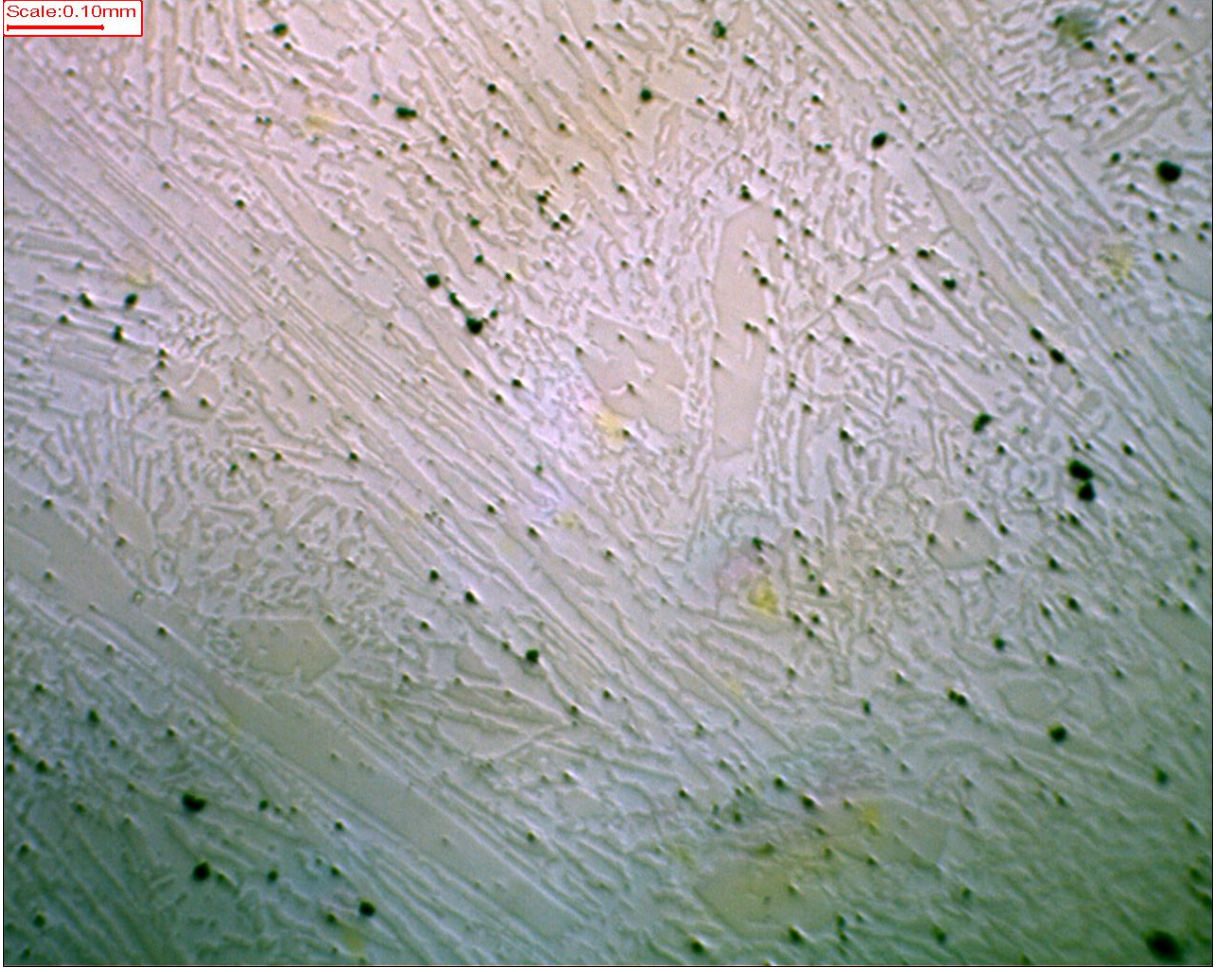


Şekil 8.2 N₀ Optik mikroskop ile alınmış görüntü

N₀ numunesi kullanılan numunelerin orijinali olarak tutulmuş ve ısıl işlem gören diğer numunelerle kıyaslanabilmesi için üzerinde yüzey parlatma dışında herhangi bir işlem yapılmamıştır. Optik mikroskoptan alınan görüntü Şekil 8.2’de verilmiştir. Burada karbürlerin matris içerisinde seyrek olarak dağıldığı gözlenmiştir. Bazı bölgelerde birbirine yakın birkaç karbür bulunmakla birlikte boyutları 0,05 mm – 0,1mm arasında değişmektedir.

N₀ numunesinin sertliği 43,67 HRC olarak saptanmıştır. Aşınma deneyleri sonucunda 10 N yük altında 0,1636 g, 20 N yük altında 0,2294 g, 30 N yük altında 0,3462 g yük kaybettiği izlenmiştir (Şekil 8.4).

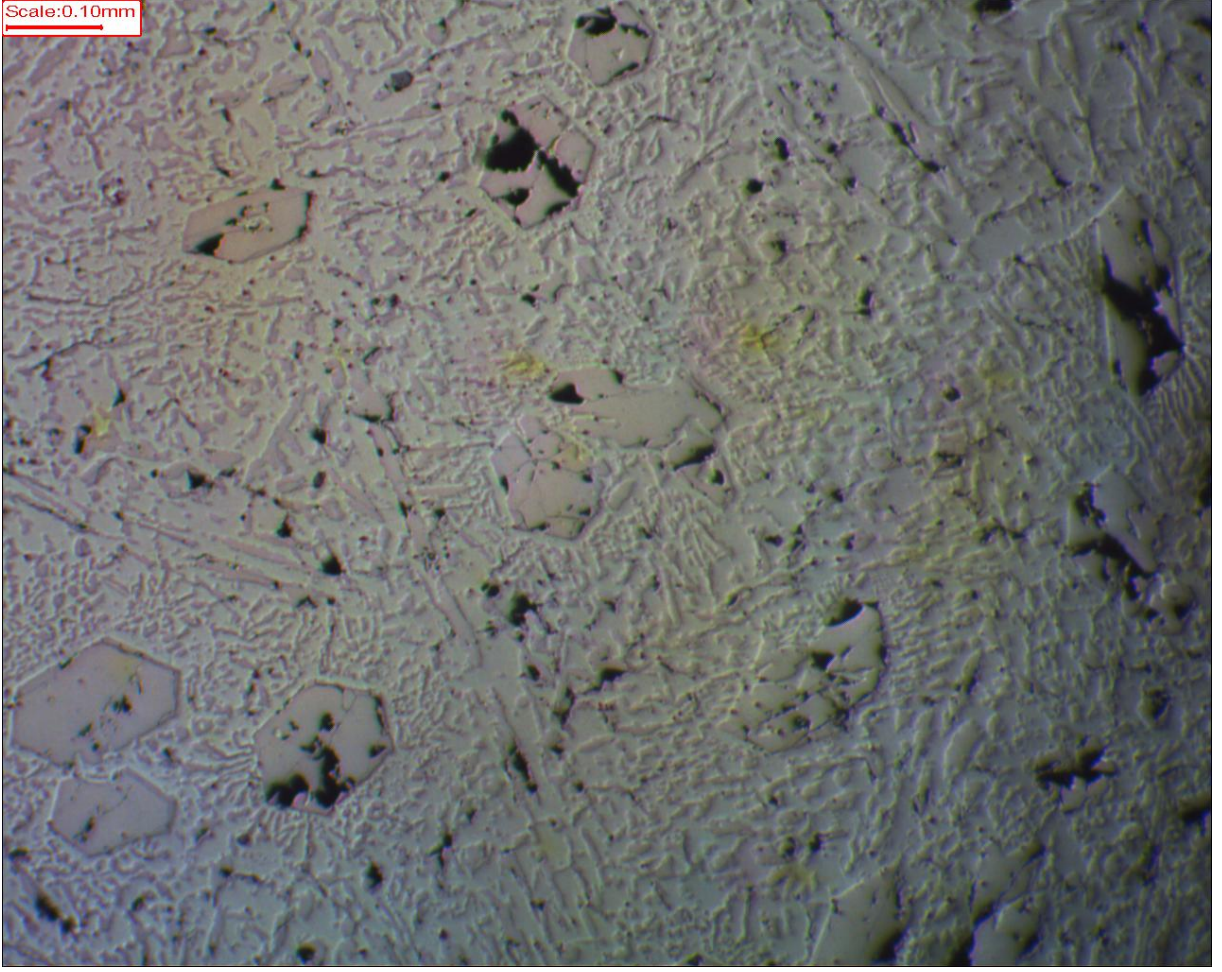
Numune mikro yapısında bulunan ikincil karbürlerin matris içerisinde küçük ve noktasal olarak dağıldığı izlenmiştir.



Şekil 8.3 N1.1 Optik mikroskop ile alınmış görüntü

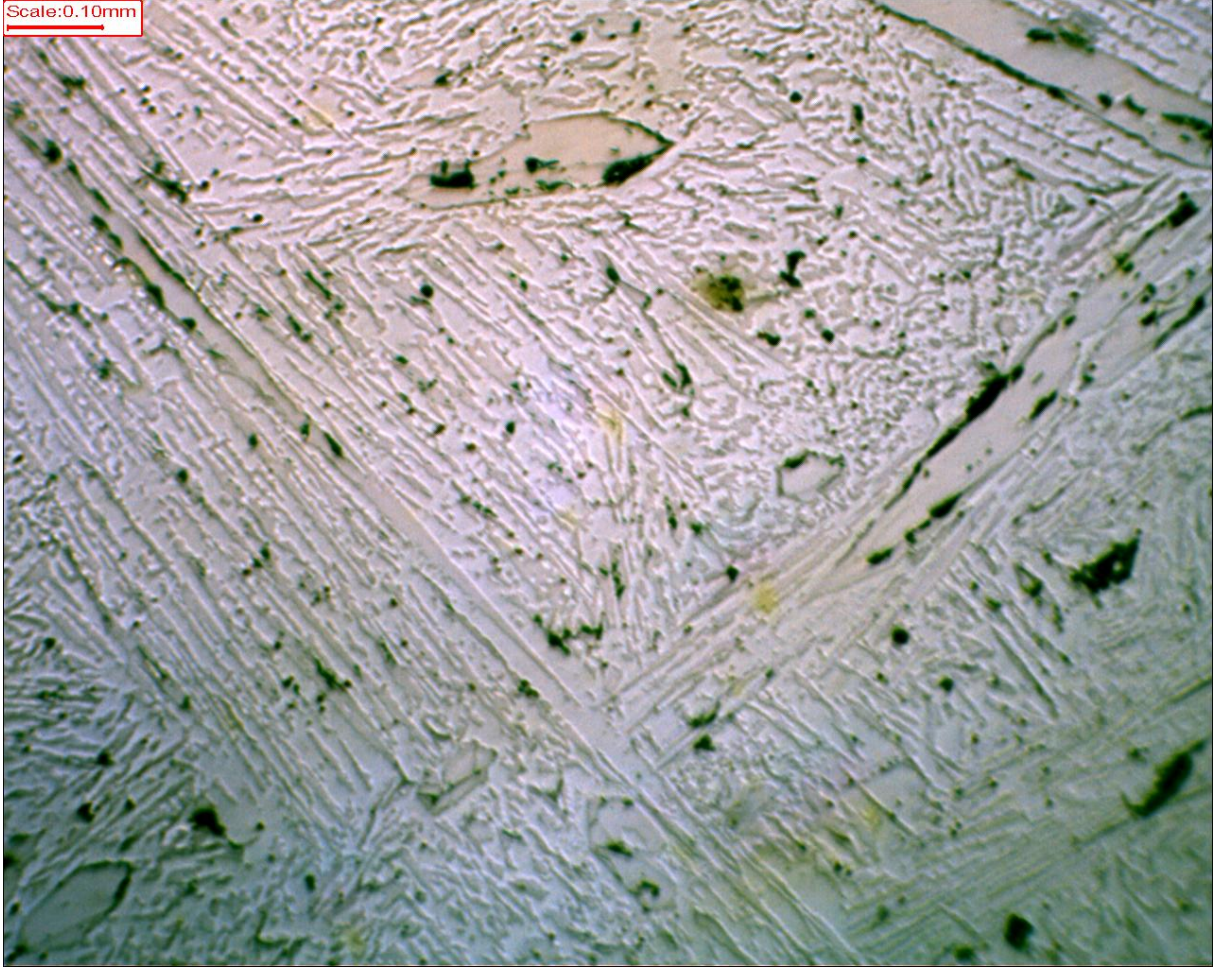
Şekil 8.3’de görülen N1.1 numunesi orijinal numuneden farklı olarak 800 °C’de 1 saat süreyle ısıtılmış ve hava ile soğutulmuştur. Deneyle sonuçunda makro sertliğinin 35,73 HRc değerine kadar önemli ölçüde gerilediği tespit edilmiştir. Mikro yapısında bulunan ikincil karbürlerin yapraksı biçimde ince ve uzun yapıda matris içerisinde dağıldığı, birincil karbürlerin ise incelerek birbirlerinden uzaklaştığı gözlemlenmektedir. Sonuç olarak sertlik düşüşünün bu duruma bağlı olduğu düşünülmektedir.

Aşınma deneyleri sonucunda sertlikteki düşüşe paralel olarak numunenin aşınma direncinin de düştüğü görülmektedir. Numunenin 10 N yük altında 0,1763 g, 20 N yük altında 0,2621 g, 30 N yük altında 0,3983 g kütle kaybettiği tespit edilmiştir. Bu da numunenin bu şartlarda orijinal halinden 10 N için %7, 20 N için %12, 30 N için ise %13 daha fazla aşındığı anlamına gelmektedir.



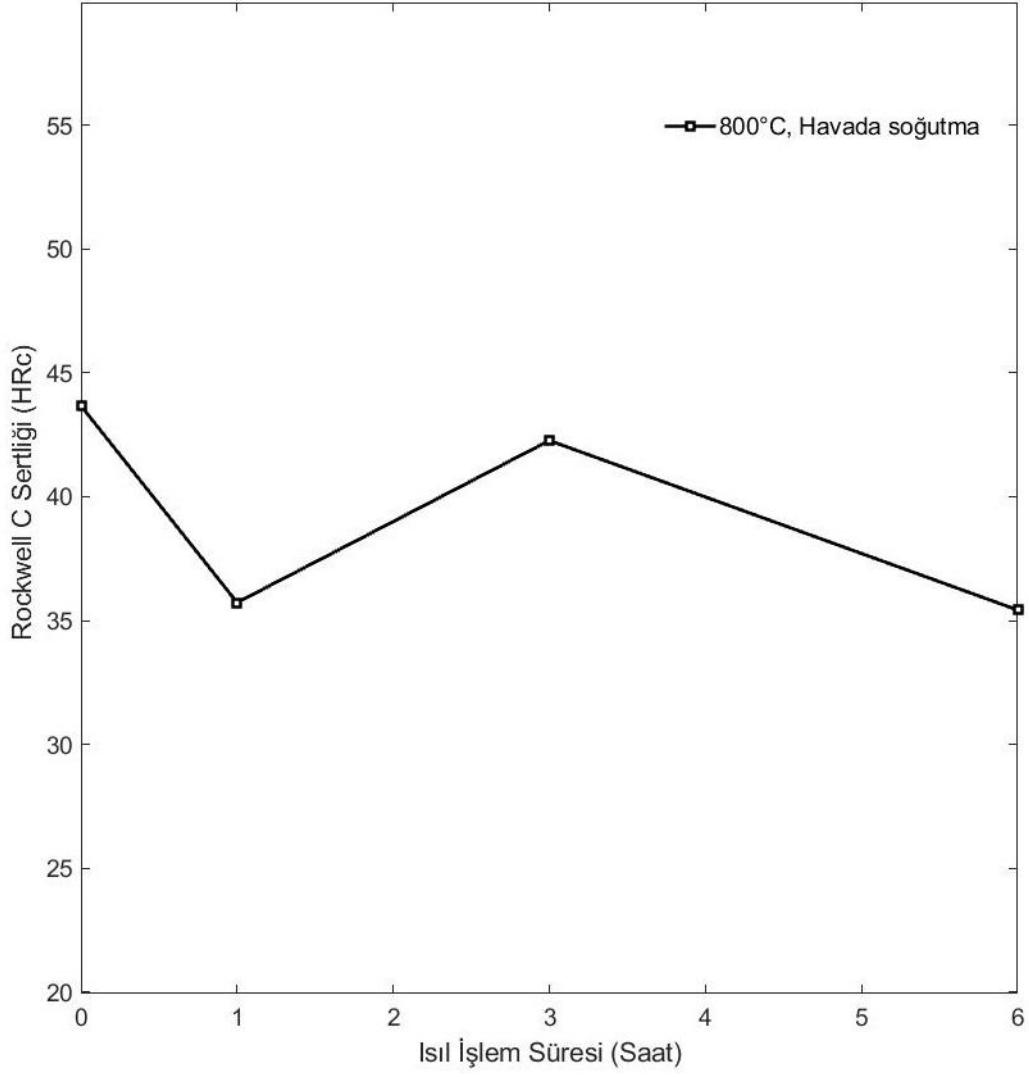
Şekil 8.4 N1.2 Optik mikroskop ile alınmış görüntü

Şekil 8.4’de optik görüntüsü verilmiş olan N1.2 numunesi 800 °C’de 3 saat boyunca ısıtılmış ve havada soğutulmuştur. Burada dikkat çeken durum, birincil karbürler önemli ölçüde büyümüş ve sayıları ilk haline nazaran azalmıştır. Birincil karbür boyutları 0,25 mm’ye kadar çıkarken ikincil karbür miktarında azalma ve matris oranında artış izlenmektedir. Bunun sonucu olarak, sertlik değeri 42,27 HRc olmak üzere ısıtılmadan çok küçük bir miktar daha az ölçülmüştür. Ancak buradaki bir başka önemli durum ise numunenin aşınma direncinde iyileşme izlenmiş olmasıdır. N1.2 numunesi ısıtıldıktan sonra %3’lük bir sertlik düşüşü yaşasa da aşınma direncinde 10 N yük için %15’lik bir artış yaşanmıştır. Bu artış 20 ve 30 N için %2’de kalmıştır. Sertlik düşerken aşınma direncinin iyileşmesinin birincil ve ikincil karbürlerdeki değişimden kaynaklandığı düşünülmektedir.

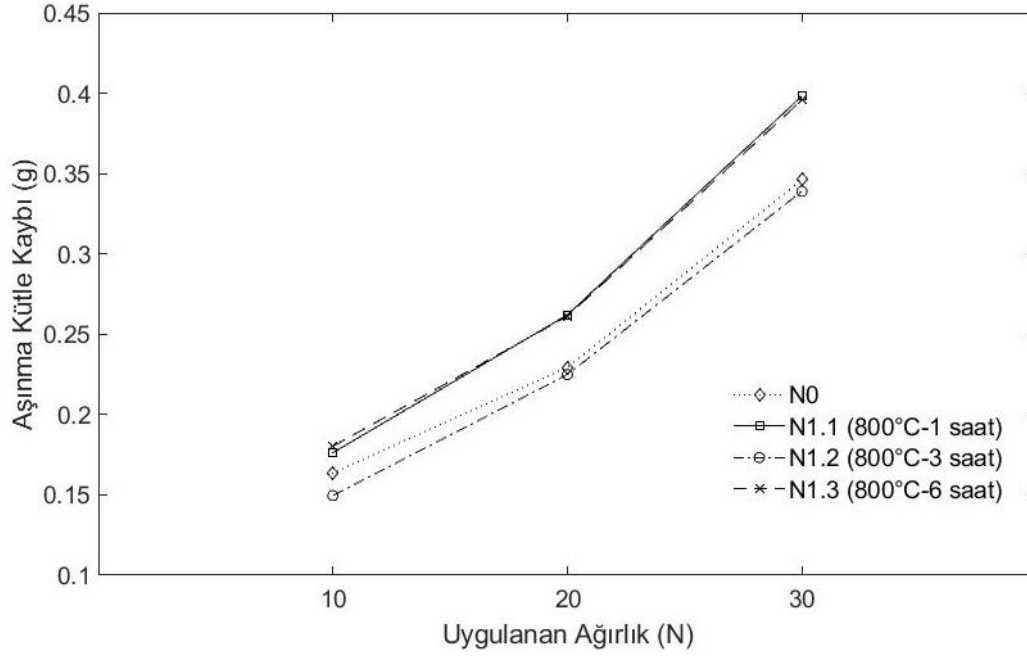


Şekil 8.5 N1.3 Optik mikroskop ile alınmış görüntü

Şekil 8.5’de optik mikroskop ile alınmış görüntüsü verilmiş olan N1.3 numunesinin geçirdiği ısıl işlem koşulları 800 °C’de 6 saat ve hava soğutmadır. Görüntü itibariyle N1.1 numunesine oldukça fazla benzerlik gösteren N1.3 numunesi sertlik ve aşınma değerleri bakımından da yaklaşık değerler vermiştir. Sertlik değeri 35,43 HRc olarak ölçülmüştür. Aşınma kayıpları ise 10 N yük altında 0,1803 g, 20 N yük altında 0,2612 g, 30 N yük altında 0,3958 g’dır.



Şekil 8.6 N_0 ve 800 °C’de ısıl işlem görmüş ve havada soğutulmuş N1.1, N1.2, N1.3 numunelerinin sertliklerindeki değişim

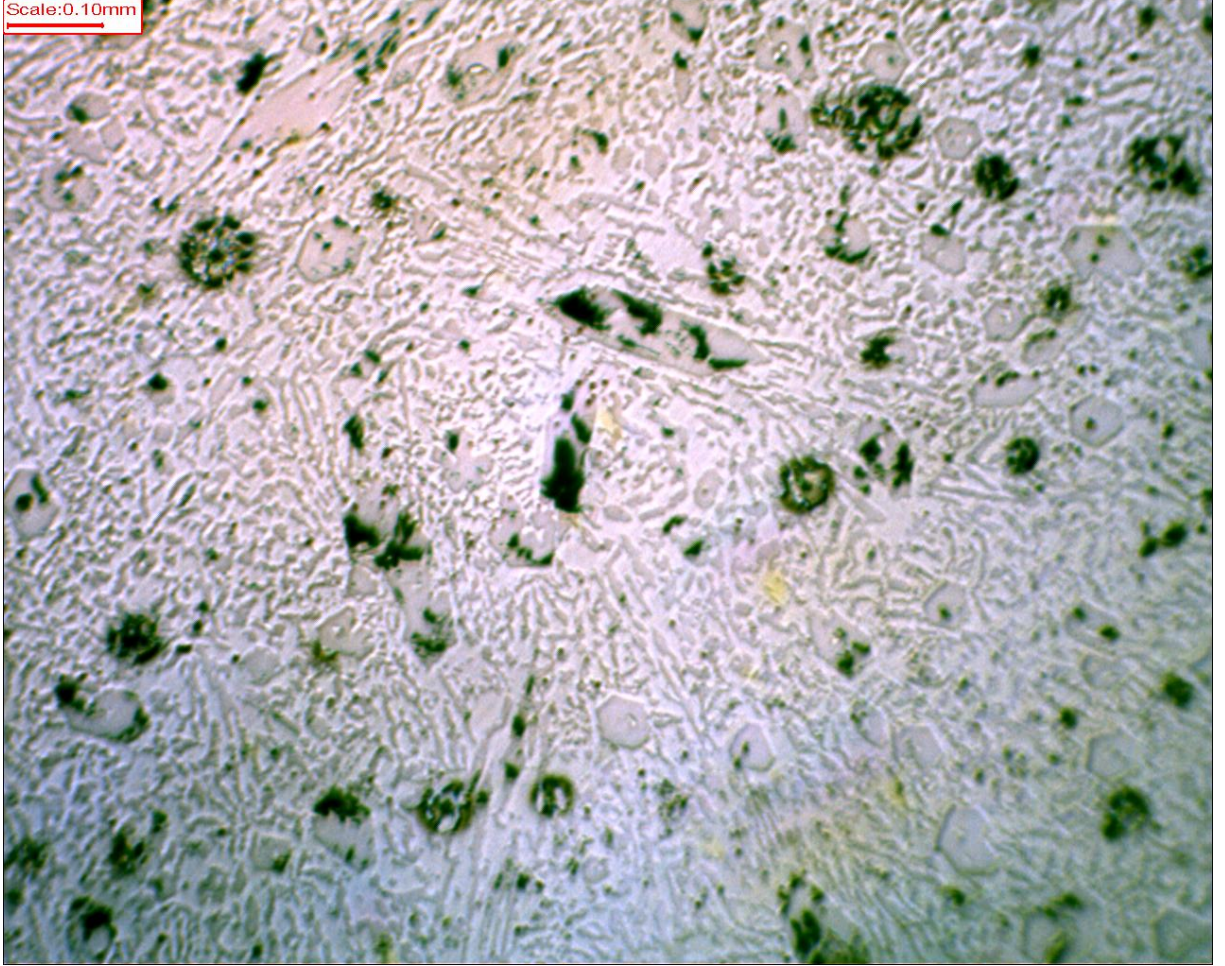


Şekil 8.7 N₀ ve 800 °C’de ısıl işlem görmüş ve havada soğutulmuş N1.1, N1.2, N1.3 numunelerinin 10N, 20N ve 30N yük altındaki aşınma miktarlarındaki değişim

Şekil 8.6’da bulunan grafikte 800 °C’de ısıl işlem görmüş olan 3 numunenin N₀ numunesiyle birlikte sertliklerindeki değişim, Şekil 8.7’deki grafikte ise aynı numunelerin aşınma deneyleri sonucunda kaybettikleri kütle miktarları izlenmektedir. Görüldüğü gibi hiç ısıl işlem görmemiş olan N₀ numunesinin sertlik değeri 43,67 HRC iken 1 saat ısıl işlem gördükten sonra birincil ve ikincil karbür yapılarındaki değişiklik sonucu sertlik değeri 35,73’e düşmüştür. Bundan iki saat sonra karbürlerin tekrar toplanarak daha büyük boyutlara gelmesi sonucu 42,27 HRC’ye kadar yükselmiştir. Toplam 6 saat fırında kalan N1.3 numunesi ise mikro yapısında aynı N₀ ve N1.1 arasında gerçekleşen reaksiyonların tekrar etmesi sonucu 35,43 HRC sertliğe gerilemiştir. Aşınma miktarlarında ise sertliğe benzer sonuçlar elde edilmiştir. Sertliğin düşmesinin aşınma direncinin de düşmesine neden olduğu deney sonuçlarından anlaşılabilir. 800 °C 3 saat ısıl işlem görmüş olan N1.2 numunesinin sertlik değeri N₀’dan az da olsa düşük olmasına rağmen mikro yapısında gerçekleşen farklı kondisyonlar sonucu aşınma direncinde daha iyi değerler tespit edilmiştir. Bunun yanında farklı sıcaklık skalalarında aşınma direncinin çok daha iyi seviyelere gelebileceği düşünülürse, bu iyileşmenin pratikte çok büyük bir anlam kazanmayacağı sonucuna varılabilir.

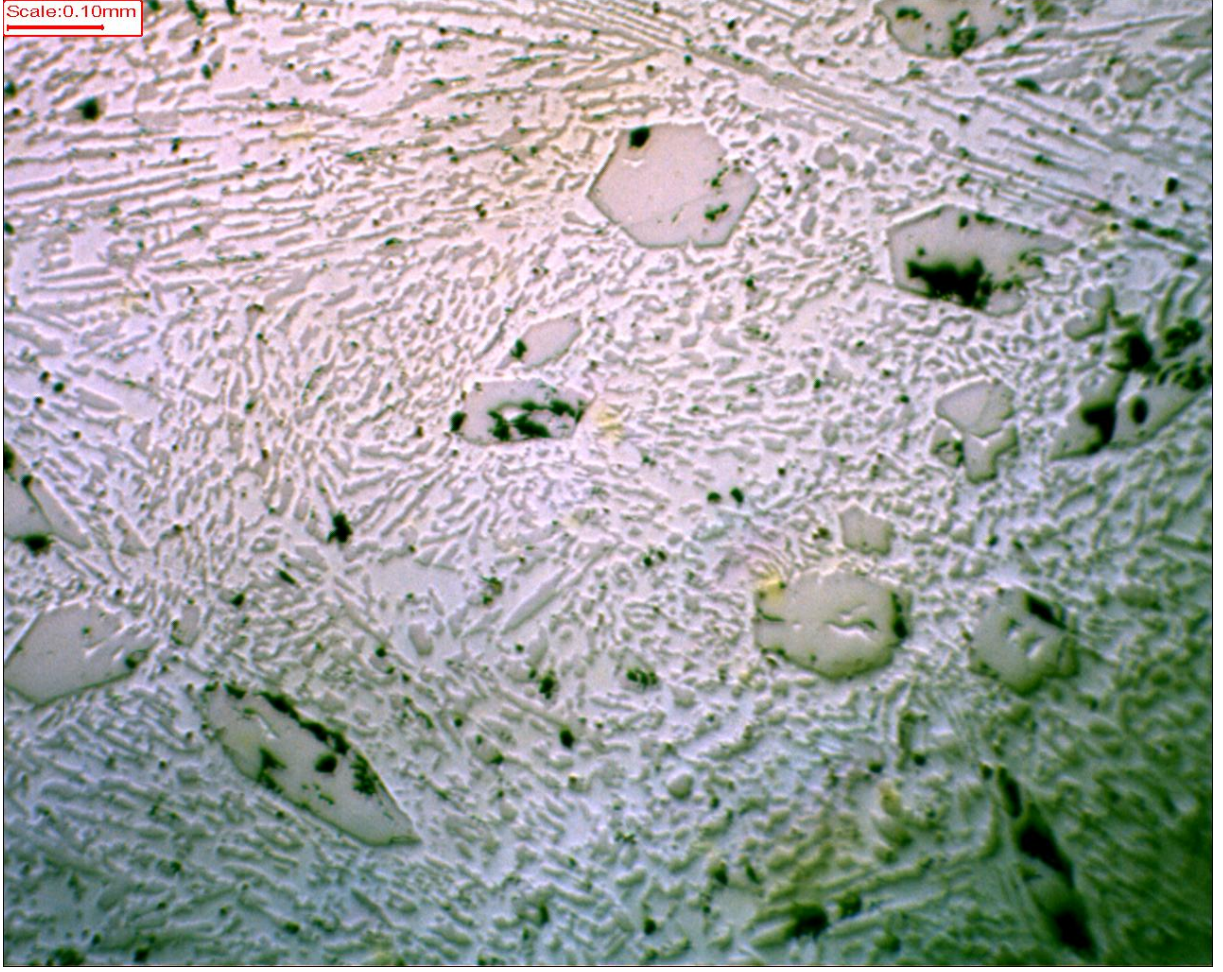
Buradan anlaşılacağı üzere 800 °C skalası, yüksek krom-molibdenli beyaz dökme demir malzememizin sertliğini artırmak ve aşınma direncini iyileştirmek için uygun bir sıcaklık değeri

değildir. Bununla birlikte talaşlı imalatta daha verimli ve ekonomik işleme koşulları sağlayabilmek adına, bu sıcaklık değeri malzemenin yumuşatılması için elverişlidir. Ancak 1 ve 6 saat ısıtım işlem sonuçları çok yakın değerler verdiği için zamandan tasarruf etmek adına malzemenin sertliğinin ve aşınma direncinin düşürülmesi için 800 °C'de 1 saat ısıtım işlem yapılması tavsiye edilmektedir.



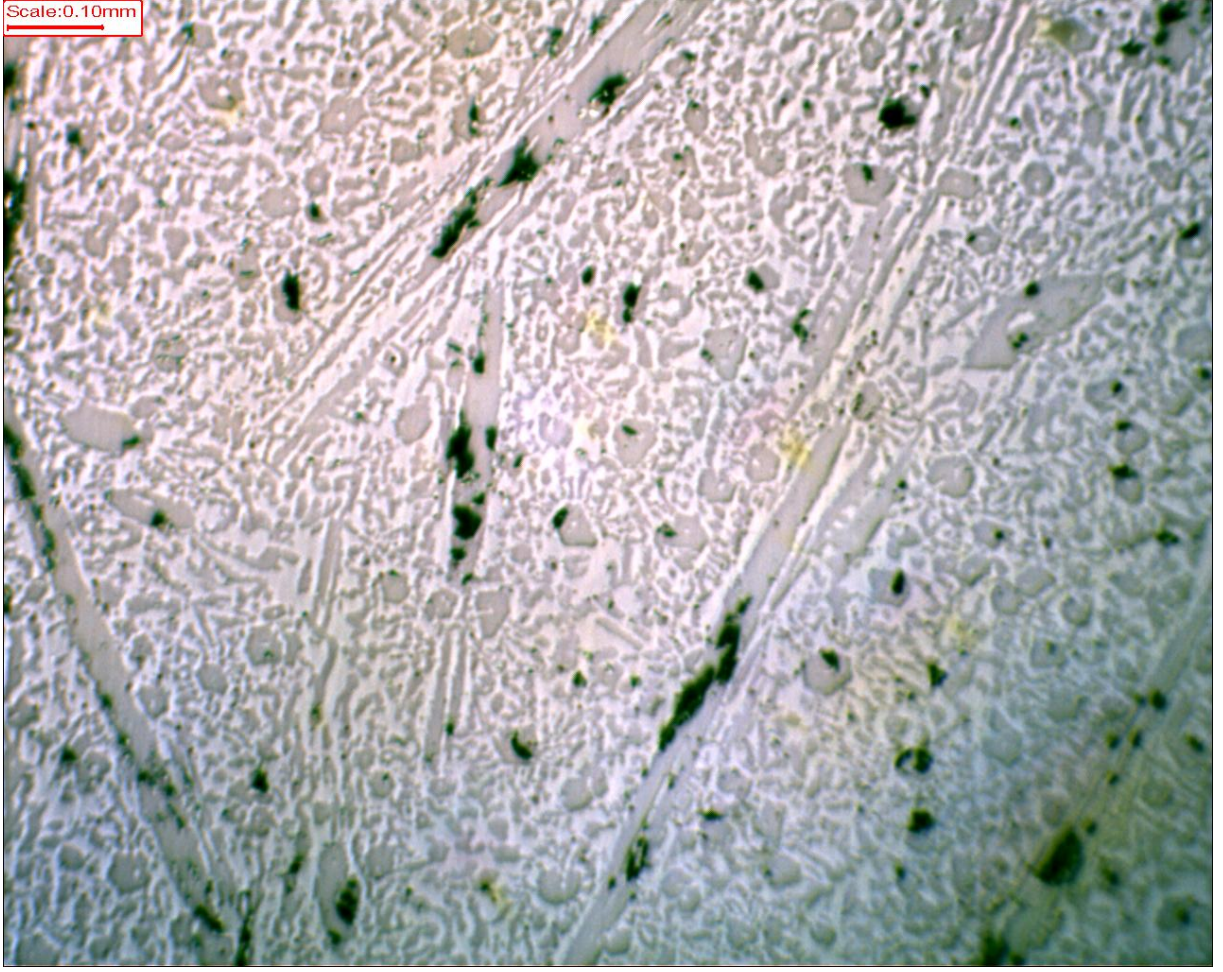
Şekil 8.8 N2.1 Optik mikroskop ile alınmış görüntü

900 °C'de ısıtım işlem görmüş olan 3 numunenin ilki olan N2.1 numunesi 1 saat boyunca bu sıcaklıkta ısıtım işlem fırınında bekletilmiştir. Havada soğutulmuştur. Isıtım işlem sonrası sertlik değeri 41,5 HRC olarak ölçülen numunenin 10 N yük altında aşınma miktarı 0,186 g, 20 N yük altında aşınma miktarı 0,2774 g, 30 N yük altında aşınma miktarı ise 0,4151 g'dır. Optik mikroskop ile alınan fotoğrafından anlaşılacağı üzere birincil ve ikincil karbürlerde boyut ve dağılım N₀ numunesinden çok farklı değildir (Şekil 8.8). Bunun yanında sertlik ve aşınma direnci bakımından da bir iyileşme sağlanamamış, aksine bu değerlerde çok büyük farklılıklar olmamakla birlikte düşüş tespit edilmiştir.



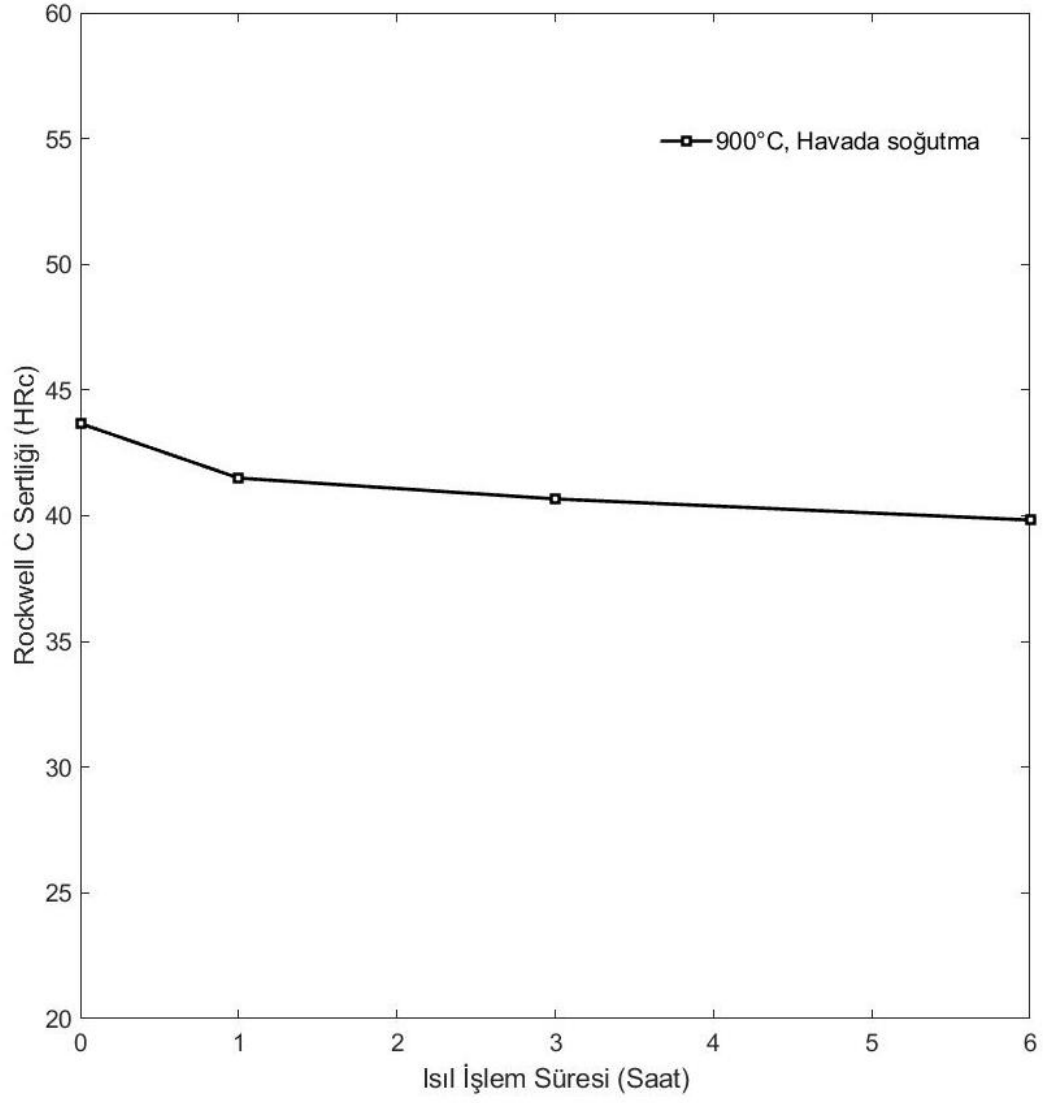
Şekil 8.9 N2.2 Optik mikroskop ile alınmış görüntü

N2.2 numunesi 900 °C'de 3 saat boyunca ısıtılmış ve havada soğutulmuştur. Birincil karbürlerde boyutlar N2.1'e kıyasla 2-3 kat büyümüş ve sayıları da aynı oranda azalmıştır. Sertliği 40,67 HRc değerine gerilerken, aşınma deneyi sırasındaki kütle kayıpları 10 N için 0,1786 g, 20 N için 0,2780 g, 30 N için ise 0,4198 g'dır. Bu numunenin 20 ve 30 N yük altındaki aşınma kaybı değerleri tüm deney numuneleri arasındaki en yüksek değere ulaşmıştır. Sertlik olarak orijinal numunenin sahip olduğu değerden %6,8'lik bir gerileme olmuştur.

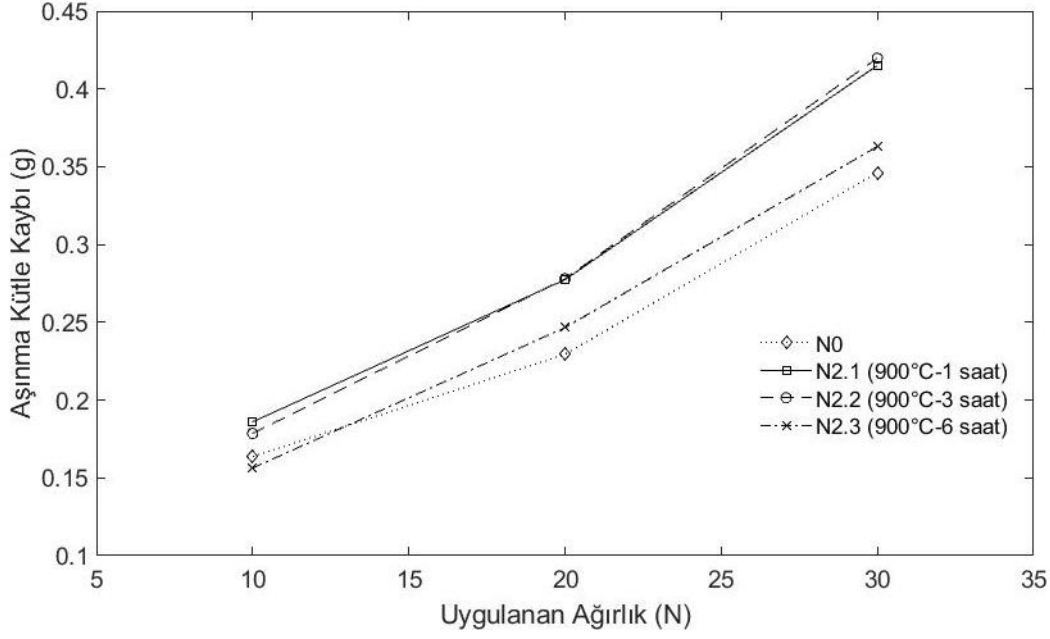


Şekil 8.10 N2.3 Optik mikroskop ile alınmış görüntü

900 °C’de ısıl işlem görmüş olan numunelerin üçüncü ve sonuncusu olan N2.3 numunesi bu sıcaklıkta 6 saat boyunca ısıl işlem görmüştür. Havada soğutulmuştur. 39,83 HRc sertliğe sahip numunenin aşınma değerleri 10 N için 0,1563 g, 20 N için 0,2466 g, 30 N için 0,3630 g’dır. Numunenin görüntüsü Şekil 8.10’de verilmiştir. Karbür dağılımında bir homojenleşme ve karbür ebatlarında azalma söz konusudur.

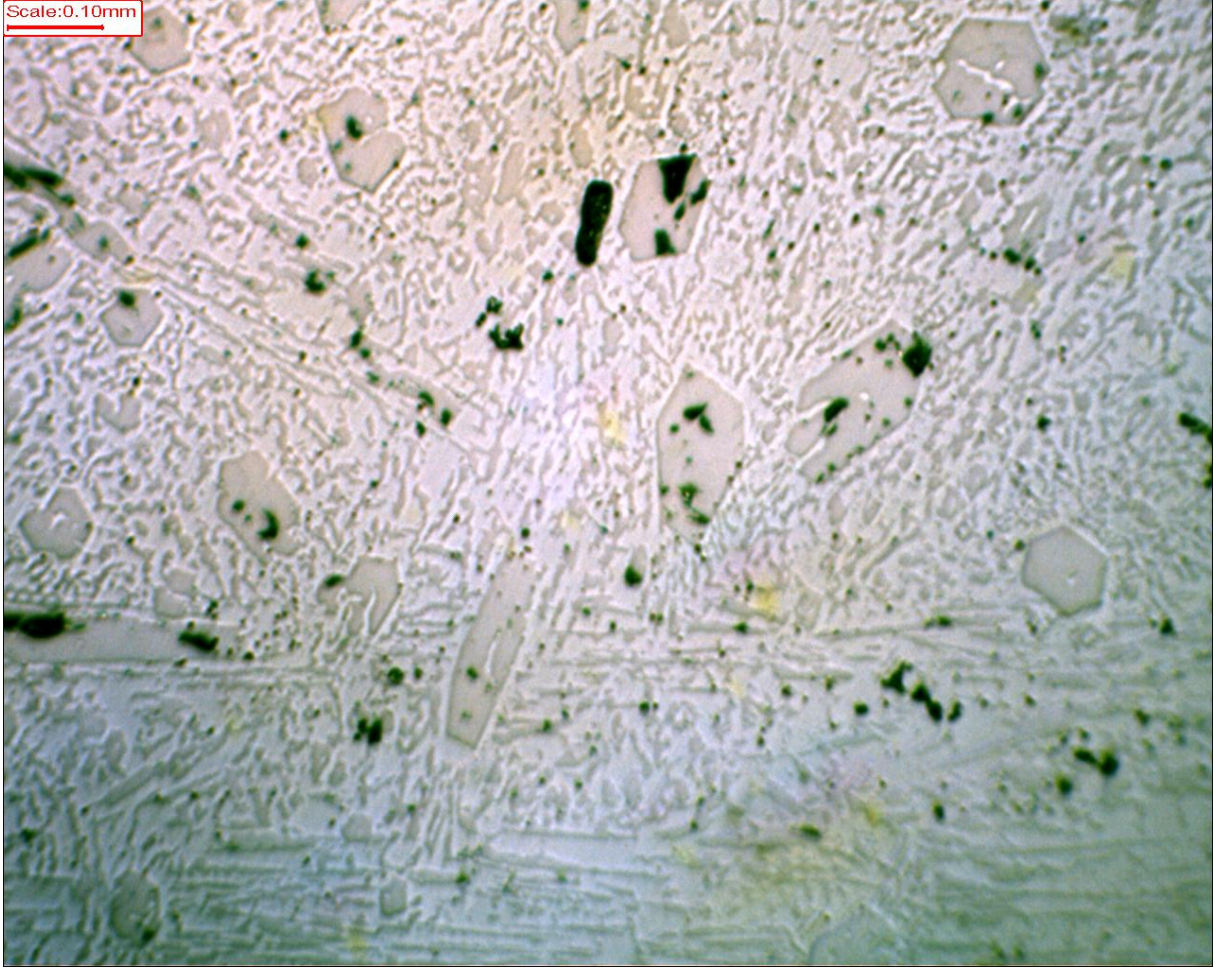


Şekil 8.11 N₀ ve 900 °C’de ısıl işlem görmüş ve havada soğutulmuş N2.1, N2.2, N2.3 numunelerinin sertliklerindeki değişim



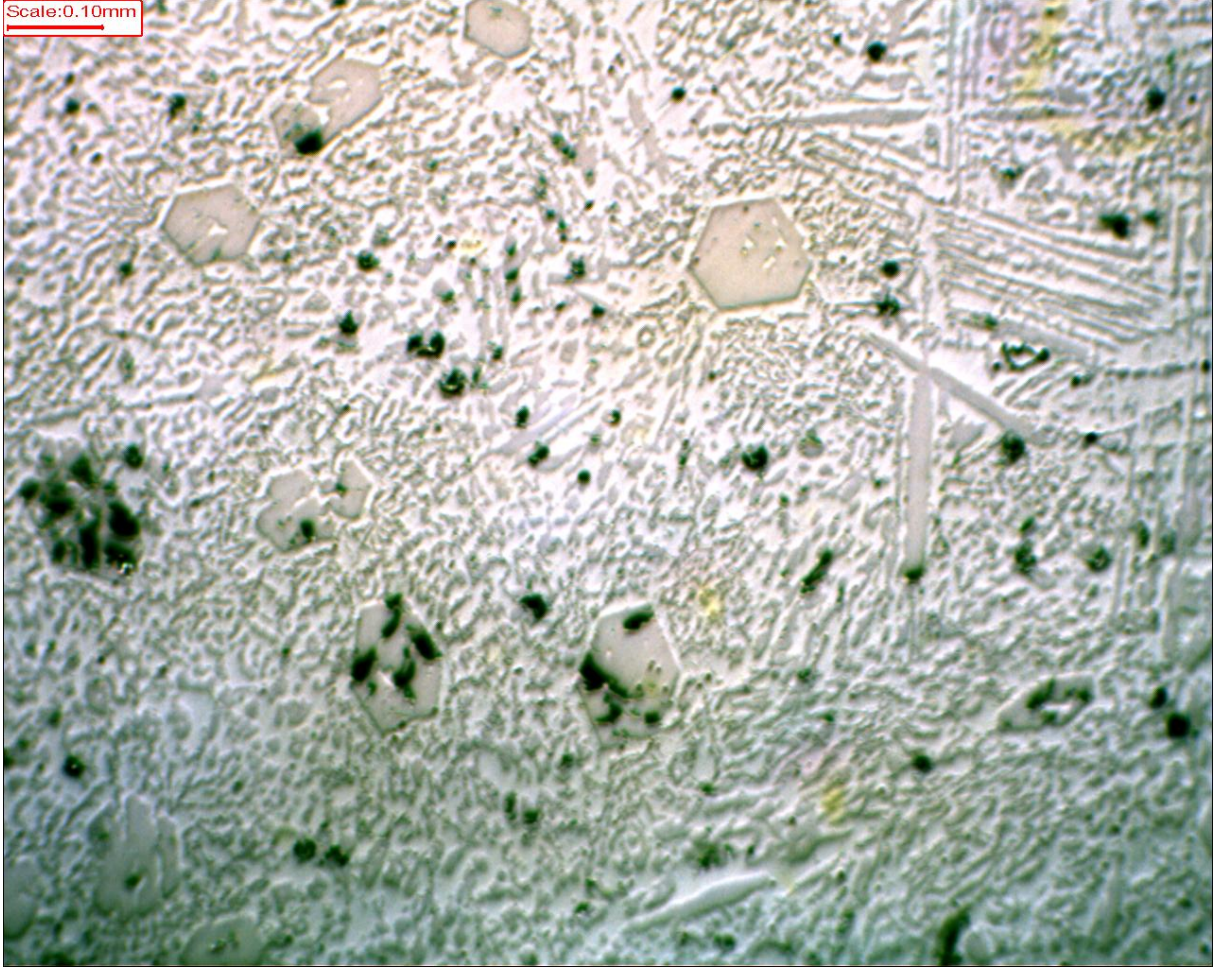
Şekil 8.12 N₀ ve 900 °C’de ısıtılmış ve havada soğutulmuş N2.1, N2.2, N2.3 numunelerinin aşınma değerlerindeki değişim

Şekil 8.11’de verilen grafikte 900 °C’de ısıtılmış olan 3 numunenin sertlikleri N₀ numunesiyle karşılaştırılmıştır. Isıtılmış süresi uzadıkça sertliğin düştüğü gözlemlenmiştir. Her bir numune arasındaki sertlik düşüş miktarı ise oldukça düşüktür. Aşınma kayıpları bakımından ise şekil 8.12’deki grafik bize aşınma miktarlarında bir iyileşme olmadığını göstermektedir. Özellikle N2.1 ve N2.2 numunelerinde aşınma direnci düşmüş, N2.3 numunesinde tekrar eski haline yakın bir değere geldiği görülmüştür.



Şekil 8.13 N3.1 Optik mikroskop ile alınmış görüntü

Şekil 8.13’de görülen N3.1 numunesi 1000 °C’de 1 saat ısıl işlem görmüş ve havada soğutulmuştur. Birincil karbür ebatlarında büyüme izlenmiştir. Sertlik değeri 43,47 HRc ile orijinal numuneye oldukça yakındır. Aşınma direncinde iyileşme tespit edilmiştir. 10 N yük altında 0,1362 g aşınırken 20 N yük altında 0,2028 g, 30 N yük altında ise 0,3051 g kütle kaybına uğramıştır.



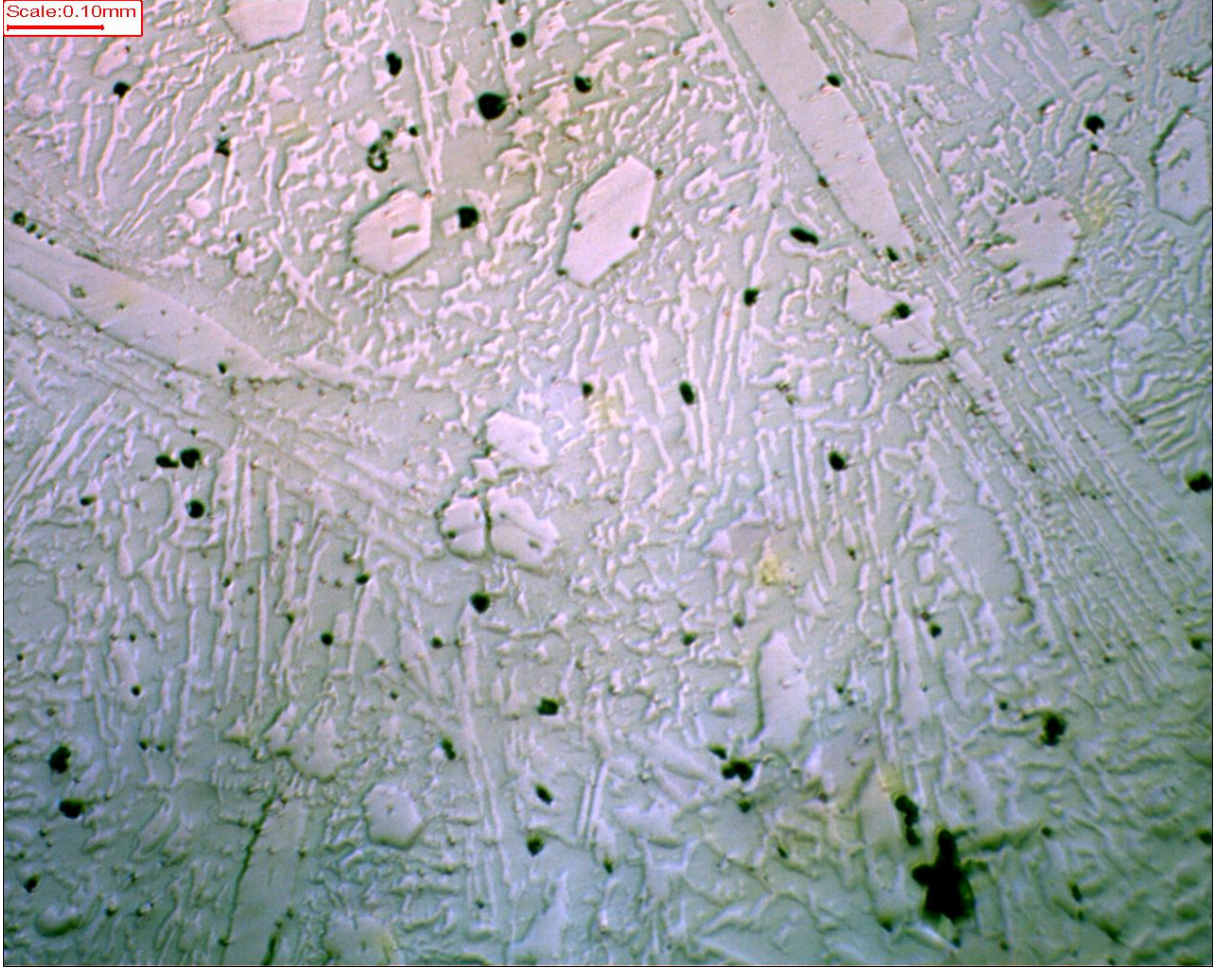
Şekil 8.14 N3.2 Optik mikroskop ile alınmış görüntü

Şekil 8.14’de görülen N3.2 numunesi 1000 °C’de 3 saat ısıl işlem görmüş ve havada soğutulmuştur. Birincil karbür boyutlarında büyüme gözlemlenmiştir. Sertlik değeri 46,07 HRc olarak ölçülmüş olup, bu aşamaya kadar deneye tabi tutulan numunelerin arasında orijinal N₀ numunesinin sertliğini geçen ilk numunedir. Aşınma direncinde iyileşme tespit edilmiştir. 10 N yük altında 0,0930 g aşınırken 20 N yük altında 0,1680 g, 30 N yük altında ise 0,2574 g kütle kaybına uğramıştır.



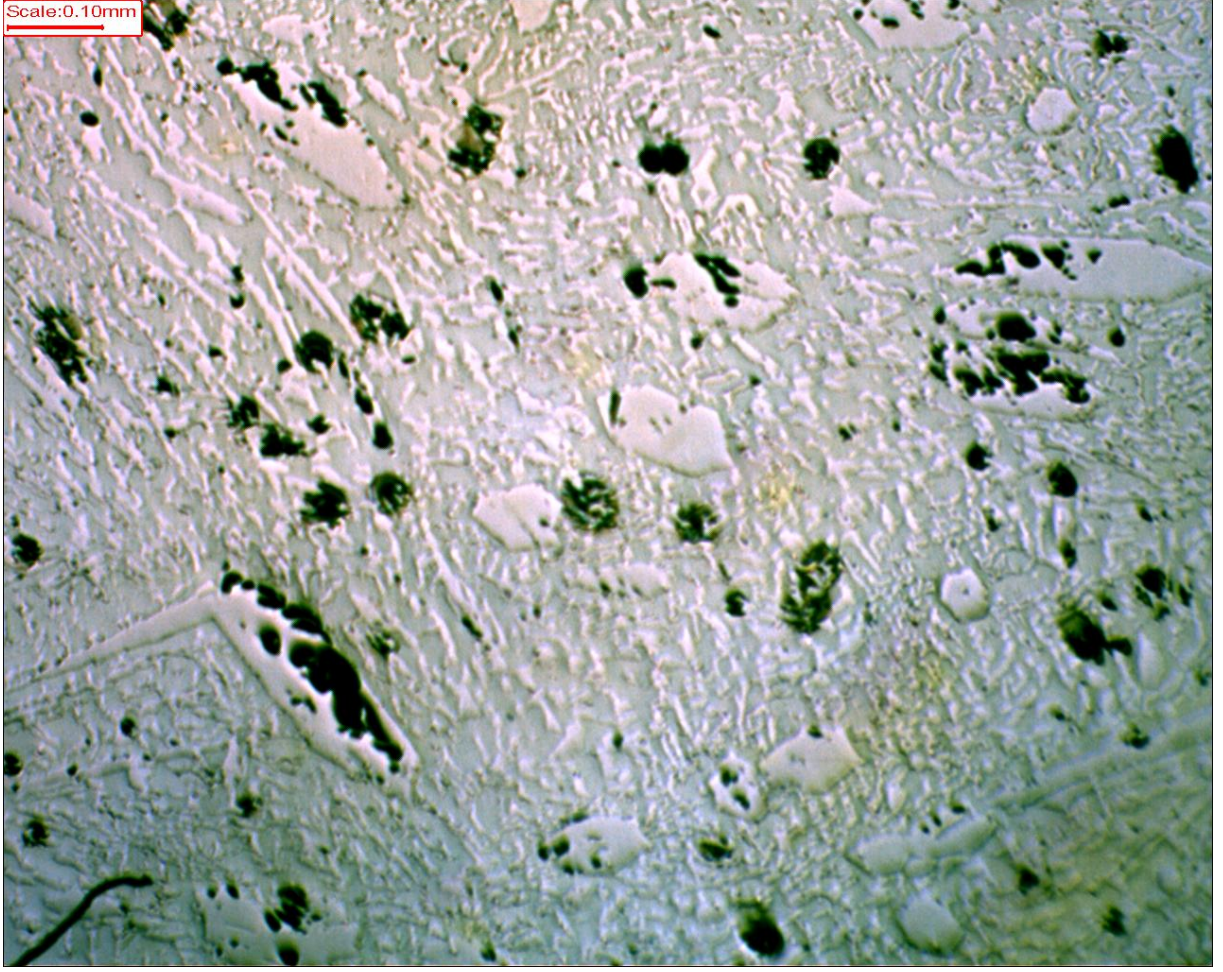
Şekil 8.15 N3.3 Optik mikroskop ile alınmış görüntü

Şekil 8.15’de görülen N3.3 numunesi 1000 °C’de 6 saat ısıtılma işlemi görmüş ve havada soğutulmuştur. Birincil karbür ebatlarında küçülme, miktarlarında ise artış gözlemlenmiştir. Karbürler homojen bir dağılım göstermekte ve toplam kapladığı hacim olarak önceki numunelere kıyasla artış gösterdiği izlenmiştir. Bunun yanında sertlik değeri 43,33 HRc olarak ölçülmüş olup, orijinal N₀ numunesinin sertlik değerine oldukça yakındır. Aşınma direncinde iyileşme tespit edilmiştir. 10 N yük altında 0,1223 g aşınırken 20 N yük altında 0,1816 g, 30 N yük altında ise 0,2816 g kütle kaybına uğramıştır.



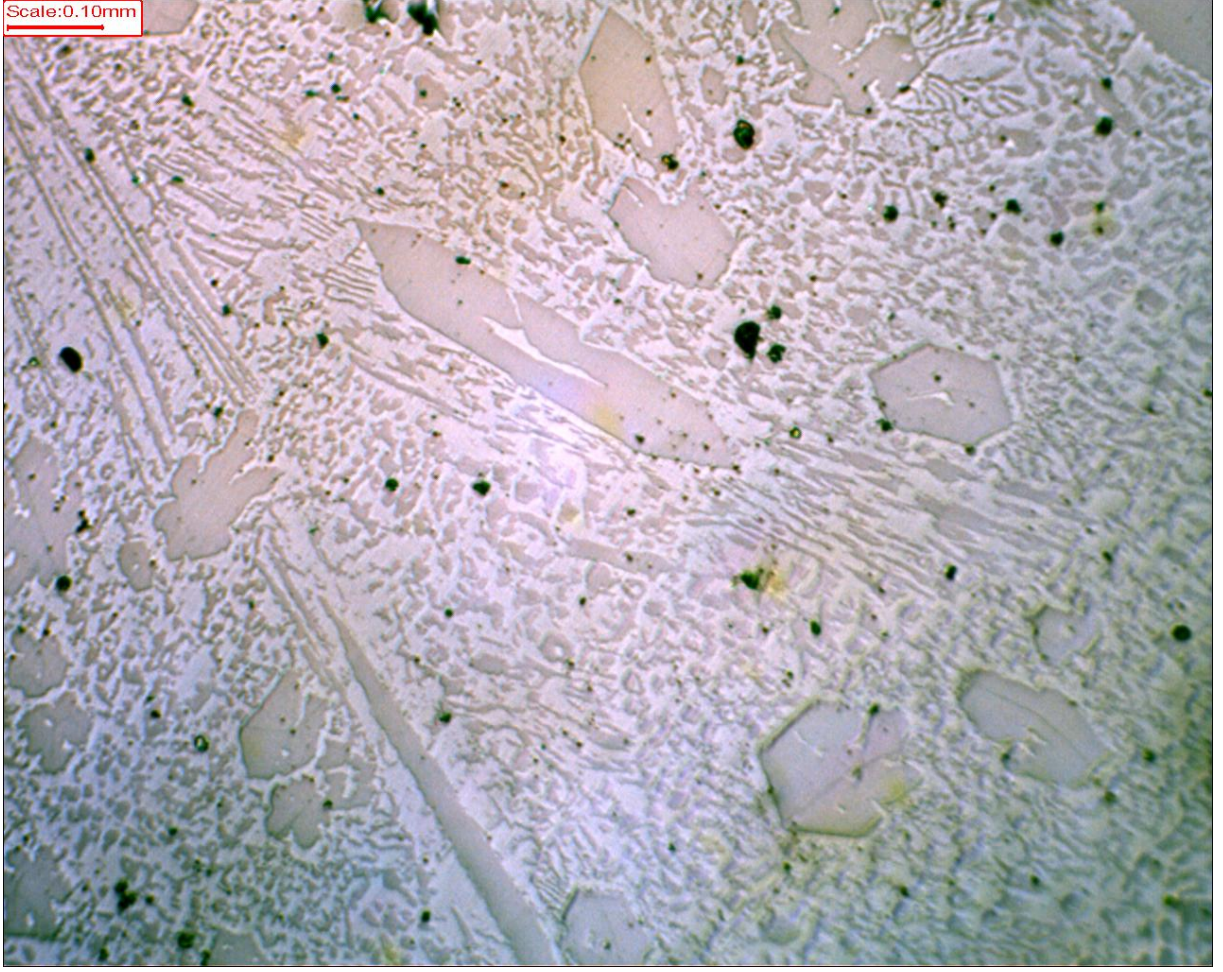
Şekil 8.16 N3.4 Optik mikroskop ile alınmış görüntü

Şekil 8.16'da görülen N3.4 numunesi 1000 °C'de 12 saat ısıtılmış ve tuzlu suda soğutulmuştur. Farklı değerlerde karbür ebatları izlenmiştir. Sertlik değeri 47.4 HRc olarak ölçülmüştür. Aşınma direncinde iyileşme tespit edilmiştir. 10 N yük altında 0,1180 g aşınırken 20 N yük altında 0,1740 g, 30 N yük altında ise 0,2614 g kütle kaybına uğramıştır.



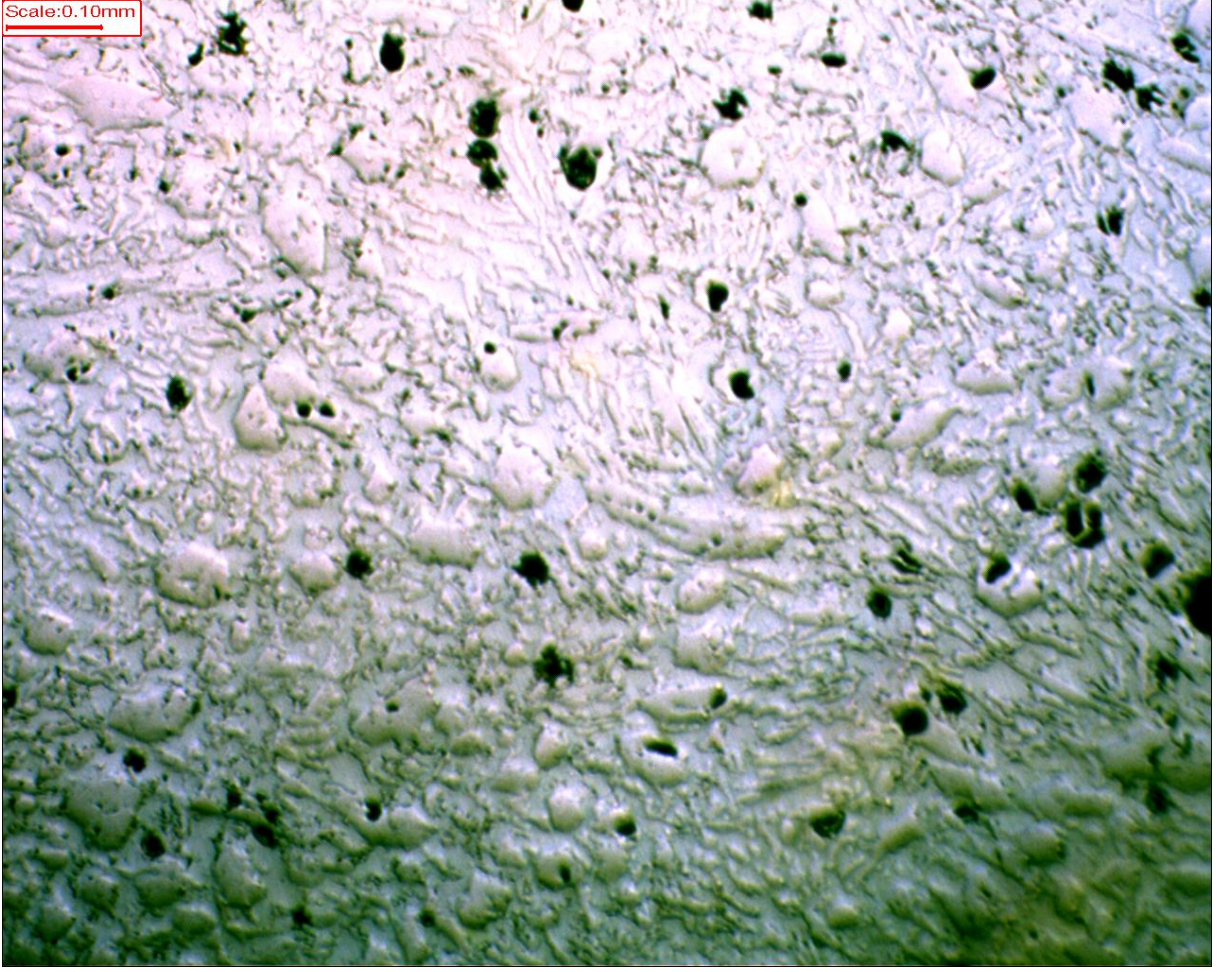
Şekil 8.17 N3.5 Optik mikroskop ile alınmış görüntü

Şekil 8.17’de görülen N3.5 numunesi 1000 °C’de 12 saat ısıtılmış ve yağda soğutulmuştur. Farklı değerlerde karbür ebatları izlenmiştir. Sertlik değeri 48,77 HRc olarak ölçülmüştür. Bu değer 1000 °C’de ısıtılmış olan tüm deney numunelerinin arasında izlenen en yüksek sertlik değeridir. Hiç ısıtılmamış olan N₀ numunesine kıyasla sertlikte %11,6 artış görülmüştür. Aşınma direncinde iyileşme tespit edilmiştir. 10 N yük altında 0,1013 g aşınırken 20 N yük altında 0,1549 g, 30 N yük altında ise 0,2350 g kütle kaybına uğramıştır.



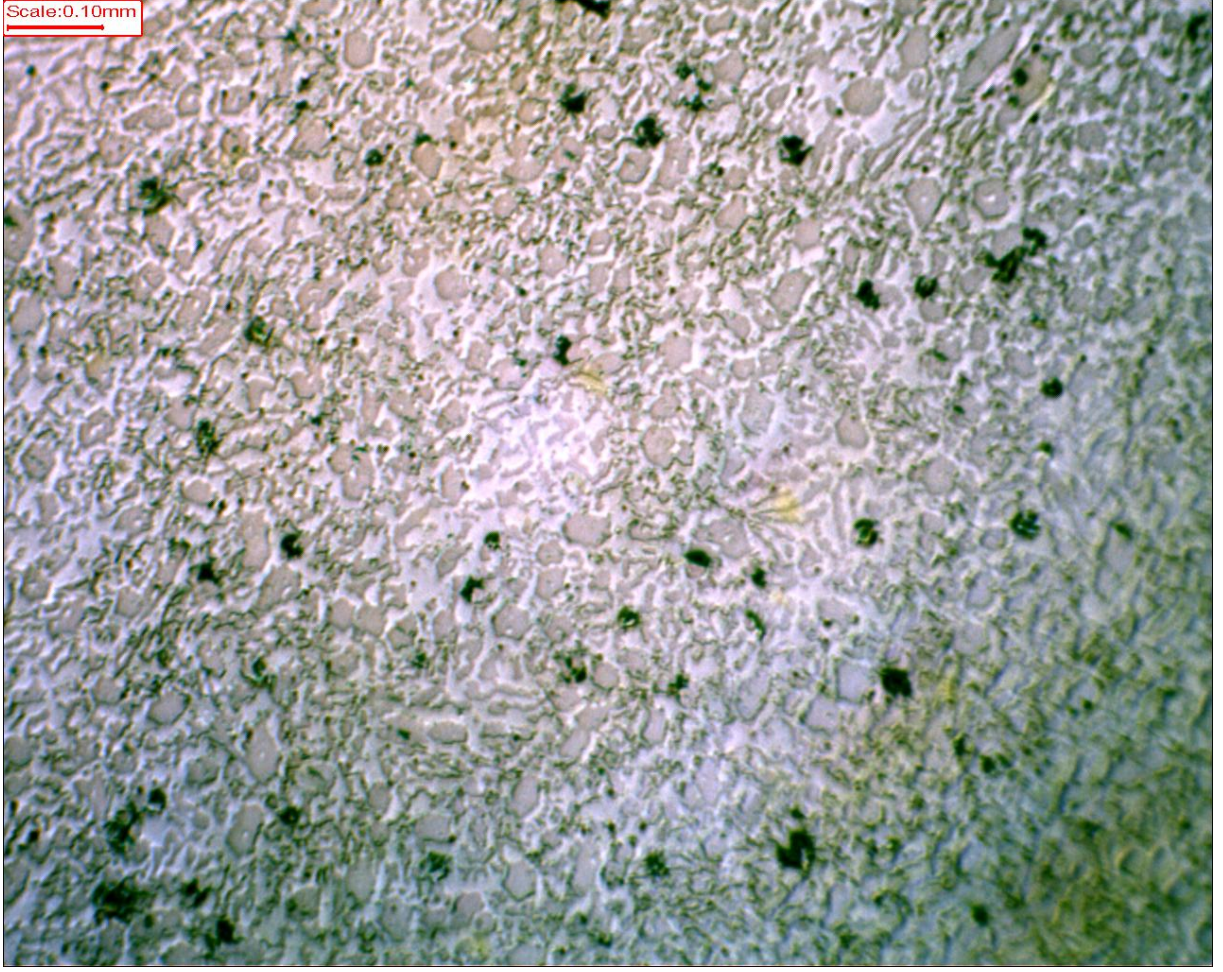
Şekil 8.18 N3.6 Optik mikroskop ile alınmış görüntü

Şekil 8.18’de görülen N3.6 numunesi 1000 °C’de 12 saat ısıl işlem görmüş ve havada soğutulmuştur. Karbür ebatlarında çoğunlukla artış gözlemlenmiştir. 0,6 mm’ye kadar birincil karbürler izlenmiştir. Sertlik değeri 44,10 HRc olarak ölçülmüştür. Bu değer N_0 numunesinin sertliğinden az bir miktar fazladır. 10 N yük altında 0,1564 g aşınırken 20 N yük altında 0,2302 g, 30 N yük altında ise 0,3130 g kütle kaybına uğramıştır. Bu değerler hiç ısıl işlem görmemiş olan N_0 numunesinin aşınma miktarlarına oldukça yakındır. Mikro yapıda incelenen karbür boyutlarındaki değişim dışında genel olarak malzemenin özelliklerinde önemli bir değişiklik tespit edilmemiştir.



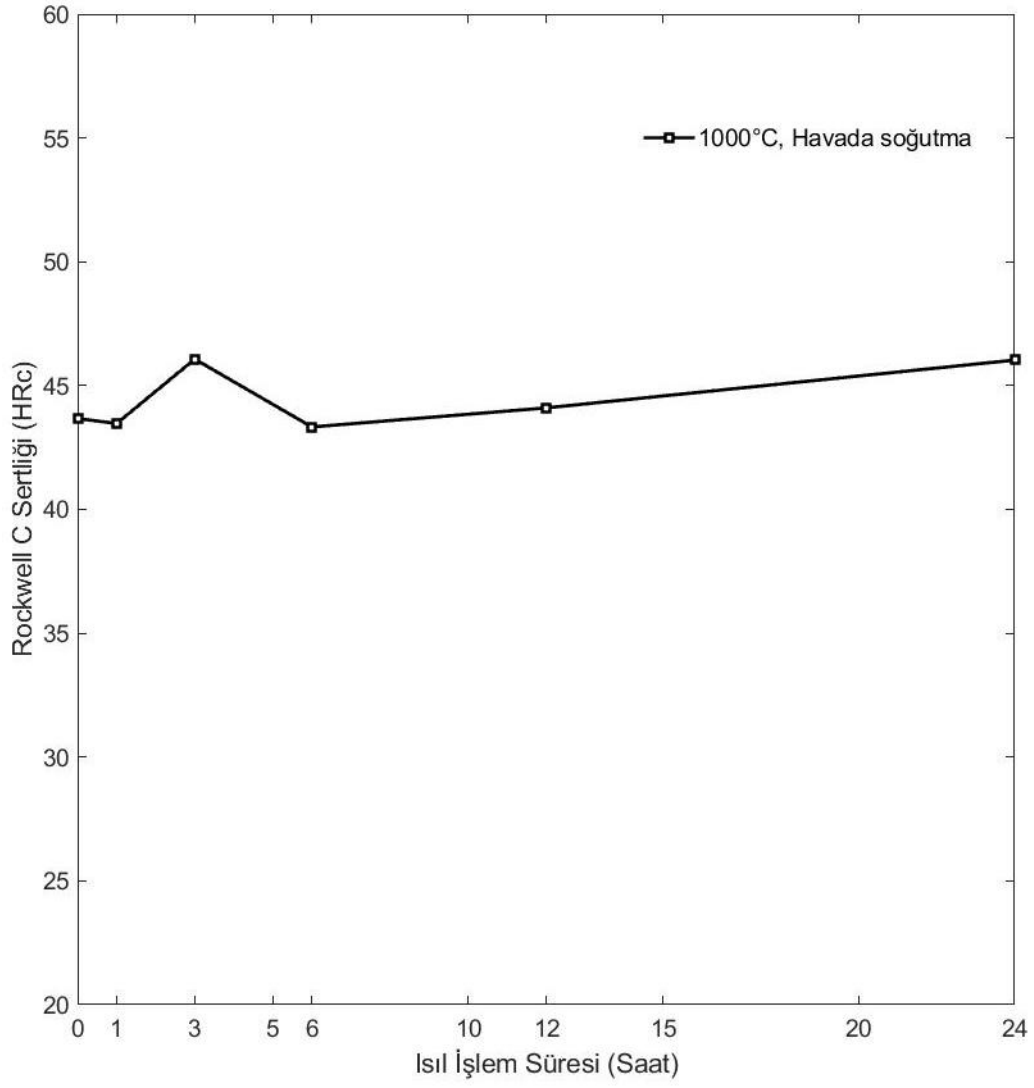
Şekil 8.19 N3.7 Optik mikroskop ile alınmış görüntü

Şekil 8.19'da görülen N3.7 numunesi 1000 °C'de 12 saat ısıl işlem görmüş ve havada soğutulmuştur. Bunun ardından 180 °C'de 1 saat süreyle temperleme işlemine tabi tutulmuştur. Birincil ve ikincil karbür miktarlarında artış gözlemlenmiştir. Sertlik değeri 36,10 HRc olarak ölçülmüştür. Bu sonuçtan anlaşılacağı üzere temperleme işlemi yüksek kromlu beyaz dökme demir malzememizde sertlik değerini önemli ölçüde düşürmüştür. Öte yandan aşınma değerlerinde orijinal N₀ numunesine ve temperleme haricinde aynı aşamalardan geçmiş olan N3.6 numunesine göre iyileşme izlenmiştir. 10 N yük altında 0,1360 g aşınırken 20 N yük altında 0,2153 g, 30 N yük altında ise 0,3255 g kütle kaybına uğramıştır.

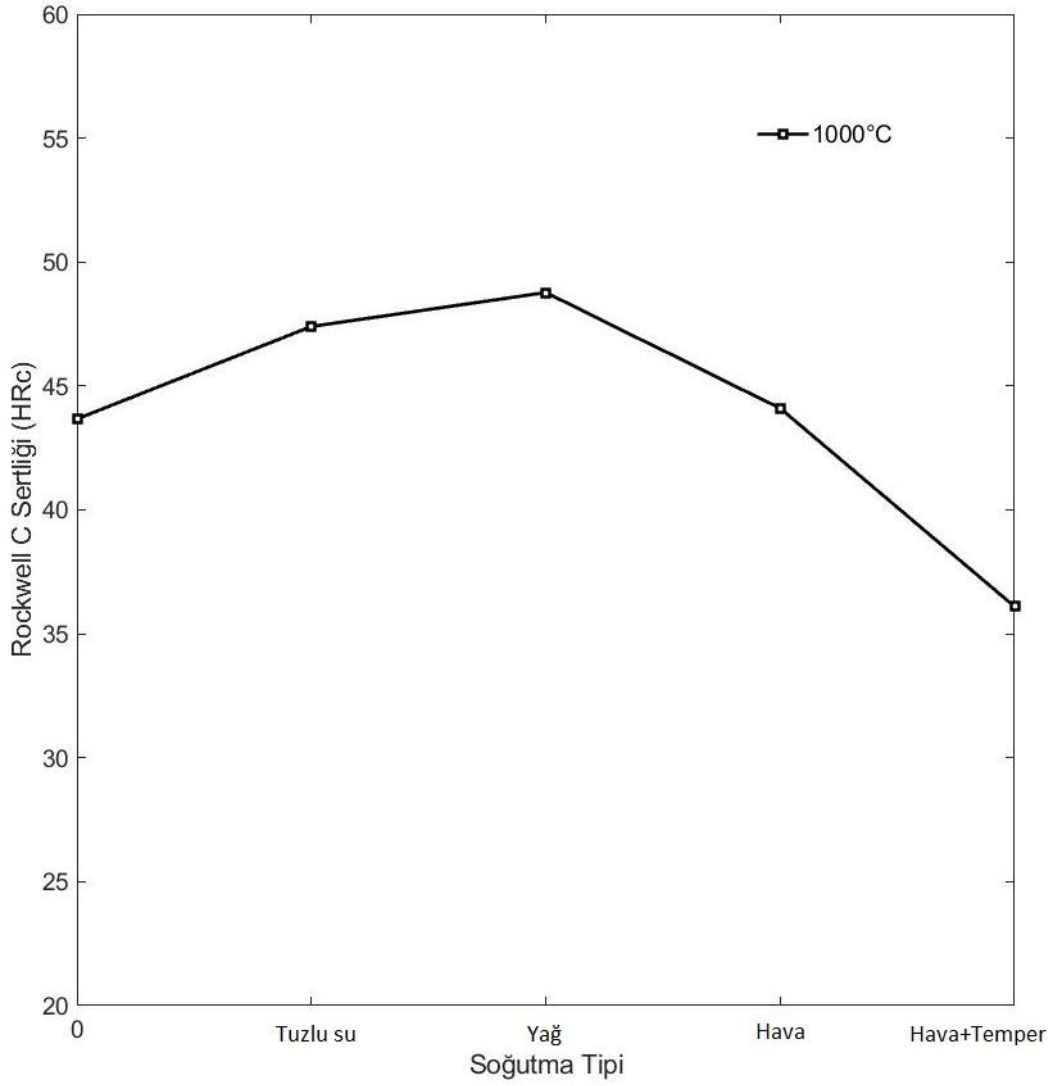


Şekil 8.20 N3.8 Optik mikroskop ile alınmış görüntü

Şekil 8.20'de görülen N3.8 numunesi 1000 °C'de 24 saat ısıtılmış ve havada soğutulmuştur. Bu süre deneye tabi tutulan numunelerin ısıtılma süreleri arasındaki en uzun süredir. Karbür ebatlarında küçülme izlenmiş, bunun yanında yoğun ve homojen bir dağılım gözlemlenmiştir. Sertlik değeri 46,03 HRC olarak ölçülmüştür. Bu değer N₀ numunesinin sertliğinden %5,4 fazladır. 10 N yük altında 0,1068 g aşırken 20 N yük altında 0,1640 g, 30 N yük altında ise 0,2486 g kütle kaybına uğramıştır. Bu değerlere bakıldığında aşınma direncinde önemli ölçüde iyileşme izlenmiştir.

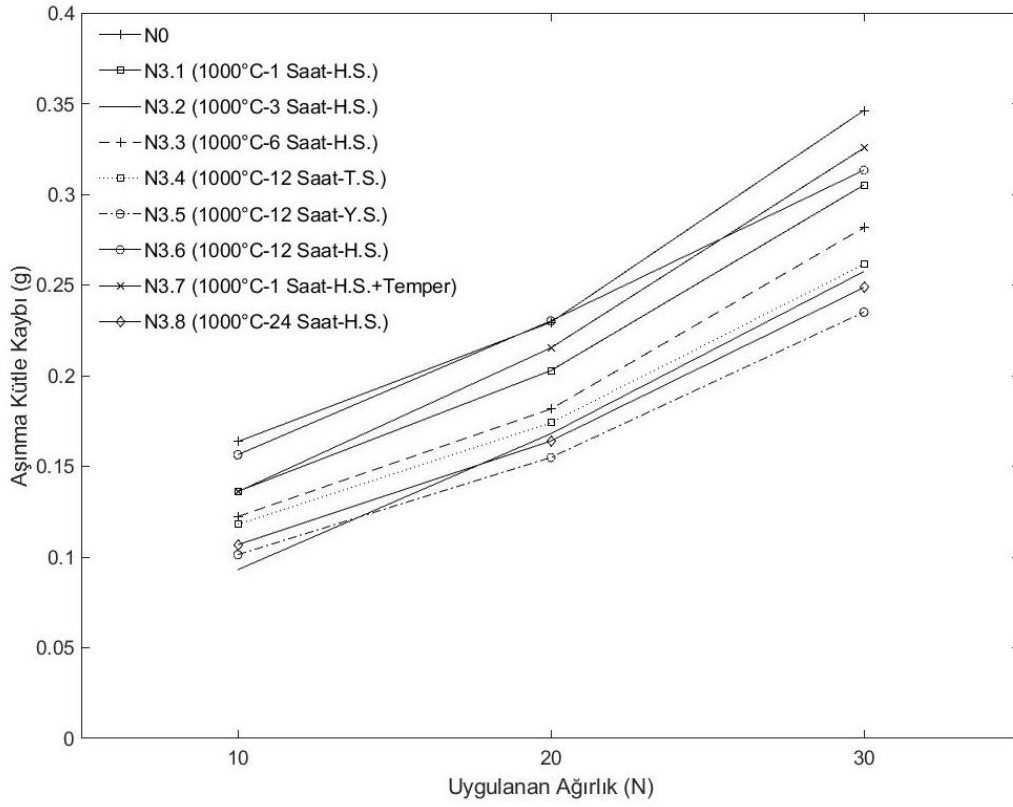


Şekil 8.21 N₀ ve 1000 °C’de ısıl işlem görmüş ve havada soğutulmuş N3.1, N3.2, N3.3, N3.6, N3.8 numunelerinin sertliklerindeki değişim



Şekil 8.22 N₀ ve 1000 °C’de 12 saat boyunca ısıtılmış ancak farklı şartlarda soğutulmuş N3.4, N3.5, N3.6, N3.7 numunelerinin sertliklerindeki değişim

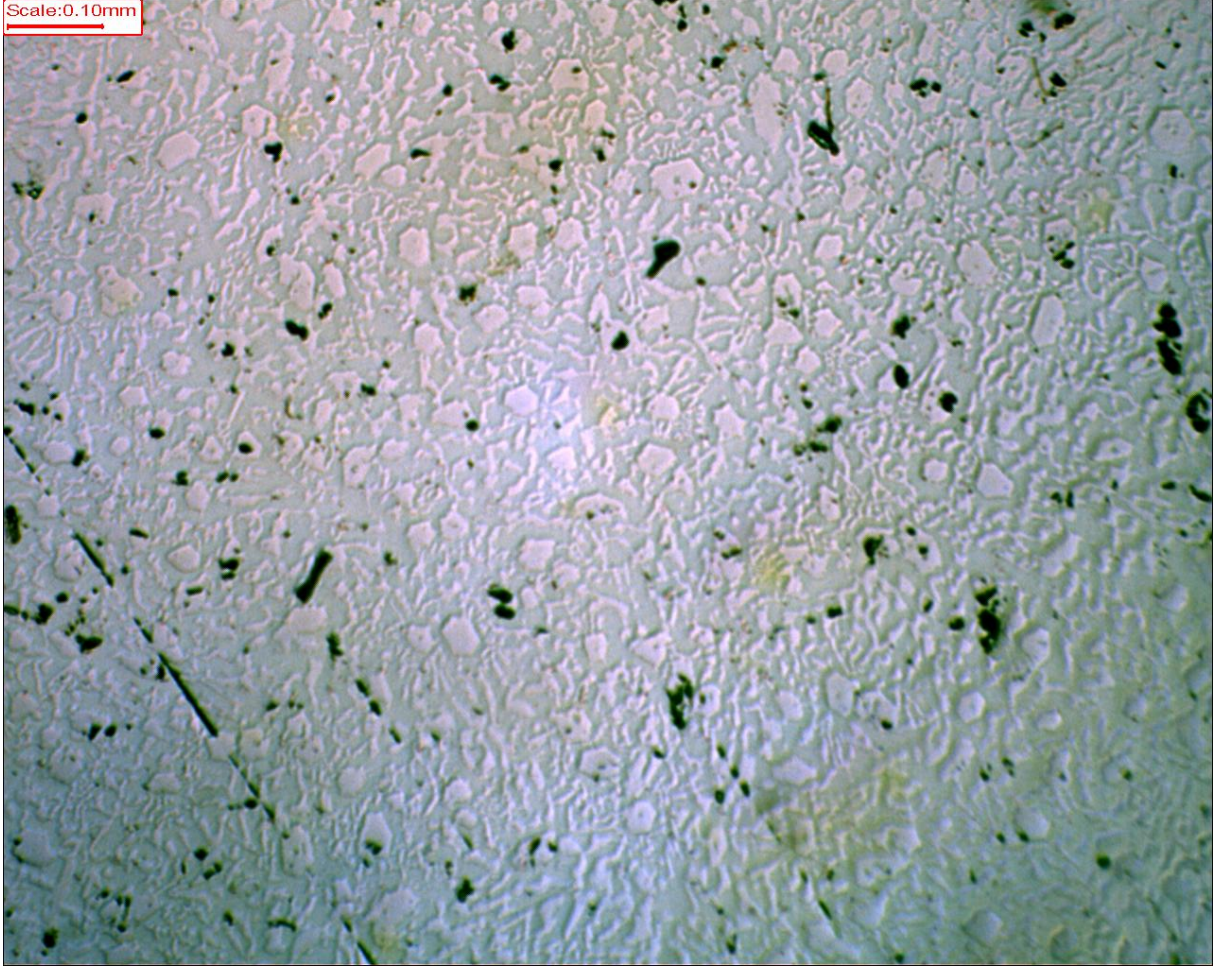
1000 °C’de 12 saat boyunca ısıtılmış olan 4 numune N₀ ile birlikte incelendiğinde en yüksek sertliğin yağda soğutulmuş olduğu Şekil 8.22’den anlaşılmaktadır. Bunun yanında aynı ısıtım ve soğutma şartlarına sahip olan N3.6 ve N3.7 numunelerinin sertlikleri arasında yaklaşık 10 HRC’lik bir fark vardır. Bunun sebebi N3.7 numunesinin sonradan 180 °C’de 1 saat boyunca temperlenmiş olmasıdır. Ayrıca yalnızca 1000 °C’de ısıtılmış ve havada soğutulmuş numunelerin sertlik grafiği Şekil 8.21’de verilmiştir. Buradan anlaşılacağı üzere hava soğutma durumunda sertlik iyileşmesi yalnızca 3 saat ve 24 saat ısıtılmış numunelerde elde edilmiştir. Bu numunelerin sertlik değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 8.23 N₀ ve 1000 °C’de ısıl işlem görmüş numunelerin aşınma miktarlarındaki değişim

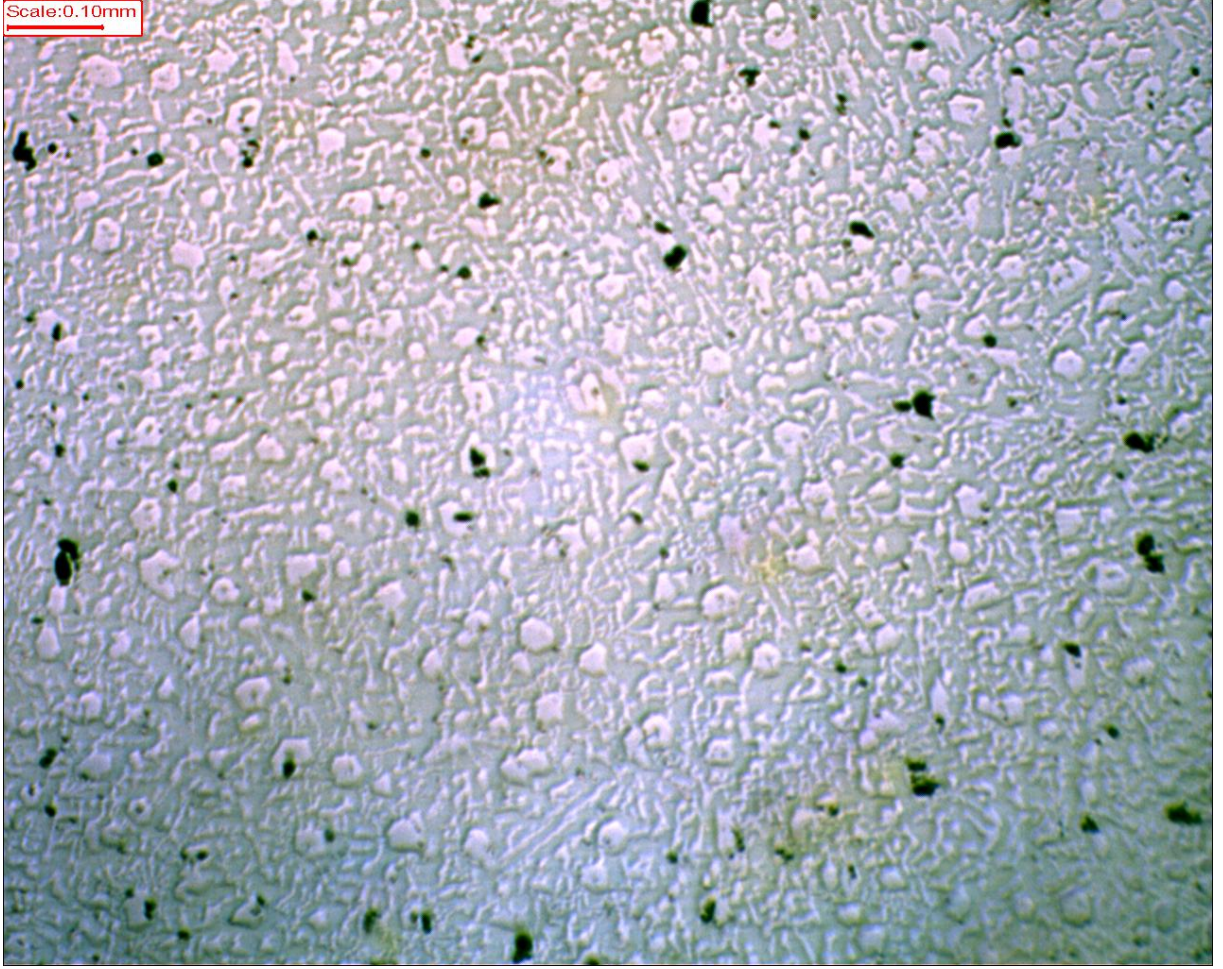
Şekil 8.23’de verilen grafik hiç ısıl işlem görmemiş olan N₀ numunesinin ve 1000 °C’de farklı sürelerde ısıl işlem görmüş ve bazıları için farklı soğutma şartları uygulanmış olan 8 adet numunenin aşınma kayıplarını göstermektedir. Buradan anlaşılacağı üzere bu bölümde incelenen işlem görmüş olan tüm numunelerin aşınma dirençlerinde N₀’a göre iyileşme izlenmiştir. 10 N yük altında en iyi aşınma direncini gösteren numune 1000 °C’de 3 saat ısıl işlem görmüş ve havada soğutulmuş olan N3.2 numunesidir. Bunun yanında 20 N ve 30 N yük altında en iyi aşınma direncine sahip olan numune ise 1000 °C’de 12 saat ısıl işlem görerek yağda soğutulmuş olan N3.5 numunesidir. Şekil 8.23’de sertlik değişimlerini gösteren grafikten anlaşılacağı üzere 1000 °C’de ısıl işlem görmüş olan numunelerin arasında en yüksek sertlik değerine sahip numune yine N3.5 numunesidir. N3.5 numunesinin hem artan yüklerde daha iyi aşınma direnci gösterdiği, hem de bu numunelerin arasında en yüksek sertliğe sahip olduğu tespit edilmiştir.

Buna ek olarak, temperleme işlemine tabi tutulan N3.7 numunesinin sertliğinde, temperleme uygulanmadan önceki haline göre (N3.6) %18.1'lik bir azalma izlenmiştir. Aynı oran aşınma direncinde izlenmemiş, aşınma kayıplarında yakın değerler tespit edilmiştir.



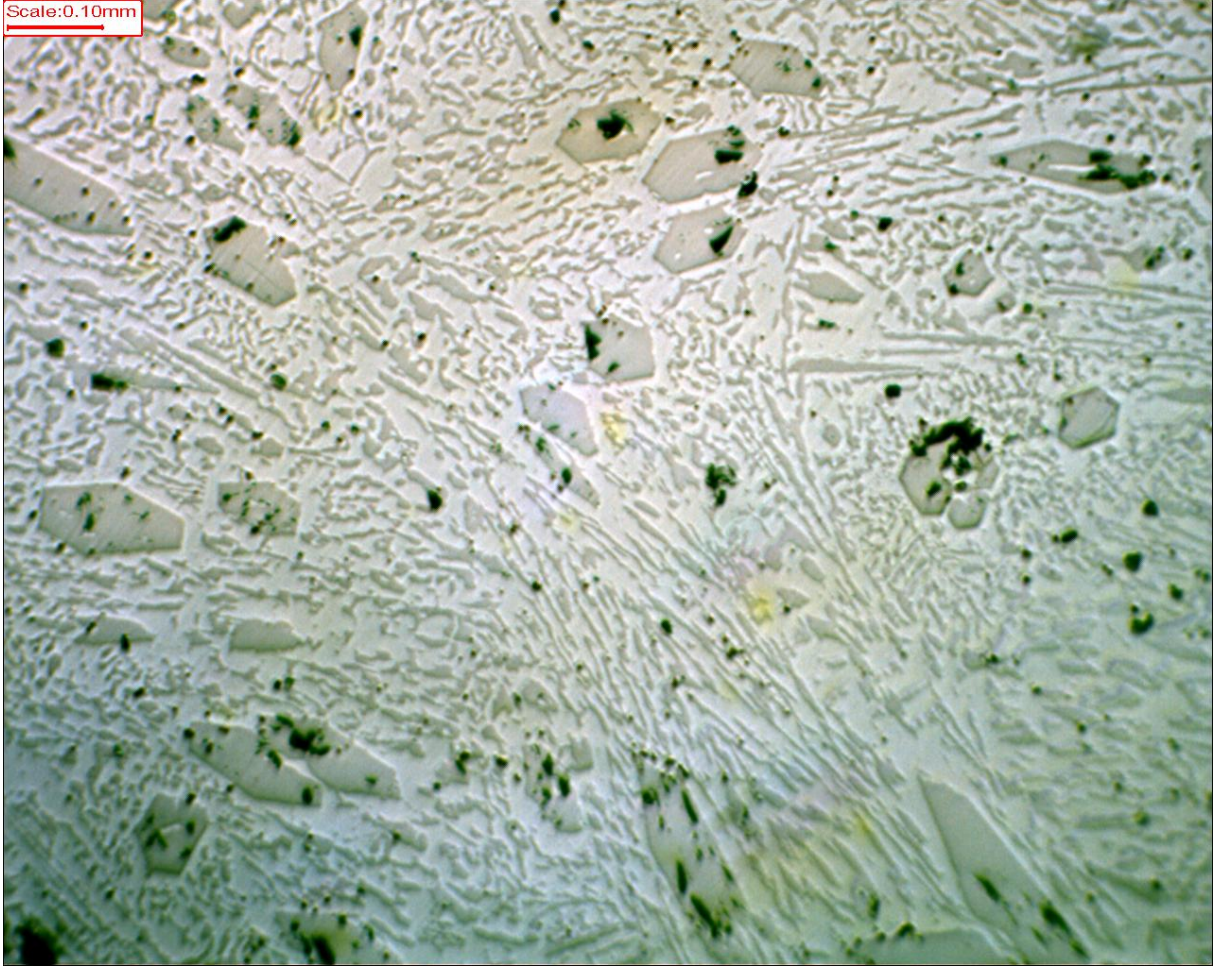
Şekil 8.24 N4.1 Optik mikroskop ile alınmış görüntü

Şekil 8.24'de görülen N4.1 numunesi 1100 °C'de 1 saat ısıtılmış ve havada soğutulmuştur. Karbür ebatlarında küçülme izlenmiş, bunun yanında yoğun ve homojen bir dağılıma gözlemlenmiştir. Sertlik değeri 55,10 HRC olarak ölçülmüştür. Bu değer yalnızca 1100 °C bandında ısıtılmış ve soğutulmuş olan numuneler değil, tüm deney numunelerinin arasında ulaşılmış en yüksek sertlik değeridir ve hiç ısıtılmamış olan N₀ numunesinin sertliğinden %26,17 fazladır. 10 N yük altında 0,0857 g aşınırken 20 N yük altında 0,1308 g, 30 N yük altında ise 0,1926 g kütle kaybına uğramıştır. Bu değerlere bakıldığında aşınma direncinde 10 N yük altında %47,61, 20 N yük altında %42,98 ve 30 N yük altında %44,37 oranlarında olmak üzere önemli ölçüde iyileşme izlenmiştir.



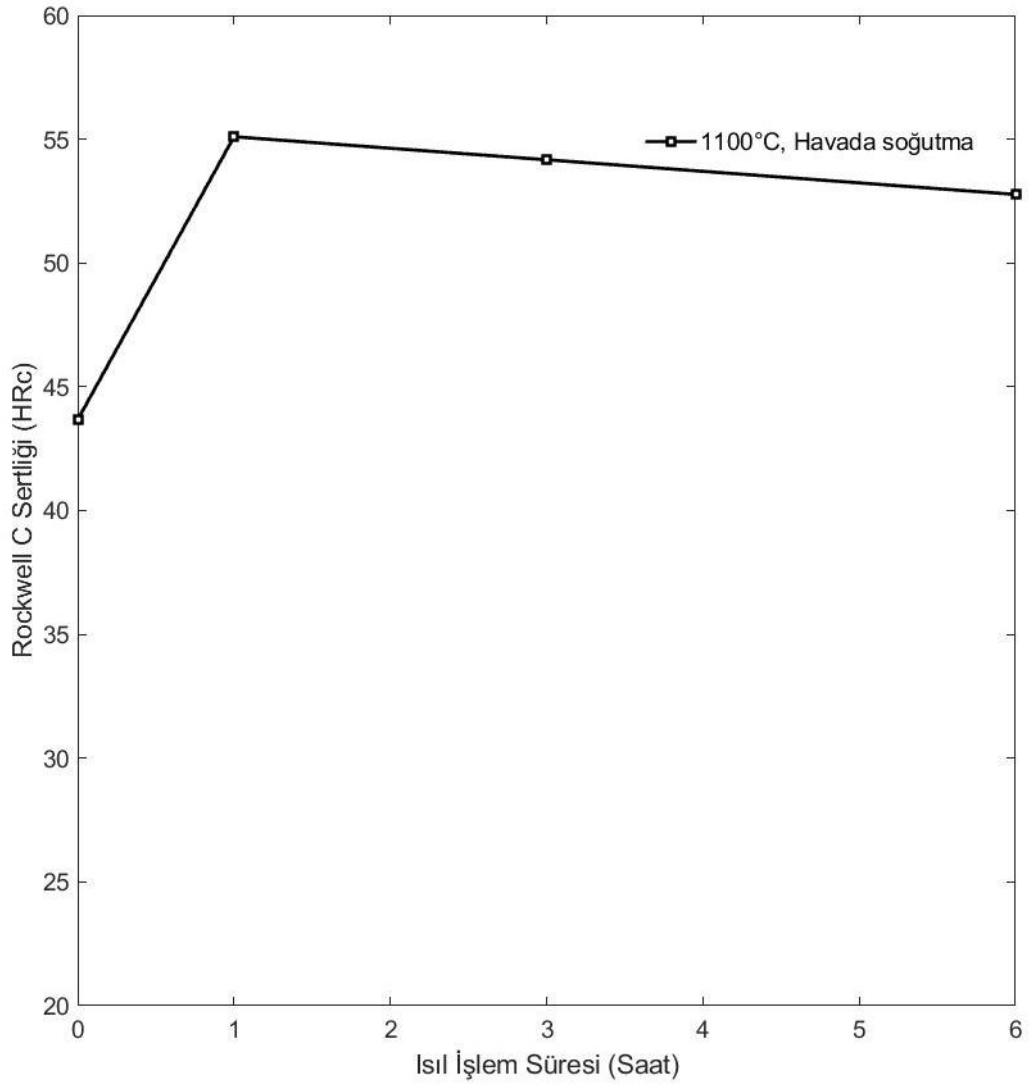
Şekil 8.25 N4.2 Optik mikroskop ile alınmış görüntü

Şekil 8.25’de görülen N4.2 numunesi 1100 °C’de 3 saat ısıl işlem görmüş ve havada soğutulmuştur. Karbür ebatlarında küçülme izlenmiş, bunun yanında yoğun ve homojen bir dağılıma gözlemlenmiştir. Sertlik değeri 54,17 HRc olarak ölçülmüştür. 10 N yük altında 0,0790 g aşınırken 20 N yük altında 0,1301 g, 30 N yük altında ise 0,1918 g kütle kaybına uğramıştır. Bu numune, deneylere tabi tutulan bütün numunelerin arasında en iyi aşınma direncine sahip numunedir. Aşınma direncinde 10 N yük altında %51,71, 20 N yük altında %43,29 ve 30 N yük altında %44,6 oranlarında iyileşme izlenmiştir.

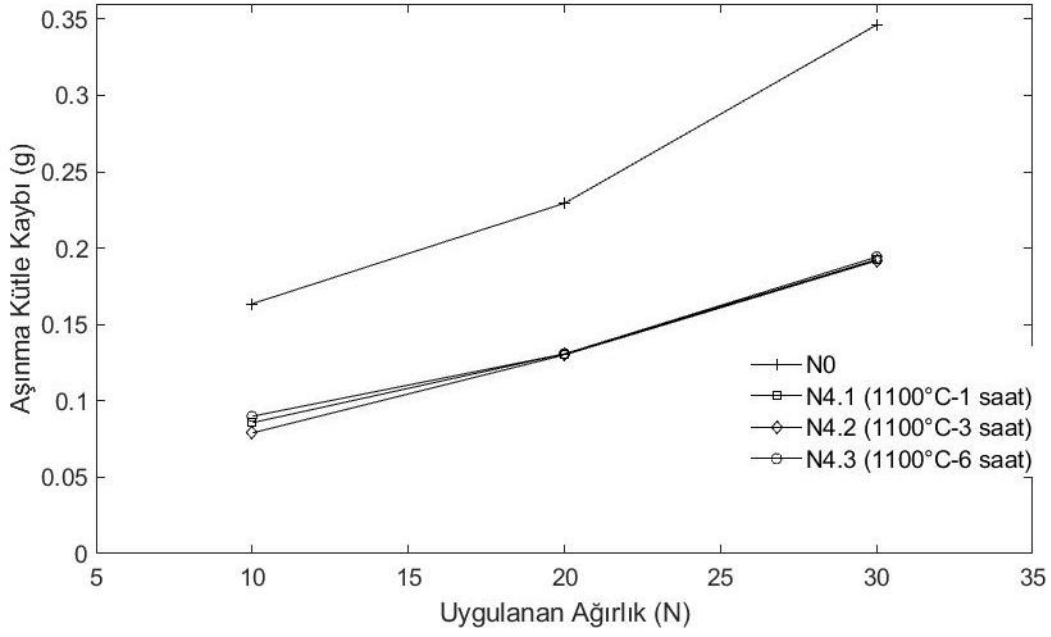


Şekil 8.26 N4.3 Optik mikroskop ile alınmış görüntü

Şekil 8.26’da görülen N4.3 numunesi 1100 °C’de 6 saat ısıtılma işlemi görmüş ve havada soğutulmuştur. 1100 °C’de ısıtılma işlemi görmüş olan N4.1 ve N4.2 numunelerinden daha farklı bir mikro yapı izlenmiştir. Karbür ebatlarında artış, bunun yanında düzensiz bir dağılım ve miktarlarında ise azalma tespit edilmiştir. Numunenin sertlik değeri 52,77 HRC olarak ölçülmüştür. 10 N yük altında 0,0899 g aşınırken 20 N yük altında 0,1308 g, 30 N yük altında ise 0,1942 g kütle kaybına uğramıştır. Mikro yapıda görülen önemli farklılıkların yanı sıra sertlik ve aşınma direnci değerleri arasında çok büyük farklılıklar izlenmemiştir.

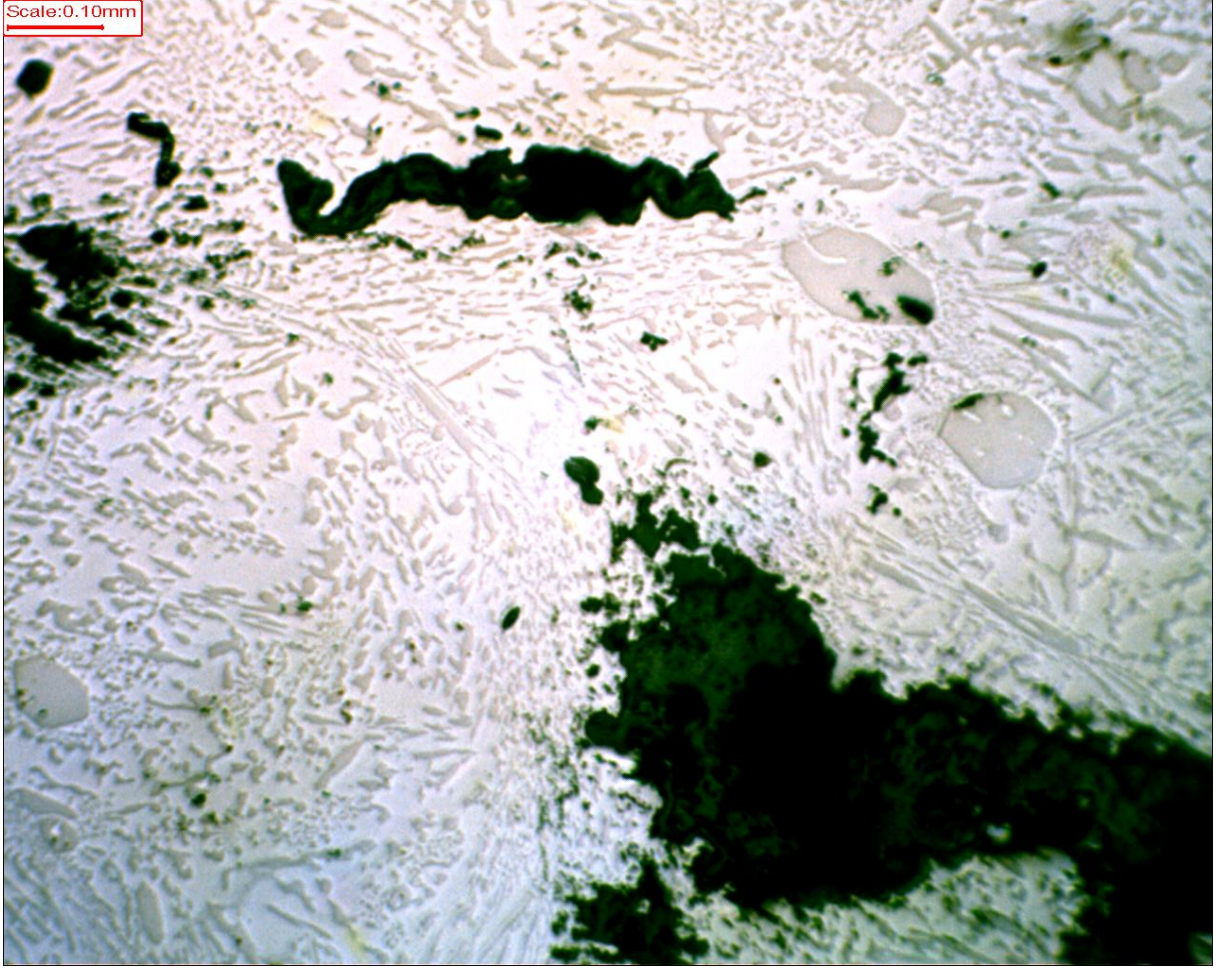


Şekil 8.27 N₀ ve 1100 °C’de ısıl işlem görmüş ve havada soğutulmuş N4.1, N4.2, N4.3 numunelerinin sertliklerindeki değişim



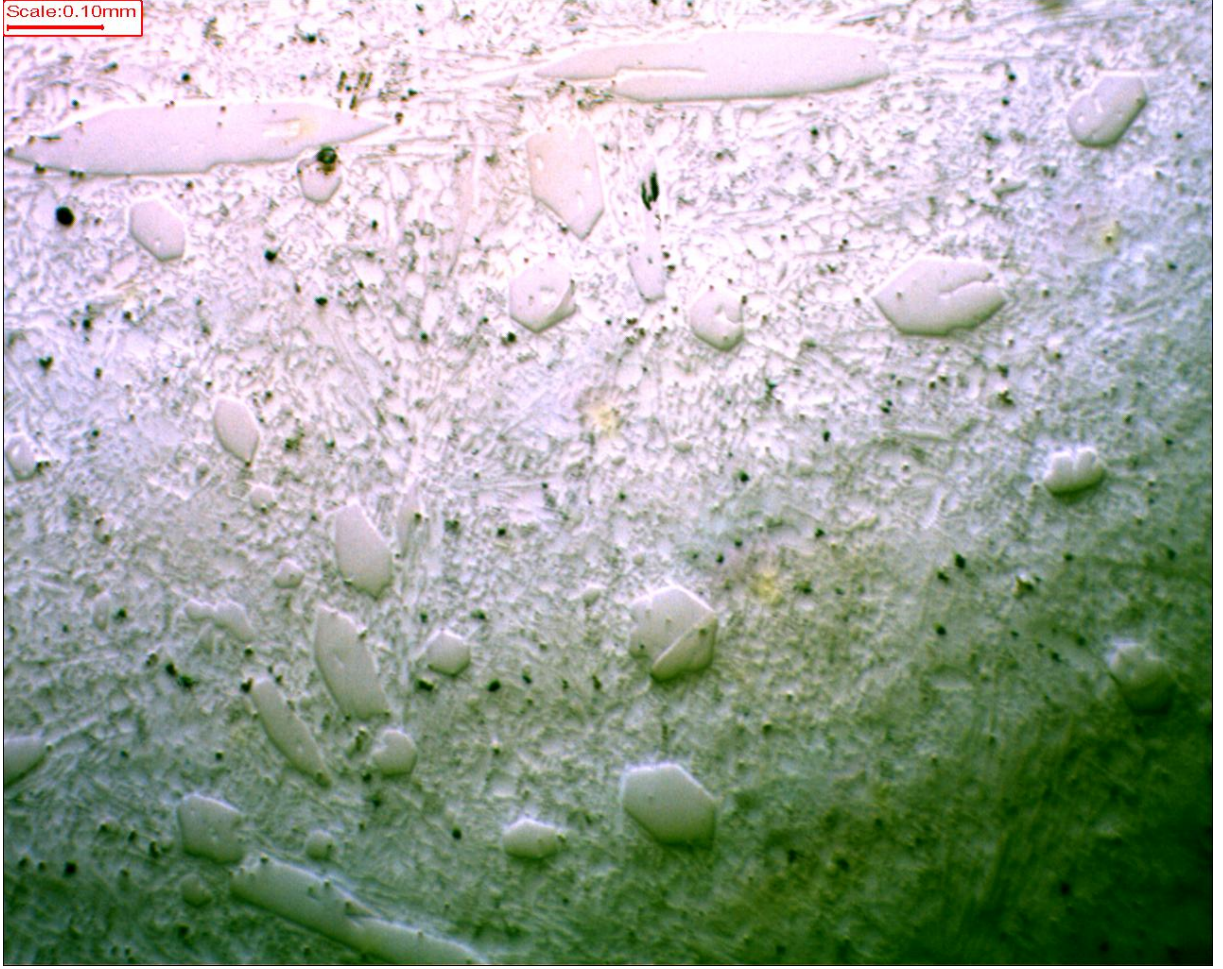
Şekil 8.28 N₀ ve 1100 °C’de ısıtılmış ve havada soğutulmuş numunelerin aşınma miktarlarındaki değişim

Şekil 8.27’de verilen grafikte N₀ numunesi ve 1100 °C’de ısıtılmış ve havada soğutulmuş olan 3 numunenin sertliklerindeki değişim gösterilmiştir. Şekil 8.28 ise aynı numunelerin aşınma kayıplarını göstermektedir. Buna göre 1100 °C yüksek krom-molibdenli beyaz dökme demir malzememizin en yüksek sertlik ve aşınma direnci değerlerine ulaştığı sıcaklık skalasıdır. Bu sıcaklıkta 1 saat ısıtılmış ve havada soğutulmuş olan N4.1 numunesi en yüksek sertlik değerine, 3 saat ısıtılmış ve havada soğutulmuş olan N4.2 numunesi ise en yüksek aşınma direncine sahiptir. Bunun yanında her iki numunenin sertlik ve aşınma dirençlerindeki değerler birbirine oldukça yakındır.



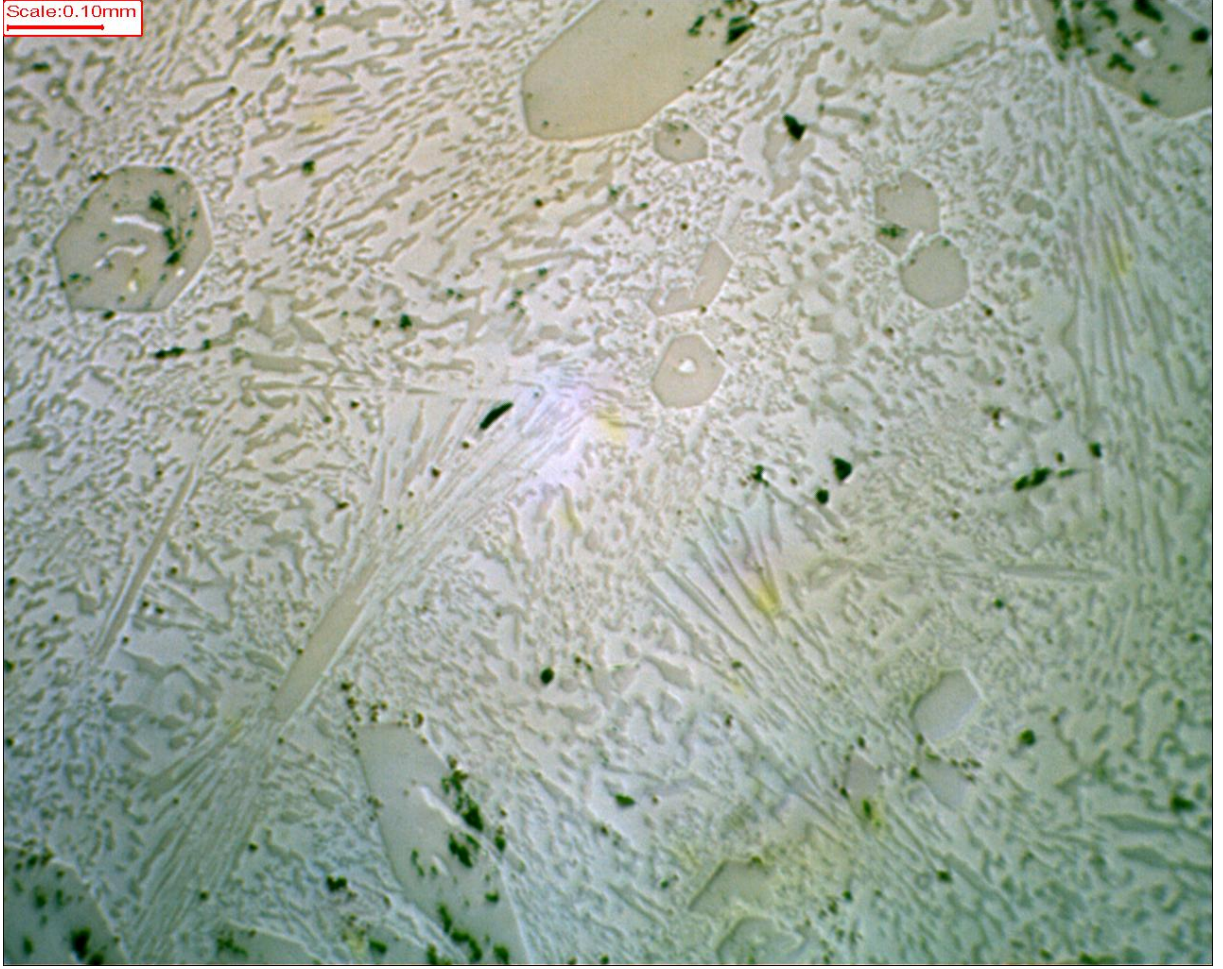
Şekil 8.29 1200 °C’de ısıl işlem görmüş numunelerin yapısındaki bozulma

Yüksek krom-molibdenli beyaz dökme demir malzememize uygulanan ısıl işlem sıcaklıklarında kullanılan en yüksek sıcaklık değeri olan 1200 °C’nin, malzemeyi eriterek hem mikro yapıda bozulmalara, hem de gözle görülebilir göçüklere sebep olduğu tespit edilmiştir (Şekil 8.29). Bu durum istenmeyen bir durum olduğundan ısıl işlemin bu sıcaklık değerinde yapılmaması gerektiği belirlenmiştir. Bunun yanında mikro yapısı ile ilgili yorumlamalar yapılmayacaktır. Ancak bundan sonraki çalışmalara ışık tutması açısından, 1200 °C’de ısıl işlem görmüş olan N5.1, N5.2 ve N5.3 numunelerinin optik mikroskop ile alınmış görüntüleri, sertlik değerleri ve aşınma kayıpları bu çalışmada verilmiştir.



Şekil 8.30 N5.1 Optik mikroskop ile alınmış görüntü

Şekil 8.30'da mikro yapı görüntüsü verilen N5.1 numunesi 1200 °C'de 1 saat ısıtılma işlemine tabi tutulmuş ve havada soğutulmuştur. Sertlik değeri 50.87 HRc olarak ölçülmüştür. 10 N yük altında aşınma miktarı 0,0989 g, 20 N yük altında aşınma miktarı 0,1431 g, 30 N yük altında aşınma miktarı 0,2152 g'dır.



Şekil 8.31 N5.2 Optik mikroskop ile alınmış görüntü

Şekil 8.31’de mikro yapı görüntüsü verilen N5.2 numunesi 1200 °C’de 3 saat ısıl işleme tabi tutulmuş ve havada soğutulmuştur. Sertlik değeri 48,97 HRc olarak ölçülmüştür. 10 N yük altında aşınma miktarı 0,1013 g, 20 N yük altında aşınma miktarı 0,1487 g, 30 N yük altında aşınma miktarı 0,2281 g’dır.

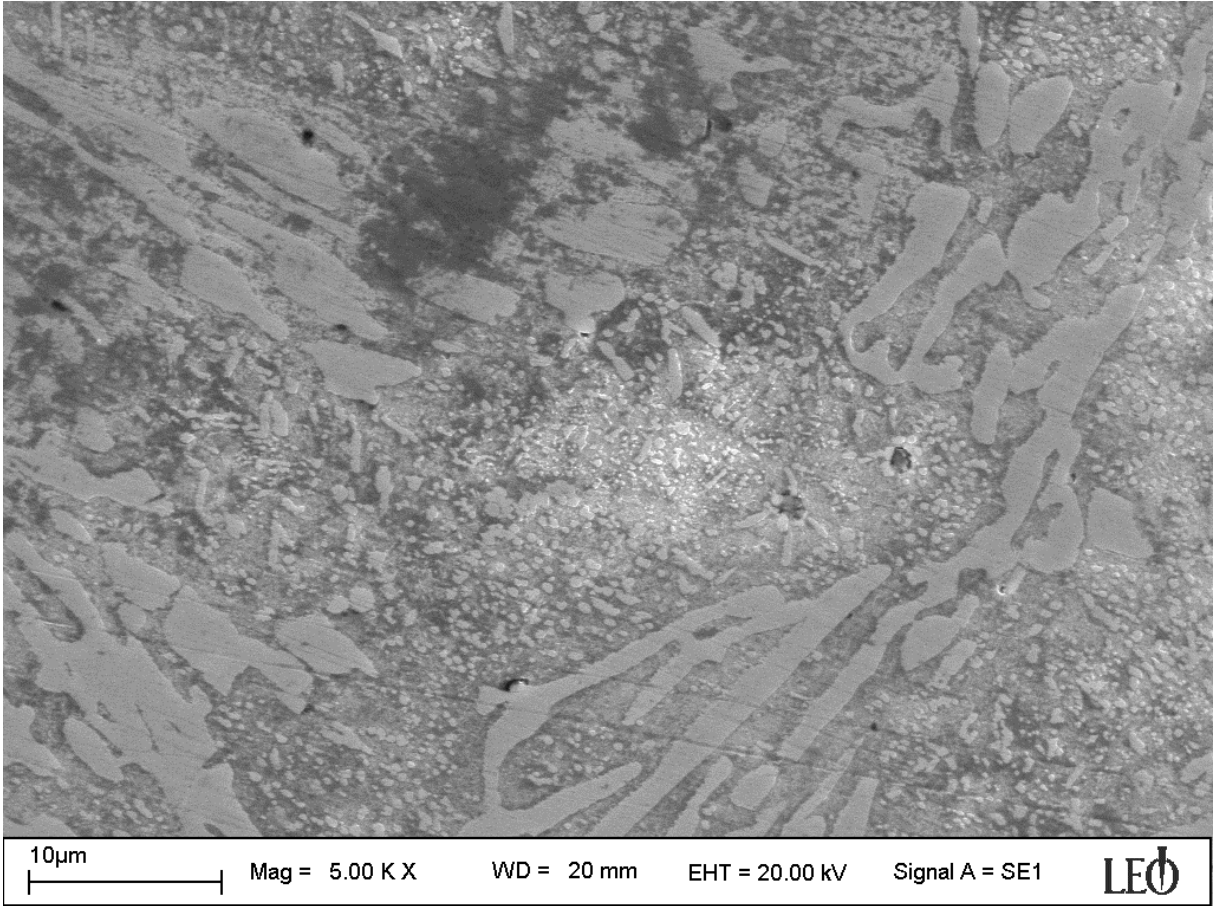


Şekil 8.32 N5.3 Optik mikroskop ile alınmış görüntü

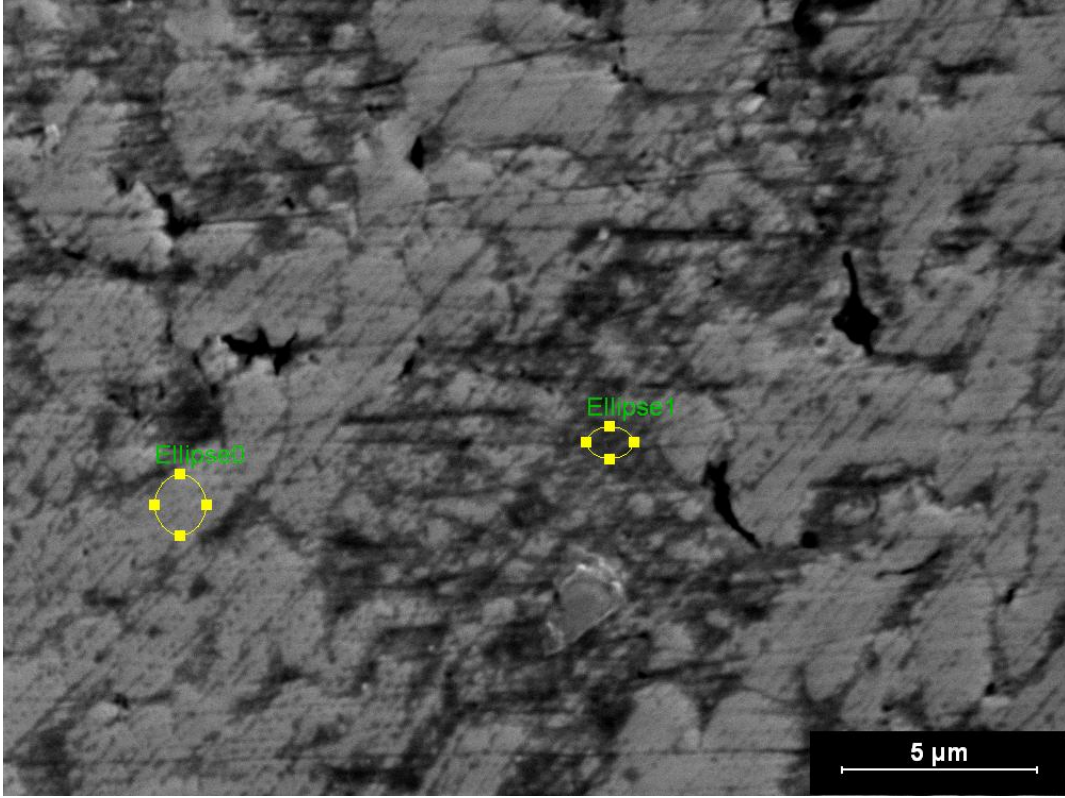
Şekil 8.32’de mikro yapı görüntüsü verilen N5.3 numunesi 1200 °C’de 6 saat ısıl işleme tabi tutulmuş ve havada soğutulmuştur. Sertlik değeri 49,53 HRc olarak ölçülmüştür. 10 N yük altında aşınma miktarı 0,0966 g, 20 N yük altında aşınma miktarı 0,1443 g, 30 N yük altında aşınma miktarı 0,2143 g’dır.

8.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve X-Ray Difraksiyon (XRD) Analizleri

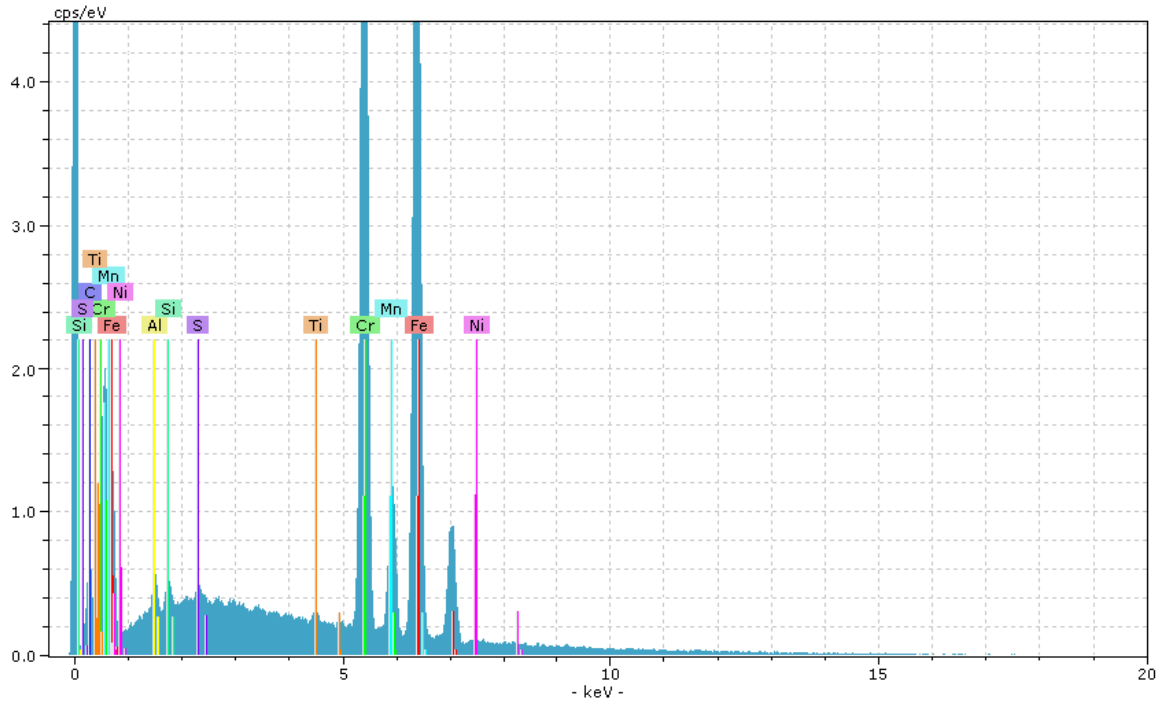
Deneylere tabi tutulan numunelerin arasında sahip oldukları özellikler bakımından önemli değerler tespit edilen numuneler için taramalı elektron mikroskobu ile görüntü alma ve mikro yapıda bulunan karbür ve matrislerin XRD yöntemiyle elementer analizi yapılmıştır. Bu numuneler, hiç ısıl işleme tabi tutulmamış orijinal numune olan N₀ numunesi, maksimum sertlik değeri tespit edilmiş olan N4.1 numunesi, maksimum aşınma direncine sahip olduğu tespit edilmiş olan N4.2 numunesi ve minimum sertlik değerine sahip olduğu belirlenmiş olan N1.3 numunesidir.



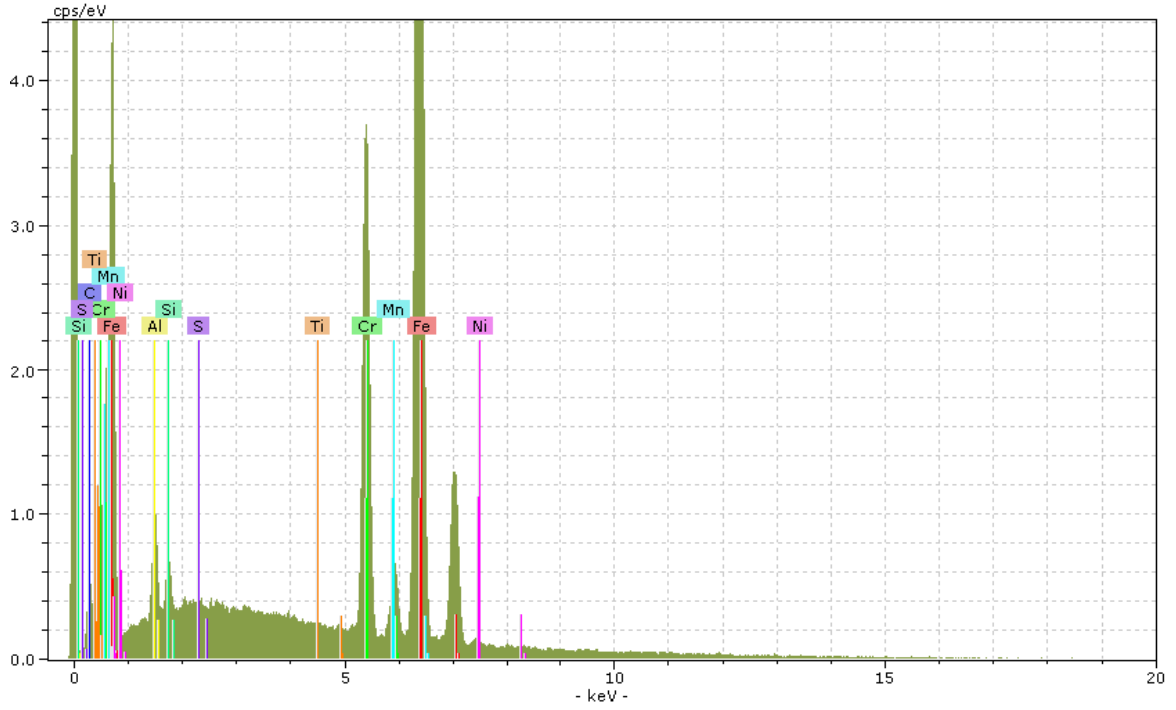
Şekil 8.33 N₀ numunesinin SEM görüntüsü



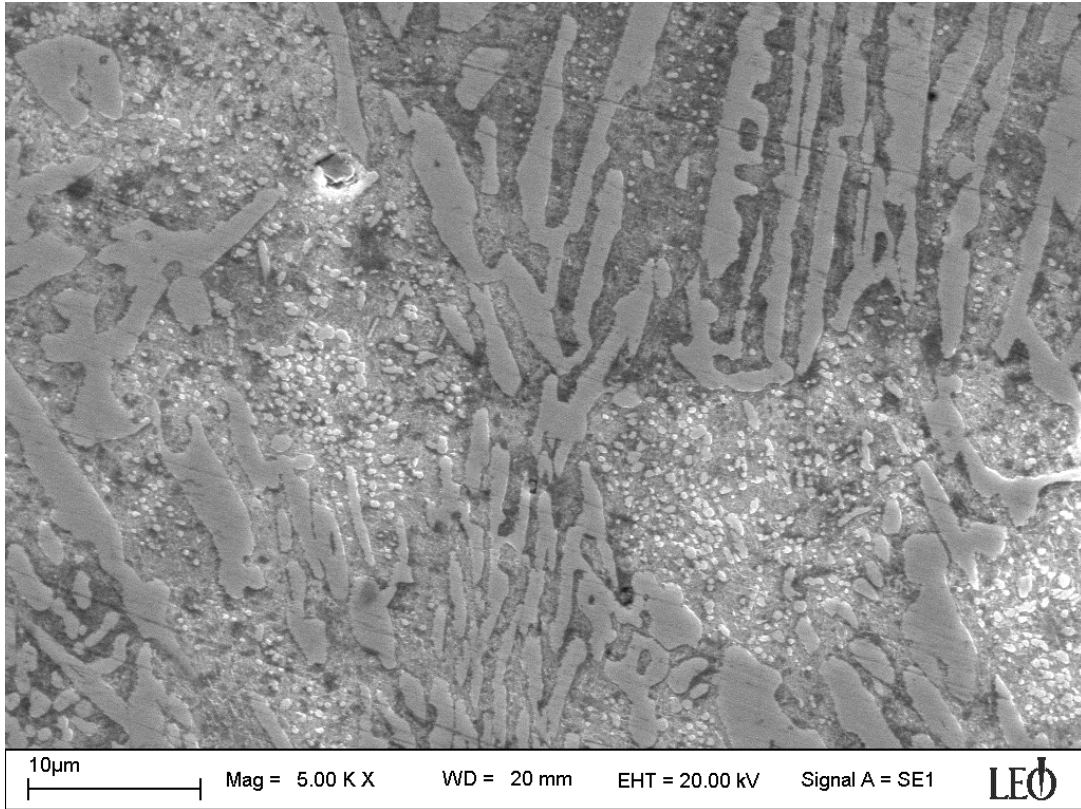
Şekil 8.34 N₀ numunesinin XRD ile analiz edilen bölgeleri



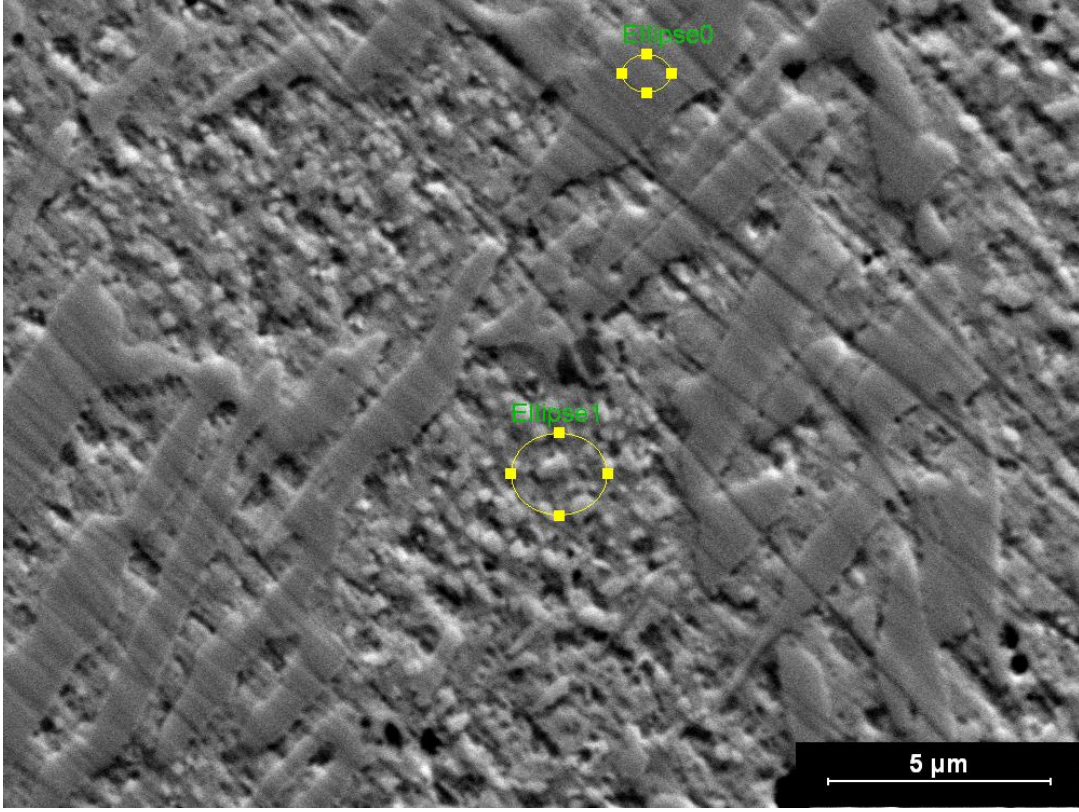
Şekil 8.35 N₀ numunesinin Ellipse 0 (Karbür) XRD analiz grafiği



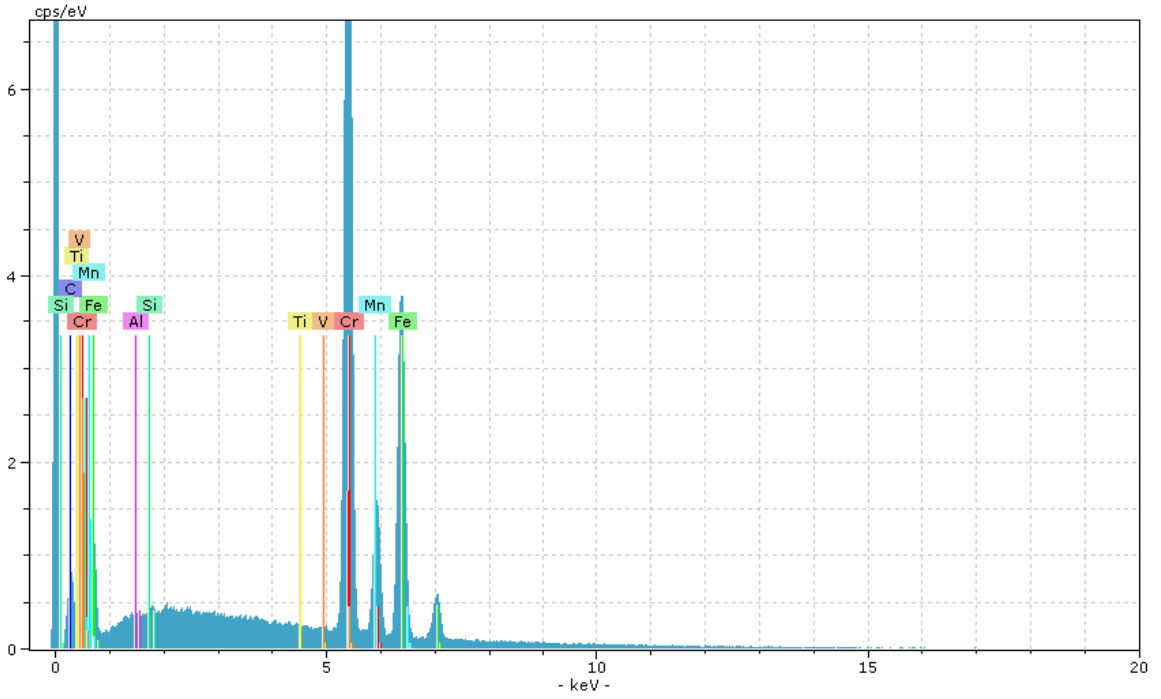
Şekil 8.36 N₀ numunesinin Ellipse 1 (Matris) XRD analiz grafiği



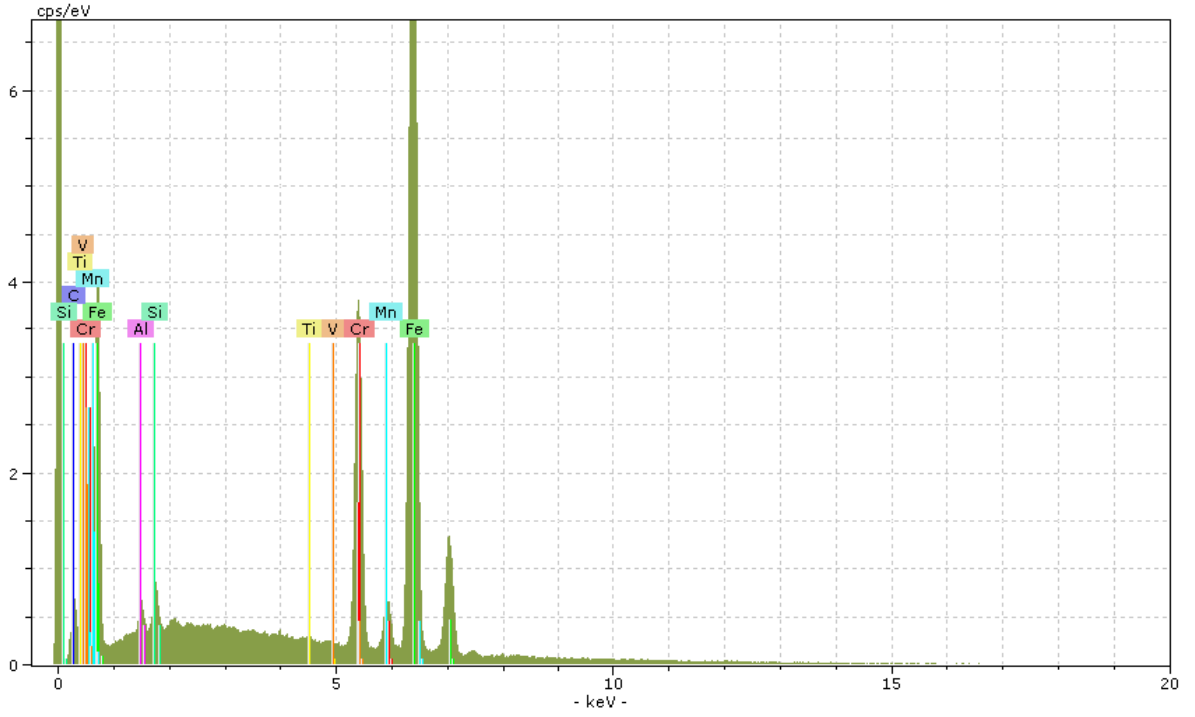
Şekil 8.37 N1.3 numunesinin SEM görüntüsü



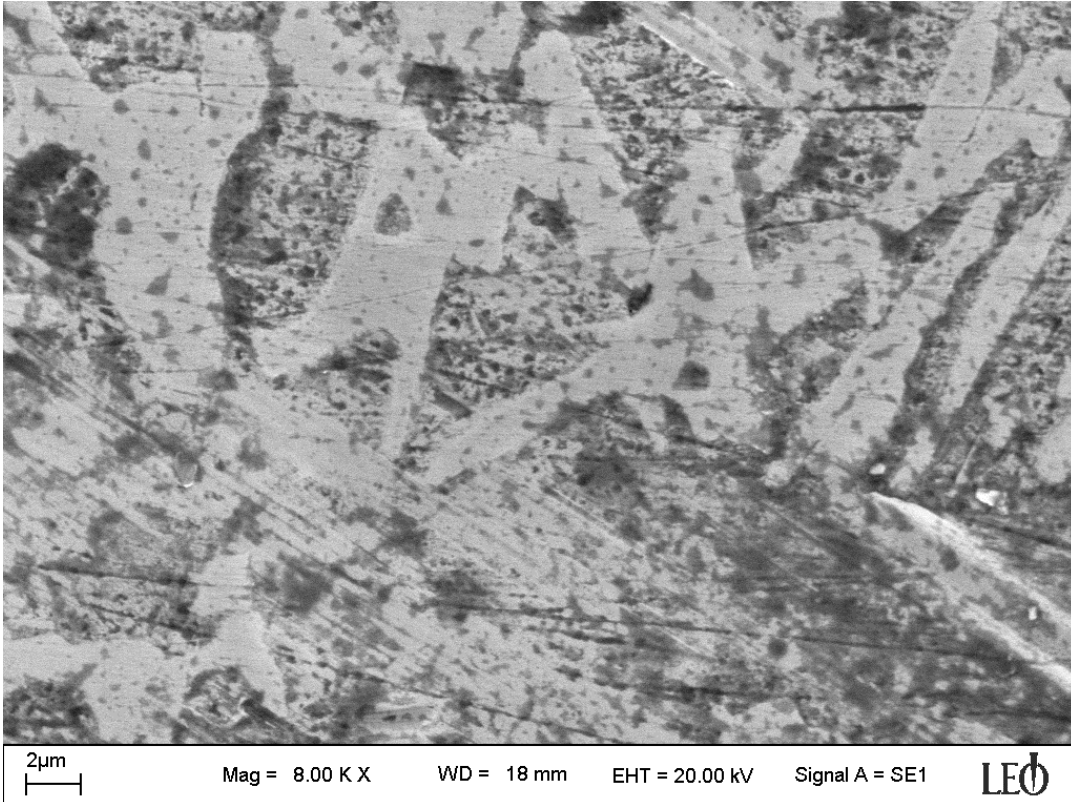
Şekil 8.38 N1.3 numunesinin XRD ile analiz edilen bölgeleri



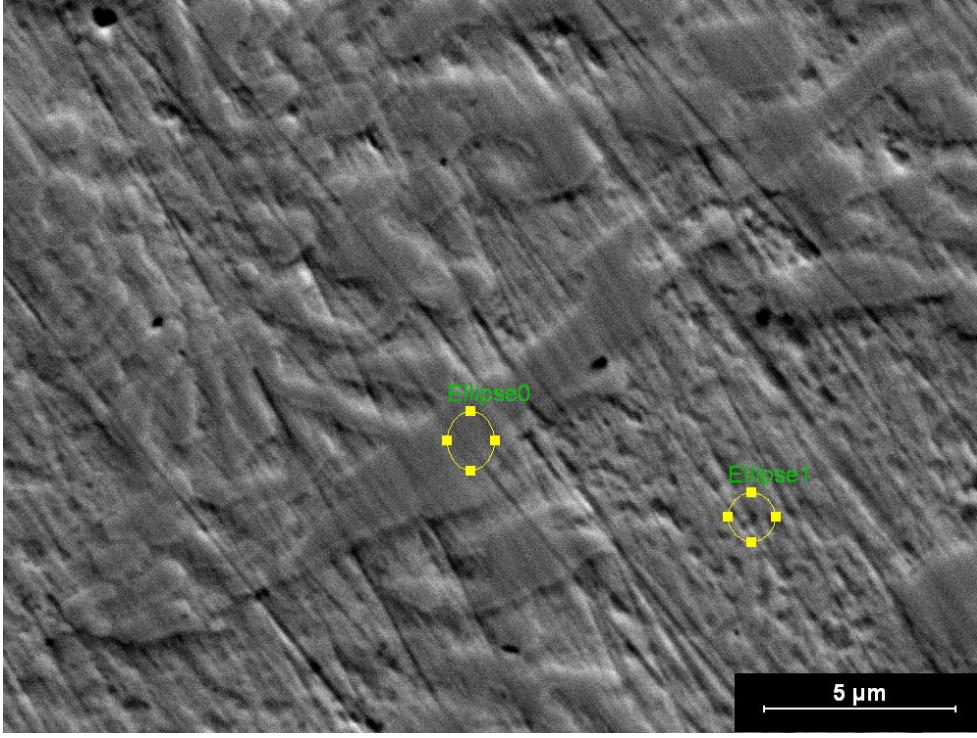
Şekil 8.39 N1.3 numunesinin Ellipse 0 (Karbür) XRD analiz grafiği



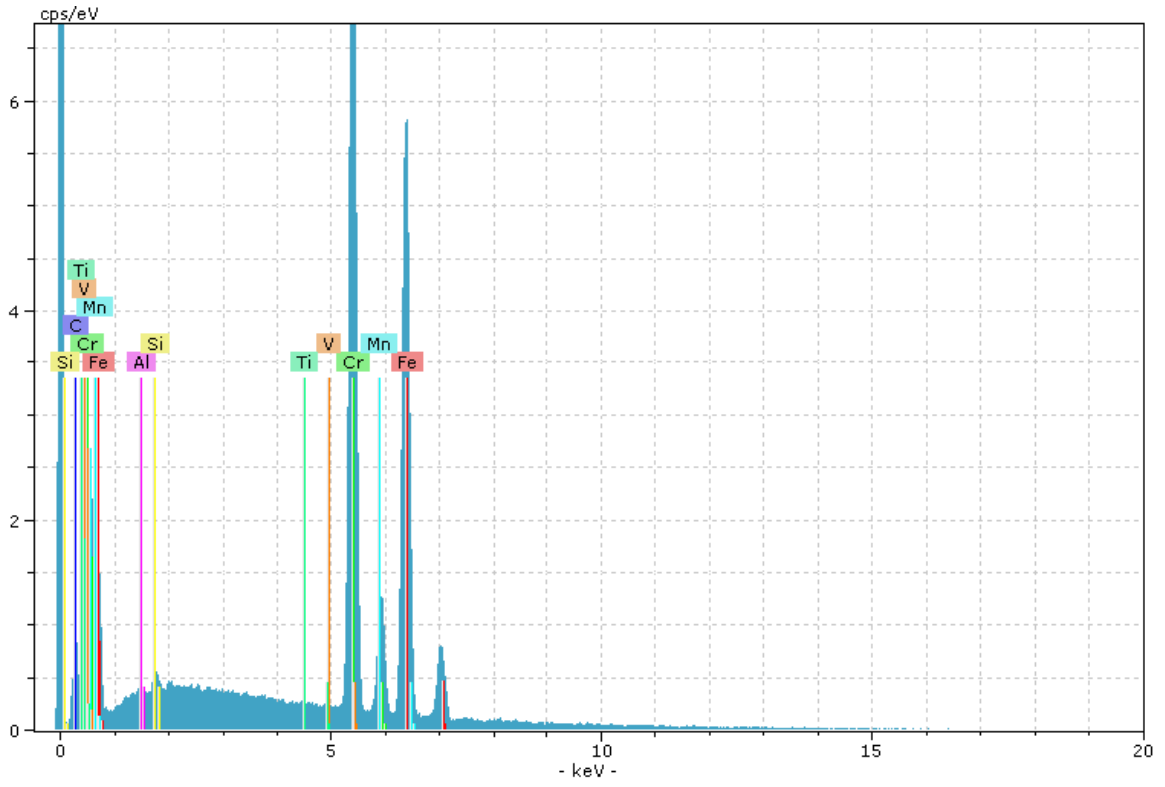
Şekil 8.40 N1.3 numunesinin Ellipse 1 (Matris) XRD analiz grafiği



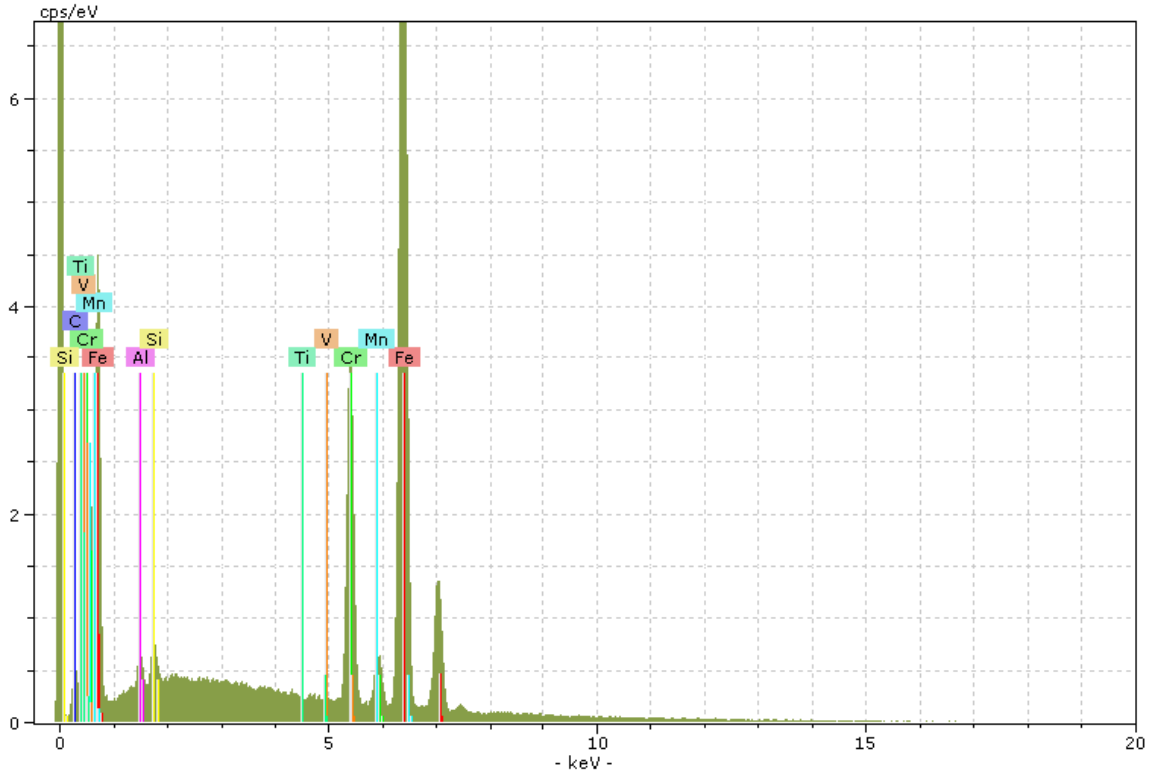
Şekil 8.41 N4.1 numunesinin SEM görüntüsü



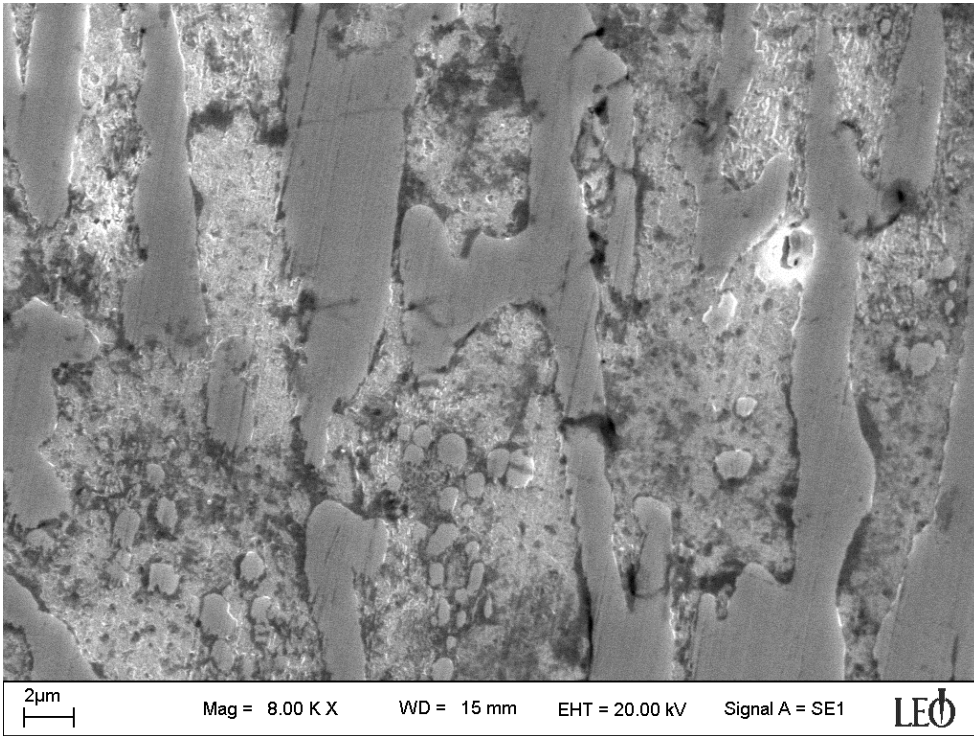
Şekil 8.42 N4.1 numunesinin XRD ile analiz edilen bölgeleri



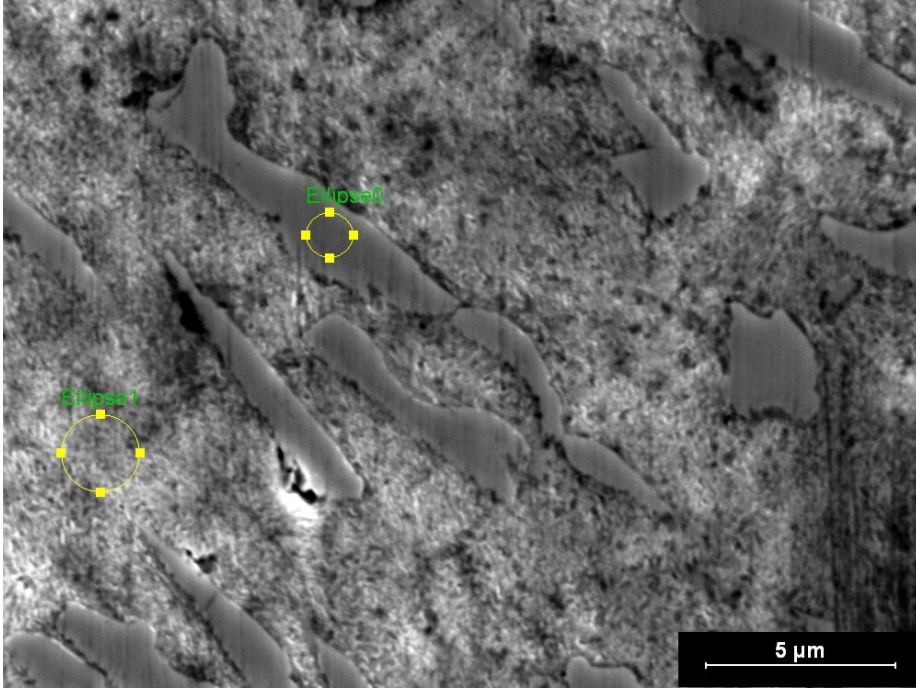
Şekil 8.43 N4.1 numunesinin Ellipse 0 (Karbür) XRD analiz grafiği



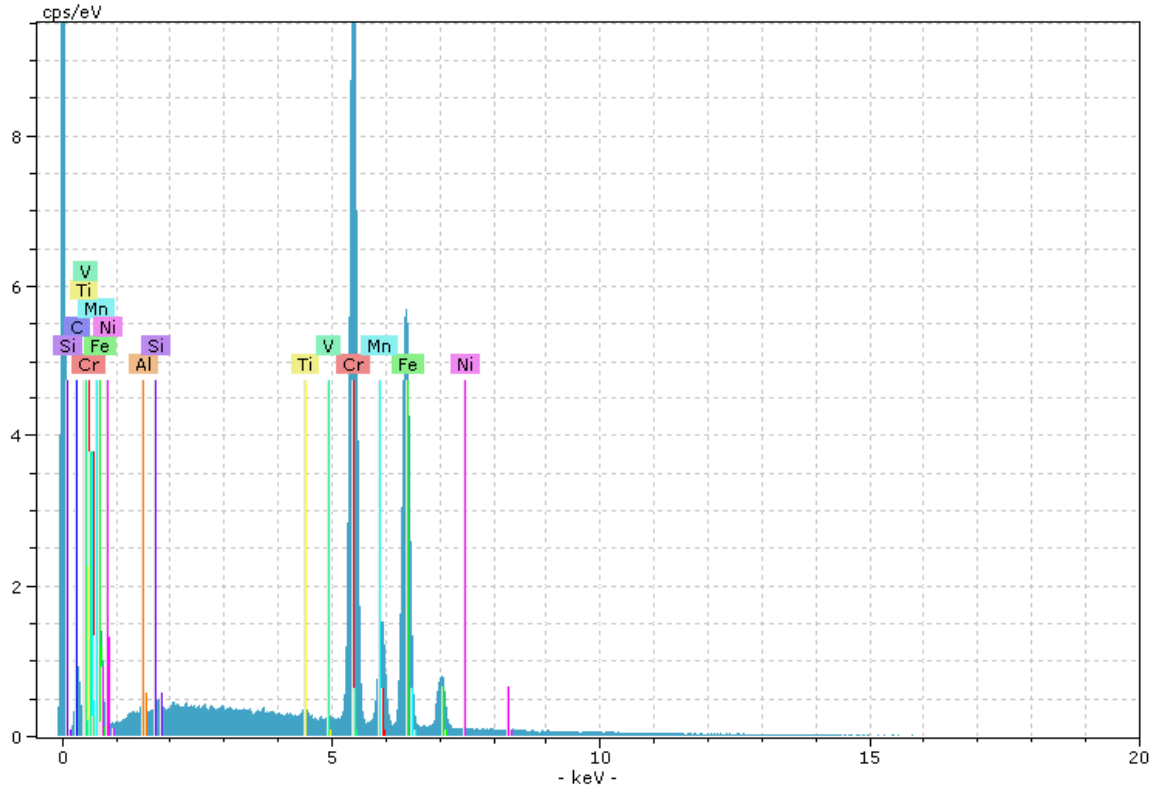
Şekil 8.44 N4.1 numunesinin Ellipse 1 (Matris) XRD analiz grafiği



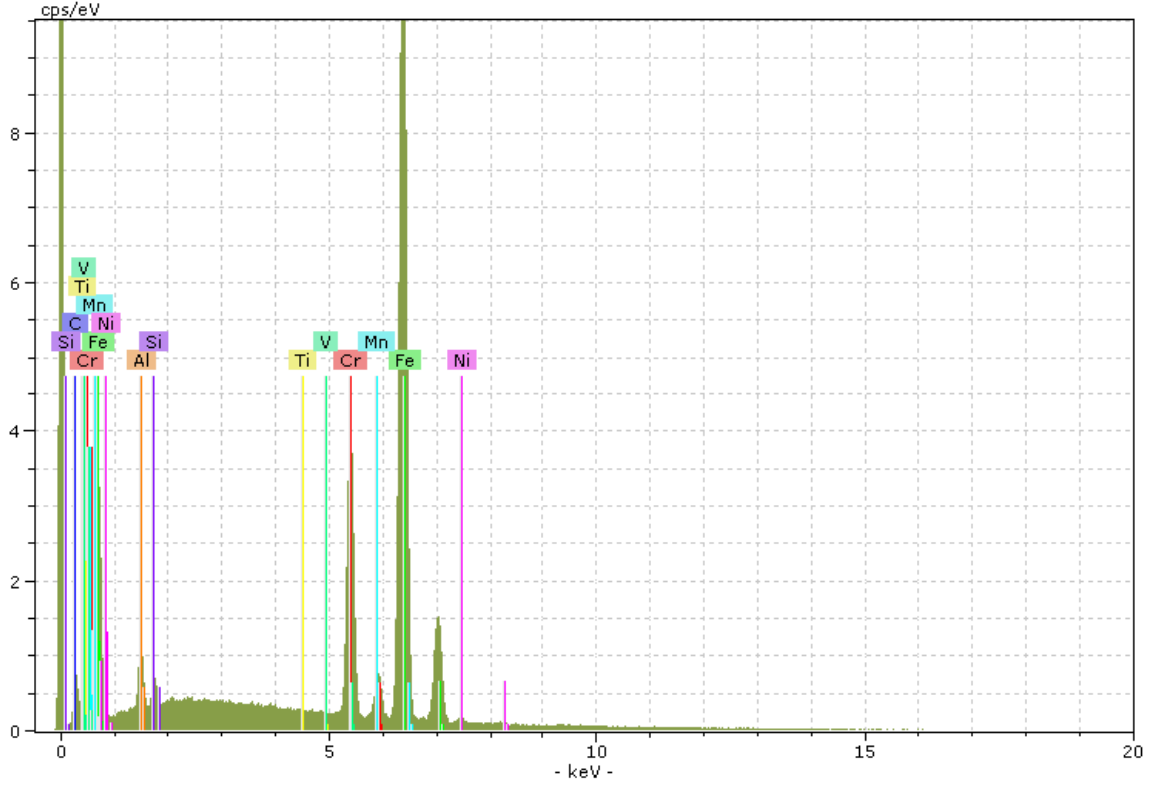
Şekil 8.45 N4.2 numunesinin SEM görüntüsü



Şekil 8.46 N4.2 numunesinin XRD ile analiz edilen bölgeleri



Şekil 8.47 N4.2 numunesinin Ellipse 0 (Karbür) XRD analiz grafiği

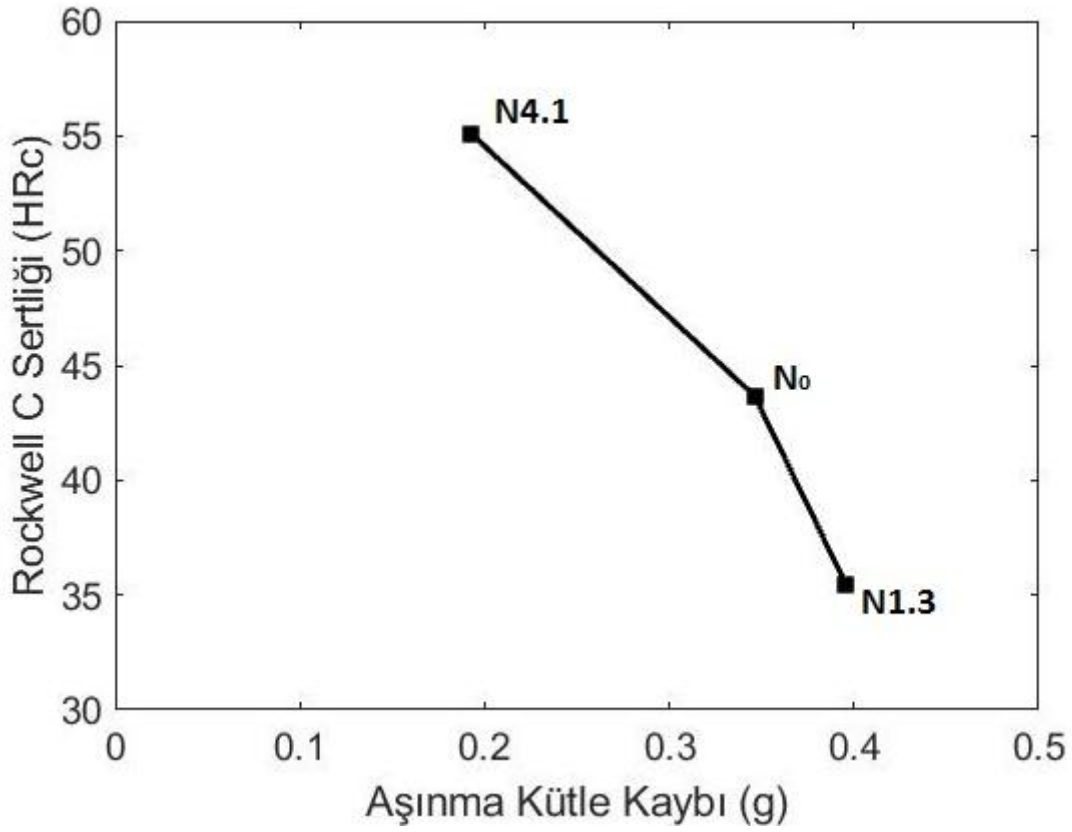


Şekil 8.48 N4.2 numunesinin Ellipse 1 (Matris) XRD analiz grafiği

Çizelge 8.3 Sertliği en yüksek, en düşük ve işlemsiz numunelerin karbür ebatları ve sayıları ile aşınma kaybı arasındaki değişim

Numune	Sertlik (HRc)	Karbür Sayısı	Karbür Boyutu (mm)	Aşınma Kaybı (g)
N1.3	35,43	4	0,3	0,3958
N ₀	43,67	22	0,075	0,3462
N4.1	55,10	185	0,04	0,1926

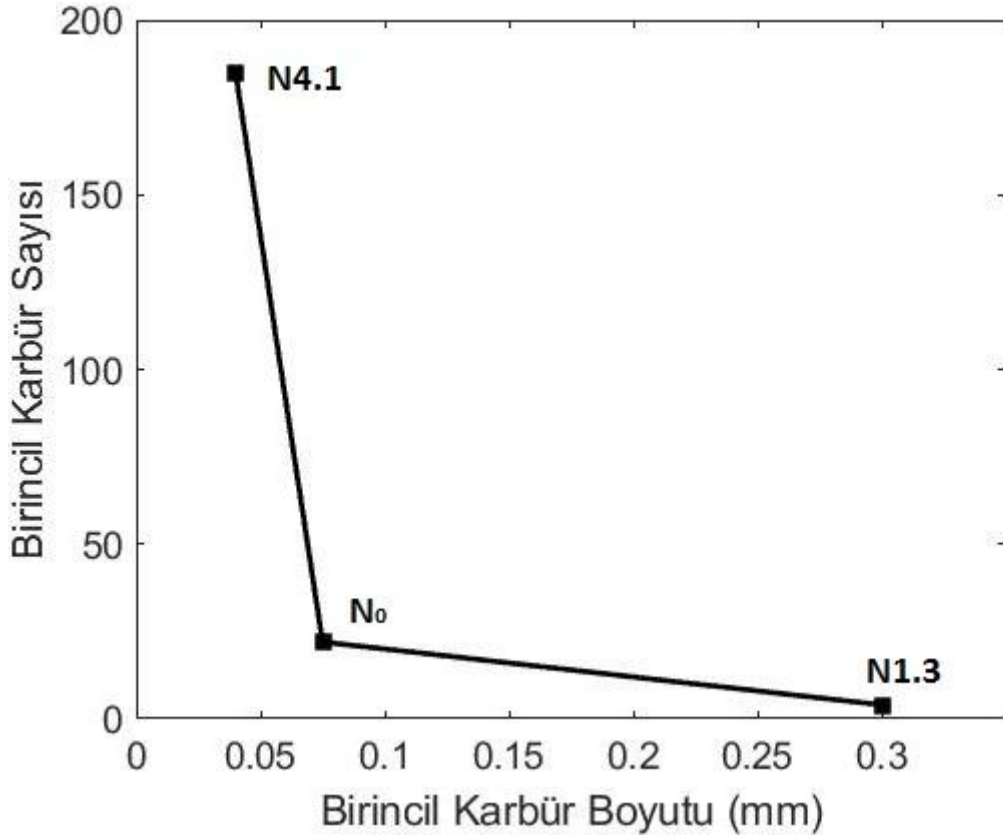
Çizelge 8.3’de bütün deney numuneleri arasında sertliği en yüksek (N4.1), en düşük (N1.3) ve üzerinde işlem yapılmamış olan N₀ numunelerinin yüzeylerinde yapılan metalografik çalışmalar neticesinde 1 mm²’lik alanda bulunan birincil karbür sayısı, ortalama birincil karbür ebatları ve 30 N yük altında aşınma kütle kayıpları verilmiştir.



Şekil 8.49 İşlemsiz, en yüksek ve en düşük sertlikteki numunelerin aşınma dirençlerindeki değişim

Şekil 8.49'daki grafikte N₀, N1.3 ve N4.1 numunelerinin sertlik ve aşınma kütle kayıpları arasındaki ilişki gösterilmiştir. Buna göre sertlik miktarının artışı ile aşınma kayıplarının azaldığı tespit edilmiştir.

Şekil 8.50'de verilen grafikte ortalama birincil karbür ebatları ile 1 mm²'lik alandaki karbür sayıları karşılaştırılmıştır. Buradan anlaşılacağı üzere en sert olan N4.1 numunesinin karbür ebatları oldukça küçülmüş, karbürler birbirine yakınlaşmış ve aynı alandaki sayılarında yüksek miktarda artış tespit edilmiştir.



Şekil 8.50 İşlemsiz, en yüksek ve en düşük sertlikteki numunelerin karbür ebatları ve sayıları arasındaki bağıntı

800 °C’de 6 saat ısıtma işlemi ve hava soğutma yapılarak sertliği yaklaşık %19 oranında düşürülmüş olan N1.3 numunesinde birincil karbür ebatlarında 4 katına kadar artış, buna bağlı olarak birim alandaki birincil karbür sayısında yaklaşık %82’lik bir düşüş tespit edilmiştir. Mikro yapıda tespit edilen bu değişimlerin sonucunda aşınma direnci yaklaşık olarak %14 oranında azalmıştır.

1100 °C’de 1 saat ısıtma işlemi ve hava soğutma yapılarak sertliği yaklaşık %26 oranında artırılmış olan N4.1 numunesinde birincil karbür ebatlarında yarıya düşüş belirlenmiştir. Bununla birlikte birim alandaki birincil karbür sayısı yaklaşık 8,4 katına çıkmıştır.

Bu çalışmada birincil karbürlerdeki küçülme, yaklaşma ve sayılarındaki artışın, sertlik ve aşınma direncinin iyileştirilmesi ile doğrudan ilgili olduğu tespit edilmiştir.

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yüksek krom-molibdenli beyaz dökme demir malzemeden elde edilmiş numunelere farklı sıcaklıklarda ve sürelerde ısıtma işlemleri uygulanmış, numuneler havada, tuzlu suda, yağda olmak üzere farklı soğutma koşullarına tabi tutulmuştur. Yapılan bu işlemlerin malzemenin mikro yapısında değişikliklere neden olduğu yapılan metalografik çalışmalar neticesinde tespit edilmiştir. Mikro yapıda gerçekleşen değişimlerin yüksek krom-molibdenli beyaz dökme demirin sertliğini ve aşınma direncini değiştirdiği anlaşılmıştır.

En yüksek sertliğe sahip numunenin yaklaşık %26 artış sonucu 55,1 HRc ile 1100 °C’de 1 saat ısıtma işlemi gören ve havada soğutulan N4.1 numunesinin olduğu tespit edilmiştir. Bu numunede birincil karbür ebatlarında yarıya düşüş belirlenmiştir. Bununla birlikte birim alandaki birincil karbür sayısı yaklaşık 8,4 katına çıkmıştır. Mikro yapıdaki bu değişimler sonucunda yüksek kromlu beyaz dökme demir malzemenin aşınma direncinde yaklaşık %44’e kadar iyileşme yapılabileceği tespit edilmiştir. Buradan alınmış olan sonuç, bu oranlardaki kimyasal bileşime sahip yüksek krom-molibdenli beyaz dökme demirin pratikte kullanımı açısından önem arz etmektedir. Nitekim kırıcı ve öğütücülerde ya da talaş kaldıracak takımlarda kullanılan materyallerin yüksek sertliğe ve aşınma direncine sahip olması gerekmektedir. 1100 °C’de 3 saat ısıtma işlemi gören N 4.2 numunesi ise, hem aşınma direnci hem de sertlik bakımından N4.1’e oldukça yakın değerler vermektedir.

Bu çalışmada birincil karbürlerdeki küçülme, yaklaşma ve sayılarındaki artışın, sertlik ve aşınma direncinin iyileştirilmesi ile doğrudan ilgili olduğu tespit edilmiştir.

En yüksek sertlik ve aşınma direncinin elde edildiği sıcaklık olan 1100 °C değerinin bu malzeme için en kritik değer olduğu aşikardır. Buradan yola çıkarak, bu malzeme ile gelecekte yapılacak araştırmalarda bu sıcaklık değerinde daha detaylı çalışılması önerilmektedir. Daha farklı süreler ve soğutma koşulları buna örnek olarak verilebilmektedir.

Pratikte kullanılan yüksek krom-molibdenli beyaz dökme demirler son şekline getirilene kadar imalatta belli proseslerden geçmektedir. Bu proseslerin gerçekleşmesi için harcanan süre ve maliyet oldukça önemlidir. Bu sebeple, sertlik ve aşınma direncinin hangi şartlarda en düşük seviyeye geldiğinin tespit edilmesi de önem arz etmektedir. 800 °C’de 6 saat ısıtma işlemi gören N1.3 numunesi 35,43 HRc ile en düşük sertliğe sahiptir. Bu azalma yaklaşık %19’luk bir orana tekabül etmektedir. Bunun sebebinin mikro yapıdaki değişimler ile doğrudan

ilgili olduğu tespit edilmiştir. Numunenin birincil karbür ebatları 4 katına kadar artarken birbirinden uzaklaşan birincil karbür sayılarında %82 azalma tespit edilmiştir. Ancak 800 °C’de 1 saat ısıtılma gören N1.1 numunesinin sertlik değeri ise 35,73’tür. Aşınma dirençleri bakımından da kayda değer bir farklılık tespit edilmemiştir. Aradaki farkın düşük olması sebebiyle ısıtılma sürelerinin maliyeti yüksek oranda etkilediği durumlar için malzemeyi yumuşatmak adına 800 °C’de 1 saat ısıtılma önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] J. T. H. Pearce and D. W. J. Elwell, "Efficient heat treatment of high chromium iron castings for abrasion-resistant applications," *Cast Metals Development Ltd, International Conference* 1995.
- [2] S. Fidaner, S. Çelik, H. Doğmuş, C. Süzen ve A. Duran, *Genel Dökümcülük Bilgisi*, İstanbul, Türkiye: Milli Eğitim Basımevi, 1979.
- [3] J. R. Davis, "Classification and Basic Metallurgy of Cast Irons," *Cast-Irons-ASM Speciality Handbook*, ASM International, Materials Park, OH. 1996 pp. 3-15.
- [4] ASM, *Metals Handbook 9th Ed, 15, Casting*, 1988.
- [5] W. Fairhurst and K. Röhring, "Abrasion-resistant high chromium white cast irons," *Foundry Trade Journal*, May 1974.
- [6] I. Minkoff, *Physical Metallurgy of Cast Iron*, University of California, CA: John Wiley and Sons, 1983.
- [7] G. Laird, R. Gundlach, K. Röhring, *Abrasion-Resistant Cast Iron Handbook*, Des Plaines, IL.: American Foundry Society, 2000.
- [8] M. İzciler ve H. Çelik, "Two- and three-body abrasive wear behaviour of different heat-treated boron alloyed high chromium cast iron grinding balls," *Journal of Materials Processing Technology*, September 2000.
- [9] A. Bedolla-Jacuinde, R. Correa, J.G. Quezada and C. Maldonado, "Effect of titanium on the as-cast microstructure of a 16%chromium white iron," *Materials Science and Engineering*, vol. 398, issues 1-2, pp. 297-308, May 2005.
- [10] M. Arıkan, "Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin aşınma direncine alaşım elementlerinin ısıl işlemin etkisi," Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul 1999.
- [11] S.I. Maldonado-Ruiz, D. I. Martinez, A. Velasco, and R. Colas, "Wear of white cast irons by impact of direct reduced iron pellets," *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, vol. 2, no. 5, pp. 361-366, August 2005.
- [12] L. Zhongli, C. Xiang, L. Yanxiang, and H. Kaihua, "Effect of chromium on microstructure and properties of high boron white cast iron," *Metallurgical and Materials Transactions A* vol. 39, no. 3, pp. 636-641, March 2008.

- [13] A.H. Kasama, A.J. Mourisco, C.S. Kiminami, W.J. Botta F and C. Bolfarini, "Microstructure and wear resistance of spray formed high chromium white cast iron," *Materials Science & Engineering A*, pp. 375-377, 2004.
- [14] Ö. Akdemir, *Alaşımlı Beyaz Dökme Demirlerin Mikro Yapı Analizi ve Aşınma Özellikleri*, İstanbul, 1994.
- [15] J. M. Radzikowska, "Effect of specimen preparation on evaluation of cast iron microstructures," *Materials Characterization*, vol. 54, no. 4, pp. 287-304, May 2005.
- [16] M. Filipovic, Z. Kamberovic and M. Korac, "Solidification of high chromium white cast iron alloyed with vanadium," *Materials Transactions*, vol. 52, no. 3, pp. 386-390, The Japan Institute of Metals, 2011.
- [17] G. V. Raynor and V. G. Rivlin, "Phase equilibria in iron ternary alloys," *The Institute of Metals*, vol. 13, no. 4, London 1988.
- [18] C. P. Tabrett and I. R. Sare, "The effect of heat treatment on the abrasion resistance of alloy white irons," *Wear*, vol. 203-204, pp. 206-219, March 1997.
- [19] R. Benz, J. F. Elliott, and J. Chipman, "Thermodynamics of the carbides in the system Fe-Cr-C," *Metallurgical Transactions*, vol. 5, issue 10, pp. 2235–2240, October 1974.
- [20] L. R. Woodyatt and G. Krauss, "Iron-chromium-carbon system at 870°C," *Metallurgical Transactions A*, vol. 7, no. 7, pp. 983-989, Alloy Phases and Structure, July 1976.
- [21] E. Albertin, A. Sinatora, "Effect of carbide fraction and matrix microstructure on the wear of cast iron balls tested in a laboratory ball mill," *Wear*, vol. 1, no.12, pp. 492-501, October 2001.
- [22] M. Sakamoto, H. Liu, M. Nomura and K. Ogi,, "Tribological stability of Al₂O₃ short fiber reinforced high Cr cast irons," *Wear*, vol. 251, no.1, pp. 1414-1420, October 2001.
- [23] S.G. Sapate and A.V. Rama Rao, "Effect of carbide volume fraction on erosive wear behaviour of hardfacing cast irons," *Wear*, vol. 256, no. 7-8, pp. 774-786, April 2004.
- [24] D. Li, L. Liu, Y. Zhang, C. Ye, X. Ren, Y. Yang and Q. Yang, "Phase diagram calculation of high chromium cast irons and influence of its chemical composition," *Materials and Design*, vol. 30, no. 2, pp. 340-345, 2009.

- [25] Z. Sun, R. Zuo, C. Li, B. Shen, J. Yan, S. Huang, "TEM study on precipitation and transformation of secondary carbides in 16Cr–1Mo–1Cu white iron subjected to subcritical treatment," *Materials Characterization*, vol. 53, no. 5, pp. 403-409, December 2004.
- [26] W. R. Thorpe, B. Chicco, "The Fe-rich corner of the metastable C-Cr-Fe liquidus surface," *Metallurgical Transactions A*, vol. 16, no. 9, pp. 1541–1549, September 1985.
- [27] N.R. Griffing, W. D. Forgeng and G.W. Healy, "C-Cr-Fe liquidus surface," *Trans. TMS-AIME*, vol. 224, pp. 148–59, 1962.
- [28] R. S. Jackson, "Austenite liquidus surface and constitutional diagram for the iron-chromium-carbon metastable system," *J. Iron Steel Inst.*, vol. 208, pp. 163–67, 1970.
- [29] F. Mataray and R. Usseglio Nanot, *Factors Affecting the Structure of Chromium-Molibdenium White Irons*, Paris, France: Climaz Molybdenum, 1970.
- [30] V. Rajagopal, A. S. Malicsi and I. Iwasaki, "Effect of chromium on the cast-iron media properties and performance in wet grinding," *Mining, Metallurgy & Exploration*, vol. 9, no. 1, pp. 34-40, February 1992.
- [31] Z. Liu, Y. Li, X. Chen and K. Hu, "Microstructure and mechanical properties of high boron white cast iron," *Materials Science and Engineering A*, vol. 486, no. 1-2, pp. 112-116, 2008.
- [32] H. Liu, J. Wang, B. Shen, H. Yang, S. Gao and S. Huang, "Influence of secondary carbide precipitation and transformation on abrasion resistance of a 3Cr15Mo1V1.5 white iron," *Journal of University of Science and Technology Beijing, Mineral, Metallurgy, Material*, vol. 14, no. 3, pp. 231-235, June 2007.
- [33] J. T. H. Pearce, "Structure and wear performance of abrasion resistant chromium white cast irons," *AFS Transactions*, vol. 126, pp. 599-622, 1984.
- [34] ASM Handbook, 18, *Friction, Lubrication and Wear Technology* 1992.
- [35] H. Berns, "Comparison of wear resistant MMC and white cast iron," *Wear*, vol. 254, no. 1-2, pp. 47-54, January 2003.
- [36] N. Tosun ve C. Çoğun, "Tel erezyonda kesme parametrelerinin ilerleme hızına etkisi," *Mühendis ve Makine Dergisi*, c. 43, s. 515, ss. 16-20, 2002.
- [37] R. Blickensderfer and J. H. Tylczak, "Evaluation of commercial US grinding balls by laboratory impact and abrasion tests," *Minerals and Metallurgical Processing*, May 1989.

ÖZGEÇMİŞ

Burak Kürşad BAŞARAN, 1990 yılında İstanbul'da dünyaya gelmiştir. 2008 yılında İstanbul Büyükşehir Hüseyin Yıldız Anadolu Lisesini tamamladıktan sonra İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünü okumaya hak kazanmıştır. 2013 yılında bu bölümden mezun olmuştur. Üniversite yıllarında yarı-zamanlı olarak Türk Hava Yolları Teknik A.Ş.'de çalışmaya başlamış, mezun olduktan sonra Türk Hava Yolları ve TAI ortaklığında kurulan Türk Kabin İçi Sistemleri (TCI) şirketinde üretim mühendisi olarak çalışmaya devam etmiştir. BOEING tipi uçaklarda kabin içi üretim liderliği görevini yürüten Başaran, 2015 yılında görevinden ayrılarak İstanbul Kültür Üniversitesi TBMYO Uçak Teknolojisi Bölümü'nde Öğretim Görevlisi unvanıyla ders vermeye başlamıştır. 2017 yılının Mart ayından bu yana Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Meslek Yüksekokulu Makine Programı'nda Öğretim Görevlisi unvanıyla ders vermektedir. Evli ve bir kızı olan Burak Kürşad BAŞARAN, amatör olarak müzisyenlik yapmaktadır.