

T.C.  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BORÜRLERİN AŞILAYICI OLARAK YÜKSEK  
KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRELERİN AŞINMA  
DİRENCİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Yakup SAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Yöneticisi  
Doç.Dr. Osman YILMAZ

ELAZIĞ 2008

T.C.  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BORÜRLERİN AŞILAYICI OLARAK YÜKSEK  
KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRELERİN AŞINMA  
DİRENCİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Yakup SAY

Yüksek Lisans Tezi

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tez, ...../...../..... tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Doç.Dr. Osman YILMAZ

Üye:

Üye:

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../...../..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

## **TEŞEKKÜR**

Yüksek lisans tezim boyunca değerli görüşlerini, yakın ilgisini ve desteğini hiçbir şekilde benden esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Osman YILMAZ' a, benden yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Mustafa AKSOY' a ve Prof. Dr. Nuri ORHAN' a, deney çalışmaları sırasında yardımlarını gördüğüm Arş. Grv. Ömer GÜLER' e ve Arş. Grv. Seval Hale MAHMUTOĞLU' na ve emeği geçen herkese teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	
İÇİNDEKİLER.....	I
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	IV
TABLolar LİSTESİ.....	VI
ÖZET.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
1. GİRİŞ.....	1
2. DÖKME DEMİRLER.....	2
3. DÖKME DEMİR TÜRLERİ.....	5
3.1 Beyaz Dökme Demir.....	6
3.2 Gri Dökme Demir.....	7
3.3 Temper Dökme Demir.....	7
3.4 Küresel Grafitli Dökme Demir (KGDD).....	7
4. ALAŞIMLI DÖKME DEMİRLER.....	8
4.1 Alaşım Elementleri.....	8
5. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLER.....	12
5.1 İçeriği.....	13
5.2 Mikroyapı.....	13
5.2.1. Karbürler.....	14
5.2.2 Matris.....	17
5.3 Çekme dayanımı.....	20
5.4 Isı direnci.....	21
5.5 Alaşım Elementlerinin Özelliklere Etkisi.....	21
5.5.1. Karbon.....	22
5.5.2 Krom.....	23
5.5.3. Molibden.....	25
5.5.4. Silisyum.....	25
5.5.5. Bakır.....	26
5.5.6. Fosfor.....	26
5.5.7. Kükürt.....	27
5.5.8. Mangan.....	27
5.5.9. Nikel.....	27
5.5.10. Bor.....	27

5.5.11. Niyobyum.....	27
5.5.12. Vanadyum.....	28
5.5.13. Titanyum.....	28
5.5.14. Nadir Toprak Elementleri.....	28
5.6 Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin Uygulama Alanları.....	28
6. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERİN AŞINMA DİRENCİ.....	30
6.1. Abrasif Aşınmanın Tanımı.....	30
6.2. Aşınma Deneyleri ve Ölçüm Yöntemleri.....	31
6.3. Beyaz Dökme Demirlerde Aşınma.....	32
6.4. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerde Abrasif Aşınmayı Etkileyen Faktörler.....	34
6.4.1. Karbür Yapısının Abrasif Aşınmaya Etkisi.....	34
6.4.2. Matris Yapısının Abrasif Aşınmaya Etkisi.....	35
7. YÜKSEK KROMLU DÖKME DEMİRLERDE DARBE DİRENCİ.....	36
8. AŞILAYICILAR.....	38
8.1. Aşılamanın Görevi.....	38
8.2. Aşılamanın Etkileri.....	39
8.3. Aşılama Yöntemleri.....	40
8.3.1. Pota Aşılması.....	40
8.3.1.1. Pota aşılması için kullanılan aşılایıcılar.....	42
8.3.1.2. Pota Aşılایıcı Seçimi.....	43
8.3.1.3 Pota Aşılایıcı Miktarları.....	44
8.3.1.4. Firma Aşılایıcılar.....	45
8.3.2. Geç Aşılama.....	46
8.3.4. Kalıp Aşılama Yöntemi.....	47
8.3.5. Metal Akıntısına Aşılama.....	48
8.3.5.1 Aşılایıcı Seçimi.....	49
8.4. Aşılamaya Etki Eden Faktörler.....	50
8.5. Aşılama Sorunları.....	52
8.5.1. Etki yitirme.....	52
8.5.2. Gri dökme demir düzgünlüğüne etkisi.....	52
8.5.3. Hidrojen karıncalanması.....	52
8.5.4. Küresel grafitli dökme demirde kötü nodül şekli.....	53
8.5.5. Toz oluşumu.....	53
8.5.6. Curuf oluşumu.....	53
8.5.7. Mikroyapıya etkisi.....	53

8.5.8. Aşırı çekirdekleşme .....	53
9. DENEY ÇALIŞMALARI.....	54
9.1. Deneyleerde Kullanılan Malzemeler.....	54
9.2. Işıl İşlemler .....	54
9.3. Metalografik Çalışmalar.....	54
9.4. Sertlik Deneyleeri.....	56
9.5. Aşınma Deneyleeri.....	56
10. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ.....	57
10.1. Metalografi Sonuçları.....	57
10.2 Sertlik Deneyle Sonuçları.....	101
10.3. Aşınma Deneyle Sonuçları.....	104
10.4. Darbe Testi Sonuçları.....	107
10.5. DTA Testi Sonuçları.....	109
10.6. Genel Sonuçlar.....	112
KAYNAKLAR.....	113
ÖZGEÇMİŞ.....	114

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Dökme demirler ve alt grupları.....	2
Şekil 2.2 Fe-C kararlı ve karasız denge diyagramı.....	3
Şekil 3.1 Demir alaşımlarında yaklaşık demir ve silisyum içerik aralıkları.....	6
Şekil 4.1 Scaheffler diyagramı.....	11
Şekil 5.1 Karbür hacim oranının (CVF) artışı ile sertliğin doğrusal artışı.....	16
Şekil 5.2 Karbür oranının abrasif aşınma kaybına etkisi.....	16
Şekil 5.3 Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde krom ve karbon oranı arasındaki ilişki	17
Şekil 5.4 Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde (a). Östenit ve (b). Martenzi matrislerine ait mikro yapı fotoğrafları.....	18
Şekil 5.5 Kalıntı östenit yüzdesi ile aşınma direnci arasındaki ilişki.....	19
Şekil 5.6 Yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirlerde matris mikro sertliğinin (HV-50) aşınma direncine etkisi.....	19
Şekil 5.7 17-18 % Cr içeren demirlerde karbon oranının yüksek sıcaklıklarda çekme dayanımına olan etkisi.....	21
Şekil 5.8 Grafit ve karbür Ötektik sıcaklıkları üzerine alaşım elementlerinin etkisi.....	22
Şekil 5.9 Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde Karbonun un aşınma direncine etkisi...	23
Şekil 5.10 Farklı bileşimlerdeki krom karbürlerin mikro yapı fotoğrafları (a) $(Fe,Cr)_{23}C_6$ ve (b) $(Fe,Cr)_7C_3$ .....	24
Şekil 5.11 Sertlik ölçümünün yeri ve Cr miktarına bağlı olarak sertlikteki değişim.....	24
Şekil 5.12 Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde Mo' nin aşınma direncine etkisi.....	25
Şekil 5.13 Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde Si' un aşınma direncine etkisi.....	26
Şekil 6.1 Abrasif aşınma test yöntemleri.....	31
Şekil 7.1 Bazı karbürlerin sertlik ve kırılma toklukları arasındaki ilişki.....	37
Şekil 8.1 Soğuma hızı ve çekirdekleşme derecesinin dökme demirin katılaşması sırasındaki etkileri.....	39
Şekil 8.2 BRICA Metal-Akıntısı aşılama ekipmanı.....	48
Şekil 9.1 Aşınma deney düzeneği.....	56
Şekil 10.1 N1.1 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c)SEM.....	58
Şekil 10.2 N1.2 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c)SEM.....	60
Şekil 10.3 N1.3 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c) SEM.....	61
Şekil 10.4 N1.4 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c) SEM.....	63
Şekil 10.5 N2.1 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c) SEM.....	64
Şekil 10.6 Cr/C ve karbür tipi ilişkisi.....	66

<b>Şekil 10.7</b> N2.2 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c) SEM.....	67
<b>Şekil 10.8</b> N2.3 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c) SEM.....	69
<b>Şekil 10.9</b> N2.4 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c) SEM.....	70
<b>Şekil 10.10</b> N3.1 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c) SEM.....	74
<b>Şekil 10.11</b> N3.2 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c) SEM.....	75
<b>Şekil 10.12</b> N3.3 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c)SEM.....	77
<b>Şekil 10.13</b> N3.4 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c)SEM.....	78
<b>Şekil 10.14</b> N4.1 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c)SEM.....	81
<b>Şekil 10.15</b> N4.2 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c)SEM.....	82
<b>Şekil 10.16</b> N4.3 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c)SEM.....	84
<b>Şekil 10.17</b> N4.4 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c)SEM.....	85
<b>Şekil 10.18</b> N5.1 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c)SEM.....	87
<b>Şekil 10.19</b> N5.2 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c)SEM.....	89
<b>Şekil 10.20</b> N5.3 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c) SEM.....	90
<b>Şekil 10.21</b> N5.4 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c) SEM.....	92
<b>Şekil 10.22</b> N6.1 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c) SEM.....	94
<b>Şekil 10.23</b> N6.2 numunesi, a) 20x15, b) 50x15. c) SEM.....	96
<b>Şekil 10.24</b> N6.3 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c)SEM.....	97
<b>Şekil 10.25</b> N6.4 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c) SEM 5000, d) SEM 8000.....	99
<b>Şekil 10.26</b> Birinci Gurup numunelerin yüke göre ağırlık kayıplarının karşılaştırılmaları..	104
<b>Şekil 10.27</b> İkinci Gurup numunelerin yüke göre ağırlık kayıplarının karşılaştırılmaları....	104
<b>Şekil 10.28</b> Üçüncü Gurup numunelerin yüke göre ağırlık kayıplarının karşılaştırılmaları.	105
<b>Şekil 10.29</b> Dördüncü Gurup numunelerin yüke göre ağırlık kayıplarının karşılaştırılmaları.....	105
<b>Şekil 10.30</b> Beşinci Gurup numunelerin yüke göre ağırlık kayıplarının karşılaştırılmaları.	106
<b>Şekil 10.31</b> Altıncı Gurup numunelerin yüke göre ağırlık kayıplarının karşılaştırılmaları..	106
<b>Şekil 10.32</b> Tüm guruplardan en iyi aşınma direncine sahip numunelerin yüke göre ağırlık kayıplarının karşılaştırılmaları.....	107

## TABLolar LİSTESİ

<b>Tablo 2.1</b> Dökme demirlerde oluşan mikroyapı fazları.....	4
<b>Tablo 3.1</b> Tipik Olarak Alaşımlandırılmamış Dökme Demirlerin Kimyasal Kompozisyon Aralıkları.....	5
<b>Tablo 4.1</b> Aşınmaya dirençli yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin bileşimleri.....	9
<b>Tablo 4.2</b> Değişik dökme demir türlerinin Brinel sertlikleri.....	10
<b>Tablo 5.1</b> 25 – 32 mm kesitli yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirlerin mekanik özellikleri .....	13
<b>Tablo 5.2</b> Yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirlerde mikroyapıda bulunan karbürlerin sertlikleri.....	14
<b>Tablo 5.3</b> Çeşitli minerallerin, karbürlerin ve matrislerin sertlikleri.....	15
<b>Tablo 5.4</b> Yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirlerde matris yapısının aşınma kaybına etkisi.....	20
<b>Tablo 5.5</b> Yüksek kromlu beyaz dökme demirde farklı Cr oranlarında çekme dayanım değerleri.....	20
<b>Tablo 6.1</b> Çeşitli malzemelerin öğütme ve oyuklayıcı aşınma altındaki performansı.....	32
<b>Tablo 8.1</b> Silis Esaslı Aşıl原因ıcılar.....	43
<b>Tablo 8.2.</b> Ferro-silis ilaveleri.....	45
<b>Tablo 8.3</b> Grafitleştirici Olarak Kullanılan Bazı Firma Aşıl原因ıcılarının Tipik Kimyasal Bileşimleri.....	45
<b>Tablo 8.4</b> Potaya yada metal akıntısına ilave edildiği zaman gri dökme demirde bazı aşıl原因ıcıların çil derinliğine etkisi.....	49
<b>Tablo 8.5</b> Gri dökme demir ve küresel grafitli dökme demir için metal akıntısına ilave edilen aşıl原因ıcılar.....	50
<b>Tablo 9.1</b> Numunelerin kimyasal kompozisyonları.....	54
<b>Tablo 9.2</b> Numunelere uygulanan ısı işlem detayları.....	55
<b>Tablo 10.1</b> N2.1 Numunesinde karbür ve matris analizi.....	65
<b>Tablo 10.2</b> N2.4 Numunesinde karbür ve matris analizi.....	71
<b>Tablo 10.3</b> N5.1 Numunesinde karbür ve matris analizi.....	88
<b>Tablo 10.4</b> N5.4 Numunesinde karbür ve matris analizi.....	92
<b>Tablo 10.5</b> N6.1 Numunesinde karbür ve matris analizi.....	95
<b>Tablo 10.6</b> N6.4. Numunesinde karbür ve matris analizi.....	100
<b>Tablo 10.7</b> Numunelerin sertlikleri.....	103
<b>Tablo 10.8</b> Numunelerin Darbe test sonrası enerji emme özellikleri.....	108

<b>Tablo 10.9</b> N 1 numunesine ait DTA sonuçları.....	109
<b>Tablo 10.10</b> N 2 numunesine ait DTA sonuçları.....	109
<b>Tablo 10.11</b> N 3 numunesine ait DTA sonuçları.....	110
<b>Tablo 10.12</b> N 4 numunesine ait DTA sonuçları.....	110
<b>Tablo 10.13</b> N 5 numunesine ait DTA sonuçları.....	110
<b>Tablo 10.14</b> N 6 numunesine ait DTA sonuçları.....	110

## ÖZET

### Yüksek Lisans Projesi

## BORÜRLERİN AŞILAYICI OLARAK YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRELERİN AŞINMA DİRENCİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Yakup SAY

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mühendislik Fakültesi - Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü

2008 Sayfa: 114

Yüksek kromlu beyaz dökme demirler mükemmel abraziv aşınma direncine sahiptirler. Bu nedenle birçok uygulama alanında artan miktarlarda kullanım bulmaktadırlar. En başarılı uygulamalardan biri darbe çubukları ve darbeli kırıcıların dövücü bloklarıdır. Bu uygulamalarda kullanılan malzemelerin aşınması maddi zararlara ve iş kayıplarına sebep olmaktadır. Bu nedenle daha sert ve aşınmaya daha dayanıklı malzemelerin geliştirilmesi gerekmektedir. Yüksek krom-molibden alaşımli beyaz dökme demirler bu amaca en uygun malzeme gruplarından biridir. Döküm ile üretilen malzeme gruplarında aşılama, istenilen özelliklerin geliştirilebilmesi açısından çok önemlidir. Aşılamanın görevi, birincil östenit veya karbür çekirdekleşmesinin sayısını arttırmaktır. Böylece metalin yapısında homojen dağılımlı ve eşeksensiz faz dokusunun oluşumu sağlanmış olur. Bu çalışmada farklı aşılama ajanları kullanılarak oluşturulacak olan birincil karbürler veya ötektik karbürlerin sayısının artırılması ve eşeksensiz yapıda oluşturulmaları gibi karbür mikroyapısının da kontrol edilmesiyle  $M_7C_3$  karbürlerinin yapısında özellikle Ti ve B içeriğinin eklenmesi sayesinde daha tok ve daha sert takviye elemanlarının oluşumunun sağlanması hedeflenmiştir. Bu çalışmada farklı iki tip aşılama ajanı (TiBAl ve Fe-Ti + Fe-B) kullanılmıştır. Aşılama ajanı olarak TiBAl oranındaki artışla, yapının aşınma ve darbe direncinde artış görülmüştür. Ancak Fe-Ti + Fe-B' un aşılama ajanı olarak kullanımının hem aşınma hem de darbe direnci üzerinde daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Metal matrisli kompozitler, Seramik takviyeler, Aşınma karakteri.

## **ABSTRACT**

### **THE EFFECTS OF BORIDES AS INOCULANTS ON ABRASIVE WEAR RESISTANCE OF HIGH CHROMIUM WHITE CAST IRONS.**

**Yakup SAY**

**Firat University**

**Graduate School Of Natural and Applied Sciences**

**Metallurgical and Material Engineering Science**

**2008, Page: 114**

High chromium white cast Irons have excellent abrasive wear resistance. For this reason, they are used widely in a lot of sectors. The most successful area for these materials is the crusher hammers. The wear of the materials used in these sectors brings high loss of money. These sectors need harder and more wear resistance materials. High chromium-molybdenum white cast irons are the most suitable materials for these sectors. Inoculation application is very important in casting and it is used in casting process to improve the properties of materials. The purpose of inoculation is to increase the number of nuclei for proeutectite or proeutectic carbides. The increase of nucleus numbers during solidification decreases the dimension of carbides, increases the amount of carbides and decreases the probability of carbide formation under solidification temperature. The inoculation concentration was changed to control the size of proeutectic and eutectic carbides, the distribution of  $M_7C_3$  carbides. In addition it was thought to change the chemical composition of carbides by Ti and B to form more tough and hard reinforcement in microstructure.

**Key Words:** Metal matrix composites, Ceramic reinforcements, Wear behaviour.

## 1. GİRİŞ

Yüksek kromlu beyaz dökme demirler tavlansak, tokluk ve işleme kolaylığı ile birlikte mükemmel abrasif aşınma direncine sahiptirler. Bundan dolayı birçok uygulama alanında artan miktarlarda kullanım bulmaktadırlar.

Alaşımli beyaz dökme demirler diğer dökme demirlerden ayrı bir malzeme grubudur. Yüksek alaşımli ve özellikle de yüksek krom-molibdenli beyaz dökme demirler, cevher kırıcıları, öğütücü değirmen bilyeleri, çeşitli astarlar, tarım alet ve makineleri, pistonlar ve dişlileri, çeşitli konveyörler, greyder bıçakları, çeşitli pompalar, pabuçlar, diskler, tuğla kalıpları, segmanlar ve barlar, madencilik ve mineral sanayi gibi yüksek abrasif aşınma direnci gerektiren yerlerde kullanılmaktadır.

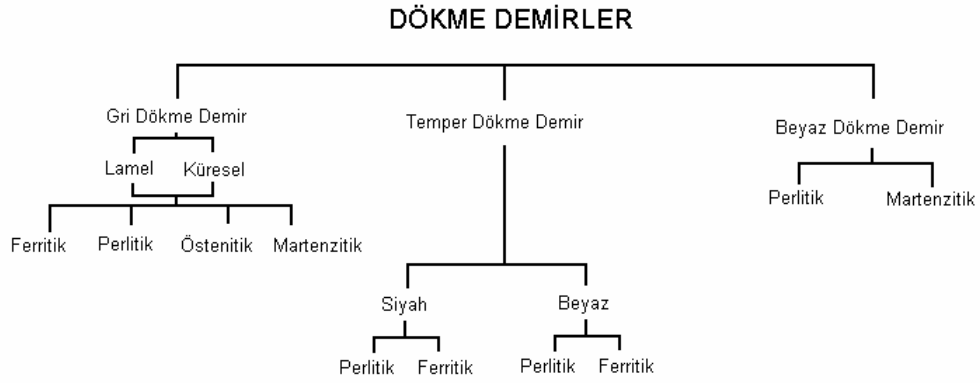
Yukarıda bahsedilen alanlarda kullanılan malzemelerin aşınması maddi zararlara ve iş kayıplarına sebep olmaktadır. Bundan dolayı daha sert, aşınmaya daha dayanıklı ve darbeye karşı daha dirençli malzemelerin geliştirilmesi gerekmektedir. Yüksek kromlu beyaz dökme demirler bu amaca en uygun malzeme gruplarından biridir[1].

Yüksek krom-molibden içeren beyaz dökme demirlerdeki üstün aşınma direnci ve tokluk, bu malzemelerin aşınmaya maruz birçok uygulamada kullanılmasının nedenidir. En başarılı uygulamalardan biri darbe çubukları ve darbeli kırıcıların dövücü bloklardır. Yüksek kromlu beyaz dökme demirde aşıl原因ıcılar sayesinde malzemenin yapısında homojen dağılımlı sert seramik faz sayısı artırılarak sert faz ebadı düşürülecektir. Bu fazın ebadının düşürülmesi ile matris mukavemetinin artırılması hedeflenmektedir. Belirtilen özelliklere sahip olan yapıların aşınma direnci de yüksek olmaktadır. Çünkü, aşınma esnasında özellikle yeni oluşacak sert fazları aşındırıcılara karşı direnç sağlarken, oluşturulacak homojen sert faz dağılımı ve matrisin kesintisiz dokusu malzemede tokluk oluşturacak özellikleri belirleyecektir.

Uygulama alanı olarak *otojen değirmen, kırıcı ve öğütücü makinelerde, yüksek silis içerenli malzeme öğütme makinelerinde astar plakası* olarak sıralanabilir. Döküm, maliyet olarak karbür yapıcı elementlerin ilavesi ve ısıl işlem ile ek bir maliyet getirmesine rağmen, aşınma direncini halen ticari olarak kullanılan malzemelere göre %50 artması sebebiyle bu malzemenin fiyatının ucuz olacağı açıktır. (Tesislerdeki ekipmanların bakım ve duruş maliyetleri her zaman için malzeme maliyetinden pahalıdır). Diğer malzemeler ile karşılaştırıldığında ise bu malzemenin fiyatının çok ucuz olduğu görülür[1].

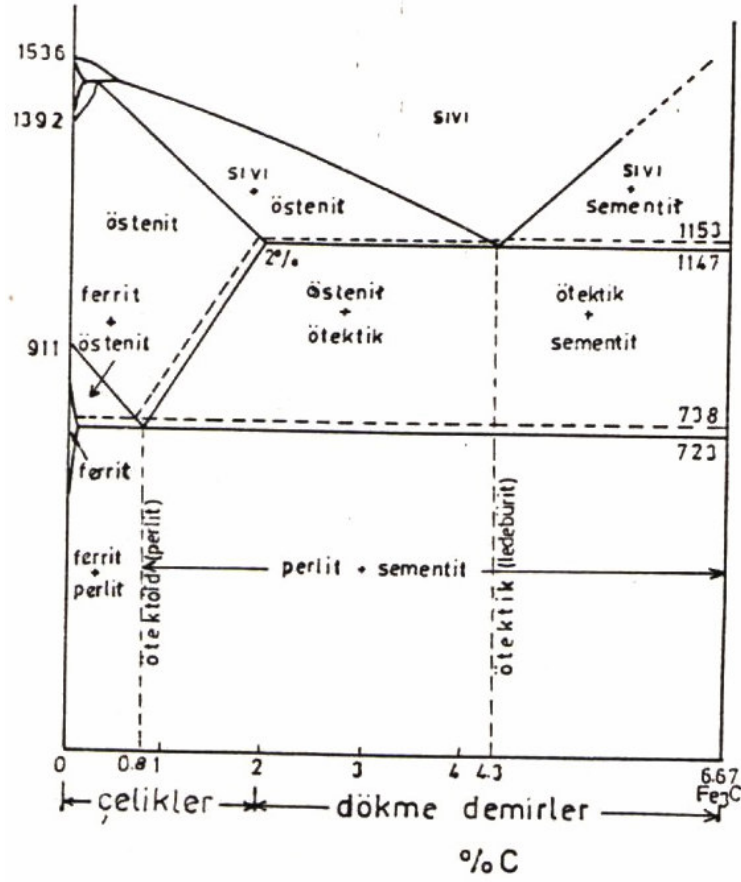
## 2. DÖKME DEMİRLER

İçinde % 2' den fazla karbon bulunan demir malzemeler gurubu genel olarak dökme demir malzemeler olarak isimlendirilir. Genel olarak yaklaşık % 2–4 C ve % 1–3 Si içerirler. Bu malzemeler nihai şekil ve boyutlara ancak dökümle getirilebildiğini için dökme demir olarak adlandırılırlar. Dökme demirlerin başlıca alt gurupları Şekil 2.1' de gösterilmiştir. Dökme demirlerde bu değişik gurupların oluşumunu, malzemenin kimyasal kompozisyonu, soğuma hızı, üretim yöntemi, üretimden sonraki ısıl işlem yöntemleri gibi değişkenler belirler.



**Şekil 2.1** Dökme demirler ve alt gurupları[1]

Fe-C denge diyagramına baktığımızda (Şekil 2.2) dökme demirlerin % 2 - 6.67 C içerdiği görülür. Fakat yüksek karbon oranının malzemeyi aşırı gevrek yapması sebebiyle, pratikte bu oran % 2-4 C seviyesindedir.



Şekil 2.2 Fe-C kararlı ve karasız denge diyagramı

Dökme demirler bünyelerindeki bu karbonu serbest demir-karbür (sementit,  $Fe_3C$ ) veya birleşmemiş karbon (grafit) olarak bulundurlar. Bu durum dökme demirlerin sünekliğini o kadar düşürür ki artık bu malzemeleri oda sıcaklığında haddelemek, çekmek, soğuk yada sıcak olarak işlemek mümkün olmaz.

Dökme demirlerin özelliklerinin oluşumunda, mikroyapılarında meydana gelen fazların büyük etkisi vardır.

Tablo 2.1' de bu mikroyapıların tarifleri ve etkileri açıklanmıştır.

**Tablo 2.1** Dökme demirlerde oluşan mikroyapı fazları

<b>Mikroyapı</b>	<b>Tarif</b>	<b>Etkisi</b>
<b>Östenit</b>	İlk aşamalarda oluşan ve ancak bazı aşamalarda görülebilen yumuşak faz. Genelde diğer fazlara dönüşür.	<i>Yumuşak ve sünektir. Mekanik mukavemeti düşüktür.</i>
<b>Ferrit</b>	Demir'in bazı elementlerle yaptığı katı çözelti. Yumuşak anayapı fazıdır.	<i>Sünekliği geliştirir. Mukavemeti düşürür.</i>
<b>Grafit</b>	Herhangi bir şekil ve büyüklükteki serbest karbon.	<i>İşlenebilirliği artırır ve titreşimleri yutar. Katılaşma esnasında görülen çekmeleri azaltır. Biçimine bağlı olarak mukavemeti etkiler.</i>
<b>Sementit</b>	Sert demir-karbon arametal fazı.	<i>Sertliği, aşınma mukavemetini ve korozyona direnci artırır. İşlenebilirliği olumsuz yönde etkiler.</i>
<b>Perlit</b>	Ferrit ve sementit'in ötektoid'de oluşturduğu katmansı yapı.	<i>Kırılma mukavemeti artırır. İşlenebilirliği iyidir.</i>
<b>Martenzit</b>	Özel ısı işlemde elde edilen sert yapı.	<i>Dönüşüm sorucu oluşan en sert yapıdır. Temperlendiği takdirde kırılma mukavemeti büyük ölçüde artırır.</i>
<b>Steadit</b>	Sert ve kırılma Demir-Karbür-Fosfor ötektiği	<i>Bazen ledebürit ile karıştırılır. Sıvı halde akışkanlığı olumlu yönde etkiler, fakat katı halde kırılma mukavemetine sebep olur.</i>
<b>Ledebürit</b>	Sementit ve östenit'in oluşturduğu iri yapılu ötektik faz. Ledebürit sementit ve perlit'e dönüşür.	<i>Sertliği ve aşınma mukavemetini büyük ölçüde artırır. İşlenebilirliği neredeyse imkansız hale getirir.</i>

Bazı özellikleri kontrol etmek ve değiştirmek için diğer metalik ve metalik olmayan alaşım elementleri ilave edilir. Kimyasal kompozisyonun yanında özellikleri etkileyen diğer önemli faktörler, katılaşma işlemi, katılaşma hızı ve müteakip ısı işlemlerdir. Bunların yaygın olarak kullanılmalarının nedeni, öncelikle nispi olarak düşük maliyetleri ve çok yönlü mühendislik özellikleridir. Yeni malzemelerin güçlü rekabetine rağmen, dökme demirlerin binlerce mühendislik uygulamaları için en uygun ve ekonomik malzeme olduğu kanıtlanmıştır.

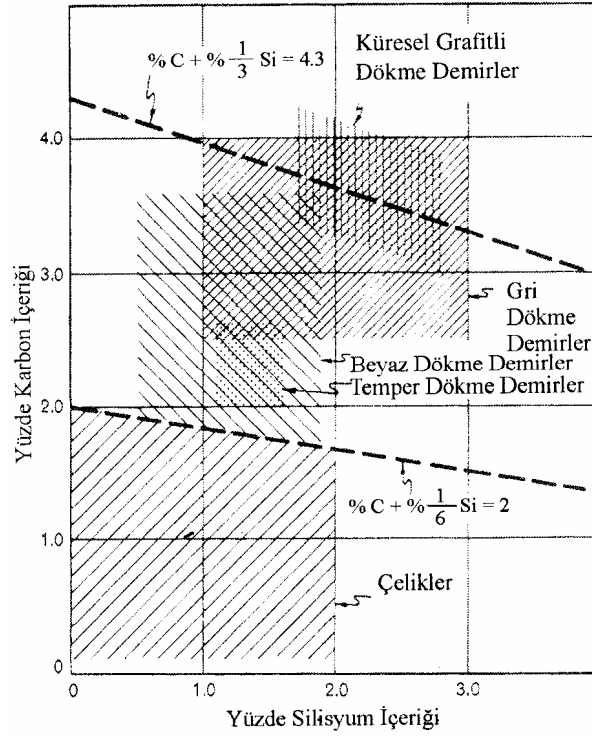
### 3. DÖKME DEMİR TÜRLERİ

Karbon, dökme demir içerisinde, sementit ve grafit olarak bulunur. Yapı içerisinde bu ikisinden hangisinin daha fazla ve etkin olarak bulunduğuyla ilgili olarak dökme demirin türü ve özellikleri ortaya çıkar. Dökme demirin türünü kimyasal kompozisyon, dökümün soğuma hızı, döküm sırasındaki işlemler, döküm sonrasında ısı işlemler ve dökümhane kontrolü belirler. Ayrıca döküm parçalarındaki kesit kalınlığı da, yapının türünün belirlenmesinde son derece etkili bir faktördür. Böylece oluşan türler içerisinde serbest karbon farklı şekil ve dağılım gösterecektir. Bunun sonucu olarak, özellikle fiziksel nitelikler büyük ölçüde etkilenenlerdir.

Mikroyapılarındaki karbonun dağılımına göre dört temel tip dökme demir vardır. Bu temel metalurjik tipler; beyaz dökme demir, gri dökme demir, temper dökme demir ve küre grafitli dökme demirdir. Yüksek alaşımlı dökme demirleri beşinci tip dökme demir olarak gruplandırabiliriz. Tipik olarak alaşımlanmamış dökme demirlerin kimyasal bileşim aralıkları Tablo 3.1’ de verilmiş ve yaklaşık olarak karbon ve silisyum içerik aralıklarının çeliklerle karşılaştırılması Şekil 3.1’ de gösterilmiştir.

**Tablo 3.1** Tipik Olarak Alaşımlanmamış Dökme Demirlerin Kimyasal Kompozisyon Aralıkları

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.



Şekil 3.1 Demir alaşımlarında yaklaşık demir ve silisyum içerik aralıkları.

### 3.1 Beyaz Dökme Demir

Beyaz dökme demirde eriyikteki karbon demirle birleşerek sert ve gevrek bir bileşik olan demir karbür veya sementiti meydana getirir. İnce ve orta et kalınlıklarındaki parçalarda (< 20 mm), aşınmamış ve düşük Si miktarındaki dökme demirlerde, ötektik içindeki karbon; karbür Ötektiği ( $Fe_3C$ ) olarak katılaşma eğilimi gösterir. Bu tip malzemeler kırılınca beyaz renkte görüldükleri için Beyaz Dökme Demir (White Cast Iron) diye adlandırılırlar. Sert ve kırılğan özellikteki bu malzemeler aşınma ve yenme direncinin yüksek olmasının istendiği parçalarda alaşımsız veya krom, molibden gibi karbür yapıcı elementlerle alaşımlı olarak üretilirler .

Alaşımsız beyaz dökme demirlerin, yüksek karbon düşük silis (% 3-3.2 C ve % 0.6-0.7 Si) veya düşük karbon yüksek silis (% 2.5 - 2.7 C ve % 1.3 - 1.4 Si) ihtiva eden iki ana gurubu, katılaşınca yapılarında, ledebüritik demir karbürler içeren perlitik ana yapıdan oluşurlar. Kimyasal kompozisyonun bu değerlerin arasında olduğu durumlarda, katılaşma hem ledebürit hem de grafit tipi yapı gösterir. Özellikle ince kesitlerde sementit oluşumu net bir şekilde gözlenir.

### **3.2 Gri Dökme Demir**

Gri dökme demirlerde sıvı demirdeki karbon ayrılır veya katılma sırasında ayrı grafit lamelleri oluşturmak üzere grafitleşir. Gri dökme demirler demir alaşımlarının en akışkanıdır ve sonuç olarak karmaşık ve ince kesitli parçalar üretilebilir. Bu dökme demirler iyi aşınma direnci sağlayan sertliklerinde mükemmel işlenebilirliğe sahiptir. Gri dökme demirin kopma yüzey görünüşü gerçek bir gri renge sahiptir ve bu nedenle “gri dökme demir” olarak adlandırılırlar.

### **3.3 Temper Dökme Demir**

Beyaz dökme demirin temperlenmiş halidir. Bu dökme demir tipinde yapıdaki karbonun büyük bir kısmı düzensiz grafit nodülleri biçimindedir. Temper dökme demirin ilk dökümü uygun kompozisyonda beyaz dökme demir olarak yapılır. Temper dökme demirlerde tavlama ısı işlemi değiştirilerek çok geniş aralıklarda özellikler elde edilebilir. Buna karşın ilk olarak beyaz dökme demir oluşturmak için hızlı soğutma gerektiğinden temper dökme demirin kalınlığı sınırlıdır.

### **3.4 Küresel Grafitli Dökme Demir (KGDD)**

Küresel grafitli dökme demirlerin (sünek dökme demir) serbest karbonları lamel yerine küre şeklindedir. Bu nedenle bazen ABD’de “Nodüler dökme demir”, İngiltere’de ise “Küresel grafitli dökme demir” olarak adlandırılır. Bu dökme demirlerdeki küre grafit dökümden önce eriyik demire çok küçük miktarda magnezyum ilavesi ile elde edilir. Küresel grafitli dökme demirin kimyasal kompozisyonu gri dökme demire benzer. Ancak, kükürt ve fosfor gibi elementlerin miktarları çok azdır. KGDD’ ler uygun sünekliklerinin yanında iyi bir akma dayanımı aralığına sahiptir ve temper dökme demirin aksine hem ince hem de kalın kesitli parçalar döküm ile şekillendirilebilir.

#### 4. ALAŞIMLI DÖKME DEMİRLER

Yüksek alaşımli dökme demirler; yüksek alaşımli beyaz dökme demirler, yüksek oranda alaşımlandırılmış küresel grafitli dökme demirler ve gri dökme demirleri içerir. Alaşımli dökme demirler ayrı olarak gruplandırılmıştır. Çünkü bunların aşınma, ısı ve korozyon dirençleri gibi belirli özellikleri alaşımli ve az alaşımli diğer dökme demirlerden oldukça farklıdır. Alaşımli dökme demirler genellikle kimyasal kompozisyonlarıyla tanımlanırlar ancak bu tanımlamalar mekanik özellikleri de içerebilir.

Yüksek oranda krom ve molibden içeren beyaz dökme demirler çamur pompalarında, tuğla kalıplarında, çeşitli mineral delme, tesviye, işleme millerinde, sert kayaların işlenmesi için gerekli ekipmanlarda vb. gibi alanlarda kullanılmaktadırlar. Tablo 4.1.'de aşınmaya dirençli yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin bileşimleri verilmektedir[3].

Fiziksel ve Mekanik özellikleri istenilen şekilde geliştirmek için özel olarak ilave edilen element yada elementlerle üretilen dökme demirlere Alaşımli Dökme Demirler denir. Fakat normal olarak hammadde içerisinde bulunan elementler; C, Si, Mn, P ve S alaşım ilavesi olarak kabul edilmezler. İlave edilen birtakım elementler korozyon, ısı ve aşınmaya direnci artırır ve mekanik özellikleri geliştirir. Alaşımliamanın başlıca bir amacı da grafitleşirmeyi arttırmaktır.

##### 4.1 Alaşım Elementleri

Kullanılan başlıca alaşım elementleri; Cr, Cu, Mo, V ve Ni' dir.

Krom demirde karbür hâlinde bulunur, soğuma sırasında beyaz demir oluşması ve katı halde birleşik karbon kalması eğilimini artırır. Bu da demirin aşınma direncini artırır ve yüksek sıcaklıklarda genleşme ve oksidasyonu geciktirir. Krom, demir karbüre nispeten daha karalı olan demir-krom karbürleri oluşturarak birleşik karbon miktarını artırır. Az miktarda krom ilavesi bile mukavemet, sertlik, çil, aşınma mukavemeti ve ısı direncini artırır fakat işlenebilirliği azaltır. Özel amaçlar için gerektiğinde % 35' e kadar Cr kullanılabilir .

Bakır daha ince perlit oluşmasını sağlayarak , demirin dayanım ve sertliğini yükseltir. Ferrit oluşma eğilimini azaltır. Kullanılabilecek bakır oranı, silisin de bulunması durumunda çözünebilirliği oranında sınırlandırılır. Bakır grafitleşmeyi artırır fakat silisyumun ancak 1/5' i kadar etkilidir. Ayrıca anayapıyı da kuvvetlendirir. Alaşımliama maksadıyla kullanılma oranı genelde % 0.25-2.5 seviyesindedir.

Molibden demirin dayanımını artıran mükemmel bir alaşım elementidir. Alaşımli dökme demirlerde % 0.25 - 1.25 Mo ilavesi ile çelikteki etkiye benzer bir şekilde mekanik özellikler gelişir. Yorulma mukavemetini, çekme mukavemetini, ısı direncini ve sertliği artırır. Mo daima diğer alaşım elementleriyle birlikte kullanılmalıdır .

Vanadyum çok aktif bir karbür yapıcıdır, çok küçük miktarlarda gri dökümde grafit büyüklüğünü düzenlemek için kullanılır. Çok güçlü bir karbür yapıcı olduğundan dolayı grafitleşmeyi engeller. % 0.1-0.15 oranında ilave edilmesi çekme mukavemetini, sertliği ve çil derinliğini artırır.

Nikel çok yaygın olarak kullanılır, çünkü istenmeyen etkisi yoktur. Nikel, perlitin kararlılığını ve incelmesini artırıp dayanımı yükseltirken, öncül karbür kararlılığını düşürür. Nikel de bir grafitleştiricidir ve silisyumun 1/2'si kadar etkilidir. Düşük nikel ihtiva eden dökme demir; grafit, perlit ve az miktarda da ferrit içerir. Bu düşük miktardaki Ni, yaklaşık % 1 Mo ile birlikte kullanıldığında ise beynitik ana yapı ortaya çıkar. Bu yapı yaklaşık 385 BHM sertlik gösterir.

**Tablo 4.1** Aşınmaya dirençli yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin bileşimleri [7].

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

Yaklaşık % 4 Ni ile % 1.5 Cr ilavesi ile elde edilen Beyaz Dökme Demir son derece iyi aşınma mukavemeti gösterir. Östenit dallantıları martensite dönüşürler ve daha sonra demir karbürlerin de bu martenzit yapıda yer almasıyla çok yüksek sertlik (600-750 BHN), mukavemet ve tokluk kazanılır. Buradaki sertlik değerinin yüksekliği, diğer dökme demir

türlerinin mikroyapılarına göre sınıflandırılmış sertlik değerlerine bakıldığında daha net bir şekilde ortaya çıkar (Tablo 4.2)[2].

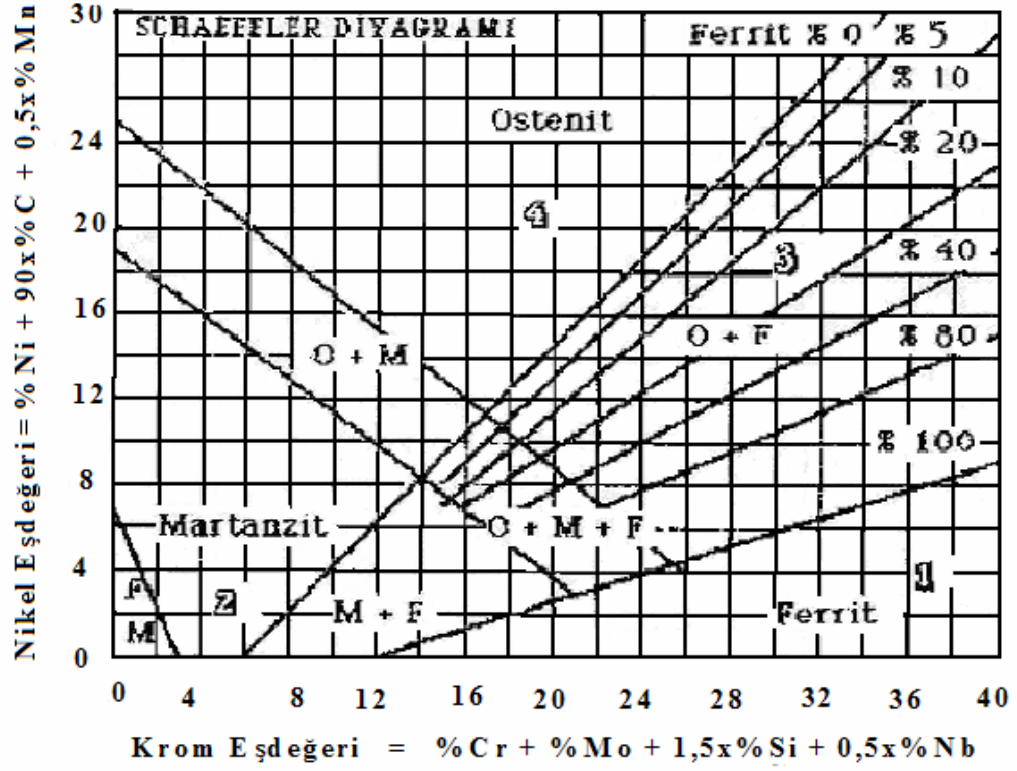
**Tablo 4.2** Değişik dökme demir türlerinin Brinel sertlikleri

<b>DÖKME DEMİR</b>	<b>SERTLİK BHN</b>
Feritik gri dökme demir	110 – 140
Östenitik demirler	140 – 160
Yumuşak gri demir	140 – 160
Perlitik demirler	160 – 220
Düşük alaşımı içeren perlitik demir	200 – 230
Temperlenmiş Martenzitik demirler	260 – 350
Martenzitik demirler	350 – 430
Beyaz dökme demir	280 – 500
Alaşımлы beyaz dökme demir	450 – 500
Martenzitik beyaz dökme demir	550 – 700
Nitrürlenmiş demir (sadece yüzeyi)	900 - 1000

Dökme demirlere % 0.1' in üstünde miktarlarda eklenen metalik elementler, alaşım elementleri olarak adlandırılırlar. % 3' e kadarki alaşım katkıları temel alınan demirin özelliklerini geliştirmek için yapılır. % 3 ila % 30 arasındaki alaşım elementleri katkıları ile özellikleri tamamen farklı dökme demirler üretilir. Bunlar Yüksek Alaşımлы Demirler olarak adlandırılır ve mükemmel aşınma, ısı ve korozyon direnci gibi özelliklere sahiptirler.

Alüminyum alaşımлы demirlerde, % 2' den % 22 'ye kadar alüminyum çok geniş aralıklarda çok ilginç özellikler gösterirler. Fakat bu alaşımlarla hatasız bir döküm yapmak çok zordur. Demirdeki silis oranı, oksidasyon ve korozyona karşı direnç sağlamak için normal seviyenin üstüne çıkarılabilir. Yüksek mangan içeriği aşınma direnci için kullanılır.

Alaşım elementlerinin miktarlarından yola çıkarak nikel ve krom eşdeğerini hesapladıktan sonra mikroyapıda oluşacak fazları schaeffler diyagramından tespit edebiliriz. Bu da istenilen mekanik özelliklerin sağlanabilmesi için kolaylık sağlamaktadır. İstenilen mekanik özellikleri sağlayacak mikroyapı tayin edildikten sonra bu mikroyapıyı oluşturacak alaşım elementi miktarları schaeffler diyagramından tespit edilebilir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Scaheffler diyagramı

## 5. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLER

Yüksek Kromlu demirlerde karbürlerin sertliği ve kararlılığı yüksek sıcaklıklarda mükemmel mekanik özellikler verir. Krom aralığı ile kullanım amaçlarına göre 3 gruba ayrılabilirler.

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

Artan karbon miktarı sonucu özgül ağırlıklarında düşme görülen beyaz dökme demirlerde, yapıda kalıntı ostenit artarsa, özgül ağırlık da artar. Genellikle özgül ağırlık  $7,5-7,8 \text{ g/cm}^3$  tür. Isıl genleşme katsayıları  $20 - 425^\circ \text{C}$  aralığı için  $13,5 - 18 \text{ } \mu\text{m/m}^\circ\text{C}$  mertebelerindedir. Elektrik direnci  $0,5 \text{ } \mu\Omega\text{m}$ , ısıl iletkenlikleri ise  $22 \text{ w/m}^\circ\text{K}$  civarındadır[6].

Tablo 5.1' de  $25 - 32 \text{ mm}$  kesitli yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirlerin çeşitli mekanik özellikleri verilmektedir [3].

Tablo 5.1' deki değerler çeşitli ısı ve mekanik işlemler sırasında oluşabilen çatlaklar sebebiyle geniş sapmalar gösterebilir. Bununla beraber bu değerler pratikteki verilerle uygunluk sağlamaktadır.

Normalde yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde mekanik testler sertlik testleri ile sınırlıdır. Sert ve kırılğan malzemeler için çekme testi numunesi hazırlanması zor ve pahalıdır. Numune elde edilmesi esnasında kırılmaya sebep olacak küçük çatlakların oluşma ihtimali bir hayli fazladır. Eğme testleri basittir. Fakat numunelerden elde edilecek sonuç ile gerçek döküm sonuçları arasında büyük farklılıklar oluşabilir.

Mikro yapı ve termal ortamdaki malzemenin birçok özellikleri hala detaylı olarak bilinmemektedir.

Sonuç olarak bu tür malzemelerin kalite kontrolleri, sertlik testi dışındaki diğer mekanik testlerle belirlenememektedir.

**Tablo 5.1** 25 – 32 mm kesitli yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirlerin mekanik özellikleri.

Koşullar (Matris)	Tür	% C	Sertlik			Çekme Özellikleri		Basma Özellikleri		Isl. Gen Katsayısı	
			HB	DPH	HRC	Muk. (N/mm <sup>2</sup> )	Modül (N/mm <sup>2</sup> )	Muk. (N/mm <sup>2</sup> )	Modül (N/mm <sup>2</sup> )	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

## 5.1 İçeriği

Krom, demir - karbon alaşımlarına atıldığı anda karbür yapıcı ve (östenit) fazını bastırıcı element olarak bilinir. Yüksek karbon yüzdeleri, krom açısından zengin karbürler oluşturur ve ostenitin kararlı olduğu alanları azaltır yada tamamen yok eder.

## 5.2 Mikroyapı

Yüksek Kromlu demirlerde döküm sonrası mikroyapı, krom açısından zengin ferritik matris içinde özellikle ötektik karbürlerden oluşur. Daha sonra ikincil karbürler matris içinde çöker.

Beyaz dökme demirlerin üstün aşınma direnci doğrudan mikro yapıların bir sonucudur. Mikroskobik ölçekte birçok aşınma prosesi, aşındırıcı tanelerinden birinin, metalin yüzeyine girmesi, deformasyon ve aşınma çizikleri oluşturması ve yüzeyden parçalar koparak gerçekleşir. Bunun kesme veya oyma gibi bir mekanik işleme benzediği

ve aşınma parçacıklarının talaşlı işleme talaşlarına benzediği görülür. Bu mekanizmanın gerçekleşebilmesi için aşındırıcı partikülün metalden sert olması gerekir. Partikül metalden yumuşaksa; proses, korozyon veya oksidasyona benzer ve sadece önemsiz bir miktarda aşınma oluşur. Tablo 5.3'de çeşitli minerallerin, karbürlerin ve matrislerin sertlikleri gösterilmektedir. Tablo 5.3; çoğu aşındırıcı minerallerde ana bileşen olan kuvarın bütün demir esaslı alaşımların matris yapılarından daha sert olduğunu ve bunları kolayca aşındırabileceğini göstermektedir.

### 5.2.1. Karbürler

Yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirler, mikro yapıda bulunan krom karbürlerin etkisiyle, mikro yapısında sementit içeren dökme demirlerden daha serttir ve aşınmaya daha dirençlidir. Yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirlerde mikro yapıda süreksiz ötektik karbürler ve ikincil karbürler olmak üzere iki çeşit karbür bulunmaktadır. Tablo 5.2'de mikro yapıda bulunan karbürlerin sertlikleri verilmektedir, karbürlerin sertlikleri bileşime göre değişmektedir[9].

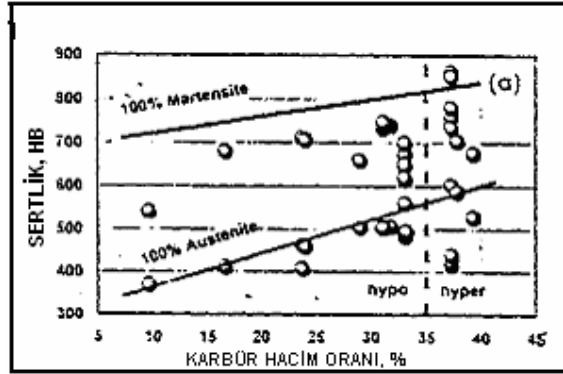
**Tablo 5.2** Yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirlerde mikroyapıda bulunan karbürlerin sertlikleri[3].

Karbür Tipi	Sertlik (HV)
M <sub>3</sub> C	840 – 1100
M <sub>7</sub> C <sub>3</sub>	1200 – 1800
M <sub>2</sub> C	1500

Karbürler mikro yapıda hacimce % 40 – 50 oranında bulunur. Bunun dışında kalan kısım matristir. Karbür oranı ile sertlik arasında doğru orantılı bir ilişki vardır [5].Şekil 5.1.'de karbür miktarındaki artış ile sertliğin arttığı görülmektedir.

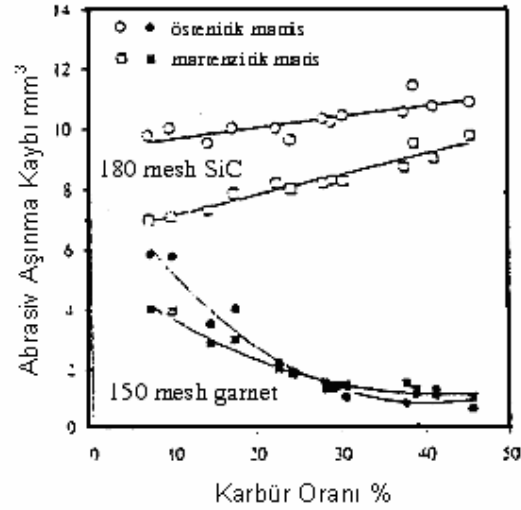
**Tablo 5.3** Çeşitli minerallerin, karbürlerin ve matrislerin sertlikleri [6,7].

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



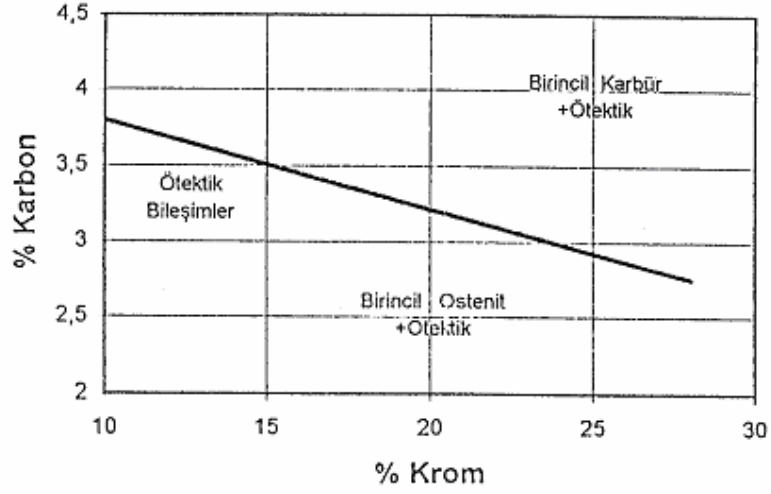
Şekil 5.1 Karbür hacim oranının (CVF) artışı ile sertliğin doğrusal olarak arttığını gösteren grafik[8].

Karbür oranı azaldıkça ağırlık kaybı artar. Ancak burada aşındırıcı parçacıkların büyüklüğü ile matrisin yapısı çok önemli bir etkidir[5]. Şekil 5.2 de karbür oranının abrasif aşınma kaybına etkisi görülmektedir.



Şekil 5.2. Karbür oranının abrasif aşınma kaybına etkisi [8].

Karbon miktarının artışı ile mikro yapıda bulunan karbür miktarı artar. Ötektik karbon miktarı aşıldığında çok kaba birincil karbürler oluşur (Şekil 5.3.) [3].

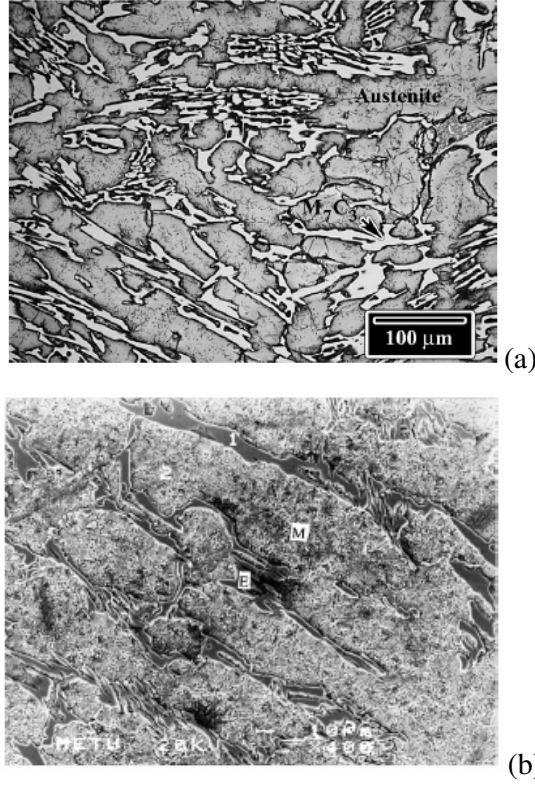


Şekil 5.3. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde krom ve karbon oranı arasındaki ilişki[3].

Mikro yapıda oluşan birincil karbürler gevrek yapıya sahiptir ve abrasif partiküllerin etkisi altında kırılmaya eğilimlidirler. Ötektik karbon miktarı % 15 kromda % 3,6, % 20 kromda % 3,2, % 25 kromda % 3 civarındadır. Diğer elementler bu miktarı değiştirirler. Özellikle silisyum bu miktarı azaltır[6].

### 5.2.2 Matris

Aşınma direnci ve tokluğun yüksek olabilmesi için beyaz dökme demirin mikro yapısında uygun karbür ve matrisin bulunması gereklidir. Matris için yapılabilecek optimum seçim ikincil karbürlerde sertleştirilmiş yüksek karbonlu sert martenzittir. Diğer bir alternatif ise ısı işlemlerle sertleştirilebilen kararsız östenittir. Şekil 5.4' de martenzit ve östenit matrisli mikro yapı fotoğrafları verilmektedir [17].

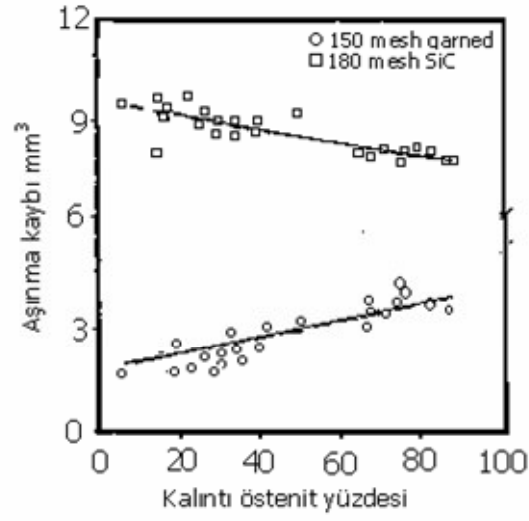


**Şekil 5.4** Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde (a). Östenit [17] ve (b). Martenzit [17], matrislerine ait mikro yapı fotoğrafları.

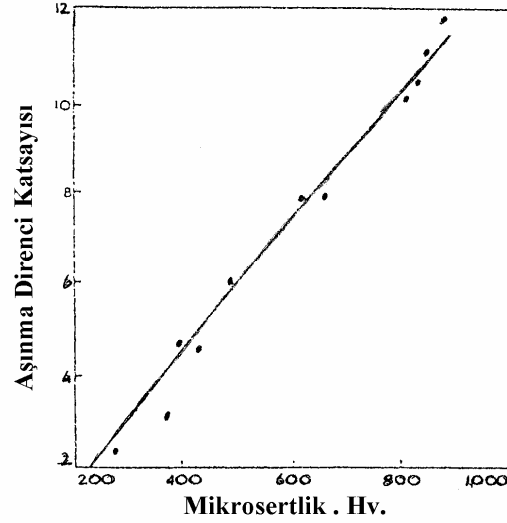
Karbon artışı ile birlikte martenzitin aşınma direnci artar. Isıl işlem sonucu martenzitik matrise dağılan ikincil karbürler aşınma direncinde artışa sebep olurlar. Temperleme ile aşınma direnci düşmektedir.

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde karbürler matris içinde dağılmışlardır. Matris yumuşak olduğunda aşınır ve karbürler matristen kopar. Bu durumda karbürlerin aşınma dirençlerinin yalnızca bir kısmından yararlanılabilmiş olunur. Şekil 5.5' de kalıntı östenit miktarı ile aşınma direnci arasındaki ilişki verilmektedir.

Matrisin önemi Şekil 5.6'da açıkça görülebilir. Matris yumuşak olursa karbürlerin kırılma eğilimi yüksek ve aşınma direnci daha düşük olur. Matris yumuşadıkça akma noktası düşmektedir. Yumuşak matris, sürtünme sırasında oluşan mekanik gerilmelere karşı karbürlere gerekli desteği sağlayamaz. Sonuçta karbürler kırılır. Bu nedenle mikroyapıdaki perlit varlığı da önemlidir. Beyaz dökme demirlerde mikro yapıda bulunan perlit miktarı % 10'u aştığı zaman aşınma direnci düşmektedir [3].



Şekil 5.5 Kalıntı östenit yüzdesi ile aşınma direnci arasındaki ilişki [6].



Şekil 5.6 Yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirlerde matris mikro sertliğinin (HV-50) aşınma direncine etkisi [6,7].

Östenitik yapıdaki yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirler % 12 Mn içeren Hadfield çeliği gibi aşınma esnasında oluşan gerilmelerin etkisiyle deformasyon sertleşmesine uğrayabilir. Ancak mekanik gerilmelerle sertleşebilen östenitik matrisin, martenzitik matris kadar aşınmaya dirençli olmadığı Tablo 5.4'de görülebilir.

**Tablo 5.4** Yüksek krom-molibdenli beyaz dökme demirlerde matris yapısının aşınma kaybına etkisi[6].

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

Tablo 5.4'deki sıralama endüstriyel olarak birçok kırma ve öğütme operasyonundaki pratik bilgilerle doğrulanmaktadır.

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

Bununla birlikte Turenne, Lavellee ve Masounave isimli araştırmacılar ostenitik matrise sahip yüksek kromlu beyaz dökme demirin aşınma sırasında oluşan deformasyon sertleşmesi nedeniyle martenzitik matrise sahip beyaz dökme demirden daha iyi aşınma direncine sahip olduğunu iddia etmişlerdir.

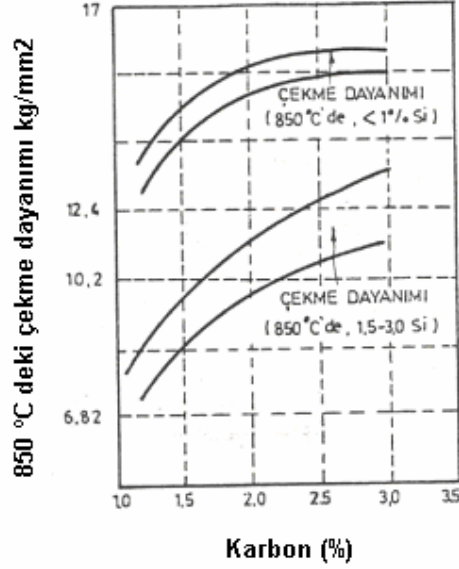
### 5.3 Çekme dayanımı

Değişik Karbon ve Krom değerlerinde çekme dayanımında büyük değişiklikler olabilir (Tablo 5.5).

**Tablo 5.5** Yüksek kromlu beyaz dökme demirde farklı Cr oranlarında çekme dayanım değerleri

Cr oranı (%)	Çekme Dayanımı (kg/mm <sup>2</sup> )
17 Cr	16-26
25 Cr	14-23
33 Cr	18-21

Tane inceltmesi çekme dayanımını iyileştirir. 30 % Cr için bir deneme sonunda çekme dayanımı 23 kg/mm<sup>2</sup>' den 28 kg/mm<sup>2</sup>' ye kadar çıkmıştır. Karbonun çekme dayanımına etkisi Şekil 5.7' da gösterilmiştir. Buna göre dayanımın artması yapı içindeki karbürün artmasına bağlıdır[10].



Şekil 5.7 17-18 % Cr içeren demirlerde karbon oranının yüksek sıcaklıklarda çekme dayanımına olan etkisi

#### 5.4 Isı direnci

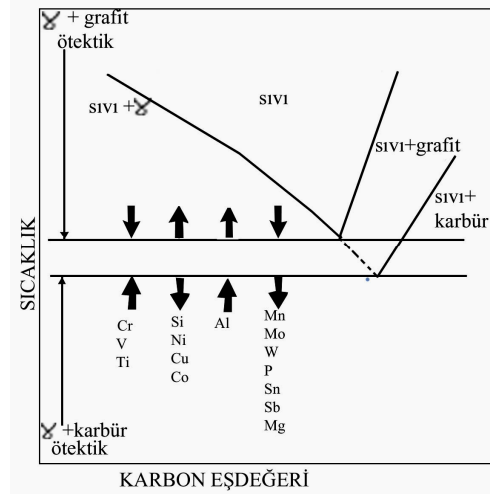
Yüksek kromlu demirlerin mükemmel ısı direnci, yüzeyde bir oksit tabakası oluşması ve bu tabakanın daha ileriki oksitlenmeyi azaltması ve Demir-Krom karbürlerin yüksek sıcaklıklarda bile bozulmayan kararlılığından gelmektedir.

Yapılan denemeler sonucunda % 12 Cr 840 - 850 °C' ye kadar başarılı, % 15-17 Cr 900 °C' ye kadar başarılı, % 25 Cr 980 °C' ye kadar başarılı, % 33 Cr 1050 °C' ye kadar başarılı bir şekilde kullanılmaktadır[3].

#### 5.5 Alaşım Elementlerinin Özelliklere Etkisi

Birçok dökme demir tipinde alaşım elementlerinin (karbon ve silisyum da dahil) birbirlerinden etkilenmelerinden dolayı dökme demirlerin özelliklerine etkileri büyüktür. Alaşım elementleri grafitin ve karbürlerin şekil ve miktarını etkiler[2].

Mesela; çil derinliği ve dökme demirin beyazlaşma eğilimi büyük oranda karbon eşdeğeri ve karbon – silisyum oranına bağlı olarak değişir. Mn, Cr, Mo, Ni ve V gibi alaşım elementleri ise temel eğilimi yönlendirmek için ilave edilmektedir (Şekil 5.8). Beyaz dökme demirlerde optimum kimyasal bileşim ayarlaması; malzemenin beklenen hizmet özellikleri dikkate alınarak, maliyet, ısıl işlem, parça boyutu ve kompleksliği gibi üretim parametrelerine göre yapılır. Beyaz dökme demirlerde istenen mikro yapı ve aşınma direncini sağlayabilmek için C, Mn, Si, Cr, Mo, Ni ve V gibi alaşım elementleri uygun kombinasyonlar şeklinde ilave edilirler[2].



Şekil 5.8 Grafit ve karbür Ötektik sıcaklıkları üzerine alaşım elementlerinin etkisi[5].

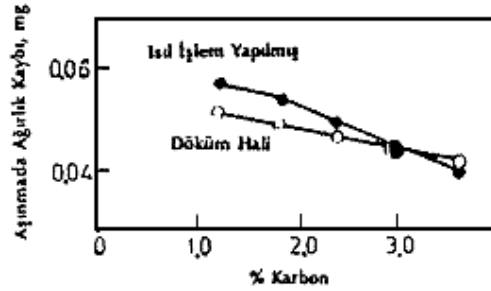
Cr, V ve Ti' un miktarındaki artış ile karbür ötektiği yukarı, grafit ötektiği aşağı doğru hareket eder. Böylece Cr, V ve Ti alaşım elementlerinin eklenmesi, karbür oluşumunu tetikler ve grafit oluşumunu engeller (Şekil5.8).

### 5.5.1. Karbon

Kromlu demirlerde karbonun temel etkisi karbür oluşturmaktır. Karbon, ötektik karbon miktarını da kontrol ettiği için malzemenin sertliğinin belirlenmesinde önemlidir. Maksimum ısı ve korozyon direnci gereken yerlerdeki maksimum krom miktarı matris içinde gereklidir. Bu durumlarda karbon içeriğini % 1.2-1.8 arasında tutmak gerekir. Yenme direnci olan malzeme gerektiğinde karbon içeriği % 2.7-2.8 ve krom miktarı % 26-28 ötektik kompozisyonu verir.

Karbon, karbür oluşturması ile beyaz dökme demirin sertliğini arttırır. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde karbür oluşumu en önemli etkendir. Karbon içeriği %15 Cr için % 2.2 – 3.5, %27 Cr için % 2.2 – 2.7 civarındadır.

Beyaz dökme demirde, karbon artışı kırılğanlığı arttırır ve özellikle mukavemeti düşürür. Diğer alaşım elementlerini sabit kaldığı düşünülürse, karbon artışı sertliği arttırdığı için aşınma direncinin de arttırmaktadır (Şekil5.9).

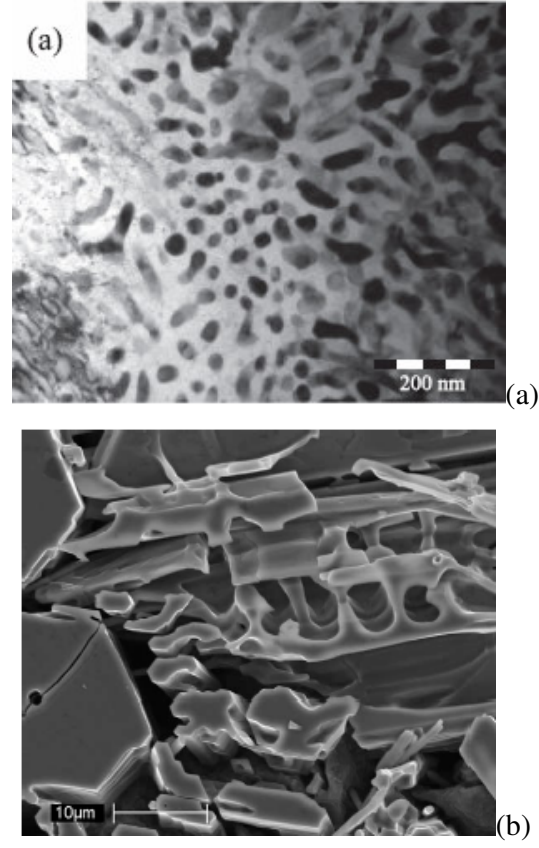


Şekil 5.9 Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde Karbonun aşınma direncine etkisi[8].

### 5.5.2 Krom

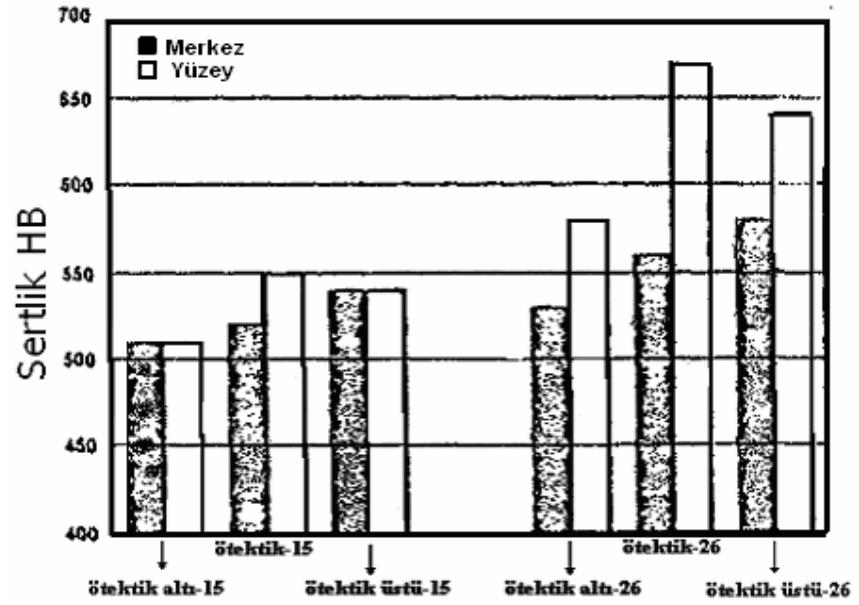
Aşınmaya dirençli yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde krom; kararlı karbür yapısı oluşturup, sertlik ve aşınma direncinin arttırılması için kullanılır (Şekil 5.10).

Beyaz dökme demirde krom miktarı % 10'u geçtiği zaman  $M_7C_3$  tipi ötektik karbürler oluşur. Krom içeriği % 10'dan daha az olan alaşımlarda  $M_3C$  karbürleri oluşur[16]. Krom aynı zamanda beyaz dökme demirin korozyon direncini de arttırır. % 12 – 22 Cr içeren beyaz dökme demirlerin martenzitik yapıda en iyi aşınma direncini gösteren alaşım olduğu görülmektedir. Cr miktarındaki artış ile sertliğinde arttığı Şekil 5.11' de görülmektedir.



Şekil 5.10 Farklı bileşimlerdeki krom karbürlerin mikro yapı fotoğrafları[16].

(a)  $(Fe,Cr)_{23}C_6$  ve (b)  $(Fe,Cr)_7C_3$



Şekil 5.11 Sertlik ölçümünün yeri ve Cr miktarına bağlı olarak sertlikteki değişim[16].

En çok sertlik farkı ( yaklaşık 110HB) %26 Cr içeren ötektik yapılı beyaz dökme demirde görülmektedir[16].

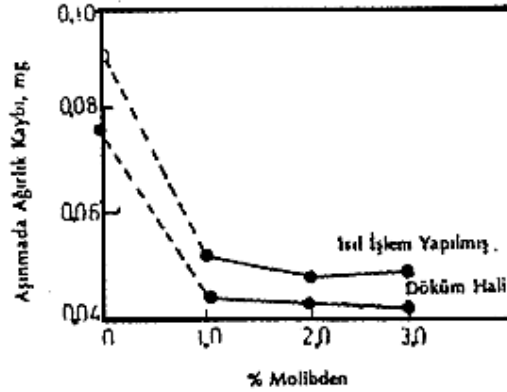
Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde krom yalnız başına kullanıldığında perlit oluşumunu önleyemediğinden, yeterli sertleşebilirliği sağlayabilmek için Mn, Ni, Mo gibi elementler ile birlikte kullanılır.

### 5.5.3. Molibden

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

Molibden, perlit oluşumunu önler. Martenzitik beyaz dökme demirlerde % 0,5 – 3 Mo perlit oluşumunu önler. % 0,5 – 3 Mo ile birlikte Cu, Ni, Cr veya Ni ve Cr'un birlikte ilavesi diğer yüksek sıcaklık dönüşümlerini önler. % 12 – 18 Cr'lu beyaz dökme demirlerde, %1–4 Mo kullanımı, yavaş soğuyan kalın kesitlerde dahi perlit oluşumunu önleyebilir.

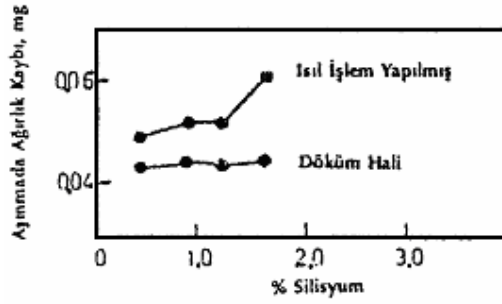
Molibdenin Cu, Ni ve Mn'a göre üstün olan en önemli özelliği ise; kalıntı ostenite neden olmadan sertleşebilirliği arttırmasıdır. Mo, aynı zamanda beyaz dökme demirin aşınma direncini de arttırmaktadır (Şekil 5.12) [8].



Şekil 5.12 Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde Mo' nin aşınma direncine etkisi[8].

### 5.5.4. Silisyum

Silis, Yüksek kromlu Demirlere 1 % ile 3 % arasında değişen oranlarda eklenir. Miktar, demirin uygulama alanı ile silisin temel etkisi göz önünde bulundurularak hesaplanır. Silisyum yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin sertleşebilirliğinde olumsuz rol oynar. Silisyum oranı arttıkça ısı işlem görmüş beyaz dökme demirin aşınma direnci azalır (Şekil 5.13).



Şekil 5.13 Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde Si' un aşınma direncine etkisi[8].

Mikro yapıda yeterli oranda Mn, Ni, Mo ve Cr gibi perlit oluşumunu önleyen elementler olursa silisyum artışı ile  $M_s$  sıcaklığı yükselir. Silisyum içeriği yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde % 0,4 – 0,9 arasında olmalıdır. Silisyum ayrıca mikro yapıdaki karbür yapısını değiştirir.

Silisyum mikro yapıdaki karbür çekirdeklerinin artışına sebep olur ve daha ince yapıli karbürler oluşturur. Silisyum ilavesi ile karbürler süreksiz ince taneli bloklar veya çubuklar haline gelir. Bunun sonucunda karbürler arası mesafe azalır. Bu durumda karbürler matrisi aşınmadan korur ve malzeme yüksek aşınma direnci gösterir. Yeterli derecede silisyum içeriği tokluğu % 30 arttırır. Ancak fazla miktarda silisyum ilavesi perlit oluşma ihtimalini yükseltip matrisi zayıflatır. Bundan dolayı darbe direnci ile birlikte aşınma direnci de düşer.

#### 5.5.5. Bakır

Bakır yüksek kromlu beyaz dökme demirlere perlit oluşumunun önlenmesi için ilave edilir. Bakırın ostenit fazında çözünürlüğü kısıtlı olduğundan, kullanımı % 2,5 ile sınırlandırılır. Bakır genelde molibdenle birlikte kullanılır. Maksimum % 1,2 veya daha az bakır; % 0,5 – 2 molibden ile birlikte kullanıldığında perlit oluşumunu önler [7].

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde % 2 molibden ile birlikte % 1 bakır ilavesi ile elde edilen sertleşebilirlik, sadece % 3 molibden ilavesi ile elde edilen sertleşebilirlikten daha fazladır.

#### 5.5.6. Fosfor

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

### 5.5.7. Kükürt

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde kükürt içeriği çok düşük olmalıdır. Optimum aşınma direnci istendiği için kükürt miktarı maksimum % 0,03'tür. Bu değer üzerinde mikro yapıda yer alan kükürt, aşınma direncinin olumsuz etkiler[3].

### 5.5.8. Mangan

Mangan perlit oluşumunu önlemek için ilave edilir. Mn içeriği % 0,7'nin altında olmalıdır. Beyaz dökme demirlerde Mn içeriği % 1,5'i aştığı zaman tokluk, mukavemet ve aşınma direnci düşer.

### 5.5.9. Nikel

Aşınma dirençli demirlerde, Nikel östeniti kararlı hale getirici etkisinden dolayı minimuma indirilebilir, fakat ısı dirençli demirlerde tokluğu iyileştirmek için atılabilir.

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde nikel perlit oluşumunun önlenmesi için ilave edilir. Genellikle nikel miktarı % 0,2 – 1,5 arasındadır. Ayrıca nikel sertleşebilirliği de artırır[3].

### 5.5.10. Bor

Bor da silisyum gibi mikro yapıdaki karbür morfolojisini etkiler. Bor mikro yapıdaki karbürleri inceltir ve sürekli iğneler şekline getirir. Bunun sonucunda aşınma direnci artar. Bu durum, bor miktarı % 0,12 – 0,3 arasında olduğunda geçerlidir. Bu limitler arasında bor ilavesiyle darbe direnci de % 20 artar.

Bor miktarının artmasıyla birincil karbürler oluşabilir. Bu yüzden bor ilavesi % 0,57 oranıyla sınırlıdır.

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

### 5.5.11. Niyobyum

Nb kuvvetli bir karbür yapıcı elementtir. % 0,01 – 0,5 oranında Nb'un; dökme demirlerin mekanik özelliklerini ve aşınma direncini arttırdığı bilinmektedir. % 3'e kadar Nb; % 15,6 – 27,7 Cr ve % 2,9 – 3,2 C içeren dökme demirlerin aşınma direncini arttırabilir.

Nb ilavesi yapıyı inceltir. İnce taneli yapı da; demirin aşınma direncini artırır. Nb ilavesiyle ötektik nokta sağa doğru kayar. Böylece demir; gevrek kaba taneli birincil karbür görülmeksizin daha fazla karbon içerebilir.

### **5.5.12. Vanadyum**

Vanadyum, mikro yapıda karbür oluşturu element olarak yer alır. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlere düşük miktarlarda (yaklaşık % 0,5) vanadyum ilavesi aşınma direncini düşürür. Aşınma direncinin düşmesi; vanadyumun krom karbürlerde yoğun olarak çözünüp krom karbürlerin gevrekliğini arttırmasından dolayıdır. Vanadyumun % 3'e kadar artması durumunda, vanadyum karbürlerin (VC) oluşması sebebiyle aşınma direncinden kısmi bir artışın olduğu görülür.

### **5.5.13. Titanyum**

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde % 0,03 – 0,3 oranlarında titanyum ilavesi yapıdaki birincil ve ötektik karbürleri küreleştirme eğilimi gösterir. Ti oranının arttırılması ile TiC miktarı da artar. Yüksek sıcaklıklarda birincil ve ötektik karbürler olarak çekirdeklenmiş birçok ince TiC partikülü çökeler. Bu pek çok çekirdeklenme serbest dentritik, çubuğumsu veya taç yaprağı şeklinde karbür büyümesini bastırır. Bu da mekanik özelliklere, özellikle de toklukta düzelme sağlar. Ti oranının artması ile ötektik karbür oranı düşer ve matris mikro sertliği ile yüzey sertliği artar[17].

### **5.5.14. Nadir Toprak Elementleri**

Seryum, lantan ve neodim gibi nadir toprak elementleri; % 18 Cr içeren beyaz dökme demirlerin mikro yapı karakteristiklerini değiştirebilmekte ve mekanik özelliklerini düzeltmektedirler. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde optimum seryum, lantan ve neodim içeriği % 0,13 – 0,26 arasındadır. Bu alaşımların aşınma direnci, hiç nadir toprak elementi içermeyen temel alaşıma göre % 10 daha iyidir ve kırılma tokluğunda hiçbir değişim yoktur.

Azot ve Titanyum'un tane inceltme etkileri araştırmacılar tarafından doğrulanmıştır. Tane inceltmesinde optimum değerler 0.2 % N ve 0.18 Ti olarak bulunmuştur. Tane incilmesi olduğu zaman Çekme Dayanımı artar.

## **5.6 Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin Uygulama Alanları**

Yüksek krom – molibden içeren beyaz dökme demirlerdeki üstün aşınma direnci ve tokluk, bu malzemelerin aşınmaya maruz birçok uygulamada kullanılmasının nedenidir. En başarılı uygulamalardan biri darbe çubukları ve darbeli kırıcıların dövücü bloklarıdır. Yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirler için aynı aşındırma şartlarında başarılı uygulamalar; çeşitli şahmerdanlar, bazı çekiçler ve küçük çeneli kırıcılar için aşındırma

plakalarıdır. Dövcü parçalar çok yüksek aşınma etkileri altında çatlamakta ve genellikle en iyi sonuçlar martenzitik yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde elde edilmektedir[3].

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

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

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

## 6. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERİN AŞINMA DİRENCİ

### 6.1. Abrasif Aşınmanın Tanımı

Aşınma, bir yüzeyden diğer bir yüzeye malzeme transferi veya aşınma parçalarının oluşumu neticesinde ortaya çıkan malzeme kaybıdır. DIN 50320’de aşınma; “kullanılan malzeme yüzeylerinden mekanik sebeplerle ufak parçaların ayrılması suretiyle meydana gelen değişiklik” olarak tanımlanmaktadır. Benzer şekildeki bir aşınma tanımı da aşınma ve erozyonla ilgili terminolojiyi içeren ASTM G-40-93 standartlarında verilmektedir. Bu tanımlamalara göre makine parçalarının yüzeylerinin taşlanması, parlatılması veya elemanların birbirlerine alıştırılması işlemlerini aşınma olayı olarak incelemek gerekir. Çünkü bu olaylardaki yüzey değişiklikleri uygulayıcı tarafından bilinerek ve istenerek yapılan bir işlem olduğundan bunlar birer aşınma olayı olarak değil bir işleme veya talaşlı şekillendirme olayı olarak kabul edilmelidir.

Aşınma türlerinden biri olan abrasif aşınma yırtılma veya çizilme aşınması olarak da isimlendirilir ve sistemde hasara neden olan önemli bir aşınma türüdür. Abrasif aşınma; biri diğerinden daha sert ve pürüzlü olan metal yüzeylerinin birbiriyle temas halindeyken kayma sırasında meydana gelir.

Abrasif aşınma bir gerilim sonucu oluşur. Gerilimlerin başlıca kaynağı sertlik ve hızdır. Metal olmayan malzemelerin sebep olduğu aşınma genellikle çizilme şeklindedir.

Sert parçacıkların yumuşak metale batması abrasif aşınmaya sebep olabilmektedir. Bu mekanizmaya örnek olarak, sisteme dışarıdan giren toz parçacıklarının veya bir motorda oluşan yanma ürünlerinin sebep olduğu aşınma tarzı verilebilir.

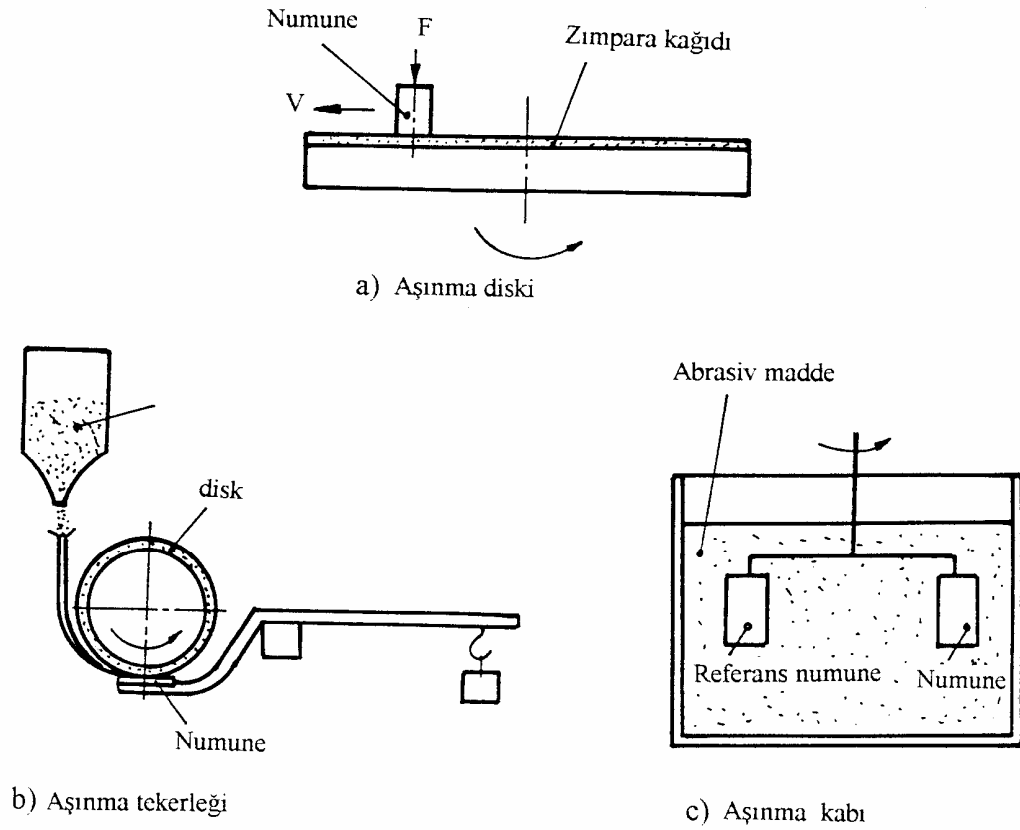
Abrasif aşınma hızı malzeme yüzeyine etki eden yük azaltılarak düşürülebilir. Böylece parçacıkların yüzeye daha az batması ve çapak kaldırılması sırasında daha az iz bırakması sağlanır. Malzeme açısından abrasif aşınmayı azaltmak için;

- Daha sert alaşım kullanmak,
- Sertlik arttırmak amacıyla ısıl işlem uygulamak,
- Malzeme yüzeyini sert bir tabaka ile kaplamak,

tavsiye edilir. Bu önlemlerle abrasif aşınma hızını azaltmak mümkündür.

## 6.2. Aşınma Deneyleri ve Ölçüm Yöntemleri

Aşınma, endüstrinin hemen hemen her alanında karşılaşılan önemli bir problemdir. Makine sanayinde makine parçalarının aşınması ve maden sanayinde madenlerin öğütülmesinde kullanılan bilyelerin ve öğütme çubuklarının aşınması örnek olarak verilebilir. Aşınmanın yarattığı ekonomik kayıpları asgari düzeye indirebilmek amacıyla sürekli araştırmalar yapılmaktadır. Aşınmaya maruz kalan parçalar, aşınma direnci yüksek malzemeler olarak üretilir ve kullanılırlar. Aşınma deneyleri için laboratuarlarda çok değişik aşınma deney cihazları kullanılmaktadır. Abrasif aşınma test cihazlarının bazıları Şekil 6.1’de görülmektedir.



Şekil 6.1 Abrasif aşınma test yöntemleri.

Aşınma deneylerinde kullanılan ölçüm yöntemleri şunlardır;

1. Ağırlık farkı metodu
2. Kalınlık farkı metodu
3. İz değişim metodu
4. Radyoizotop metodu

Ekonomik olması ve ölçülen büyüklüğün, alet duyarlılık kapasitesi dahilinde bulunması sebebiyle en çok kullanılan yöntem ağırlık farkı metodudur. Deney numunelerinin her ölçümü için numunenin yerinden çıkartılıp ölçme yapılması, yani numune yerindeyken üzerinden ölçü alınmaması bu yöntemin dezavantajıdır. Ağırlık kaybının ölçülmesi  $10^{-4}$  veya  $10^{-5}$  hassasiyeti bir terazi yardımıyla yapılır.

### 6.3. Beyaz Dökme Demirlerde Aşınma

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin artan uygulama alanları ve pazar payı, üstün darbe direnci ve aşınma direncine dayanmaktadır. Ayrıca bazen tavlandıktan sonraki işleme imkânı da bir avantajdır.

Tablo 6.1’de çeşitli malzemelerin öğütme ve oyuklayıcı aşınma altındaki performansları, tokluklarına dayanılarak verilmektedir.

**Tablo 6.1** Çeşitli malzemelerin öğütme ve oyuklayıcı aşınma altındaki performansları[6].

MALZEME	TOKLUK SIRASI	BAĞIL AŞINMA KAYBI	
		OYMA AŞINMASI	ÖĞÜTME AŞINMASI
Östenitik Mn Çeliği ( % 12 Mn)	1	0,34 – 0,19	138 - 142
Martenzitik az Alaşımlı Çelik (% 0,3 – 0,6 C)	2	0,28 – 0,15	126 114
Östenitik Mn Çeliği (% 6 Mn )	3	0,25 – 0,17	114 - 120
Cr / Mo Çeliği (% 0,7 C), Su verilmiş+Temperlenmiş	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 Alaşımlı Cr / Ni D.D.	8	-	105 - 116
Perlitik Çil Uygulanmış D.D.	9	~ 0,4	185 - 200

Mikro yapıdaki karbürlerin hacim oranı ve morfolojisi çok önemlidir. Genellikle mikro yapıdaki karbür oranı arttıkça aşınma direnci artmaktadır. Bununla birlikte karbürlerin aşınma direncini etkilemeleri için matrisin, çatlayan ve deforme olan karbürleri yeterli kuvvetle yerinde tutması gerekir.

Beyaz dökme demirlerin aşınmasında çeşitli mekanizmalar rol oynayabilir. Bu mekanizmaları şu şekilde sıralamak mümkündür.

1. Sadece matris ya da matrisle birlikte karbürlerin de kesme ile aşınması,
2. Matrisin yorulma sonucu aşınması,
3. Matrisin plastik deformasyon sonucunda aşınması,
4. Karbürlerde kesme ya da plastik deformasyon sonucu mikro çatlaklar oluşması ve çatlayan karbürlerin kopması,
5. Karbürlerin yorulma nedeniyle çatlayıp kopması

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin yüzeyindeki karbürlerin abrasif aşınma şartlarına karşı davranışı aşınma yüzeyi ve aşınma yönüne göre karbürlerin dizilimine bağlı olarak farklılık gösterir. Karbür çubuklarının uzun eksenini aşınma yüzeyine paralel olduğunda, yüksek kromlu beyaz dökme demirler, karbürlerin uzun eksenini yüksek gerilmeli abrasif aşınma şartları altında aşınma yüzeyine dik olduğu durumdakinden daha yüksek aşınma direncine sahip olurlar.

Yüksek krom – molibdenli beyaz dökme demirler bileşimindeki krom içeriği nedeniyle iyi bir korozyon direncine sahiptirler. Mikroyapıdaki sert ötektik karbürler mükemmel aşınma direncinin nedenidir. Molibden ise perlit oluşumunu önleyerek ve sertleşebilirliği artırarak aşınma direncine katkıda bulunur.

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlere Nb, B, Ce, La, Nd gibi elementler alaşımlayıcı olarak katıldıklarında, dökme demirin aşınma davranışını etkilerler.

Son derece sert karbürler oluşturduğundan ve yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin (% 15 Cr) matris sertliğini arttırmasından dolayı niyobyum ilavesi yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin aşınma direncini arttırır. NbC' ün morfolojisi blok-çengel şeklindedir. Bu şekildeki karbürler matris içinde sıkıca tutunabilirler.

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde (% 28 Cr) bor ilavesi; karbürlerin hacim oranını arttırır ve karbürleri daha sert yapar, döküm halinde karbürleri kalınlaştırır ve martensit oluşumunu ilerletir. % 0,2 B ilavesi, 1050°C'dan havada su verme şartlarında iki elemanlı abrasif aşınma durumunda aşınma direncine önemli miktarda yardım eder.

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlere % 0,3'e kadar titanyum ilavesi yapıdaki VC ve NbC' lerin şeklini değiştirir. Yüksek sıcaklıklarda birincil ve ötektik karbürler olarak çekirdeklenmiş birçok ince TiC çökeler.

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde Ce, La ve Nd elementlerinin içeriği arttırıldığında,  $M_7C_3$  karbürlerinin hacim oranı azalmasına rağmen, bu elementlerin içeriği %0,26' yı aşmamak şartıyla aşınma direncini artırır.

#### **6.4. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerde Abrasif Aşınmayı Etkileyen Faktörler**

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

##### **6.4.1. Karbür Yapısının Abrasif Aşınmaya Etkisi**

Karbür miktarı arttıkça, darbe şartları olmadığı durumda aşınma direnci de artar. Aşındırıcının sertliği de karbür etkisi bakımından önemlidir.  $M_7C_3$  karbürlerinin sertliğinden (1200-1800 HV) daha düşük aşındırıcılar kullanılırsa en yüksek aşınma mukavemeti %40-50 karbür oranında elde edilir. Fakat aşındırıcılar daha sert olursa bu oran %30 civarına düşer. Pearce çalışmalarında, plaka şeklinde olan  $M_3C$  karbürleri ile ince  $M_7C_3$  karbür çubuklarının kırılmadan aşınma yönünde plastik deformasyona uğradıklarını gözlemlemiştir (Dikeç 1971). Diğer bir çalışmada da karbürler arası uzaklık azaldıkça veya östenit taneleri küçüldükçe aşınma mukavemetinin arttığını gözlemlemiştir.

Birbirine yakın yerleşmiş karbürler, matrisin desteklenmesi ve matrisin plastik deformasyon kabiliyetini azaltması nedeniyle abrasif aşınma direnci üzerine faydalı bir etkiye sahiptir. Örneğin karbürlerin aşındırıcılara direnç gösterecek kadar sert olduğunu düşünürsek ve aşındırıcıların, komşu iki karbür arasındaki matris fazına batacak kadar küçük, sert ve keskince olduğu kabul edilirse malzemenin aşınma mekanizması, büyük oranda matris fazı ile kontrol edilecektir. Eğer matris fazı kolayca abrasif aşınmaya maruz kalıyorsa ve karbür/matris ara yüzeyindeki bağ zayıf ise karbürlere destek azalacaktır. Diğer bir deyişle karbür/matris bağları zayıfsa ve ara yüzeyde yerel gerilmeler çatlak başlangıcına sebep olursa, partikül kopması kaçınılmaz olur.

Diğer taraftan eğer aşındırıcı partiküller komşu iki karbürün arasındaki matris fazına batacak kadar küçük değilse, aşınma hızı karbürlerin kopma hızına bağlı olacaktır. Böyle bir

durumda karbür ve aşındırıcının sertliği, karbür boyutu, karbür hacim oranı ve aşındırıcı tipi daha az önemlidir (Çelik, 1991).

#### **6.4.2. Matris Yapısının Abrasif Aşınmaya Etkisi**

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde matris, sert ötektik  $M_7C_3$  tipi karbürleri yerinde tutar. Matris aşınırsa desteksiz kalan karbürler gerilmeler altında kırılır. Kırılan karbürler bazı durumlarda yumuşak matrise gömülerek sert bir yüzey tabakası oluşturur. Bu durum özellikle ferritik matriste etkin olmaktadır.

Gundlach (1993) ve Diesburg (1974) tarafından yapılan araştırmalar, yüksek gerilmeli şartlarda beyaz dökme demirlerin (%17,5 Cr-%3C) aşınma direncinin, matris tarafından ötektik karbürlere verilen desteğin seviyesine bağlı olduğunu ve martensitik matrisli yapıların, ostenitik veya perlitik matrisli yapılara göre daha büyük aşınma direnci gösterdiklerini kanıtlamıştır. Benzer görüşler diğer araştırmacılar tarafından da ileri sürülmüştür[20].

Perlitik matris en düşük aşınma direncine sahip olduğu için beyaz dökme demirlerde perlitik yapı istenmez.

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

Aşınmaya sebep olan gerilmeler yüksek olursa martensitik yapı ostenitik yapıya göre iki üç kat daha iyi aşınma direnci gösterir. Martensitik yapı ostenitleme işlemi ile sağlandığı için bu işlem sırasındaki reaksiyonlar martensitin yapısı açısından önemlidir.

Ms sıcaklığını aşırı düşürecek bir işlem martensitik karbonunu azaltıp sertliğini düşüreceği gibi aşınma direncini de düşürür. Ms sıcaklığı ile beraber Mf sıcaklığı da düşeceği için mikroyapıdaki kalıntı ostenit miktarı artar, sertlik düşer. Yüksek gerilmeler altında ostenit martensite dönüşerek hacimsel genleşmelerin oluşmasına ve bunun sonucu oluşan gerilmeler sebebiyle mikro çatlaklara yol açar.

## 7. YÜKSEK KROMLU DÖKME DEMİRLERDE DARBE DİRENCİ

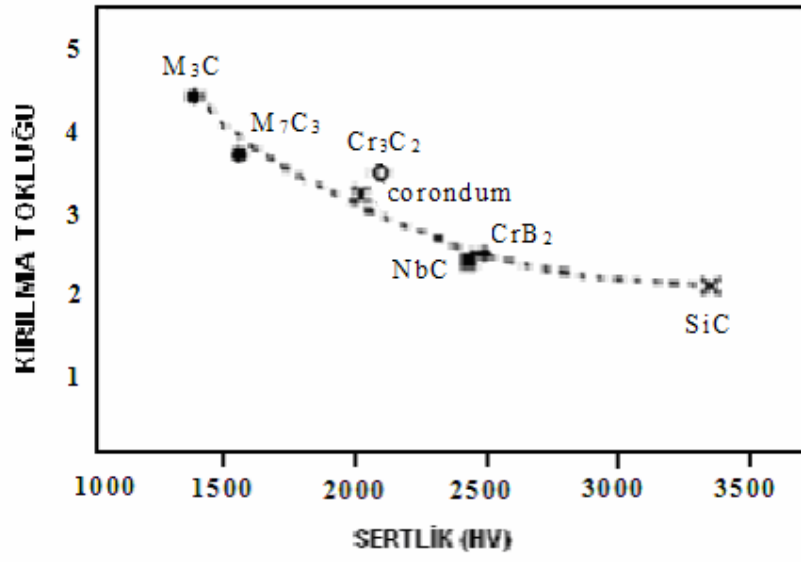
Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde darbe testi çok şey ifade etmemektedir. Çünkü darbe enerjisi sürtünme ve kırılma esnasındaki parçaların ayrılması ile açığa çıkan enerjiye eşdeğerdir. Ancak AFS özel Fe komitesi, hazırladıkları büyük boyuttaki (50x50x180mm) (5-D) darbe çubuklarının darbe direncinin tayininde başarılı olduğunu ve bu çubuklar kullanılarak farklı ısıl işlemlerle, farklı karbür yüzdesine sahip ve farklı matristeki dökme demirlerin darbe dirençlerini iyi bir şekilde tespit edildiğini savunmuşlardır[5].

Çentikli veya çentiksiz numunelere yapılan darbe deneyleri, yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin, az alaşımlı beyaz dökme demirlerden daha tok olduğunu gösterir. Mesela 30 mm' lik çentiksiz izod deney çubukları az alaşımlı beyaz dökme demirde 22-58 joule darbe enerji verirken, yüksek alaşımlı beyaz dökme demirde 52-87 joule darbe enerjisi vermektedir.

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde döküm sıcaklığının üzerinde bir ısıtma (süper ısıtma) yapıldığında, darbe tokluğunda değişimler gözlenmiştir. Süper ısıtma, ötektik altı alaşımlarda olumsuz bir etki oluştururken, ötektik üstü alaşımlarda çok iyi sonuçlar vermiştir. Ötektik alaşımların darbe tokluğunu ise çok az arttırdığı tespit edilmiştir[5].

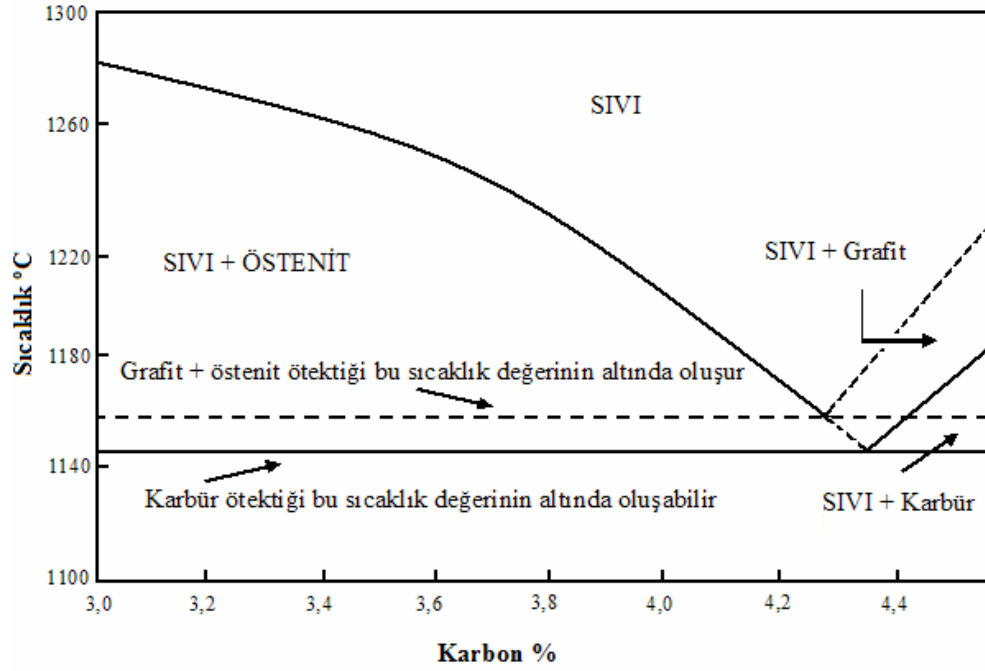
Tokluk özellikle kırma ve öğütme işlemlerinde kazaları önleyici bir faktör olduğundan çok önemlidir.

Son yıllarda kırılma tokluğu ölçümü yüksek kromlu beyaz dökme demirlere başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Karbon artışı ile martenzitik beyaz dökme demirlerin kırılma tokluğu azalır. Ayrıca yapı içerisindeki karbür çeşidi de kırılma tokluğuna etki eden faktörlerden biridir[18]. Sertlik ve kırılma tokluğu arasında ters orantılı bir ilişki vardır. Şekil 7.1' de bazı karbür çeşitlerinin sertliğe bağlı kırılma toklukları verilmiştir.



Şekil 7.1 Bazı karbürlerin sertlik ve kırılma toklukları arasındaki ilişki [18].





**Şekil 8.1.** Soğuma hızı ve çekirdekleşme derecesinin dökme demirin katılaşması sırasındaki etkileri

Aşılamanın görevi, grafit ötekiğinin çekirdekleşmesini arttırmaktır. Böylece metalin, karbür ötektik katılaşma sıcaklığının altına düşmesi riskinin azalır. Grafit ötektik katılaşması küçük sayıda çekirdekleşme ile oluşursa, her bir hücrenin büyümesi hızlı olur. Bu da daha çok dallı, ince aşırı soğumuş grafit oluşturur. Aynı demir aşılamanın sonucu çok sayıda çekirdekleşme ile oluşursa, her bir hücrenin büyümesi azalır ve ASTM A tipi grafit oluşur.

Küresel grafitli dökme demirlerde aşılama dolaylı olarak çekirdek sayısının fazlalaşması aşırı soğumayı azaltır. Böylelikle çil oluşması da azalır ve yapıdaki tane sayısı artar.

## 8.2. Aşılamanın Etkileri

Aşılamanın gri dökme demirlere ve küresel grafitli dökme demirlere başlıca etkileri şu şekilde sıralanabilir.

**a. Gri Dökme Demirler İçin**

- Çili azaltmak ve grafit oluşumunu teşvik etmek
- İnce grafit oluşumunu (D tipi) azaltmak
- Değişik kesitlerde düzenli yapılar oluşmasını teşvik etmek
- Mukavemet artırmak
- Düşük karbon eşdeğerli yüksek mukavemetli demirlerde çil oluşumuna engel olmak

**b. Küresel Grafitli Dökme Demirler İçin**

- Çil oluşumunu azaltmak, böylelikle sünekliği teşvik etmek ve çatlama tehlikesini ve karbürleri yok etmek için ısıl işlemleri azaltmak
- Genel niteliklerde iyileştirme ile birlikte grafit tane sayısını artırmak
- Maksimum mukavemet ve süneklik veren tamamen küreselleşmiş grafit taneleri oluşturmak

### **8.3. Aşılama Yöntemleri**

Aşılama yöntemlerini iki ana gruba ayırabiliriz.

- Pota Aşılması (Ladle Inoculation)
- Geç Aşılama (Late Inoculation)

Pota Aşılması ; metal pota içindeyken yada potaya girerken aşılama malzemesi ilave edilmesidir. Geç aşılama ise, metal kalıba dökülürken yada kalıp içindeyken aşılama malzemelerinin ilave edilmesidir.

#### **8.3.1. Pota Aşılması**

Aşılama ilavesinin maksimum etkisi; aşılama ilavesinin malzeme içinde tamamen erimesine ve karışmasına bağlıdır. Bu bakımdan metal sıcaklığının aşılama ilavesinin hızlı ve düzenli bir şekilde karışması için yeteri kadar yüksek olması gerekmektedir. Örneğin, erimemiş ferro-silis parçaları, dökümün işlenecek yüzeyinde bulunursa, tesviye işlemlerini güçlendirecek ve çalışacağı sistemde hızlı aşınmalara sebep olacaktır.

Pota aşılamaında aşılایıcılar metale üç farklı şekilde ilave edilebilir;

- Aşılایıcı ilavesi ocaktan akan metale yapılır. Bu küresel grafitli dökme demirlere uygulanmaz. Çünkü magnezyum ilavesi aşılamaadan önce yapılmaktadır.
- Eğer imkan varsa potadan, ikinci bir potaya metal ilavesi sırasında aşılایıcı kullanılır.
- Küçük potalarda aşılایıcı kullanılırsa metal iyice karıştırılır.

Gri dökme demir için, en çok kullanılan yöntem metal ocaktan akarken yapılandır. Ocaktan akan metale aşılایıcıları serpmek, potanın dibine atmaktan daha çok tercih edilir. Çünkü aşılایıcıyı pota dibine koymak, oksitlenme ve curuf riski nedeniyle daha çok kayba neden olmaktadır. Bütün bu yöntemlerde aşılانacak metalin yüzeyinin temiz ve curuftan arındırılmış olması gerekmektedir. Küresel grafitli dökme demirlerde aşılama yapılacaksa magnezyum reaksiyonu ile oluşabilecek ürünlerden arındırılmış olmalıdır.

Aşılama işlemi yapıldıktan sonra döküme geçmek için beş dakikadan fazla beklenirse aşılایıcının etkisi azalır. Aynı şekilde döküm işlemi normal periyotlardan fazla sürede dökülürse aşılایıcının etkisinde değişiklikler olur. Bu sorunu aşabilmek için metal büyük potalardan küçük potalara verilir ve küçük potalar dolarken aşılایıcı ilave edilir. Eğer bu mümkün değilse (örneğin büyük parçaların dökümünde) geç aşılama daha iyi sonuç verir.

Küresel grafitli dökme demir üretiminde aşılایıcının ilavesi, magnezyum alevlenmesi yatıştıktan sonra yapılır. Eğer metal magnezyum işlemi potasından başka potalara aktarıyorsa, aşılایıcı bu aktarım esnasında ilave edilir. Eğer aşılama magnezyum işlemi potasına yapılıyorsa, iyi bir karışım için dikkat etmek gerekir. Magnezyum tepkimesinden oluşacak curufların da aşılamaadan önce temizlenmesi gerekir.

Aşılamanın potada nasıl yapılacağını şu şekilde sıralayabiliriz;

- Aşılama dökümden önce ve mümkün olduğunca geç safhalarda yapılmalıdır.
- Aşılایıcının düzenli karışımı sağlanmalıdır. Küçük potalarda ayrıca karıştırma işlemi yapılmalıdır.
- Aşılama yapılacak potanın curuf ve tozdan arındırılmış olması gerekir.
- İlave edilen silis esaslı aşılایıcılar granül halde ve büyüklükleri 2 – 12 mm arasında olmalıdır.

### **8.3.1.1. Pota aşılması için kullanılan aşılama maddeleri ;**

#### **Karbonlu aşılama maddeleri :**

Karbon gri dökme demir için pota aşılmasında etkili olarak kullanılacaksa, yüksek kristalli grafit formunda olmalıdır. Pratikte uygun olanlar doğal grafitler veya grafit elektrotlarıdır. Petrol kokları, metalurjik koklar yada karbon elektrot hurdaları pota aşılması için uygun değildir. Kristalli grafitlerin düşük yoğunlukta olmaları, oldukça ince bölünmüş olmaları ve gerekli ilave miktarının az olması, aşılama işleminin kontrolünü zorlaştırır. Bu yüzden pratikte tek başlarına nadir olarak kullanılırlar. Bununla birlikte grafit ilavesi karbon miktarını yükselteceği için çekme mukavemetini düşürme eğilimi de gösterir. Birçok firma aşılama maddeleri, ferro silis parçaları ile karıştırılmış yüksek saflıkta grafitten oluşur. Nitrojen riskini azaltmak için titanyum / silis yada zirkonyum / silis kullanılır.

#### **Yüksek silisli aşılama maddeleri :**

Yüksek silisli aşılama maddeleri pota aşılmasında, hem gri dökme demir hem de küresel grafitli dökme demir üretiminde kullanılırlar. Yüksek saflıktaki ferro – silisin potaya ilavesinde küçük miktarlarda aşılama etkisi görülür.

Ferro – silis esaslı bütün pota aşılama maddelerinin içerisindeki diğer elementlere bağlı olarak farklı aşılama etkileri vardır. Bu elementler kalsiyum, stronsiyum, baryum, titanyum, magnezyum, zirkonyum ve seryum'dur. Tipik bileşimleri Tablo 8.1' de görülmektedir. En çok kullanılan silis esaslı aşılama maddeleri 75 % silis içeren ferro – silisler ; 1-2 % Al ve 0,2-1 % Ca içerirler.

**Tablo 8.1.** Silis Esaslı Aşılaiıcılar

Aşılaiıcı Tipi	% Si	% Al	% Ca	% Ba	% Sr	% Zr	% Mn	% Mg	% Ti	% RE
FeSi	75-80	1,2-2	0,3-1,2							
FeSi-Mn-Zr	60-65	1-2	1-3			5-6	5-6			
FeSi-Ba	60-65	1	0,8	0,8		6	6			
FeSi-Ba	60-65	0,5-1,7	1	9-11						
FeSi-Ba	60-65	1,5	2	5-6			9-10			
FeSi-Zr	80	1,5-2,5	2,5			1,5				
FeSi-Sr	75	<0,5	<0,1		0,8					
FeSi-Sr	45-50	<0,5	<0,1		0,8					
FeSi-Ti	45-50	1,5	0,6						10	
FeSi-Ce	45	0,5	0,5							13 Ce
Ca-Si	60	1-2	30							
% 45 FeSi-Mg (Low Cost)	45-50	0,8	0,8							
% 45 FeSi-Mg	45-50	0,8	0,8					1,25		
FeSi-La	70	1,5								2-2,5 La

### 8.3.1.2. Pota Aşılaiıcı Seçimi

Birçok dökümhanede aşılama yapılmasının temel amacı çil oluşumunu önleyebilmektir. Aşılamanın diğeri bir avantajı da mukavemeti ve değışik kesit kalınlıklarında homojenliğı artıran, A tipi grafit oluşturmasıdır. Bunların yanında aşılama sonucu meydana gelen ötektik sayısının artması gri dökme demirlerde çekme boşluklarının oluşumunu artırır. Bazı ferro-silis aşılaiıcılarındaki alüminyum miktarı (%2 Al) aşırı aşılaiıcı kullanımında hidrojen karıncalanması hatalarını teşvik eder.

Normal aşılaiıcı olarak kullanılan ferro-silis genellikle düşük fiyatlıdır ve gri dökme demir ve küresel grafitli dökme demir için yeterli sayılabilecek özellikteki aşılaiıcılardandır. Gri dökme demirlerde % 45 Si ve yüksek Ca içeren ferro-silisler yada grafit içeren firma patentli aşılaiıcılar alternatif olarak kullanılabilir. % 45 silisli aşılaiıcılar bazı durumlarda düşük silis artışı yaptığı için avantajlıdır. Grafitik aşılaiıcıların karışımı, silis miktarında küçük artışlar yapar ve büyük oranda silis artışını engeller. Grafit aşılaiıcılarının Al içeriğı düşüktür. Bu da karıncalanma tehlikesini azaltır. Grafitik aşılaiıcıların tamamen erimesi için yüksek metal sıcaklığı ve potaya dikkatle ilave edilmesi gerekir. Bunlara ek olarak grafit gri dökme demirlerde çekme boşluklarına neden olan yüksek ötektik oluşumunu teşvik eder. Grafit aşılaiıcıları küresel grafitli dökme demirler için etkili değıildir.

Bütün özel aşılایıcılar, çil oluşumunu önlemeleri bakımından normal ferro-silis aşılایıcılardan daha etkilidir. İnce kesitlerde maksimum çil önleme, stronsiyumlu ferro silisler ile mümkündür. Ayrıca bu aşılایıcıların düşük Al içeriğine sahip olması ve düşük ötektik oluşumu sağlayarak çekme riskini önlemesi diğer avantajlarıdır. Geniş potalarda aşılama yapıldığında, metal uzun süre tutulacak olursa aşılایıcılar etkilerini yitirebilir. Baryum içeren aşılایıcılar bu konuda diğer aşılایıcılardan daha uygundur. Çünkü geniş potalı dökümlerde daha uzun süre etkilidir.

Özel aşılایıcılardan birçoğu hem küresel grafitli dökme demir için, hem de gri dökme demir için etkilidir. Bu yüzden yüksek seryumlu aşılایıcılar dikkatli kullanılmalıdır. Çünkü % 0,02 den fazla seryum miktarı ince kesitlerde çil oluşumuna neden olur ve ağır kesitlerde küreselleşmeyi azaltır. Yüksek Ti içeren ferro-silisler de küresel grafitli dökme demirler için önerilmez. Çünkü titanyum küreselleşmeyi engeller.

Küresel grafitli dökme demir, aşılamadan sonra döküme geçmeden uzun süre bekletilirse dökümden önce tekrar aşılama yapılmalıdır. Bunun için de % 45 Si, Ca ve % 1,5 Mg içeren aşılایıcılar uygundur.

### **8.3.1.3 Pota Aşılایıcı Miktarları**

Aşılایıcıların ilavesi, döküm maliyetini artırır. Bu nedenle ilave aşılایıcı miktarını optimum değerlerde tutmak gerekir. Genel olarak gri dökme demirlerde grafit aşılایıcılar % 0,2 den fazla kullanılmaz. Bu oranın üzerinde aşılایıcı kullanımı aşılایıcının homojen karışımını engeller. Ayrıca grafitik aşılایıcının fazla kullanılması çekme boşluğu riskini artırır. Grafit aşılایıcılar dökme demirlerde % 0,1 den daha az C artışına neden olur.

Dökme demirlerde ferro-silis aşılایıcıların % 0,4 den fazla kullanımı nadir olarak gerekir. Normal koşullarda < % 0,4 kullanımı yeterlidir. Bazı durumlarda fazla miktarlarda ferro-silis kullanımındansa, az miktarlarda daha etkili olan özel aşılایıcılar tercih edilir. Silisli aşılایıcıların uygun kullanımı % 0,35 Si den daha az silis artışı sağlar.

Küresel grafitli dökme demirlerde küresel grafit oluşturmak için kullanılan Mg ve seryumun kuvvetli karbür-teşvik etkileri vardır ve aşılama bu etkiyi denkleştirmek için gereklidir. Normal olarak % 75 silis içeren ferro-silis % 0,5 Si artışı yapacak oranlarda kullanılır. Fakat ince kesitlerde yada Cr gibi elementlerin bulunduğu durumlarda 0,75 % ve hatta % 1 silis artışı yapacak oranlarda ilave edilir. İnce kesitler dışında, küresel grafitli dökme demirler için ferro-silis aşılایıcı kullanımı % 0,8 e kadardır.

Pota aşılması için en iyi yol, amaca uygun en iyi aşılایıcıyı seçmek ve gerekli sonucu verecek en düşük miktarlarda kullanmaktır.

**Tablo 8.2.** Ferro-silis ilaveleri

<b>Silis Artışı</b> %	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
<b>kg/ton</b>	0,7	1,3	2,7	4,0	5,4	6,7	8,0

#### 8.3.1.4. Firma Aşılaiıcılar

Gri dökme demir için grafitleştirici olarak kullanılan aşılaiıcıların bazılarının bileşimleri tablo 8.3' de gösterilmiştir.

**Tablo 8.3.** Grafitleştirici Olarak Kullanılan Bazı Firma Aşılaiıcılarının Tipik Kimyasal Bileşimleri.

<b>Aşılaiıcı</b>	<b>Si %</b>	<b>Ca %</b>	<b>Al %</b>	<b>Diğer %</b>	<b>Fe %</b>
<b>Calsiloy</b>	56,00	15,00	1,00	-	Kalan
<b>Graphidox</b>	52,50	6,00	1,10	9,50 Ti	Kalan
<b>Inoculoy 63</b>	62,50	2,75	1,10	10,00 Mn 5,00 Cu	Kalan
<b>CSF 10</b>	38,00	0,50	0,50	12,00 Ce 3,00 R.E.	Kalan
<b>Thermasil</b>	61,00	0,50	1,10	10,00 NaNO <sub>3</sub> 2,50 Mg	Kalan

Calsiloy düşük Ca içermesi bakımından, normal kalsiyum silikatlı aşılaiıcılardan farklıdır. Bu, curuf hacminin büyük bir oranda azalmasına neden olur. Parlak yanma ve kokusu da normal kalsiyumlu aşılaiıcılara göre daha azdır.

Graphidox, yıllardır iyi bir aşılaiıcı olarak kullanılmaktadır. Graphidox'taki Ca, deoksidasyon fonksiyonu görür ve çekirdekleşme sağlar. Titanyum, demirin deoksidasyonuna yardım eder. Aynı zamanda aşırı nitrojenle birleşerek nitrojen boşluklarını önler.

Inoculoy 63, Si, Mn, Ca ve Ba alaşımıdır. Bu aşılaiıcıdaki başlıca çekirdekleştiriciler Ca ve Ba' dur. Bu iki elementin birleşimi bu alaşımın kullanımında aşılaiıcının etki yitirmesine karşı direnç oluşturur.

CSF 10, seryum ve silis alaşımıdır. Çil azaltmada çok az oranlarda kullanımı bile oldukça etkili olur.

Thermosil, ekzotermik ferro-silis' tir. Mg içermesi, aşılaiıcının çekirdekleşmesini geliştirir. Ekzotermik olması ise ilavesi sırasında metalin döküm sıcaklığının azalmamasını sağlar.

Gri dökme demirler için firma aşılایıcılarının standart aşılایıcılardan farklı iki avantajı vardır.

1. Küçük miktarlarda ilaveleri, uygun sonuçlar için yeterli olur. Genellikle 0,907 – 1,814 kg/ton firma aşılایıcısı, 2,72 – 4,53 kg/ton 75-85 % lik ferro-silis aşılایıcının yapacağı etkiyi gösterir.
2. Firma aşılایıcılar ile yapılan aşılایıcının maliyeti ferro-silis aşılایıcılarla karşılaştırıldığında daha azdır.

### 8.3.2. Geç Aşılama

Geç aşılama, kalıp boşluğu içinde yada metal kalıba dökülürken yapılan aşılama şeklidir. Bu yöntemle pota aşılamasından daha fazla aşılama seviyesi, daha düşük aşılایıcı miktarlarıyla sağlanır. Yüksek üretimli kalıplama hattında otomatik dökümlü fırın kullanımının ve dökümler için kalite gerekliliğinin artması, ayrıca pota aşılması ile oluşan sorunların başlıcalarının bu yöntemle azalması yada yok olması geç aşılama yönteminin kullanılmasını ön plana çıkarmıştır. Bu yöntemde ana sorun etkili aşılایıcı seçmek değil, döküm boyunca düzenli dağılım elde etmektir.

Geç aşılamanın avantajları şunlardır ;

- Etki yitirme sorunu ortadan kalkar. Aşılama yapılan dökümler arasında büyük yapı benzerliği vardır.
- Metal akıntısına ilave miktarı daha azdır. Bu da maliyeti düşürür. Gri dökme demirde aşılایıcı ilavesi pota ilavesinde kullanılanın 1/3' ü kadar azdır. Küresel grafitli dökme demirde ise bu değer 1/3 – 1/5' tir.
- Silis içerikli aşılایıcıların az miktar ilavesi ile metal bileşimindeki % Si artışı daha azdır. Buda Mg - ferro-silis ile küresel grafitli dökme demir üretimi yapan dökümhaneler için şarjda büyük oranda döndü kullanımı sağlar. Böylelikle şarj maliyeti düşer. Ayrıca Al miktarındaki düşük artış karıncalanma hataları riskini azaltır.
- İnce kesitlerde karbür oluşumunu engellemede pota aşılamasından daha etkilidir. Böylelikle bazı dökümler için gerekli ısıl işlem ihtiyacı önlenmiş olur. Bir örnek vermek gerekirse 2 mm kesitli bir küresel grafitli dökme demir için metal akıntısına geç aşılama 0,13 % ferro-silis ilavesi yeterli iken pota aşılamasında bu değer 0,67 % dir.

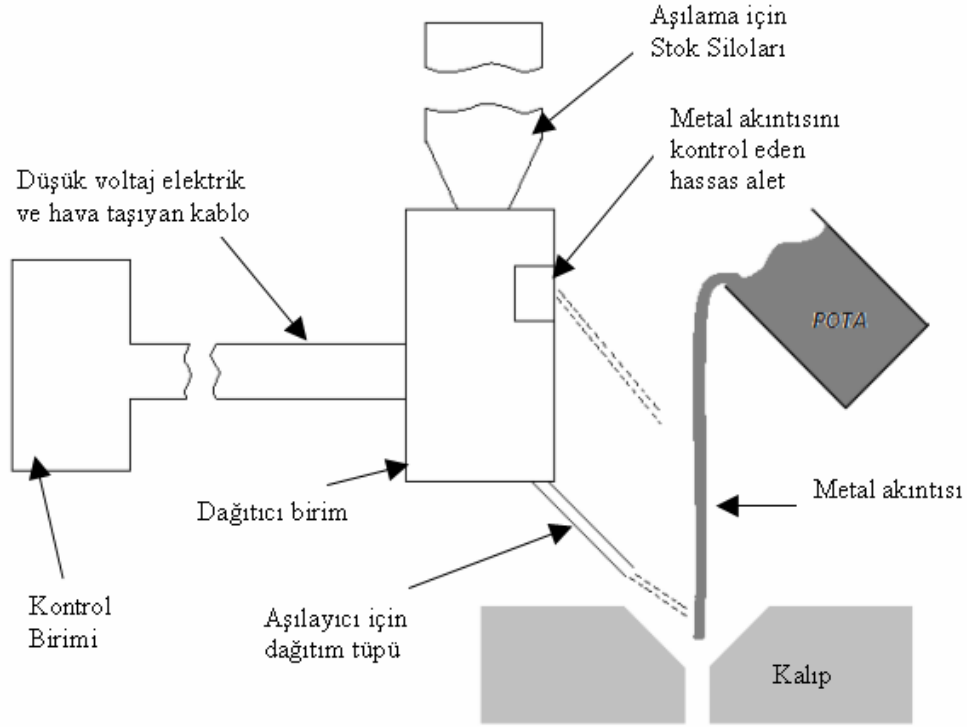
### 8.3.4. Kalıp Aşılama Yöntemi

Pratikte aşağıdaki kalıp-aşılama yöntemleri kullanılır.

- a) Toz aşılama paketleri, dökme kabına yada düşey yolluğun en üstüne yerleştirilir.
- b) Kırılmış 2,5 gr (30-35 mesh) ferro-silis düşey yolluğun tabanına yerleştirilir.
- c) Tanecik bantları yada önceden dökülmüş takoz aşılama yatak yolluk sisteminde bir bölüme yerleştirilir. Aşılama ağırlığı dökümdeki metal ağırlığının 0,50 – 0,01 %' i kadardır.
- d) Önceden dökülmüş takoz aşılama düşey yolluğun altında yada dökme kabındaki süzgeç maçaya yerleştirilir. Yine aşılama ağırlığı dökümdeki metal ağırlığının 0,50 – 0,01 %' i kadardır.

Kalıp aşılama kullanıldığı zaman bazı önlemler almak gerekir. Bu önlemleri şu şekilde sıralayabiliriz ;

- Kolay eriyip karışması için, aşılamanın uygun büyüklükte olmasına dikkat edilmelidir. Genellikle 20 x 65 mesh uygundur.
- İstenmeyen kalıntılar oluşturmaması için aşılama kalıba döküm esnasında aşılama döküm boşluğuna itmeyerek ve metalin aşılamanın üzerinden hızla akmasını sağlayacak şekilde yerleştirilir.
- Döküm boşluğuna dros'un girmesini ve alaşım kaybını önlemek için yolluk önleyici (dam) koymak gerekir.
- Döküm sıcaklığı kontrol edilmelidir.
- Katı aşılamanın sıvı metalle temas edeceği yüzey alanının yeteri kadar büyük olması gerekir. Ayrıca çekirdeklemenin düzgün olması için temas zamanının yeteri kadar uzun olması gerekir.
- Erimiş metale ilk tepkime sırasında aşılamanın soğuk olacağı göz önüne alınmalıdır.



Şekil 8.2 BRICA Metal-Akıntısı aşılama ekipmanı.

### 8.3.5. Metal Akıntısına Aşılama

Metal-akıntı aşılaması; aşılayıcının sıvı metalin kalıba girerken döküm akıntısına ilavesini içerir. Türbülans, aşılayıcının metal içerisinde düzgün ve tamamen erimesini sağlar. Metal akıntı aşılamasını iki ana gruba ayırabiliriz.

- **Tel-besleme aşılaması** : Tel besleme aşılaması Almanya ve USA da geliştirilmiş bir metottür. Besleme ince bir tüp yada aşılayıcı içeren tel, tel besleme aleti tarafından metal akıntısına uygun kontrol ile yapılır. Tel 3.2, 3.5 veya 4 mm lik olabilir. Telin erime hızı bu yöntemin sınırlanmasına neden olur. Gri dökme demir için 4.5 kg/sn ve küresel grafitli dökme demir için ise bu değerın yarısı kadardır. Bu yöntemde aşılama ilavesi 0.02 – 0.08 % dir.
- **Toz-akıntı aşılaması** : Aşılayıcı kalıbın içindeki metal akıntısına doğrudan verildiği zaman toz halindeki aşılayıcının güçlü aşılama etkisi vardır.

BRICA bu fonksiyonun performansını otomatik olarak artıran bir araç geliştirmiştir. (Şekil 8.2). Bu aletin yani metal akıntısına yapılan aşılamanın başlıca özellikleri şunlardır.

- a) *Otomatik işlem* : Dağıtıcı, metalin akmaya başlamasıyla birlikte harekete geçer ve döküm durunca durur.
- b) *Düzenli aşılama* : Bu dizayn kalıba ilk giren metalin bile aşılammış olmasını sağlar ve bu sistemde düzenli döküm hızıyla aşılama hızı sabittir.
- c) *Döküm ağırlığından bağımsız aşılama* : Dağıtıcı, miktarla değil döküm hızıyla ayarlıdır.
- d) *Değişebilirlik*
- e) *Bulunabilen aşılama kullanımı* : İnce taneli ve tozdan arınmış ferro-silis esaslı aşılama kullanılır.
- f) *Otomatik ihbarlı olma*

#### 8.3.5.1 Aşılama Seçimi

BRICA' daki çalışmalar metal akıntısına yapılan aşılamanın etkisinin, kullanılan aşılamanın bileşimine göre değiştiğini göstermiştir. Pota aşılması gibi geç aşılama yöntemlerinde de aşılama içindeki eser elementlerin etkisi önemlidir. Tablo 8.4 aşılamanın gri dökme demirde potaya yada metal akıntısına ilave edildiği zamanki etkilerini karşılaştırmaktadır. Tablo 8.5 ise metal akıntısına ilave edilen aşılama türlerinden bazılarının bileşimlerini vermektedir.

**Tablo 8.4.** Potaya yada metal akıntısına ilave edildiği zaman gri dökme demirde bazı aşılama türlerinin çil derinliğine etkisi.

Aşılama	İlave miktarı %	2 mm lik kesitte ölçülen çil derinliği	
		Metal - akıntısı	Pota
Normal Fe-Si	0.17	0.24	Beyaz
St içeren Fe-Si	0.20	0.08	0.08
Firma patentli A	0.18	0.08	Beyaz
Firma patentli B	0.19	0.08	Beyaz
Firma patentli C	0.25	0.14	0.30
Firma patentli D	0.29	0.08	0.08

**Tablo 8.5.** Gri dökme demir ve küresel grafitli dökme demir için metal akıntısına ilave edilen aşılایıcılar.

Aşılama No.	Bileşim Yüzdesi										
	Si	Al	Ca	Sr	Ce	Mn	Ba	Mg	Zr	Diğer	Fe
1	74/79	0.6/1.25	0.5/1.0	-	-	-	-	-	-	-	Denge
2	74/79	0.4/0.5	0.1/0.2	-	-	-	-	-	-	-	Denge
3	74/79	0.6/1.0	1.0/2.0	-	-	-	-	-	-	-	Denge
4	46/50	1.2 max	0.6/0.9	-	-	-	-	-	-	-	Denge
5	46/50	1.25 max	0.6/0.9	-	-	-	-	1/1.5	-	-	Denge
6	58/61	0.9/1.2	0.5/0.7	-	-	-	-	2/2.5	-	NaNO <sub>3</sub> 10	Denge
7	60/65	0.9/1.1	28/32	-	-	-	-	-	-	-	Denge
8	50/55	1/1.3	5/7	-	-	-	-	-	-	Ti 9/11	Denge
9	60/65	1/1.5	1.5/3	-	-	9/11	4/6	-	-	-	Denge
10	60/65	0.75/1.25	0/0.9	-	-	5/7	0.6/0.9	-	5/7	-	Denge
11	36/40	0.5 max	0.5 max	-	9/11	-	-	-	-	Top. R.E 11/15	Denge
12	73/78	0.5 max	0.1 max	0.6/1	-	-	-	-	-	-	Denge
13	46/50	0.5 max	0.1 max	0.6/1	-	-	-	-	-	-	Denge
14	78/82	1/3	2.25/2.5	-	-	-	-	-	1.25/ 1.75	-	Denge
15	74/79	3/4	0.5/0.8	-	-	-	-	-	-	-	Denge

Metal akıntısında kullanılan aşılایıcıların miktarı toplam ilavenin 0.1 – 0.02 % si kadardır. Gerçekte yüksek ilave hızı pota ilavesinden daha fazla aşılama seviyesi verir. Bu da ince kesitlerin çilden arınmış olmasını sağlayan önemli bir faktördür.

#### 8.4. Aşılamaya Etki Eden Faktörler

Aşılamaya etki eden en önemli faktör aşılایıcının bileşimidir. Dökme demir için aşılایıcılar Si ve C içeren malzemelere dayanır. Saf Si yada ferro-silis potaya ilave edildiği zaman küçük aşılama etkisi vardır. Dökümhane tipi ferro-silisin (75-80 % Si içeren) yüksek aşılama etkisi yapması için Al ve Ca içermesi gerekir. Grafitin aşılایıcı olarak kullanılması kırk senedir bilinmektedir. Fakat etkisi konusunda genel bir anlaşmazlık vardır. Bunun başlıca nedeni grafit denince akla değişik saflıkta birçok karbonlu malzeme gelmesidir. Çalışmalar bu malzemelerin aşılama etkisinin kristalleşme derecesine bağlı olduğunu göstermiştir.

Gri dökme demirin ferro-silisle aşılınması normal olarak erimiş 1 ton metal için 1.8-2.2 kg aşılama kullanımı ile olur. Buda bazı faktörlere bağlıdır.

- Ana metalin bileşimine
- Metalin sıcaklığına
- Dökümün kesit kalınlığına
- Şarja
- Ergitme durumuna
- Kalıp malzemesine (yaş yada kuru kum)
- Döküm işleminin zamanına

Ana metalin analizini göz önüne alırsak aşılama için karbon eşdeğeri, alaşımlar ve eser (kalıcı) element içeriği önemli bir parametredir. Ceş değeri % 3.5-3.8 olan dökme demir için, Ceş değeri daha yüksek olan demirlerden daha fazla aşılama gereklidir. Ayrıca dökme demirdeki O miktarı da aşılamaı etkiler.

Cr, Mn, V ve Mo gibi elementleri düşük olan dökme demirlere bu alaşım malzemelerini içeren dökme demirlerden daha az aşılama gereklidir. Örneğin Ceş değeri 3.8 ve Mn % 0.6-0.7 olan, diğer elementleri ise % 0.1 den az olan dökme demir için 2.2-2.7 kg/ton ferro-silis aşılması yeterlidir. Aynı demir % 0.75-0.8 Mn içerirse, çil arınması için ton başına 2.7 - 3.1 kg % 75-80 lik ferro-silis yeterlidir. Gri dökme demirin aşılmasında diğer önemli parametre kükürttür. Ferro-silis, Ba içeren Ferro-silis ve Sr içeren Ferro-silis aşılamaıcılar düşük S li demirlerde etkisizdirler. Bunlar, S yüzdesi % 0.04 den fazla olduğu durumlarda oldukça etkilidirler. Ca, Mg yada Ce içeren Silis esaslı aşılamaıcılar düşük kükürtlü demirler için etkili aşılamaıcılarıdır.

Yüksek çelik şarjı kullanılarak eritilmiş dökme demirlerde kükürt oranı % 0.03-0.04 dür ve böyle demirlerin aşılması oldukça zordur. Bunlara uygun aşılama yapabilmek için :

- Aşılamaıcılar düşük eser element içeriyorsa, aşılama miktarı arttırılır.
- Kükürt içeriği en az % 0.06 ya kadar arttırılır.
- Yüksek Ca, Ce yada Mg içeren (Ca-Si gibi) aşılamaıcılar kullanılır.

Bir örnek vermek gerekirse, S içeriği % 0.05 – 0.12 olan dökme demir için ferro-silis aşılması 2.2-2.7 kg/ton iken, S oranı % 0.02-0.03 olduğu zaman 3.1-3.5 kg/ton dur.

Aşılama sırasında metal sıcaklığı önemlidir. Normal olarak yüksek sıcaklıkta, aşılama miktarı artar. Kesit kalınlığı olarak da, ince kesitli işlerde daha fazla aşılamaıcı gereklidir. Kalın ve ince kesitleri bulunan bir döküm için ince kesit göz önüne alınarak aşılama yapılmalıdır.

Diğer bir önemli faktör ise dökme demirin şarjıdır. Normal olarak şarjda az pik demir varsa, daha fazla aşılama gerekmektedir. O aşlamayı olumsuz yönde etkileyen bir parametredir. Paslı çelik hurdanın şarjda kullanımı dökme demirin oksijenini artırır. Bu da aşılamanın verimini düşürür.

Ergitme biriminin tipi de aşlamaya etki eden bir faktördür. İndüksiyonla erimiş demir, kupol ocağında erimiş demirden daha fazla aşılama gerektirir. Ark ocağında eritilmiş dökme demir de indüksiyonla kupol arasında bir aşılama gerektirir.

Kalıplama malzemesini göz önüne alırsak, yaş kuma döküm kuru kuma döküme nazaran daha başarılı bir çekirdekleşme için daha fazla aşılama gerektirir.

Zaman aşlamaya etki eden önemli bir faktördür. Bütün aşılama makineleri zamanla etkilerini yitirirler. Aşlamadan 15 dk sonra, eğer metal hala dökülmüyorsa, daha fazla aşılama gerekecektir.

## **8.5. Aşılama Sorunları**

### **8.5.1. Etki yitirme**

Aşılama işlemini planlarken etki yitirme göz önüne alınması gereken önemli bir faktördür. Aşılama ilavesi yapıldıktan sonraki ilk 5 dk da aşılama makinesinin yarısından fazlası etkisini yitirir. Eğer metal 15-30 dk bekletilirse aşılama makinesinin etkisini tamamen yitirir. Küresel grafitli dökme demirde Ce nin bulunması aşılamanın etki yitirmesine olumlu yönde etki eder. Birçok aşılama makinesindeki Ce nodül sayısını artırır, çil oluşumunu azaltır ve etki yitirme hızını azaltır. Ce un aşırı miktarda ilavesi çekirdekleşme derecesini artırmak için kullanılmamalıdır (0.01 % max.). Çünkü Ce ince kesitlerde güçlü karbür yapmayı teşvik edicidir.

### **8.5.2. Gri dökme demir düzgünlüğüne etkisi**

Aşlamadan dolayı oluşan çekirdekleşme derecesinin artması katılaşma sırasında kalıplar üzerindeki genişleme kuvvetlerine etki eder. Bu da düzgün olmayan döküm riskini artırır. Gözeneklerin önemli olduğu durumlarda Sr içeren ferro-silislerin kullanılması gerekir. Bu aşılama makineleri daha düşük ötektik hücre sayısı ile diğer aşılama makinelerinin arındırdıkları çil kadarını arındırabilirler.

### **8.5.3. Hidrojen karınlanması**

Silis bazlı aşılama makinelerinin Al içermesi açısından gri dökme demir ve küre grafitli dökme demirde karınlanma oluşturur. Düşük Al içeren aşılama makinesinin kullanımı yada potaya ilavede kısıtlama, bu riski azaltır.

#### **8.5.4. Küresel grafitli dökme demirde kötü nodül şekli**

Aşılamanın düşük miktarı düşük nodül sayısı ve kötü nodül şekli oluşturur.

#### **8.5.5. Toz oluşumu**

Küçük miktarda Al, toz oluşumunu teşvik eder. Eğer toz oluşumu istenmiyorsa, aşılama miktarının 1.5 % dan daha az Al içermesi istenir.

#### **8.5.6. Curuf oluşumu**

Dökme demir aşırı aşılandığı zaman potadaki metalin üzerinde aşırı curuf oluşumu meydana getirir. Bu güçlü deoksidasyon malzemesi kullanan firma aşılama için de doğrudur. Bu elementler O ile birleşerek oksit kalıntıları şeklinde pota üzerinde bulunur. Demirdeki O az ise aşılama miktarındaki deoksidasyon elementleri hava yada pota refrakteri ile, (özellikle silika tiplileri ile) birleşir ve potada aşırı curuf oluşumuna neden olur. Döküm olmadan önce curufun temizlenmesi gerekmektedir. Bu da yapılmazsa çaydanlık tipi pota kullanılmalıdır. Aşılanmış gri dökme demirin mekanik ve kimyasal özelliklerinde aşırı aşılamanın sonuçları görülür. Özellikle silis miktarında değişim olur. Bu da Çeş değerini artıracaktır ve genellikle döküm kesit kalınlığına bağlı olarak daha zayıf ve yumuşak demir oluşturacaktır. Kalın kesitin ana yapısı, ince kesitten daha fazla olarak silis artışından etkilenecektir. Çünkü daha yavaş soğuma olacağı için silisi yüksek demirlerde ince kesitlere nazaran daha fazla ferrit oluşur.

#### **8.5.7. Mikroyapıya etkisi**

Aşırı aşılama yapılmış bir dökme demirin mikroyapısı incelenirse bazı grafitlerin C tipi olarak bulunduğu görülür. Bunun nedeni ötektiküstü demirlerin sınırlanmış alanlarında aşılama birikmesidir. Bu birikmeler C tipi grafit çökmesine neden olur bu da birikmiş alanlardaki yüksek silis seviyesi ve düşük sıcaklığa neden olur. Ayrıca aynı durum normal aşılama miktarının düşük sıcaklıkta ilave edilmesi sırasında ve aşılama tamamen karışmıyor ise de olur.

#### **8.5.8. Aşırı çekirdekleşme**

Aşırı aşılama olmadan oluşan bir diğer sorun da aşırı çekirdekleşmedir. Bu aşırı ince ötektik hücre oluşturur. Sert kalıplarda (90-kalıp sertliği) ve kuru kum kalıplarda bu ince hücreler avantajlı olabilir ama iyi dövülmemiş yumuşak kalıplarda aşırı çekme, kalıp-duvar hareketlerine neden olur.

## 9. DENEY ÇALIŞMALARI

### 9.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimi Tablo 9.1’ de verilmiştir. Numuneler, ötektik altı yüksek kromlu beyaz dökme demir olarak tanımlanan malzemeler olarak seçildi. N<sub>2</sub> numunesinden başlayarak numunelere % 1 – 2,5 TiBAI (R = 5 mm, h = 20 mm) ve N<sub>6</sub> numunesine % 0,5 TiBAI, % 0,15 Fe-Ti ve % 1,35 Fe-B (250 µm ebatlı) ilave edildi. Aşılacağı olarak ‘TiBAI’ ilavesinin karbür morfolojisi üzerindeki etkisi, Fe-Ti ve Fe-B ilavesinin etkisi ile karşılaştırıldı.

**Tablo 9.1.** Numunelerin kimyasal kompozisyonları

	%C	%Si	%Mn	%Cr	%Mo	%Ni	%Cu	%TiBAI	%Fe-Ti	%Fe-B
N1	3,05	2,05	0,247	26,38	1,33	0,48	0,13	-	-	-
N2	2,97	2,05	0,247	26,38	1,43	0,48	0,13	1	-	-
N3	3,09	1,85	0,75	26,,47	1,32	0,2	0,2	1,5	-	-
N4	3,12	1,65	0,72	25,98	1,36	0,2	0,2	2	-	-
N5	2,98	2,42	0,7	25,87	1,58	0,2	0,20	2,5	-	-
N6	3,06	1,87	0,4	26,45	1,16	0,95	0,11	0,5	0,15	1,35

Mikroyapı ve aşınma testlerine tabi tutulacak numuneler 10x10 kesitinde hazırlandılar. Isıl işlem öncesi ve ısıl işlem sonrası yüzey sertlikleri Rockvell C sertlik ölçme metodu kullanılarak ölçüldü. Sertlik sonuçları bölüm 10.2’ de verildi.

### 9.2. Isıl İşlemler

Deneylerde kullanılan numunelerin ısıl işlem şartları Tablo 9.2 de verilmiştir. Numunelere uygulanan ısıl işlemler için sıcaklık sabit seçilmiştir. 1000 °C sıcaklık sabit alındıktan sonra fırın içinde bekleme süresi 1-3-6 saat olarak değiştirildi. Numuneler fırından çıkarılarak havada kendi hallerinde soğutuldu.

### 9.3. Metalografik Çalışmalar

Bu çalışmada ağırlıklı olarak numunelerin mikro yapıları, yapı içindeki fazların oluşum sıcaklıkları, oluşum ısıları, sertlikleri, dağılımları, kimyasal konsantrasyonları, oranları ve numunelerin aşınma ve darbe dirençlerinin belirlenmesine ağırlık verilmiştir.

Numuneler metalografik olarak hazırlanırken 60-1200 mesh'lik SiC içerikli su zımparalarından geçtikten sonra 3 mikronluk elmas pasta ile parlatıldılar. Dağlayıcı olarak pikral (3 gr FeCl<sub>3</sub>, 15ml HCP, 100 ml H<sub>2</sub>O) kullanılmıştır. Bu işlemlerden geçen numuneler optik mikroskopta incelenerek farklı büyütmelemlerde fotoğrafları çekilmiştir.

**Tablo 9.2.** Numunelere uygulanan ısı işlem detayları

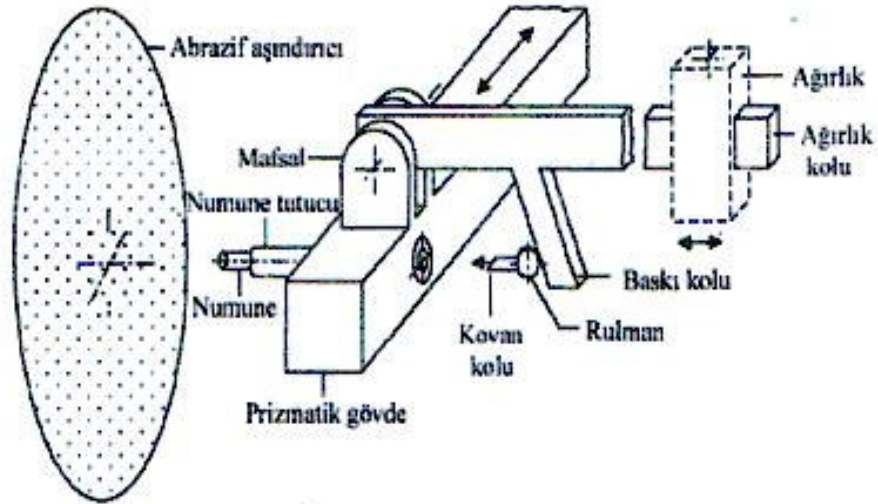
Numune no	Yapılan ısı işlem
N1,1	Isıl işlemsiz
N1,2	1000 °C, 1 saat
N1,3	1000 °C, 3 saat
N1,4	1000 °C, 6 saat
N2,1	Isıl işlemsiz
N2,2	1000 °C, 1 saat
N2,3	1000 °C, 3 saat
N2,4	1000 °C, 6 saat
N3,1	Isıl işlemsiz
N3,2	1000 °C, 1 saat
N3,3	1000 °C, 3 saat
N3,4	1000 °C, 6 saat
N4,1	Isıl işlemsiz
N4,2	1000 °C, 1 saat
N4,3	1000 °C, 3 saat
N4,4	1000 °C, 6 saat
N5,1	Isıl işlemsiz
N5,2	1000 °C, 1 saat
N5,3	1000 °C, 3 saat
N5,4	1000 °C, 6 saat
N6,1	Isıl işlemsiz
N6,2	1000 °C, 1 saat
N6,3	1000 °C, 3 saat
N6,4	1000 °C, 6 saat

#### 9.4. Sertlik Deneyleri

Numunelerin makro sertlikleri Emco markalı sertlik cihazında HRC cinsinden ölçülmüştür. Her numuneden en az üç ölçüm yapılmış ve bu ölçümlerin ortalaması alınmıştır.

#### 9.5. Aşınma Deneyleri

Numunelerin abrasiv aşınma karakteristiği Şekil 9.1' de verilmiş olan aşınma test cihazı kullanılarak, 10, 20 ve 30 N' luk yükler altında belirlenmiştir. Deney öncesi numuneler 1000 mesh'lik zımpara ile zımparalanmıştır. Numunelerin aşınacak yüzeyleri taşlama ile 64 mm<sup>2</sup> olacak şekilde eşitlenmiştir. Aşınma deneyleri oda sıcaklığında ve 80 mesh'lik zımpara kâğıdı üzerinde yapılmıştır. Numuneler cihaz üzerindeki numune yuvasına yerleştirilerek, değişken yükler altında ve sabit yol ile aşınmaya tabi tutulmuştur. Numunelerin zımpara kağıdı üzerinde aldığı yol 28,338 m.dir ve numune ilerleme hızı 0,5 mm/devir olarak seçilmiştir. 10<sup>-5</sup> gr hassasiyetindeki tartıda numuneler tartılarak ağırlık kayıpları tespit edilmiştir. Her numune için üç ayrı test yapılmış ve her testte yeni aşındırıcı kullanılmıştır.

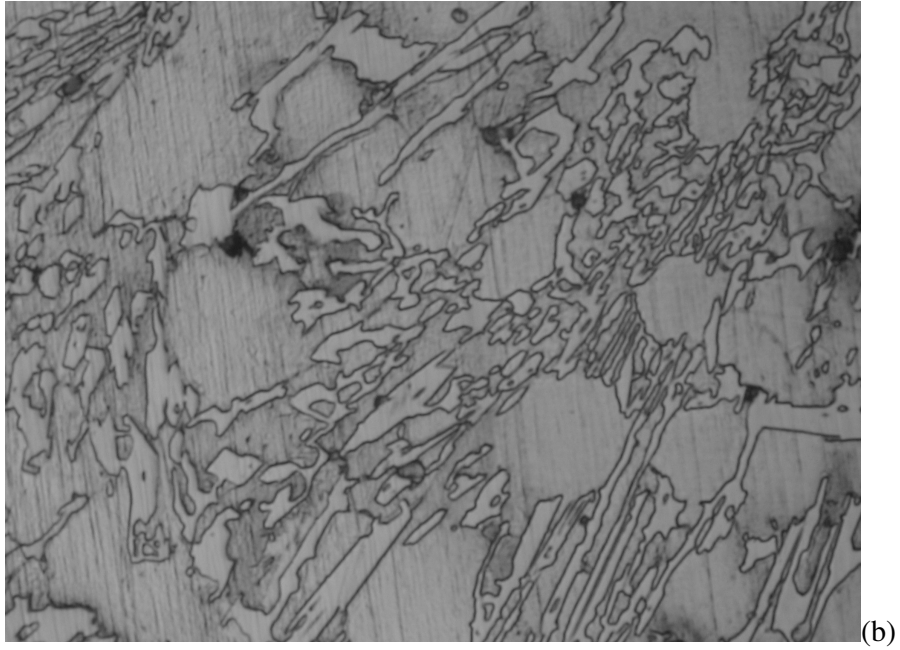
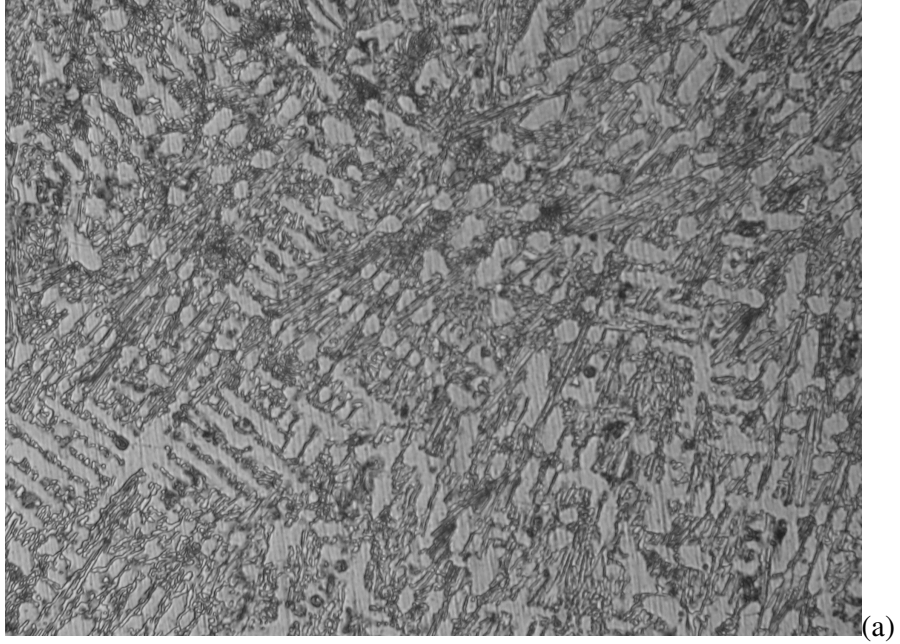


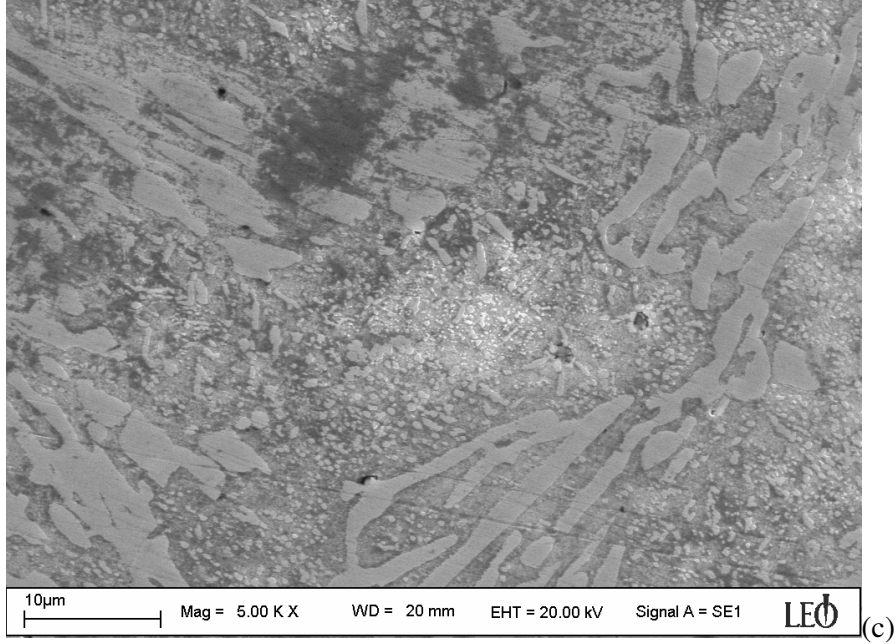
Şekil 9.1. Aşınma deney düzeneği[4].

## 10. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

### 10.1. Metalografi Sonuçları

Dağlanmış numunelerin optik mikroskopta iki farklı büyütmedeki görüntüleri ve SEM görüntüleri incelenmiştir. N1.1 numunesinin mikroyapı görüntüleri Şekil 10.1 de verilmiştir.

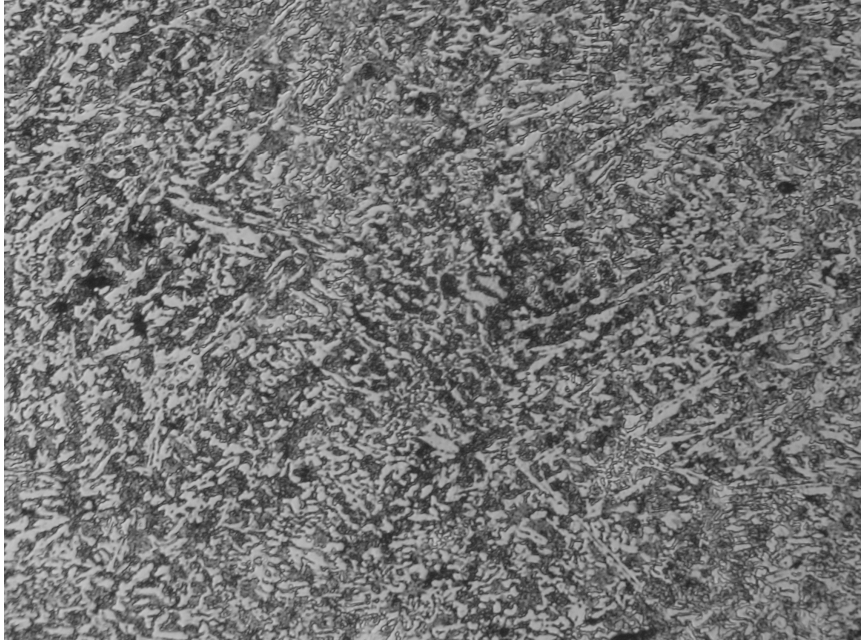




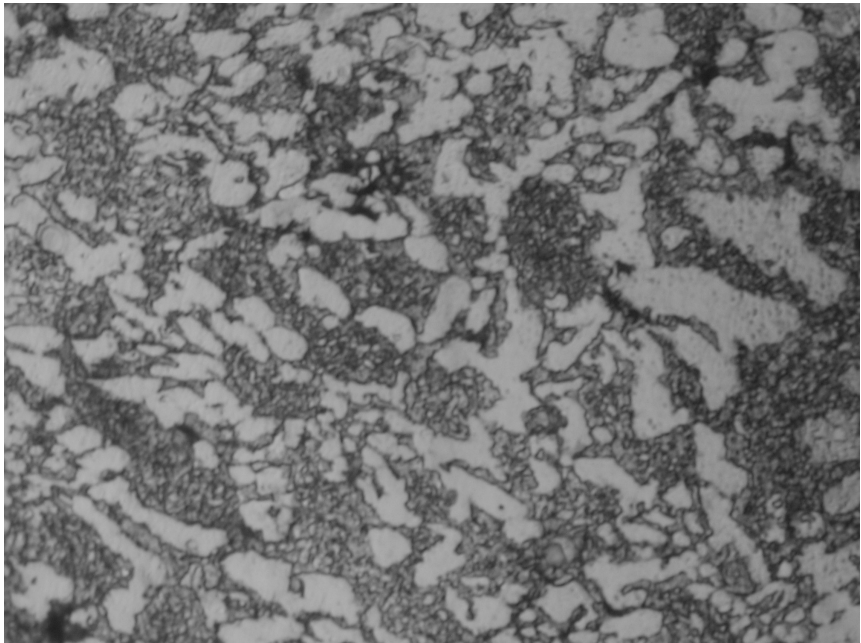
Şekil 10.1. N1.1 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c) SEM

$M_7C_3$  karbürleri katılaşma bölgesine bağlı olarak farklı fiziksel şekillerde oluşurlar. Çubuk ve plaka şeklinde oluşabilen bu karbürler büyüme yönü boyunca karakterize olurlar. Karbür katılaşma esnasında büyürken, matristeki karbon oranına bağlı olarak düşük karbon oranlarında karbürlerin bir ötektik hücre tarafından önü kesilerek büyümesi durdurulur. Karbon konsantrasyonu %3.5 i geçtiğinde karbürler oldukça kalın ve uzun olabilirler [10]. Matristeki karbon konsantrasyonu %3.5 i geçtiğinde ikincil karbürler fiber biçimli yapıda oluşurlar. Bu çalışmada ele alınan ötektik altı kimyasal dokuya sahip numunelerin mikro yapısında iki tip karbür görülmektedir (Şekil 10.1 de de görüldüğü gibi). Büyük ebatlı olan karbürler dendritik fiziksel yapıda oluşurlarken, ana matris içinde  $1\ \mu\text{m}$  ebadın altında ve tane içine dağılmış eşeksizli karbürler oluşmuştur. Literatürde belirtildiği gibi, kum kalıba dökülmüş beyaz dökme demirin yapısında yüzeye yakın (maksimum 5 mm) bölgelerde karbürler yüzeye dik biçimde oluşurlar [11]. Beklendiği gibi, yüzeyden içeriye doğru ise karbürler rasgele biçimde dağılırlar. Şekil 10.1' de görülen yapıda literatür sonuçlarına benzer durum ile karşılaşmıştır.

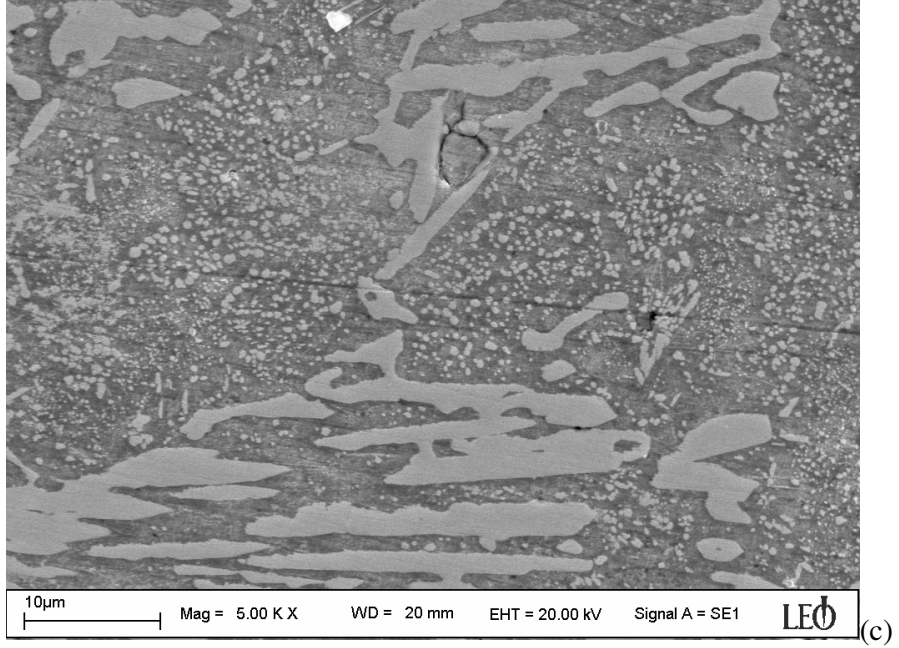
N1 numunesine uygulanan ve Tablo 9.2' de verilen ısıl işlemler sonrası mikroyapıda değişim Şekil 10.2-10.3 ve 10.4 de verilmiştir. Isıl işlem sonrası dendritik yapının bozulduğu, dendritik karbürlerin devamlılıklarının kesintiye uğradıkları ve karbürlerin küçülmeye başladıkları, ısıl işlem süresinin özellikle  $M_7C_3$  karbürlerinin ebatlarının küçülmesinde etkili olduğu görülmektedir.



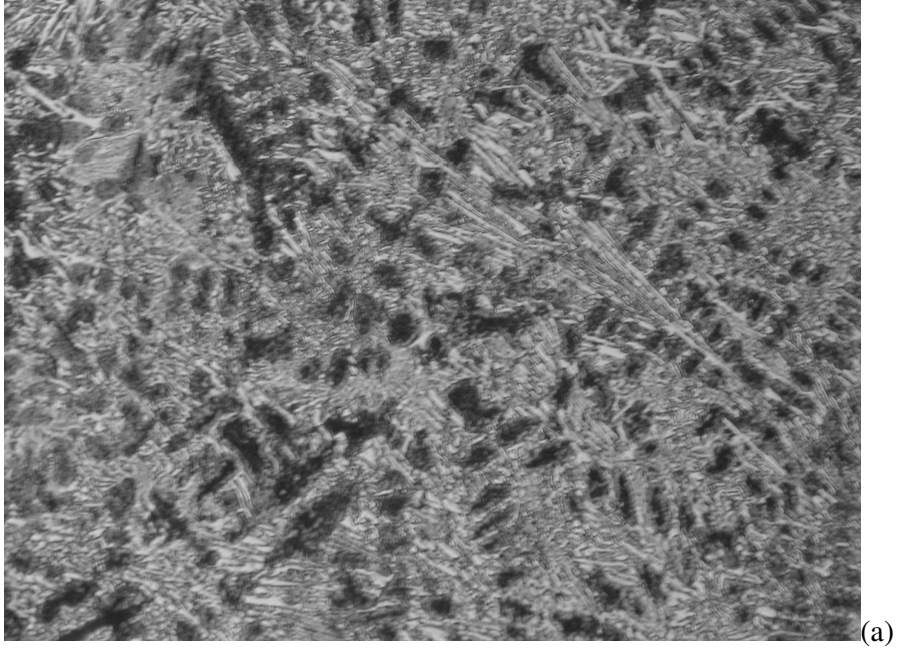
(a)

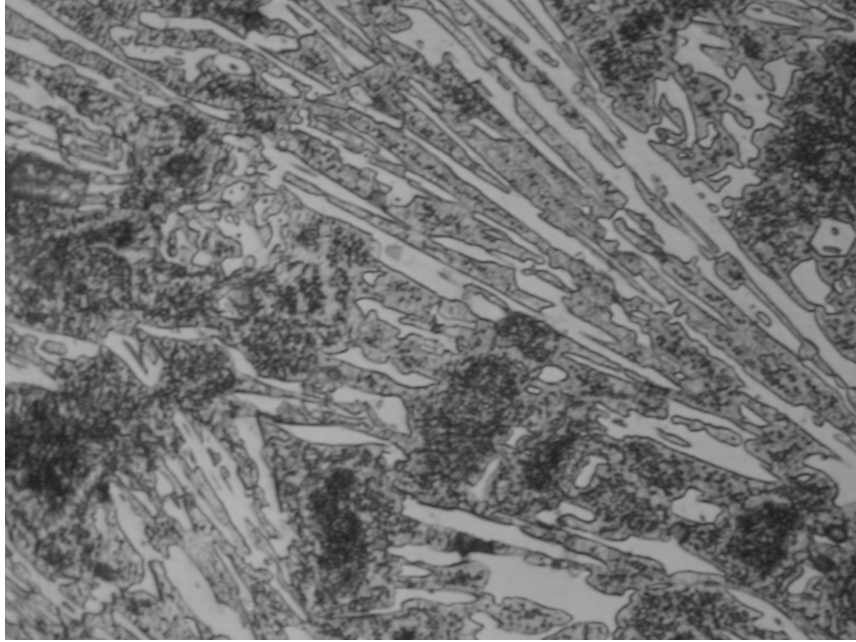


(b)

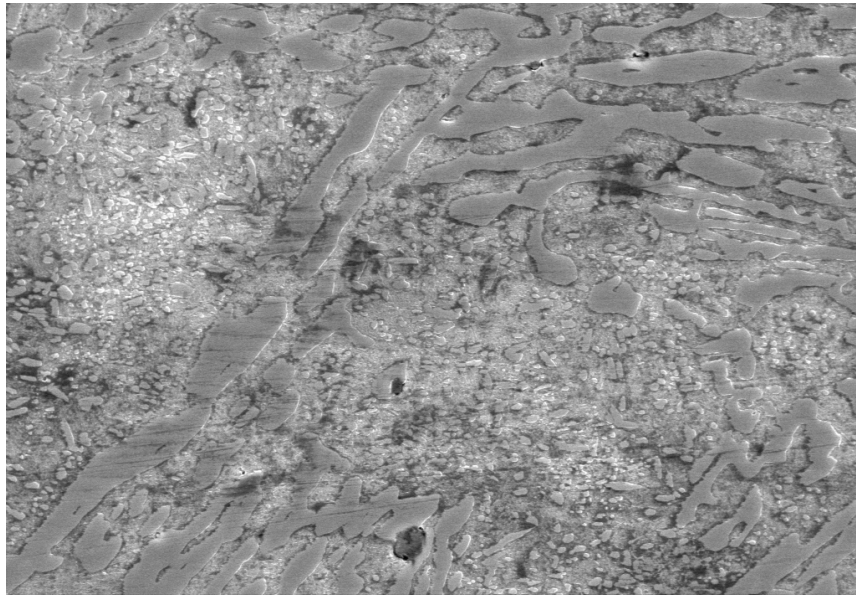


Şekil 10.2. N1.2 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c)SEM



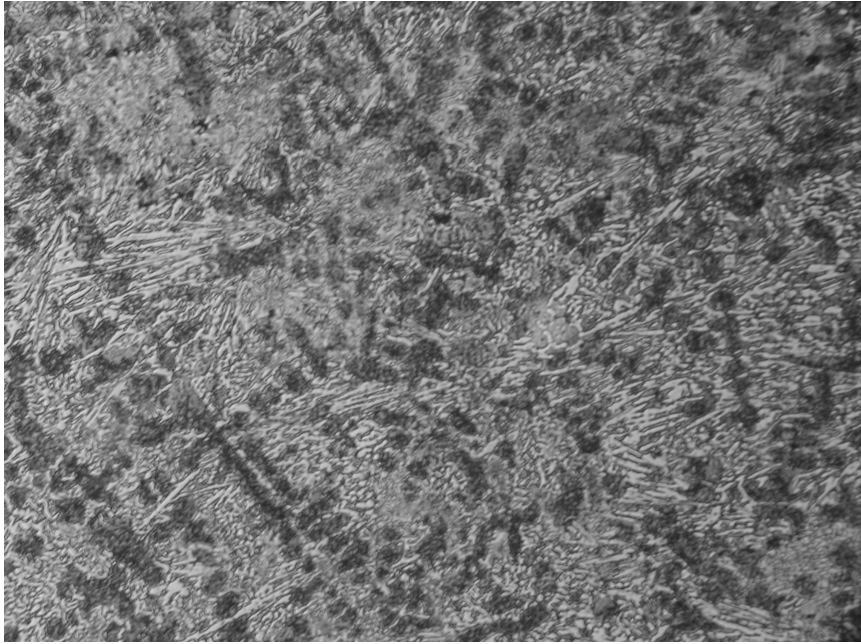


(b)

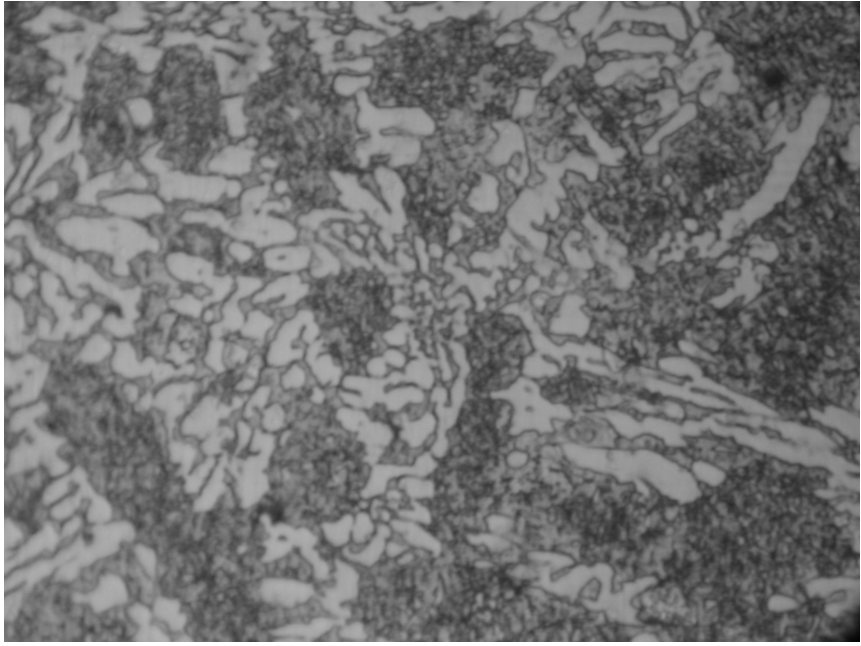


(c)

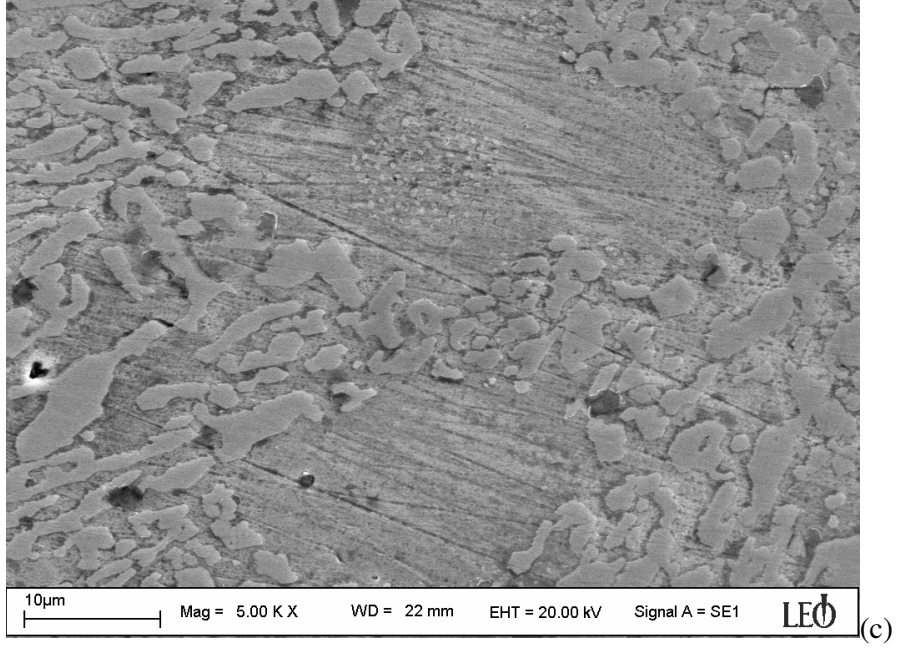
Şekil 10.3. N1.3 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c) SEM



(a)

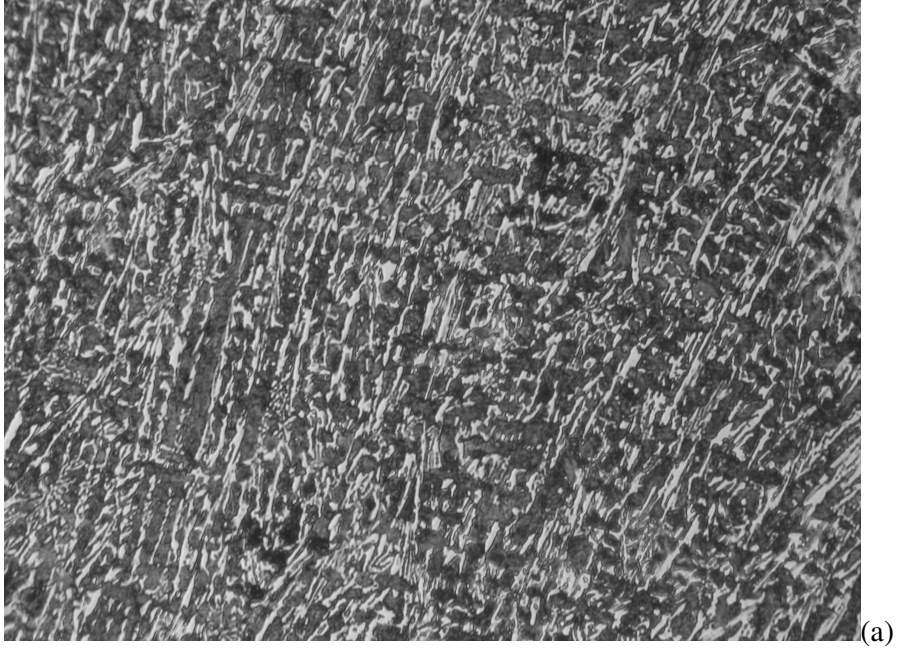


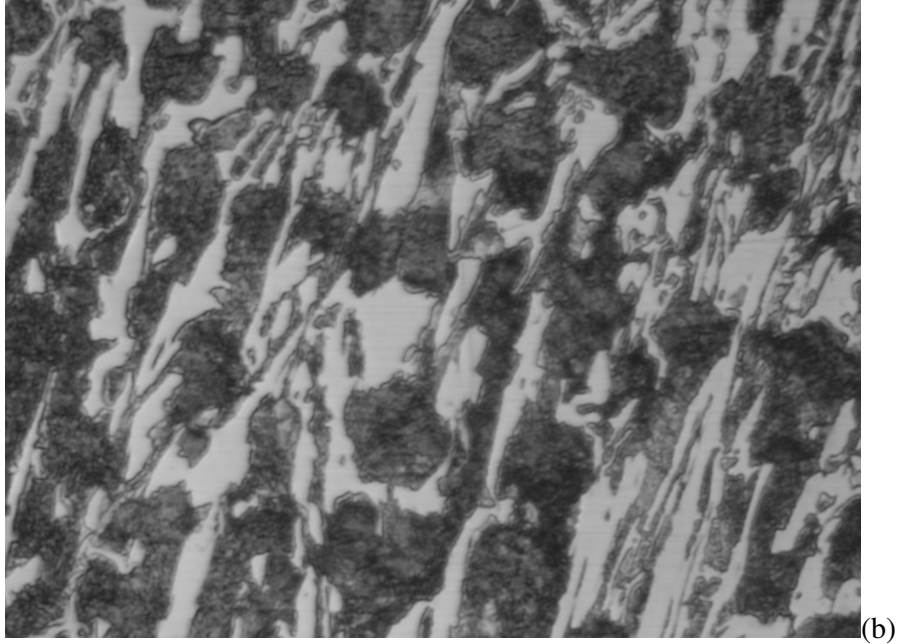
(b)



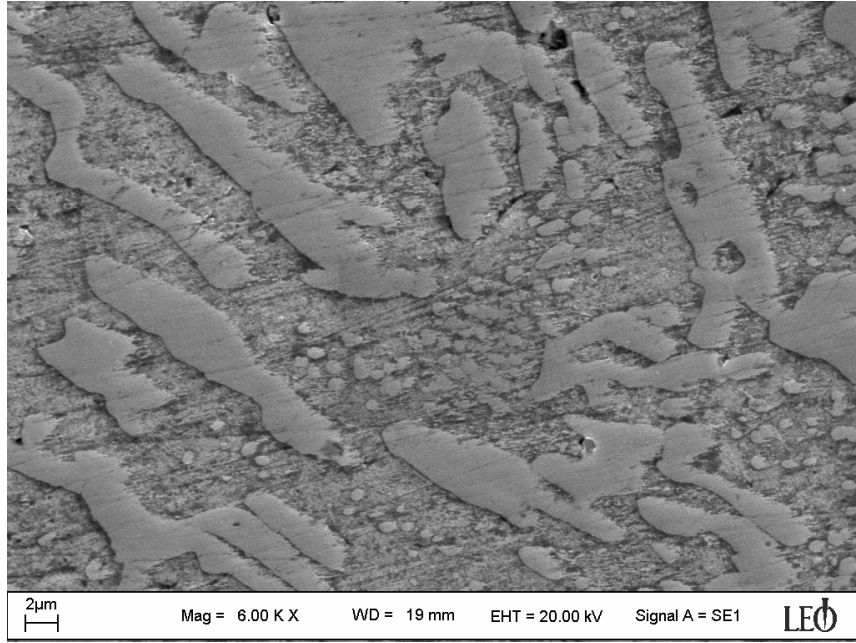
Şekil 10.4. N1.4 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c) SEM

N2 numunesinde ağırlıkça % 1 TİBAI den başlayarak numunelere aşılama yapıldı. Aşılama sonrası elde edilen mikroyapı Şekil 10.5' de verilmiştir.





(b)



(c)

Şekil 10.5. N2.1 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c) SEM

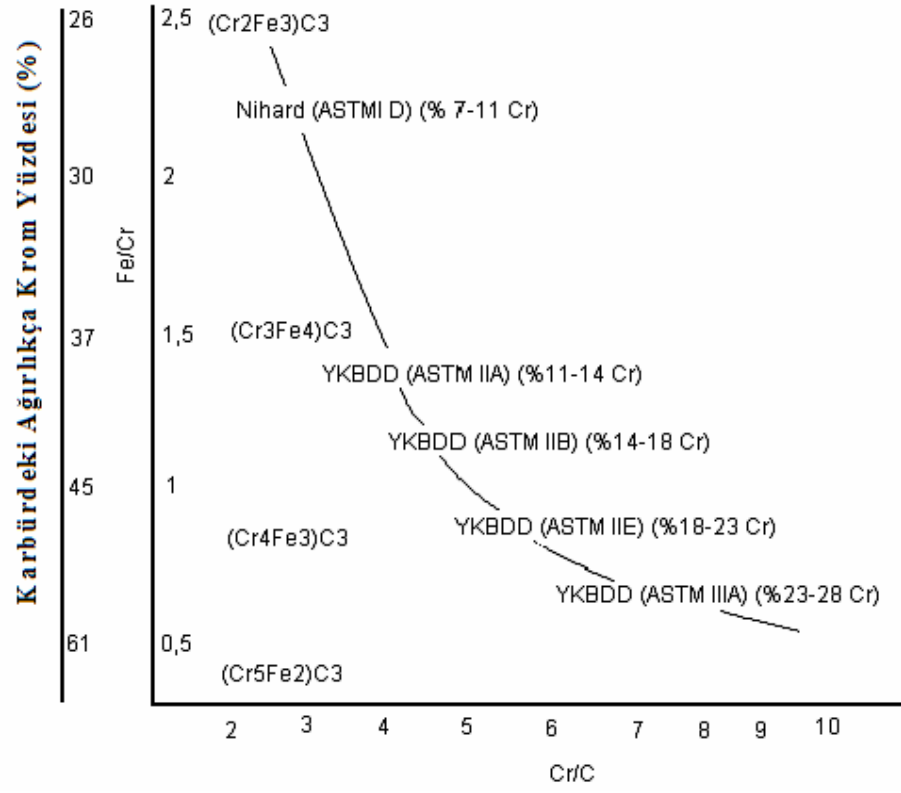
Şekil 10.5.c de verilen SEM görüntüsündeki karbür ve ana matristen alınan EDS analizleri Tablo 10.1 de verilmiştir.

**Tablo 10.1** N2.1 Numunesinde karbür ve matris analizi

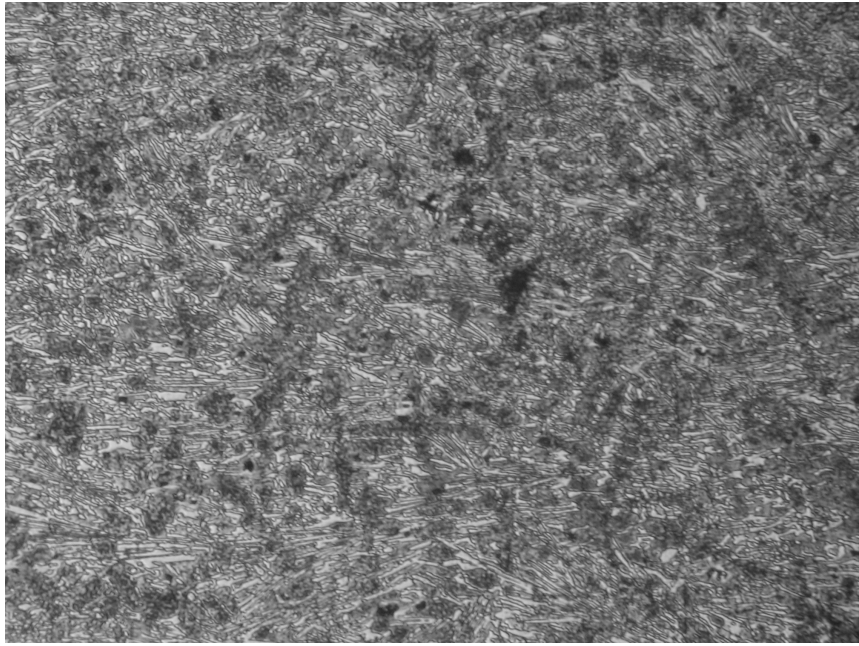
	Fe	Cr	C	Mn	Ni	Al	Ti	Si	Cr/C	Fe/Cr
Karbür	52.37	35.03	7.83	2.35	0.79	0.74	0.41	0.27	4,47	1,5
Matris	74.45	13.84	5.32	2.41	1.49	1.20	0.83	0.23	2,60	5,4

N2.1 numunesinin Şekil 10.5' te verilen mikroyapı görüntüleri ile N1 numunesinin Şekil 10.1 de verilen mikroyapı görüntüleri karşılaştırıldıklarında, aşılama sonrası elde edilen yapıda karbür ebatlarında bir değişimin olduğu (Şekil 10.5), aşılama sonrası karbürlerin dendritik yapıda oluşmadıkları görülmektedir. Mikroyapıdaki karbür ve matris içindeki Cr/C ve Fe/Cr oranları yapıdaki karbürlerin tipini belirlemede kullanılır[12]. Şekil 10.6 ve Tablo 10.1' de verilen Cr/C ve Fe/Cr oranları dikkate alındığında, mikroyapıdaki muhtemel karbürlerin  $(Cr_3Fe_4)C_3$  karbürleri olduğu görülmektedir. Matristeki karbürlerin ise  $(Cr_2Fe_3)C_3$  olduğu görülmektedir. Şekil 10.6' da belirtildiği gibi, Cr konsantrasyonunun artması ile yapıdaki karbürler  $(Cr_4Fe_3)C_3$  ve  $(Cr_5Fe_2)C_3$  formunu alırlar. Cr konsantrasyonundaki bu artış ile birlikte oluşan yapının serbest enerjisinin de arttığı literatür bilgilerinde verilmektedir. İleri bölümde DTA çalışmalarında da bu sonuca rastlanılmıştır. Serbest enerjideki artış karbürlerin korozyon direncini artırmaktadır [12].

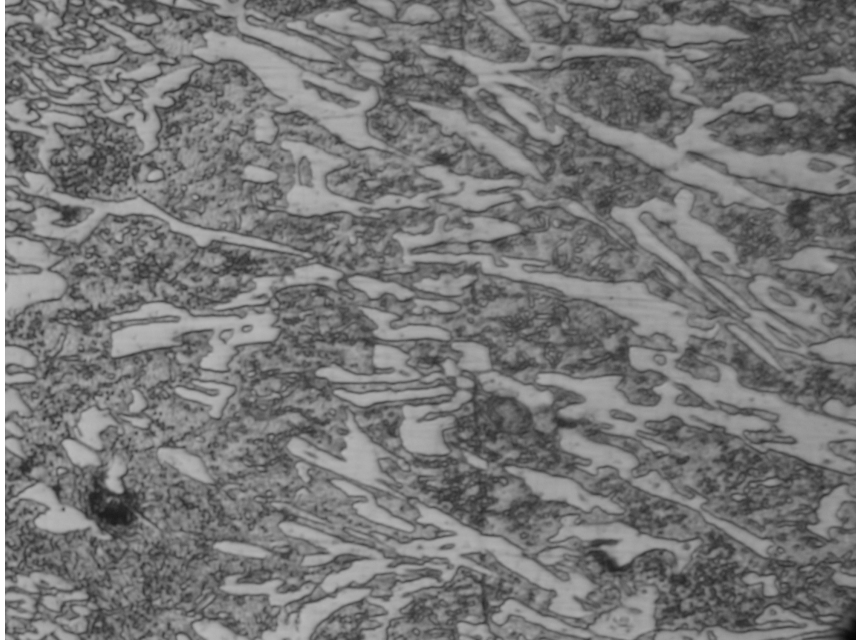
Isıl işlemin, aşılama doku üzerindeki etkisini incelemek kaydıyla yapılan ısıl işlemler numunelerin mikroyapı görüntüleri Şekil 10.7-10.8 ve 10.9' da verilmiştir. Cr konsantrasyonunun mikro yapıda oluşan karbürün tipini belirlediği görülürken, karbürlerin fiziksel şekilleri ve ebatlarını, karbürlerin ilk katılan veya son katılan yapı durumunu C ve Cr konsantrasyonunun birlikte belirlediği görülmüştür.



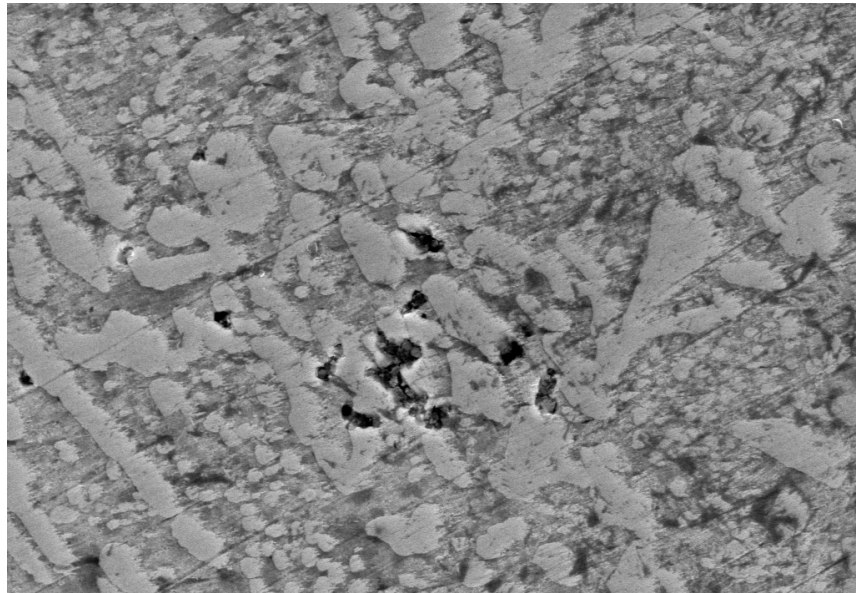
Şekil 10.6. Cr/C ve karbür tipi ilişkisi [12]



(a)



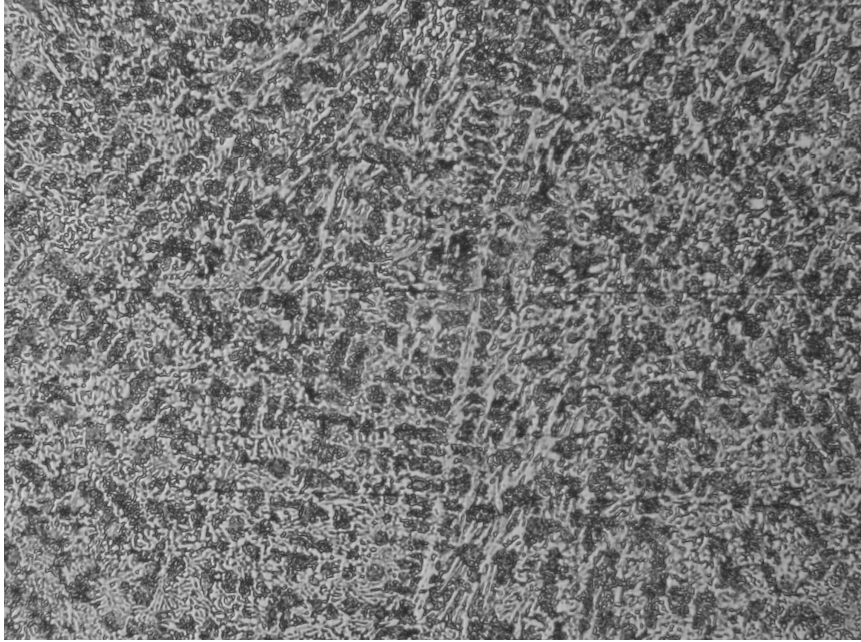
(b)



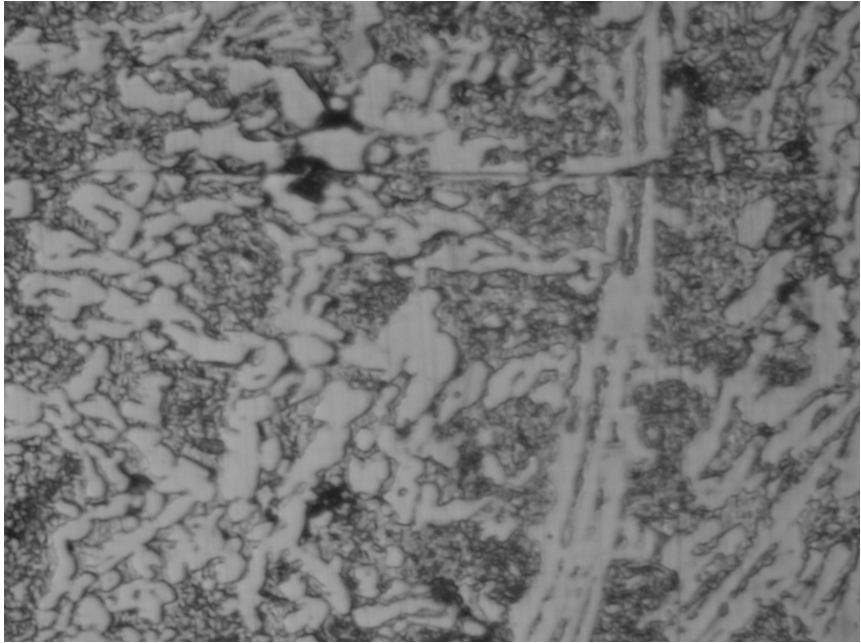
10µm Mag = 5.00 K X WD = 19 mm EHT = 20.00 kV Signal A = SE1 LEO

(c)

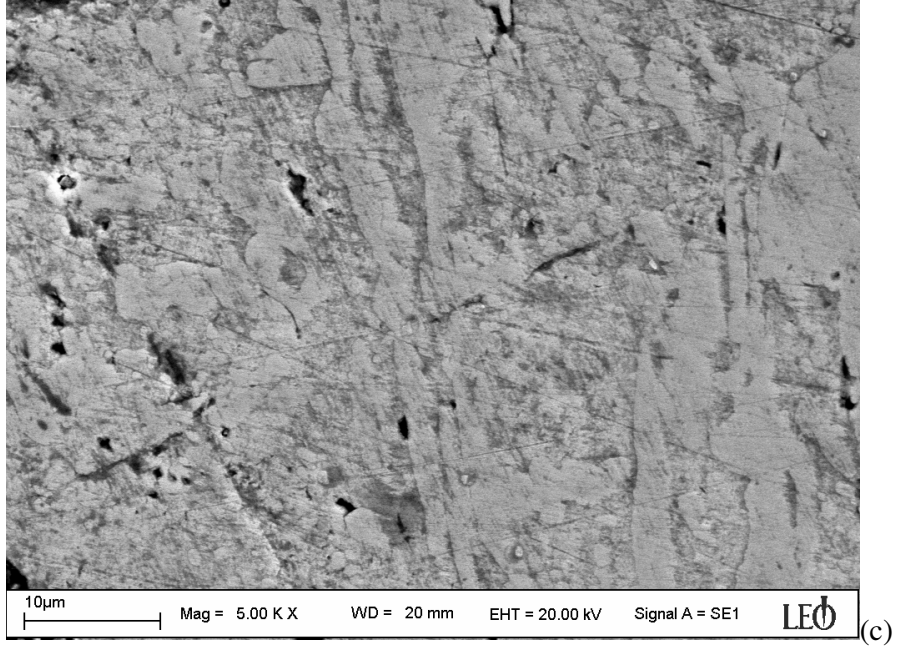
Şekil 10.7. N2.2 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c) SEM



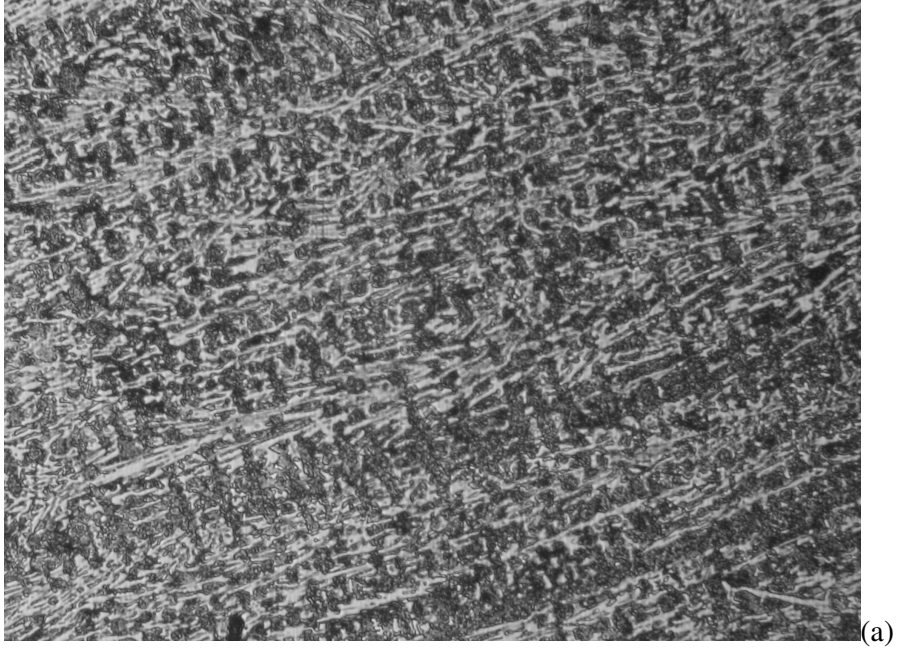
(a)

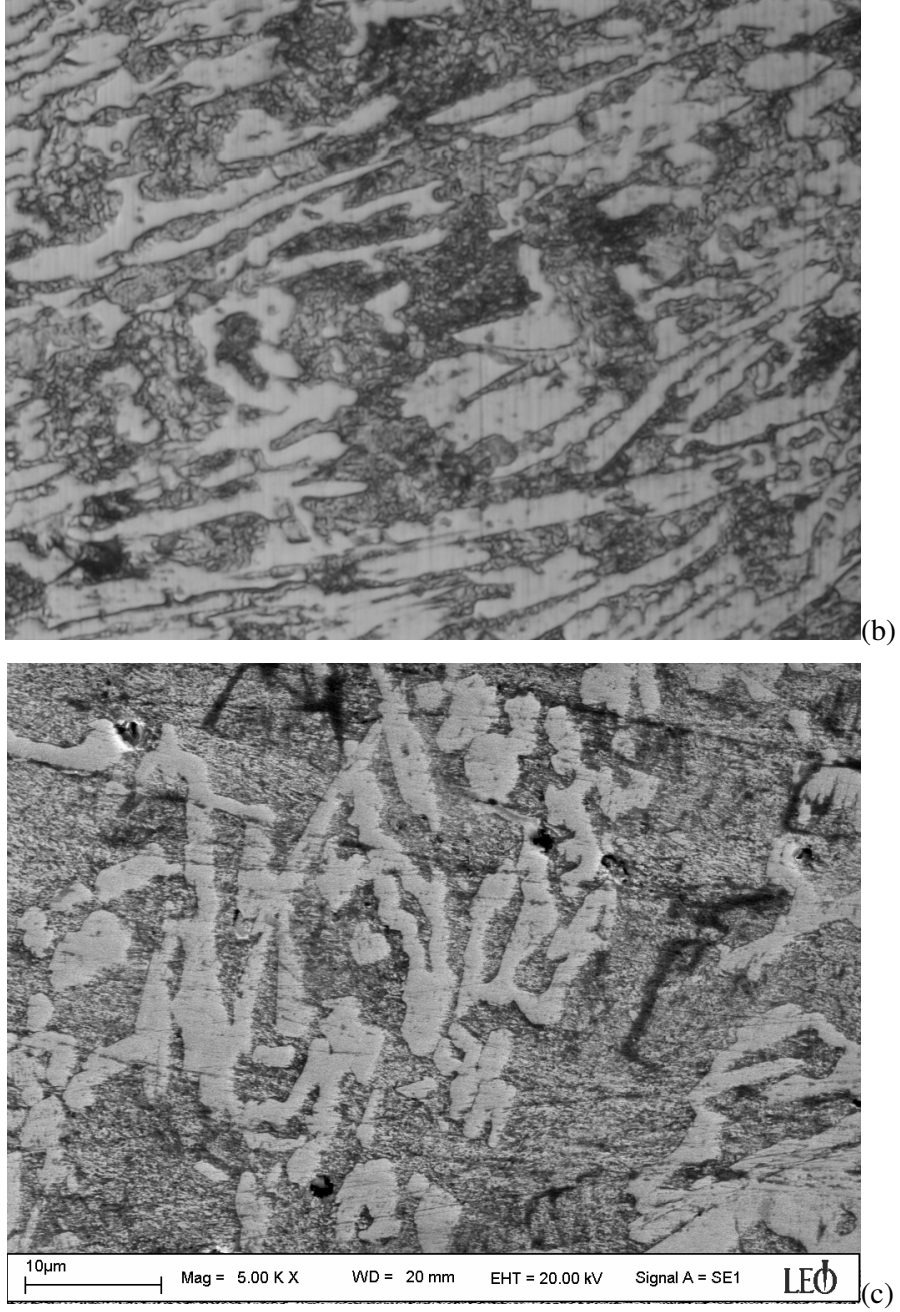


(b)



Şekil 10.8. N2.3 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c) SEM





Şekil 10.9. N2.4 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c) SEM

Bu çalışma sonrası, yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin aşılınması ile elde edilen yapıda karbürlerin çita tipli yapıdan, tam ve homojen olarak küresel bir yapıya dönüşebilecekleri düşünülmüştü, ancak sonuçlara göre bu dönüşümden bahsetmek mümkün değildir. Çünkü, Mikroyapı görüntülerine göre çekirdekleşme homojen ve mükemmel dağılımlı olarak gerçekleşmemiştir. Katılaşma esnasında Fe, yarı karalı sıvı yüzeye

yaklaştığında küçük katı taneciklerinin çekirdekçik rolü oynadıkları düşünülmektedir. Katılaşma devam ettikçe ilave harici taneciklerin sıvı metalin çekirdekleşme ve katılaşma hızında önemli rol oynadıkları farz edilmektedir. Sıcaklık düştükçe dendritler yarı kararlı yüzeyin altında büyümeye başlarlar. Ancak katılaşma başlangıcında çekirdeklenen taneciklerin katılaşmanın devam eden aşamalarında oluşan taneciklere göre daha fazla büyüdükleri kanaati hasıl olmuştur. Sonuç olarak yapı çok büyük ötektik karbürlere ve bu karbürleri sarmalayan küçük taneciklere sahip olmuştur. Nihayetinde, aşılama ile çekirdek sayısı artmış, sıvı içinde taneciklerin büyümesi eş zamanlı gerçekleşmiştir.

Tablo 10.2' de N2 numunesinin Şekil 10.9.c' de verilen SEM görüntüsündeki karbür ve matristin EDS analizleri verilmiştir.

**Tablo 10.2.** N2.4 Numunesinde karbür ve matris analizi

	Fe	Cr	C	Mn	Ni	Al	Ti	Si	Cr/C	Fe/Cr
Karbür	53.36	33.92	8.05	1.91	0.90	1.06	0.32	0.48	4,2	1,6
Matris	74.85	13.03	5.94	0.99	1.19	2.99	0.26	0.75	2,2	5,75

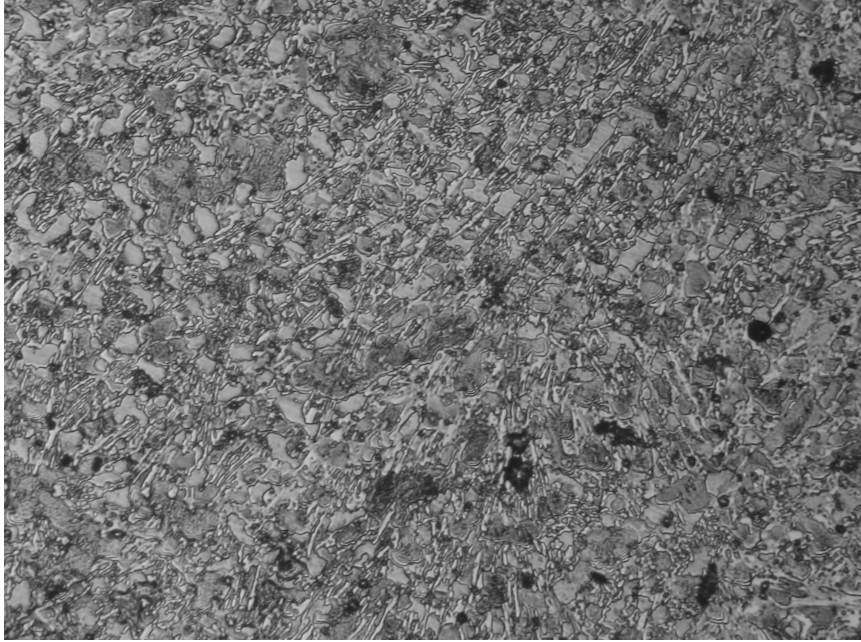
Tablo 10.2 ile Tablo 10.1 karşılaştırıldıklarında karbür ve matristeki analizlerin oranlarında ısıtma işlem sonrası karbür tipini değiştirecek oranda büyük bir değişimin olmadığı görülmektedir.

$M_7C_3$  karbürleri trigonal (Pseudo-Hexagonal) kristallografisine sahiplerdir. Morfolojileri çubuk veya plaka tipli olabilir. Mikrosertlikleri 1000-1800 Hv aralığında değişebilir [19]. Sertlik değerlerindeki bu değişimin sebebi ölçümün yapıldığı karbür yerine bağlı olarak değişim gösterir. Örneğin Çubuk tipi bir karbürün dik kesit yüzeyi 1800 Hv sertliğinde iken karbürün yatay kesit yüzeyi 1000 Hv sertliğindedir. Bu tür karbürlerin yoğunlukları 6,6-6,9 g/cm<sup>3</sup> değerinde olup kimyasal yapılarında % C miktarı %8,6-%8,9 mertebesindedir.  $M_7C_3$  karbürleri temel alaşım elementlerinden Cr elementini bünyelerinde %24-50 aralığında barındırabilirler. Sahip oldukları oluşum serbest enerjileri ise -10/-20 kJ/mole aralığındadır. Tablo 10.2 değerlendirildiğinde  $M_7C_3$  karbürü için Cr konsantrasyonunun literatürde verilen değerler aralığında olduğu görülmektedir.

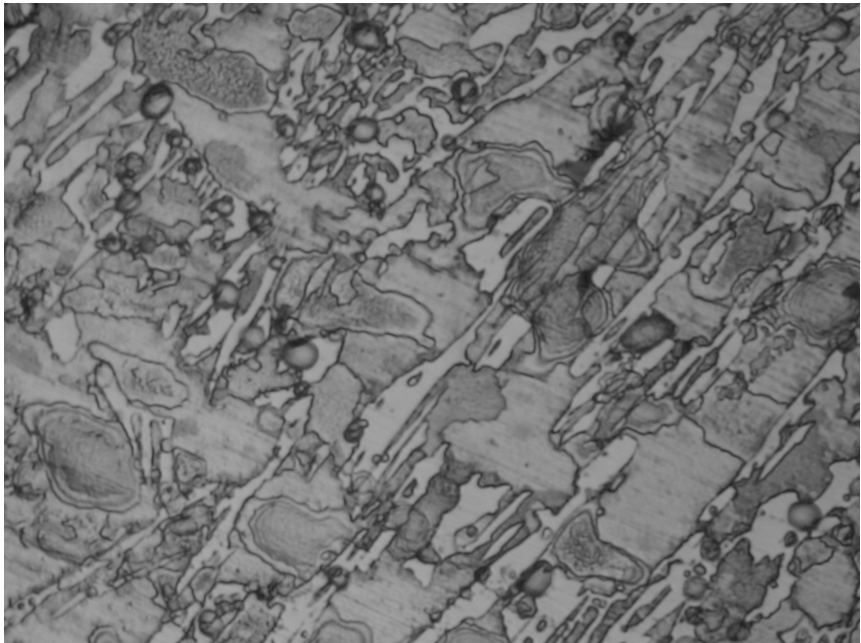
Bazı açılardan mikroyapı incelemelerinde  $M_3C$  karbürleri süreksizlik arz ediyor gibi görünse de SEM incelemeleri göstermiştir ki bu karbürler süreklilik arz ederek tezahür ederler (Şekil 10.9). Yapıda ferrit veya östenit ile birlikte oluşarak nano kompozit yapısında bir oluşum gerçekleştirilebilir.  $M_3C$  karbürleri sahip oldukları farklı morfolojilerinden dolayı diğer karbürlerden ayrılırlar. Bu karbürün morfolojisi genellikle ince plaka tipi yapısı ile belirgindir ve ince plaka biçimli karbürün devamlılığı en temel mikroyapısal özellik

olarak ortaya çıkar. Bazı hallerde ikincil karbür olarak oluşur (katı hal dönüşümlerinde). Bu durumlarda perlitik bir oluşum söz konusudur. Bu karbür 800-1000 Hv sertliğinde olabilir ve bu karbürün diğer karbürlere göre en üstün tarafı ise kütleli oranda teşekkül etme kabiliyetidir. Ancak, gibbs serbest enerjisi açısından incelendiğinde bu karbürün oluşum serbest enerjisi +10/-10 kJ/mol mertebesindedir. Karbürlerdeki Cr konsantrasyonunun artışına bağlı olarak gibbs serbest enerjisinin lineer olarak değiştiği literatürde belirtilmektedir. Bu karbürlerin kristal örgüleri ortorombik yapıdadır. Sahip oldukları %C oranı %6,7-6,9 mertebesinde ve %Cr oranı ise maksimum %17 mertebesindedir. Bu karbürlere oldukça yüksek oranda Mn elementi çözünme kabiliyetine sahiptirler. Mesela yapıya %1 Mn ilave edildiğinde Mn elementinin tümü bu karbür içinde çözünür. N2 numunesinin kimyasal yapısı Tablo 10.2' den incelendiğinde karbür tanelerinin  $M_7C_3$  karbürleri oldukları %Cr konsantrasyonundan da belli olmaktadır. Matris yapısındaki Cr/ C konsantrasyonu ise yapıda  $M_3C$  karbürlerinin varlığına işaret etmektedir.

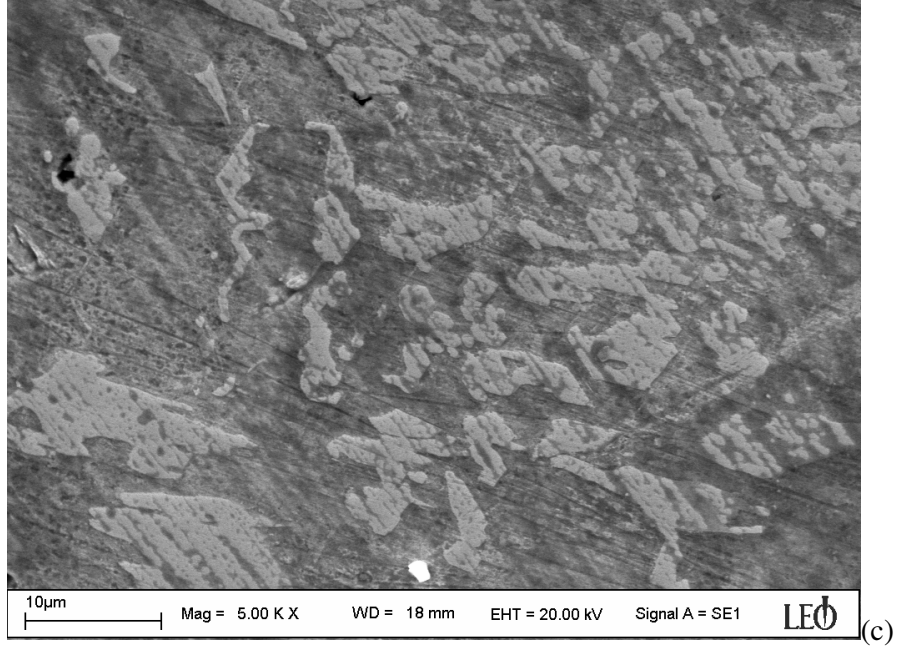
N3 numunesinin mikroyapı görüntüsü Şekil 10.10' da verilmiştir. Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde TiBAl oranındaki artış ile birlikte dendritik tipte katılma oranı azalmış, karbürlerin yapıdaki dağılımlarının homojen bir dağılıma doğru meylettiği görülmektedir. Titanyum diborürler ( $TiB_2$ ), kimyasallara karşı en dayanıklı ve en sert fazlardır. Ti, eriyiklere aşılmalı olarak katıldığında çok küçük  $TiB_2$  partikülleri oluşur. Bu partiküller katılma başlatarak östenit ve karbür taneleri için çekirdekçik oluşumunu başlatırlar. EDS sonuçlarına göre karbürlerin bünyesindeki Ti oranı TiBAl oranındaki artış ile birlikte artış göstermiştir.



(a)

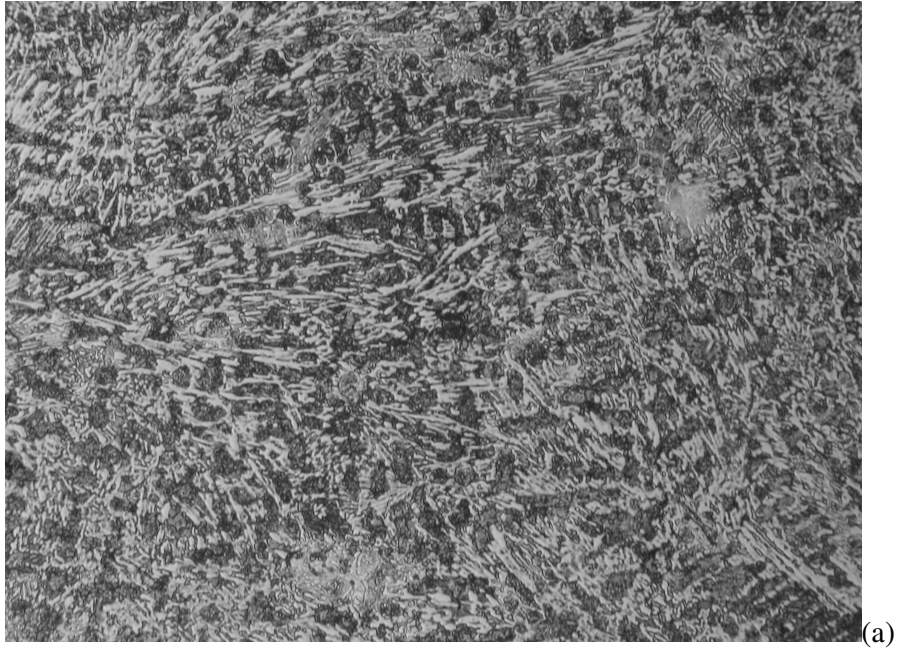


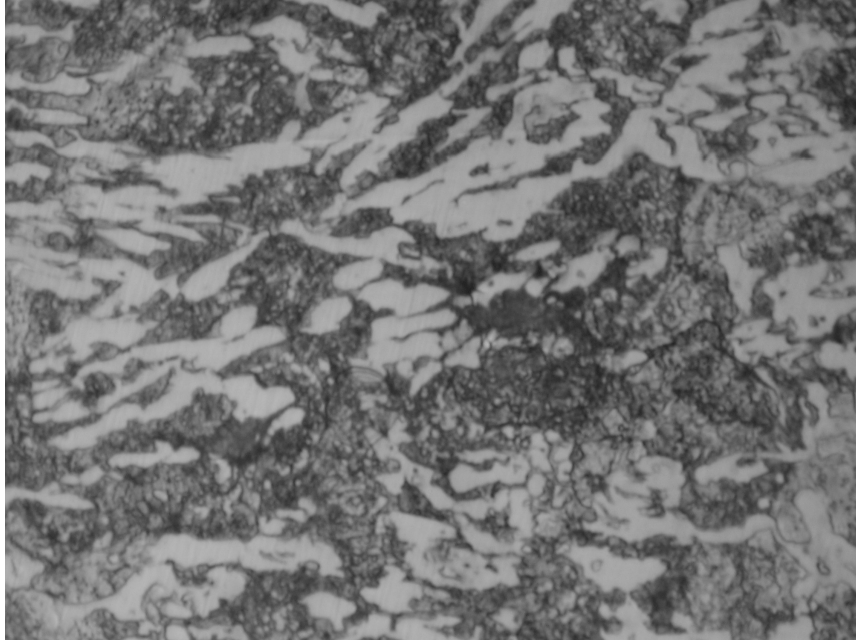
(b)



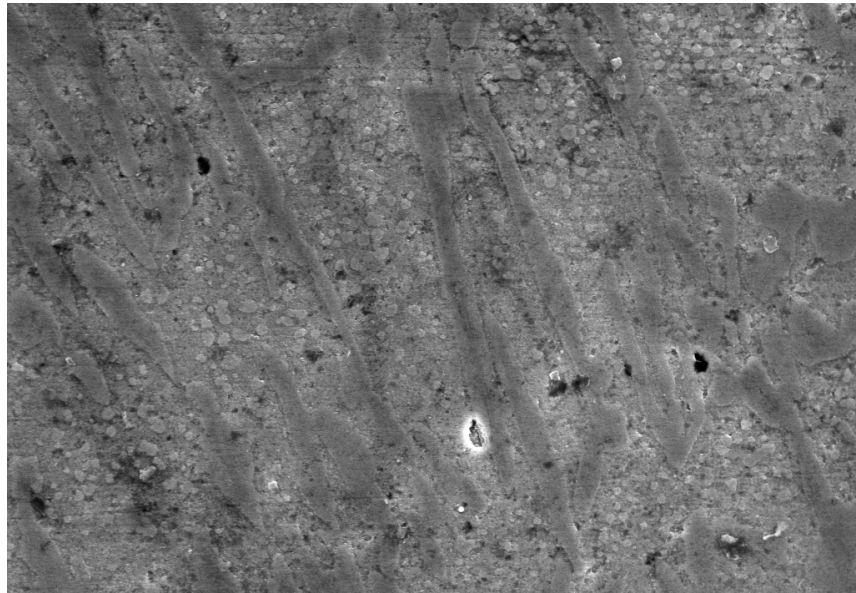
Şekil 10.10. N3.1 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c) SEM

N3 numunesine uygulanan ısıl işlemler sonrası ısıl işlemin etkisi Şekil 10.11-12-13' de verilmiştir. Isıl işlem süresinin dendritik yapıdaki karbürlerin ebatlarını düşürmede etkili olduğu görülmektedir.





(b)

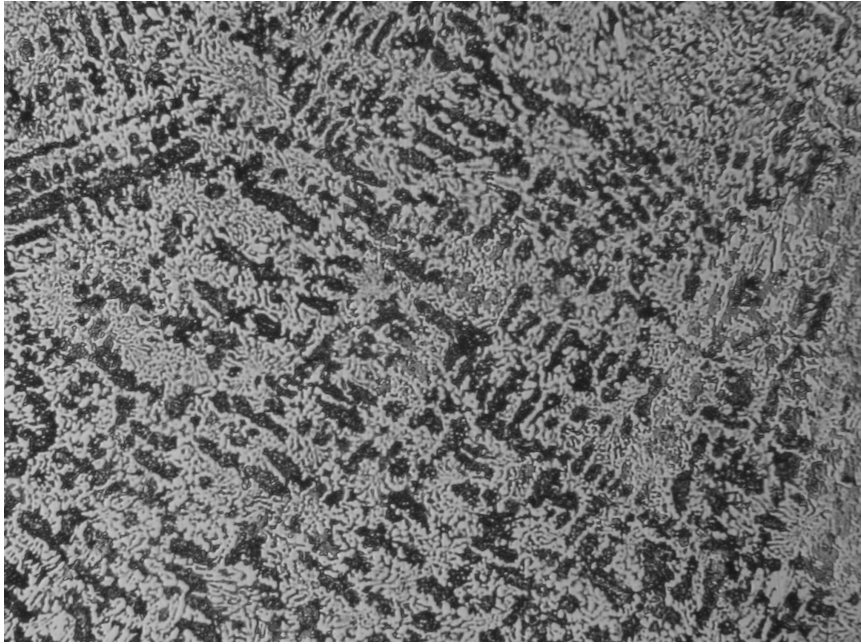


10µm Mag = 5.00 K X WD = 18 mm EHT = 20.00 kV Signal A = SE1

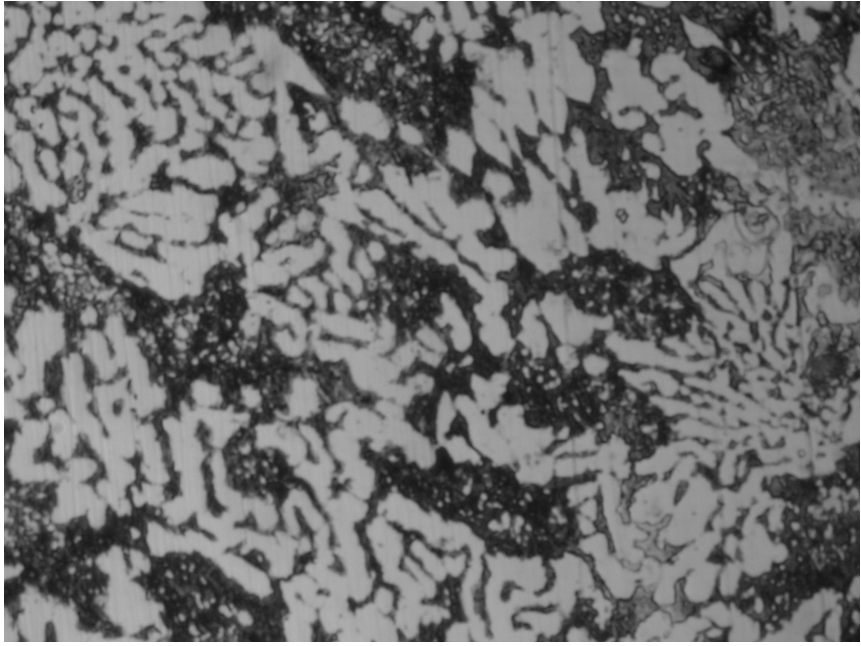
LEO

(c)

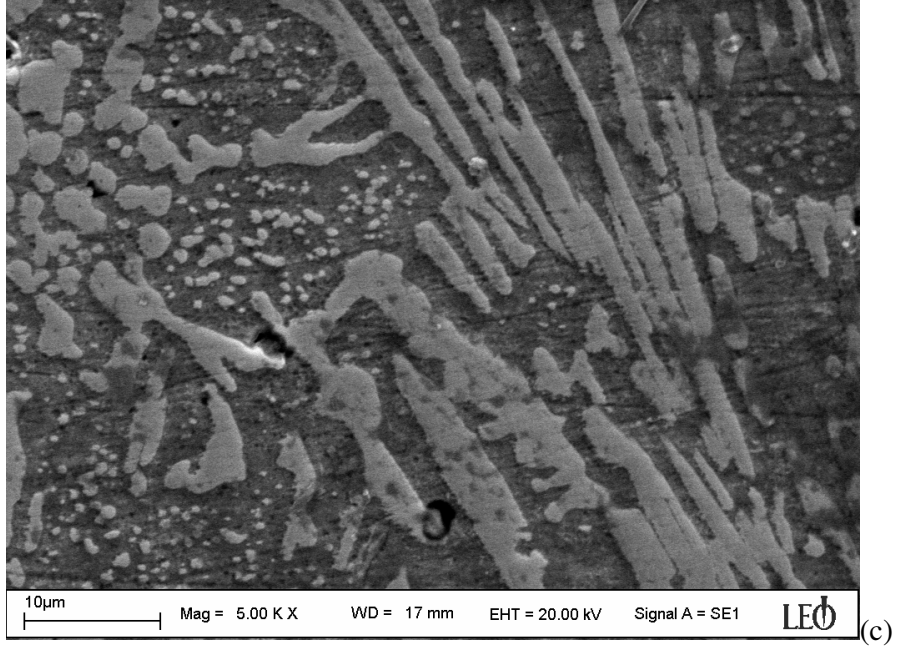
Şekil 10.11. N3.2 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c) SEM



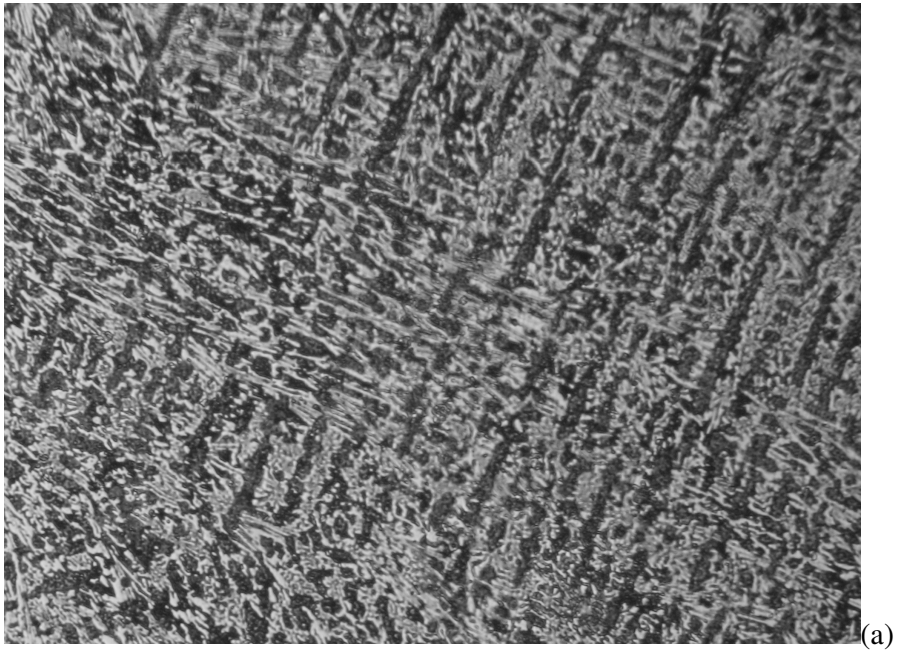
(a)

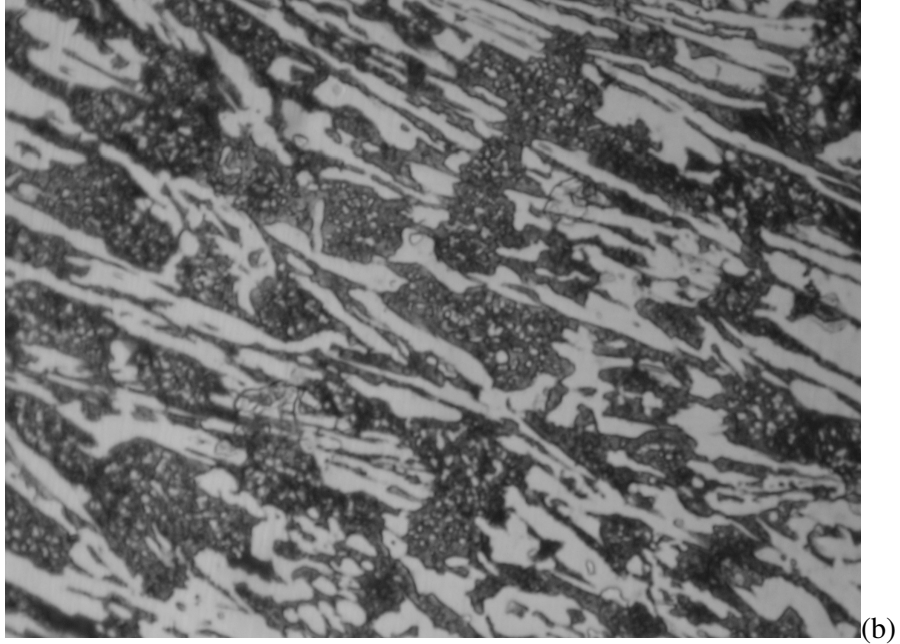


(b)

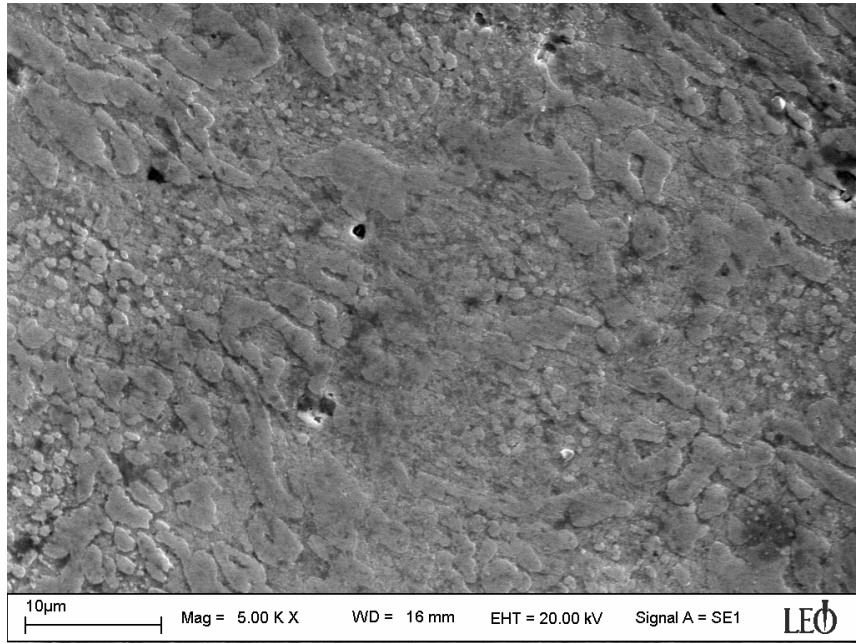


Şekil 10.12. N3.3 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c)SEM





(b)



(c)

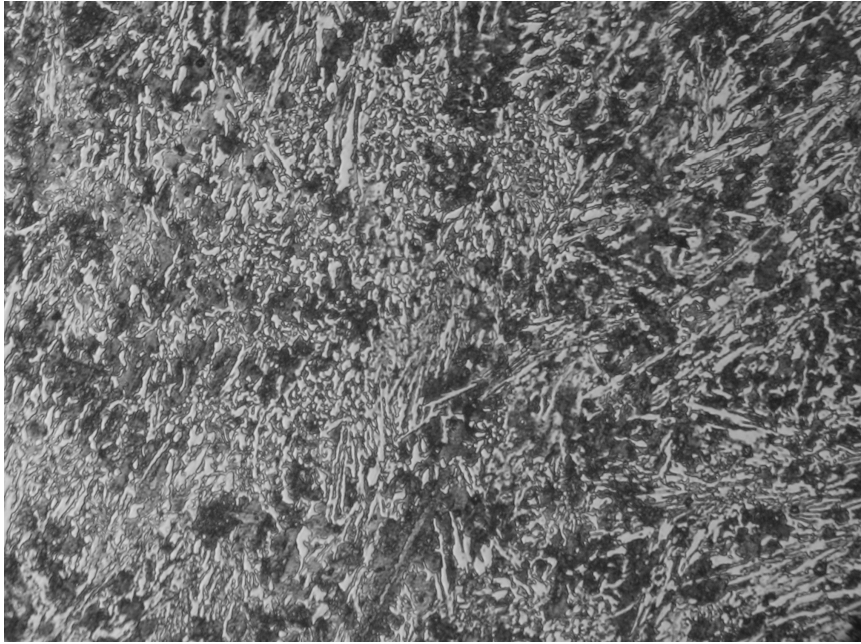
Şekil 10.13. N3.4 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c)SEM

Beyaz dökme demirlerde en temel fazlar östenit, martenzit ve perlittir. Bu fazların oranına bağlı olarak yapının sertliği, tokluğu ve aşınma özelliği değişim gösterir. Çalıştığımız numuneler ötektik altı beyaz dökme demirler olduğundan yapıda ilk oluşan faz östenit fazıdır. Katışama esnasında ilk oluşan bu faz dendritler halinde termal gradyanta göre farklı şekilli dendrit kolları halinde oluşur. Östenit kristalleri belirli bir karbon eşdeğerine

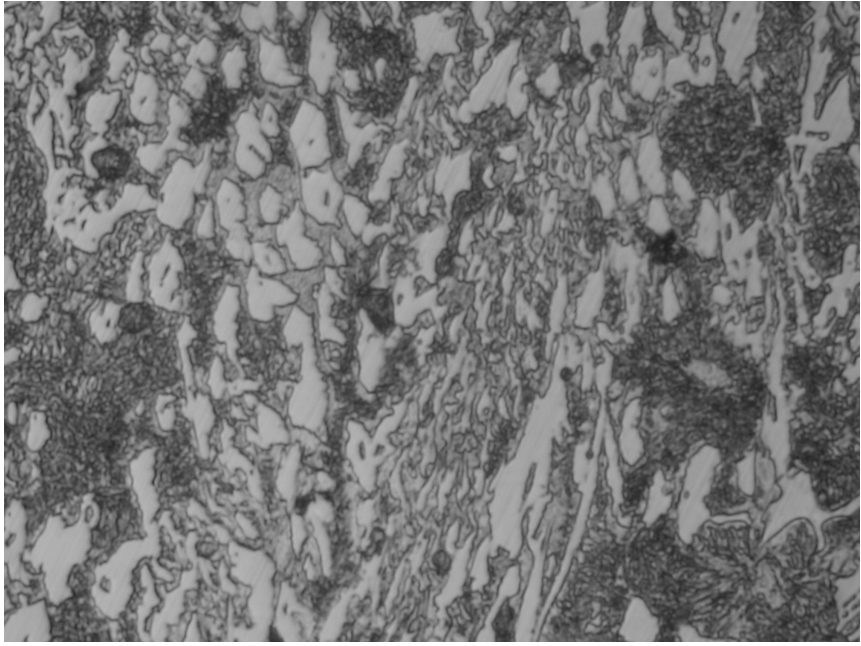
sahiptir. Bu karbon eşdeğerini C, Mn, Ni, Mo elementleri gibi elementler oluşturur. Matrisdeki karbon konsantrasyonu arttıkça, kübik yüzey merkezli atomik kristal içindeki kafes parametresi de artar. İlk oluşan östenit fazındaki krom konsantrasyonuna bağlı olarak östenit içindeki karbon konsantrasyonu %0,3 ile %2,11 aralığında değişebilir. Oda sıcaklığında ise östenit içindeki karbon eşdeğerinin çözünürlüğü yaklaşık olarak sıfırdır. Karbon oda sıcaklığında östenit fazının kararlılığı üzerinde en etkin role sahiptir. Basitçe söylemek gerekirse, karbon martenzit başlama sıcaklığını daha düşük sıcaklık değerlerine indirmede en önemli etkidir. Yüksek karbon içerikli östenit fazı oda sıcaklığına soğutulduğunda yapının perlit fazına dönüşümü engellenirse oluşacak faz kalıntı östenit olur. Ancak Mikroyapı çalışmalarımızda gerek optik ve gerekse SEM mikroyapı görüntülerinden, yapıdaki kalıntı östenit oranı belirlenememiştir. Tablo 10.1 ve Tablo 10.2' de verilen matris analizleri incelendiğinde matris analizlerinde bariz bir değişime rastlanmamıştır.

Aşılmalı orandaki artışla birlikte katılaşma esnasında ana dokunun oluşumunu iki temel faktörün etkilediği görülür. Katılaşma esnasında TiBAI deki Al, O ile reaksiyona girerek  $Al_2O_3$ 'ü oluşturur ve egzotermik bir reaksiyonla dışarı ısı verir. Böylece soğuma esnasındaki ısı dağılımını etkilemiş olur. Bu etki ile karbür ebatları arasındaki değişimin arttığı kanaatine varılmıştır. Aynı zamanda, borürlerin oluşumu ile katılaşma esnasında çekirdekçik sayısındaki artış sebebiyle matris içinde küçük taneli borürlerin oluştuğu kanaatine varılmıştır.

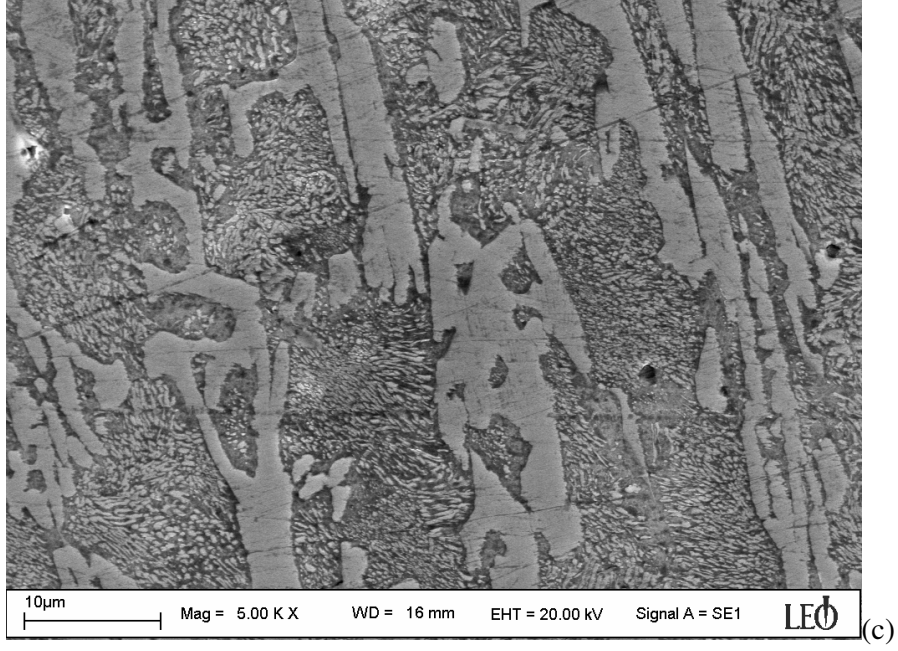
TiBAI oranındaki artış sonrası elde edilen N4 numunesinin mikroyapı görüntüsü Şekil 10.14' te verilmiştir. Aşılmalı orandaki artışın, ikincil karbürlerin oranında bir artışa sebep olduğu görülmektedir.



(a)

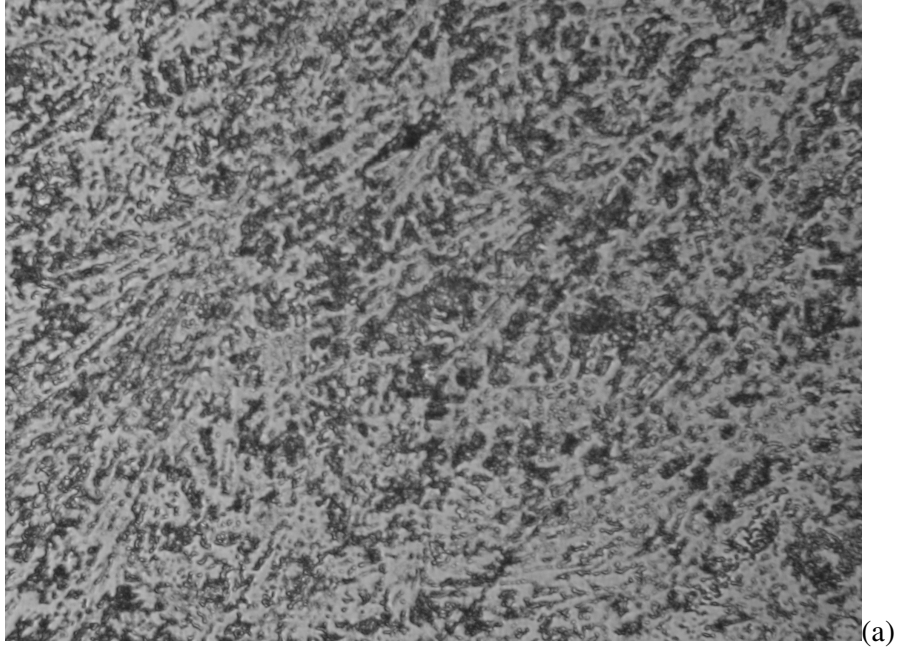


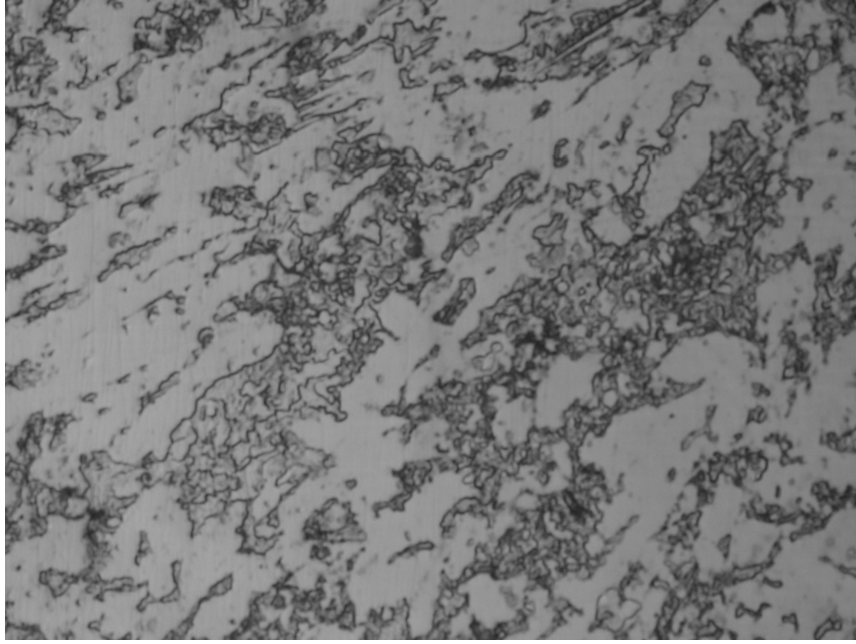
(b)



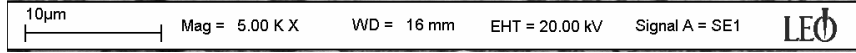
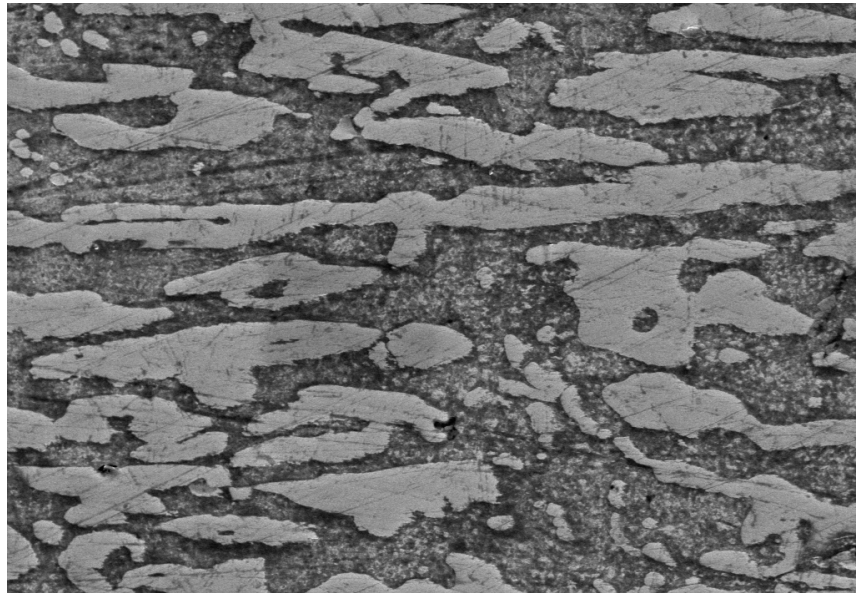
Şekil 10.14. N4.1 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c)SEM

N4 numunesine uygulanan ısı işlemlerin mikroyapıda oluşturdukları değişim Şekil 10.15-16-17' de verilmiştir.



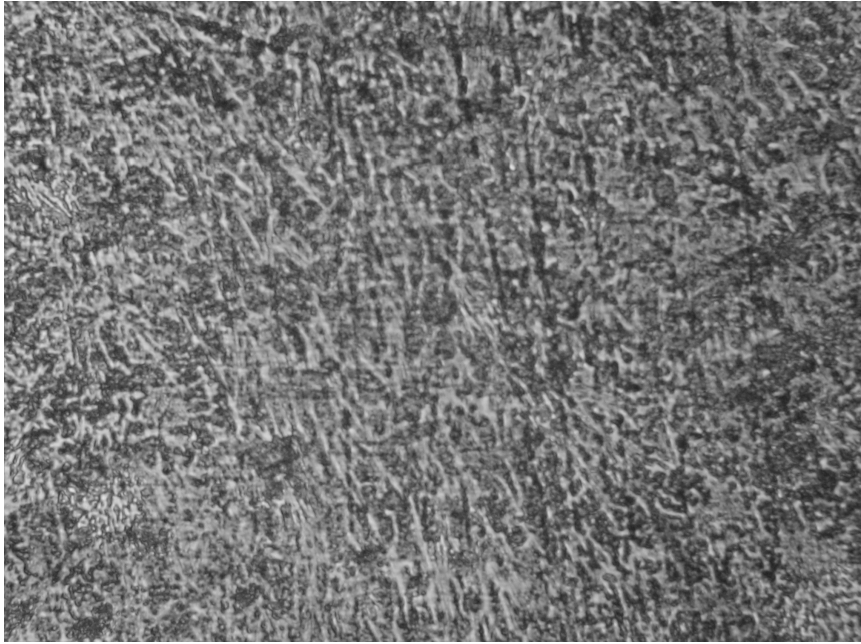


(b)

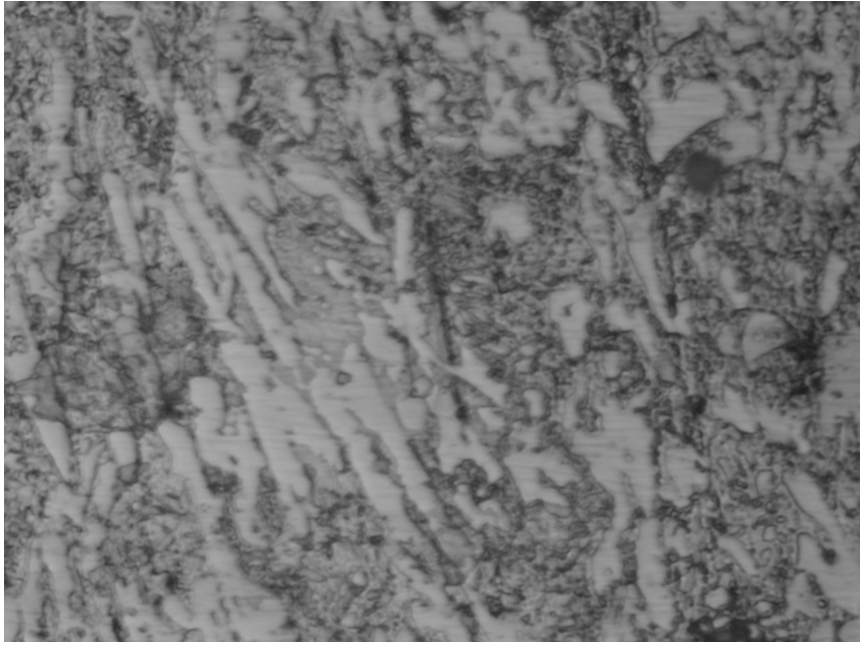


(c)

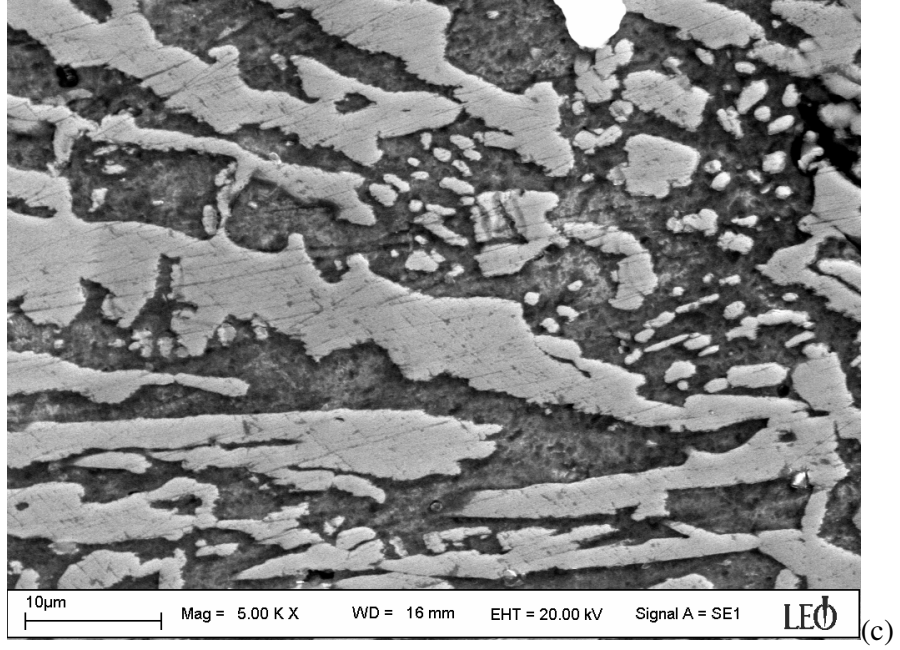
Şekil 10.15. N4.2 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c)SEM



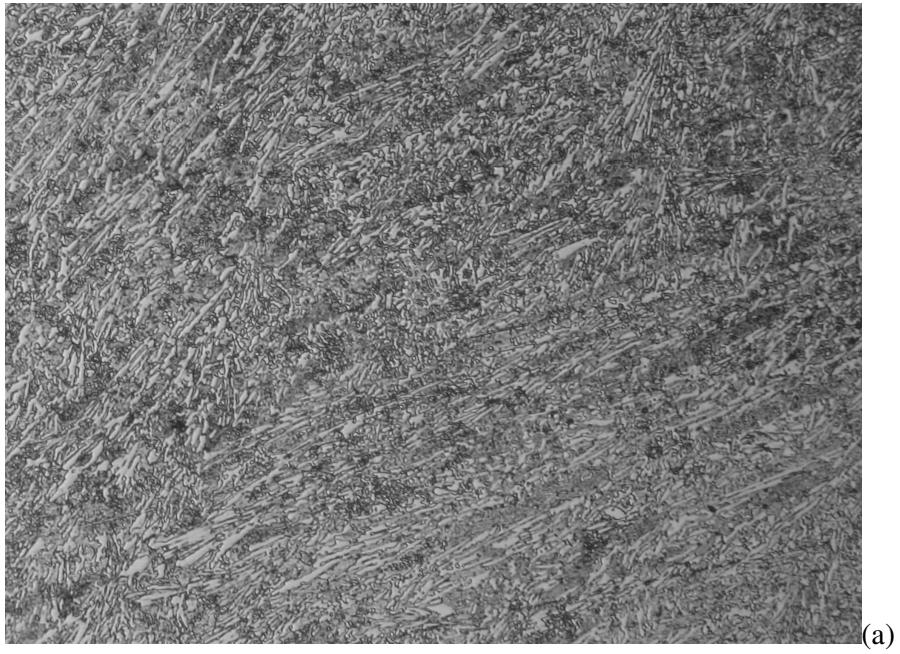
(a)

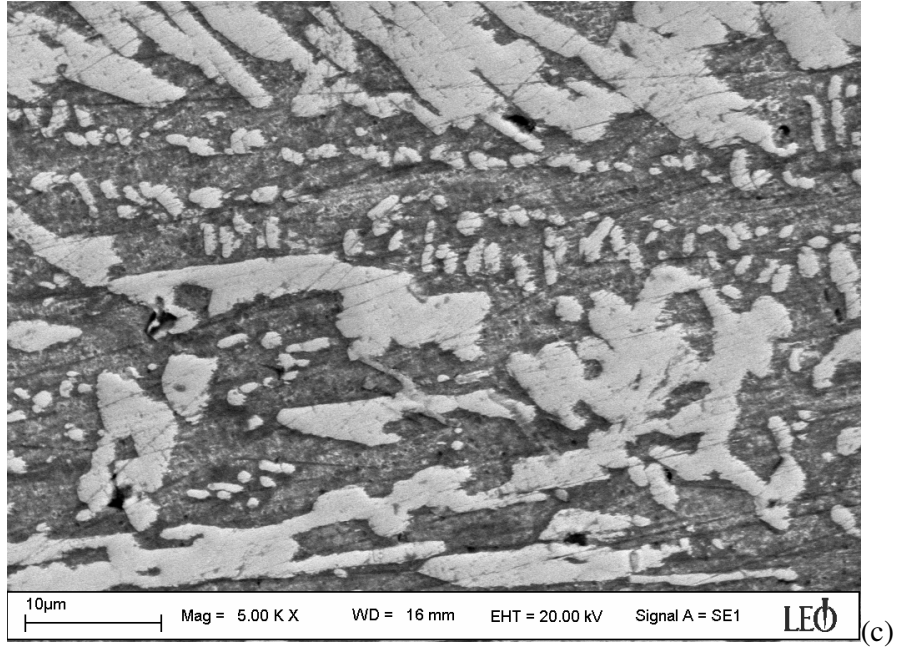
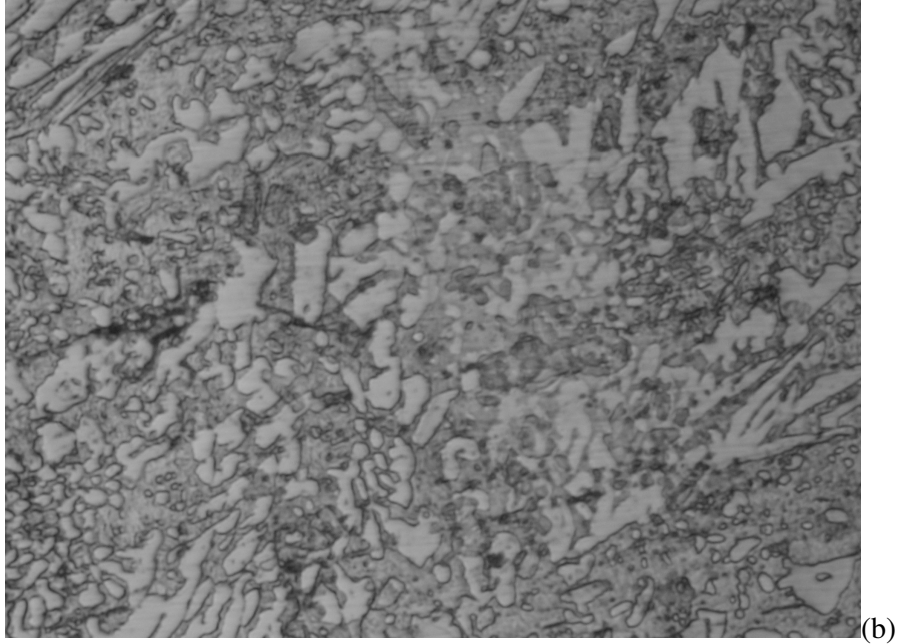


(b)



Şekil 10.16. N4.3 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c)SEM



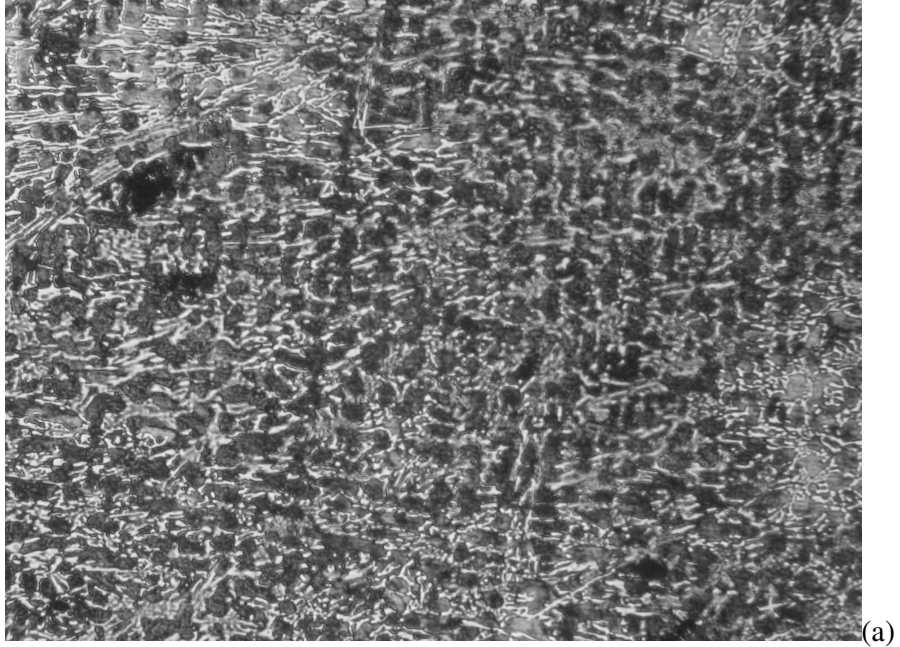


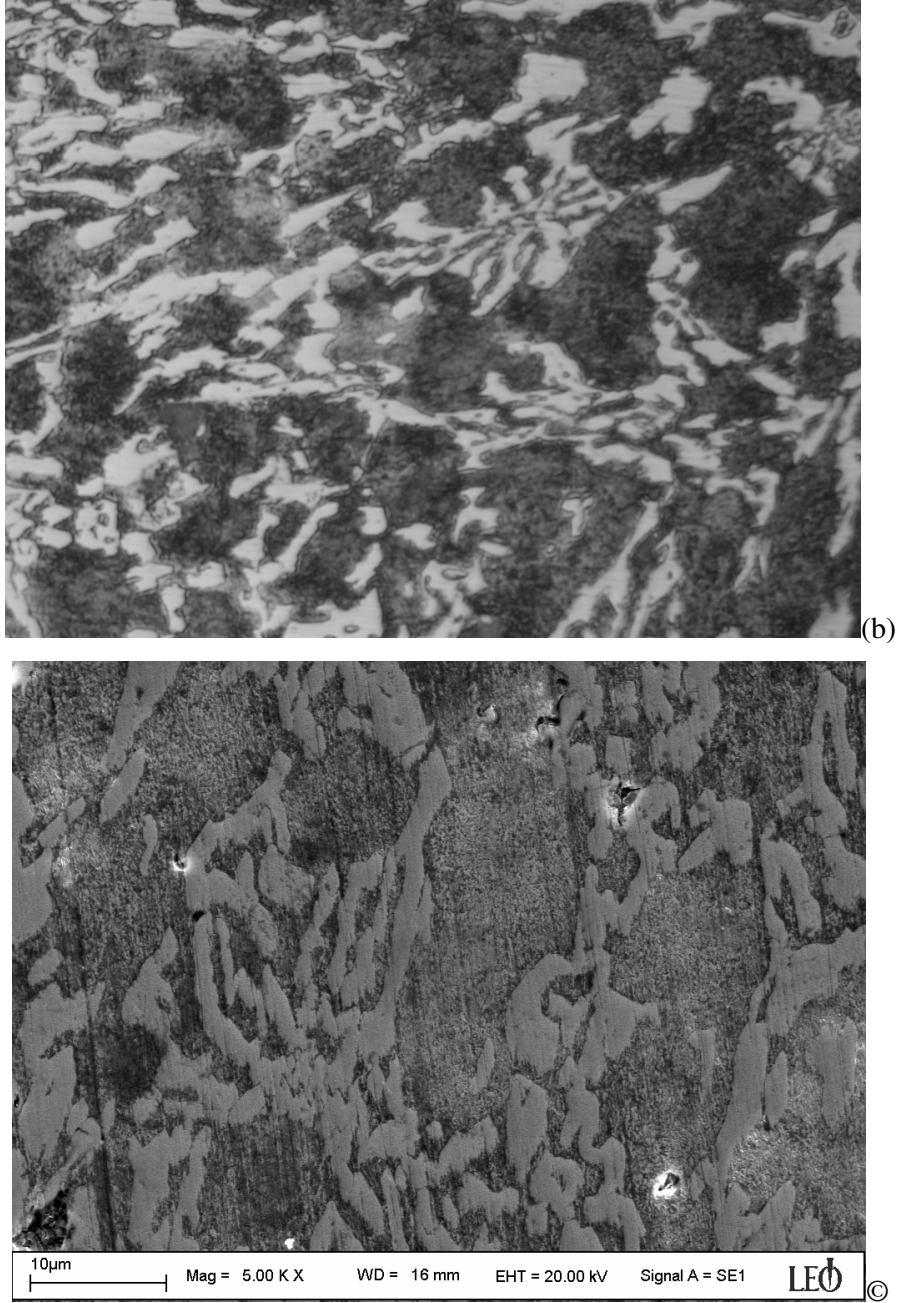
Şekil 10.17. N4.4 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c)SEM

Aşınma dirençli dökme demirler ferrit veya östenit matrisli olarak üretilebilirler. Ancak asla martenzit matrisli olarak üretilemezler. Eğer ürün östenitik matrisli olarak üretilmiş ise ürün ısıtılma işlemi ile martenzit fazına dönüşebilme ihtimaline sahiptir. Soğuma oranını veya sertleşebilirliğin yeterli olduğunu düşünelim, bu durumda yapıda kristal örgü hızlı bir biçimde değişime uğrar. KYM yapı HMT yapıya dönüşür. Difzyonsuz bu

dönüşümde karbon konsantrasyonu değişmez. Yeni oluşan yapı KHM yapıya benzer ancak yüksek karbon oranı kafesi tahrip eder ve % 4.3 gibi bir hacimsel genişleme gerçekleşir. Ancak beyaz dökme demirdeki östenit fazının oranı ve ısı işlemi ile martenzit fazına dönüşen oranı dikkate alındığında toplam hacimsel dönüşüm oranı azalacaktır. Yapıda tezahür eden martenzit fazı iğnemsiz veya plaka tipli olabilir. Literatür araştırmalarında beyaz dökme demirlerde iğnemsiz martenzit fazının teşekkül ettiği bilgisine erişilmiştir. Isıl işlemlerle numunelerimizde mikroyapı görüntüleri sonrası matristeki martenzit fazının çok küçük ebatlarda olması sebebiyle çok açık bir görüntü olarak belirlenememiştir.

N5 numunesine % 2,5 oranında TiBA1 uygulanmış ve oluşan mikroyapının görüntüleri Şekil 10.18’de verilmiştir.





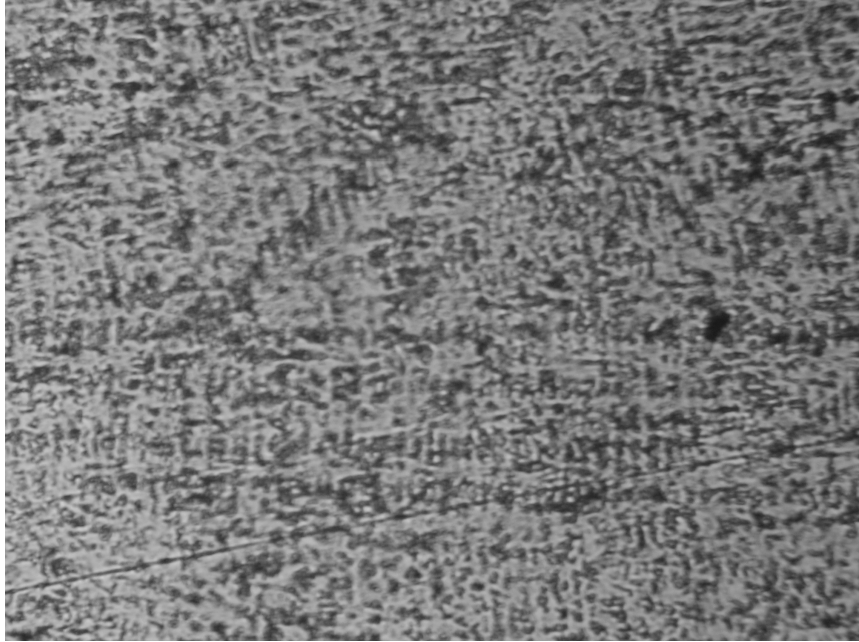
Şekil 10.18. N5.1 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c)SEM

Şekil 10.18.c görüntüsü incelendiğinde matriste bulunan sert fazların küçüldükleri, karbürlerin ise yaklaşık 5µm ebatlı oldukları görülmektedir. TiBAI oranının % 2,5 oranına çıkarılması ile elde edilen N5 numunesinin Şekil 10.18' de verilen ısı işlemsiz görüntüsünün SEM görüntüsünden alınan EDS analizleri Tablo 10.3' te verilmiştir. Tablodaki veriler ışığında karbür analizi incelendiğinde, Cr/C oranının karbürlerde arttığı görülmüştür. Bu

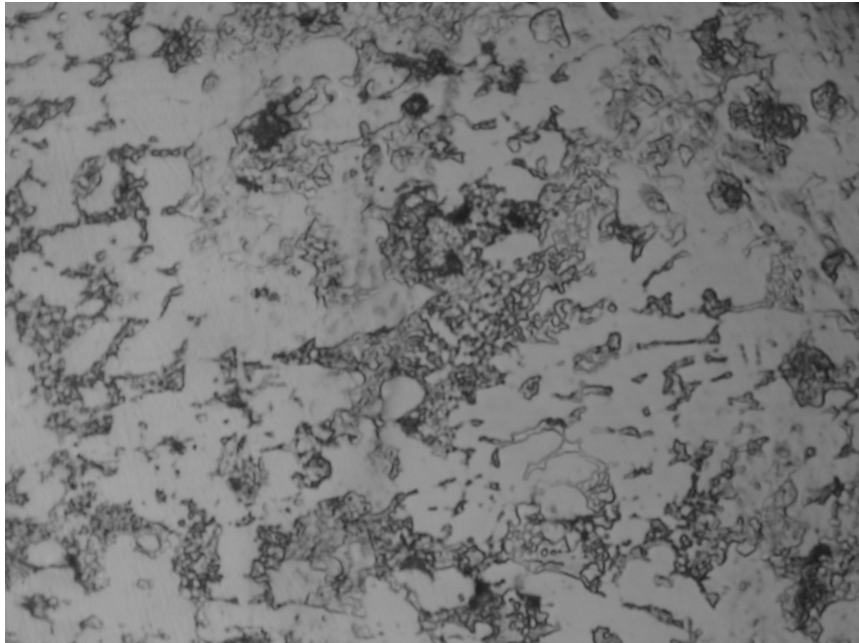
oranlara göre oluşan karbürlerin  $(Cr_3Fe_2)C_3$  yapısında oldukları düşünülmektedir. N5 numunesi üzerine ısı işlemin etkisi Şekil 10.19-20-21' de verilmiştir.

**Tablo 10.3.** N5.1 Numunesinde karbür ve matris analizi

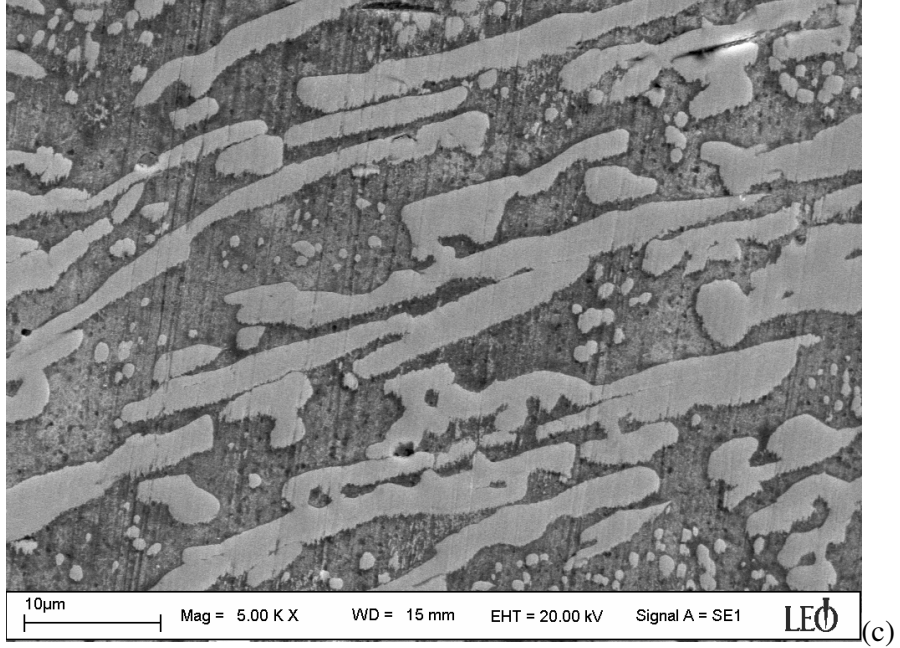
	Fe	Cr	C	Mn	Ni	Al	Ti	Si	Cr/C	Fe/Cr
Karbür	42.32	47.59	5.65	2.24	0.64	0.47	0.53	0.22	8,42	0,89
Matris	74.70	13.69	6.10	1.21	1.07	2.33	0.18	0.58	2,24	5,45



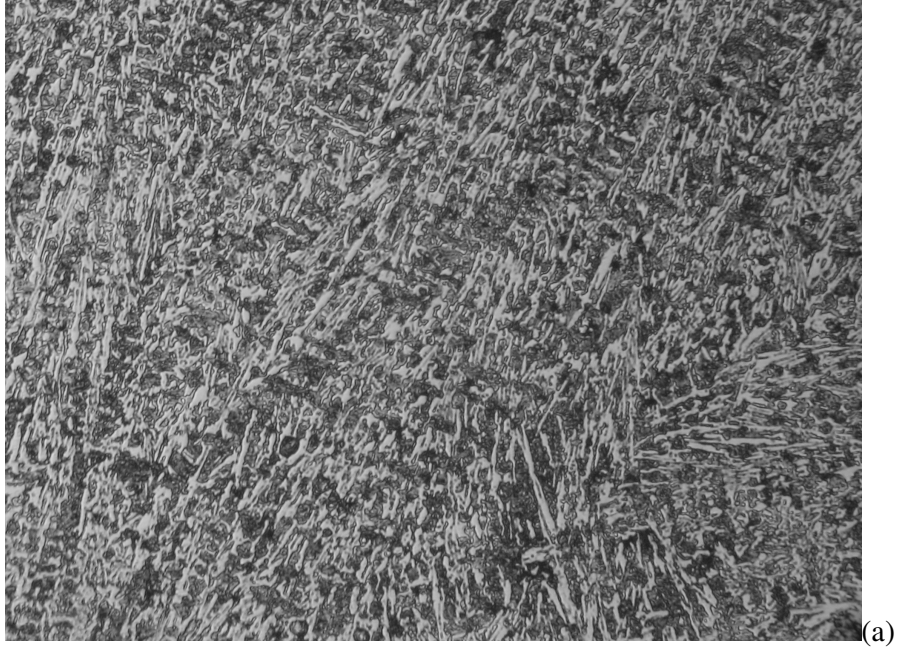
(a)

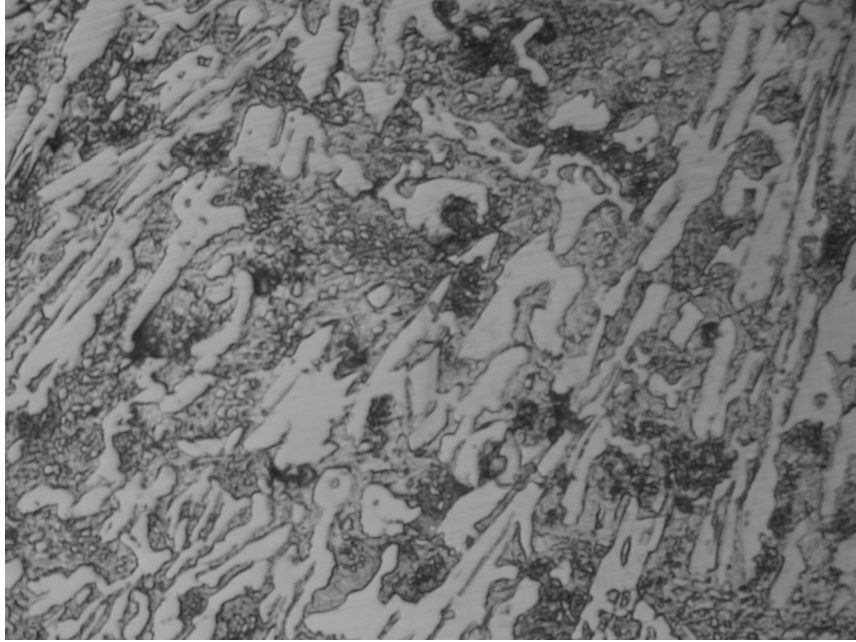


(b)

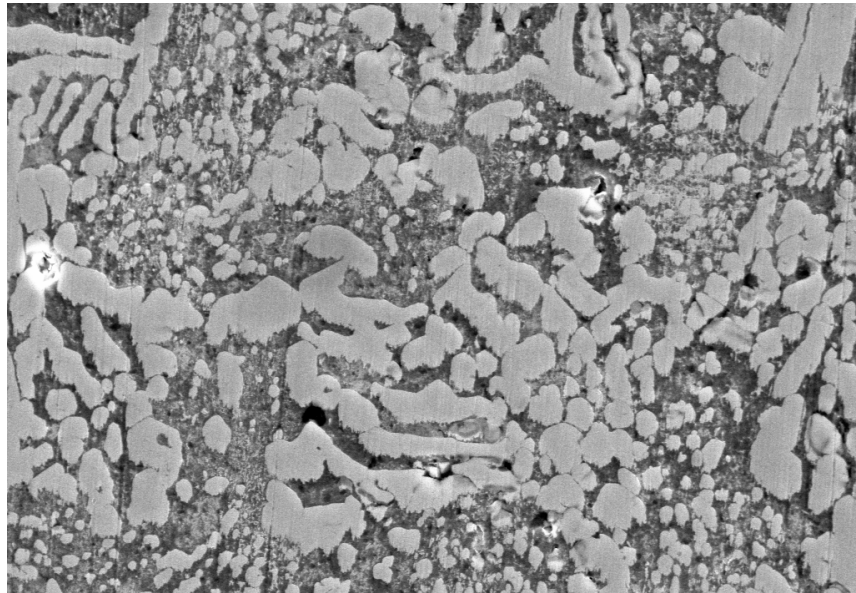


Şekil 10.19 N5.2 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c)SEM





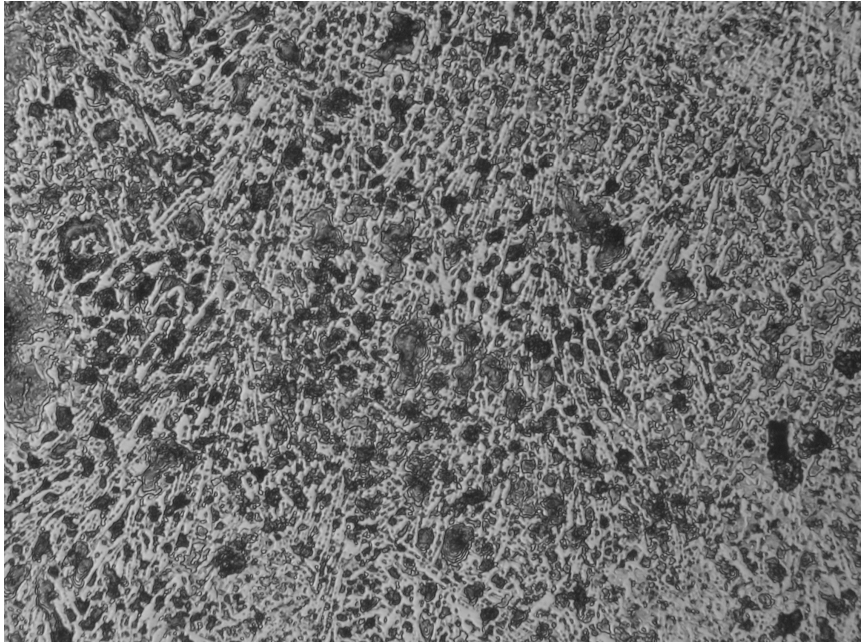
(b)



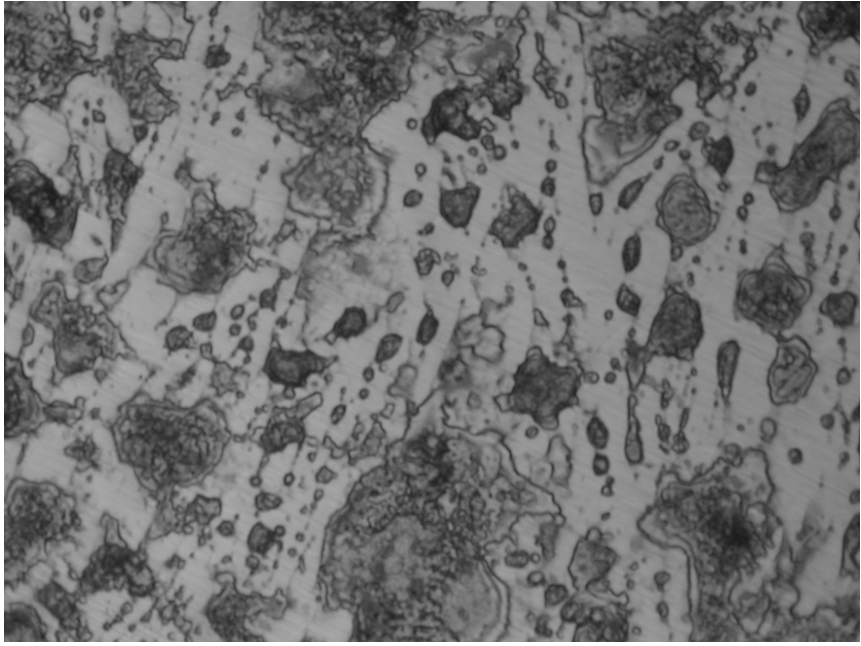
10µm Mag = 5.00 K X WD = 15 mm EHT = 20.00 kV Signal A = SE1 LEO

(c)

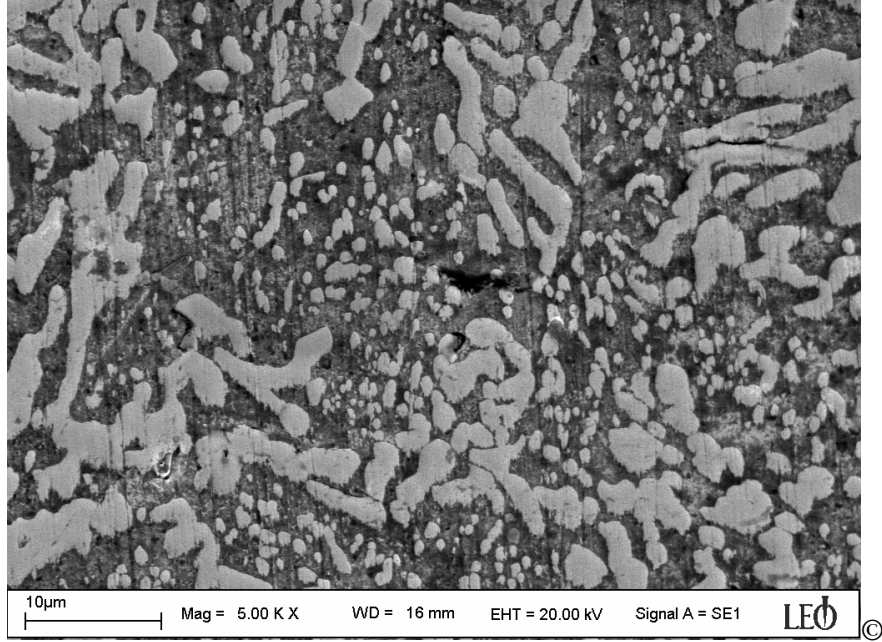
Şekil 10.20 N5.3 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c) SEM



(a)



(b)



Şekil 10.21 N5.4 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c) SEM

Isıl işlemin karbür kimyasal yapısı üzerinde (Cr/C) kısmen etkili olduğu görülmüştür (Tablo 10.4). Karbür yapısında Cr konsantrasyonu azalmıştır.

**Tablo 10.4.** N5.4 Numunesinde karbür ve matris analizi

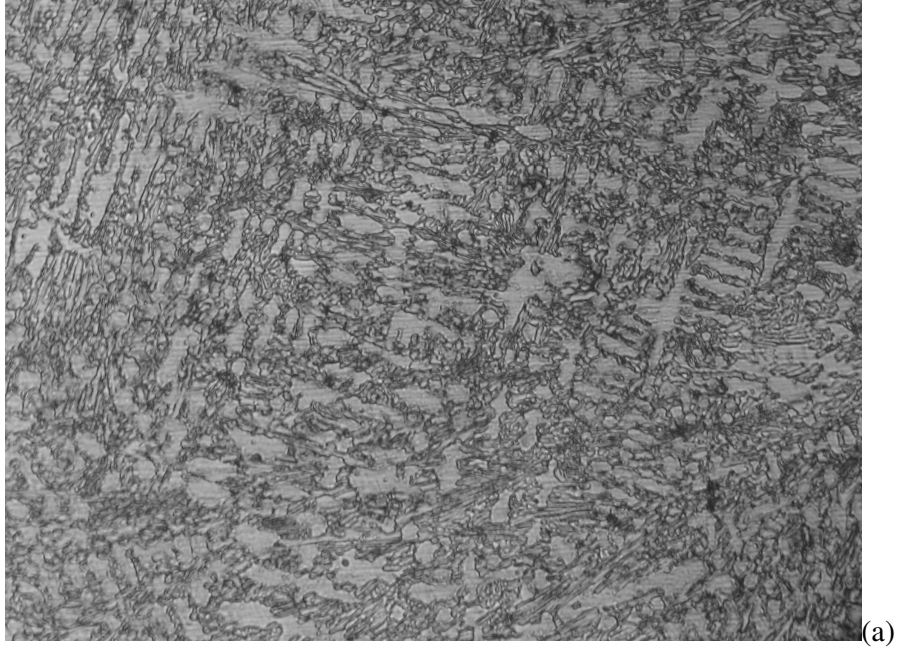
	Fe	Cr	C	Mn	Ni	Al	Ti	Si	Cr/C	Fe/Cr
Karbür	34.91	45.62	6.51	2.64	0.66	0.28	0.22	0.09	7	0,76
Matris	73.04	15.86	5.57	1.19	0.99	2.27	0.17	0.82	2,85	4,6

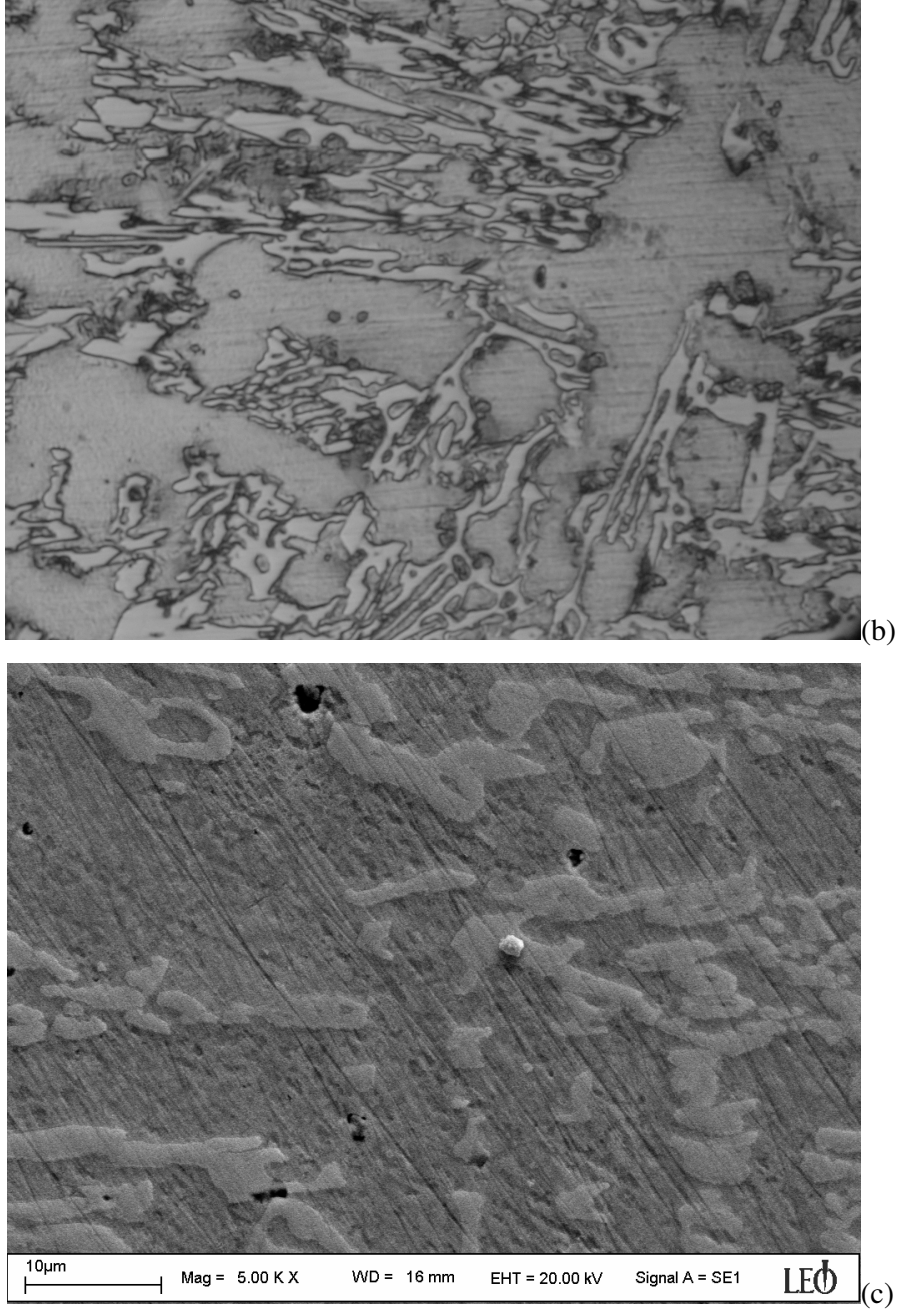
Karbür ve matris analizlerinde Cr konsantrasyonu yapı hakkında bazı ön bilgiler içermektedir. Şöyle ki, Cr konsantrasyonu %25 civarına çıktığında, yapıda östenit fazı ve  $M_7C_3$  karbürleri oluşur. Cr konsantrasyonu %15 mertebesine düştüğünde ise matriste özellikle perlit ve beynit fazları teşekkül eder. Isıl işlem öncesi karbürdeki krom konsantrasyonu ısıl işlem sonrası karbürdeki krom konsantrasyonuna göre yüksektir. Bu sebeple ötektik üstü yapı teşekkül etmiştir. Bu yapıda ötektik öncesi karbürler ve ötektik hücre yapısı görülmüştür. Ötektik öncesi karbürler ile birlikte jilet biçiminde karbürler gözlenmiştir. Yapıda ötektik öncesi östenit fazı oluşurken, ötektik hücreleri  $M_7C_3$  karbürleri ve östenitten ibarettir. Isıl işlem öncesi karbürler hem çubuk ve hem de plaka tipli olarak oluşmuşlardır. N5 numunesinde ısıl işlem sonrası Cr konsantrasyonu düşmüştür. Isıl işlem sonrası karbon konsantrasyonu arttığında ise yapıda tamamen ötektik hücre yapısı teşekkül

eder ve karbürler tamamen çubuk tipli gerçekleşir. Parçanın merkezinde, özellikle karbür ebadı minimum seviyeye düşmüştür.

Beyaz Dökme demirlerde ısıtılma işlem sonrası yapıda perlit fazı teşekkül edebilir. Perlit fazı difzyon kontrollü bir fazdır. Östenit fazının bozulması ile bu yapı oluşur. Ferrit fazı karbon çözündüremez bu sebeple ferrit fazı yanında  $M_3C$  fazı teşekkül ederek sıralı bir biçimde bu dönüşümün devam etmesi sonrası bir nano kompozit biçiminde perlit fazı teşekkül eder. Yapıdaki her bir fazın kalınlığını alaşım elementleri ve sıcaklık belirler. Tablo 10.4' te görüldüğü gibi ısıtılma işlem sonrası kimyasal kompozisyonda değişim yaşanmış ancak matris içindeki görüntülerden yapıda oluşmuş muhtemel perlit fazı oranı belirlenmemiştir. Bununla birlikte ısıtılma işlem sonrası oluşan yapıların SEM görüntülerinde matris taneleri içerisinde 1  $\mu m$  ebadın altında karbürler görülmüştür.

$N_6$  numunesinin mikroyapı görüntüsü Şekil 10.22' de ve bu yapıya uygulanan ısıtılma işlem sonrası oluşan dokun mikroyapı görüntüsü ise Şekil 10.23-24-25' de verilmiştir.



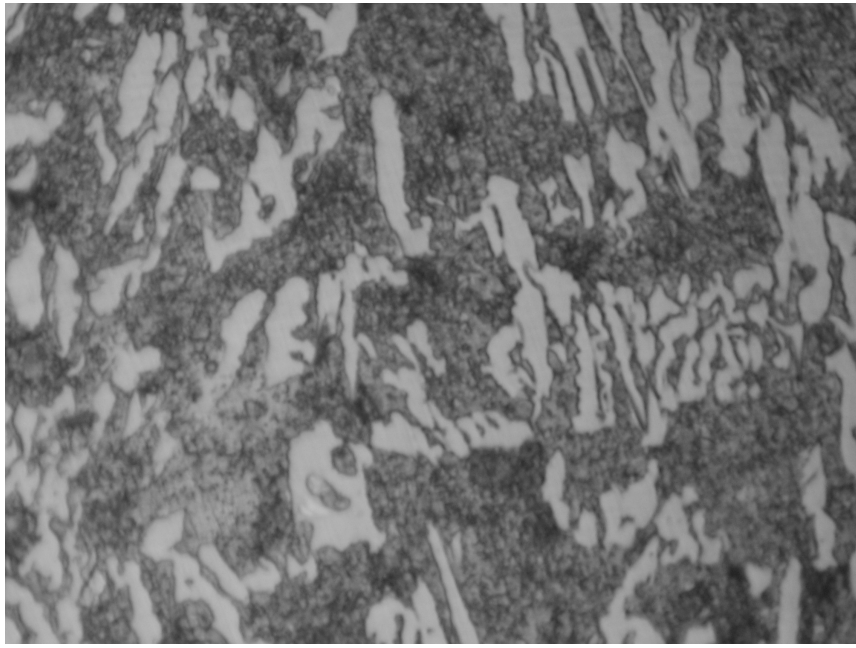
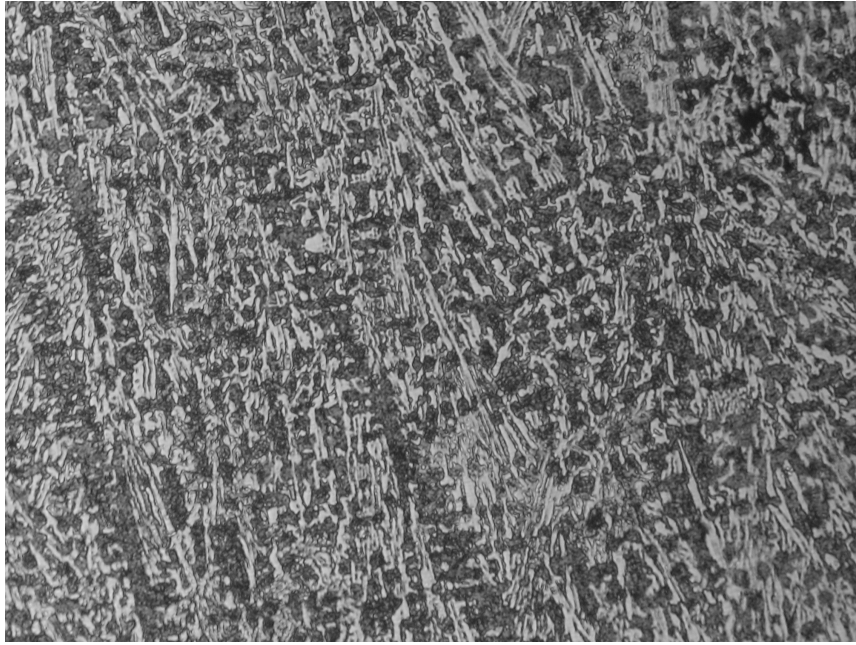


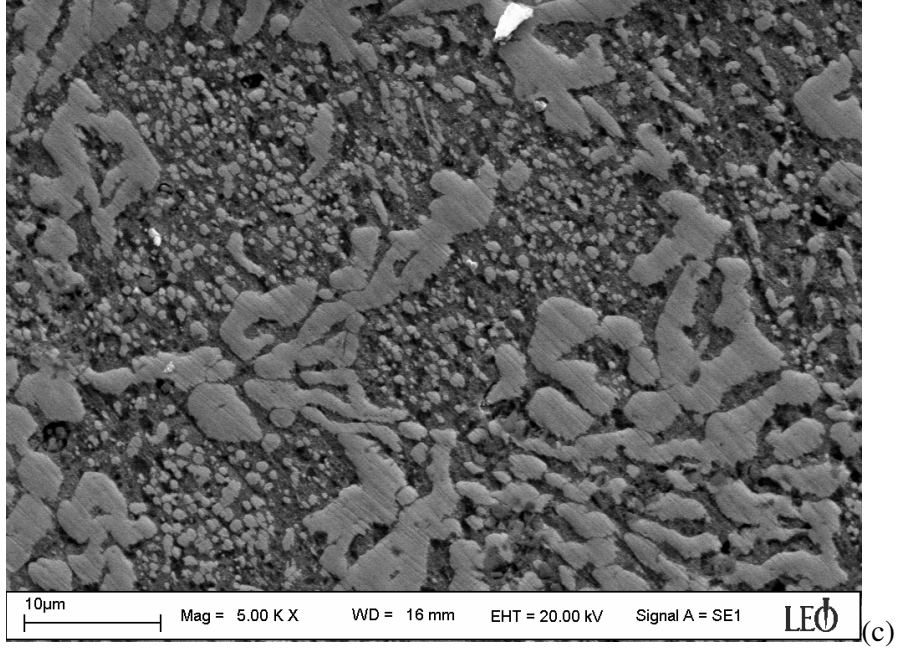
Şekil 10.22. N6.1 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c) SEM

Aşılacağı olarak % 0,5 TiBAl, % 0,15 Fe-Ti ve % 1,35 Fe-B ilavesi ile elde edilen dokunun analizi Tablo 10.5' de verilmiştir. Tablo 10.5. e bakıldığında karbürlerdeki Cr ve C değerlerinin arttığı görülmektedir. Fakat hem matrisdeki hem de karbürlerdeki Cr/C oranında bir düşüş görülmüştür. Bu değişimin sebebinin, yapıda TiC oluşumundaki artış olduğu düşünülmektedir.

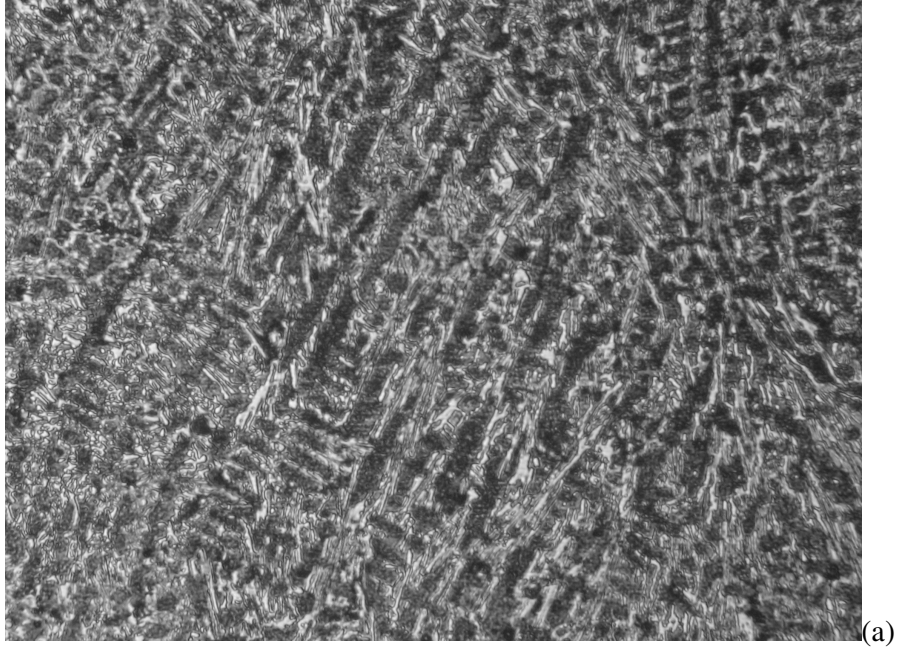
**Tablo 10.5.** N6.1 Numunesinde karbür ve matris analizi

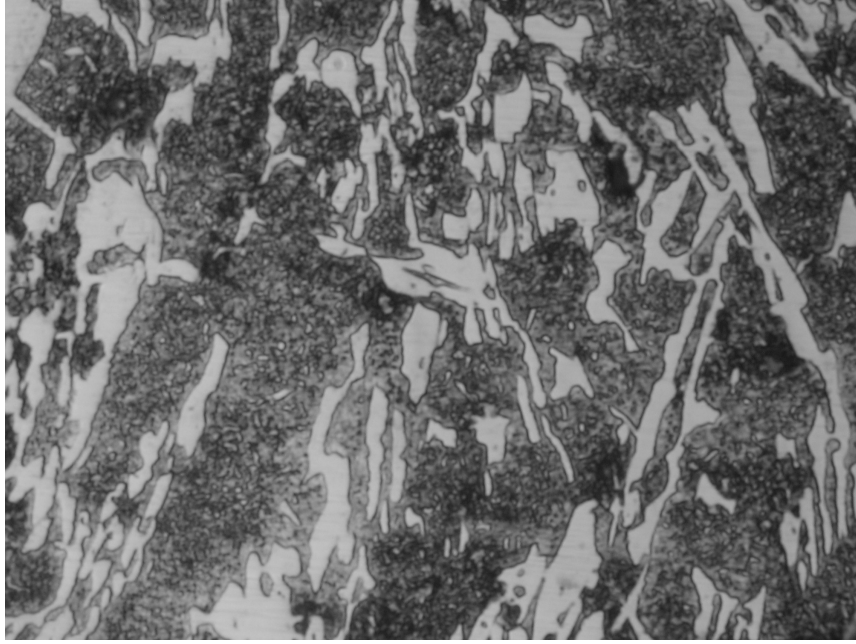
	Fe	Cr	C	Mn	Ni	Al	Ti	Si	Cr/C	Fe/Cr
Karbür	46.24	41.01	9.08	2.18	-	0.51	0.53	0.41	4,51	1,13
Matris	75.88	12.98	7.34	1.16	-	1.37	0.22	1.09	1,76	5,84



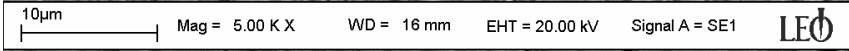
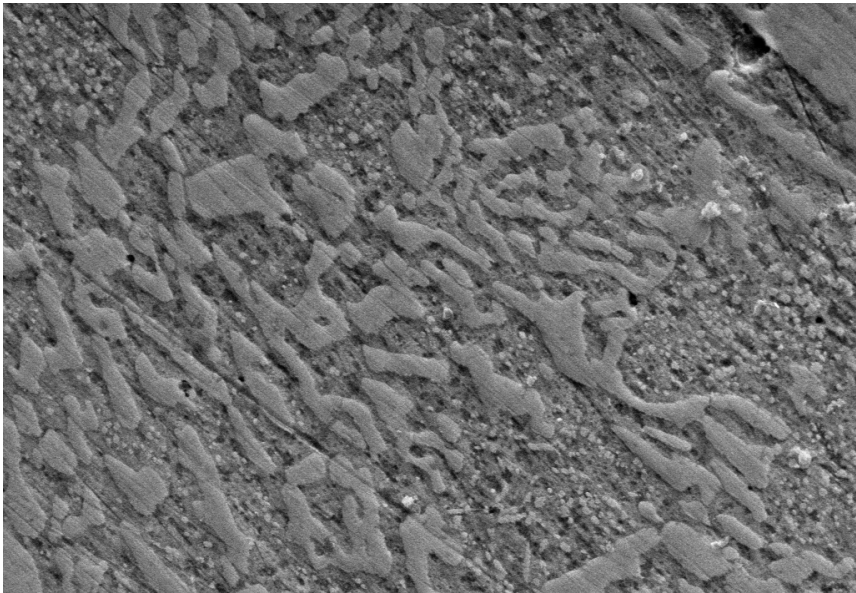


Şekil 10.23 N6.2 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c) SEM



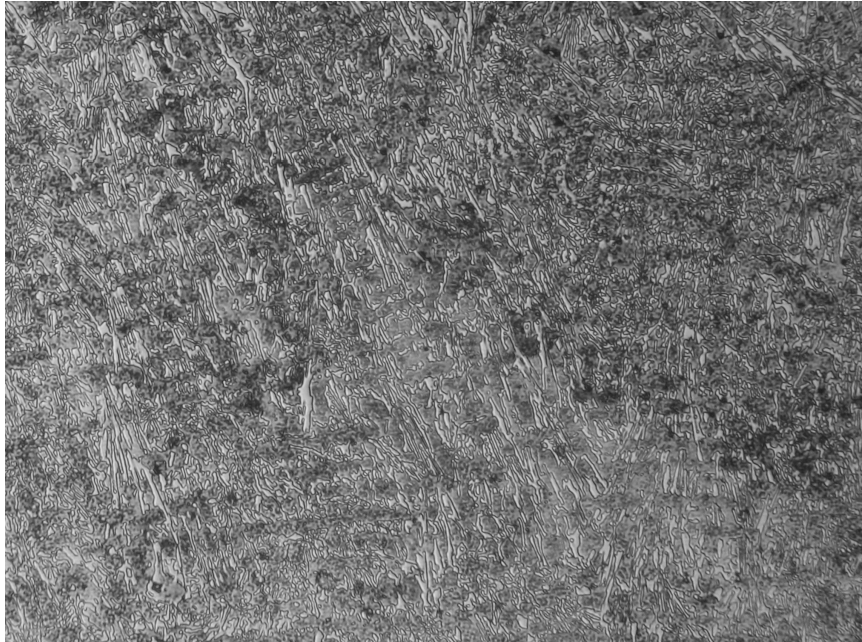


(b)

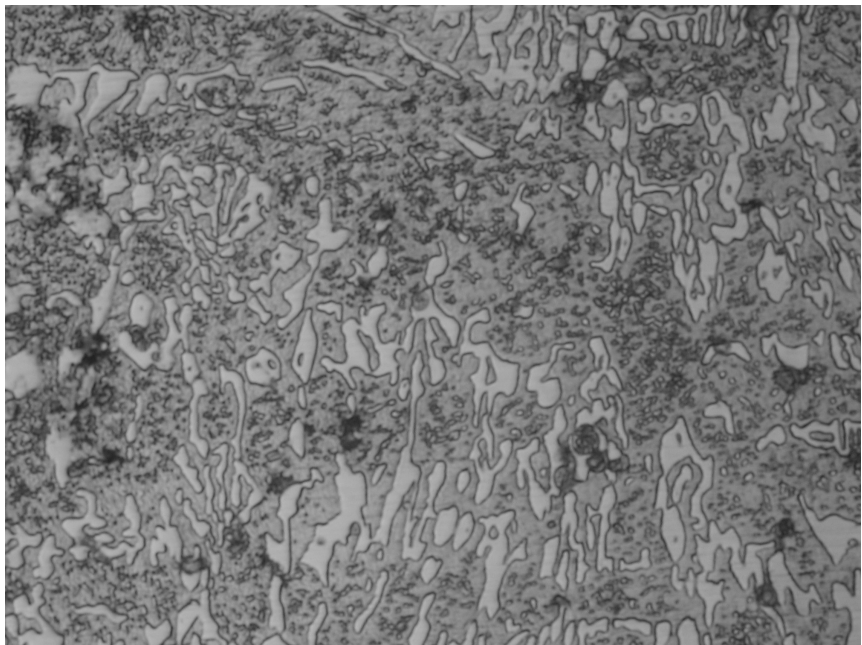


(c)

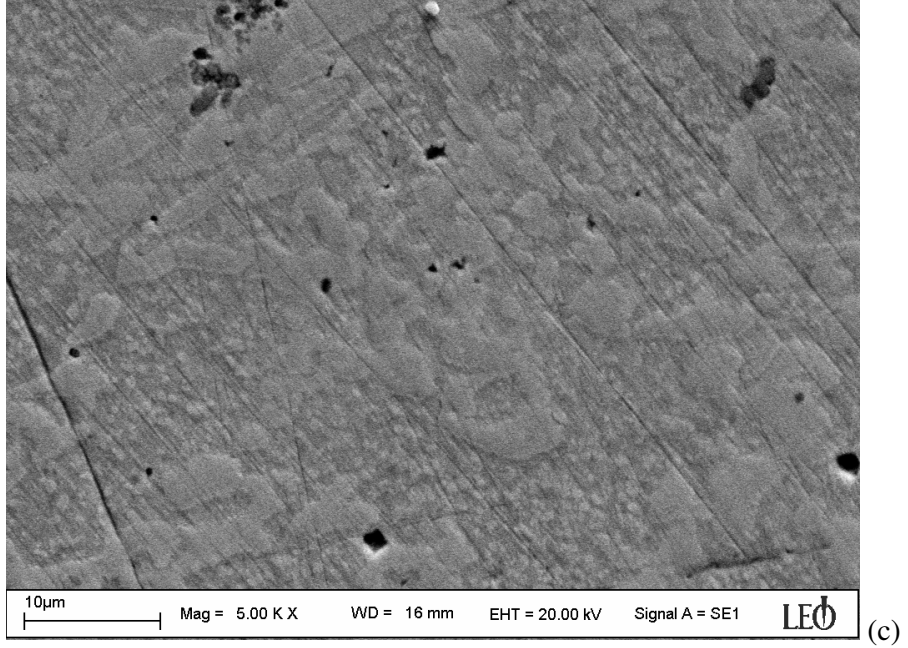
Şekil 10.24. N6.3 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, c)SEM



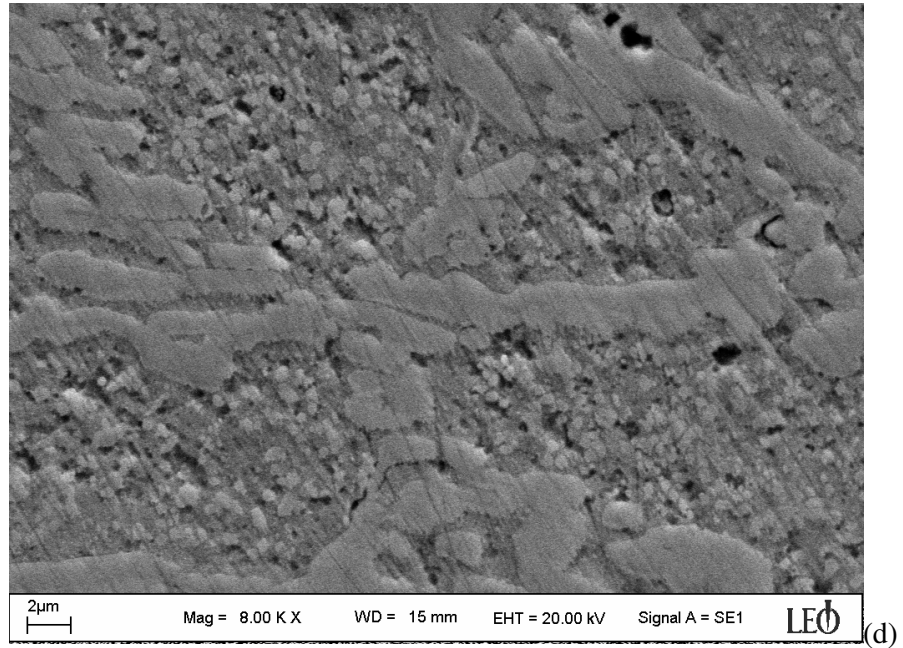
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 10.25. N6.4 numunesi, a) 20x15, b) 50x15, C) SEM 5000, d) SEM 8000

Isıl işlem ile karbürler içindeki ve matris içindeki Cr/C oranı artmıştır (Tablo 10.6).

**Tablo 10.6.** N6.4. Numunesinde karbür ve matris analizi

	Fe	Cr	C	Mn	Ni	Al	Ti	Si	Cr/C	Fe/Cr
Karbür	31.58	55.11	9.74	2.66	-	0.35	0.36	0.18	5,65	0,57
Matris	74.17	14.10	8.17	1.05	-	1.23	0.3	0.98	1,72	5,26

Tablo 10.6 da verilen analizler incelendiğinde matristeki Cr konsantrasyonunun % 15 in altına düştüğü görülmektedir. %15 Cr içerikli matris katılaştığında öncelikle yapıda östenit fazı oluşurken, bu faz beynit ve perlit fazına dönüşür. Cr konsantrasyonu artmış yapılarda ise, ötektik hücrelerde karbür ebadı daha da küçüktür. Bu tür yapılarda parçanın yüzeyine doğru karbür ebadı artar. Bu sebeple, ötektik katılma merkezde başlar. %15 Cr içerikli matriste ötektik karbürlerin etrafında önceden oluşan  $M_7C_3$  karbürleri ve sıvı arasındaki reaksiyon ile  $M_3C$  karbürleri oluşur. Ancak bu reaksiyon ötektik üstü karbürler ile oluşmaz çünkü bu karbürler ötektik hücreleri için çekirdek görevi görürler.

Numuneler arasındaki EDS analiz sonuçlarındaki farklılıkların sebebi, karbürler ile matris arasındaki kimyasal potansiyel farka bağlanmaktadır. Beyaz dökme demirlerde katılma esnasındaki soğuma şiddeti yapının ötektik sıcaklığını etkiler. Malzeme şiddetle soğutulduğunda yapının ötektik sıcaklığı düşer ve karbür ötektik reaksiyonu gerçekleşirken yavaş soğutulmalarda grafit ötektik reaksiyonu gerçekleşir. Bu durumun sebebi grafitin çekirdekleşmesinin daha kolay olmasıdır. Ancak karbür oluşumu başladığında bu yapının büyümesi grafit fazının büyümesinden daha hızlıdır. Soğuma hızının ötektik reaksiyon sıcaklığını değiştirmesi yapıdaki karbürlerin ebatlarını ve dağılımını değiştirmesi sebebiyle önem taşımaktadır. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde görülen en enteresan hadiselerden biri her zaman ötektik karbürlerin etrafına martenzit fazının teşekkül etmesidir[13]. Sıcaklık düştükçe östenit dendritleri içinde Cr, C ve Si atomları düzenli ve homojen bir biçimde dağılmazlar. Karbür tanesi sınırında Cr ve C miktarı hızla yükselir ve östenit tanesinin merkezine doğru tekrar düşer. Si oranı ise karbürün Si elementini dışarı atması sebebiyle karbür yüzeyinde maksimum değerdedir ve östenit tanesinin merkezine doğru en düşük seviyesine iner. Karbürün cidarındaki bu kararsız bölgede martenzit oluşum sıcaklığı oda sıcaklığının üstüne çıkar ve böylece bu bölgede çok ince bir martenzit fazı teşekkül eder. Eğer Si konsantrasyonu yüksek ve Cr konsantrasyonu düşük ise o zaman perlit fazı teşekkül edecektir. Bahsi edilen östenit fazının büyümesi ve etrafındaki kararsız durumun varlığından dolayı asla beyaz dökme demirlerde %100 östenit fazı bulunmaz [14]. Ötektik reaksiyon sabit bir sıcaklıkta gerçekleşmez. Bu sıcaklığın değişimi üzerinde mikroyapıda bulunan C ve Cr konsantrasyonları etkilidir. Fe-Cr-C üçlü faz diyagramında ötektik altı yapılarda, östenit fazı C ve Cr elementlerini katı fazdan eriyiğe difizyonla

gönderir. Östenit fazı büyüdükçe sıvı faz C ve Cr elementleri açısından zenginleşir. Sıvı ötektik vadisine ulaştığında katılaşmaya başlar. Ötektik reaksiyon tek sıcaklıkta gerçekleşmez. Sıvı katılaştıkça konsantrasyonu değiştiğinden ötektik reaksiyonun da sıcaklığı değişecektir [15].

$$T_{\text{likidus}} = 155,5 - 89,2\%C - 0,77\%Cr$$

$$T_{\text{ötektik}} = 1201,7 - 20,3\%C + 5,97\%Cr$$

$M_7C_3$  karbürleri ve östenit fazı içeren ötektik kolonisi sadece bir baskın büyüme yönüne sahiptir. Bu kolonilerde karbürler silindirik formdadır. Karbürlerin oranları Cr-C ikili faz diyagramında karbürdeki ve östenitteki Cr konsantrasyonlarının değerlerinin birleşimi ile elde edilen eğri ve bu eğrinin ötektik sıcaklık eğrisi ile kesişmesi sonrası kullanılacak “lever” kuralı sayesinde belirlenebilmektedir. Bu metodun yanında ayrıca Maratay ve Usseglio-Nanot metodu da kullanılmaktadır[12]. Bu tekniğe göre ;

$$\%Karbür \text{ oranı} = 12,33\%C + 0,55\%Cr - 15,2 [Tong \text{ et.al}]$$

$$\%Karbür \text{ oranı} = 14,05C + 0,43Cr - 0,22 [Dogan \text{ et.al}]$$

Ötektik demirlerde yavaş soğuma sonrası malzemede kolon tipi taneler yüzeyden içeri doğru oluşur. Merkeze doğru kolonumsu yapı eş eksenli tanelere dönüşür. Soğuma hızının yanında alaşımın kompozisyonu da kolonumsu yapı ve eş eksenli tanelerin büyüklüğünü etkiler. Yapı ötektik üstü bir kompozisyona doğru yöneldikçe eş eksenli tane oluşumu ve miktarı artar. Bu durum şöyle açıklanmaktadır.  $M_7C_3$  karbür oluşumu için büyük miktarda Cr gereklidir. Bu sebeple bu karbürler östenit fazı ile karşılaştırıldıklarında çok yavaş büyürler. Sonuç olarak ötektik üstü yapılarda kalıp yüzeyinden itibaren gerçekleşen katılma ötektik altı yapılara göre daha yavaştır. Bu nedenledir ki eş eksenli tanelerin ötektik üstü yapılarda oluşum ve büyüme şansları daha yüksektir. Ancak, soğuma farkı çok yüksek mertebelere çıktığında kalıp yüzeyinden itibaren kolon tipi taneler oluşur.

## 10.2 Sertlik Deney Sonuçları

Numunelerin makro sertlikleri Emco markalı sertlik cihazında HRC cinsinden ölçülmüştür. Her numuneden en az üç ölçüm yapılmış ve bu ölçümlerin ortalaması alınmıştır. Sertliğin belirlenmesinde karbür morfolojisi önemli bir etkidir. Mikroyapıda fazların ebatlarının büyüklüğü sertliği artırabilir veya düşürebilir. Dökme demirlerde mikroyapının ebadı soğuma oranının kontrolü ile sağlanır. Soğuma oranı arttıkça çubuk veya plaka tipli karbürlerin ebatları düşer. Özellikle literatür araştırmaları neticesinde soğuma

oranının etkisi, parçanın merkezinden ve yüzeyinden alınan sertlik ölçüleriyle incelenmiştir. Özellikle krom miktarı arttıkça malzemelerin yüzey ve merkez sertlikleri arasındaki sertlik farkının arttığı belirlenmiştir. Diğer bir husus ise ötektik beyaz dökme demirlerin ötektik altı ve ötektik üstü beyaz dökme demirlere göre yüzey ve merkez sertlikleri farkının daha yüksek olmasıdır. Cr konsantrasyonu artışı karbür ebadını düşürür. Büyük ebatlı karbürlerin hızlı soğuma ile ebatları değişmez. Cr/C oranı sertleşebilirlikte önemlidir. Bu oran arttıkça sertleşebilirlik artar. Isıl işlem sonrası östenit fazındaki C ve Cr elementlerinin karbür çökmesi sertleşebilirlikte azalamaya sebebiyet verir. Sonuçta düşük östemperleme sıcaklığı düşük sertleşebilirliğe sebep olur. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde maksimum sertlik ve maksimum abrasiv aşınma direnci için martensitik yapı ısı işlem ile sağlanmalıdır. Döküm parçası perlitik yapının oluşumunun engellenebilmesi için yeteri derecede alaşım elemanına sahip olmalıdır. Cr, Ni, Cu, Mn ve Mo elementleri bu dönüşümün engellenmesinde kullanılırlar. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde perlit oluşum zamanı ile alaşım elementleri miktarı arasında şöyle bir eşitlik oluşturulmuştur;

#### **Log**

$$\text{Perlit} = 1.07 + 0.43(\%Ni) + 0.44(\%Cu) + 0.25(\%Cr/C) + 0.59(\%Mo \times \%Mn) + 0.56(\%Mo \times \%Ni)$$

#### **Süresi**

Bu eşitlikte görülmektedir ki Ni ve Cu elementleri sertleşebilirlik üzerinde kendi başlarına en etkili elementlerdir. Ancak Mo elementinin eklenmesi bu elementlerin sertleşebilirlik etkilerini artırmaktadır.

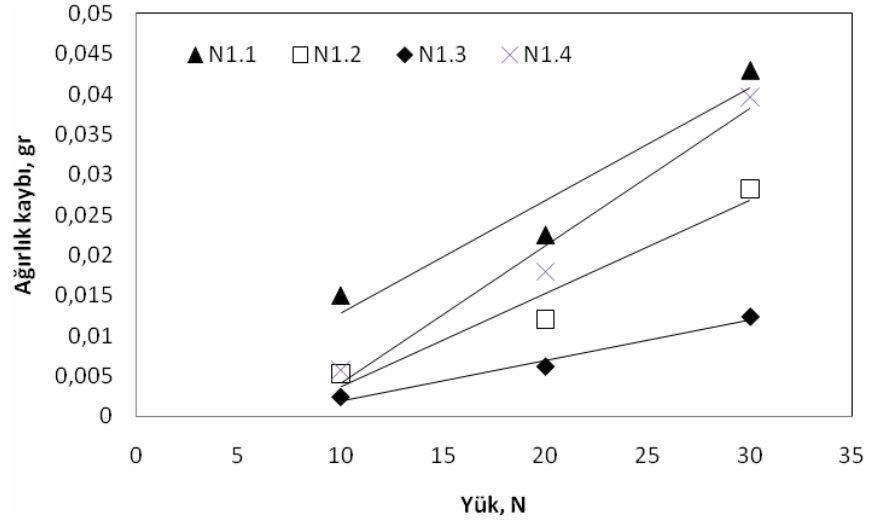
**Tablo 10.7** Numunelerin sertlikleri

Numune no	Sertlik RCH
N1,1	45,5
N1,2	55,4
N1,3	57,1
N1,4	57,7
N2,1	40,6
N2,2	36,1
N2,3	36,7
N2,4	37,8
N3,1	41,9
N3,2	42,4
N3,3	53,0
N3,4	57,1
N4,1	40,1
N4,2	40,1
N4,3	39,3
N4,4	37,9
N5,1	39,9
N5,2	36,3
N5,3	37,4
N5,4	37,4
N6,1	43,4
N6,2	54
N6,3	56,3
N6,4	57,3

### 10.3. Aşınma Deneyi Sonuçları

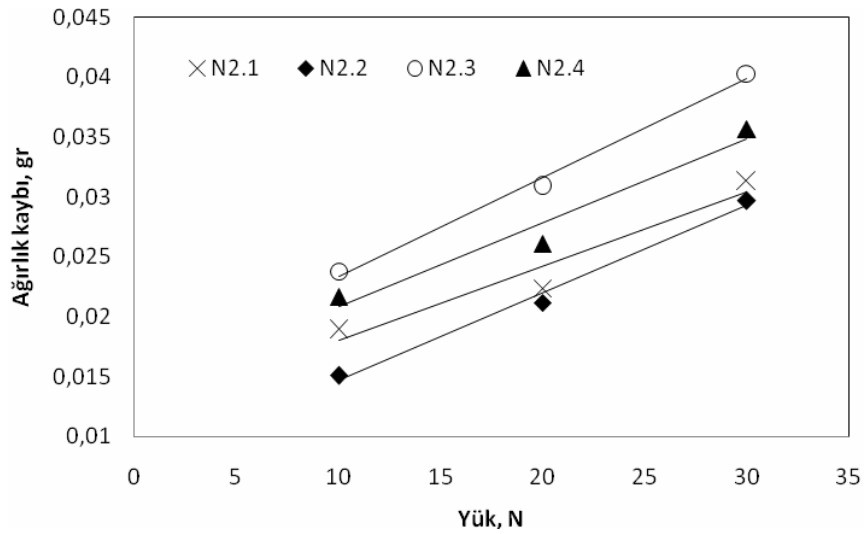
Abrasiv aşınma test sonuçları Şekil 10.26-10.32' de verilmiştir. Testler oda sıcaklığında ve sabit yük altında gerçekleştirilmiştir.

1.Gurup numunelerin aşınma sonuçlarına göre en düşük ağırlık kaybı N1.3 numunesinden elde edilmiştir.



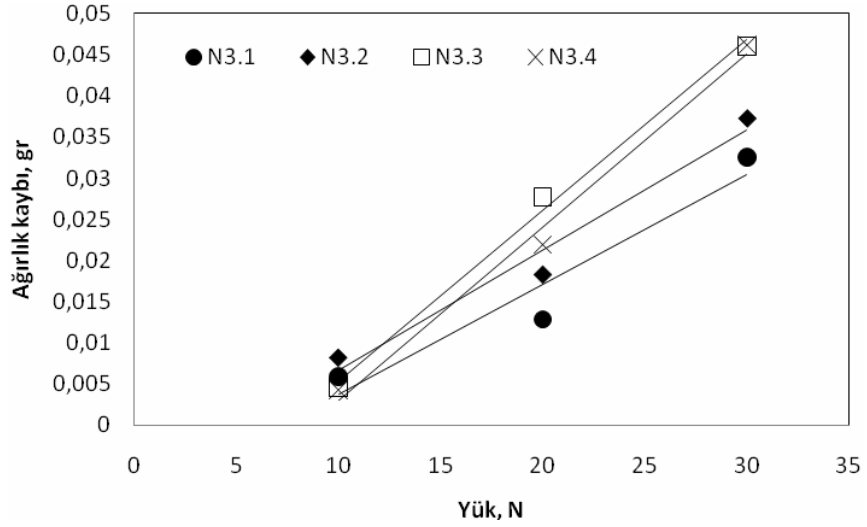
Şekil 10.26. Birinci Gurup numunelerin yüke göre ağırlık kayıplarının karşılaştırılmaları

2. gurup numunelerin aşınma sonuçlarına göre en düşük ağırlık kaybı N2.1 ve N2.2 numunelerinden elde edilmiştir.

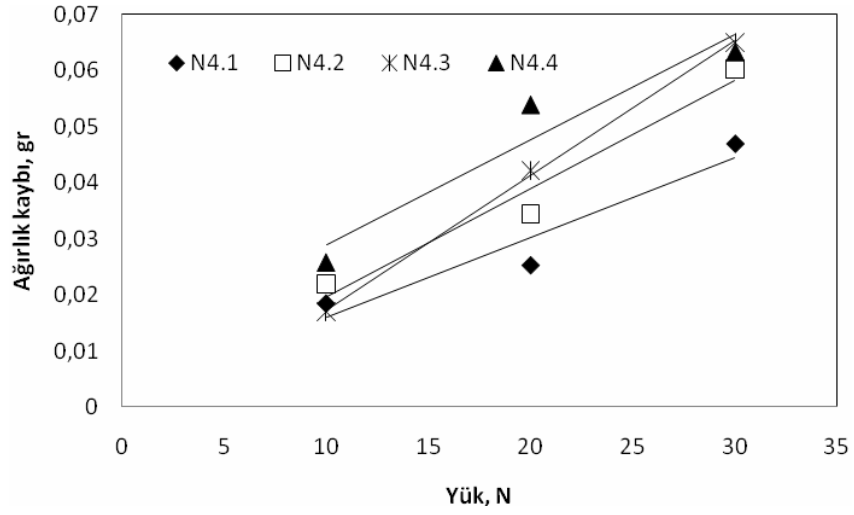


Şekil 10.27 İkinci Gurup numunelerin yüke göre ağırlık kayıplarının karşılaştırılmaları

3. grup numunelerde ısıtılma işleminin ağırlık kaybı üzerinde olumlu etkisi belirlenmemiştir. En düşük ağırlık kaybı N3.4 ve N3.3 numunelerinden elde edilmiştir.



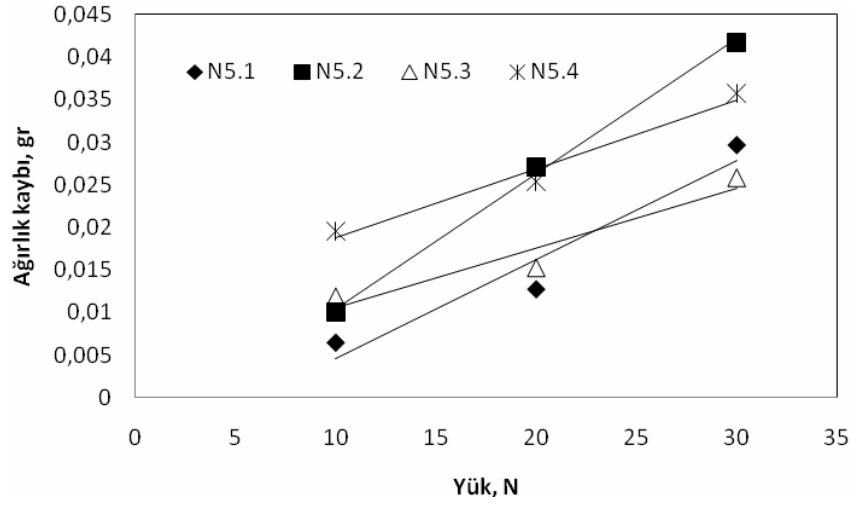
Şekil 10.28 Üçüncü Grup numunelerin yüke göre ağırlık kayıplarının karşılaştırılması



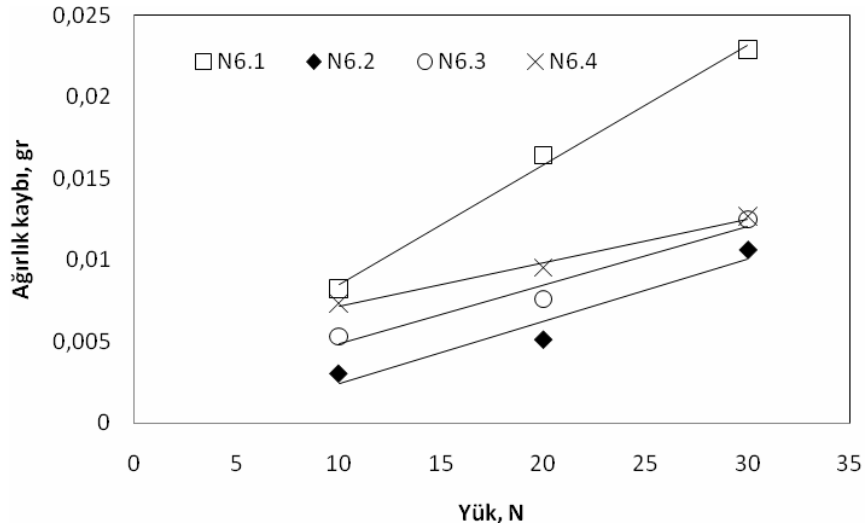
Şekil 10.29 Dördüncü Grup numunelerin yüke göre ağırlık kayıplarının karşılaştırılması

4. grup numunelerde en düşük ağırlık kaybı N4.2 ve N4.1 numunelerinde görülmüştür.

5. ve 6. grup numunelerde ısıtılma işleminin ağırlık kaybını azaltma konusunda olumlu bir etkisi belirlenmemiştir.

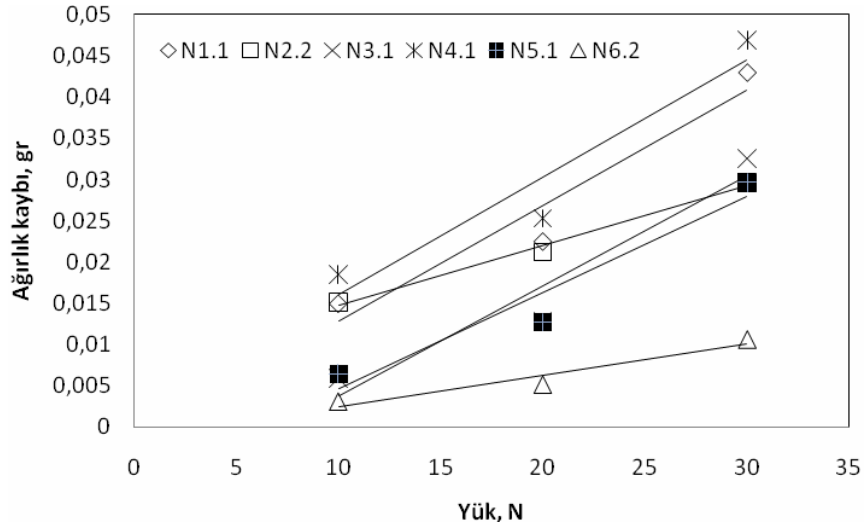


Şekil 10.30 Beşinci Gurup numunelerin yüke göre ağırlık kayıplarının karşılaştırılmaları



Şekil 10.31 Altıncı Gurup numunelerin yüke göre ağırlık kayıplarının karşılaştırılmaları

Tüm numunelerin en iyi sonuçları karşılaştırıldığında en düşük ağırlık kaybı N3.1, N5.1 ve N6.2 Gurup numunelerde görülmüştür.



**Şekil 10.32** Tüm guruplardan en iyi aşınma direncine sahip numunelerin yüke göre ağırlık kayıplarının karşılaştırılmaları

Birçok döküm ile üretilen aşınmaya karşı dirençli beyaz dökme demir malzemeler kullanılırken ısı işlem uygulanmadan kullanılırlar. Isıl işlem uygulanacak aşınma dirençli malzemelerin döküm sonrası belirli bir mikoyapıda olmaları beklenir. Özellikle Ni-hard malzemeler döküm sonrası martensitik veya östenitik-martensitik yapıda üretilirken, yüksek kromlu dökümlerin döküm sonrasında perlitik yapıda olmaları istenir. Çünkü bu yapıda üretilen ürünlerde daha az kalıntı gerilim olduğundan çatlama riski azdır. Ayrıca işlenmeleri de mümkün olabilir ve ısıl işlem ile yapıları değiştirilebilir. Beyaz dökme demirlerde aşınma direncini sağlayan unsur karbürlerin varlığıdır [15].  $M_7C_3$  karbürleri mikroyapıda ısı akışı yönüne paralel olarak jilet biçimli veya çubuk biçimli olarak oluşabilirler. Aşınma esnasında, uygulanan yük, matris ile takviye arasındaki bağ ve aşındırıcının ebadı, aşınmada direnci üzerinde etkili parametrelerdir.

#### 10.4. Darbe Testi Sonuçları

Darbe testi sonuçlarına göre TiBAL aşılama sonrası oluşan numunelerin aşınma oranına bağlı olarak darbe absorpsiyon özelliklerindeki değişim Tablo 10.8' de verilmiştir. Veriler ışığında TiBAL oranındaki artışın darbe özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür. Isıl işlem ile tokluğun düşmesinin sebebi eş eksenli tanelerin azalması olarak düşünülmektedir.

**Tablo 10.8** Numunelerin Darbe test sonrası enerji emme özellikleri

Numune	N1.1	N1.2	N2.1	N2.2	N3.1	N3.2	N4.1	N4.2	N5.1	N5.2	N6.1	N6.2
Darbe Enerjisi, J	19	17,5	25,5	23	27,5	26	29	28	32,5	31	30	27

Beyaz dökme demirlerde maksimum sertlik ve darbe direnci önemli olduğundan, bu tür malzemeler kararsızlaştırma ısıl işlemine tabi tutulurlar. Isıl işlem ile birlikte yapıda ikincil karbürler oluşur. Yapıda kompozit biçiminde martenzit ve ikincil karbür teşekkülü söz konusu olur. Sonuçta yapıda kalıntı östenit ikincil karbür ve martenzit fazları bulunur. Isıl işlemde soğumanın yetersiz olması durumunda yapıda perlit fazı da teşekkül eder. Beyaz dökme demirlerde tokluk yapı içindeki karbür oranı ile ilgilidir. Doğal olarak bir östenitik matris, yapısında ikincil karbür ve martenzit fazının bulunduğu bir matristen daha toktur. Ancak karbon oranının artmasıyla birlikte, karbür yapısının darbe direnci üzerindeki etkisi artacaktır.

Karbürlerin ebatlarının tokluk üzerinde etkileri mevcuttur. Önceleri karbür ebadının düşmesi ile tokluğun aratacağına inanılırdı. Ancak literatür çalışmaları sonrası karbür ebadının artmasıyla tokluğun arttığı görülmüştür. Karbürlerin hacimsel oralarının sabit olduğu yapıda karbür ebadı düştükçe karbürlerin sayısı artmaktadır. Karbür ebadı arttıkça karbürler arası mesafe kısalmaktadır. Kırılma mekaniğine göre bir çatlakın kısa mesafede diğer bir karbüre ilerleme ihtimali artmaktadır. Ötektik altı yapılarda soğuma şiddeti arttığında tokluk 25 Joule den 21 Joule düşer. Ötektik yapılarda tokluk soğuma şiddeti ile 24 Joule den 25 Joule çıkar. Ancak ötektik üstü yapılarda tokluk 16 Joule den 25 Joule çıkar. Ötektik altı yapılarda tokluğun düşmesinin sebebi eş eksenli tanelerin azalmasıdır.

Ötektik çekirdekçik oluştuğunda, katılaşma oranı ötektik taneler içinde değişir. Ötektik yapı içindeki karbürler ısıyı salıverdükçe katılaşma oranı ilk çıta şekilli karbürlerin etrafında düşer. Düşük katılaşma oranı plaka tipli karbürlerin, ötektik kolonisi içinde ve çıta tipli karbürlerin etrafında oluşumuna imkan tanır. TiBAl ilavesi ile egzotermik reaksiyonların oluşumu söz konusu olacaktır. Eriyiğin sıcaklığı artacaktır. Yapı içinde bulunan Al ve Ti çil etkisini azaltıcı bir rol oynarken B elementi ise çil etkisini artırıcı bir rol üstlenecektir.

Yapıdaki karbür hacim oranı artışı tokluğu düşürür. Ancak aşınma direncini artırır. Östenit fazının dönüşüm karakteri sertleşebilirlik prosesini şekillendirir. Östenit matrisi Al sıcaklığının üzerinde kararlıdır. Bu sıcaklığın altında östenit, perlit ve beynit fazlarına dönüşür. Perlit kritik sıcaklığın altında oluşurken, beynit fazı 204-427 °C sıcaklıkları arasında ve martenzit fazı ise 204 °C sıcaklığında teşekkül eder. Bu dönüşüm karbon atomlarının difizyonuna bağlıdır. 204 °C sıcaklığa kadar hızlı soğuma gerçekleşirse östenit

fazı martenzit fazına dönüşür. Beyaz dökme demirlerde sertlik martenzit oranına bağlıdır. Alaşım elementlerinin yapıya ilavesi ile perlit ve beynit fazları dönüşümü yavaşlar ve dolayısıyla martenzit miktarı artarak sertlik artar. Sonuçta alaşım elementleri perlit çekirdekleşme ve büyüme mekanizması için zamanı artırır ve büyük parçaların bile havada sertleşebilirliğini sağlar. Sertleşebilirliği artıran en önemli alaşım elementleri krom, nikel, mangan, molibden ve bakırdır. Alaşım elementlerinden Si, karbonun östenit fazındaki çözünürlüğünü azaltarak sertleşebilirliği azaltır. Beyaz dökme demirlerde karbür ile matris arasındaki arayüzey de aşınma direncini etkiler. Aynı zamanda özellikle karbürlerin sayıları, ebatları konumları ve morfolojileri aşınma direnci üzerinde oldukça etkilidir.

### 10.5. DTA Testi Sonuçları

Numunelerin Diferansiyel Termik Analiz (DTA) sonuçları, numunelerin ısıtılması ile yapılarındaki enerji değişimlerinin belirlenmesi yoluyla incelenmiştir. Bu sonuçlar ışığında elde edilen değerler her numune için sırasıyla tablolar halinde verilmiştir. Elde edilen grafiklerdeki sıcaklığa göre ısı absorpsiyonu veya ısı emisyonundaki farklılığına göre reaksiyonların entalpileri belirlenmeye çalışılmıştır.

**Tablo 10.9** N 1 numunesine ait DTA sonuçları

N.1.	1. PİK	2.PİK
SICAKLIK °C	1254	1285,57
ISI (J/g)	0,31	-0,64
Faz Dönüşümü	$\gamma + M_3C \rightarrow S_{1V1}$	$\gamma + M_7C_3 \rightarrow s_{1V1}$

**Tablo 10.10** N 2 numunesine ait DTA sonuçları

N.2.	1.PİK	2.PİK	3. Pik
SICAKLIK °C	1060,23	1248,7	1289
ISI (J/g)	-2,61	2,88	-0,08
Faz Dönüşümü	$\gamma + M_3C \rightarrow S_{1V1}$	$M_3C \rightarrow S_{1V1} + M_7C_3$	$\gamma + M_7C_3 \rightarrow s_{1V1}$

**Tablo 10.11** N 3 numunesine ait DTA sonuçları

N.3.	1. PİK	2. PİK	3. PİK
SICAKLIK °C	964	1087	1286
ISI (J/g)	1,62	-9,52	-1,46
Faz Dönüşümü	$\gamma+M_3C \rightarrow S_{1V1}$	$M_3C \rightarrow S_{1V1}+M_7C_3$	$\gamma+M_7C_3 \rightarrow S_{1V1}$

**Tablo 10.12** N 4 numunesine ait DTA sonuçları

N.4.	1.PİK	2.PİK
SICAKLIK °C	1244	1283,78
ISI (J/g)	4,88	-0,06
Faz Dönüşümü	$\gamma+M_3C \rightarrow S_{1V1}$	$\gamma+ M_7C_3 \rightarrow S_{1V1}$

**Tablo 10.13** N 5 numunesine ait DTA sonuçları

N.5.	1.PİK	2. PİK
SICAKLIK	1111	1279,78
ISI (J/g)	-1,21	-2,19
Faz Dönüşümü	$\gamma+M_3C \rightarrow S_{1V1}$	$\gamma+M_7C_3 \rightarrow S_{1V1}$

**Tablo 10.14** N 6 numunesine ait DTA sonuçları

N.6.	1.PİK	2.pİK
SICAKLIK °C	1159,5	1281,98
ISI (J/g)	-2,02	-11,29
Faz Dönüşümü	$\gamma+M_3C \rightarrow S_{1V1}$	$\gamma+M_7C_3 \rightarrow S_{1V1}$

DTA eğrileri altındaki alan birçok termodinamik ve kinetik hadisenin toplam olarak yansımasıdır. Burada temel öge matris ve  $M_7C_3$  karbürlerinin çözünümü esnasında Fe ve Cr oranlarına bağlanmaktadır. Bu çalışmada aşılardan beklenen sonuç tane sayısının artması ve ötektik reaksiyonu ile oluşan karbür taneleri içindeki Cr konsantrasyonunun artmasıdır. Aşı miktarı arttıkça çözünüm reaksiyonu sonrası açığa çıkan ısı miktarı bu varsayımı

güçlendirmektedir. Numunelerde görülen en temel reaksiyon  $\gamma + M_7C_3 \rightarrow$  sıvı reaksiyonudur. Aşılama oranına bağlı olarak bu reaksiyonun sıcaklığı ve entalpisi değişmiştir.

DTA sonuçlarında reaksiyon piklerinin ebat ve şekilleri önemlidir. Reaksiyon piklerinde sıcaklık farkının yüksek olması reaksiyonun hızının yüksekliğini gösterir. DTA eğrileri sonuçlarına göre en yüksek sıcaklık farkı 1. Numuneden elde edilmiştir. Karbür oluşum pikinin sıcaklık farkı TiBAI kullanım miktarına bağlı olarak düşmüştür.

Ötektik faz oluşum reaksiyonunun ısı miktarı TiBAI miktarına bağlı olarak artmıştır.  $M_7C_3$  karbürlerinin oluşum serbest enerjileri karbür içindeki Cr oranı arttıkça artar. TiBAI miktarına bağlı olarak karbürlerdeki Cr konsantrasyonu artışının bu duruma sebep olduğu kanaatine varılmıştır[8].

İlk katı oluşum reaksiyonu sıcaklığı incelendiğinde aşılama miktarının katılaşma başlangıç sıcaklığı üzerinde etkili olmadığı görülmektedir. Matris oluşum sıcaklığının aşılama ilavesi ile birlikte dikkate değer oranda azaldığı görülmektedir. Bu durumu Tongg çalışmasında şöyle belirtilmiştir; Fe-Cr-C sisteminde küçük miktardaki elementlerin varlığı katılaşma reaksiyon sıcaklığını düşürür[11].

## 10.6. Genel Sonuçlar

1. Aşınma test sonuçları sonrası en düşük ağırlık kaybı N2.1, N5.1 ve N6.2 numunelerinde görülmüştür. Aşınma sonuçları ile sertlik sonuçlarının paralellik göstermediği belirlenmiştir. Isıl işlemler sonrası numunelerin sertliklerinde artış görülürken, ağırlık kayıplarında artış belirlenmiştir.
2. Aşılama sonrası oluşan numunelerin aşılama oranına bağlı olarak darbe absorpsiyon özellikleri artmış, aşılama oranına bağlı olarak darbe özelliklerinin iyileştiği görülmüştür. Isıl işlemlerle numunelerde, eş eksenli taneler azalmış ve tokluk düşmüştür. Ayrıca homojenleştirme ısıl işlemi sonrası mikro yapıda karbür dağılımlarında farklılıklar gözlemlenmiştir.
3. N<sub>6</sub> numunesinde karbürdeki Cr/C oranı düşmüştür. Bu nedenle N<sub>6</sub> numunesinin aşınma sonuçları diğer numunelere göre daha iyidir. EDS sonuçlarına göre N<sub>6</sub> numunesinde karbürdeki Cr oranı arttığı için karbürün sertliği artmış ve aşınma direncini olumlu yönde etkilemiştir.
4. DTA sonuçlarına göre aşılama miktarı arttıkça çözünüm reaksiyonu sonrası açığa çıkan ısı miktarı artmıştır. Numunelerde görülen en temel reaksiyon  $\gamma + M_7C_3 \rightarrow \text{sıvı}$  reaksiyonudur. Aşılama oranına bağlı olarak bu reaksiyonun sıcaklığı ve entalpisi değişmiştir. Aşılama miktarının katılma başlangıç sıcaklığı üzerinde etkili olmadığı, ancak matris oluşum sıcaklığının aşılama ilavesi ile birlikte dikkate değer oranda azaldığı görülmüştür.
5. Mikroyapıda iki tip karbür görülmektedir. Büyük ebatlı olan karbürler dendritik yapıda oluşmuştur. Ana matris içinde ise daha küçük ve eş eksenli 1 µm ebadın altında tane içine dağılmış karbürler oluşmuştur. Yapıya ilave edilen aşılama elemanının eriyik sıcaklığını ve soğuma gradyanını etkilemesi, matrisin soğuma şiddetini azaltması sebebiyle matris içinde eş eksenli tanelerin oluştuğu ve matris katılaşmadan sonra, aşınma etkisini kaybetmesi sebebiyle karbürlerin dendritik yapıda oluştuğu düşünülmektedir.
6. Mikroyapı ve EDS analizleri karşılaştırıldıklarında, yapıda oluşan karbür tipini Cr/C oranının belirlediği görülmüştür.

## KAYNAKLAR

- [1] Erdoğan M. (2000) Mühendislik Alaşımaları Yapı ve Özellikleri I.
- [2] Çiğdemöğlu M. (1968) Pik ve Çelikte Alaşım Elemanları.
- [3] Arıkan M.M. (1999) Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin aşınma direncine alaşım elementlerinin ve ısıl işlemin etkisi.
- [4] Evin E., Özer C. (2003). Klasik torna tezgahların da kullanılabilen yeni tip bir aşınma deney aparatının tasarım ve imalatı.
- [5] George L., Richard G., Klaus R., Abrasion Resistant Cast Iron Handbook, American Foundry Society, Colorado, 1988.
- [6] İzçiler M. (1997) Yüksek krom alaşımlı dökme demirlerin farklı sıcaklıktaki abrasiv aşınma davranışına alaşım katkı oranının ve ısıl işlem şartlarının etkileri.
- [7] Metals Handbook, 1988. 9<sup>th</sup> Ed, 15, Lasting, ASM.
- [8] Metals Handbook, 10<sup>th</sup> Ed., 1, Properties and selection, ASM.
- [9] Liard II, G. Nielsen, R.L. Macmillan, N. II., (1991). On the nature of eutectic carbides in Cr-Ni white cast irons, Metallurgical Transactions, 22-A.
- [10] Maratay, F., Poulaton.A. A study of the hardness of martensitic Structures in High-Chromium Ferrous Alloys and the Control and Transformation of retained Austenite. Climax Molybdenum Co. Publication M-399F(1977).
- [11] Rte, F.B. Conger. G.A. DeLonge, K.A., isothermal Transformation Characteristics on Direct Cooling of Alloyed White Iron, AFS Transactions, vol. 59, pp. 509-522 (1951).
- [12] Maratay, F., Usseglio-Nanet, R., factors Affecting the Structure of Chromium and Chromium Molybdenum White Irons. Climax. Molybdenum (1970)].
- [13] Mohan, S., Lawley, A., Woodyatt, L.R., Brosius, K.S., Microstructure and properties of a P/M High Chromium Iron Alloy, Progress in Powder metallurgy, vol.39, pp.73-99 (1984).
- [14] Roberts, C.S. Effect of carbon on the Volume fraction and lattice parametrs of retained Austenite and martensite, Trans AIME, vol, 197, p.203 (1953).
- [15] K.M. Kulkarni and V. Anand, 'Metals Handbook, 9<sup>th</sup> ed., ASM, metals park, OH', 7 (1984) 823
- [16] K.H. Zum Gahr and D.V. Doane, *Metal. Trans.A*, 1980, vol. 11A, pp. 613-20.
- [17] K.H. Zum Gahr, *Met. Prog.*, 1979, vol.116, pp.46-52
- [18] R.C.D. Richardson, *wear*, 1967, vol.10, pp.291-309.
- [19] K.H. Zum Gahr and G.T. Eldis, *Wear*, 1980, vol.64, pp.175-94.
- [20] R.B. Gundlach and J.L. parks, *Wear*, 1978, vol.46, pp.97-108
- [21] Tong, C.P., Suzuki, T. Unieda, T., Eutectic Solidification of High Chromium Cast irons, Physical Metallurgy of Cast Iron IV, G. T.Kasakawa, E. Niyans, Editors matarials Research Society. Pittsburgh, PA, pp.403-410 (1989).

## **ÖZGEÇMİŞ**

Araştırmacı 1982 yılında Elazığ'da doğdu. 1999 yılında Elazığ Lisesinden mezun oldu. Yüksek öğrenimini Fırat Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliğinden 2003 yılında mezun olarak tamamladı. 2004 yılından beri F.Ü Metalurji ve Malzeme Mühendisliğinde Yüksek Lisans eğitime devam etmekte.